



EUROPEISKA UNIONEN

**Interreg**  
Botnia-Atlantica

Europeiska regionala utvecklingsfonden

# Hur kommer havet att se ut år 2120?



## Ekosystemtjänster i centrala Bottniska viken

Essi Lakso, Anniina Saarinen, Emma Anderssén, Tytti Turkia, Daniela Figueroa,  
Johnny Berglund, Lotta Nygård, Lotta Eklund, Anette Bäck



**ECONNECT**  
2120

Författare: Essi Lakso<sup>1</sup>, Anniina Saarinen<sup>2</sup>, Emma Anderssén<sup>1</sup>, Tytti Turkia<sup>1</sup>, Daniela Figueroa<sup>3</sup>, Johnny Berglund<sup>2</sup>, Lotta Nygård<sup>3</sup>, Lotta Eklund<sup>4</sup>, Anette Bäck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forststyrelsen Naturtjänster

<sup>2</sup>Länsstyrelsen Västerbotten

<sup>3</sup>Länsstyrelsen Västernorrland

<sup>4</sup>Närings-, trafik- och miljöcentralen i Södra Österbotten

Översättning från engelska: Lingsoft

Kontaktuppgifter:

Anette Bäck, Forststyrelsen, anette.back@metsa.fi

Johnny Berglund, Länsstyrelsen Västerbotten, johnny.berglund@lansstyrelsen.se

Omslagsbild: Anniina Saarinen, Länsstyrelsen Västerbotten

Citera som: Lakso, E., Saarinen, A., Anderssén, E., Turkia, T., Figueroa, D., Berglund, J., Nygård, L., Eklund, L. & Bäck, A. 2022. Hur kommer havet att se ut år 2120:

Ekosystemtjänster i centrala Bottniska viken. EConnect-projektets slutrapport. Interreg Botnia-Atlantica projekt.

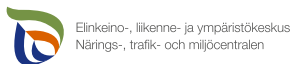
Diarienummer MH 5039/2022

# Hur kommer havet att se ut år 2120?

Ekosystemtjänster  
i centrala Bottniska viken



Havs  
och Vatten  
myndigheten





# Förord

Klimatförändringen är vår tids största miljökris. Förändringarna till följd av klimatförändringen sker redan överallt i världen såväl på land som till havs och våra handlingar i dag kommer att vara avgörande för vår framtid. Effekterna av klimatförändringen, såsom temperaturökningen, kommer att vara större i Bottniska viken än i någon annan del av Östersjön. I EConnect-projektet har vi studerat hur havet i centrala Bottniska viken kommer att se ut år 2120. Vi analyserade rådande och framtida miljöförhållanden och artutbredning, ekosystemtjänster och konnektivitet i centrala Bottniska viken. Projektets resultat indikerar att klimatförändringen kommer att göra havet varmare, istäcket tunnare och salthalten något lägre. Arterna kommer att reagera olika på dessa förändringar beroende på deras överlevnadsbehov. Lägre salthalter påverkar havslevande djur, såsom blåmusslan, som redan lever på gränsen av deras tolerans för låg salthalt, medan ett tunnare istäcke bland annat gynnar fleråriga alger. Förändringar av ekosystemtjänster förväntas följa förändringarna hos artutbredningen i många delar. I vissa områden kommer ekosystemtjänsterna att öka medan de kommer att minska i andra områden. En drastisk förändring hos ekosystemtjänsterna förväntas dock inte. Kvarken är en viktig rutt för spridning av arter mellan Sverige och Finland. Skyddade marina områden är ostörda områden för havslevande varelser. Ju bättre dessa områden placeras desto bättre habitatnätverk skapar de för arter, vilket ökar chanserna för arternas överlevnad i framtiden.

Tre rapporter där resultaten från varje arbetspaket presenteras och en sammanfattningsrapport där

huvudslutsatsen från varje rapport presenteras togs fram inom projektet (samtliga återfinns på [econnect2120.com](http://econnect2120.com)). I den här rapporten presenterar vi de ekosystemtjänster som finns i området och hur dessa kan komma att förändras i framtiden. De andra två rapporterna fokuserar på den nuvarande statusen för den marina miljön och möjliga förändringar av framtida miljövariabler och artutbredningen samt utvärdering av befintliga och framtida nätverk av skyddade områden ur ett konnektivitet perspektiv.

Projektet inleddes i juni 2018 och avslutades i maj 2022 och finansierades genom det gränsöverskridande programmet Interreg Botnia-Atlantica. Projektet var en fortsättning på ett långvarigt gränsöverskridande samarbete mellan Finland och Sverige i Kvarken med syftet att förstärka förvaltningen av det gemensamma havsområdet. Projektets partner var Forststyrelsen, Närings-, trafik- och miljöcentralen i Södra Österbotten, Länsstyrelsen Västerbotten och Länsstyrelsen Västernorrland. Projektområdet begränsades till Österbotten och centrala Österbotten i Finland, och Västerbotten och Västernorrlands län i Sverige.

EConnect-projektet vill tacka Interreg Botnia-Atlantica, Österbottens förbund, Havs- och vattenmyndigheten och de medverkande organisationerna för att de gjorde projektet möjligt. Vi vill också tacka SMHI och FMI som tillhandahöll klimatmodellerna och alla andra som har hjälpt oss på ett sätt eller ett annat.

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>5</b>
<b>Förkortningar och akronymer</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1. Östersjön .....	8
1.2. Bakgrund till projektet .....	8
1.3. Projektområde inklusive Kvarken .....	9
1.4. Klimatförändringens framtida effekter .....	10
<b>2. Ekosystemtjänster</b> .....	<b>12</b>
2.1. Ekosystemtjänster i projektområdet .....	14
<b>3. Utvärderingsverktyget (MESAT)</b> .....	<b>15</b>
3.1. Pilotområden .....	16
3.2. Resultat .....	20
3.2.1. Allmänna förändringar i försörjande tjänster .....	20
3.2.2. Allmänna förändringar i reglerande tjänster .....	23
3.2.3. Allmänna förändringar i kulturella tjänster .....	28
3.2.4. Specifika förändringar inom pilotområden .....	30
3.3. Diskussion .....	36
3.3.1. Ekosystemtjänsternas framtid .....	36
3.3.2. Metodologiska aspekter .....	38
<b>4. Ekosystemtjänstindex</b> .....	<b>40</b>
4.1. Metoder för klassificering av tjänster .....	40
4.2. Modellering och indexkonstruktion .....	42
4.3. Resultat .....	43
4.4. Diskussion .....	44
<b>5. Slutsatser</b> .....	<b>45</b>
<b>6. Bilaga</b> .....	<b>47</b>
A1 MESAT-metodiken .....	47
A1.1 Utvärderingsprocess .....	47
A2 Pilotområden .....	48
A3 Datakällor .....	50
<b>Litteraturförteckning</b> .....	<b>53</b>

# Förkortningar och akronymer

<b>BALTEX</b>	Hydrometeorologiskt forskningsprogram för Östersjön och dess avrinningsområde (The Baltic Sea Experiment)
<b>BSAP</b>	HELCOMs handlingsplan för Östersjön (Baltic Sea Action Plan)
<b>CICES</b>	Det gemensamma internationella klassificeringssystemet för ekosystemtjänster (the Common International Classification on Ecosystem Services)
<b>EMMA</b>	Finlands ekologiskt betydelsefulla marina undervattensmiljöer
<b>FMI</b>	Meteorologiska institutet i Finland
<b>HELCOM HUB</b>	HELCOMs klassificeringssystem för undervattensbiotoper och habitat
<b>IPCC</b>	FN:s vetenskapliga klimatpanel (Intergovernmental Panel on Climate Change)
<b>LuTu</b>	Hotbedömningen av Finlands naturtyper
<b>MAI</b>	Maximalt tillåten tillförsel av näringsämnen (Maximum allowable input of nutrients), vilket anger den maximala nivån för tillförsel av kväve och fosfor från vatten och luft i Östersjöns bassänger för att uppnå god miljöstatus i Östersjön (enligt BSAP)
<b>MESAT</b>	Utvärderingsverktyg för ekosystemtjänster (Marine Ecosystem Services Assessment Tool)
<b>OECD</b>	Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (The Organisation for Economic Cooperation and Development)
<b>RCP8.5</b>	Scenarie för att beräkna framtida klimatförändring (Representative concentration pathway), klimatsceneriet RCP8.5 är det värsta tänkbara klimatsceneriet
<b>SDM</b>	Modellering av arternas utbredning (Species Distribution Models)
<b>SMHI</b>	Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

# 1. Inledning

## 1.1. Östersjön

Östersjön är ett grunt hav som kännetecknas av bräckt vatten (Leppäranta och Myrberg 2009). Nio länder omger Östersjön och cirka 85 miljoner människor bor i dess avrinningsområde. Avrinningsområdet är cirka fyra gånger större än havet och detta medför en stor belastning på havets biologiska mångfald och ekosystemens funktioner (HELCOM 2017). Miljöproblem som härrör från mänsklig verksamhet som påverkar Östersjön omfattar övergödning, utsläpp, sjöfart, införande av främmande arter, fiske och jakt, störning och minskning av habitat, klimatförändring, nedskräpning av havet med mera (Leppäranta och Myrberg 2009; HELCOM 2017).

På grund av det bräckta vattnet är artmångfalden i Östersjön låg jämfört med havs- och sötvattenmiljöer (Kautsky och Kautsky 2000; HELCOM 2009). Den biologiska mångfalden är dock större än förväntat i ett bräckt system tack vare de flertaliga habitat-typerna och den unika salthaltsgradienten (HELCOM 2018a). Dessutom anses Östersjön vara ett mycket produktivt ekosystem som tillhandahåller en mångfald av ekosystemtjänster. Dessa omfattar bland annat fiske, vatten- och klimatreglering, återvinning av födoämnen och friluftsliv (HELCOM 2009).

Havslevande arter såsom blåstång (*Fucus vesiculosus*), smaltång (*Fucus radicans*) och blåmusslan (*Mytilus trossulus x edulis*) är exempel på arter som fungerar som nyckelarter i nästan hela Östersjön eftersom de bildar habitat (HELCOM 2009) och tillhandahåller en källa till föda för många andra arter (Waldeck och Larsson 2013; Wikström och Kautsky 2007). Områden där ett fåtal nyckelarter har en stor påverkan på ekosystemet (HELCOM 2009) eller där artmångfalden är låg (Peterson m. fl. 1998), vilket är fallet i Östersjön, kan definieras av låg motståndskraft mot stressfaktorer (HELCOM 2009). En stressfaktor som kan ha stor påverkan på Östersjön är klimatförändringen.

## 1.2. Bakgrund till projektet

Syftet med EConnect-projektet var att studera den möjliga effekten av klimatförändringen på vattenmiljöerna i centrala Bottniska viken på hundra års sikt. Projektområdet (figur 1) är särskilt intressant när det gäller klimatförändring eftersom vissa havslevande arter i Kvarken redan lever nära sin toleransgräns när det gäller salthalt. Den lägre genomsnittliga salthalten är varken optimal för havs- eller sötvattensarter som lever tillsammans i området (Kautsky & Kautsky 2000). En möjlig minskning av salthalten till följd av klimatförändringen kan ha en stor påverkan på artutbredningen i området. Temperaturen har också en stor påverkan på miljön och ekosystemen genom istäckets säsongsmässighet och varaktighet. Syftet med projektet var att ta fram information som kan hjälpa samhällsplanerare med anpassningar till klimatförändringen. Målet var även att göra resultaten tillgängliga för allmänheten. Målet med projektet uppnåddes genom att ta fram modeller för framtida artutbredning av vattenlevande arter och artgrupper i området, samt kartor över möjliga förändringar av fysiska parametrar, såsom temperatur, salthalt och havsistäcke. Modellerna byggde på framtida klimatscenarier från Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institutet (SMHI) och Meteorologiska Institutet i Finland (FMI). Som del av projektet studerades även eventuella framtida ekologiska kopplingar mellan biotoper och nyckelarter och marina skyddsområden, samt klimatförändringens påverkan på viktiga marina ekosystemtjänster i projektområdet.

Klimatmodellerna som använts i detta projekt bygger på klimatscenarioet RCP8.5 och på reduktionsmålet för näringstillförseln i HELCOMs handlingsplan för Östersjön (BSAP). RCP8.5 är det värsta tänkbara klimatscenarioet som skapades av IPCC i deras femte utvärderingsrapport (AR5) (Collins m.fl. 2013). BSAP är en samling insatser och åtgärder för avtalsparterna i HELCOM för att uppnå en frisk havsmiljö i Östersjön med särskild tonvikt på be-



gränsning av övergödning (HELCOM 2020). Resultaten från projektet ECONnect bygger på antagandet att halterna av växthusgaser i atmosfären skulle fortsätta att öka i framtiden enligt RCP8.5, men att Östersjön skulle uppnå en god miljöstatus när det gäller övergödning.

Beslutet att fokusera på RCP8.5 och BSAP fattades utifrån nuvarande trender och utveckling. Även om man har ambitiösa mål att begränsa klimatförändringarna, som EU:s politik för att uppnå koldioxidneutralitet 2050, kan åtgärderna vara för begränsade och komma för sent. Klimatförändringen har erkänts som ett allvarligt hot i årtionden, men denna medvetenhet om problemet och dess lösningar har tyvärr inte lett till tillräckligt kraftfulla åtgärder. Dessutom ville vi använda oss av värsta tänkbara scenario för att studera vad det skulle leda till för det känsliga Kvarkenområdet att helt ignorera klimatkrisen och för att uppmärksamma hur klimatförändringen, övergödning, de marina ekosystemens tillstånd och människans välbefinnande är sammanflätade. Däremot har övergödningen av Östersjön tagits på allvar under en tid, och tillförseln av kväve och fosfor i havet minskade med 22 procent respektive 24 procent under perioden 1995–2014 (HELCOM 2018b). Det verkar därför möjligt att nå målen för BSAP under de kommande årtiondena. Mycket av arbetet mot övergödning och andra miljöstressorer kvarstår dock. Vi ville också visa hur viktigt det är att minska tillförseln av näringsämnen för att minska belastningen på havsmiljön och undvika kumulativa effekter av övergödning och klimatförändringar.

Ytterligare information om RCP8.5 och BSAP finns i ECONnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*, där arternas utbredning har modellerats under referensperioden och i framtiden.

Kommunikationen av projektets syfte och resultat till såväl samhällsplanerare och miljö- och klimatexperter som allmänheten var redan från början

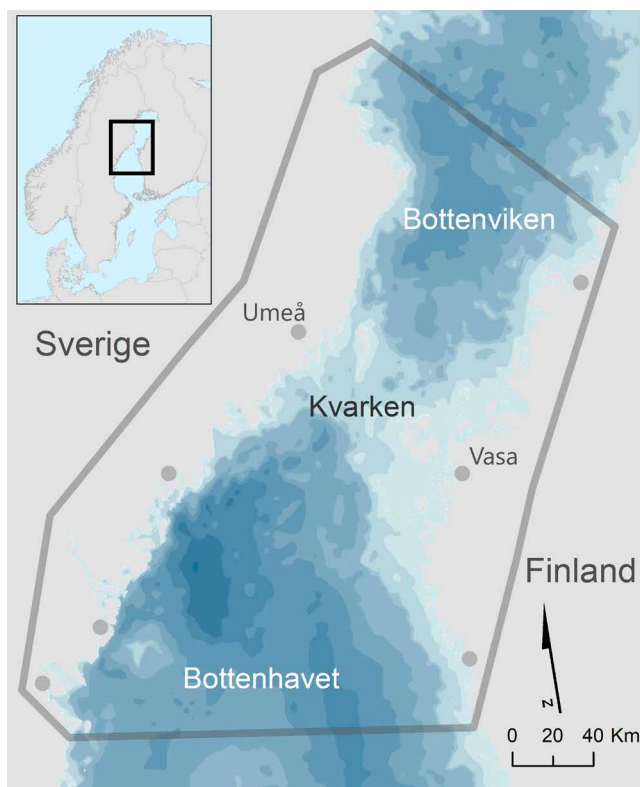
en viktig del av projektet. Sociala medier användes som den huvudsakliga kommunikationskanalen och ett digitalt seminarium för samhällsplanerare och miljö- och klimatexperter anordnades i början på 2021. Projektets resultat presenteras i olika rapporter, kartportalen SeaGIS2.0, på projektets webbsida och i berättelsekartan. Rapporterna innehåller detaljerad information om projektets metoder och resultat och modellerna kan studeras närmare i kartportalen SeaGIS2.0. Den data som tagits fram är öppen och kan användas fritt för andra klimatrelaterade projekt. För att göra resultaten tillgängliga och intressanta för en bredare målgrupp med olika bakgrunder skapades flera filmer och animationer om projektets olika ämnen. En berättelsekarta skapades för att visa det framtagna kommunikationsmaterial och de huvudsakliga resultaten från projektet på ett inspirerande vis.

### 1.3. Projektområde inklusive Kvarken

Projektområdet sträcker sig från norr om Skellefteå i Sverige och Karleby i Finland till söder om Sundsvall i Sverige och Kristinestad i Finland (figur 1).

Kvarken ligger inom denna centrala del av Bottniska viken. Kvarken är ett grunt övergångsområde som skiljer Bottenhavet från Bottenviken. Kvarkens kustlinjer och topografi förändras ständigt och formas av den pågående landhöjningen som lyfter landmassan cirka 9 mm om året (Poutanen och Steffen 2014). Kvarken består av flera marina skyddsområden, däribland Natura 2000-områden, och viktiga områden för fåglar och biologisk mångfald (Kallio m.fl. 2019). Dessutom betecknas Kvarken som ett Ekologiskt eller biologiskt betydelsefullt område (EBSA) (Konventionen om biologisk mångfald 2012).

Skärgården på den finska sidan av projektområdet är grund och består av tusentals små öar, medan



**Figur 1. Projektområdet för EConnect ligger i Bottniska viken i norra Östersjön.**

landskapet på den svenska sidan är brantare med färre öar (Poutanen och Steffen 2014, Donadi m.fl. 2020). UNESCO-världsarvet Höga kusten/Kvarken ligger här (UNESCO 2021). På den finska sidan av projektområdet ligger flera av Finlands ekologiskt betydelsefulla marina undervattensmiljöer (EMMA-områden): Revöfjärden, Rönnskäret Mickelsörarna och Kvimofjärden (Lappalainen m.fl. 2020).

Salthalten i projektområdet varierar beroende på Kvarkens grunda djup och kraftiga strömmar. Salthalten minskar från 5 % till 4 % när man rör sig cirka 10 kilometer norrut från Bergö, söder om Vasa. Salthalten är högre på den östra sidan av projektområdet eftersom Corioliseffekten styr det ingående saltvattnet söderifrån mot den finska västkusten och älvarna och åarna på den svenska ostkusten för med sig stora mängder sötvatten till havet (Rinkineva och Bader 1998). Den genomsnittliga salthalten i Kvarken är 3–4 %, vilket är lägre än den genomsnittliga salthalten i Östersjön (Kautsky och Kautsky 2000). Den minskande saltalten från Egentliga Östersjön till Bottniska viken påverkar arternas levnadsförhållanden. Därför är Kvarken ett gränsområde för utbredningen av flera arter (Rinkineva och Bader

1998), dvs för blåmusslor och blåstång och smalstång (HELCOM 2017). De flesta arterna i projektområdet är sötvattensarter som tål bräckta förhållanden, dvs fiskarter som abborre (*Perca fluviatilis*), braxen (*Abramis brama*) och mört (*Rutilus rutilus*) och undervattensvegetation som nateväxter (*Potamogeton* spp.) och kransalger (Charales) (Viitasalo m.fl. 2017). Eftersom både havs- och sötvattensarter till viss utsträckning inte lever under optimala förhållanden när det gäller salthalt utsätts arterna för stora påfrestningar. Dessa påfrestningar kan bland annat leda till mindre storlek på arterna jämfört med områden där arterna inte utsätts för stressfaktorer (Westerbom m.fl. 2002).

Medel- och maxdjupet i projektområdet är 64 meter respektive 298 meter (SeaGI2.0). De grunda delarna av projektområdet skapar områden med varmare temperaturer, särskilt under våren, till skillnad från de i övrigt kalla vattnen i Bottniska viken. Dessa varmare områden är viktiga för förökningen av arterna, till exempel för flera fiskarter. Isen som täcker projektområdet under vintern har en stor påverkan på havet och påverkar bland annat sedimentering och skrapar bort undervattensvegetation från grunda områden där landis har bildats. Huvudströmmarna i Bottniska viken går norrut längs östkusten och söderut längs västkusten. Det finns också små och mer lokala strömmar som påverkar lokala förhållanden, såsom sedimentering. Strömmarna är vanligtvis starka i Kvarken, eftersom det är en passage för vatten som går mellan Bottenhavet och Bottenviken (Rinkineva och Bader 1998).

### 1.4. Klimatförändringens framtida effekter

I framtiden kan atmosfäriska förändringar till följd av klimatförändringen leda till förändrad lufttemperatur och nederbörd. I haven kan förändrade vattentemperaturer, havsnivåer, stormfloder och havsistäcken förväntas (HELCOM och Baltic Earth 2021; Meier m.fl. 2021). Ökade koldioxidnivåer i atmosfären orsakar även en försurning av haven, vilket leder till en lägre pH-nivå i vattnet (HELCOM 2017), men det är oklart i vilken omfattning pH-värdet i Östersjön skulle förändras (HELCOM & Baltic Earth 2021). Dessa förändringar förväntas i sin tur leda till förändringar av marina arter och samhällen (Viitasalo och Bonsdorff 2021).

De största förändringarna av vattentemperaturen i Östersjön förväntas inträffa under sommaren i Bottniska viken (Meier m.fl. 2021). Ytskikten kommer att värmas mer än djupen, och de genomsnittliga ytvattentemperaturerna i de norra delarna av Östersjön kan öka med mer än 3°C under klimatscenario RCP8.5 (Meier m.fl. 2021). Klimatmodellerna har stora osäkerheter när det gäller vattenbalansen och eftersom avrinningen är den viktigaste faktorn som påverkar salthalten är det mycket oklart om salthalten kommer att öka eller minska. Nederbörden förväntas öka under sommaren samt under vintern i den norra delen av Östersjön, vilket kan leda till en minskning av salthalten. Men ökande temperaturer kan även leda till ökad avdunstning, vilket skulle minska flodavrinningen och inte orsaka en minskning av salthalten. Dessutom påverkar stigningen av havsnivån inflödet av saltvatten till Östersjön vilket kan kompensera för effekten av ökad avrinning, vilket ytterligare komplicerar prognoserna av framtida salthalter.

Den stigande havsnivån orsakas av smältande glaciärer och värmeexpansionen av havsvattnet när det blir varmare. I Bottniska viken förväntas den möjliga havsnivåstigningen kompenseras av den pågående landhöjningen (Meier m.fl. 2021). Stigningen av havsnivån förklaras närmare i avsnitt 2. Framtida förändringar av stormfloder beror på höjningen av havsnivån och ökade vindhastigheter. I nuläget saknas en god förståelse för hur vindarna kan förändras i framtiden, men flera studier visar att en ökning av vindhastigheterna är möjlig, särskilt under hösten (HELCOM & Baltic Earth 2021; Meier m.fl. 2021). Höjningen av havsnivån är den faktor som mest påverkar förändringar av stormfloder (von Storch m.fl. 2015) och man kan anta att en höjning av havsnivån även skulle medföra ökade stormfloder. Detta är dock mycket osäkert.

Istället är mycket beroende av lufttemperaturen under vintern. I nuläget är istället redan mindre och tunnare än det historiska genomsnittet och istället varar under en kortare period. Under vintern 2020 var den årliga maximala havsisutbredningen den lägsta sedan 1720, då mätningarna inleddes (Meier m.fl. 2021). Dessutom var den genomsnittliga utbredningen av havsisen den lägsta någonsin under de senaste 30 åren (Meier m.fl. 2021). Den stigande

temperaturen i framtiden förväntas påskynda dessa förändringar av havsisen (HELCOM & Baltic Earth 2021, Meier m.fl. 2021).

Det är fortfarande mycket oklart hur försurningen av haven kan påverka arter och ekosystem i Östersjön (HELCOM & Baltic Earth 2021), men tillgängliga data visar på att många arter i Östersjön är allmänt toleranta mot lägre pH-värden, men att vissa arter, till exempel arter som bildar skal, kan bli lidande (Navenhand 2012). Samhällen i bräckta vatten förväntas också bli mindre påverkade av försurningen av havet, eftersom de redan har anpassat sig till varierande koldioxidnivåer och pH-värden (Bermudez m.fl. 2016). Vissa studier har dock påträffat tecken på att försurningen tillsammans med varmare vatten kommer att ha större skadeverkningar på samhällen i Östersjön än endast försurningen skulle ha (Viitasalo och Bonsdorff 2021).

Enligt de framtidsmodeller som tagits fram för detta projekt för åren 2070–2099 kommer den genomsnittliga bottenvattentemperaturen på sommaren att öka med 3 °C, istjockleken kommer att minska med mer än 80 % och salthalten beräknas i genomsnitt minska med 0,52 %, eller 10 %, jämfört med referensperioden 1976–2005. Dessa är de viktigaste klimatförändringarna som havsmiljön i projektområdet förväntas möta i framtiden. I den här rapporten går vi inte in i detalj på alla förväntade framtida miljöförändringar, men eftersom dessa (och modellerna för arternas utbredning) är något som resultaten i den här rapporten också bygger på, finns mer information om dem i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*.

Effekterna av klimatförändringen, såsom stigande yttemperaturer i haven, förväntas vara större i Bottniska viken än någon annan del av Östersjön, bland annat eftersom albedo minskar när isen försvinner, vilket leder till ökad uppvärmning (Meier m.fl. 2012). Klimatförändringen kommer att påverka ekosystemen i Östersjön på olika sätt och kan tillsammans med andra mänskliga påfrestningar påverka ekosystemens motståndskraft och göra dem mer sårbara inför framtida förändringar (HELCOM 2013e; von Storch m.fl. 2015; HELCOM & Baltic Earth 2021).

## 2. Ekosystemtjänster

Ekosystemtjänster är naturliga förhållanden och processer genom vilka ekosystemen, och arterna i dem, möjliggör och upprätthåller mänskligt liv (Daily 1997). När det gäller marina ekosystemtjänster innefattar dessa uttryckligen nyttor som ekosystemen ger, som fiskfångst, vattenbruk och vatten för industriellt bruk. Tillsammans bildar de det som kallas "försörjande tjänster", något som den marina miljön direkt erbjuder människan. Förutom produktionen av nyttor utgör ekosystemtjänster de livsuppehållande funktionerna, exempelvis återvinning av näringsämnen, neutralisering av gifter och upprätthållande av fysiska, kemiska och biologiska förhållanden samt även de immateriella estetiska och kulturella fördelar som havslandskapen erbjuder. I litteraturen har ekosystemtjänster delats upp och benämnts på många olika sätt (t.ex. Hattam m.fl. 2015). I FN:s millennieutvärdering av ekosystemen, MA (Millennium Ecosystem Assessment 2005) gjordes den sedan dess mest använda uppdelningen av ekosystemtjänster i fyra kategorier: försörjande tjänster, reglerande tjänster, kulturella tjänster och stödjande tjänster. Numera utelämnar man dock ofta de stödjande tjänsterna, eftersom de utgör de underliggande processerna och funktionerna i ekosystemen som upprätthåller många andra tjänster. I det här arbetet koncentrerar vi oss därför på försörjande tjänster, reglerande tjänster och kulturella tjänster (figur 2).

Begreppet ekosystemtjänster uppkom först på grund av oro för miljöförstöring och förlust av biologisk mångfald och viljan att lyfta upp betydelsen av ekosystem som upprätthåller mänskligt liv (Daily 1997; MA 2005). Ryggraden i konceptet ekosystemtjänster är att främja och legitimera biologisk mångfald och naturskydd samt främja hållbar användning av naturresurser och stödja förvaltning av dem (Daily 1997). Under de senaste årtiondena har begreppet utvecklats till en formell samling information, klassificeringar och riktlinjer. Forskningen om ekosystemtjänster har också ökat betydligt. Betydelsen av ekosystemtjänster för hållbar förvaltning

är allmänt erkänd och Europeiska unionen (EU) har arbetat för att integrera begreppet i sina direktiv och förvaltningsriktlinjer för att säkerställa framtida underhåll och återställande av medlemsstaternas ekosystem och tjänster. Till exempel är förvaltningsmålet i vattendirektivet (2000/60/EG) och ramdirektivet om en marin strategi (2008/56/EG) att uppnå en bättre ekologisk status i havsvatten och i sötvatten så att en hållbar framtida användning av ekosystemtjänster kan säkerställas. Dessa direktiv har integrerats vidare i finsk och svensk lagstiftning och i båda ländernas marina strategi som styr havs- och kustförvaltningen och den fysiska planeringen (MM 2016, 2020; HaV 2020a).

För att integrera ekosystemtjänster i förvaltningsriktlinjer och -planer har det krävts att man utvecklar olika sätt och åtgärder för att värdera och uppskatta ekosystemtjänster och de förändringar som sker inom dem i miljöer som påverkas av människan. Värderingen av ekosystemtjänster är till sin natur tvärvetenskaplig och kräver en kombination av naturvetenskapliga och samhällsvetenskapliga metoder för att hitta kopplingar mellan ekosystem, tillhandahållandet av ekosystemtjänster och mänskligt välbefinnande (Ahtiainen & Öhman 2014). Värdering av ekosystemtjänster kan göras på tre nivåer: kvalitativ, kvantitativ och monetär (White m.fl. 2011). Utöver de olika metoderna för att värdera och beräkna ekosystemtjänster har även klassificeringssystemen varit många vilket försvårar försök att jämföra ekosystem, de metoder som används eller de tjänster som produceras (Fisher m.fl. 2009; Costanza m.fl. 1997; MA 2005; Hattam m.fl. 2015). Haines-Young & Potschin (2012) försökte ta itu med dessa problem genom att tillhandahålla ett standardiserat klassificeringssystem för ekosystemtjänster och samordnade utvecklingen av det gemensamma internationella klassificeringssystemet för ekosystemtjänster (CICES). Denna klassificering organiserar ekosystemtjänster hierarkiskt och främjar en grundlig granskning av olika tjänster, och den har välkomnats av många aktörer, exempelvis EU



**Figur 2. Ekosystemtjänster delas ofta in i tre huvudkategorier: försörjande tjänster, reglerande tjänster samt kulturella tjänster. Bilder: Anniina Saarinen/Länsstyrelsen Västerbotten, Juuso Haapaniemi/Forststyrelsen & Seger Marketing.**

(Europeiska kommissionen 2011; Maes m.fl. 2015). I den här texten använder vi oss därför också av CICES-klassificeringssystemet.

Klimatförändringen kommer att påverka ekosystemen och de tjänster de producerar i Östersjön (t.ex. HELCOM 2007). Förändringar på ekosystemnivå beror på hur olika arter kommer att påverkas av det förändrade klimatet, och på grund av olika faktorer (exempelvis osäkra framtida förändringar i miljövariabler, ekosystemens motståndskraft och samverkan mellan arter) är de förväntade förändringarna på artnivå mycket osäkra (t.ex. Viitasalo m.fl. 2015). Omfattningen på dessa förändringar är dessutom beroende av de val vi människor gör under de kommande årtiondena när det gäller klimatåtgärder och åtgärder för att hantera andra hot mot Östersjön som föroreningar och försämring av habitat. Oavsett osäkerheterna i det föränderliga klimatet är det dock viktigt att förutse hur tillhandahållandet av ekosystemtjänster kan komma att förändras i framtiden och hur denna information kan användas för att

fastställa hållbara framtida förvaltningsplaner. Inom forskningen om ekosystemtjänster har också bristen på tillräcklig kunskap om framtida förändringar av ekosystemtjänster i Östersjön erkänts och efterlysts (Ahtiainen & Öhman 2014). Utöver detta projekt har även andra projekt (t.ex. SmartSea) samlat in information om förändringarna.

Utgående från de framtidsmodeller som använts i det här projektet samt litteratur och olika expertutlåtanden har vi bedömt det nuvarande tillhandahållandet av ekosystemtjänster och uppskattat de förändringar som det varmare klimatet kommer att medföra för dessa tjänster om 100 år. Detta har gjorts med hjälp av en metod som kallas Verktyg för bedömning av marina ekosystemtjänster (Marine Ecosystem Services Assessment Tool, MESAT) (Inácio m.fl. 2018). Bedömningen gjordes för tre separata pilotområden inom EConnects projektområde för att kunna förutspå framtida förändringar i olika typer av havsområden. Genom att använda mindre och väldefinierade pilotområden blir utvärdering-

en av ekosystemtjänster mer tillförlitlig. Dessutom bedömdes de mer omfattande förändringarna av ekosystemtjänster i hela projektområdet till följd av klimatförändringarna med hjälp av ett ekosystemtjänstindex som konstruerades i detta projekt baserat på artutbredningsmodeller (läs mer om artutbredningsmodeller i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*).

### 2.1. Ekosystemtjänster i projektområdet

Från de djupa vattnen vid Höga kusten i Sverige till den grunda skärgården i Finland – projektområdet innefattar en mångfald av olika naturtyper, habitat och arter och ger oss därför ett stort antal olika ekosystemtjänster. Det förmodligen mest kända ekosystemtjänsten som naturen ger oss i området är fisk. Småskaligt fiske bedrivs i hela projektområdet och de arter som fiskas är främst strömming (*Clupea harengus membras*), sik (*Coregonus lavaretus*; Luke 2021) och lax (*Salmo salar*; Havet 2021). Fritidsfiske är också vanligt i området. Fiskodling på den finska sidan av projektområdet bidrar ytterligare till detta tillhandahållande av ekosystemtjänster. På den svenska sidan av projektområdet har vattenbaserade vattenbrukssystem nyligen lagts ned av miljöskäl.

Försörjningstjänster kan endast existera om det finns välfungerande stödjandetjänster och reglerande tjänster (Daily 1997; MA 2005). Reglerande tjänster innefattar till exempel bevarande av yngelbestånd och habitat. Det måste finnas särskilda typer av habitat, bottenstrukturer och vegetation för att olika fiskarter ska kunna föröka sig. Fiskarter i projektområdet, exempelvis sik, föredrar grunda sandbottenar (Veneranta m.fl. 2013) medan abborre (*Perca fluviatilis*) och gädda (*Esox lucius*) behöver skyddade områden med tät vegetation som bladvass (*Phragmites australis*) och nateväxter (Snickars m.fl. 2009). Tack vare den snabba landhöjningen är laguner en typisk och rikligt förekommande naturtyp i projektområdet, särskilt i Kvarken. De utgör inte bara reproduktions- och uppväxtmiljöer för fisk utan är också viktiga platser för den biologiska mångfalden hos olika arter av vaskulära växter och

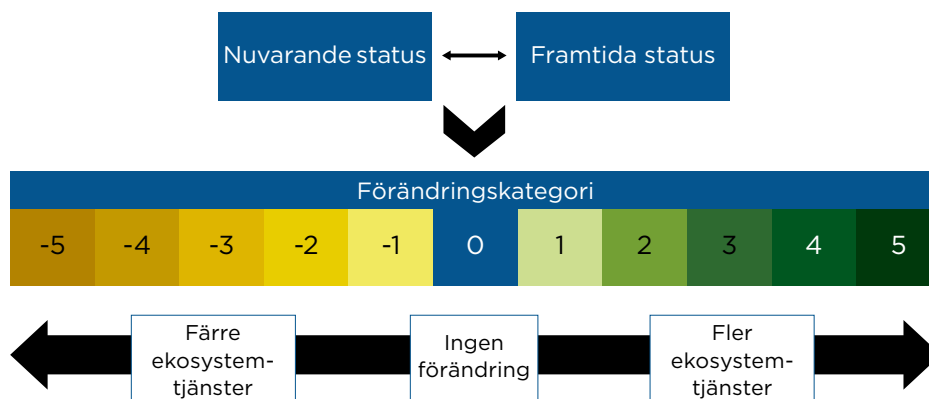
makroalger (Naturvårdsverket 2011). Det syre som dessa undervattensväxter och alger producerar tillsammans med fytoplankton är också en del av de reglerande och stödjande ekosystemtjänsterna. NASA har uppskattat att det syre som produceras av växtplankton genom fotosyntes utgör 50–90 procent av det syre vi andas beroende på årstid (Hoppenrath m.fl. 2009). Både fytoplankton (Hutchins & Fu 2017) och makrovegetation (Marbà m.fl. 2015) har en viktig roll i regleringen av klimatet eftersom de binder koldioxid genom fotosyntesen. Växtligheten spelar också en viktig roll för att motverka erosion vid strandlinjer genom att effektivt binda sedimentet med rötterna och genom att minska effekten av vågorna (Madsen m.fl. 2001). På havsbotten tar fauna och bakterier som lever i sedimenten hand om nedbrytningen av det organiska material som inte utnyttjas av andra organismer (Carstensen m.fl. 2014). Biologisk mångfald är grunden för alla ekosystemtjänster. Ekosystemen i Östersjön är redan känsliga på grund av det låga antalet arter (Johanssen & André 2006) och den begränsade artrikedomen. Genetisk variation behövs för att arter ska kunna anpassa sig till den föränderliga miljön. Dessutom är ett friskt och artrikt ekosystem också mer motståndskraftigt mot andra stressfaktorer (Laikre m.fl. 2016), som exempelvis främmande arter som kan försöka etablera sig i området.

Projektområdet är också rikt på kulturella ekosystemtjänster och särskilt Kvarken har en intressant geologisk historia. För omkring 20 000 år sedan täcktes Kvarken av ett 2 500–3 000 meter tjockt istäcke (Poutanen & Steffen 2014). När detta glaciala istäcke smälte lämnade det efter sig geologiska formationer som fortfarande stiger upp ur havet i en snabb postglacial landhöjning. De 5 600 öarna i Kvarkens skärgård utgör olika moränformationer (Unesco 2021) som är fulla av fågelliv och är kulturarvsobjekt. Det finns hundratals gamla byggnader, från fyror till fiskestugor, både på öarna och på fastlandet i Sverige och Finland (SeaGIS2.0). I dag bor många människor eller har sina sommarstugor nära havet. Västerbottens stränder är till exempel bland de mest exploaterade i hela Sverige. Över 37 procent av fastlandsstränderna är bebyggda närmare än 100 meter från stranden (Lundberg & Nilsson 2018).

### 3. Utvärderingsverktyget (MESAT)

MESAT-utvärderingsverktyget (Marine Ecosystem Services Assessment Tool, MESAT) är en metod och ett verktyg som utvecklats av Inácio m.fl. (2018) för att hantera förändringar i tillhandahållandet av ekosystemtjänster över tid i havs- och kustområden. Verktöget bygger på antagandet att förändringar i ekosystemets funktioner och strukturer kan påverka systemets förmåga att tillhandahålla ekosystemtjänster. Ursprungligen byggdes verktöget för att jämföra förändringar i tillhandahållandet av ekosystemtjänster mellan nutiden och de senaste årtiondena för att se hur tjänsterna har förändrats fram till idag, men i det här projektet har verktöget modifierats för att hantera förändringar mellan nutid och framtid för att utvärdera de effekter som klimatförändringen har på ekosystemen. MESAT är ett praktiskt verktyg för att bedöma försörjande, reglerande och kulturella tjänster inom ett specifikt begränsat område. Projektet EConnects område omfattar cirka 40 000 km<sup>2</sup> (exklusive landområden som öar) och inom det stora området finns många olika ekosystem, och habitat förändras gradvis, vilket innebär utmaningar för bedömningen av ekosystemtjänster. Genom att koncentrera sig på bedömningen av ekosystemtjänster i mindre skala kan man se förändringar i olika typer av havsområden.

Dessutom är det svårt att hitta uppgifter om indikatorvärden för ett så stort område och risken för fel ökar när man uppskattar stora områden. I stället för att utvärdera ekosystemtjänster för hela projektområdet valdes därför tre separata pilotområden inom projektområdet ut för MESAT-metoden (figur 4), vilket gjorde utvärderingsprocessen enklare och mer tillförlitlig. Pilotområdenas ekosystemtjänster beskriver inte direkt eller är jämförbara med projektområdets ekosystemtjänster, men de ger indikationer på mer omfattande förändringar i området och beskriver på ett bra sätt de rumsliga skillnaderna inom projektområdets olika miljöer. Vi koncentrerade oss på ekosystemtjänster som tillhandahålls av Östersjön och kustområdena i dess omedelbara närhet (högst 1 km från kusten). Det är svårt att skilja på effekterna av klimatförändringen och minskningen av näringsämnen på tillhandahållandet av ekosystemtjänster från andra faktorer som påverkar ekosystemen i framtiden. Det är därför viktigt att notera att utöver effekterna av klimatförändringen och minskningen av näringsämnen förväntar vi oss också att exploateringen av havsområden kommer att öka i framtiden i projektområdet och att detta kommer att påverka många ekosystemtjänster. Vi har eftersträvat att dessa antropogena faktorer ska



**Figur 3. Modifierat från Inácio m.fl. (2018). Skillnaden mellan indikatorvärdena (nutid/framtid) fördelas i en förändringskategori som förmedlar den relativa förändringen av tillhandahållandet av ekosystemtjänster och gör det möjligt att jämföra olika indikatorer.**

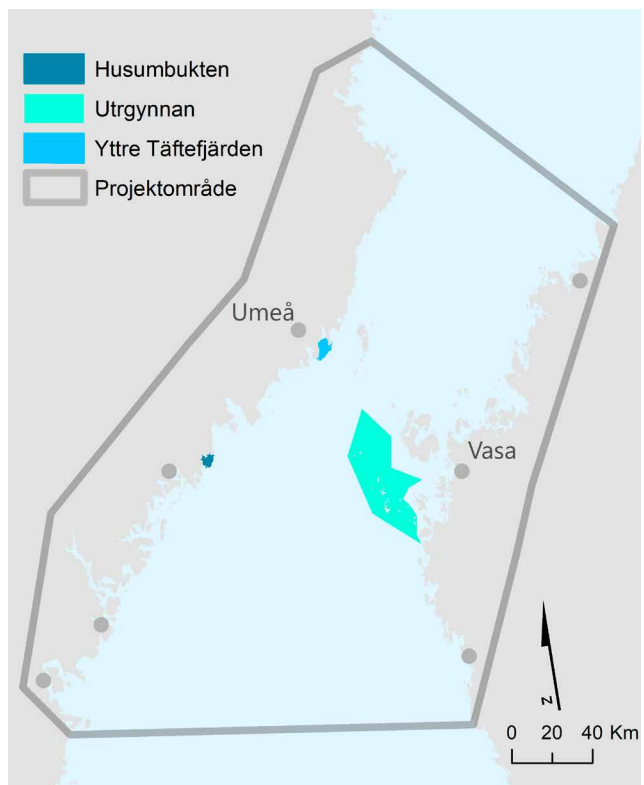
tas med i beräkningen för att de har en stor inverkan på många tjänster, men vårt huvudsakliga fokus har varit på effekterna av klimatförändringen och på begränsningen av övergödning.

I MESAT klassificeras ekosystemtjänster enligt CICES version 4.3 och den relativa förändringen i tillhandahållandet av ekosystemtjänster har utvärderats med hjälp av en uppsättning indikatorer som är representativa för tjänsterna (Inácio m.fl. 2018). För varje ekosystemtjänst har därför en uppsättning på 1–6 indikatorer använts för att bedöma förändringen i varje tjänst (tabell 1). För de olika indikatorerna bedömdes de nuvarande och framtida värdena separat och sedan omvandlades den totala förändringen (nuvarande jämfört med framtida) till förändringskategorier på Likertskalan för att kunna jämföra förändringens storlek mellan olika indikatorer (figur 3). Förändringen i varje indikator varierar därför från -5 till +5 på Likertskalan. Minusvärden visar på en minskning av tillhandahållandet av ekosystemtjänster och plusvärden visar på en ökning. Förändringen i ekosystemtjänster mellan nutid och framtid räknades fram genom att ta ett medeltal av alla indikatorvärden som beskrev samma ekosystemtjänst. Den framtida förändringen av indikatorerna har utvärderats med hjälp av olika informationskällor: modellering, litteratur, expertutlåtanden och databaser. En fullständig förteckning över datakällor för varje indikator finns i tabell A3 i bilagan. I den här MESAT-utvärderingen har den nuvarande tidsperioden fastställts till åren 2010–2020 och den utvärderade framtida tidsperioden har omfattat åren 2100–2120. **En grundlig metodik för den MESAT-utvärdering som utfördes i detta projekt finns i avsnitt A1 i bilagan.**

### 3.1. Pilotområden

Pilotområden som användes för MESAT-utvärderingen var Utgrynnan-Molpehällorna på den finska sidan av projektområdet samt Yttre Täftefjärden och Husumbukten på den svenska sidan av projektområdet (figur 4). Utgrynnan-Molpehällorna är

ett stort havsområde som sträcker sig långt ut i de yttre havsområdena med flera öar som skapar olika typer av miljöer. Området har olika naturtyper, från skyddade laguner och ekosystem med mjuk botten till habitat med klippiga rev. Yttre Täftefjärden och Husumbukten är däremot mindre områden, havsvikar nära fastlandet. Områdena och kusterna runt båda de svenska pilotområdena är tätbefolkade och används för mänsklig verksamhet. I Husumbukten ligger också en pappersfabrik. Vegetationen i båda de svenska pilotområdena består till stor del av fauna och flora på mjuk botten, även om organismer på hård botten också förekommer, men i mindre utsträckning. Det finns ekologiskt viktiga laguner i Yttre Täftefjärden. **En mer detaljerad beskrivning av varje pilotområde finns i avsnitt A2 i bilagan.**



**Figur 4. Pilotområden (Husumbukten, Utgrynnan-Molpehällorna och Yttre Täftefjärden) inom EConnect-projektområdet.**



Foto: Ulrika Björkman, Forststyrelsen



Foto: Pekka Lehtonen, Forststyrelsen

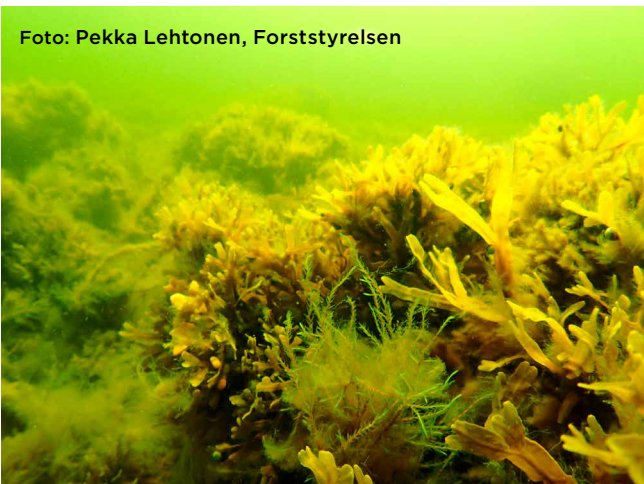


Foto: Pekka Lehtonen, Forststyrelsen

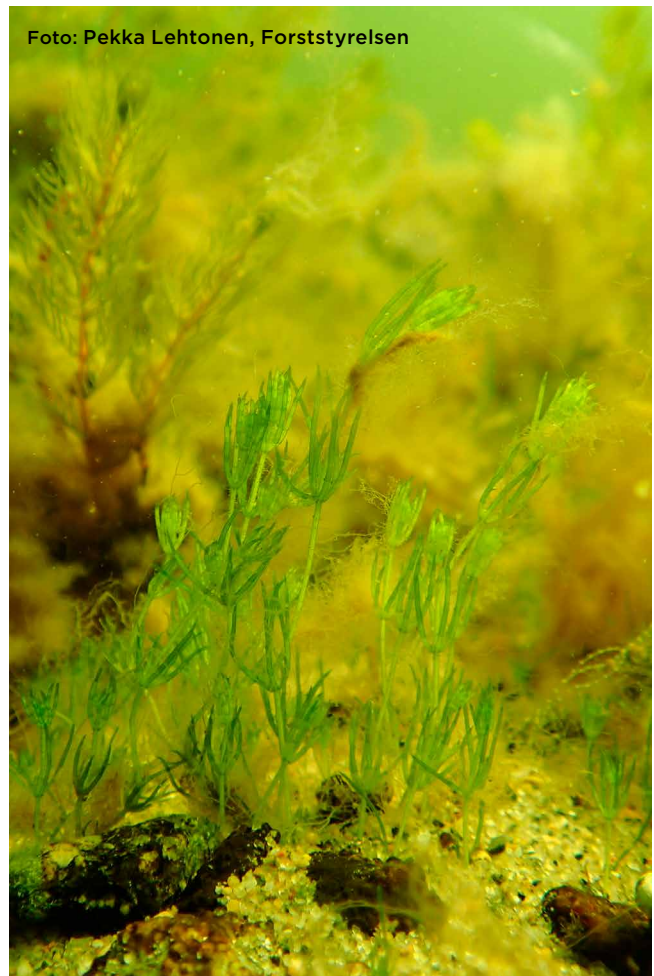


Foto: Essi Keskinen, Forststyrelsen



Utgrynnan-Molpehällornas pilotområde är ett stort havsområde med många öar och området sträcker sig långt ut i det yttre havsområdet. Det finns många olika ekosystem i området, från vackra revmiljöer till frodig vegetation på mjuka bottenar. Kulturarvet i området är rikt.

Foto: Anniina Saarinen,  
Länsstyrelsen Västerbotten



Foto: Anniina Saarinen,  
Länsstyrelsen Västerbotten

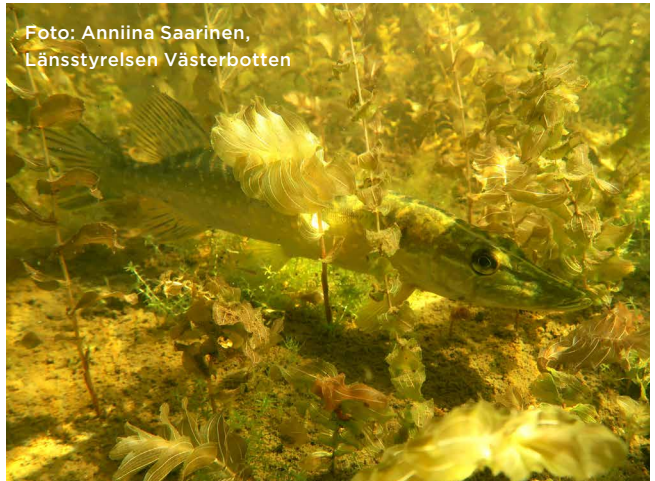


Foto: Johnny Berglund,  
Länsstyrelsen Västerbotten



Foto: Anniina Saarinen,  
Länsstyrelsen Västerbotten



**Pilotområdet Yttre Täftefjärden är en stor havsvik nära fastlandet och omfattar kustnära laguner som är hotspots för den biologiska mångfalden. I dessa skyddade vikar kan du se exempelvis gäddor i den frodiga vegetationen.**

Foto: Karin Jönsson,  
Länsstyrelsen Västernorrland

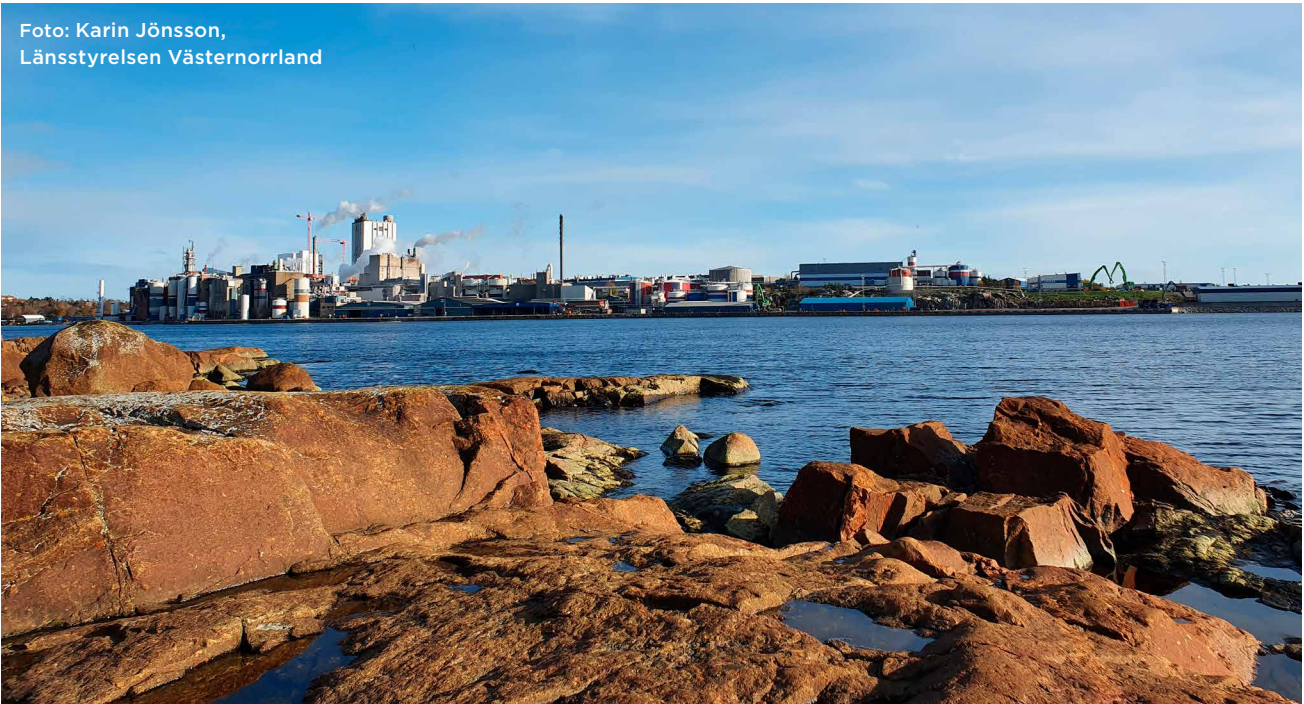


Foto: Karin Jönsson,  
Länsstyrelsen Västernorrland

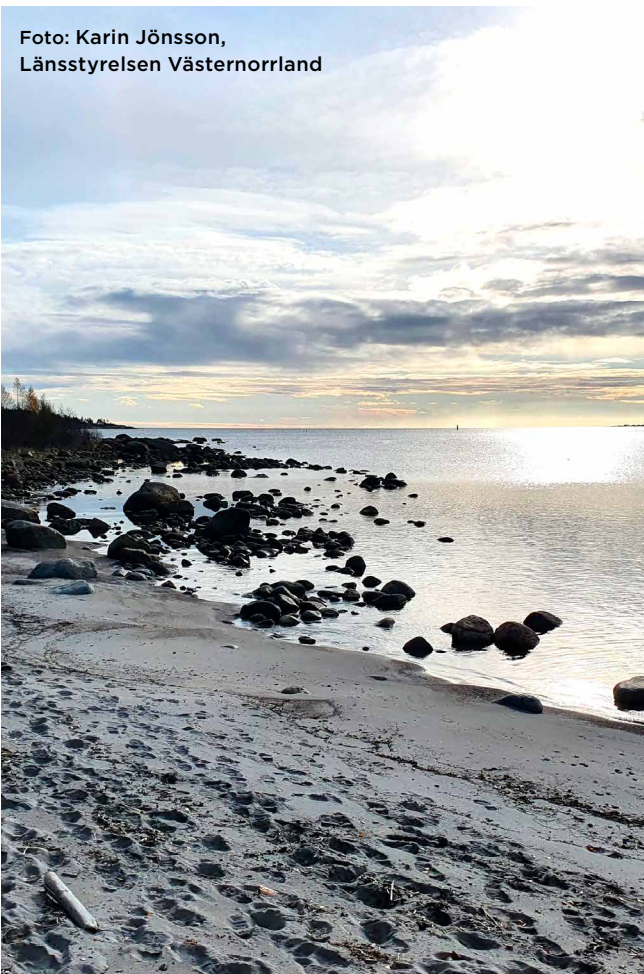


Foto: Lotta Nygård,  
Länsstyrelsen Västernorrland



Foto: David Rocksén,  
Länsstyrelsen Västernorrland



Husumbuktens pilotområde är en liten bukt nära fastlandet. Habitatet i området består huvudsakligen av flora och fauna på mjuk botten. Viken används också för industriell verksamhet.

## 3.2. Resultat

### Ekosystemtjänster nu och om 100 år

I det här avsnittet förklaras först de allmänna förändringarna i ekosystemtjänster i området. De specifika resultaten för varje pilotområde presenteras därefter. I följande avsnitt delar de utvärderade ekosystemtjänsterna in texten i kapitel och namnen på tjänsterna anges i *kursiv stil*. I kapitlen är de olika indikatorer som använts för att utvärdera tjänsterna markerade **med fetstil**.

#### 3.2.1. Allmänna förändringar i försörjande tjänster

Försörjande tjänsterna är direkta produkter såsom fisk, vatten och råvaror som vi får från naturen. En av de säkraste effekterna av klimatförändringen är att vattentemperaturen kommer att öka (HELCOM & Baltic Earth 2021; von Storch m.fl. 2015; ECONnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*). Det kommer att påverka tillhandahållandet av tjänster både direkt och indirekt. Alla arter har ett specifikt toleransspann för olika miljöparametrar, exempelvis temperatur. Men även om en art tål de nya temperaturerna kan dess bytesdjur eller uppväxtmiljöer påverkas negativt av klimatförändringen. Här räknar vi upp de allmänna förändringarna i ekosystemtjänster som förväntas ske i alla pilotområden.

##### *Livsmedel från vilda djur*

Det är uppenbart att klimatförändringen kommer att påverka de flesta fiskarter, och vissa effekter kan man se redan i dag (Pankhurst m.fl. 2011). I projektet har vi försökt förutse några av klimatförändringens effekter på fiskarter som fiskas kommersiellt i pilotområdena. Samtidigt har vi försökt göra kvalificerade gissningar på basis av expertutlåtanden och litterära källor om vilka arter som kan vara viktiga för fisket i framtiden. I dag är de varmvattenanpassade fiskar som fiskas kommersiellt i pilotområdena gädda, abborre, karpfiskar och gös (*Sander lucioperca*) (HaV 2020b; Luke 2021). Av dessa varmvattenarter är det bara abborre som kan räknas som en viktig kommersiell art, eftersom fångsterna av gädda, karpfiskar och gös är marginella. De fiskarter som är anpassade till kallt vatten utgör de flesta av

de viktigaste kommersiella arterna i pilotområdena. Det rör sig bland annat om lax, sik, nors (*Osmerus eperlanus*) och strömming, även om det finns stora skillnader i fångststorlek mellan pilotområdena. Även lake (*Lota lota*) fiskas kommersiellt, men i mindre utsträckning, och havsöring (*Salmo trutta*) fångas som bifångst och har ett visst kommersiellt värde (HaV 2020b; Luke 2021).

Det är viktigt att notera att även mänsklig verksamhet, utöver klimatförändringen, kommer att påverka fiskets framtid. Om 100 år vet man inte vilka fiskarter som fångas och för vilka ändamål. Fiske-metoderna kan vara annorlunda och efterfrågan på specifika arter kan skilja sig från dagens. Dessutom påverkas flera fiskarter negativt redan i dag av att lek- och uppväxtmiljöer förändras och försämras genom kustbyggnationer, muddring och fysiska hinder (Sundblad m.fl. 2014; Sundblad & Bergström 2014). Lyckligtvis har restaurering av habitat, naturskydd och fysisk havsplanering identifierats som sätt att motverka exploatering och annan skadlig mänsklig påverkan på fiskbestånden (Geist & Hawkins 2016; Ehler 2018; HELCOM & Baltic Earth 2021). Rovfisk har dessutom en påverkan på flera andra fiskarter, och de kommer också att påverka fiskpopulationens dynamik i framtiden (Hansson m.fl. 2018).

Gädda, abborre och karpfiskar är exempel på fiskar som påverkas negativt av exploatering av kuster (Sundblad & Bergström 2014) men som kan påverkas positivt av klimatförändringen eftersom de i deras tidiga livsstadier utvecklas snabbare i varmare vatten (Härmä m.fl. 2008; Engstedt m.fl. 2010; Kokkonen m.fl. 2019). I framtiden kan dessa arters reproduktionsområden också bli större tack vare högre vattentemperaturer och lägre salthalt (MacKenzie m.fl. 2007), vilket skulle öka bestånden av vuxen fisk ytterligare (Sundblad m.fl. 2014). Gösbestånd kommer sannolikt också att trivas i ett varmare klimat, vilket förväntas bidra avsevärt till framtida fångster (Pekcan-Hekim m.fl. 2011). Gös är en rovfisk och äter små abborrar (Lehtonen m.fl. 1996) och klimatförändringarna skulle på så sätt kunna ha en indirekt negativ effekt på abborren i Bottniska viken genom en ökning av gösbeståndet. Om populationerna av storspigg (*Gasterosteus aculeatus*), som också verkar gynnas av högre vattentemperaturer, fortsätter att öka, vilket studier från den svenska Östersjökusten visar (Ljunggren m.fl. 2010; Eriksson m.fl. 2011; Bergström m.fl. 2015), så kan både abborrens och gäddans reproduktion påverkas negativt

av storspiggens predation på deras ägg och larver (Byström m.fl. 2015; Nilsson m.fl. 2019; Eklöf m.fl. 2020).

Framtiden för kallvattenarter i varmare klimat verkar mer problematisk. Generellt sett förväntas alla laxfiskar, som under sin livscykel lever både i sötvatten och i havet, exempelvis lax och havsöring, påverkas negativt av klimatförändringen på grund av att vattnen blir varmare. De sydligaste populationerna i Östersjön och på andra håll i världen kan till och med bli utrotade (Jonsson & Jonsson 2009). Östersjöns lax- och havsöringsbestånd har historiskt sett varit i dåligt skick på grund av att vattendrag har dämats upp för elproduktion, fiske och förstörelse av habitat. Dessa problem har delvis åtgärdats genom fiskebegränsningar och återställande av habitat, men de fysiska hindren i form av dammar utgör fortfarande ett allvarligt hot mot de naturliga bestånden (Ignatius & Haapasaari 2018). Klimatförändringen är en ytterligare stressfaktor som påverkar laxbestånden och gör laxen mer mottaglig för infektionssjukdomar (Miller m.fl. 2014). På grund av de långsiktiga skadliga effekterna på laxbestånden i Östersjön och artens höga ekonomiska värde har utsättning av fisk spelat en viktig roll för att upprätthålla bestånden (MMM 2015). Vi förväntar oss att utplanteringen av laxfiskar kommer att fortsätta i stor omfattning även i framtiden, vilket kommer att motverka åtminstone en del av de negativa framtida effekterna på laxfiskbestånden, och vi förväntar oss därför endast en liten minskning av fångsterna av laxfiskar i pilotområdena. Det finns också en växande förhoppning om att utsättning av lax i viss utsträckning kan i framtiden ersättas av restaurering av lekområden och vandringsvägar.

Den havslekande siken visar redan tecken på att påverkas negativt av högre temperaturer, minskat istäcke och övergödning (Veneranta m.fl. 2013). Siken förväntas därför minska i pilotområdena i framtiden. Laken är rödlistad i Sverige och förväntas också minska i framtiden på grund av uppvärmningen av vattnen tillsammans med andra stressfaktorer som föroreningar och förurning (Stapanian m.fl. 2010). Strömmingbestånden förväntas öka något till en början på grund av de varma vattnen, men endast om strömmingfisket är på en hållbar nivå (Bartolino m.fl. 2014). Strömming kan också påverkas negativt av minskad salthalt eller minskad tillgång på föda (SmartSea 2018a Engelhard & Heino 2006). Siklöjans (*Coregonus albula*) lekområden är i dag

begränsade till den nordligaste delen av Bottniska viken, förmodligen på grund av för hög salthalt i sydliga delarna (Veneranta m.fl. 2013). Om klimatförändringen leder till lägre salthalter kan detta innebära att siklöja kan leka i projektområdet i framtiden. Siklöjabestånden kan också förväntas öka i projektområdet om strömmingbeståndets storlek minskar (SmartSea 2018a). Även om siklöjan också föredrar kallare vatten (Bergström m.fl. 2011), vilket kan begränsa dess förekomst i de södra delarna av projektområdet i framtiden, även om salthalten sjunker till mer gynnsamma nivåer för arten.

Minst två introducerade fiskarter förväntas etablera sig i pilotområdena under de kommande 100 åren. Dessa arter är svartmunnad smörbult (*Neogobius melanostomus*) och silverruda (*Carassius gibelio*), som redan förekommer särskilt i Finska viken och i Skärgårdshavet. Hur många introducerade arter som kommer till pilotområdena i framtiden beror på vilka åtgärder som vidtas i dag för att förhindra att introducerade arter kommer till Östersjön, till exempel via fartygens barlastvatten. Även om man befarar att introducerade arter påverkar det inhemska ekosystemet negativt genom konkurrens och predation har invasioner av främmande fiskarter ännu inte lett till att inhemska arter har försvunnit, även om de kan orsaka förändringar i de inhemska arternas populationsstorlekar. Det finns dock också potential för introducerade arter att fiskas och användas för kommersiella ändamål, exempelvis som livsmedel. Svartmunnad smörbult fiskas redan både kommersiellt och för rekreation, exempelvis i Lettland och Ryssland (ICES 2019). Dessutom har den invasiva främmande arten puckellax (*Oncorhynchus gorbuscha*) nyligen observerats längs den svenska västkusten och på Jylland i Danmark, och det finns också en oro för att arten kommer att sprida sig vidare in i Östersjön (Petersson m.fl. 2018). Arten har dock tidigare introducerats i Östersjön av Ryssland, och hittills har utplanteringar i områden med bräckt vatten inte varit särskilt framgångsrika.

Sammanfattningsvis kan man säga att **fångster av kallvattenarter**, liksom **fångster av viktiga kommersiella arter**, som i pilotområdena främst omfattar fiskarter som är anpassade till kallare vatten, sannolikt kommer att minska i framtiden, medan **fångster av varmvattenarter** som abborre, gädda, gös och karpfiskar förväntas öka i takt med att vattnet blir varmare. Det är därför möjligt att vissa varmvattenarter i framtiden kan bli viktiga kommersiella arter

för fisket, medan vissa kallvattenarter kommer att fiskas i mindre utsträckning. Det är dock viktigt att komma ihåg att ekologiska system är komplexa och att till exempel bytesarter till varmvattenfiskar kan påverkas negativt av klimatförändringen och därför indirekt leda till negativa effekter även för vissa varmvattenfiskar. De främmande arterna svartmunad smörbult och preussisk karp har inkluderats i fångsterna av varmvattenarter eftersom det inte finns några tydliga bevis för att de har invasiva egenskaper som allvarligt skulle skada inhemska arter. När det gäller fiskfångster kan de alltså vara till nytta för människan. Spridningen av främmande arter till nya områden bör dock fortfarande alltid betraktas som negativ ur ekologisk synvinkel, och därför bedöms spridningen av främmande arter negativt i den mer ekologiska aspekten i tjänsten "bevarande av yngelbestånd och habitat" under indikatorn "uppväxtmiljöer för varmvattenfiskarter".

### *Livsmedel från vilda växter och alger*

Vid projektområdets kuster är havtorn (*Hippophaë rhamnoides*) den enda ekonomiskt värdefulla växtarten. Den växer på land i karga och öppna kustområden där den får mycket direkt solljus. Arten förekommer naturligt även i varmare klimat (GBIF 2021), så det är inte troligt att en ökad lufttemperatur kommer att utgöra ett hot mot arten i framtiden i projektområdet. Det finns flera andra direkta och indirekta faktorer som orsakas av klimatförändringen och som påverkar arten. Idag gynnas arten av istäcket eftersom den klarar isskrapning och konkurrerande vegetation skrapas bort. I framtiden kan därmed arten påverkas negativt av ett minskat istäcke (von Storch m.fl. 2015; Christidis m.fl. 2007). Å andra sidan förväntar vi oss att **skörden** av havtorn kommer att öka något i framtiden (expertgruppen 2020) på grund av det varmare klimatet och den längre växtsäsongen (von Storch m.fl. 2015; Christidis m.fl. 2007). Av pilotområdena finns arten i betydande mängder endast i Utgrynnan-Molpehällorna.

### *Djur från in situ-vattenbruk, och ytvatten för andra ändamål än dricksvatten*

Enligt både den svenska och den finska marina strategin för Östersjön förväntas **fiskodlingen** öka under de kommande åren (MM 2016, 2020; HaV 2020a). Efterfrågan på odlad fisk är stor i hela världen eftersom många vilda fiskbestånd är överfiskade (Hilborn m.fl. 2003) och samtidigt ökar befolk-

ningen i världen (FN 2010). Redan i dag kommer 40 procent av all fisk i världen som konsumeras direkt av människor från fiskodlingar (Goldburg & Naylor 2005). Tyvärr matas odlad fisk ofta med foder som produceras av vild fisk, vilket bidrar till att de vilda fiskbestånden minskar globalt. Dessutom är fiskodling en källa till flera andra miljöproblem, exempelvis förstörelse av habitat, patogener och övergödning (Naylor m.fl. 1998). Vi förväntar oss dock en ökning av fiskodlingen i pilotområden på grund av de båda ländernas marina strategier. Det är oklart hur fiskodlingen kommer att se ut i framtiden och om den kommer att ske på land eller i öppna kassar i havet, men vi förväntar oss att det kommer att finnas mer miljövänliga sätt att odla fisk om 100 år tack vare tekniska framsteg. Om fiskodling sker på land i framtiden kommer **användningen av havsvatten** i dessa system att öka. Vi förväntar oss också att **antalet arter i fiskodlingar** kommer att öka i framtiden på grund av ökad efterfrågan på odlade fiskprodukter och varmare vatten som gör det möjligt att använda nya arter i fiskodling. Eftersom vattenbruk i havet har upphört på den svenska sidan av projektområdet under de senaste åren av miljöskäl, förväntas ökningen av fiskodling särskilt där ske i landbaserade slutna system. I pilotområdet Husumbukten kan användningen av havsvatten också öka i framtiden om verksamheten på pappersfabriken ökar.

### *Fibrer och andra material från växter, alger och djur för direkt användning eller bearbetning*

I framtiden är det möjligt att vi använder material från växter, alger eller djur på sätt som vi inte kan föreställa oss i dag. Marina organismer studeras över hela världen som en källa till nya läkemedel, naturprodukter och föreningar (Munro m.fl. 1999; Faulkner 2001; Mazur-Marzec m.fl. 2014). I Finland och Sverige har bladvass historiskt sett använts som takmaterial, och eftersom bladvass är en riklig och vanlig växt kan den vara en potentiell källa till material även i framtiden (Dervishi & El-Zoubi 2012). Bladvass ses redan som en potentiell ersättare för torv som såbädd för trädgårdsanvändning och dess ekonomiska värde kan öka i framtiden (John Nurminens Stiftelse 2021). I dag ser man en stor potential inom blå tillväxt även bland fisk- och mikroalger (Ahvonen m.fl. 2019; Latokartano 2018). I ett projekt som kallas "Blue products" har man kartlagt nya möjliga sätt att använda fiskmaterial i framtida livsmedel och andra produkter (Ahvonen m.fl. 2019). I dag används en stor del av strömmingfångsterna

i Finland och Sverige som djurfoder, och framtida potentiella användningsområden för fiskmaterial-  
et är medicin, kosmetika och människoföda, där  
effektivare utnyttjande av resursen skulle kunna  
leda till högre avkastning (Ahvonen m.fl. 2019). En  
omfattande användning av vild fisk som djurfoder är  
inte hållbar och därför är det bättre att den framtida  
användningen koncentreras till mänsklig konsum-  
tion och förädlade produkter av högre kvalitet som  
produceras på ett hållbart sätt. Vi förväntar oss att  
Östersjön, inklusive pilotområdena, kommer att bli  
en källa för fler **blå produkter** i framtiden.

### 3.2.2. Allmänna förändringar i reglerande tjänster

Primärproduktion och återvinning av näringsäm-  
nen är exempel på reglerande tjänster (Inácio m.fl.  
2018; Haines-Young & Potschin 2012). Dessa tjänster  
består av ekosystemprocesser som upprätthåller  
miljöförhållanden som är gynnsamma för männis-  
kan. Nedan listas allmänna förändringar i reglerande  
tjänster som förväntas ske i alla pilotområden.

#### *Filtrering/bindning/lagring/ackumulering i ekosystemen*

Omfattande förändringar i miljöförhållandena kom-  
mer att påverka arters och ekosystemens förmå-  
ga att filtrera, binda, lagra och ackumulera olika  
ämnen, exempelvis näringsämnen, och förändra  
flödet av organiskt material och näringskedjornas  
funktion. Om reduktionsmålet för näringstillförseln  
i BSAP uppfylls i framtiden kommer det att påver-  
ka projektområdets totala näringsbudget, vilket i  
stor utsträckning kommer att avspeglas i ekosys-  
temens funktion. Enligt de modeller som använts i  
detta projekt förväntas den totala produktionen av  
fytoplankton minska i framtiden. Liknande mode-  
llerade framtida förändringar har upptäckts av Meier  
m.fl. 2012. Den största minskningen förväntas ske  
i produktionen av kiselalger och dinoflagellater.  
Produktionen av växtplankton står för en stor del av  
den årliga primärproduktionen och stöder pelagisk  
och bentisk sekundärproduktion (t.ex. Hjerne m.fl.  
2019; Zdun m.fl. 2021). Denna minskning av **primär-  
produktionen** förväntas ha en positiv effekt på eko-  
systemen eftersom en lägre pelagisk primärproduk-  
tion är ett naturligt kännetecken för Bottniska viken.  
**Kvävefixeringen** förväntas också minska enligt de  
modeller som använts i denna studie. Denna för-  
ändring är kopplad till ett fenomen där ett mindre

övergött tillstånd leder till högre N/P-kvot (det  
vill säga förhållandet mellan kväve och fosfor) och  
därmed till minskad kvävefixering (Friedland m.fl.  
2012). Cyanobakteriearter som ansvarar för kväve-  
fixering kan också konsumera upplöst oorganiskt  
kväve (DIN) och övergå till kvävefixering endast när  
tillgången på DIN-källor minskar (t.ex. Agawin m.fl.  
2007). En minskning av kvävefixeringen anses ha  
en positiv effekt på ekosystemnivå eftersom den  
ytterligare minskar ackumuleringen av överflödiga  
näringsämnen i vattnet.

Den marina arten blåmussla (*M. trossulus x edu-  
llis*) har en viktig roll i filtreringen av vattnet och i  
processen avlägsnar den mycket effektivt närings-  
ämnen och skadliga ämnen från vattnet (Viitasa-  
lo m.fl. 2017). Eftersom havsvattnet förväntas bli  
mindre salt i framtiden på grund av klimatföränd-  
ringen kommer de nordligaste populationerna av  
blåmusslor troligen att försvinna på grund av den  
minskade salthalten. Dessutom förutspår de artut-  
bredningsmodeller som använts i detta projekt en  
stor minskning av områden som är lämpliga för blå-  
mussla även i de södra delarna av projektområdet  
på grund av den kombinerade påfrestningen från  
låg salthalt och hög temperatur. Detta skulle leda till  
en minskning av **blåmusslans filtreringskapacitet**  
i projektområdet i framtiden. Effekten på ekosys-  
temen förväntas bli negativ, inte bara på grund av  
den minskade filtreringskapaciteten utan också för  
att blåmusslor utgör ett viktigt habitat och födokäl-  
la för andra arter (t.ex. Zander m.fl. 2015; Kautsky  
1981).

#### *Masstabilisering och kontroll av erosion*

De viktigaste drivkrafterna bakom förändringarna  
i geomorfologin i kustområdena är förändringar i  
havsnivån, kustströmmar, stormvågor och vinteris-  
förhållanden (von Storch m.fl. 2015). Dessa faktorer  
är ansvariga för både kusterosion och ackumule-  
ring av sediment. Det kan vara svårt att identifiera  
klimatförändringens effekt på geomorfologin och  
regional variation förekommer beroende på exem-  
pelvis exponeringen för öppet hav. Vågorna för-  
väntas öka i norra Östersjön i framtiden eftersom  
havsisen kommer att minska i omfattning och var-  
aktighet på grund av ett varmare klimat (von Storch  
m.fl. 2015; Saraiva m.fl. 2019; SmartSea 2018b). Det  
kommer att öka den belastning och påfrestning som  
kustområdena utsätts för och påverka den totala er-  
osionen. Havsbyggningen påverkar även Östersjöns

stränder eftersom isens skrapning förändrar de grunda bottenområdena och strandlinjerna genom att erodera material. I framtiden kommer havsisens påverkan på erosion bli mindre viktig samtidigt som vågornas inverkan blir större. Vi förväntar oss alltså att erosionens drivkraft kommer att förändras i framtiden, men det är svårt att bedöma hur detta kommer att påverka erosionens totala omfattning (Łabuz 2015). I norra Östersjön förväntas landhöjningen dessutom vara större än havsnivåhöjningen även om hundra år (se kapitel 2 i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*), vilket innebär att ingen erosion i samband med havsnivåhöjningen förväntas. Habitatet över och under vattenytan i projektområdet domineras av rotade makrofyter, exempelvis ål-nate och bladvass. Genom att stabilisera sediment, minska grumling, erosion och turbiditet förbättrar vegetationen vattenkvaliteten och kontrollerar den totala erosionen i kustområden (Madsen m.fl. 2001). Enligt artutbredningsmodeller förväntas **utbredning av habitat över och under vattenytan** öka måttligt på grund av varmare vatten, ökad tillgång på ljus och mindre is i framtiden. Effekten på ekosystemnivå förväntas vara positiv.

### *Buffring och minskning av massflöden*

Denna tjänst beskriver flöden av material i ekosystemen. När växtplankton inte konsumeras av andra organismer i den fria vattenmassan sjunker det och ansamlas på havsbotten där bottenfauna och bakterier konsumerar en del av det. Överdriven sedimentering kan ha en negativ effekt på ekosystemen, eftersom havsbotten kan bli syrefri i den mikrobiella nedbrytningsprocessen, vilket dödar de levande makroorganismerna (Bianchi m.fl. 2000). Av de olika växtplanktongrupperna är kiselalger ofta den dominerande gruppen i vattenmassan (Carstensen m.fl. 2015) och en stor del av kiselalgerna hamnar på havsbotten genom sedimentering (Heiskanen & Kononen 1994). Enligt de klimatmodeller och reduktionsmålet för näringstillförseln som använts i detta projekt kommer det att finnas färre kiselalger och dinoflagellater i framtiden, vilket kan leda till minskad grad av sedimentackumulering. Den minskade ackumuleringsgraden för sediment förväntas ha en viss positiv effekt i projektområdet i framtiden eftersom risken för syrebrist på havsbotten minskar. Det finns naturligtvis andra faktorer som kan påverka den framtida sedimenteringen, och sedimentbelastningen i avrinningen är också

viktig. Nederbörden i norra Europa förväntas öka på grund av klimatförändringen, men det är oklart hur detta kommer att påverka den totala årliga flodavrinningen eftersom avdunstningen samtidigt ökar (von Storch m.fl. 2015). De modeller som använts i detta projekt förutspår en liten ökning av den årliga avrinningen. Den viktigare aspekten är dock att den årliga cykeln för avrinning förväntas förändras avsevärt i områden som för närvarande kännetecknas av vårfloder på grund av snösmältning (von Storch m.fl. 2015; Sonnenborg 2015; Lotsari m.fl. 2010). I det framtida klimatet är det troligt att vårfloderna kommer att inträffa tidigare på året och att deras omfattning kommer att minska på grund av mindre snöfall och en kortare period av snötäcke. Därför är det troligt att den totala sedimenttransporten minskar när erosionseffekten av översvämningstoppar minskar (von Storch m.fl. 2015; Lotsari m.fl. 2010). Av dessa olika anledningar förväntas den totala årliga **ackumuleringsgraden för sediment** minska i framtiden, med positiva effekter på ekosystemnivå.

### *Skydd mot översvämningar*

Prognoser för framtida förändringar av vindhastigheten skiljer sig mycket åt mellan olika studier (von Storch m.fl. 2015). Ett gemensamt drag i många modellsimuleringar är dock att vindhastigheten ökar över havsområden som är istäckta i dagens klimat, men inte i framtiden. Den signifikanta våghöjden, genomsnittet av den högsta tredjedelen (33 procent) av vågorna, beror på regionala vindfält och havsströmmar. Eftersom det finns många osäkerhetsfaktorer i de framtida vindprognoserna är det också svårt att göra en noggrann bedömning av de framtida vågförhållandena. Särskilt i norra Östersjön förväntas dock det minskade istäcket öka de signifikanta våghöjderna, vilket ökar sannolikheten för årliga översvämningar (von Storch m.fl. 2015; SmartSea 2018b; HELCOM & Baltic Earth 2021). Även Bottniska viken förväntas få relativt sett större förändringar i signifikanta våghöjder än Bottenhavet (SmartSea 2018b). **Den signifikanta våghöjden** i projektområdet förväntas alltså öka i genomsnitt, vilket kommer att ha en negativ inverkan på ekosystemtjänsten ”skydd mot översvämningar”. Byggnader och annan infrastruktur i kustområden kommer sannolikt att drabbas hårdare av skador som orsakas av översvämningar och vågor i framtiden.



### *Bevarande av yngelbestånd och habitat*

För att trygga de försörjande tjänsterna, exempelvis fångster av olika fiskarter, måste lek- och uppväxtområden vara tillräckligt stora och i gott skick. Sikt djupet fungerar som ett index för det trofiska tillståndet i en vattenmassa. Den återspeglar mängden näringsämnen, koncentrationen av klorofyll a och organiska ämnen i vattnet. De främsta miljöhoten mot tillväxten av fisk är övergödning och höga halter av DOM (dissolved organic matter, upplöst organiskt material) och POM (particulate organic matter, partikulärt organiskt material) i vattnet, som direkt eller indirekt kan förändra födoförhållandena och den relativa syrehalten samt öka igenslamningen, vilket kan störa lek eller ägginkubation (Winfield 2004; Leach m.fl. 1977). Enligt de modeller som använts i detta projekt kommer **siktdjupet** att öka något i framtiden i Husumbukten och Utgrynnan-Molpehällorna och förbli oförändrat i Yttre Täftefjärden. Förändringarna mellan olika områden hänger samman med modellernas prognoser för avrinning som varierar mellan olika tillrinningsområden. Generellt sett skulle en minskad flodavrinning leda till ett ökat siktdjup eftersom vattnet skulle transportera mindre näringsämnen och humusämnen till havet, vilket skulle leda till klarare vatten (Paczkowska m.fl. 2020). I de modeller som använts i detta projekt förväntas dock den framtida avrinningen öka mycket lite i framtiden. Den förväntade ökningen av siktdjupet i framtiden är alltså en summa av flera faktorer: minskade koncentrationer av näringsämnen på grund av BSAP, mindre primärproduktion och mindre klorofyll a i vattnet. Sammanfattningsvis, ett ökat siktdjup har en positiv effekt på ekosystemnivå.

Den biologiska mångfalden minskar i hela världen. Denna trend kommer att fortsätta såvida inte omfattande åtgärder vidtas för att förhindra ytterligare försämring och minska människans påverkan på naturen (Worm m.fl. 2006; Kontula & Raunio 2018). I Östersjön, som av naturliga skäl har en lägre mångfald än världshaven, kan förlusten av arter få stora konsekvenser för ekosystemen (Dahl m.fl. 2013). Flera arter och habitattyper som tidigare var vanliga och ansågs vara livskraftiga håller på att minska (Eide m.fl. 2020; Hyvärinen m.fl. 2019; Kontula & Raunio 2018), och därför antar vi att det kommer att finnas fler hotade arter i pilotområdena i framtiden. Med andra ord förväntar vi oss att **antalet rödlistade och utrotade arter** sannolikt kommer att öka i framtiden i ekosystem som är utsatta för

påfrestningar på grund av klimatförändringen och annan mänsklig påverkan. Det är viktigt att notera att denna förändring beror på en minskning av tidigare vanliga arter och inte på att nya, sällsynta arter dyker upp i området. På samma sätt förväntas **mångfalden av habitat över och under vattenytan** minska något enligt de modeller som använts i detta projekt på grund av varmare vatten och minskad salthalt. Den minskade mångfalden av arter och habitat kan exempelvis leda till förändringar i dynamiken i näringskedjan och i samspelet mellan arter (Gray m.fl. 2014) och minska ekosystemets potential att stödja och upprätthålla lek- och uppväxtområden för fisk. Vi förväntar oss också att introducerade arter kommer att komma till vårt område i framtiden, vilket i värsta fall kommer att påverka levnadsvillkoren för inhemska arter och ytterligare bidra till förlusten av biologisk mångfald.

Vi förutspår att klimatförändringen kommer att ha en måttligt negativ effekt på **uppväxtområden för kallvattenfiskarter** på grund av varmare vattentemperaturer. **Uppväxtområdena för varmvattenfiskarter** kan däremot i stället öka till följd av varmare havsvatten (MacKenzie m.fl. 2007). För att motverka och mildra förändringarna i fiskpopulationerna till följd av klimatförändringen förväntar vi oss en måttlig ökning av skyddet av uppväxtområden för kallvattenfisk och en liten ökning av skyddet av uppväxtområden för varmvattenfisk (**% uppväxtområden som skyddas**). Forskning visar att tillgången till uppväxtmiljöer begränsar vuxenbeståndet i kustpopulationer av rovfiskar (Sundblad m.fl. 2014) och att det finns ett behov av mycket större skyddade områden med restriktioner som faktiskt skyddar havet och de organismer som lever där (IUCN 2016).

### *Bekämpning av skadedjur och sjukdomar*

Skadliga algblomningar sker främst under sommaren och den tidiga hösten i Östersjön och består av cyanobakterier som kan producera ämnen som är giftiga för exempelvis människor, andra däggdjur och fiskar (Karjalainen m.fl. 2007; Jonasson m.fl. 2010). Cyanobakterier gynnas i allmänhet av högre vattentemperaturer, termisk skiktning, höga halter av näringsämnen och en låg N/P-kvot (förhållandet mellan kväve och fosfor), vilket ger dem en konkurrensfördel (Wagner & Adrian 2009). De klimatmodeller som använts i detta projekt förutspår att produktionen av cyanobakterier kommer att öka något i framtiden på grund av att vattnet blir varmare även om näringsämnena minskar enligt BSAP.

I Bottenhavet och Bottniska viken kommer dessutom cyanobakterieblomningen på våren att börja ungefär en månad tidigare i slutet av århundradet jämfört med i dag på grund av varmare vårar och minskande istäcke (Neumann 2010). Även om inte alla cyanobakterier producerar toxiner (Stal m.fl. 2003), ökar risken för **skadliga algblomningar** eftersom det kommer att finnas mer cyanobakterier i vattnet. Det har också visat sig att toxinproducerande cyanobakteriearter direkt gynnas av förändringar i ekosystemet som beror på klimatförändringen jämfört med andra växtplanktonarter, såsom förändringar i säsongsmässiga och årliga vädermönster, temperaturhöjningar och ökad vertikal skiktning (Paerl & Huisman 2009). När det gäller skadliga algblomningar förväntas tjänsten ”bekämpning av skadedjur och sjukdomar” påverkas negativt av klimatförändringen. I framtiden förväntar vi oss också fler främmande arter (**förekomst av främmande arter**) i vårt projektområde eftersom vattentemperaturen kommer att stiga. Främmande arter är inte inhemska i ett ekosystem och kan orsaka ekonomiska eller ekologiska skador. De kan hota den biologiska mångfalden genom att konkurrera med inhemska arter eller genom predation och överföring av patogener (Leppäkoski m.fl. 2002; Occhipinti-Ambrogi 2007; Gollash m.fl. 2015). Främmande arter tolererar ofta varierande miljöförhållanden och antas gynnas av klimatförändringen (Dukes & Mooney 1999; Jones & Cheung 2015; Holopainen m.fl. 2016). Dessutom åker hundratals fartyg in och ut ur Östersjön varje dag, och de flesta främmande arter kommer hit via fartygens ballastvatten och sediment från tankar (Leppäkoski m.fl. 2002). Vi förväntar oss därför att antalet främmande arter kommer att öka i framtiden och därmed ha en negativ inverkan på ekosystemen.

### *Nedbrytnings- och fixeringsprocesser*

Denna tjänst beskriver biogeokemiska processer i havet. Uppehållstiden för vatten är den tid som en vattenmassa tillbringar i ett visst område. I Östersjön är uppehållstiden för vattnet cirka 30–40 år. Uppehållstid för vattnet påverkar cirkulationen av giftiga ämnen och näringsämnen. En lång uppehållstid för vattnet innebär att dessa föreningar cirkulerar i havet under lång tid (Snoejis & Andrén 2017). Många faktorer påverkar uppehållstiden för vatten, vilket gör de framtida utvärderingarna av indikatorn mycket osäkra. Ett varmare klimat och ett minskat istäcke på vintern leder till ett ökat ytvattenflöde under vintern, medan uppvärmningen

under somrarna sannolikt kommer att öka skiktningen, vilket minskar ytvattenflödet och leder till längre uppehållstid (expertgrupp 2020). På grund av det minskade istäcket och den kortare perioden med havsis förväntar vi oss dock att den övergripande effekten kommer att bli en liten minskning av **uppehållstiden för vatten** i projektområdet i framtiden (expertgruppen 2020), vilket förväntas ha en positiv effekt på ekosystemen eftersom överskottsnäringsämnen och giftiga föreningar cirkulerar ut ur området lite snabbare.

Kunskapen om hur framtida klimatförändringar och andra antropogena drivkrafter kommer att påverka Östersjöns biogeokemiska kretslopp för sedimenten är fortfarande relativt begränsad och uppskattningarna är osäkra (von Storch m.fl. 2015). Denitrifiering i framtiden har dock modellerats för Östersjön av Meier m.fl. 2012 med det värsta tänkbara klimatscenariot och reduktionsmålet för näringstillförseln, BSAP. Deras modeller förutsåg att **effektiviteten i denitrifieringen** skulle förbättras något om BSAP uppnås fram till 2099, oavsett varmare klimat (se även Friedland m.fl. 2012 för liknande resultat). Den biogeokemiska modell från SMHI och FMI som använts i detta projekt förutspår också en liten ökning av effektiviteten i denitrifieringen i projektområdet. Det skulle innebära att denitrifieringen är effektiv i förhållande till halterna av näringsämnen och att  $\text{NO}_3$  reduceras till elementärt  $\text{N}_2$ , vilket innebär att biologiskt tillgängligt kväve avlägsnas från systemet. En mer effektiv denitrifiering förväntas ha en positiv inverkan på ekosystemen eftersom näringsbelastningen enligt BSAP antas närma sig den naturliga näringscykeln i Bottniska viken.

### *Kemiska förhållanden i saltvatten*

Reduktionsmålet för näringstillförseln i BSAP kommer att påverka näringsbalansen i vattnet i projektområdet och förändra koncentrationen av nitrat ( $\text{NO}_3$  i ytvattnet), ammonium ( $\text{NH}_4$  i ytvattnet) och fosfat ( $\text{PO}_4$  i ytvattnet) under växtsäsongen. Enligt modellerna kommer **ammonium** och **fosfat** att minska jämfört med referensperioden. Generellt sett förväntar vi oss en positiv effekt på ekosystemen till följd av minskade ammonium- och fosfathalter. **Nitrathalten** i vattnet väntas å andra sidan öka på grund av en kraftigare minskning av fosforhalten, vilket innebär att tillväxten av växtplankton kommer att begränsas av fosfor, så att överskott av kväve ackumuleras i vattnet. Halterna av näringsämnen

har fluktuerat i Bottniska viken under de senaste årtiondena, men de genomsnittliga halterna har ändå inte förändrats särskilt drastiskt mellan modellernas referensperiod (1976–2005) och den nuvarande perioden (2010–2020), vilket ger tillförlitlighet åt modellernas resultat. Bottenhavet får för närvarande näringsrikt vatten från Egentliga Östersjön (Rolff & Elfving 2015) och om näringsminskningarna enligt BSAP i framtiden uppnås i hela Östersjön, inklusive Egentliga Östersjön, kommer de positiva effekterna av minskningarna av halterna av näringsämnen att återspeglas i stora havsområden i närheten.

Enligt modellerna förväntas **salthalten** minska något i projektområdet, främst på grund av ökad nederbörd och förändringar i avrinningen. Vi förväntar oss därför en liten negativ effekt på ekosystemen eftersom marina arter redan lever på gränsen för sin tolerans på grund av den låga salthalten, vilket innebär att även små förändringar kan utgöra ett hot mot arterna. Det är dock viktigt att notera att det finns en stor osäkerhet i salthaltsprognoserna, och detta är ett vanligt fenomen i framtida klimatmodeller och beror på de stora osäkerheterna i prognoser för vattenbalansen (von Storch m.fl. 2015). Enligt de modeller som använts i detta projekt förväntas den framtida **syrehalten** i vattnet nära botten ligga på ungefär samma nivå jämfört med referensperioden. Det finns dock små rumsliga skillnader, eftersom syrehalten i de djupare vattnen kommer att öka något medan den kommer att minska något i de grunda områdena på grund av det mycket varmare vattnet. Den förväntade förändringen av syrehalten i alla delar av projektområdet är i alla fall så liten att den inte förväntas ha några betydande ekologiska eller biogeokemiska effekter. Högre temperaturer leder naturligt till minskad upplösbarhet för syre i havsvattnet och snabbar på många biologiska och biogeokemiska processer, och tillsammans med ökade halter av näringsämnen skulle denna kombination få mycket negativa effekter på bottenfaunan och de biogeokemiska kretsloppen (von Storch m.fl. 2015; Viitasalo & Bonsdorff 2021; Neumann & Friedland 2011). Om minskningarna av näringsämnen enligt BSAP uppfylls kommer dock temperaturhöjningens skadliga effekt på syrehalten att förbli mycket liten.

#### *Klimatreglering genom minskning av halterna av växthusgaser*

Alla haven i världen har tillsammans absorberat en stor del (30 procent) av den koldioxid som har

släppts ut av människan sedan industrialismens början (Havenland 2012). Eftersom Östersjön är ett litet hav är Östersjöns roll i detta sammanhang liten men ändå viktig. Till följd av de ökande koldioxidhalterna i atmosfären har upptaget av koldioxid i vattnet ökat. Detta har i sin tur lett till ökad surhetsgrad i havet (t.ex. Omstedt m.fl. 2012). Surhet mäts i pH-värde. I projektområdet räknar vi med ett något lägre **pH-värde** i framtiden enligt litteratur och expertutlåtanden, vilket innebär att vattnen i projektområdet kommer att bli surare (t.ex. HELCOM & Baltic Earth 2021). Även om haven spelar en viktig roll när det gäller att balansera koldioxidhalten i atmosfären kan det sjunkande pH-värdet hota marina arter och ekosystem. Den totala effekten av ett lägre pH-värde tolkas således som att det har en negativ effekt på ekosystemtjänster. Försurningen kommer sannolikt att få allvarliga konsekvenser, särskilt för kalkbildande organismer som musslor (von Storch m.fl. 2015; Fitzer m.fl. 2018). Dessutom påverkas sannolikt viktiga fysiologiska processer som tillväxt, ämnesomsättning och reproduktion, vilket kan påverka förekomsten, mångfalden och funktionen hos bentiska samhällen (von Storch m.fl. 2015). Det finns också tecken på att försurningen i kombination med uppvärmningen kommer att leda till förändringar i mikrobiella samhällen och djurplanktonsamhällen i Östersjön (Viitasalo & Bonsdorff 2021).

Kollagret (C-stock) är det kol som lagras i ekosystemen. Det innefattar allt kol som ansamlas i organiska beståndsdelar i de marina ekosystemen genom fotosyntes, födointag och ackumulering av biomassa. Det innefattar också kol som begravs i sedimenten på havsbotten. Alla organismer består av kol och bidrar därför till kollagret, men vi har använt oss av nateväxter, bladvass, blåstång och smaltång, blåmussla, vitmärla (*Monoporeia affinis*) och Östersjömussla (*Limecola balthica*) som exempel. Dessa arter är rikligt förekommande, och eftersom de ingick i modelleringen av arternas utbredning i detta projekt var det möjligt att uppskatta det framtida kollagret baserat på dem. Det kol som lagras i organismerna är starkt beroende av de arter och ekosystem som förekommer i varje pilotområde. Vissa arter har ett högre kolinnehåll än andra och med hjälp av modellering av arternas utbredning kan man bedöma vilka arter som mest troligt kommer att finnas på en viss plats i framtiden och därmed påverka kollagret. Därför varierar det framtida **kollagret** mellan pilotområdena: en liten ökning förväntas i Yttre Täftefjärden, ingen förändring i Husum-

bukten och en liten minskning av kollagret förväntas i Utgrynnan-Molpehällorna. Ur ekologisk synvinkel skulle en ökning av kollagret innebära en positiv förändring eftersom mer kol skulle tas upp i levande organismer och sediment i stället för i atmosfären.

### 3.2.3. Allmänna förändringar i kulturella tjänster

Kulturella tjänster är de icke-materiella fördelar som människan får av naturen. Det handlar till exempel om att använda naturen för rekreation, estetiska upplevelser och kulturell identitet. Här räknar vi upp de allmänna förändringarna i de kulturella ekosystemtjänsterna som vi förväntar oss kommer att ske i alla pilotområden.

#### *Fysisk användning av land- och havslandskap i olika miljöer*

Människor använder och drar nytta av land- och havsmiljöer på många olika sätt, från dagsutflykter till naturvandringar och från båtliv och segling till bad och att tillbringa helgerna i sommarstugor. Många i lokalbefolkningen drar nytta av projektområdets och särskilt Kvarkens potential för fritidsaktiviteter, men det finns fortfarande en stor outnyttjad potential i regionen när det gäller möjligheter till turism. Turismen i Finland ligger långt efter många andra europeiska länder och inom landet är den koncentrerad till södra och norra Finland (Jänkälä 2019; Hiltunen 2019). Det beror delvis på sämre tillgänglighet i vissa områden och nationella åtgärder för utveckling av turismen (Jänkälä 2019). I Sverige har man satsat mer på utveckling av turismen under de senaste decennierna. Men även på den svenska sidan av Kvarken kan man se tillväxtpotential. De observerade förändringarna på marknaden visar att miljömedvetenhet, natur och välbefinnande under de kommande årtiondena i allt högre grad kommer att bestämma inriktningen på turismens utveckling (Jänkälä 2019; OECD 2018). Dessutom blir mindre och exklusiva resmål och lokal mat allt mer intressant för turister. Kvarken, med sin vackra natur, skärgård och spännande geologi är ur denna synvinkel en attraktiv destination för utveckling av turism. Dessutom har Europas kulturarv varit en av de äldsta och viktigaste generatorerna för turism, särskilt i Central- och Sydeuropa (Richards 1996; Thorburn 1986). Denna potential har i stort sett inte utnyttjats i Kvarkenområdet, som är rikt på kulturarvsplatser som skulle kunna erbjuda möjligheter till turism-

utveckling. Det är svårt och mycket osäkert att förutspå sociala och globala trender inom turismen under de kommande hundra åren. OECD (2018) har fastställt globala megatrender för turismen fram till år 2040. Enligt dessa trender kommer antalet turister att öka i hela världen i framtiden, efterfrågan på hållbar turism (koldioxidsnål, resurseffektiv och socialt hållbar) kommer att öka, ny teknik kommer att göra resandet mer tillgängligt, ekonomiskt och enkelt och transporterna kommer att utvecklas (transportinnovationer, rutter etc.). Dessa trender kan i viss mån även gälla fram till år 2120. Hållbar turism kan förväntas vara en avgörande faktor även under nästa århundrade. De tekniska framstegen och utvecklingen inom transportlösningar kommer att vara ännu mer drastiska om hundra år, vilket gör det lättare att resa till mindre tillgängliga områden. Dessa trender och aspekter av den framtida turismen tyder på att turismen kommer att öka i Kvarkenområdet och i hela projektområdet. Vidare kan inhemsk turism och turism från närliggande länder bli mer populärt om hundra år, eftersom människor söker hållbara alternativ. Turism kräver alltid infrastruktur, boende och sevärheter (Jänkälä 2019), och utvecklingen under de kommande årtiondena banar väg för turismen i området under många decennier framåt. "Klimatturism" kan också, även om det känns mycket motsägelsefullt, påverka länderna i norr och projektområdet i framtiden, och det har redan kommit indikationer om turism från sydliga länder till Finland och Sverige på grund av det svalare klimatet (HELCOM & Baltic Earth 2021).

Turismen och den ökade användningen av Kvarkenområdet och hela projektområdet väntas bli koncentrerad till sommarmånaderna. På grund av klimatförändringarna förväntas den omfattande användningen av projektområdet på vintern minska betydligt. Milda vintrar och svaga isförhållanden kommer att ta bort möjligheterna att njuta av isen och skärgården genom skidåkning, skridskoåkning eller snöskoteråkning. Utnyttjande av havsområdet på vintern kommer troligen att minska i framtiden.

Sammanfattningsvis förväntas turismen och **antalet turister** öka i framtiden i hela projektområdet, men särskilt i Kvarken. Tillväxten inom turismen kräver förbättringar av infrastrukturen, och tjänsterna i småbåtshamnarna och **antalet båtplatser i småbåtshamnarna** förväntas öka, liksom antalet seglare och båtfolk (**antalet turistbåtar**). I och med det ökande antalet turister i framtiden och de åtgärder

för utveckling av turismen som kommer att vidtas i regionen förväntas **antalet möjligheter till friluftsliv i området** öka. Vinteranvändningen, och därmed **antalet personer som använder is för fritidsaktiviteter**, förväntas minska i projektområdet i framtiden.

### Kulturarv

Kulturarvet är en viktig del av kulturella tjänsterna i projektområdet och särskilt i Kvarken. Utöver de turismfördelar som området kan bidra med har kulturarvet både på land och i havet ett existensvärde och sociala och historiska värden (Díaz-Andreu 2017). Sjöfarten och fisket har en stark historia i projektområdet, vilket har lett till att flera vrak hittats i projektområdet och i de olika kulturarvsplatserna på öar och på fastlandet. Av pilotområdena har särskilt området Utgrynnan-Molpehällorna flera kulturellt och historiskt värdefulla platser. Det unika bräckta vattnet i Östersjön har ursprungligen bidragit till att särskilt skeppsvrak av trä och andra kulturarv har överlevt (Fors & Björdal 2013; Björdal m.fl. 2012). I framtiden förväntas man med hjälp av tekniska framsteg kunna hitta fler gamla vrak och eventuellt andra undervattenskulturarv i området, vilket kommer att öka projektområdets kulturarvsvärden undervatten. Klimatförändringen förväntas dock ha negativa effekter på kulturarvet under vatten, även om vissa av de slutliga konsekvenserna fortfarande är osäkra (Kaslegard 2011; Fors & Björdal 2013; Harkin m.fl. 2020). Högre temperaturer, försurning, eventuellt ökad erosion på land, vågor och förändringar i vattnets kemiska sammansättning kan påverka kulturarvet under vatten negativt (Perez-Alvaro 2016; Kaslegard 2011). Om man lägger till den förväntade ökningen av exploateringen av marina områden och andra antropogena faktorer som båtliv, byggande längs kusten och vrakdykning, förväntas den övergripande effekten på **vrak och andra kulturarv under vatten** bli negativ i framtiden. Klimatförändringen kommer också att ha olika negativa effekter på kulturarvsplatser på land och öar i framtiden (Sabbioni m.fl. 2008), eftersom de är utsatta för väder och vind. Den framtida sårbarheten för kulturarvet på land är exempelvis förknippad med ökad risk för vågor, ökad nederbörd, förändringar i markens fuktighet och jordkemin och pH-värden samt extrema väderförhållanden. Dessutom kan den förväntade ökningen av turismen utgöra ett hot mot kulturarvsplatser i projektområdet, särskilt på fastlandet och på öarna närmast fastlandet, medan de mest avlägsna områdena och öarna

kan undvika trycket från turismen. Av dessa skäl väntas **kulturarvsplatser på land** i pilotområdena försämrats åtminstone i viss utsträckning i framtiden.

### Estetiska och symboliska värden och arv

Pilotområdenas estetiska värden bedömdes utifrån hur **orörd miljön skulle vara i framtiden**. Orörd miljö uppskattas idag och kommer troligen uppskattas även i framtiden, men förväntas vara något mindre tillgänglig på vissa platser i projektområdet om hundra år. Den stora efterfrågan på mer hållbara energikällor kan resultera i fler havsbaserade vindkraftverk i framtiden (Europeiska kommissionen 2020, IRENA 2019, HELCOM & Baltic Earth 2021), vilket kommer att minska de estetiska värdena hos de marina miljöerna i projektområdet. Den förväntade ökningen av vattenbruket (Europeiska kommissionen 2021a) minskar också det estetiska värdet av havsområdet och strandlinjerna. Symboliska värden i kulturella tjänster utvärderades genom **antalet ikoniska arter** i pilotområdena. Ikoniska arter anses karaktärisera projektområdet och ge området en symbolisk betydelse. Den framtida statusen utvärderades för ca. 20 olika arter (t.ex. blåstång och smaltång, havsörn (*Haliaeetus albicilla*), Östersjövikare (*Pusa hispida botnica*), sik och lax, som bedömdes vara de mest betydande, välkända och uppskattade arterna i området (en fullständig förteckning över arterna finns i bilagan i tabell A4). Den biologiska mångfalden i allmänhet förväntas minska i framtiden och samma minskning uppskattades ske i populationerna av många ikoniska arter i projektområdet baserat på litteratur, rödlistestatus och framtida hot (t.ex. Kontula & Raunio 2018; SLU 2020; Lehtiniemi m.fl. 2021). Arvsvärden, det vill säga andra bidrag av arv än kulturarvet, som till exempel viljan att bevara växter, djur, ekosystem, land- och havslandskap för att framtida generationer ska kunna uppleva och utnyttja dem, utvärderades med hjälp av **antalet/omfattningen av skyddade marina områden**. I EU:s strategi för biologisk mångfald för 2030 bibehålls ett mål om att inrätta skyddade områden för minst 30 procent av havsområdena i Europa (Europeiska kommissionen 2021b). Denna ökning väntas ske under det här årtiondet, men det är svårt att bedöma skyddsmålen för de kommande hundra åren. Det är möjligt att användningen av havsområden ökar i framtiden, men att hela havsområdet förvaltas på ett mer holistiskt sätt och att fler områden blir skyddade i framtiden. De nya skyddade områdena i projektområdet skulle dock

inrättas på platser där det finns störst behov av dem, men för pilotområdena upptäcktes ingen stor potentiell ökning. Dessutom börjar de skyddade marina områdenas ekologiska konnektivitet få allt större uppmärksamhet i beslutsfattandet, och de skyddsåtgärder som koncentreras till denna fråga kan innebära nya kriterier för inrättande av skyddade områden i framtiden.

### 3.2.4. Specifika förändringar inom pilotområden

I detta avsnitt förklaras de specifika förändringarna i ekosystemtjänster i varje pilotområde.

**Tabell 1; A, B, C. MESAT-resultat för pilotområdena Utgrynnan-Molpehallorna (A), Yttre Tätfjärden (B) och Husumbukten (C). Den förväntade framtida förändringen på Likert-skalan för varje ekosystemtjänst beräknas som ett medelvärde av indikatorernas förväntade framtida förändringsvärde. Specifikationerna för ändringarna anges i tabellen, och material och data som använts för bedömningen presenteras i tabell A3 i bilagan. I avsnitt 3.2.1, 3.2.2 och 3.2.3 i resultaten finns mer bakgrundsdata om de förväntade förändringarna. Förklaringar till Likert-skalan för ekosystemtjänster: 0 = ingen förändring, +1/-1 = liten positiv/negativ förändring, +2/-2 = måttlig positiv/negativ förändring, +3/-3 = betydande positiv/negativ förändring, +4/-4 = omfattande positiv/negativ förändring, +5/-5 extrem positiv/negativ förändring.**

## EKOSYSTEMTJÄNSTER I CENTRALA BOTTNISKA VIKEN

A. Ekosystemtjänst		Indikator	Specifikation
Försörjningstjänster	Livsmedel från vilda djur	0 Fångster av varmvattenarter	2 Utvärderade arter: abborre, gädda, gös och främmande arter, svartmunnad smörbult och preussisk karp.
		Fångster av kallvattenarter	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming, lake, havsöring, nors.
		Fångster av de viktigaste kommersiella arterna	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming, abborre, nors.
	Livsmedel från vilda växter och alger	1 Skörd	1 Ökad skörd av havtorn på grund av ett varmare klimat.
		Antal arter	0 Ingen förväntad förändring.
	Djur från in situ-vattenbruk	3 Skörd	2 Måttlig ökning. På grund av de marina skyddsområdena och EMMA-områdena väntas ett större tryck från vattenbruket utanför Utgrynnan.
		Antal arter	3 På grund av tekniska framsteg, större efterfrågan och varmare vatten förväntas antalet odlade arter att öka.
	Fibrer etc. från organismer för direkt användning eller bearbetning	2 Skörd	2 Måttlig ökning väntas (särskilt strömmingsprodukter) på grund av politisk betoning på blå produkter/tillväxt.
	Ytvatten för för andra ändamål än dricksvatten	0 Användning av vatten	0 Ingen storskalig användning av havsvatten för närvarande och ingen förändring väntas på grund av Utgrynnans läge långt från fastlandet.
	Reglerande tjänster	Filtrering/bindning/lagring/ackumulering av ekosystem	-1 Kvävefixering
Primärproduktion			1 Minskning på grund av BSAP med positiv effekt på ekosystemen.
Filtreringskapacitet (Mytilus)			-4 Modellerad minskning av områden som är lämpliga för blåmussla.
Masstabilisering och kontroll av erosion		2 Utbredning av habitat över och under vattenytan	2 Ökning av kärllväxter som binder sediment enligt modellerna med en positiv effekt på ekosystemen.
Buffring och minskning av massflöden		1 Ackumuleringsgrad för sediment	1 En minskning av ackumuleringsgraden för sediment förväntas ha en svagt positiv effekt på ekosystemtjänster.
Skydd mot översvämningar		-1 Signifikant våghöjd	-1 En ökning väntas på grund av minskat istäcke.
Bevarande av yngelbestånd och habitat		0 Mångfald av habitat	-1 Minskad biologisk mångfald på grund av olika typer av mänsklig belastning.
		Siktdjup	2 Siktdjupet förväntas öka (klimatförändringar vs. BSAP)
		Antal rödlistade och utrotade arter	-2 Minskningen av den biologiska mångfalden förväntas öka antalet rödlistade arter och ha en negativ inverkan på ekosystemtjänster.
		Uppväxtområden (kallvattenfiskar)	-2 Mindre lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
		Uppväxtområden (varmvattenfiskar)	1 Mer lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
		% skyddade uppväxtområden	1 En liten ökning av de skyddade uppväxtområdena förväntas.
Bekämpning av skadedjur och sjukdomar		-1 Skadliga algbloomingar	-1 En liten ökning väntas med en negativ inverkan på ekosystemtjänster.
		Förekomst av främmande arter	-1 En liten ökning av förekomsten och mängden förväntas.
Nedbrytnings- och fixeringsprocesser		1 Denitrifieringens effektivitet	1 På grund av BSAP förväntas denitrifieringens effektivitet öka.
		Uppehållstiden för vatten	1 En liten minskning förväntas med en positiv effekt på ekosystemtjänster.
Kemiska förhållanden i saltvatten		1 NO3 ytvatten	-1 NO3 ackumuleras i vattnet i stället för i biomassa när primärproduktionen minskar på grund av begränsning av fosfor.
		NH4 ytvatten	3 En minskning av kvävetillförseln från avrinningsområdet förväntas.
		PO4 ytvatten	4 En minskning av fosfortillförseln förväntas.
		Salthalt	-1 En liten minskning av salthalten med negativa effekter på arterna.
	Syrehalt	0 Ingen förändring förväntas (begränsning av övergödning vs. temperaturökning)	
Klimatreglering genom minskning av halterna av växthusgaser	-1 Kollager	-1 En liten minskning av kollagret förväntas.	
	pH	-1 Surare vatten har en negativ inverkan på ekosystemtjänster.	
Kulturella tjänster	Fysisk användning av land-/havslandskap	0 Antal turister	2 Turismen och investeringarna i turism förväntas öka.
		Antal kajplatser för fartyg	1 Den turismrelaterade infrastrukturen förväntas utökas något.
		Antal turistbåtar	2 Båtlivet förväntas öka i takt med att turismen ökar.
		Användning av is för rekreation	-4 Klimatmodellerna förutspår att istäcket kommer att minska med över 80 procent om 100 år.
		Antal möjligheter till utomhusaktiviteter	1 Investeringar i turism förväntas öka möjligheterna.
	Kulturarv	-1 Kulturarvsplatser under vatten	-1 t.ex. högre temperaturer och försurning har en negativ inverkan.
		Kulturarvsplatser på land	-1 t.ex. nederbörd, högre temperaturer och turism har en negativ inverkan.
	Estetisk	-1 Orörd miljö	-1 Havsbaseade vindkraftverk och vattenbruk i närliggande områden förväntas försämra områdets estetiska värde i framtiden.
	Symbolisk	-2 Antal ikoniska arter	-2 På grund av förlusten av biologisk mångfald förväntas antalet ikoniska arter i området minska.
	Arv	0 Omfattning av marina skyddsområden	0 Det finns t.ex. Natura 2000-områden, UNESCOs världsarv och EMMA-områden i Utgrynnan som täcker ca 39 procent av området.

## HUR KOMMER HAVET ATT SE UT ÅR 2120

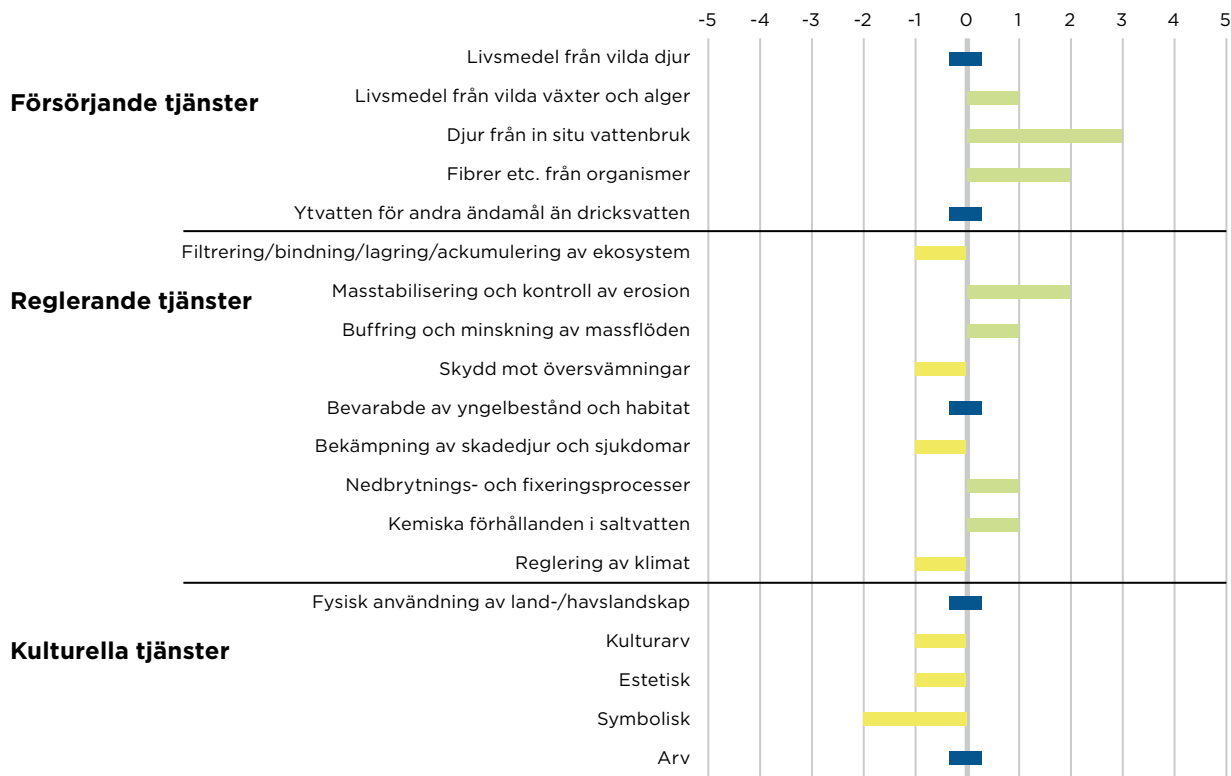
B. Ekosystemtjänst		Indikator	Specifikation	
Försörjningstjänster	Livsmedel från vilda djur	0 Fångster av varmvattenarter	2 Utvärderade arter: abborre, gädda, gös och främmande arter, svartmunnad smörbult och preussisk karp.	
		Fångster av kallvattenarter	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming och havsöring.	
		Fångster av de viktigaste kommersiella arterna	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming och abborre.	
	Djur från in situ-vattenbruk	3 Skörd	2 Ingen fiskodling för närvarande, men en måttlig ökning förväntas i framtiden. Mer troligt i landbaserade system.	
		Antal arter	3 På grund av tekniska framsteg, större efterfrågan och varmare vatten förväntas antalet odlade arter att öka.	
	Fibrer etc. från organismer för direkt användning eller bearbetning	1 Skörd	1 Ingen storskalig användning för närvarande, men en ökning förväntas på grund av den politiska betoningen på blå produkter/tillväxt.	
Ytvatten för för andra ändamål än dricksvatten	1 Användning av vatten	1 Ingen storskalig användning av havsvatten för närvarande, men en ökad fiskodling i framtiden kan innebära ökad användning av vatten.		
Reglerande tjänster	Filtrering/bindning/lagring/ackumulering av ekosystem	1 Kvävefixering	1 Minskning på grund av BSAP med positiv effekt på ekosystemen.	
		Primärproduktion	1 Minskning på grund av BSAP med positiv effekt på ekosystemen.	
	Masstabilisering och kontroll av erosion	2 Utbredning av habitat över och under vattenytan	2 Ökning av kärlväxter som binder sediment enligt modellerna med en positiv effekt på ekosystemen.	
	Buffring och minskning av massflöden	1 Ackumuleringsgrad för sediment	1 En minskning av ackumuleringsgraden för sediment förväntas ha en svagt positiv effekt på ekosystemtjänster.	
	Skydd mot översvämningar	-1 Signifikant våghöjd	-1 En ökning väntas på grund av minskat istäcke.	
	Bevarande av yngelbestånd och habitat	-1 Mångfald av habitat	Siktdjup	0 Ingen förändring väntas.
			Antal rödlistade och utrotade arter	-3 Minskningen av den biologiska mångfalden förväntas öka antalet rödlistade arter och ha en negativ inverkan på ekosystemtjänster.
			Uppväxtområden (kallvattenfiskar)	-2 Mindre lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
			Uppväxtområden (varmvattenfiskar)	2 Mer lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
			% skyddade uppväxtområden	1 I framtiden väntas en ökning av skyddet av uppväxtområden.
			Bekämpning av skadedjur och sjukdomar	-1 Skadliga algbloomingar
	Förekomst av främmande arter	-1 Några nya främmande arter förväntas komma till Yttre Täftefjärden under de kommande 100 åren med negativ inverkan på ekosystemtjänster.		
	Nedbrytnings- och fixeringsprocesser	1 Denitrifieringens effektivitet	1 På grund av BSAP förväntas denitrifieringens effektivitet öka.	
			Uppehållstiden för vatten	1 En liten minskning förväntas med en positiv effekt på ekosystemtjänster.
	Kemiska förhållanden i saltvatten	1 NO3 ytvatten	-1 NO3 ackumuleras i vattnet i stället för i biomassa när primärproduktionen minskar på grund av begränsning av fosfor.	
			NH4 ytvatten	3 En minskning av kvävetillförseln från avrinningsområdet förväntas.
			PO4 ytvatten	4 En minskning av fosfortillförseln förväntas.
			Salthalt	-1 En liten minskning av salthalten med negativa effekter på arterna.
			Syrehalt	0 Ingen förändring förväntas (begränsning av övergödning vs. temperaturökning)
	Klimatreglering genom minskning av halterna av växthusgaser	0 Kollager	1 En liten ökning av kollagret förväntas.	
pH			-1 Surare vatten har en negativ inverkan på ekosystemtjänster.	
Kulturella tjänster	Fysisk användning av land-/havslandskap	1 Antal turister	3 Turismen och investeringarna i turism förväntas öka.	
		Antal kajplatser för fartyg	2 Den turismrelaterade infrastrukturen förväntas utökas något.	
		Antal turistbåtar	2 Båtlivet förväntas öka i takt med att turismen ökar.	
		Användning av is för rekreation	-4 Klimatmodellerna förutspår att istäcket kommer att minska med över 80 procent om 100 år.	
		Antal möjligheter till utomhusaktiviteter	2 Investeringar i turism förväntas öka möjligheterna något.	
	Kulturarv	-2 Kulturarvsplatser under vatten	-1 t.ex. högre temperaturer och försurning har en negativ inverkan.	
			Kulturarvsplatser på land	-2 t.ex. nederbörd, högre temperaturer och turism har en negativ inverkan.
	Estetisk	0 Orörd miljö	0 Ingen tung antropogen användning av området förväntas, och därför förväntas den orörda miljön inte förändras.	
	Symbolisk	-2 Antal ikoniska arter	-2 På grund av förlusten av biologisk mångfald förväntas antalet ikoniska arter i området minska.	
	Arv	0 Omfattning av marina skyddsområden	0 För närvarande finns det ett marint skyddsområde, och inga ytterligare naturskyddsområden förväntas.	



## EKOSYSTEMTJÄNSTER I CENTRALA BOTTNISKA VIKEN

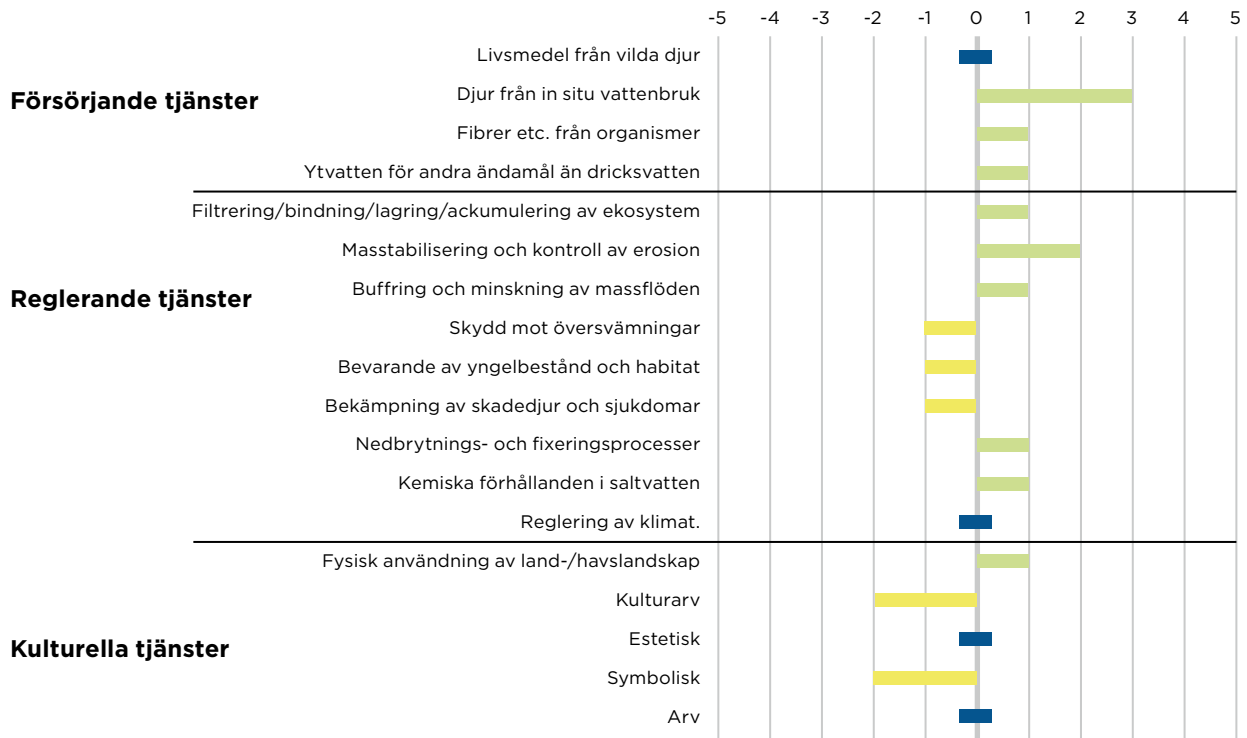
C. Ekosystemtjänst		Indikator	Specifikation
Försörjningstjänster	Livsmedel från vilda djur	0 Fångster av varmvattenarter	2 Utvärderade arter: abborre, gädda, gös och främmande arter, svartmunnad smörbult och preussisk karp.
		Fångster av kallvattenarter	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming, lake och havsöring.
		Fångster av de viktigaste kommersiella arterna	-1 Utvärderade arter: lax, sik, strömming och abborre.
	Djur från in situ-vattenbruk	3 Skörd	2 Ingen fiskodling för närvarande, men en måttlig ökning förväntas i framtiden. Mer troligt i landbaserade system.
		Antal arter	3 På grund av tekniska framsteg, större efterfrågan och varmare vatten förväntas antalet odlade arter att öka.
	Fibrer etc. från organismer för direkt användning eller bearbetning	1 Skörd	1 Ingen storskalig användning för närvarande, men en ökning förväntas på grund av den politiska betoningen på blå produkter/tillväxt.
Ytvatten för för andra ändamål än dricksvatten	2 Användning av vatten	2 Användning av havsvatten i fabriken för närvarande. En eventuell ökning av fabriksverksamheten och fiskodlingen i framtiden kan leda till ökad vattenanvändning.	
Reglerande tjänster	Filtrering/bindning/lagring/ackumulering av ekosystem	1 Kvävefixering	1 Minskning på grund av BSAP med positiv effekt på ekosystemen.
		Primärproduktion	1 Minskning på grund av BSAP med positiv effekt på ekosystemen.
	Masstabilisering och kontroll av erosion	2 Utbredning av habitat över och under vattenytan	2 Ökning av kärlväxter som binder sediment enligt modellerna med en positiv effekt på ekosystemen.
	Buffring och minskning av massflöden	1 Ackumuleringsgrad för sediment	1 En minskning av ackumuleringsgraden för sediment förväntas ha en svagt positiv effekt på ekosystemtjänster.
	Skydd mot översvämningar	-1 Signifikant våghöjd	-1 En ökning väntas på grund av minskat istäcke.
	Bevarande av yngelbestånd och habitat	-1 Mångfald av habitat	-1 Minskad biologisk mångfald på grund av olika typer av mänsklig belastning.
		Siktdjup	1 Siktdjupet förväntas öka (klimatförändringar vs. BSAP)
		Antal rödlistade och utrotade arter	-3 Minskningen av den biologiska mångfalden förväntas öka antalet rödlistade arter och ha en negativ inverkan på ekosystemtjänster.
		Uppväxtområden (kallvattenfiskar)	-3 Mindre lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
		Uppväxtområden (varmvattenfiskar)	2 Mer lämpliga reproduktionsområden på grund av uppvärmningen.
		% skyddade uppväxtområden	1 En liten ökning av de skyddade uppväxtområdena förväntas.
	Bekämpning av skadedjur och sjukdomar	-2 Skadliga algbloomningar	-1 En liten ökning väntas med en negativ inverkan på ekosystemtjänster.
		Förekomst av främmande arter	-2 Några nya främmande arter väntas komma till Husumbukten.
	Nedbrytnings- och fixeringsprocesser	1 Denitrifieringens effektivitet	1 På grund av BSAP förväntas denitrifieringens effektivitet öka.
		Uppehållstid för vatten	1 En liten minskning förväntas med en positiv effekt på ekosystemtjänster.
	Kemiska förhållanden i saltvatten	1 NO3 ytvatten	-1 NO3 ackumuleras i vattnet i stället för i biomassa när primärproduktionen minskar på grund av begränsning av fosfor.
		NH4 ytvatten	2 En minskning av kvävetillförseln från avrinningsområdet förväntas.
		PO4 ytvatten	3 En minskning av fosfortillförseln förväntas.
		Salthalt	-1 En liten minskning av salthalten med negativa effekter på arterna.
		Syrehalt	0 Ingen förändring förväntas (begränsning av övergödning vs. temperaturökning)
Klimatreglering genom minskning av halterna av växthusgaser	-1 Kollager	0 Ingen förändring väntas.	
	pH	-1 Surare vatten har en negativ inverkan på ekosystemtjänster.	
Kulturella tjänster	Fysisk användning av land-/havslandskap	0 Antal turister	1 Turismen och investeringarna i turism förväntas öka något.
		Antal kajplatser för fartyg	1 Den turismrelaterade infrastrukturen förväntas expandera något.
		Antal turistbåtar	1 Båtlivet förväntas öka något i och med att turismen ökar.
		Användning av is för rekreation	-4 Klimatmodellerna förutspår att istäcket kommer att minska med över 80 procent om 100 år.
		Antal möjligheter till utomhusaktiviteter	1 Investeringar i turism förväntas öka möjligheterna något.
	Kulturarv	-2 Kulturarvsplatser under vatten	-1 t.ex. högre temperaturer och försurning har en negativ inverkan.
		Kulturarvsplatser på land	-2 t.ex. nederbörd, högre temperaturer och turism har en negativ inverkan.
	Estetisk	-1 Orörd miljö	-1 Den industriella användningen av området förväntas försämra områdets estetiska värde i framtiden.
	Symbolisk	-2 Antal ikoniska arter	-2 På grund av förlusten av biologisk mångfald förväntas antalet ikoniska arter i området minska.
	Arv	1 Omfattning av marina skyddsområden	1 Inget marint skyddsområde just nu. Det finns ett lokalt rekryteringsområde för sik i närheten av Husum, vilket skulle kunna vara ett skäl att inrätta ett marint skyddsområde.

## Utgrynnan-Molpehällorna



**Figur 5. De förväntade framtida förändringarna av ekosystemtjänsterna (CICES-klassificering) för pilotområdet Utgrynnan-Molpehällorna. De indikatorer som representerar de olika tjänsterna finns i tabell 1. Den förväntade framtida förändringen beräknas utifrån indikatorernas medelvärden. Förklaringar till Likert-skalan för tillhandahållande av ES: 0 = ingen förändring, +1/-1 = liten positiv/negativ förändring, +2/-2 = måttlig positiv/negativ förändring, +3/-3 = betydande positiv/negativ förändring, +4/-4 = omfattande positiv/negativ förändring, +5/-5 extrem positiv/negativ förändring.**

Pilotområdet Utgrynnan-Molpehällornas resultat när det gäller förändringar i tjänsterna enligt CICES-klassificeringen återfinns i figur 5 och indikatorspecifika förväntade framtida förändringar i tabell 1. På basis av de indikatorer som använts i detta projekt förväntas tillhandahållandet av tjänster i allmänhet öka i framtiden. Det beror främst på människans ökade utnyttjande av havsområden och resurser. De kombinerade effekterna av klimatförändringen och minskning av näringsämnen enligt BSAP kan tydligt ses i de reglerade tjänsterna. Klimatförändringen kommer att ha en negativ inverkan på tjänster som "bekämpning av skadedjur och sjukdomar", "klimatreglering" och "översvämningsskydd", medan genomförandet av BSAP förväntas ha en positiv effekt på exempelvis "kemiska förhållanden i saltvatten", "buffring och minskning av massflöden" (ackumuleringsgrad för sediment) samt "nedbrytnings- och fixeringsprocesser". Kulturella tjänster i Utgrynnan-Molpehällorna återspeglar den förväntade ökningen av användningen av havsområdena (exempelvis turism på sommaren) och klimatförändringens effekter kan ses i framtida kulturarv och symboliska värden. Utgrynnan-Molpehällorna är ett stort havsområde där mänskliga aktiviteter kan komma att öka i framtiden, vilket också kan påverka området estetiska värden.

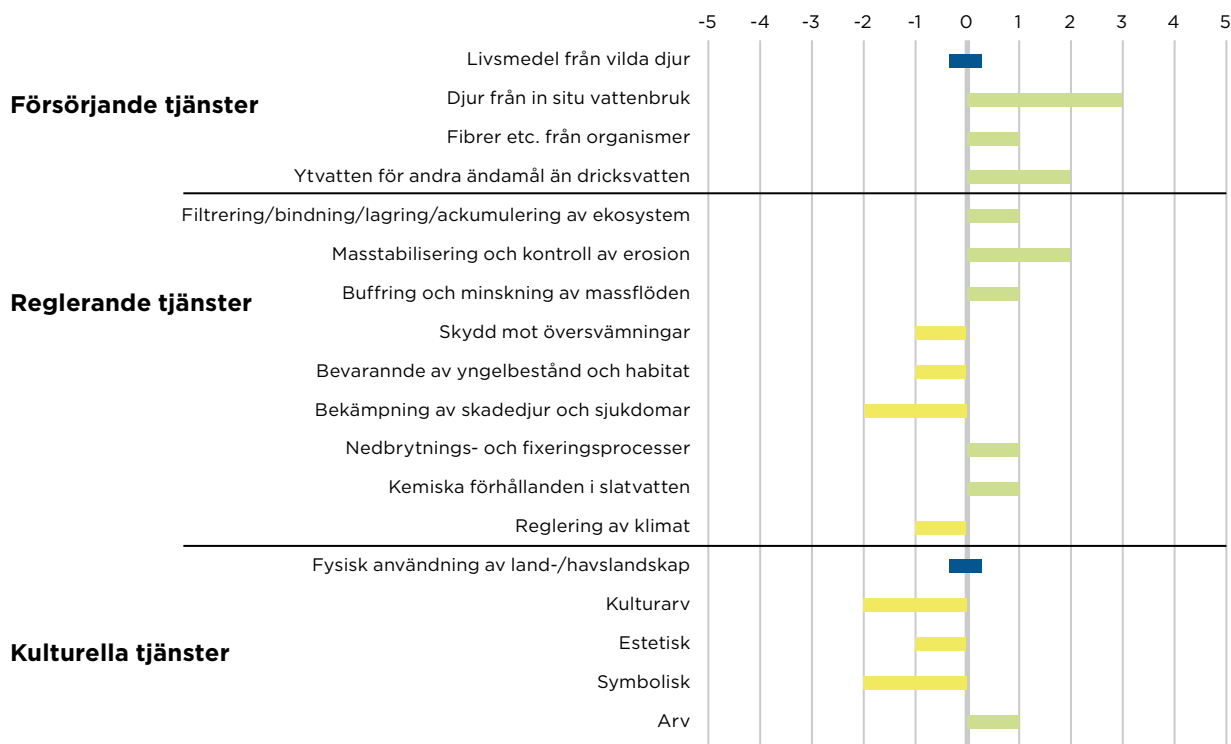
**Yttre Tätfefjärden**


**Figur 6. De förväntade framtida förändringarna av ekosystemtjänsterna (CICES-klassificering) för pilotområdet Yttre Tätfefjärden. De indikatorer som representerar de olika tjänsterna finns i tabell 1. Den förväntade framtida förändringen beräknas utifrån indikatorernas medelvärden. Förklaringar till Likert-skalan för tillhandahållande av ES: 0 = ingen förändring, +1/-1 = liten positiv/negativ förändring, +2/-2 = måttlig positiv/negativ förändring, +3/-3 = betydande positiv/negativ förändring, +4/-4 = omfattande positiv/negativ förändring, +5/-5 extrem positiv/negativ förändring.**

Pilotområdet Yttre Tätfefjärdens resultat när det gäller förändringar i tjänsterna enligt CICES-klassificeringen återfinns i figur 6 och indikatorspecifika förväntade framtida förändringar i tabell 1. På basis av de indikatorer som använts i detta projekt förväntas tillhandahållandet av tjänster i allmänhet öka i framtiden. Det beror främst på människans ökade utnyttjande av havsområden och resurser. De kombinerade effekterna av klimatförändringen och minskningarna av näringsämnen enligt BSAP visar sig i form av reglerade tjänster också i Yttre Tätfefjärden. Klimatförändringen kommer att ha en

negativ inverkan på tjänster som "bekämpning av skadedjur och sjukdomar" och "bevarande av yngelbestånd och habitat", medan genomförandet av BSAP förväntas ha en positiv effekt på exempelvis "kemiska förhållanden i saltvatten" och "nedbrytnings- och fixeringsprocesser". Kulturella tjänster i Yttre Tätfefjärden återspeglar i hög grad den förväntade ökningen av användningen av havsområdena (exempelvis turism) och klimatförändringens effekter kan ses i framtida kulturarv och symboliska värden.

## Husumbukten



**Figur 7. De förväntade framtida förändringarna av ekosystemtjänsterna (CICES-klassificering) för pilotområdet Husumbukten. De indikatorer som representerar de olika tjänsterna finns i tabell 1. Den förväntade framtida förändringen beräknas utifrån indikatorernas medelvärden. Förklaringar till Likert-skalan för tillhandahållande av ES: 0 = ingen förändring, +1/-1 = liten positiv/negativ förändring, +2/-2 = måttlig positiv/negativ förändring, +3/-3 = betydande positiv/negativ förändring, +4/-4 = omfattande positiv/negativ förändring, +5/-5 extrem positiv/negativ förändring.**

Pilotområdet Husumbuktens resultat när det gäller förändringar i tjänsterna enligt CICES-klassificeringen återfinns i figur 7 och indikatorspecifika förväntade framtida förändringar i tabell 1. Många av förändringarna i Husumbuktens pilotområde liknar förändringarna i Utgrynnan-Molpehällorna och Yttre Täftefjärden, exempelvis att de försörjande tjänsterna i allmänhet förväntas öka i framtiden. Effekterna av klimatförändringen och reduktionsmålet för näringstillförseln i BSAP kan också ge mycket liknande resultat i Husumbukten som i andra pilotområden. Den största skillnaden i Husumbukten är att området har industriell verksamhet som kan påverka de försörjande tjänster som kustområdet kan tillhandahålla (det vill säga ytvatten för industriella ändamål). Om den industriella verksamheten skulle öka i framtiden kommer detta att ha en negativ inverkan på områdets kulturella tjänster.

## 3.3. Diskussion

### 3.3.1. Ekosystemtjänsternas framtid

De framtida ekosystemtjänsterna under det värsta tänkbara klimatscenariot (RCP8.5) och reduktionsmålet för näringstillförseln i HELCOMs handlingsplan för Östersjön (BSAP) utvärderades för tre pilotområden. Områden skiljer sig åt exempelvis när det gäller miljöer, grad av mänsklig påverkan och artsammansättning. Trots dessa skillnader fanns det flera likheter när det gäller det framtida utbudet av ekosystemtjänster i områdena. Försörjande tjänsterna förväntas att öka i alla pilotområden medan de kulturella tjänsterna förväntas att minska. Responser inom de olika tjänsterna inom reglerade tjänster var varierande och gav positiva effekter för unge-

fär hälften av tjänsterna och negativa effekter för ungefär den andra hälften. Den största ökningen av de försörjande tjänsterna är en konsekvens av den förväntade ökningen av utnyttjandet av havsområden och dess resurser i framtiden. EU:s strategi för framtida blå tillväxt drivs vidare i Finland och Sverige och regeringarna i båda länderna stöder relevanta projekt (MM 2016, 2020; HaV 2020a; Ahvonen m.fl. 2019) och därför kan vi förvänta oss att användningen av havsbaserade resurser kommer att öka om 100 år. Särskilt olika fiskbaserade produkter, material för medicinsk och kosmetisk användning samt vattenbruk som kommer att ge bättre avkastning i ett varmare klimat förväntas öka (Ahvonen m.fl. 2019). Den största direkta effekten av klimatförändringen på de försörjande tjänsterna syns i den framtida fiskfångsten, eftersom vi förväntar oss att fångsterna av fiskarter som är anpassade till kallare vatten (t.ex. lax och sik) kommer att minska i framtiden, medan den potentiella fångsten av fiskarter som är anpassade till varmare vatten (t.ex. abborre, gädda och karpfiskar) kommer att öka i framtiden. Det förväntas också förändra de viktigaste kommersiella arterna i framtiden. Laxfiskarterna förväntas lida av klimatförändringen. Utsättning av fisk och andra åtgärder, såsom restaurering av lekplatser och förbättrade vandringsmöjligheter kommer förmodligen att motverka de mest skadliga effekterna av detta för fiskeindustrins ekonomiska värde. Det är dock ändå möjligt att det lokala värdet av fisket kommer att minska något i framtiden. Å andra sidan kan dessa framtida förändringar sätta press på industrin att utveckla och vidareförädla produkter för konsumenter även från mindre värdefulla fiskar, som karpfiskar. Det är också viktigt att notera att även om vi räknar med en övergripande ökning av de försörjande tjänsterna i MESAT-utvärderingen är ökningen inte relaterad till vad havet kan erbjuda utan till den förväntade ökningen av efterfrågan på tjänsterna i framtiden. Det är möjligt att öka resursutnyttjandet, men om det inte sker på ett hållbart sätt kommer det att ha en negativ inverkan på de reglerande tjänsterna och de kulturella tjänsterna. Vi förväntar oss en relativt hållbar ökning av de försörjande tjänsterna och har inte räknat med några större skadliga effekter på de reglerande tjänsterna eller de kulturella tjänsterna i samband med ökningen av de försörjande tjänsterna.

När det gäller de reglerande tjänsterna är de positiva förändringarna i vissa tjänster (t.ex. kemiska förhållanden i saltvatten och nedbrytnings- och

fixeringsprocesser; tabell 1) enbart relaterade till de positiva effekterna av BSAP:s begränsning av övergödning, vilket stärker uppfattningen att övergödning har en större effekt på arter och ekosystem än vad klimatförändringen kan ha under de kommande 100 åren (Viitasalo & Bonsdorff 2021; Olsson m.fl. 2015). Det gäller särskilt de södra delarna av projektområdet, som för närvarande får näringsrikt vatten från Egentliga Östersjön (Rolff & Elfving 2015). Minskning av näringsämnen genom BSAP förväntas påverka många biogeokemiska processer i projektområdet positivt och förbättra levnadsvillkoren för flera arter (HELCOM 2021). Vi förväntar oss att klimatförändringens negativa effekter i framtiden kommer att märkas av inom de reglerande tjänsterna, särskilt inom tjänsterna ”bekämpning av skadedjur och sjukdomar” och ”bevarande av yngelbestånd och habitat”. Dessa förväntade förändringar är framför allt kopplade till de negativa effekterna av uppvärmning av vattnet och minskad salthalt. Uppvärmningen förväntas öka sannolikheten för skadliga algblomningar, förbättra levnadsvillkoren för främmande arter och försämra lek- och uppväxtområdena för fiskarter som är anpassade till kallare vatten (Wagner & Adrian 2009; Paerl & Huisman 2009; Dukes & Mooney 1999; Jones & Cheung 2015). En ökad förekomst av främmande arter i projektområdet kan leda till förändringar på ekosystemnivå och förändra samspelet mellan arter i framtiden, medan ökade förekomster av skadliga algblomningar sporadiskt kan försämra vattenkvaliteten och orsaka lokala hypoxiska eller anoxiska bottenförhållanden. Söderut i Östersjön där landhöjningen är mer begränsad kommer havsnivåhöjningen orsaka översvämningar och erosion i kustområden (t.ex. von Storch m.fl. 2015). I projektområdet däremot kommer landhöjningen mildra de skadliga effekterna av klimatförändringen som är relaterade till havsnivåhöjningen.

När det gäller kulturella tjänster förväntas de skadliga effekterna av klimatförändringen handla om negativa effekter på kulturarvsplatser. Dessa kan drabbas av exempelvis försurning, stormar och högre temperaturer (Perez-Alvaro 2016; Kaslegard 2011; Sabbioni m.fl. 2008). De kulturella tjänster som är kopplade till is (t.ex. isfiske, skidåkning och skridskoåkning) kommer sannolikt att påverkas negativt i framtiden när klimatet blir varmare. Klimatförändringen förväntas att öka sommarturismen i pilotområdena. När det kommer till kulturella tjänster kan en ökning av turismen ses som en positiv effekt.

Varmare sommartemperaturer kan öka områdets attraktionskraft och de nordliga regionerna kan generellt bli mer attraktiva resmål för människor som bor i områden som blir för varma (Jänkäla 2019; OECD 2018). Å andra sidan kommer det ökade utnyttjandet av havsområdena genom mänskliga aktiviteter (exempelvis vattenbruk, fler havsbase-rade vindkraftverk) att påverka de estetiska kulturvärdena i vissa områden i projektområdet negativt i framtiden (Firestone & Kempton 2007).

Stora skillnader mellan de olika pilotområdena när det gäller omfattningen av förändringarna i tillhandahållandet av ekosystemtjänster i framtiden kunde inte påvisas. Pilotområdena ligger relativt nära varandra, så de flesta hydrologiska, kemiska och fysiska krafter som påverkar områdena är desamma, vilket ger upphov till ganska likartade reaktioner i pilotområdena. De viktigaste skillnaderna mellan pilotområdena när det gäller tillhandahållandet av tjänster var kopplade till skillnaderna i människans användning av områdena; nuvarande och förmodad framtida användning av de olika pilotområdena för vattenbruk, industri, fiske, turism, förnybara energiresurser, restaurering och skydd. Det är också viktigt att notera att de exakta förändringarna i en specifik tjänst inte kan jämföras direkt mellan pilotområdena, eftersom utvärderingarna är knutna till varje pilotområdes nuvarande tillstånd, och det nuvarande tillståndet kan skilja sig åt mellan de olika pilotområdena.

Det är inte enkelt att förutse framtida ekosystemtjänster. Hundra år är en mycket lång tid och när vi uppskattar förändringar så långt fram i tiden blir osäkerheten i våra uppskattningar större och större för varje årtionde. Med hjälp av modeller kan vi få välgrundade förutsägelser av vissa miljövariabler, även om dessa förutsägelser också är förknippade med en hög grad av osäkerhet. När man går från modellerade resultat vidare till ekosystemens funktion, inklusive interaktioner mellan variabler och arter, och ännu längre till tillhandahållande av ES, ökar osäkerheten i varje steg. Därför är resultaten mycket osäkra även när de är som bäst. Dessutom är det viktigt att notera att det inte var möjligt att ta hänsyn till alla faktorer som påverkar arter, ekosystem och tillhandahållandet av ekosystemtjänster i framtiden när MESAT-utvärderingen gjordes. Ekosystemtjänsterna påverkas av flera olika faktorer, inte bara klimatförändringen och grad av övergödning, utan exempelvis luft- och vattenföroreningar, överfiske, artinteraktioner och marint avfall, som påverkar

ekosystemens funktion (von Storch m.fl. 2015). Men eftersom det finns många spekulationer om hur dessa kommer att förändras i framtiden, försökte vi enbart ta hänsyn till de drivkrafter för förändring som vi har en giltig hypotes om hur de kommer att förändras, exempelvis utnyttjandet av havsområden och ökningen av mänskliga aktiviteter till havs.

### 3.3.2. Metodologiska aspekter

MESAT är ett praktiskt verktyg för att bedöma de olika ekosystemtjänsterna på ett holistiskt sätt i ett visst område, men det finns vissa aspekter att ta hänsyn till när det gäller det metodologiska angreppssättet. När det gäller alla metoder för värdering av ekosystemtjänster är det mycket viktigt att komma ihåg att metoden bara är så bra som den uppsättning indikatorer som använts. Indikatorer är långt ifrån perfekta, eftersom de i huvudsak bara är representanter för komplexa fenomen (Hattam m.fl. 2015). Många ekosystemtjänster är extremt svåra att mäta. Det finns fortfarande dålig kännedom om en del av de underliggande mekanismerna i exempelvis reglerande tjänster. T.ex. återvinning av näringsämnen, nedbrytningsprocesser och andra faktorer som påverkar ekosystemtjänster (e.g. Ahtiainen & Öhman 2014; Daily 1997). Vissa av de indikatorer som använts kan därför beskriva ekosystemtjänster på ett något otillräckligt sätt. Det som dessutom försämrar de indikatorer som använts är att det inte finns dåligt med data. Det finns ganska lite öppet tillgängligt material, data eller litteratur för många av indikatorerna för ES, vilket minskade antalet indikatorer som kunde användas i detta projekt. Utvärderingen av framtida förändringar av indikatorerna till följd av klimatförändringen medförde ytterligare svårigheter. Till och med vissa indikatorer med tydlig kunskap om den nuvarande situationen måste lämnas utanför utvärderingsprocessen eftersom det inte var klart hur klimatförändringen kommer att påverka dem. Det är viktigt med exakta kvalitetsstandarder för de indikatorer som använts, men de skapar ett dilemma genom att minska antalet indikatorer och därmed göra bedömningen av ekosystemtjänster mer opålitlig. Bristande tillgång till data är ett vanligt problem vid bedömningar av ekosystemtjänster i Östersjön och därför har forskningen endast fokuserat på en mycket liten del av de olika ekosystemtjänster (Ahtiainen & Öhman 2014).

Likertskalans förändringskategorier har både fördelar och nackdelar i MESAT. Om man omvandlar

alla absoluta indikatorvärden mellan den nuvarande och framtida statusen till förändringskategorier kan man göra direkta jämförelser mellan indikatorer och tjänster samt datatyper och undersökningsområden, vilket är MESAT-verktygets främsta fördel. I det här projektet leder dock de framtida utvärderingarna till problem med att använda kategorin förändring, eftersom den ursprungligen bygger på (Inácio m.fl. 2018) dåtid och nutid medan denna studie fokuserar på nutid och framtid. Eftersom indikatorernas framtida värden naturligtvis inte är kända måste vi i detta projekt uppskatta de framtida värdena för beräkningarna av förändringskategorier. Dessutom var det inte möjligt att uppskatta det absoluta framtida värdet för alla indikatorer och i dessa situationer bestämdes förändringskategorin direkt av ECONnect-projektgruppen på basis av litteratur och expertutlåtanden. På så sätt är metoden mycket känslig för subjektiva bedömningar. Trots detta har ECONnect-projektgruppen haft denna felkälla i åtanke när de har gjort sina utvärderingar, och litteratur, expertutlåtanden och andra tillgängliga uppgifter har genomsökts och utvärderats på ett omfattande sätt.

Ekosystemtjänsterna är många och varierande, och vissa har större inverkan på människans välfärd än andra (Daily 1997). Att väga vissa tjänster mot andra är, trots att det är extremt viktigt, en mycket svår uppgift som har behandlats på olika sätt i litteratu-

ren (t.ex. Armoškaitė m.fl. 2020; Daily 1997) utan att det finns någon etablerad eller allmänt godtagen metod. Nackdelen med att ge vissa tjänster större vikt än andra är att om kunskapen bakom viktningsprocessen inte är tillräcklig finns det en möjlighet att metoden blir ännu mer fel än utan viktning. Ofta finns det inte tillräckligt med tillförlitlig information för viktning, och även i MESAT saknas viktningsprocessen. Därför behandlas alla olika tjänster lika, även om de inte är lika när det gäller vilka fördelar de ger. Ett exempel på detta är betydelsen av biologisk mångfald. Biologisk mångfald ger välmående ekosystem, och välmående och motståndskraftiga ekosystem producerar stabila ekosystemtjänster som gynnar människorna (t.ex. Palumbi m.fl. 2009; Elmquist m.fl. 2003). Det är mycket viktigt att notera att den biologiska mångfalden är en av de viktigaste faktorerna i tillhandahållandet av ekosystemtjänster (t.ex. Cardinale m.fl. 2012; Peterson m.fl. 1998). Den förväntade förlusten av biologisk mångfald påverkar MESAT-utvärderingen av vissa indikatorer, men det är ändå viktigt att betona att klimatförändringen och andra hot orsakade av människan förväntas försvaga den biologiska mångfalden under de kommande årtiondena (t.ex. Bellard m.fl. 2012; Ojaveer m.fl. 2010; Worm m.fl. 2006), och MESAT kan inte ge den biologiska mångfalden det fulla värde som den borde ha när det gäller tillhandahållandet av ekosystemtjänster.

## 4. Ekosystemtjänstindex

Det är svårt att begripa naturens produktion av varor och tjänster på ett heltäckande sätt eftersom ekosystem är komplexa enheter med ett nästan oräkneligt antal komponenter som interagerar på ett icke-linjärt sätt. Redovisningssystem och index förmedlar inte hela sanningen om ett system, men de kan användas för att förstå viktiga signaler om välfärd och framsteg eller nedgång (Banzhaf & Boyd 2012). Ett ekosystemtjänstindex är ett kvantitetsmått som relaterar till, men inte direkt mäter, naturens värde för människan (Boyd & Banzhaf 2007). Ett sådant fristående index för ekosystemtjänster kan fungera som en måttstock för vinster och förluster av miljörelaterat välbefinnande, och det kan användas för att jämföra ekosystemtjänster i tid och rum. Det finns många sätt att konstruera ett ekosystemtjänstindex men oftast kräver dess arkitektur både ekonomiskt och ekologiskt innehåll och analys (Banzhaf & Boyd 2012). Ett sätt som ofta används är att kvantifiera och vikta tjänster genom att använda måttet WTP (willingness to pay, betalningsvilja). I det här projektet bestämde vi oss för att konstruera ett ekosystemtjänstindex som bygger på de tjänster som olika habitat och arter tillhandahåller i Bottniska viken och undvika att ge vikt åt separata tjänster eftersom viktningsprocessen är utmanande och subjektiv och innehåller många möjligheter till fel. Det index som föreslås här är ett verktyg för att utvärdera och jämföra ekosystemtjänster i hela projektområdet och för att i siffror utvärdera vilka förändringar som kan ske i dem i framtiden. Indexet sammanfattar ett brett utbud av tjänster i ett enkelt mått, som både refererar till typen av tjänster och deras rumsliga och tidsmässiga fördelning, och kan hjälpa till att besvara frågan om hur klimatförändringen kan påverka ekosystemtjänster i bredare skala.

### 4.1. Metoder för klassificering av tjänster

Sammanlagt tio arter eller artgrupper som förekommer i projektområdet valdes ut för ekosys-

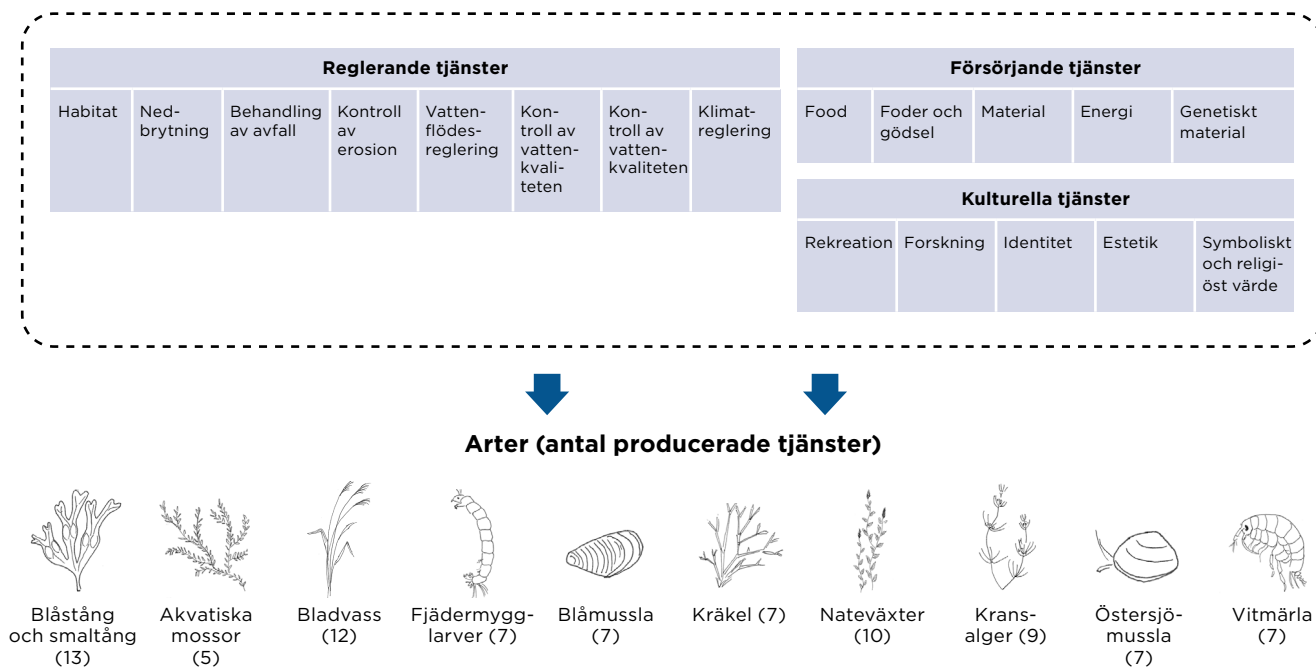
temtjänstindex-beräkningen. Arterna valdes ut på basis av deras ekologiska betydelse och förmåga att tillhandahålla ekosystemtjänster. De utvalda arterna och artgrupperna är vanligt förekommande i projektområdet och har särskild betydelse för tillhandahållandet av tjänster i området, och många av dem spelar också en nyckelroll i ekosystemens funktion. Med tanke på klimatförändringen tog man också hänsyn till arternas uppskattade känslighet för förändringar i salthalt och temperatur när arterna valdes ut. De arter och artgrupper som ingick i indexkonstruktionen var blåstång och smaltång, nateväxter (*Potamogeton perfoliatus*, *Stuckenia pectinata*), akvatiska mossor (bl.a. *Fontinalis* spp., *Drepanocladus* spp.), rödalgen kräkel (*Furcellaria lumbricalis*), bladvass (*Phragmites australis*), kransalger (bl.a. *Chara* spp., *Nitella* spp.), blåmussla (*Mytilus trossulus x edulis*), Östersjömussla (*Limecola balthica*), fjädermyggselarver (bl.a. *Chironomus* spp., *Tanytarsus* spp.) och vitmärsla. En fullständig förteckning över de arter som ingår och mer information om deras ekologiska roll finns i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*, där arternas utbredning har modellerats under en referensperiod och i framtiden.

Utvärderingen av tillhandahållandet av tjänster för arter och artgrupper i den här studien baserades på det omfattande arbete som utförts inom projektet MERIAVAIN om kopplingarna mellan Östersjöns habitat och ekosystemtjänster enligt CICES klassificeringssystem för ekosystemtjänster (Haines-Young & Potschin 2012; se avsnitt 2.0 och 3.0 i den här rapporten för mer information). I projektet MERIAVAIN genomfördes en omfattande litteraturgranskning och expertbedömning för att samla in och kombinera information om hur många och vilken typ av ekosystemtjänster olika habitat i Östersjön ger. Utvärderingen gjordes för LuTU-naturtyper (habitatklassificering som används i "Assessment of threatened habitat types in Finland" och som bygger på HELCOM HUB) och eftersom samma arter som



använts i detta projekt också ingår i LuTU-naturtyper, var det enkelt att använda materialet. Projektet MERIAVAIN använde CICES-klassificeringen som grund för utvärderingen, men valde endast de tjänster som var mest tillämpliga för miljön i Östersjön. I detta projekt använde vi samma paket av tjänster som i MERIAVAIN-projektet (figur 8). Efter utvärderingen av ekosystemtjänster för de olika habitaterna i Östersjön gjordes i projektet MERIAVAIN för alla finska havsområden tillsammans, använde vi endast deras utvärdering som en grund för vår egen mer exakta utvärdering av projektområdet. Vi utvärderade varje tjänst för varje art och artgrupp i projektområdet med hjälp av litteraturkällor och expertbedömningar och fick för varje art och artgrupp ett antal tjänster som de producerar (figur 8). Blåstång och smaltång och bladvass visade sig ge

det högsta antalet olika ekosystemtjänster i projektområdet av de arter som utvärderades. Därefter kategoriserades eller rangordnades arterna för ekosystemtjänstindex-beräkningen enligt antalet ekosystemtjänster som de producerar: 5 eller färre tjänster = kategori 1, 6–8 tjänster = kategori 2, 9–11 tjänster = kategori 3 och 12 eller fler tjänster = kategori 4. Rangordningen gjordes för att ge mer värde åt de arter och artgrupper som producerar fler tjänster och därmed har ett större värde för människan. När det finns många arter i ett visst ekosystem och alla producerar ett stort antal olika ekosystemtjänster är det också mer sannolikt att de tillhandahåller samma tjänster, vilket ger ekosystemet motståndskraft och är värdefullt av den anledningen (Peterson m.fl. 1998). Vi upptäckte inte heller att någon art bland de arter som producerade ett



**Figur 8. Utvärderade ekosystemtjänster för olika arter och artgrupper som använts i ekosystemtjänstindex-beräkningen. Antalet olika tjänster som produceras av arter och artgrupper utvärderades utifrån litteratur och expertutlåtanden och antalet olika tjänster som produceras anges inom parentes. Namnen på ekosystemtjänster är inte officiella CICES-namn utan förkortade versioner.**

litet antal tjänster var ensam ansvarig för att producera en viss tjänst och därmed var extremt värdefull i ekologisk bemärkelse. Det fanns alltså ingen anledning att lägga särskild vikt vid eller rangordna någon av dessa arter i de lägre kategorierna.

## 4.2. Modellering och indexkonstruktion

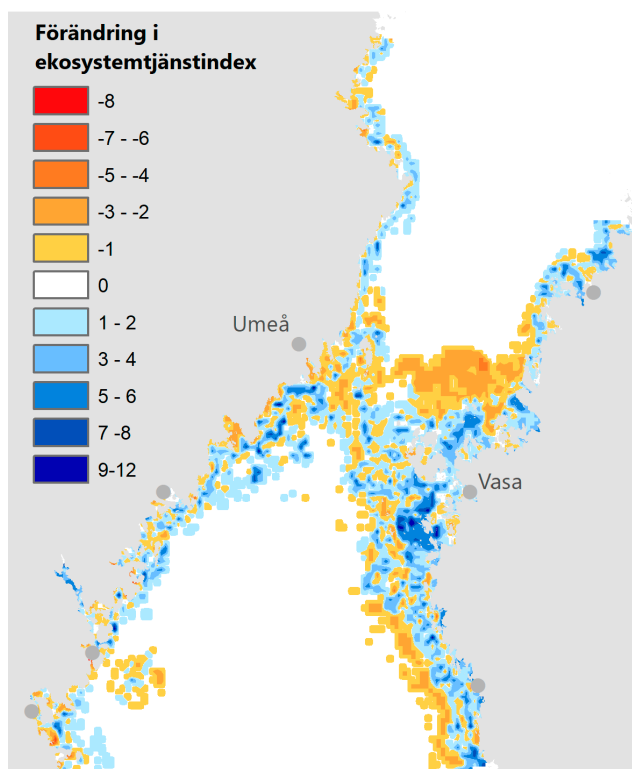
Fördelningen av olika arter och artgrupper under referensperioden och i framtiden baserades på artutbredningsmodeller (species distribution models, SDM) som gjorts för dessa tidsperioder. Artutbredningsmodellering är en teknik för att skapa kartor över arters utbredning över stora områden med hjälp av artobservationer. Artutbredningsmodeller tar observationer av arter och miljöförhållanden från dessa observationsplatser som indata, drar slutsatser av hur en art reagerar på miljöförhållanden och generaliserar artens krav på habitat i ett undersökningsområde med hjälp av kartor över miljövariabler. Resultatet är en karta över den modellerade sannolikheten för förekomst.

I framtida artutbredningsmodeller upprepas processen med hjälp av modellerade framtida miljöförhållanden. På så sätt kan man förutsäga var de områden som är lämpliga för arten kan finnas i framtiden. Här använde vi modellerade framtida miljöförhållanden baserade på en oceanografisk cirkulationsmodell som skapats av SMHI och som utgår från att nivåerna av växthusgaser i framtiden kommer att öka enligt RCP8.5 och att näringshalterna i havet kommer att utvecklas enligt BSAP. För mer information om artutbredningsmodeller och framtidsmodellering, se kapitel 4 i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*.

Artutbredningsmodellerna kördes som sannolikhetsmodeller, vilket innebär att den karta som skapas visar sannolikheten för att en art ska förekomma i det området. För att fokusera på de mest sannolika (och därmed lämpligaste) områdena tillämpades ett artspecifikt tröskelvärde på varje artdistributionsmodell. Modellerna visades för biologer med expertkunskaper om arten och området. De utvärderade modellen i syfte att hitta ett tröskelvärde för den modellerade sannolikheten som i optimala fall innefattar de kända förekomsterna av arten, men utelämnar områden där arten är sällsynt eller inte

förekommer. Modellerna formades sedan med dessa tröskelvärden, och de återstående modellerade områdena betraktades som möjliga förekomstplatser.

Förekomstplatserna för varje art gavs ett artspecifikt värde som beskriver deras förmåga att tillhandahålla ES, enligt det som anges i föregående avsnitt 4.1. Modellerna återskapades till ett rutnät på 2 km x 2 km, och de nya modellerna summerades i enlighet med arternas rangordning. Om exempelvis en ruta på 2 km x 2 km innehöll modellerade förekomster av blåstång och smaltång, blåmussla, Östersjömussla, trådalger och bladvass under referensperioden, får den ett totalt indexvärde på  $4+2+2+1+4 = 13$ , baserat på varje arts rangordning. Om blåmusslan och blåstång och smaltång försvinner i framtiden från rutan enligt den framtida artdistributionsmodellen, skulle indexet sjunka till  $2+1+4$ , eller 7, vilket innebär en minskning med 46 procent,  $((13-7)/13)*100$ .



**Figur 9. Ekosystemtjänstindex ökar i de flesta grunda områdena längs Finlands kust och minskar i de djupare områdena. Vid den svenska kusten kan man inte se någon tydlig nedgång i indexet i de djupare områdena, utan indexet förändras mer regionalt. Den genomsnittliga förändringen av ekosystemtjänstindex i hela projektområdet är svagt positiv och ökar med 3 procent.**

Det totala ekosystemtjänstindexet inom projektområdet beräknades som summan av värdena i alla rutor. För att studera förändringen av ekosystemtjänster inom projektområdet om 100 år jämfördes referensperiodens ekosystemtjänstindex med det framtida ekosystemtjänstindex. Eftersom det kan finnas skillnader i hur ekosystemtjänstindex kommer att förändras mellan olika delar av undersökningsområdet, tog man även fram en karta där dessa rumsliga mönster kan ses.

### 4.3. Resultat

På basis av de kategorivärden som anges för arterna enligt antalet producerade ekosystemtjänster och deras modellerade utbredning under referensperioden och i framtiden kommer ekosystemtjänstindex i genomsnitt att öka något i projektområdet, med 3 procent. Denna förändring är dock så liten att den i praktiken inte har några betydande effekter på de förväntade totala tjänsterna i hela projektområdet. Intressant nog finns det anmärkningsvärda rumsliga skillnader i hur indexet kommer att förändras (figur 9). Det tydligaste mönstret kan ses i Kvarken och på den finska kusten i projektområdet, eftersom ekosystemtjänster i grunda kustområden påverkas positivt medan ekosystemtjänster i de djupare delarna av kusten påverkas negativt i framtiden jämfört med referensperioden. Den negativa förändringen av indexet och därmed av ekosystemtjänster i de djupare regionerna längs den finska kusten och särskilt i Kvarken återspeglar modellerade minskningen av blåmussla, Östersjömussla och vitmärla, som alla tillhandahåller ett relativt stort antal tjänster. Blåmusslorna kommer att påverkas negativt av den kombinerade påfrestningen av en viss minskning av salthalten och temperaturökningen, medan Östersjömusslorna kommer att drabbas av den sjunkande salthalten och näringshalterna, och vitmärlorna av temperaturökningen. Det största enhetliga området med negativ inverkan på ekosystemtjänster strax norr om Kvarken beror också på minskningen av vitmärla. Vitmärlan har en viktig ekologisk roll i djupa mjuka bottnar eftersom den konsumerar organiskt material och i processen bioturberar och syresätter sedimentet. Minskningen av ekosystemtjänster i de djupa mjuka bottnarna är dock inte helt okomplicerad eftersom en artgrupp som upptar en liknande nisch som vitmärlan utelämnades från ekosystemtjänstindex-beräkningen: arter av nordamerikanska havsborstmaskar *Marenzelleria* spp. Anledningen till

att nordamerikanska havsborstmaskar utelämnades är att arterna i gruppen är främmande för Östersjön och att deras förekomst i ett område ibland är problematisk. De syresätter bottensedimenten och tillhandahåller ekosystemtjänster, men deras effektiva grävande kan också frigöra gifter från botten-sedimenten och de kan eventuellt konkurrera med inhemska arter.

Den relativt stora ökningen av ekosystemtjänster i de grunda områden på finska och svenska kusten samt i Kvarken återspeglar det faktum att många arter som lever i grunda områden gynnas av varmare vatten, längre växtsäsong och minskande istäcke i framtiden. Dessa arter är bland annat nateväxter, vattenlevande mossor och kransalger. Dessutom kommer ett minskande istäcke att gynna blåstång och smaltång, som ger en stor mängd ekosystemtjänster och som enligt modellerna kan börja förekomma i grundare vatten i framtiden. Anledningen till att man inte ser en liknande minskning av ekosystemtjänstindex på den svenska kusten som på den finska kusten när man rör sig mot djupare vatten kan bero på den svenska kustens topografi. Sveriges kustlinje är brant, vilket gör att det finns ett relativt smalt område för bräckvattenorganismer att leva i. Sannolikt är de faktorer som påverkar den framtida artutbredningen i stort sett desamma på båda sidor av projektområdet, men eftersom djupet sjunker så snabbt i Sverige kan upplösningen som indexet beräknades med vara för grov för att man ska kunna upptäcka en tydlig förändring av ekosystemtjänster. Dessutom förekommer blåmussla i en smal kustremsa på Sveriges djupa kust och artens förekomst och abundans på den finska sidan av kusten är mycket större, så artens nedgång är också relativt sett större på den finska kusten och denna förändring återspeglas i indexet.

Ekosystemtjänstindex påverkas dessutom i allmänhet på ett positivt sätt av BSAP:s åtgärder för att minska övergödningen. Åtgärder för att minska övergödningen förbättrar livsvillkoren för flera arter genom att exempelvis förbättra siktdjupet och syreförhållandena på botten samt minska sedimenteringen. Särskilt sannolikheten för förekomst av blåstång och smaltång och kräkel (*Furcellaria lumbricalis*) har förbättrats i projektområdet tack vare BSAP.

### 4.4. Diskussion

Ekosystemtjänstindex ger en intressant inblick i de möjliga förändringarna i ekosystemtjänster i stor skala i projektområdet i framtiden. Indexet återspeglar både de negativa effekterna av klimatförändringen och de positiva effekterna av BSAP:s åtgärder för att minska övergödningen för de arter och tjänster som produceras. Dessutom kan klimatförändringen gynna vissa arter (exempelvis isens effekt på blåstång och smaltång) och BSAP kan begränsa vissa arters framgång (exempelvis effekten av mindre fosfor som påverkar tillgången på föda för Östersjömuslor). Indexet beskriver att när miljöförhållandena i havet förändras, förändras också områdenas lämplighet för arterna. Det innebär att arterna flyttar till nya mer lämpliga områden och att de ekosystemtjänster som de producerar också flyttas. I vissa områden kommer ekosystemtjänster alltså att minska och i andra öka, och förändringen är troligen mosaikartad. Indexet berättar också en annan viktig historia. Eftersom vi ser att ekosystemtjänster och arternas utbredning kommer att förändras rumsligt är det viktigt att i större skala se till att arterna har möjlighet att flytta sig till mer lämpliga områden och att mänskliga aktiviteter (exempelvis anläggningar till havs och på land, muddring, vindkraft) inte står i vägen för arterna. Eftersom ekosystemtjänstindex visar att de tjänster som produceras av de viktiga arter som är anpassade till habitat på djupare och hårda bottenar kommer att minska, särskilt utanför den finska kusten och i Kvarken, understryker detta att de områden där minskningen förväntas ske bör tas i beaktande i den fysiska havsplaneringen för att se till att mänskliga aktiviteter inte orsakar ytterligare försämring för arterna.

Det grunda Kvarkenområdet är ett ekologiskt viktigt område som för Finlands och Sveriges kuster närmare varandra och som fungerar som en korridor

för arter att röra sig och sprida sig mellan kusterna i de två länderna. Den grunda Kvarken har allmänt ansetts vara ett område där klimatförändringens effekter på arter och ekosystem i bräckt vatten kommer att märkas först, eftersom de marina arterna ursprungligen lever här på sin toleransgräns när det gäller salthalt, och eftersom området är så grunt att uppvärmningen troligen kommer att få större effekter där. Det ekosystemtjänstindex som togs fram i detta projekt återspeglar denna förändring av ekosystemtjänster i Kvarken, eftersom tjänsterna där totalt sett förväntas minska, och tvärtom kan man se en mer allmän ökning av ekosystemtjänstindex både norr och söder om Kvarken.

Nackdelen med ekosystemtjänstindex är att den inte tar hänsyn till alla de tjänster som olika arter tillhandahåller utan endast koncentrerar sig på vissa organismer. Till exempel är fiskarter, växtplankton och djurplankton viktiga beståndsdelar i Östersjöns ekosystem som direkt och indirekt producerar tjänster för människan och som inte beaktas i ekosystemtjänstindex. Anledningen till det är att vi genom modellering begränsades av tillgången till och användbarheten av uppgifterna i ekosystemtjänstindex-konstruktionen. De fastsittande makrofyterna och bentos har kartlagts i stor utsträckning i Östersjön, vilket gör det möjligt att i framtiden modellera utbredningen av dessa arter. Å andra sidan är det också intressant att koncentrera sig på vissa viktiga arter och få information om de tjänster som kärleväxter, makroalger och bentiska ryggradslösa vattendjur producerar. Dessutom kompletterar de metoder som använts i detta projekt för att bedöma framtida ekosystemtjänster, MESAT-verktyget och ekosystemtjänstindex varandra: MESAT beskriver förändringar i mindre skala men för ett större urval av arter och ekosystem, och ekosystemtjänstindex beskriver förändringar i ekosystemtjänster i större skala som produceras av de mest intressanta arterna.

## 5. Slutsatser

Projektets mål var att producera nytt material om hur klimatförändringen kan komma att påverka projektområdet under de kommande 100 åren. Det finns inga tidigare prognoser om klimatförändringens påverkan på artutbredning, ekosystemtjänster eller konnektivitet för området som helhet. Materialet som har producerats är tänkt att användas inom klimatanpassning och samhällsplanering samt av allmänheten. Prognoser som gäller klimatförändringens påverkan på havet kan vara användbara vid planering av hur vi bör anpassa oss till möjliga förändringar och för att förstå vilka områden som kan bli särskilt viktiga för arter och ekosystem i framtiden, även när det gäller att bevara dessa arter.

Klimatmodellerna som användes i det här projektet indikerar att de största miljöförändringarna kommer att gälla vattentemperatur och istäcket på vintern. Dessa faktorer kommer därför att ha störst påverkan på arter och ekosystem. Salinitet, som i hög grad påverkar arternas utbredning, förväntas inte genomgå dramatiska förändringar under de kommande 100 åren. Prognoser om salinitetsnivåer i framtiden är dock mycket osäkra. Om saliniteten minskar mer än vad som beräknats i modellerna kan förändringarna i förekomsten av arter bli större och ekosystemtjänsterna som de producerar i sin tur påverkas. I allmänhet visar modellerna ett framtida växt- och djurliv som liknar referensperiodens i projektområdet. De tydligaste förändringarna i artutbredning förväntas bero på varmare och klarare vatten, minskat istäcke och något lägre salinitet. Förekomsten av marina arter som redan lever på gränsen till sin toleransnivå för låg salthalt (t.ex. blåmusslan) kan komma att minska i framtiden. Detsamma gäller arter som föredrar kallare vatten (t.ex. *Monoporeia affinis*). Det krympande istäcket kommer i synnerhet att gynna fleråriga alger och växter som inte längre skrapas bort av isen varje år. Minskningen av näringsämnen enligt BSAP kommer bland annat att leda till klarare vatten, vilket gynnar de flesta arter som ursprungligen är anpassade för lägre näringshalter. Mer om de förväntade

förändringarna i arternas utbredning finns att läsa i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*.

Förändringar i konnektiviteten i och tillhandahållandet av ekosystemtjänster i framtiden förväntas ske och följer till stora delar förändringarna i arters utbredning och förekomst. När det gäller ekosystemtjänster förväntas de försörjande tjänsterna i allmänhet öka i framtiden, medan klimatförändringens och BSAP:s effekter på de reglerande tjänsterna varierar, vilket gynnar vissa tjänster och skadar andra. När det gäller kulturella tjänster kommer användningen av projektområdet på sommaren att öka medan de kulturella tjänsterna på vintern kommer att minska. Kulturarvet kan också påverkas negativt av klimatförändringarna i framtiden. De ekosystemtjänster som endast är kopplade till de modellerade arterna (ekosystemtjänstindex) förväntas inte förändras när det gäller mängden producerade tjänster, men eftersom arternas utbredningsområden förväntas förändras kommer även de områden där vissa tjänster produceras att flyttas till andra områden. Resultaten av konnektivitetsanalyser indikerar att Kvarken är en viktig väg för arter som rör sig mellan Sverige och Finland. Den finska sidan av Bottniska viken gynnar arternas rörlighet på grund av den grunda kustlinjen, som främjar frodiga ekosystem för många arter. På den svenska kusten är förflyttningen av arter begränsad på många platser på grund av den mycket djupa kustlinjen, som begränsar förekomsten av många arter till en ganska snäv zon och försvagar möjligheterna till spridning mellan habitat. Den svenska kusten i centrala Bottniska viken kan därför betraktas som naturligt fragmenterad och känslig. Ytterligare resultat från konnektivitetanalyserna kan läsas på engelska i EConnect-rapporten *Ecological connectivity and resilience of marine protected areas in the central Gulf of Bothnia*. Arter och ekosystem anpassas till förändringar i sin omgivning om förändringarna sker gradvis och sker under en lång tidsperiod (Jansen m.fl. 2007; Viitasalo m.fl. 2015). Den mänskliga kli-

matförändringen sker inte gradvist utan är i sig själv snabb (Jansen m.fl. 2007; Viitasalo m.fl. 2015) och medför stora utmaningar för arternas anpassningsförmåga (Viitasalo m.fl. 2015; Urban 2015).

Förändringarna i miljövariablerna enligt projektets modeller ligger i linje med andra källors nuvarande prognoser för framtiden i Östersjön och Bottniska viken, särskilt HELCOM & Baltic Earth 2021 och Meier m.fl. 2021. Man bör komma ihåg att projektets resultat är specifika för vissa scenarier, arter, ekosystemtjänster och konnektivitetanalyser inom projektområdet. Resultaten ger en inblick i hur de undersökta arterna kan reagera på klimatförändringen och hur olika ekosystemtjänster och konnektivitet som är kopplade till dessa arter kan påverkas, men om framtiden följer ett annat klimatscenario eller om BSAP inte genomförs framgångsrikt kan framtiden se annorlunda ut än vad som presenteras här. Som tidigare diskuterats råder det dessutom stor osäkerhet om framtida prognoser för klimatförändringarnas effekter på havet.

EConnect-projektet har fokuserat på klimatförändringens effekter på centrala Bottniska viken. Men

som nämnts genom rapporten, finns det ytterligare belastningar som har en stor påverkan på havsområdet. En av dessa påfrestningar är förlusten av biologisk mångfald, vilket är nära förenat med klimatförändringen. Ett balanserat och fungerande ekosystem är en förutsättning för människans välbefinnande och om vi misslyckas med att bemöta de gemensamma utmaningarna kan människors livskvalitet äventyras (IPBES-IPCC 2021). Det är avgörande att inte göra åtskillnad mellan åtgärder för att motverka den minskande biologiska mångfalden och klimatförändringen utan istället vidta åtgärder som samtidigt tar sig an båda problemen (Pörtner m.fl. 2021). Samma kan sägas om andra miljöproblem, såsom övergödning, utsläpp, nedskräpningen av havet och andra ökade mänskliga aktiviteter som påverkar Östersjön och Bottniska viken. Funktionerna i våra hav är sammanlänkade och åtgärder som motverkar övergödning bidrar samtidigt till att minska effekten av klimatförändringen. Denna insikt kommer att leda oss närmare till att få ett friskt hav än om vi fokuserade på varje problem för sig.

# 6. Bilaga

## A1 MESAT-metodiken

Det skräddarsydda och datorstödda verktyget (MESAT) har konstruerats för att fungera i MS Excel-format. Den utvärderar relativa förändringar i tillhandahållandet av ekosystemtjänster med hjälp av en uppsättning indikatorer (Inácio m.fl. 2018). I verktyget klassificeras ekosystemtjänster enligt CICES klassificeringssystem version 4.3 som utvecklats av Haines-Young & Potschin (2012) (den senaste CICES-versionen 5.1 användes inte eftersom version 4.3 var mest kompatibel med MESAT och lämpade sig bättre för projektets behov). I CICES delas alla ekosystemtjänster på en grundläggande nivå upp i försörjande tjänster, reglerande tjänster och kulturella tjänster. Inom dessa huvudtyper är tjänsterna vidare hierarkiskt indelade i divisioner, grupper och klasser, med en utveckling mot mer distinkta tjänster på varje nivå. I det här arbetet koncentrerar vi oss endast på de mest distinkta tjänsterna på CICES-klassificeringsnivå. Slutligen bedöms tjänsterna i MESAT-verktyget med hjälp av en uppsättning indikatorer, och eftersom de flesta tjänster inte kan kvantifieras direkt används indikatorerna som representanter (Egoh m.fl. 2012). MESAT använder EU-projektet MAES (Maes m.fl. 2016) eftersom den har en direkt motsvarighet till CICES, och havsmiljöer har beaktats i stor utsträckning inom indikatorerna. Inácio m.fl. (2018) definierade dessutom nya indikatorer för situationer där MAES indikatoruppsättning inte gav lämpliga indikatorer för specifika tjänster, och samma sak gjordes i detta projekt eftersom vissa regionalt viktiga indikatorer identifierades men det saknades överensstämmelse mellan MAES indikatoruppsättning och de indikatorer som definierades av Inácio m.fl. (2018). Nya indikatorer valdes ut med utgångspunkt i tillgängliga data, expertkunskap och modellerade data. Den slutliga indikatoruppsättningen för detta projekt bestod av 39 indikatorer, även om inte alla indikatorer utvärderades för alla pilotområden (tabell 1), på grund av exempelvis att det inte fanns tillgängliga regionala

data. Dessa 39 indikatorer representerade 19 tjänster (5 försörjande tjänster, 9 reglerande tjänster och 5 kulturella tjänster) som var möjliga att bedöma i pilotområdena.

### A1.1 Utvärderingsprocess

MESAT-utvärderingsprocessen börjar med en noggrann definition av pilotområden och fortsätter sedan med att fastställa de tidsperioder under vilka tillhandahållandet av ekosystemtjänster ska jämföras. I det här projektet har den nuvarande tidsperioden för MESAT-utvärderingen fastställts till åren 2010–2020 och den utvärderade framtida tidsperioden omfattade åren 2100–2120. I de klimatmodeller som SMHI och FMI producerade och i artutbredningsmodellerna skilde sig referensperioden och den framtida tidsperioden från de nuvarande och framtida tidsperioder som användes i MESAT. I modellerna baserades referensperioden på åren 1976–2005 och den framtida tidsperioden omfattade åren 2070–2099. Orsaken till att tidsperioderna inte stämde överens mellan MESAT och de modeller som användes var att tidsperioderna i modellerna är fasta på grund av underliggande data om klimatpåverkan och att de inte kan ändras (mer information finns i EConnect-rapporten *Framtida klimat- och artutbredningsmodeller för centrala Bottniska viken*) medan det i MESAT var meningen att man skulle jämföra de nuvarande tjänsterna med tjänsterna 100 år framåt i tiden. För MESAT-utvärderingen användes således data från modellerna som grund för grundliga expertutvärderingar som drar ändringarna från modellerna mot MESAT:s nuvarande och framtida tidsperioder. Litteraturkällor och historiska och aktuella uppgifter om miljövariabler användes för att underlätta bedömningen av de modellerade uppgifterna.

Efter att ha definierat tidsperioderna bedömdes indikatorernas nuvarande och framtida värden för alla pilotområden. Semikvantitativa och kvalitativa

bedömningsprocesser kombinerades i detta projekt. För de indikatorer som använder modellerade data erhöles både nuvarande och framtida värden från modellerna. Indikatorer för vilka modellerade data inte fanns tillgängliga utvärderades med hjälp av uppmätta nuvarande värden (exempelvis nuvarande fiskfångst) med expertbedömning och/eller litteraturgranskning för de mest sannolika framtida förändringarna för indikatorn. De modellerade uppgifterna innefattade uppgifter om miljövariabler (exempelvis salthalt, temperatur, siktdjup, syrehalt, halter av näringsämnen, täckning av havsis) och uppgifter om artutbredning som användes för att beräkna exempelvis blåmusslors vattenfiltreringskapacitet, utbredningen av utvalda habitat över och under vattenytan samt kollager. I tabell A3 i bilagan sammanställs all information och bakgrundsdata som använts för att utvärdera de olika indikatorerna. Litteratur och separata databaser användes som källor för uppmätta nuvarande indikatorvärden för pilotområden. För vissa indikatorer saknades både modellerade och uppmätta indikatorvärden. Dessa indikatorer accepterades fortfarande i utvärderingsprocessen om det fanns en stark expertuppfattning om omfattningen av förändringarna för dessa indikatorer i framtiden enligt klimatscenariot (RCP8,5) och näringsämnesscenariot (BSAP) som granskades i detta projekt.

För att se förändringar i indikatorvärdena i förhållande till varandra och få jämförbara resultat omvandlades förändringarna i indikatorernas nuvarande och framtida värden till en förändringskategori på Likert-skalan (figur 3). Förändringskategorin på Likert-skalan varierar mellan -5 och +5, där minusvärden visar på en minskning av tillhandahållandet av ekosystemtjänster och plusvärden en ökning av tillhandahållandet av ES, medan värdet 0 visar på ett oförändrat tillhandahållande av ekosystemtjänster mellan nutid och framtid. Indelningen enligt förändringskategori gjordes i MESAT med en specialanpassad funktion där kategorin beräknades utifrån indikatorns nuvarande värde, framtida värde och vissa gränsvärden (se mer i Inácio m.fl. 2018). Förändringskategorierna för indikatorer med modellerade nuvarande och framtida värden togs direkt från MESAT:s specialanpassade funktion (även om nuvarande värden 2010–2020 drogs från modellens värden för referensperioden 1976–2005 genom expertbedömningar enligt ovan). För de indikatorer med uppmätta nuvarande värden gjordes en expertbedömning av de framtida värdena för att

beräkna förändringskategorin med MESAT:s specialanpassade funktion. I situationer där då inte var möjligt att beräkna förändringskategori, det vill säga om det inte fanns några uppmätta nuvarande värden för indikatorerna eller om det inte gick att göra en exakt uppskattning av framtida värden, inrättades en expertgrupp för att utvärdera förändringskategorin för indikatorerna. För dessa indikatorer gjordes en omfattande litteratursökning om framtida förändringar och relevanta experter rådfrågades. Därefter utvärderades den kombinerade informationen på separata workshoppar av expertgruppen, som bestod av 8–11 av EConnect-projektgruppens medlemmar med olika kunskaper om Östersjöns miljö, och förändringskategorin fastställdes utifrån den samlade kunskapen. Det är viktigt att förstå att MESAT:s anpassade funktion läser av en ökning av indikatorvärdet automatiskt som en positiv förändring och vice versa, även om exempelvis en ökning av vissa indikatorvärden återspeglas som en negativ förändring i ekosystemen (exempelvis indikatorn ”antal skadliga algbloomingar”). För dessa indikatorer ändrades förändringskategorin i enlighet med detta (det vill säga förändring +2 ändrades till -2 om effekten på ekosystemnivå var negativ).

Slutligen genererar MESAT-verktyget en aggregerad kombination av resultat för tillhandahållandet av ekosystemtjänster. Aggregeringen görs genom att man beräknar medelvärdet av förändringskategorierna för varje hierarkisk nivå i CICES. Eftersom vi i detta arbete koncentrerar oss på ekosystemtjänster på CICES-klassificeringsnivå görs aggregeringen endast på klassificeringsnivå. Det innebär att förändringskategorin för *varje tjänst* beräknas genom att man beräknar medelvärdet av förändringskategorivärdena för *alla de indikatorer* som använts för att beskriva tjänsten.

## A2 Pilotområden

### *Utgrynnan-Molpehällorna*

Utgrynnan-Molpehällorna är ett stort havsområde på 1 103 km<sup>2</sup> i Kvarkens skärgård på den finska sidan av projektområdet, sydväst om den största ön i området, Replot. Området är en kustvattenförekomst som tilldelats för den planering och förvaltning av avrinningsområden som krävs enligt EU:s vattendirektiv (WFD). Delar av området Utgrynnan-Molpehällorna ingår i UNESCOs världsarvsområde Höga



kusten och Kvarkens skärgård och stora områden ingår också i Natura 2000-nätverket av naturskyddsområden (t.ex. Ollqvist & Överholm 2010). Området sträcker sig långt ut i havet och de många öarna skapar mosaiker i landskapet som bildar olika typer av habitat, från öppna väderbitna stränder till mer skyddade och vindskyddade stränder och laguner. Kustlinjerna är mycket grunda, vilket är typiskt för den finska sidan av Kvarkenområdet, och maxdjupet sträcker sig ner till 65 meter i området, medan medeldjupet är 15 meter. Salthalten är omkring 4,8 ‰ och många marina arter förekommer i området (VELMU 2020).

Området Utgrynnan-Molpehällorna erbjuder ett brett utbud av miljöer där många olika arter kan trivas. På öppna områden med steniga bottenar skapar brunalgerna blåstång (*Fucus vesiculosus*) och smaltång (*Fucus radicans*) habitat för andra arter och under blåstång och smaltång tar rödalgen kräkel (*Furcellaria lumbricalis*) och blåmusslan (*Mytilus trossulus x edulis*) upp hårda bottenar (VELMU 2020; Natura 2000 Data Form 2018). Kärlväxter som *Potamogeton* spp., *Zannichellia* spp., *Myriophyllum* spp. och många arter av kransalger växer på mjuka bottensediment och skapar sjögräsängar där ryggradslösa djur och fiskarter hittar föda och skydd. Det stora området erbjuder uppväxtområden och fortplantningsområden för fiskarter som lägger sina ägg på bevuxna öppna stränder, exempelvis strömming (*Clupea harengus membras*), och i skyddade vegetationsklädda vikar, exempelvis gädda (*Esox lucius*) och abborre (*Perca fluviatilis*). De djupare mjukbottenarna är upptagna av ryggradslösa djur, bland annat larver av fjädermyggor, Östersjömusslan *Limecola balthica*, nordamerikanska havsborstmasken (*Marenzelleria* spp.) och vitmärlan *Monoporeia affinis*. Många sjöfågelarter häckar på öarna (exempelvis ejder *Somateria mollissima*, tobisgrissla *Cephus grylle*) och en viktig flyttväg för fåglar korsar området och erbjuder rastplatser för flyttfåglar. I området lever också Östersjövikaren (*Pusa hispida botnica*) och gråsäl (*Halichoerus grypus*). Delar av områdets ytterskärgård ingår i Finlands ekologiskt betydelsefulla marina undervattensområden (EMMA) på grund av den rika förekomsten av makroalger och områdets viktiga roll för fiskarnas uppväxt och reproduktion (Lappalainen m.fl. 2020).

Eftersom det stora området sträcker sig långt ut i havet har det långa avståndet till fastlandskusten lett till ganska lite mänsklig aktivitet på de flesta av

öarna. På öar som ligger närmare fastlandet finns det dock numera mer mänsklig aktivitet och sommarstugor. Öarna i området Utgrynnan-Molpehällorna är rika på kulturhistoriska särdrag som påminner om områdets betydelse för traditionellt fiske och sjöfart (Claudino-Sales 2019). Många gamla fiskebyar och -stugor samt fyror finns på de otaliga öarna (SeaGIS2.0). Vrak och forntida monument påminner om gamla tider. Mycket seglare och båtfolk besöker öarna under sommaren och det anordnas också en del organiserade utflykter, men i mindre omfattning. Utgrynnan-Molpehällorna har god ekologisk status, men det finns tecken på försämring (SYKE 2020). Klorofyll- och fosforhalterna är ibland förhöjda, och områdets status påverkas av näringsrika vattenströmmar från närliggande havsområden.

### Yttre Täftefjärden

Yttre Täftefjärden är en 36 km<sup>2</sup> stor kustvattenförekomst nära Umeå på den svenska sidan av projektområdet. Det är den yttersta och mest utsatta delen av Täftefjärden som får ett utflöde från Täfteån. Pilotområdet omfattar olika naturtyper, från laguner till små öar och från grunda djup ner till 18 meters djup längre ut i havet. Salthalten är cirka 3,4 ‰. Yttre Täftefjärden är ett relativt tätbefolkat område. Det finns många sommarstugor och hus på östra och västra stranden, men även några mindre exploaterade öar och holmar.

Yttre Täftefjärdens grunda kustområde kännetecknas av landhöjning, som kan uppgå till upp till 10 mm per år (Poutanen & Steffen 2014). I området finns grunda, slutna vikar (laguner) med mjuk botten och tät växtlighet, perfekta uppväxtområden för arter som abborre och gädda (Snickars m.fl. 2009; Berglund m.fl. 2013; Donadi m.fl. 2020). Mångfalden av olika vegetationstyper är stor i laguner (Naturvårdsverket 2011; Mikkola m.fl. 2019), men en del av lagunerna i området har muddrats, vilket påverkar växtligheten och fiskproduktionen i området negativt (Sundbland & Bergström 2014; Sundblad m.fl. 2014). De grunda stränderna domineras av kransalger *Chara aspera* och högre växter som nateväxter *Potamogeton perfoliatus* och *Stuckenia pectinata*. På berggrund och stenar växer trådalger *Cladophora glomerata*, *Ceramium tenuicorne* och *Battersia arctica* (Länsstyrelsen i Västerbotten 2021c). De mest exponerade stränderna med lite växtlighet och ett grövre bottensubstrat fungerar som fortplantningsområden för sik (SeaGIS2.0). Även strömming

fortplantar sig i de mer utsatta delarna av pilotområdet (SeaGIS2.0). De djupa mjukbottenområdena är fyllda med ryggradslösa djur såsom den bentiska vitmärlan *Monoporeia affinis*, Östersjömusslan och isopoden *Saduria entomon*. En främmande art, nordamerikansk havsborstmask *Marenzelleria* spp., kan också hittas i de djupa mjuka sedimenten (Länsstyrelsen i Västerbotten 2021c). På de små öarna och holmarna i Yttre Täftefjärden häckar Sveriges största koloni av bergand (*Aythya marila*). Andra fågelarter som kan ses här är fiskmåsar (*Sterna hirundo*) och dvärgmåsar (*Hydrocoloeus minutus*). Antalet häckande fåglar och arter är generellt sett högt i området (Sundström & Olsson 2005).

Området är populärt både bland lokalbefolkningen och besökare och många har besökt restaurangen, stugan och den lilla besökshamnen Kvarken Fisk, som ligger på Täfteåhalvöns spets vid den gamla fiskehamnen. Idag är det bara några få lokala fiskare som använder hamnen regelbundet. All fisk används som livsmedel och det mesta säljs lokalt (lokala fiskare, personlig kommunikation 2020). Mindre mängder säljs till Finland och Norrbottens län. På östra sidan av Yttre Täftefjärden börjar naturreservatet Tavasten-Skeppviksskärgården som fortsätter på östra sidan av halvön där kustområdena är mycket mindre exploaterade. Yttre Täftefjärden har också flera kulturarvsplatser, vrak och gamla farleder och hamnar eftersom det finns en lång historia av sjöfart i området (SeaGIS2.0). Det finns inga industrier i området och den ekologiska statusen är enligt EU:s vattendirektiv god (Länsstyrelsen 2021a).

### Husumbukten

Husumbukten är ett kustområde på cirka 21 km<sup>2</sup> som ligger i norra delen av Västernorrland i Sverige. Området får vatten från Gideälven och den mindre Fanbyviken samt några små öar ligger i området. Husum stad är ett tätbefolkat område nära kusten med flera stora industrier, exempelvis en pappersmassafabrik.

Pilotområdet sträcker sig över en blandning av marina habitat, från 3 m djup vid kusten ner till 50 m djup i havsområdet. Ekosystemen är huvudsakligen habitat med mjukbotten och omfattar bentiska arter som isopoderna *Saduria entomon*, vitmärlan *Monoporeia affinis*, den invasiva tusensnäckan *Potamopyrgus antipodarum* och makrofytter på mjukbotten som kransalger, nateväxter och

dikeslänke (*Callitriche stagnalis*). På ett fåtal platser i områdets yttre delar kan man också hitta smaltång och blåstång på hårbotten (Kautsky m.fl. 2009; Guiry & Guiry 2021; SMHI 2021b). Dessutom finns den rödlistade arten *Limosella aquatica* i grunda områden i viken, och det finns flera viktiga platser för fåglar i området.

Tyvärren har arterna i området under lång tid påverkats negativt av träfiberrester och industriutsläpp. Därför är en stor del av de lämpliga mjukbottenarna obebodda och artrikedomen i hela Husumbukten är lägre än i de omgivande kustområdena (Kautsky m.fl. 2009). Trots förbättringar när det gäller att minska och kontrollera utsläppen påverkas havsmiljön fortfarande negativt av industriell verksamhet, exempelvis bullerstörningar, utsläpp av koncentrerade näringsämnen och kemikalier, ackumulering av gamla utsläpp och muddring (Korpinen m.fl. 2012; HaV 2015). En utbyggnad av pappersfabriken planeras under de kommande 10 åren och en utökning av andra industrier i området förväntas också under de kommande 100 åren, vilket ytterligare kan försämra ekosystemen i Husumbukten.

Det kommersiella fisket i Husum är begränsat och enligt en lokal fiskare är de lokala fångsterna främst avsedda för mänsklig konsumtion och säljs huvudsakligen lokalt, men en del av fisken säljs till Finland och andra delar av Sverige (lokal fiskare, personlig kommunikation, 2020). Fritidsfiske är vanligare, och Gideälven är ett känt fiskeställe. Även vissa små hamnar som Husums båthamn, Malnviken och Trollön tar emot turister för fiske (Wedin & Röschmann 2014).

Det finns en del rekreations- och turistområden, som exempelvis Sandvikens strand nära staden och Aggösundets strand söder om viken. Många fritidsbåtar trafikerar de närliggande öarna under sommaren. Det finns inga populära vandringsleder vid kusten nära viken (HaV 2019), men det finns några inofficiella vandringsleder runt Fanbyviken och attraktiva utsiktsplatser vid kusten vid Sjalön, norr om Husumbukten (Hav 2019). Husumbuktens ekologiska status är måttlig enligt EU:s vattendirektiv (Länsstyrelsen 2021b).

## A3 Datakällor

**Tabell A3. Enheter och datakällor för indikatorvärden för varje pilotområde. A=ECOconnect-modeller, B= databas/datauppsättning, C=litteratur, D=expertutlåtande,**

## E=ECOnnect-projektgruppsutvärdering.

	Ekosystemtjänster på CICES-klassificeringsnivå	Indikatorer (från MAES, Inacio m.fl. 2018 och detta projekt)	Enhet	Källa		
				Utgrynnan	Yttre Tätfef.	Husum
Försörjande tjänster	Livsmedel från vilda djur	Fångster av varmvattenarter	Ton/år/km <sup>2</sup>	B, D, E	B, D, E	B, D, E
		Fångster av kallvattenarter	Ton/år/km <sup>2</sup>	B, D, E	B, D, E	B, D, E
		Fångster av de viktigaste kommersiella arterna	Ton/år/km <sup>2</sup>	B, D, E	B, D, E	B, D, E
	Livsmedel från vilda växter och alger	Skörd	Ton/år/km <sup>2</sup>	C, D, E	-	-
		Antal arter	antal/km <sup>2</sup>	C, D, E	-	-
	Djur från in situ-vattenbruk	Skörd	Ton/år/km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
		Antal arter	antal/km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
	Fibrer etc. från växter, alger och djur för användning eller bearbetning	Skörd	Ton/år/km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
	Ytvatten för andra ändamål än dricksvatten	Användning av vatten	m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	D, E	D, E	D, E
Reglerande tjänster	Filtrering/bindning/lagring/ackumulering i ekosystemen	Kvävefixering	kg/år/km <sup>2</sup>	A, C, E	A, C, E	A, C, E
		Primärproduktion	tonC/år/km <sup>2</sup>	A, E	A, E	A, E
		Filtreringskapacitet (Mytilus)	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	A, E	-	-
	Masstabilisering och kontroll av erosion	Utbredning av habitat över och under vattenytan	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	A, E	A, E	A, E
	Buffring och minskning av massflöden	Akkumuleringsgrad för sediment	cm/år	C, D, E	C, D, E	C, D, E
	Skydd mot översvämningar	Signifikant våghöjd	m	C, D, E	C, D, E	C, D, E
	Bevarande av yngelbestånd och habitat	Mångfald av habitat	antal/km <sup>2</sup>	A, E	A, E	A, E
		Siktdjup	m	A, E	A, E	A, E
		Antal rödlistade och utrotade arter	antal/km <sup>2</sup>	C, E	C, E	C, E
		Uppväxtområden (kallvattenarter)	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
		Uppväxtområden (varmvattenarter)	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
		procentandel av uppväxtområden som är skyddade	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	E	E	E
	Bekämpning av skadedjur och sjukdomar	Skadliga algbloomingar	antal/år/km <sup>2</sup>	A, D, E	A, D, E	A, D, E
		Förekomst av främmande arter	antal/km <sup>2</sup>	C, E	C, E	C, E
	Nedbrytnings- och fixeringsprocesser	Avlägsnande av kväve	%	C, E	C, E	C, E
		Uppehållstid för vatten	Månader	C, D, E	C, D, E	C, D, E
	Kemiska förhållanden i saltvatten	NO <sub>3</sub> ytvatten, medelvärde för växtsäsongen	mmol-N/m <sup>3</sup>	A, E	A, E	A, E
		NH <sub>4</sub> ytvatten, medelvärde för växtsäsongen	mmol-N/m <sup>3</sup>	A, E	A, E	A, E
		PO <sub>4</sub> ytvatten, medelvärde för växtsäsongen	mmol-P/m <sup>3</sup>	A, E	A, E	A, E
		Salthalt	PSU	A, E	A, E	A, E
		Syrehalt	mg/l	A, E	A, E	A, E
	Klimatreglering genom minskning av halterna av växthusgaser	Kollager	tonC/km <sup>2</sup>	A, E	A, E	A, E
	pH	pH	B, E	B, E	B, E	
Kulturella tjänster	Fysisk användning av land- och havslandskap	Antal turister (inom 1 km från kustzonen)	antal/år/km <sup>2</sup>	C, D, E	C, D, E	C, D, E
		Antal kajplatser i småbåtshamnarna	antal/km <sup>2</sup>	D, E	D, E	D, E
		Antal turistbåtar	maxantal/km <sup>2</sup>	D, E	D, E	D, E
		Antal personer som använder isen för fritidsaktiviteter	antal/km <sup>2</sup>	E	E	E
		Antal möjligheter till friluftsliv i området	antal/km <sup>2</sup>	B, E	B, E	B, E
	Kulturarv, kulturellt	Antal kulturella platser och kulturarvsplatser (under vatten)	antal/km <sup>2</sup>	B, C, E	B, C, E	B, C, E
		Antal kultur- och kulturarvsområden på land (närliggande kustområden)	antal/km <sup>2</sup>	B, C, E	B, C, E	B, C, E
	Estetisk	Område med orörd miljö	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	C, E	C, E	C, E
	Symbolisk	Antal ikoniska arter	antal/km <sup>2</sup>	E	E	E
	Arv	Utbredning av marina skyddsområde	km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	C, E	C, E	C, E

Tabell A4. Lista över ikoniska arter utvärderade för pilotområdena.

Ikoniska arter i projektområdet	Utgrynnan	Yttre Täftefjärden	Husumbukten
<i>Haliaeetus albicilla</i> /Havsörn/merikotka	X	X	X
<i>Fucus</i> spp.	X	X	X
Ringed seal ( <i>Pusa hispida botnica</i> )	X	X	X
White fish/migratory/merialueen vaellussiika	X	X	X
White fish/marine spawning/merikutuinen siika	X	X	X
Salmon ( <i>Salmo salar</i> )	X	X	X
Perch ( <i>Perca fluviatilis</i> )	X	X	X
Pike ( <i>Esox lucius</i> )	X	X	X
Sea-buckthorn/ <i>Hippophaë rhamnoides</i> /havtorn	X	X	X
<i>Larus marinus</i> /Havstrut/merilokki	X	X	X
<i>Cygnus cygnus</i> /Sångsvan/Laulujoutsen	X	X	X
<i>Cephus grylle</i> /Tobisgrissla/Riskilä	X		
<i>Alca torda</i> /Tordmule/Ruokki	X		
<i>Somateria mollissima</i> /Ejder/Haahka	X		
Otter ( <i>Lutra lutra</i> )	X	X	X
<i>Chara tomentosa</i>	X	X	X
Sand ryegrass/ <i>Leymus arenarius</i> /rantavehnä	X	X	X
Sea sandwort/ <i>Honckenya peploides</i> /suola-arho	X	X	X
Herring ( <i>Clupea harengus membras</i> )	X	X	X
Trout ( <i>Salmo trutta</i> )	X	X	X

# Litteraturförteckning

- Agawin, N. S., Rabouille, S., Veldhuis, M. J., Servatius, L., Hol, S., van Overzee, H. M. & Huisman, J. 2007. Competition and facilitation between unicellular nitrogen-fixing cyanobacteria and non-nitrogen-fixing phytoplankton species. *Limnology and Oceanography*, 52(5), 2233-2248.
- Ahtiainen, H., Liski, E., Pouta, E., Soini, K., Bertram, C., Rehdanz, K. & Meyerhof, J. 2019. Cultural ecosystem services provided by the Baltic Sea marine environment. *Ambio*, 48(11), 1350-1361.
- Ahtiainen, H. & Öhman, M. C. 2014. Ecosystem services in the Baltic Sea: valuation of marine and coastal ecosystem services in the Baltic Sea. Nordic Council of Ministers.
- Ahtiainen, H., Artell, J., Czajkowski, M., Hasler, B., Hasselström, L., Huhtala, A. & Semeniene, D. 2014. Benefits of meeting nutrient reduction targets for the Baltic Sea –a contingent valuation study in the nine coastal states. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 3(3), 278-305.
- Ahvonen, A., Hiidenhovi, J., Mattila, P., Mäkinen, S., Niva, T., Setälä, J., Välimaa, A.-L., Alakomi, H.-L., Honkapää, K., Lantto, R., Nisov, A., Suomalainen M., Hopia, A., Ihanus, S., Kakko, T., Marttunen, K., Sandell, M., Tuomasjukka, S., Yang, B. & Svanbäck, G. 2019. Blue Products – Kalatalouden innovaatio-ohjelma, väliraportti vuosilta 2017-2019. European maritime and fisheries fund.
- Armoškaitė, A., Purina, I., Aigars, J., Strāke, S., Pakalniete, K., Frederiksen, P., Schroder, L. & Hansen, H. S. 2020. Establishing the links between marine ecosystem components, functions and services: An ecosystem service assessment tool. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105229.
- Banzhaf, H. S. & Boyd, J. 2012. The architecture and measurement of an ecosystem services index. *Sustainability*, 4(4), 430-461.
- Bartolino, V., Margonski, P., Lindegren, M., Linderholm, H. W., Cardinale, M., Rayner, D. & Casini, M. 2014. Forecasting fish stock dynamics under climate change: Baltic herring (*Clupea harengus*) as a case study. *Fisheries Oceanography*, 23(3), 258-269.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377.
- Berglund, J., Stenroth, P., Larsson, S. & Larsson, S. 2013. Fiskrekrytering längs Västerbottenskusten. Länsstyrelsen i Västerbotten meddelande 2.
- Bergström, U., Olsson, J., Casini, M., Eriksson, B. K., Fredriksson, R., Wennhage, H. & Appelberg, M. 2015. Stickleback increase in the Baltic Sea - a thorny issue for coastal predatory fish. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 163: 134-142.
- Bermudez, R., Winder, M., Stühr, A., Almén, A-K., Engström-Öst, J. & Riebesell, U. 2016. Effect of ocean acidification on the structure and fatty acid composition of a natural plankton community in the Baltic Sea. *Biogeosciences*. 13. 6625-6635.

Bianchi, T. S., Johansson, B. & Elmgren, R. 2000. Breakdown of phytoplankton pigments in Baltic sediments: effects of anoxia and loss of deposit-feeding macrofauna. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 251(2), 161-183.

Björkdal, C. G., Gregory, D., Manders, M., Al-Hamdani, Z., Appelqvist, C., Haverhand, J., & Dencker, J. 2012. Strategies for protection of wooden underwater cultural heritage in the Baltic Sea against marine borers. The EU Project 'WreckProtect'. *Conservation and management of archaeological sites*, 14(1-4), 201-214.

Boyd, J. & Banzhaf, H.S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecol. Econ.* 63, 616-626.

Byström, P., Bergström, U., Hjältén, A., Ståhl, S., Jonsson, D. & Olsson, J. 2015. Declining coastal piscivore populations in the Baltic Sea - where and when do sticklebacks matter? *Ambio* 44(3): 462-471.

Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. 2011. Ekosysteempalvelut ja elinkeinot-haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti.

Cardinale, B. J., Duffy, E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M, Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D. & Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. Volume: 486, Number: 7401, 59-67.

Carstensen, J., Klais, R. & Cloern, J. E. 2015. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 162, 98-109.

Carstensen, J., Conley, D. J., Bonsdorff, E., Gustafsson, B. G., Hietanen, S., Janas, U. & Voss, M. 2014. Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical cycles, benthic fauna, and management. *Ambio*, 43(1), 26-36.

Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Karoly, D. J. & Caesar, J. 2007. Human contribution to the lengthening of the growing season during 1950-99. *Journal of Climate*, 20(21), 5441-5454.

Claudino-Sales, V. 2019. High Coast and Kvarken Archipelago, Finland and Sweden. *Coastal World Heritage Sites*, 81-86. Springer, Dordrecht.

Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. Baltic Sea Environment Proceedings n°180. HELCOM/ Baltic Earth 2021.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver & M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B. & Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (6630), 253-260.

County administrative board. 2021a. Viss Vatteninformationssystem Sverige. Yttre Täftefjärden. Retrieved 17.06.2021 from <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE634350-202900>

County administrative board. 2021b. Viss Vatteninformationssystem Sverige. Husumbukten. Retrieved 06.07.2021 from <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA15887752>

County administrative board. 2021c. Vegetation data from years 2000-2020 and Zoobenthos data from 2018.

Dahl, K., Josefson, A. B., Göke, C., Christensen, J. P. A., Hansen, J. L., Markager, S. & Bonsdorff, E. 2013. Climate Change Impacts on Marine Biodiversity and Habitats in the Baltic Sea -and Possible Human Adaptations. Coastline Reports, 1.

Daily, G. C. 1997. Introduction: what are ecosystem services. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems, 1(1).

Depellegrin, D. & Blažauskas, N. 2013. Integrating ecosystem service values into oil spill impact assessment. Journal of Coastal Research, 29(4), 836-846.

Dervishi, A. & El-Zoubi, S. 2012. Vass- och tegeltak - En studie om användningen av vass och tegel då, idag och i framtiden. Lund Universitet.

Díaz-Andreu, M. 2017. Heritage values and the public. Journal of Community Archaeology & Heritage vol. 4, 1.

Donadi, S., Bergström, L., Berglund, J. M. B., Bäck, A., Mikkola, R., Saarinen, A. & Bergström, U. 2020. Perch and pike recruitment in coastal bays limited by stickleback predation and environmental forcing. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 246.

Donnelly, C., Yang, W. & Dahné, J. 2014. River discharge to the Baltic Sea in a future climate. Climatic Change, 122(1), 157-170.

Dutheil, C., Meier, H. E. M., Gröger, M. & Börgel, F. 2021. Understanding past and future sea surface temperature trends in the Baltic Sea. Climate Dynamics, 1-19.

Egoh, B., Drakou, E. G., Dunbar, M. B., Maes, J. & Willemsen, L. 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. European Commission, Joint Research Centre (JRC), p. 111.

Ehler, C. N. 2018. Marine spatial planning: An idea whose time has come. Routledge, 6-17.

Eide, W., Ahrné, K., Bjelke, U., Nordström, S., Ottosson, E., Sandström, J., & Sundberg, S. 2020. Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer: rödlistade arter i Sverige 2020.

Eklöf, J. S., Sundblad, G., Erlandsson, M., Donadi, S., Hansen, J. P., Eriksson, B. K. & Bergström, U. 2020. A spatial regime shift from predator to prey dominance in a large coastal ecosystem. Communications biology, 3(1), 1-9.

Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. & Norberg, J. 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, 1(9), 488-494.

Engelhard, G. H., & Heino, M. 2006. Climate change and condition of herring (*Clupea harengus*) explain long-term trends in extent of skipped reproduction. Oecologia, 149(4), 593-603.

Engstedt, O., Stenroth, P., Larsson, P., Ljunggren, L. & Elfman, M. 2010. Assessment of natal origin of pike (*Esox lucius*) in the Baltic Sea using Sr: Ca in otoliths. Environmental Biology of Fishes, 89(3), 547-555.

Eriksson, B. K., Sieben, K., Eklöf, J., Ljunggren, L., Olsson, J., Casini, M. & Bergström, U. 2011. Effects of altered offshore food webs on coastal ecosystems emphasizes the need for cross-ecosystem management. Ambio 40:786-797.

European Commission. 2021a. Strategic guidelines for a more sustainable and competitive EU aquaculture for the period 2021 to 2030. Brussels. Retrieved 24.5.2021 from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0236&from=EN>

European Commission. 2021b. EU Biodiversity strategy for 2030. Luxembourg, publication office of the European Union. Retrieved 29.6.2021 from <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/31e4609f-b91e-11eb-8aca-01aa75ed71a1>

European Commission. 2020. EU:n strategia avomerellä tuotettavan uusiutuvan energian potentiaalin valjastamiseksi ilmastoneutraalin tulevaisuuden tarpeisiin. Brussels. Retrieved 24.5.2021 from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0741&from=EN>

European Commission. 2011. European Commission: our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. European Commission, Brussels.

Expert group. 2020. The EConnect project members group to set up evaluate ekosystemtjänster provision. Evaluations were based on professional opinions within the group, literature reviews, and on the opinions and comments from several scientists and experts outside the project.

Faulkner, D. J. 2001. Marine natural products. *Natural product reports*, 18(1).

Firestone, J. & Kempton, W. 2007. Public opinion about large offshore wind power: underlying factors. *Energy policy*, 35(3), 1584-1598.

Fisher, B., Turner, R. K. & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.

Fors, Y. & Björdal, C. G. 2013. Well-preserved shipwrecks in the Baltic Sea from a natural science perspective. *Interpreting Shipwrecks. Maritime Archaeological Approaches*, 36-45.

Friedland, R., Neumann, T. & Schernewski, G. 2012. Climate change and the Baltic Sea action plan: model simulations on the future of the western Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 105, 175-186.

GBIF Secretariat. 2021. *Hippophae rhamnoides* L. Global Biodiversity Information Facility. Retrieved 8.7.2021 from <https://www.gbif.org/species/3039285>

Geist, J. & Hawkins, S. J. 2016. Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5), 942-962.

Goldburg, R. & Naylor, R. 2005. Future seascapes, fishing, and fish farming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 21-28.

Gollasch, S., Minchin, D. & David, M. 2015. The transfer of harmful aquatic organisms and pathogens with ballast water and their impacts. *Global maritime transport and ballast water management*. Springer, Dordrecht, 35-58.

Gray, C., Baird, D. J., Baumgartner, S., Jacob, U., Jenkins, G. B., O’Gorman, E. J. & Woodward, G. 2014. Ecological networks: the missing links in biomonitoring science. *Journal of Applied Ecology*, 51(5), 1444-1449.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 06 July 2021.



- Hansson, S., Bergström, U., Bonsdorff, E., Härkönen, T., Jepsen, N., Kautsky, L. & Vetemaa, M. 2018. Competition for the fish – fish extraction from the Baltic Sea by humans, aquatic mammals, and birds. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3), 999-1008.
- HaV. 2020a. Havs- och vattenmyndigheten rapport. Marin strategi för Nordsjön och Östersjön. Samråd om uppdaterat åtgärdsprogram för havsmiljön i Nordsjön och Östersjön 2022-2027 enligt havsmiljöförordningen, 254.
- HaV. 2020b. Swedish fisheries data between years 2014-2018.
- HaV. 2019. Havs- och vattenmyndigheten. Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet. Statlig planering i territorialhav och ekonomisk zon. Diarienummer 3628-2019
- HaV. 2015. Havs- och vattenmyndigheten. God havsmiljö 2020: Marin strategi för Nordsjön och Östersjön – Del 4: Åtgärdsprogram för havsmiljön. Rapport ID: 2015:30
- Havenhand, J. N. 2012. How will ocean acidification affect Baltic Sea ecosystems? An assessment of plausible impacts on key functional groups. *Ambio*, 41(6), 637-644.
- Havet. 2021. Web porta about the sea. Stockholm university, Umeå university, Göteborg university, Swedish University of Agricultural Sciences and Swedish Institute for the Marine Environment. Retrieved 11.8.2021 from: Havet.nu
- Haines-Young, R. & Potschin, M. 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Version 4.1). European Environment Agency, 33, 107.
- Harkin, D., Davies, M., Hyslop, E., Fluck, H., Wiggins, M., Merritt, O. & Westley, K. 2020. Impacts of climate change on cultural heritage. *MCCIP Sci. Rev*, 16, 24-39.
- Hattam, C., Atkins, J. P., Beaumont, N., Börger, T., Böhnke-Henrichs, A., Burdon, D. & Austen, M. C. 2015. Marine ecosystem services: linking indicators to their classification. *Ecological Indicators*, 49, 61-75.
- Heckwolf, M. J., Peterson, A., Jänes, H., Horne, P., Künne, J., Liversage, K. & Kotta, J. 2020. From ecosystems to socio-economic benefits: A systematic review of coastal ecosystem services in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 142565.
- Heiskanen, A. & Kononen, K. 1994. Sedimentation of vernal and late summer phytoplankton communities in the coastal Baltic Sea. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 131, 175-175.
- HELCOM & Baltic Earth. 2021. Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. Baltic Sea Environment Proceedings n°180.
- HELCOM. 2021. Baltic Marine Environment Protection Commission. Baltic Sea Action Plan 2021 update.
- HELCOM. 2020. Baltic Marine Environment Protection Commission. First draft of the updated BSAP: <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/bsap-update-2021/>
- HELCOM. 2018a. HELCOM Thematic assessment of biodiversity 2011-2016. Baltic Sea Environment Proceedings No. 158. Retrieved 21.4.2021 from: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/holistic-assessments/state-of-the-balticsea-2018/reports-and-materials/>

HELCOM. 2017. First version of the 'State of the Baltic Sea' report - June 2017 - to be updated in 2018. Retrieved 5.3.2021 from: [http://stateofthebalticsea.helcom.fi/wp-content/uploads/2017/07/HELCOM\\_State-of-the-Baltic-Sea\\_First-version-2017.pdf](http://stateofthebalticsea.helcom.fi/wp-content/uploads/2017/07/HELCOM_State-of-the-Baltic-Sea_First-version-2017.pdf) HELCOM. 2013e. Climate change in the Baltic Sea area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137

HELCOM. 2013. Climate change in the Baltic Sea area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137.

HELCOM. 2009. Biodiversity in the Baltic Sea - An integrated thematic assessment on biodiversity and nature conservation in the Baltic Sea. Balt. Sea Environ. Proc. No. 116B. Retrieved 2.3.2021 from: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP116B.pdf>

HELCOM. 2007. Climate Change in the Baltic Sea Area. HELCOM Thematic Assessment in 2007. Baltic Sea Environment Proceedings No. 111.

Hense, I., Meier, H. M. & Sonntag, S. 2013. Projected climate change impact on Baltic Sea cyanobacteria. Climatic Change, 119(2), 391-406.

Highcoastkvarken. 2021. Joint web portal of the World Heritage Site High Coast / Kvarken Archipelago. Länsstyrelsen Västernorrland & Metsähallitus Parks and Wildlife Finland. Retrieved 31.5.2021 from: <https://highcoastkvarken.org/>

Hilborn, R., Branch, T. A., Ernst, B., Magnusson, A., Minte-Vera, C. V., Scheuerell, M. D. & Valero, J. L. 2003. State of the world's fisheries. Annual review of Environment and Resources, 28(1), 359-399.

Hiltunen, E. 2019. Matkailun tulevaisuus -raportti. Helsingin Matkailusäätiö.

Hjerne, O., Hajdu, S., Larsson, U., Downing, A. S. & Winder, M. 2019. Climate driven changes in timing, composition and magnitude of the Baltic Sea phytoplankton spring bloom. Frontiers in Marine Science, 6, 482.

Holopainen, R., Lehtiniemi, M., Meier, H. M., Albertsson, J., Gorokhova, E., Kotta, J. & Viitasalo, M. 2016. Impacts of changing climate on the non-indigenous invertebrates in the northern Baltic Sea by end of the twenty-first century. Biological Invasions, 18(10), 3015-3032.

Hoppenrath, M., Elbrächter, M. & Drebes, G. 2009. Marine Phytoplankton: Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt.

Hutchins, D. A. & Fu, F. 2017. Microorganisms and ocean global change. Nature microbiology, 2(6), 1-11.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. 2019. The 2019 Red List of Finnish Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 p.

Hyytiäinen, K., Ahlvik, L., Ahtiainen, H., Artell, J., Dahlbo, K. & Huhtala, A. 2013. Spatially explicit bio-economic modelling for the Baltic Sea: Do the benefits of nutrient abatement outweigh the costs?

Härmä, M., Lappalainen, A. & Urho, L. 2008. Reproduction areas of roach (*Rutilus rutilus*) in the northern Baltic Sea: potential effects of climate change. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 65(12), 2678-2688.

ICES. 2019. Baltic Sea Ecosystem - Fisheries Overview. In Report of the ICES Advisory Committee, 2019. ICES Advice 2019, section 4.2. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.5566>

- Ignatius, S. & Haapasaari, P. 2018. Justification theory for the analysis of the socio-cultural value of fish and fisheries: The case of Baltic salmon. *Marine Policy*, 88, 167-173.
- Inácio, M., Schernewski, G., Nazemtseva, Y., Baltranaitė, E., Friedland, R. & Benz, J. 2018. Ecosystem services provision today and in the past: a comparative study in two Baltic lagoons. *Ecological research*, 33(6), 1255-1274.
- IPBES-IPCC. 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change. From: [https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021\\_IPCC-IPBES\\_scientific\\_outcome\\_20210612.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf)
- IRENA. 2019. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. A Global Energy Transformation paper, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IUCN. 2016. Increasing marine protected area coverage for effective marine biodiversity conservation. World Conservation Congress, Hawai'i, United States of America.
- Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang, 2007: Palaeoclimate. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jaatinen, K., Westerbom, M., Norkko, A., Mustonen, O., Koons, D. N. 2020. Detrimental impacts of climate change may be exacerbated by density-dependent population regulation in blue mussels. *Journal of Animal Ecology*, 00:1-12. DOI: 10.1111/1365-2656.13377
- Jakobsson, M., Stranne, C., O'Regan, M., Greenwood S.L., Gustafsson, B., Humborg, C. & Weidner, E. 2019. Bathymetric properties of the Baltic Sea. *Ocean Science*. 15. 905-924
- Johannesson, K. & Andre, C. 2006. Invited Review: Life on the margin: genetic isolation and diversity loss in a peripheral marine ecosystem, the Baltic Sea. *Molecular Ecology*, 15(8), 2013-2029.
- John Nurminen Foundation. 2020. Rannikoruokohanke käynnistyi Kirkkonummella - niitolla positiivinen vaikutus Itämereen, ilmastoon ja perinnemaisemiin. Retrieved 22.11.2021 from <https://johnnurmisensaatio.fi/rannikoruokohanke-kaynnistyi-kirkkonummella-niitolla-positiivinen-vaikutus-itamereen-ilmastoon-ja-perinnemaisemiin/>
- Jonasson, S., Eriksson, J., Berntzon, L., Spáčil, Z., Ilag, L. L., Ronnevi, L. O. & Bergman, B. 2010. Transfer of a cyanobacterial neurotoxin within a temperate aquatic ecosystem suggests pathways for human exposure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(20), 9252-9257.
- Jones, M. C. & Cheung, W. W. 2015. Multi-model ensemble projections of climate change effects on global marine biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 741-752.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of fish biology*, 75(10), 2381-2447.
- Jänkälä, S. 2019. Matkailun toimialaraportti - Tourism sector report. Työ- ja elinkeinoministeriö - Ministry of Economic Affairs and Employment. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:3.

Karjalainen, M., Engström-Öst, J., Korpinen, S., Peltonen, H., Pääkkönen, J. P., Rönkkönen, S. & Viitasalo, M. 2007. Ecosystem consequences of cyanobacteria in the northern Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(2), 195-202.

Kaslegard, A. S. 2011. Climate change and cultural heritage in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers.

Kautsky, L. & Kautsky, N. 2000. The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. Chapter 8. In: Sheppar, C. Seas at the millennium: an environmental evaluation. Elsevier Science Amsterdam, 1-3, 121-133.

Kautsky, H., Qvarfordt, S. & Wallin, A. 2009. Marina skyddsvärda områden i Västernorrlands län - Kompletterande undersökningar av utvalda områden. Länsstyrelsen Västernorrland, avdelningen för Miljö och Natur 2009:3

Kautsky, N. 1981. On the trophic role of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.) in a Baltic coastal ecosystem and the fate of the organic matter produced by the mussels. *Kieler Meeresforschungen Sonderheft*, 5, 454-461.

Kokkonen, E., Heikinheimo, O., Pekcan-Hekim, Z. & Vainikka, A. 2019. Effects of water temperature and pikeperch (*Sander lucioperca*) abundance on the stock-recruitment relationship of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) in the northern Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 841(1), 79-94.

Kontula, T. & Raunio, A. 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja - Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet & Osa 2: luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s. & 925 s.

Korpinen, S., Meski, L., Andersen, J. H., & Laamanen, M. 2012. Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem. *Ecological Indicators*, 15(1), 105-114.

Kulmala, S., Haapasaari, P., Karjalainen, T. P., Kuikka, S., Pakarinen, T., Parkkila, K., Romakkaniemi, A. & Vuorinen, P. J. 2012. Ecosystem services provided by Baltic salmon –a regional perspective to the socio-economic benefits associated with a keystone migratory species. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*.

Laikre, L., Lundmark, C., Jansson, E., Wennerström, L., Edman, M. & Sandström, A. 2016. Lack of recognition of genetic biodiversity: International policy and its implementation in Baltic Sea marine protected areas. *Ambio*, 45(6), 661-680.

Lappalainen, J., Kurvinen, L. & Kuismanen, L. 2020. Suomen ekologisesti merkittävät vedenalaiset meriluontoalueet (EMMA) – Finlands ekologiskt betydelsefulla marina undervattensmiljöer (EMMA). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus.

Labuz, T. A. 2015. Environmental Impacts-Coastal Erosion and Coastline Changes. In the BACC II Author Team, Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, *Regional Climate Studies*, 381-396.

Latokartano, M. 2018. Otetaan kala käyttöön vihoviimeistä suomua myöten. Luonnonvarakeskus, Natural Resources Institute Finland. Retrieved 12.7.2021 from [www.luke.fi/mt-otetaan-kala-kayttoon-vihoviimeista-suomua-myoten/](http://www.luke.fi/mt-otetaan-kala-kayttoon-vihoviimeista-suomua-myoten/)

Leach, J. H., Johnson, M. G., Kelso, J. R. M., Hartmann, J., Nümann, W. & Entz, B. 1977. Responses of percid fishes and their habitats to eutrophication. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34(10), 1964-1971.

Lehtiniemi, T., Toivanen, T. & Södersved, J. 2021. Linnuston tila Suomessa. Birdlife Finland, Helsinki.

- Lehtonen, H., Hansson, S. & Winkler, H. 1996. Biology and exploitation of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.), in the Baltic Sea area. *Annales Zoologici Fennici*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 525-535.
- Leppäranta, M. & Myrberg, K. 2009. Physical Oceanography of the Baltic Sea. Chapter 1. Springer-Praxis books in geophysical sciences, Springer, Berlin.
- Leppäkoski, E., Gollasch, S., Gruszka, P., Ojaveer, H., Olenin, S. & Panov, V. 2002. The Baltic a sea of invaders. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(7), 1175-1188.
- Ljunggren, L., Sandström, A., Bergström, U., Mattila, J., Lappalainen, A., Johansson, G., Sundblad, G., Casini, M., Kaljuste, O. & Eriksson, B. K. 2010. Recruitment failure of coastal predatory fish in the Baltic Sea is coincident with an offshore system shift. *ICES Journal of Marine Science* 67, 1587-1595.
- Lotsari, E., Veijalainen, N., Alho, P. & Käyhkö, J. 2010. Impact of climate change on future discharges and flow characteristics of the Tana River, sub-Arctic northern Fennoscandia. *Geografiska Annaler A*, 92:263-284.
- Luke. 2021. Statistics database. Fishery and game statistics: commercial marine fishery. Database of Natural Resources Institute Finland. Retrieved 8.8.2021 from [https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/LUKE\\_06%20Kala%20ja%20riista\\_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto\\_02%20Kaupallinen%20kalastus%20merella/](https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/LUKE_06%20Kala%20ja%20riista_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto_02%20Kaupallinen%20kalastus%20merella/)
- Lundberg, C. & Nilsson, T. 2018. Exploatering av stränder 2013 – 2018. Jämförande statistik på läns- och kommunnivå. Länsstyrelsens rapportserie nr. 15/2018.
- Länsstyrelsen Västernorrland. 2019. Underlag för kust- och havsplanering, Örnsköldsviks kommun och Kramfors kommun, p. 95.
- MA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- MacKenzie, B. R., Gislason, H., Möllmann, C. & Köster, F. W. 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology*, 13(7), 1348-1367.
- Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E. W. & Westlake, D. F. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444(1), 71-84.
- Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M. L., Barredo, J. I., Grizzetti, B., Gardoso, A., Somma, F., Petersen, J-E., Meiner, A., Gelabert, E. R., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B. & Lavalle, C. 2016. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem services*, 17, 14-23.
- Maes, J., Fabrega, N., Zulian, G. et al. 2015. Mapping and assessment of ecosystems and their services: trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Marbà, N., Arias-Ortiz, A., Masqué, P., Kendrick, G. A., Mazarrasa, I., Bastyan, G. R. & Duarte, C. M. 2015. Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. *Journal of ecology*, 103(2), 296-302.

- Mazur-Marzec, H., Błaszczuk, A., Felczykowska, A., Hohlfeld, N., Kobos, J., Toruńska-Sitarz, A. & Węgrzyn, G. 2015. Baltic cyanobacteria –a source of biologically active compounds. *European Journal of Phycology*, 50(3), 343-360.
- Meier, H. M., Müller-Karulis, B., Andersson, H. C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B. G. & Schimanke, S. 2012. Impact of climate change on ecological quality indicators and biogeochemical fluxes in the Baltic Sea: a multi-model ensemble study. *Ambio*, 41(6), 558-573.
- Meier, H. E. M., Hordoir, R., Andersson, H.C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B.G., Höglund, A & Schimanke, S. 2012. Modeling the combined impact of changing climate and changing nutrient loads on the Baltic Sea environment in an ensemble of transient simulations for 1961–2099. *Climate Dynamics* 39, 2421-2441.
- Merino, G., Barange, M., Blanchard, J. L., Harle, J., Holmes, R., Allen, I. & Rodwell, L. D. 2012. Can marine fisheries and aquaculture meet fish demand from a growing human population in a changing climate? *Global Environmental Change*, 22(4), 795-806.
- Mikkola, R., Bäck, A., Saarinen, A., Haapamäki, J. & Berglund J. 2019. Kvarkens flador och deras tillstånd. Analys av mänsklig påverkan utifrån flygbilder och resultat av vegetationskarteringar i 74 flador. Kvarken Flada, Interreg Botnia-Atlantica.
- Miller, K. M., Teffer, A., Tucker, S., Li, S., Schulze, A. D., Trudel, M. & Hinch, S. G. 2014. Infectious disease, shifting climates, and opportunistic predators: cumulative factors potentially impacting wild salmon declines. *Evolutionary Applications*, 7(7), 812-855.
- MMM. 2015. Kansallinen lohi- ja meritaimenstrategia 2020 Itämeren alueelle. Maa- ja metsätalousministeriö, Ministry of Agriculture and Forestry of Finland.
- Munro, M. H., Blunt, J. W., Dumdei, E. J., Hickford, S. J., Lill, R. E., Li, S. & Duckworth, A. R. 1999. The discovery and development of marine compounds with pharmaceutical potential. *Progress in Industrial Microbiology*, 35, 15-25.
- Natura 2000 Data Form. 2018. Natura 2000 tietolomake - data form. Merenkurkun saaristo - Kvarken archipelago, area code FI0800130.
- Naturvårdsverket. 2011. Vägledning för 1150 laguner. Beskrivning av naturtypen.
- Navenhand, J.N. 2012. How will ocean acidification affect Baltic Sea ecosystems? An assessment of plausible impacts on key functional groups. *AMBIO*. 41. 637-644.
- Naylor, R. L., Goldberg, R. J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C. & Williams, M. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, Vol. 282, Issue 5390: 883-884.
- Neumann, T. & Friedland, R. 2011. Climate change impacts on the Baltic Sea. *Global change and Baltic coastal zones*. Springer, Dordrecht, 23-32.
- Neumann, T. 2010. Climate-change effects on the Baltic Sea ecosystem: A model study. *Journal of Marine Systems*, 81(3), 213-224.
- Nilsson, J., Flink, H. & Tibblin, P. 2019. Predator-prey role reversal may impair the recovery of declining pike populations. *Journal of Animal Ecology*, 88(6), 927-939.

- Occhipinti-Ambrogi, A. 2007. Global change and marine communities: alien species and climate change. *Marine pollution bulletin*, 55(7-9), 342-352.
- OECD. 2018. *OECD Tourism Trends and Policies 2018*. OECD Publishing, Paris.
- Ojaveer, H., Jaanus, A., MacKenzie, B. R., Martin, G., Olenin, S., Radziejewska, T., Telesh, I., Zettler, M. & Zaiko, A. 2010. Status of biodiversity in the Baltic Sea. *PLoS one*, 5(9).
- Ollqvist, S. & Överholm, N. 2010. *Yhteinen maailmanperintöemme - Vårt gemensamma världsarv*. Metsähallitus, Vantaa.
- Olsson, J., Tomczak, M. T., Ojaveer, H., Gårdmark, A., Pollumäe, A., Müller-Karulis, B. & Bergström, L. 2015. Temporal development of coastal ecosystems in the Baltic Sea over the past two decades. *ICES Journal of Marine Science*, 72(9), 2539-2548.
- Paczkowska, J., Brugel, S., Rowe, O., Lefébure, R., Brutemark, A. & Andersson, A. 2020. Response of coastal phytoplankton to high inflows of terrestrial matter. *Frontiers in Marine Science*, 7, 80.
- Palumbi, S., Sandifer, P., Allan, J., Beck, M., Fautin, D., Fogarty, M., Halpern, B., Incze, L., Leong, J-A., Norse, E., Stachowicz, J. & Wall, D. 2009. Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(4), 204-211.
- Pankhurst, N. W. & Munday, P. L. 2011. Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages. *Marine and Freshwater Research*, 62(9), 1015-1026.
- Paerl, H. W. & Huisman, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental microbiology reports*, 1(1), 27-37.
- Pekcan-Hekim, Z., Urho, L., Auvinen, H., Heikinheimo, O., Lappalainen, J., Raitaniemi, J. & Söderkultalahti, P. 2011. Climate warming and pikeperch year-class catches in the Baltic Sea. *Ambio*, 40(5), 447-456.
- Perez-Alvaro, E. 2016. Climate change and underwater cultural heritage: Impacts and challenges. *Journal of Cultural Heritage*, 21, 842-848.
- Peterson, G., Allen, C. R., & Holling, C. S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*, 1(1), 6-18.
- Petersson, E., Degerman, E. & Axén, C. 2018. Översikt, riskbedömning och förslag på åtgärder för puckellax (*Oncorhynchus gorbusha*). *Aqua Reports 2018:17*. SLU.
- Poutanen, M. & Steffen, H. 2014. Land uplift at Kvarken Archipelago /High Coast UNESCO world heritage area. *Geophysica*. 50(2). 49-64
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneeth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Inzarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., ReyesGarcía, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T. 2021. *IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change*; IPBES and IPCC.

- Richards, G. 1996. Cultural tourism in Europe. Cab International.
- Rinkineva, L. & Bader, P. 1998. Chapter 2.3 Den marina miljön in Kvarkens natur. Kvarkenrådets publikationer 10.
- Rolff, C. & Elfving, T. 2015. Increasing nitrogen limitation in the Bothnian Sea, potentially caused by inflow of phosphate-rich water from the Baltic Proper. *Ambio*, 44(7), 601-611.
- Rugiu, L., Manninen, I., Rothäusler, E. & Jormalainen V. 2018. Tolerance to climate change of the clonally reproducing endemic Baltic seaweed *Fucus radicans*: is phenotypic plasticity enough?. *Journal of Phycology*. 54(6).888-898
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*. 51(1). 17-50
- Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P. & Lefevre, R. A. 2008. Vulnerability of cultural heritage to climate change. EUR-OPA major hazards agreement, Council of Europe November.
- Saraiva, S., Meier, H. M., Andersson, H., Höglund, A., Dieterich, C., Gröger, M. & Eilola, K. 2019. Baltic Sea ecosystem response to various nutrient load scenarios in present and future climates. *Climate Dynamics*, 52(5), 3369-3387.
- SeaGIS2.0. Map portal. SeaGIS 2.0 -project, Interreg Botnia-Atlantica. Retrieved year 2021 from <https://seagis.org/internt/>.
- SLU. 2020. Artdatabanken, Rödlistade arter i Sverige 2020. SLU, Uppsala.
- SmartSea. 2018a. Tietolaatikot: Tulevaisuuden Pohjanlahti; Silakan kalastus. Information box: herring fishing. Retrieved 10.12.2021 from <http://smartsea.fmi.fi/app/uploads/2018/09/tietoiskut-SilakanKalastus.pdf>.
- SmartSea. 2018b. Tietolaatikot: Tulevaisuuden Pohjanlahti; Aallokko. Information box: Future Gulf of Bothnia; Wave action. Retrieved 14.10.2021 from <http://smartsea.fmi.fi/tulevaisuuden-pohjanlahti/>
- SMHI. 2021a. Klimatscenarier. Retrieved 10.6.2021 from: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/sweden/nation/rcp85/year/temperature>
- SMHI. 2021b. SHARKweb data. Datavårdskap oceanografi och marinbiologi. Retrieved 6.7.2021 from <https://www.smhi.se/data/oceanografi/datavardskap-oceanografi-och-marinbiologi/sharkweb>
- Snickars, M., Sundblad, G., Sandström, A., Ljunggren, L., Bergström, U., Johansson, G. & Mattila, J. 2010. Habitat selectivity of substrate-spawning fish: modelling requirements for the Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Marine Ecology Progress Series*, 398, 235-243.
- Snoeijs-Leijonmalm, P. & Andrén, E. 2017. Why is the Baltic Sea so special to live in? In *Biological oceanography of the Baltic Sea* (pp. 23-84). Springer, Dordrecht.
- Sonnenborg, T. O. 2015. Projected change—hydrology. Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin, 235-241.
- Stal, L. J., Albertano, P., Bergman, B., von Bröckel, K., Gallon, J. R., Hayes, P. K. & Walsby, A. E. 2003. BASIC: Baltic Sea cyanobacteria. An investigation of the structure and dynamics of water blooms of cyanobacteria in the Baltic Sea—responses to a changing environment. *Continental Shelf Research*, 23(17-19), 1695-1714.



- Stapanian, M. A., Paragamian, V. L., Madenjian, C. P., Jackson, J. R., Lappalainen, J., Evenson, M. J. & Neufeld, M. D. 2010. Worldwide status of burbot and conservation measures. *Fish and fisheries*, 11(1), 34-56.
- Sundblad, G. & Bergström, U. 2014. Shoreline development and degradation of coastal fish reproduction habitats. *Ambio*, 43(8), 1020-1028.
- Sundblad, G., Bergström, U., Sandström, A. & Eklöv, P. 2014. Nursery habitat availability limits adult stock sizes of predatory coastal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 71(3), 672-680.
- Sundström, T. & Olsson, C. 2005. Västerbottens kustfågelfauna - Inventering av kustfågelbestånden 2001/2002. Meddelande 4, 2005. Länsstyrelsen Västerbotten.
- SYKE. 2020. Vesikartta, vesientila - watermap, water body status. Data portal. Retrieved 20.5.2021 from [http://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer\\_2\\_5\\_2/Index.html?configBase=http://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/Vesikartta/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default](http://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer_2_5_2/Index.html?configBase=http://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/Vesikartta/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default)
- Söderqvist, T., Hasselström, L., Soutukorva, Å., Cole, S. & Malmaeus, M. 2012. An ecosystem service approach for analyzing marine human activities in Sweden: A synthesis for the Economic and Social Analysis of the Initial Assessment of the Marine Strategy Framework Directive.
- Tegeback, A. & Hasselström, L. 2012. Costs associated with a major oil spill in the Baltic Sea. Report of Baltic Master II-project.
- Thorburn, A. 1986. Marketing cultural heritage. Does it work within Europe? *Travel & Tourism Analyst*, 39-48.
- UN. 2010. World Population Prospects: The 2010 Revision. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, New York.
- UNESCO. 2021. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Heritage Convention. High Coast / Kvarken Archipelago. Retrieved 31.5.2021 from: <https://whc.unesco.org/en/list/898/>
- Urban, M. C. 2015. Accelerating extinction risk from climate change. *Science* 348, 571-573.
- VELMU. 2020. The Finnish Inventory Programme for the Underwater Marine Environment (VELMU). VELMU-data, Finnish Environment Institute SYKE, Marine center.
- Veneranta, L., Hudd, R. & Vanhatalo, J. 2013. Reproduction areas of sea-spawning coregonids reflect the environment in shallow coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 477, 231-250.
- Viitasalo, M. & Bonsdorff, E. 2021. Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning. *Earth System Dynamics Discussions*, 1-38.
- Viitasalo, M., Kostamo, K., Hallanaro, E. L., Viljanmaa, W., Kiviluoto, S., Ekeboom, J. & Blankett, P. 2017. Meren aarteet: löytöretki Suomen vedenalaisen meriluontoon. *Gaudeamus*, 518.
- Viitasalo, M., Blenckner, T., Gårdmark, A., Kaartokallio, H., Kautsky, L., Kuosa, H., Lindegren, M., Norkko, A., Olli, K. & Wikner, J. 2015. Environmental Impacts - Marine Ecosystems. In: The BACC II Author Team (eds) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies. Springer, Cham.

von Storch, H., Omstedt, A., Pawlak, J. & Reckermann, M. 2015. Introduction and Summary. Chapter 1. In: Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. The BACC II Author Team. Springer International Publishing, 1-22.

Wagner, C. & Adrian, R. 2009. Cyanobacteria dominance: quantifying the effects of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6part2), 2460-2468.

Webb, C. T. 2007. What is the role of ecology in understanding ecosystem resilience? *BioScience*, 57(6), 470-471.

Wedin, M. & Röschmann, G. 2014. Skärgårdsguide Höga Kusten. Örnsköldsviks kommun. Ednas Print

White, S., Ten Brink, P., Hayashi, K., Liekens, I., Ninan, K., Meire, P. & Wielgus, J. 2011. Recognizing the value of biodiversity: new approaches to policy assessment. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) in National and International Policy Making*. Earthscan, London.

Winfield, I. J. 2004. Fish in the littoral zone: ecology, threats and management. *Limnologica*, 34(1-2), 124-131.

Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S. & Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *science*, 314(5800), 787-790.

YM. 2016. Ympäristöministeriö, Ministry of the Environment (Finland). Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Ympäristöministeriön raportteja, 5.

YM. 2020. Ympäristöministeriö, Ministry of the Environment (Finland). Suomen merenhoitosuunnitelman seurantaohjelma vuosille 2020–2026.

Zander, C. D., Rupp, K., Böhme, K., Brix, S., Detloff, K. C., Melander, J., Nordhaus, I. & Schiro, C. 2015. The phytal fauna of the SW Baltic Sea and its importance as reservoir for fish prey - Die Phytalfauna der SW-Ostsee und ihre Bedeutung als Reservoir von Fischnahrung. *Bulletin of Fish Biology*, 15(1/2), 33-51.

Zdun, A., Stoń-Egiert, J., Ficek, D. & Ostrowska, M. 2021. Seasonal and Spatial Changes of Primary Production in the Baltic Sea (Europe) Based on in situ Measurements in the Period of 1993-2018. *Frontiers in Marine Science*.





EUROPEISKA UNIONEN

**Interreg**  
Botnia-Atlantica

Europeiska regionala utvecklingsfonden