

Klimatförändringar och biologisk mångfald

– Slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv



Huvudförfattare

Lena Bergström, Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)

Pernilla Borgström, Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet (LU)

Henrik G. Smith, Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet (LU)

Medförfattare

Sara Bergek (SLU)

Paul Caplat (LU)

Michele Casini (SLU)

Johan Ekroos (LU)

Anna Gårdmark (SLU)

Christina Halling (SLU, Artdatabanken)

Magnus Huss (SLU)

Anna Maria Jönsson (LU)

Karin Limburg (SLU)

Paul Miller (LU)

Lovisa Nilsson (LU)

Leonard Sandin (SLU, NIVA)

Rapporten citeras

Bergström, L., Borgström, P., Smith, H.G., Bergek, S., Caplat, P., Casini M., Ekroos J., Gårdmark A., Halling C., Huss M., Jönsson AM., Limburg K., Miller P., Nilsson L., Sandin L. 2020. Klimatförändringar och biologisk mångfald – Slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv. SMHI och Naturvårdsverket. Klimatologi Nr 56.

Förord

De stora miljö- och samhällsproblemen kommer inte ensamma. De är sammankopplade på olika sätt, detta innebär utmaningar men ger också möjligheter att utveckla åtgärder och lösningar. Det gäller både för klimatfrågan och frågan om att motverka förlusten av biologisk mångfald och ekosystem.

Kunskapens betydelse för att hantera dessa och andra aspekter är ovärderlig, såväl kring specifika frågeställningar som kring omständigheter och förutsättningar för åtgärdsarbetet.

FN:s mellanstatliga klimatpanel IPCC och den mellanstatliga plattformen för biologisk mångfald och ekosystemtjänster, IPBES, tar fram omfattande kunskapsutvärderingar. Sverige representeras i dessa organ av SMHI respektive Naturvårdsverket, där ett uppdrag är att sprida information om panelernas arbete. Panelerna får hjälp av flera hundratals forskare och ytterligare hundratals expertgranskare. Forskarna går genom den senaste forskningen och sammanfattar det globala kunskapsläget, ofta ner till regionala frågeställningar. Kunskapsutvärderingarna ger viktigt beslutsunderlag till internationella förhandlingar och nationella strategier samt regionalt och lokalt arbete med klimatfrågan och med biologisk mångfald.

Denna rapport bygger på IPCC:s och IPBES senaste globala kunskapsutvärderingar, med fördjupande genomlysningar om klimatet och biologisk mångfald i svenska miljöer. Vi hoppas att rapporten bidrar till att tillgängliggöra IPCC:s och IPBES utvärderingar och ger ett mervärde för arbetet vid inte minst svenska myndigheter och organisationer som arbetar för att hejda klimatförändringar och mildra deras effekter, värnar för artrikedom, och verkar för fungerande ekosystem för nuvarande och framtida generationer.

Rapporten har författats av forskare vid SLU och Lunds universitet och författarna ansvarar för rapportens innehåll.

SMHI och Naturvårdsverket

7 september 2020

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning	7
Summary	9
1. Introduktion	11
2. De mellanstatliga panelerna	12
2.1 IPCC för klimatet och IPBES för biologisk mångfald och ekosystemtjänster	12
2.2 IPCC och IPBES tar fram olika typer av rapporter	13
2.3 Framtiden utforskas med scenarier	14
2.4 Nivåer av säkerhet – hur fastställs kunskapsläget?	14
3. Varför är samspelet mellan klimatförändringar och biologisk mångfald viktigt?	16
3.1 Klimat och biologisk mångfald är beroende av varandra	16
3.2 En förändrad natur: direkta kopplingar mellan klimat och biologisk mångfald	19
3.3 Människan som aktör i samspelet mellan klimat och biologisk mångfald	20
4. Slutsatser från IPCC och IPBES	26
4.1 Ett ökat fokus på samspelet mellan klimat och biologisk mångfald	26
4.2 Klimatförändringarna	27
4.3 Biologisk mångfald och ekosystemtjänster	32
4.4 Klimatets påverkan på ekosystemen	33
4.5 Markanvändning, klimat och biologisk mångfald	35
4.6 Synergier mellan klimatåtgärder och naturvård	37
5. Djupdykningar	38
5.1 Klimateffekter på biologisk mångfald och ekosystemfunktioner	38
5.2 Var kan vi förvänta oss särskilt starka klimateffekter? – Några exempel	45
5.3 Svensk markanvändning och havsplanering i ett klimat under förändring	53
6. Möjligheter och utmaningar – synergier mellan klimatåtgärder och bevarande av biologisk mångfald i Sverige	64
6.1 När kan åtgärder för klimat och biologisk mångfald gå hand i hand?	65
6.2 Synergieffekter kommer inte automatiskt – vi måste planera för dem	66
6.3 Att utveckla synergier kräver en landskapsansats	67
6.4 Förvaltning under osäkerhet	68
Avslutande ord	71
Tack	72
Referenser	73

Sammanfattning

Negativa effekter av klimatförändringar och förlust av biologisk mångfald är två parallella kriser som är starkt sammankopplade, och som har en tydlig koppling till mänskliga aktiviteter. Allt flera röster har hörts som säger att det krävs omgående och samordnade insatser från det globala samfundet för att motverka negativa konsekvenser av dessa förändringar på jordens ekosystem och mänskligheten. Effekterna på klimat och biologisk mångfald hanteras dock ofta skilda från varann i samhällsdiskussionen och i förvaltningen.

För att insatser för klimatet och den biologiska mångfalden ska vara effektiva måste de ha en god förankring i rådande kunskapsläge, genom att beakta själva samspelet mellan hur klimat och biologisk mångfald ser ut. Pågående klimatförändringar är idag en betydelsefull påverkansfaktor för alla typer av ekosystem. En övervägande del av jordens ekosystem är idag också påverkade av annan mänsklig verksamhet, på ett sätt som gör dem mer känsliga för ytterligare påverkan. Framför allt har vår markanvändning och vårt nyttjande av naturresurser en stor roll. Med den globala uppvärmningen försvinner eller krymper till exempel livsmiljöerna för flera arter, även i Sverige, medan andra arter kan få utökade utbredningsområden. Dessa förändringar påverkar även samspelet mellan arter, t.ex. tillgången på föda eller hur utsatta organismer är för predation. Både naturliga och mänskligt influerade ekosystem påverkas av att störningar och extrema väderhändelser blir vanligare, till exempel värmeböljor och torrperioder. Människan fungerar som en aktör i samspelet mellan klimat och biologisk mångfald, om åtgärder för klimatanpassning eller för att motverka klimatförändringar påverkar den biologiska mångfalden, liksom när processer som leder till förlust av biologisk mångfald och ekosystemens integritet påverkar förmågan att stå emot klimatförändringar.

Den mellanstatliga klimatpanelen IPCC utvärderar regelbundet det aktuella kunskapsläget kring klimatförändringar och dess effekter i världen. IPBES är en mellanstatlig plattform för att ta fram aktuell kunskap om biologisk mångfald och hur förändringar i biologisk mångfald påverkar olika delar av det globala samfundet. I ett antal nyckelrapporter har IPCC och IPBES presenterat sina slutsatser om planetens tillstånd och framtid, och diskuterat hur det globala samfundet bör förhålla sig till detta. IPCC fastställer vikten av ambitiösa klimatmål. Ju snabbare den globala uppvärmningen kan minskas, desto mer kan negativa klimateffekter och klimatrelaterade risker begränsas. Som ett exempel blir många negativa effekter på ekosystemen klart mindre vid 1,5 graders jämfört med 2 graders global uppvärmning. IPBES fastslår att biologisk mångfald och ekosystemtjänster är centrala för det mänskliga samfundet på såväl global, och regional som lokal nivå. Mänskliga aktiviteter, framförallt förändrad markanvändning, har kraftig negativ påverkan på biologisk mångfald, och klimatförändringar påverkar i ökande grad biologisk mångfald och ekosystemtjänster.

De senaste rapporterna från IPCC och IPBES är eniga om att det behövs åtskilliga, och i många fall kraftfulla, åtgärder för att begränsa klimatförändringarna och hejda förlusten av biologisk mångfald, liksom för att hantera konsekvenserna av dessa förändringar. Det är av stor vikt att diskutera möjligheterna till positiva synergier mellan åtgärder för klimat och åtgärder för biologisk mångfald. Detta kan till exempel handla om att identifiera ekosystembaserade och naturbaserade lösningar i klimatanpassningen.

Ansatsen hos såväl IPCC som IPBES är framförallt global, och de övergripande slutsatserna i deras utvärderingar behöver ofta placeras i ett nationellt eller lokalt sammanhang när man implementerar åtgärder. Denna rapport är ett samarbete mellan SMHI (svensk kontaktpunkt för IPCC), Naturvårdsverket (svensk kontaktpunkt för IPBES), och forskare från Lunds universitet och institutionen för akvatiska resurser vid Sveriges lantbruksuniversitet. Forskarna tar avstamp i slutsatserna från IPCC och IPBES och sätter dessa i ett svenskt perspektiv, bland annat genom utvalda exempel vilka fungerar som aktuella illustrationer av hur klimatförändringar påverkar biologisk mångfald och ekosystem i Sverige. I dessa sammanhang lyfts även frågor om vilka utmaningar och behov som människans behov av anpassning till klimatförändringar och effekter på biologisk mångfald kan leda till.

Båda panelerna betonar behovet av en genomgripande samhällsomställning för att kunna begränsa klimatförändringen och bevara den biologiska mångfalden. I många fall kräver detta en integrerad

förvaltning över olika nivåer som kan möjliggöra en helhetssyn, vilket även gäller i Sverige. Åtgärder för att begränsa klimatförändringarna och anpassning till deras konsekvenser och åtgärder för att bevara den biologiska mångfalden kan i många fall samordnas för att öka synergier. En sådan utveckling kommer dock inte automatiskt utan måste vara ett aktivt mål i förvaltningen. Genom att utveckla och skapa acceptans för ett landskapsperspektiv när det gäller mark- och vattenanvändning skulle målkonflikter och synergier kunna identifieras och hanteras i en samordnad ansats. Det är även viktigt att åtgärder som fokuserar på det korta och det långa perspektivet diskuteras parallellt, eftersom det som görs (eller inte görs) på kort sikt både vad gäller klimat och biologisk mångfald är avgörande för behovet av och möjligheterna till att bygga på med fler åtgärder längre fram i tiden. Centralt i båda fallen är att den kunskap som finns sprids, utvärderas och utvecklas, vilket kräver en kontinuerlig dialog mellan forskare och beslutsfattare på alla nivåer i samhället.

Summary

Climate change and biodiversity – conclusions from the IPCC and IPBES in a Swedish perspective

Climate change and loss of biodiversity are two parallel and strongly interlinked crises, and both are clearly connected to human activities. There is an increasing demand for actions to halt these negative developments, and to counteract detrimental impacts on the world's ecosystems and humanity. However, the success of such actions might be impeded by the fact that climate change and biodiversity loss are often treated separately in policy, management and the public debate.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) regularly evaluates the current state of knowledge regarding climate change, its impacts and mitigation. The Intergovernmental Science-Policy Platform for Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) is tasked with assessing the global status of biodiversity, and how changes in biodiversity affect human well-being. Both the IPCC and IPBES have presented conclusions on the state of the planet in recent reports, and have evaluated likely and potential ways forward for the global community in relation to the presented results. The IPCC highlights the need for ambitious climate targets and the need for the global community to act quickly to halt and limit global warming, stating that the faster the current emission trends can be broken, the better our prospects for minimizing negative impacts and climate-related risk, including risks for the functioning of the world's ecosystems. The IPBES reports confirm the importance of biodiversity and ecosystem services for human societies at global, regional and local scales. However, human activities are having strong negative impacts on biodiversity today, which are further aggravated by climate change.

In this report, we highlight selected findings in recent IPCC and IPBES reports, with a particular focus on connections between climate and biodiversity. We also use the reports of the IPCC and IPBES as a starting point to discuss interactions between climate change and biodiversity loss from a Swedish perspective, including presentations of selected examples of research focusing on such interplays. Finally, a selection of current and future challenges and needs related to climate change adaptation and biodiversity management in Sweden are highlighted and discussed. The report is produced by researchers from Lund University and the Department of Aquatic Resources at the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) under a collaboration between the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI, national contact point for the IPCC), the Swedish Environmental Protection Agency (national contact point for IPBES).

If measures targeting climate change or biodiversity loss are to be successful, they must consider how the two stressors may interact. Additionally, it is important to ensure that policies and management actions build on available scientific knowledge. Climate change has impacts on all types of ecosystems today, for example through changes in temperature and precipitation or through an increasing frequency of extreme weather events, such as storms, heat waves and droughts. As it progresses, global warming will result in species extinctions, range-shifts, and changes in local community compositions, with consequences for ecosystem processes including those that constitute ecosystem services to humans. Most of the world's ecosystems are also affected by other human activities, not least changes in land-use, which further increases their sensitivity to pressures caused by climate change. Human impacts on ecosystems have already resulted in biodiversity loss and changes in ecosystem functioning, with consequences for ecosystems' abilities to contribute to human welfare, and this trend is foreseen to continue. Effects resulting in loss of ecosystem integrity may indeed also erode the resilience of ecosystems to climate change. Climate change and biodiversity loss are further linked through human actions to mitigate or adapt to climate change, and it is now known that such interactions can be both negative and positive, and vice versa.

In Sweden, climate change is likely to impact biodiversity and ecosystem services in both natural and managed ecosystems, including arctic regions, forests, agroecosystems, coastal and marine areas, freshwaters as well as urban environments. These impacts need to be considered from a mitigation perspective, but there are also ample possibilities to plan for nature-based solutions that can achieve positive synergies between climate change mitigation and adaptation, and the preservation of biodiversity and ecosystem integrity. For example, parallel goals of production and biodiversity preservation can be met in forest management, if this is planned and conducted with the aim of delivering multiple societal

benefits. The adaptation of agriculture to new climatic conditions will create opportunities for, but also involve risks to biodiversity, and an explicit consideration of synergies will for example be needed with any increased demand of biomass for bioenergy purposes. Improved planning and conservation is particularly urgent in Sweden's marine ecosystems, where climate change is expected to influence their biodiversity and productivity, as well as the ecosystems' resilience to additional pressures, such as fishing and eutrophication. An increased need for renewable energy from, for example, offshore wind farms further enhances the need to integrate ecosystem perspectives in marine management. We discuss these and more examples further in the report.

As shown by the reports from both the IPCC and IPBES, there is an urgent need for interventions to halt climate change as well as biodiversity loss, and to mitigate the negative consequences of these changes. Therefore, it is crucial to find synergies and avoid conflicts between measures targeting climate change and those targeting biodiversity. This could for example mean identifying and promoting ecosystem- and nature-based solutions in climate change adaptation and mitigation.

Both the IPCC and IPBES emphasise the need for a transformative change in society in order to tackle climate change and biodiversity loss. In many cases – including in Sweden – achieving this will require integrated management across different levels of governance. Measures for climate change mitigation and adaptation can often be coordinated with measures for preserving biodiversity. However, such synergies will not happen by themselves, and therefore must be explicitly included in the planning stage.

Developing a landscape perspective to management could facilitate positive synergies and serve to reduce potential local conflicts of interest. Since what is done or not done in the short term affects the need and possibility for future action, it is pivotal that measures operating on both the short and long term are considered simultaneously. A fundamental requirement for achieving positive synergies is the dissemination, evaluation and development of knowledge, and the establishment and maintenance of continuous dialogue between researchers and policy-makers at different levels.

1. Introduktion

Klimatförändringar och förlust av biologisk mångfald berör oss alla, både direkt och indirekt. Hos många är medvetenheten hög om att mänskliga aktiviteter leder till global uppvärmning och förlust av biologisk mångfald, vilket i sin tur ökar insikten om behovet av att agera för att hantera dessa båda utmaningar. Vad som dock ofta är mindre uppenbart är hur klimat, biologisk mångfald och åtgärder som syftar till att minska mänsklighetens påverkan på dessa hänger samman.

Om klimatet och klimatåtgärder påverkar den biologiska mångfalden, samt om den biologiska mångfalden av gener, arter och ekosystem, och åtgärder för att bevara dessa, påverkar förmågan att hantera ett förändrat klimat, krävs kunskap om sådana samband för att kunna identifiera och genomföra åtgärder som genererar synergier istället för att skapa konflikter.

FN:s mellanstatliga klimatpanel (IPCC) utvärderar regelbundet det globala kunskapsläget om klimatförändringar medan den mellanstatliga kunskapsplattformen för biologisk mångfald och ekosystemtjänster (IPBES) har samma roll när det gäller den biologiska mångfalden och människans relation till naturen och dess värden. Ett mycket stort antal forskare från hela världen och från olika discipliner bidrar till arbetet. Sverige deltar i detta internationella arbete och medverkar också till att arbetet resulterar i internationella överenskommelser för att förbättra situationen när det gäller klimat och biologisk mångfald.

De resultat som presenteras från både IPCC och IPBES pekar tydligt på ett behov av skarpa åtgärder – helst i närtid – om man ska klara de internationella åtaganden som finns när det gäller att begränsa klimatförändringar och bromsa förlusten av biologisk mångfald. Samtidigt som problemen är globala, är dock många av de åtgärder som behöver genomföras nationella och lokala. Detta kräver att den kunskap som genererats i de globala rapporterna får genomslag nationellt. Ett viktigt arbete är därför att förankra de globala slutsatserna i IPCCs och IPBES rapporter på nationell nivå, vilket för svenska förhållanden inte minst handlar om att slutsatserna behöver återspeglas i arbetet med att nå de nationella miljömålen.

I den här kunskapssammanställningen presenterar vi huvuddragen i de senaste rapporterna från IPCC och IPBES i ljuset av svenska förhållanden. Sammanställningen fokuserar särskilt på olika aspekter av hur klimatet samspelar med biologisk mångfald¹ och de ekosystemtjänster² som biologisk mångfald direkt eller indirekt bidrar till. De senaste och mest relevanta rapporterna från IPCC och IPBES har använts som utgångspunkt: IPCC:s ”Specialrapport om 1,5-graders uppvärmning” (IPCC 2018), ”Havet och kryosfären i ett förändrat klimat” (IPCC 2019a), ”Klimatförändringar och marken” (IPCC 2019b), samt IPBES rapporter om biologisk mångfald och ekosystemtjänster (IPBES 2018a, 2019).

Vår målsättning har varit att belysa de nämnda rapporternas huvudsakliga slutsatser och ge exempel på vad de innebär för svenska förhållanden, baserat på panelernas slutsatser och aktuell forskning. Med ett antal exempel och fördjupningar illustrerar vi några av de frågeställningar och miljöer som ingår i panelernas slutsatser. Exempelen och fördjupningarna konkretiserar hur de övergripande slutsatserna från panelerna också berör svenska förhållanden, och visar deras nationella och lokala dimensioner. Sammantaget hoppas vi att sammanställningen bidrar till ökad kunskapsspridning och till reflektioner i samhället över hur vi i Sverige agerar individuellt och kollektivt för att bemöta klimatförändringar och hur vi förhåller oss till betydelsen av biologisk mångfald.

¹Definieras av FN:s Konvention om biologisk mångfald (CBD) som ”variationsrikedomen bland levande organismer i alla miljöer (inklusive landbaserade, marina och andra akvatiska ekosystem) samt de ekologiska komplex i vilka dessa organismer ingår; detta innefattar mångfald inom arter, mellan arter och av ekosystem” (Naturvårdsverket 2010).

²Ekosystemtjänster är ett begrepp som används för att kommunicera de direkta och indirekta bidrag som naturen ger till människors välbefinnande (Naturvårdsverket 2017). IPBES använder sig också av det vidare begreppet ”naturens bidrag till människan” (Díaz m.fl. 2018). I denna rapport använder vi begreppet ekosystemtjänster, eftersom detta begrepp används i svensk och europeisk miljöpolitik och förvaltning.

2. De mellanstatliga panelerna

2.1 IPCC för klimatet och IPBES för biologisk mångfald och ekosystemtjänster

FN:s mellanstatliga klimatpanel, IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*), etablerades 1988 av FN:s miljöprogram (UNEP) och Meteorologiska världsorganisationen (WMO). Dess mål är att regelbundet utvärdera kunskapsläget kring klimatförändringar inklusive möjliga lösningar, och därmed tillhandahålla ett robust kunskapsunderlag för beslutsfattare världen över. I princip alla världens länder är medlemmar i IPCC, med i skrivande stund 195 medlemsstater. Forskare bidrar på frivillig basis till arbetet som både leder till regelbundna stora utvärderingar och till fokuserade specialrapporter. Forskarna går igenom aktuell forskning som bedrivits fram till tidpunkten för utvärderingen. Utöver frågeställningar om tidigare och pågående klimatutveckling, klimatprocesser, andra relevanta processer, och klimatförändringarnas effekter, så utvärderar forskarna hur klimatförändringarna kan komma att fortsätta under olika förutsättningar, vilken påverkan de har, och möjliga lösningar. Detta arbete utförs i tre arbetsgrupper: Arbetsgrupp 1 fokuserar på den naturvetenskapliga grunden för tidigare, nuvarande och framtida klimatförändringar, arbetsgrupp 2 fokuserar på effekter av klimatförändringarna, sårbarhet samt anpassningsmöjligheter, och arbetsgrupp 3 fokuserar på åtgärder som minskar växthusgasutsläpp. IPCC har även en arbetsgrupp som arbetar med metodologier för inventeringar av växthusgasutsläpp. Hittills har fem stora utvärderingsrapporter, samt flera specialrapporter och metodologiska rapporter producerats. SMHI är nationell kontaktpunkt för IPCC i Sverige.

Den mellanstatliga plattformen för biologisk mångfald och ekosystemtjänster, IPBES (*The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*), etablerades 2012 som en oberoende internationell organisation med stöd av ett sekretariat vid FN:s miljöprogram UNEP. IPBES liknar IPCC till sitt upplägg och är tillägnat utvärdering av världens biologiska mångfald och dess samhällsnyttor (ekosystemtjänster/naturnyttor). Det centrala syftet för IPBES är att stärka gränssnittet mellan vetenskap och beslutsfattande, genom att fastställa kunskapsläget om världens biologiska mångfald och ekosystemtjänster och bidra till lösningar för bevarande och hållbart nyttjande. Plattformen möjliggör dialog mellan forskare, beslutsfattare och andra intressenter om policyutveckling och kunskapsbehov (Larigauderie och Mooney 2010). I nuläget har IPBES 136 medlemsstater. Precis som för IPCC deltar forskare på frivillig basis för att genomföra utvärderingar av kunskapsläget på olika teman



och i enlighet med det tioåriga arbetsprogrammet. Hittills har åtta IPBES-utvärderingar producerats. Den första och hittills enda utvärderingsrapporten över världens biologiska mångfald och ekosystemtjänster blev färdig våren 2019. Dessförinnan har fyra regionala utvärderingar, två specialrapporter och en metodologisk rapport producerats. Naturvårdsverket är nationell kontaktpunkt för IPBES i Sverige.

Det finns både likheter och olikheter i hur IPCC och IPBES arbetar. Båda panelerna producerar utvärderingar av kunskapsläget och aktuell forskning inom sina respektive fokusområden. Eftersom klimat och biologisk mångfald samspelar, finns det dock även tydliga tematiska överlapp. För både IPCC och IPBES är en central del av arbetet att utvärdera scenarier, inom vilka man beaktar hur jordens klimat, biologiska mångfald och ekosystemtjänster kan komma att utvecklas i framtiden under olika förutsättningar. Scenarierna baseras bland annat på hur globala utsläpp och markanvändning kan komma att utvecklas framöver, socioekonomisk utveckling, liksom möjliga utvecklingsvägar för att nå specifika mål för klimatet och den biologiska mångfalden samt ekosystemtjänster. (Panelernas arbete med scenarier beskrivs närmare i avsnitt 2.3). Förutom att sammanställa kunskapsläget, arbetar IPBES också direkt med utveckling av policys och kapaciteten att hantera biologisk mångfald (Brooks m.fl. 2010). IPCC:s och IPBES rapporter bygger på konsensus, vilket innebär att de har en ambition att skapa en enad bild av forskningsläget och det aktuella kunskapsläget inom specifika frågeställningar. Denna ambition är särskilt understruken i de så kallade ”sammanfattningarna för beslutsfattare” (se nästa avsnitt).

2.2 IPCC och IPBES tar fram olika typer av rapporter

Ett centralt syfte för både IPCC och IPBES är att med hjälp av forskarexpertis producera djupgående, evidensbaserade sammanställningar av världens samlade kunskap inom panelernas respektive fokusområden. Rapporterna från IPCC och IPBES genomgår omfattande granskningar, där såväl forskare och experter som panelers medlemsstater och intressenter från hela världen erbjuds möjlighet att kommentera resultaten och där varje kommentar behandlas på ett transparent sätt. En sådan inkluderande process bidrar till att rapporterna både blir vetenskapligt robusta och täcker frågeställningar som är relevanta för policyformuleringar och beslutfattande.

IPCC producerar rapporter i tre huvudsakliga kategorier. I stora utvärderingsrapporter (Assessment Reports) presenteras det aktuella kunskapsläget om klimatförändringar vad gäller såväl vetenskaplig, teknisk som socioekonomisk kunskap. I dessa regelbundet utgivna rapporter redogörs för klimatförändringarnas orsaker, påverkan och framtida risker samt alternativ för att begränsa klimatförändringarna och deras effekter. IPCC är just nu i sin sjätte utvärderingscykel, som pågår fram till år 2022. Den sista rapporten i den senaste och femte utvärderingscykeln (AR5) utkom år 2014. Arbetet stöds av metodrapporter (Methodology Reports), som ger praktiska riktlinjer för nationella inventeringar av växthusgaser och för länders utsläppsrapporter nationellt och internationellt, där Sverige rapporterar till EU och FN. Utöver dessa utvärderingsrapporter och metodologiska rapporter belyses särskilda teman i så kallade specialrapporter (Special Reports).

IPBES har ett liknande upplägg som IPCC. Hittills har en global utvärderingsrapport (Global Assessment Report, IPBES 2019) getts ut, som kan ses som en motsvarighet till IPCC:s återkommande utvärderingsrapporter. Utöver den globala utvärderingen har regionala utvärderingar producerats, dels som bakgrund för den globala rapporten, dels för att öka upplösningen och sätta fokus på de olika regionerna i världen. Den rapport som är av speciellt intresse för Sverige är Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia (IPBES 2018a). Den presenteras också närmare i kapitel 4. Därtill har två rapporter hittills utkommit på specialteman: Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production (IPBES 2016a) och Assessment Report on Land Degradation and Restoration (IPBES 2018b). IPBES har även producerat en metodologisk rapport, The Methodological Assessment Report on Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem services (IPBES 2016b), vilken beskrivs som en verktygslåda för hur scenarier och modeller kan användas i beslutsfattande gällande biologisk mångfald, människors relation till naturen och livskvalitet.

Sammanfattningarna för beslutsfattare (*Summary for Policymakers, SPM*) är viktiga slutprodukter för både IPCC och IPBES. I dessa lyfts nyckelbudskapen från respektive rapport. Sammanfattningarna för beslutsfattare diskuteras och godkänns rad för rad i plenum av alla länder som ingår i respektive panel, i dialog med forskare som tagit fram rapporten.

2.3 Framtiden utforskas med scenarier

För att konkretisera och öka förståelsen för möjliga framtida förändringar arbetar forskare med scenarier. Scenarierna representerar olika möjliga utvecklingar för den frågeställning man vill analysera. Scenarierna fungerar som ramverk för att systematiskt projicera hur trender i klimatpåverkan, klimatutveckling, förändringar i biologisk mångfald och ekosystemtjänster skulle kunna se ut, givet olika antaganden om framtida förändringar i till exempel markanvändning, socioekonomisk utveckling, politiska beslut eller förändringar i konsumtionsmönster.

Klimatprojektioner fokuserar på hur klimatet skulle påverkas vid olika scenarier av växthusgasutsläpp och markanvändning. Klimatprojektioner kan sedan användas för att studera vilka effekter detta i sin tur skulle ha på natur och samhälle. I detta sammanhang representerar RCP (*Representative Concentration Pathways*) möjliga förändringar i koncentrationen av växthusgaser, när man beaktar hur samhällets klimatpåverkan i form av växthusgasutsläpp och förändrad markanvändning blir vid olika åtgärder och samhällsutvecklingar. RCP:erna spänner över möjliga framtida scenarier med och utan klimatarbete, vilket innebär ett förhållandevis stort spann av olika klimatutfall, från Parisavtalets mål till på sikt betydligt större uppvärmning.

Narrativ är kvalitativa eller berättande beskrivningar av möjliga framtider, vilka fungerar som utvecklat stöd för att identifiera risker och utvärdera behov av åtgärder. SSP (*Shared Socioeconomic Pathways*) är centrala i klimatforskningen. De förenar beskrivningar kring hur samhället skulle kunna utvecklas när det gäller drivkrafter och åtgärder med information om utsläpp av växthusgaser. Olika narrativ kan exempelvis illustrera situationer av hållbar utveckling, regional konkurrens, ojämlikhet, fossilbaserad utveckling eller en medelväg. Valet av socioekonomisk utveckling är givetvis viktig för möjliga klimatlösningar, men också för hur samhällets sårbarhet utvecklas över tid (Riahi m.fl. 2017).

Olika typer av scenarier kan användas för kompletterande syften. Inom IPBES används till exempel explorativa scenarier, vilka kan vara specificerade som olika narrativ, för att undersöka potentiella framtida skeenden när det gäller exempelvis energianvändning, markanvändning, utsläpp, människans sårbarhet eller livsstil. Detta bidrar till att identifiera problembilder och prioritera vilka åtgärdsförslag som behöver tas upp på agendan. Som komplement används så kallade interventionsscenarier som utvärderar konsekvenser av alternativa policyformuleringar eller skötsel. Dessa används som stöd för att utvärdera möjliga åtgärder och vid utformningen av politiska beslut, tillsammans med tillbakablickande analyser som kan utvärdera effekten av tidigare fattade beslut. Inom IPCC redogörs även för forskning om utvecklingsvägar som handlar om beslut och åtgärder för att begränsa klimatförändringarna på ett visst sätt, exempelvis till 1,5 grader.

Scenarierna baserar sig på en sammanvägning av data, teori och expertkunskap. En dialog med olika aktörer är central för att få grepp om de komplexa frågeställningar som berörs. Själva utvärderingen och diskussionen av hur såväl klimat och biologisk mångfald och ekosystemtjänster förändras och kan påverkas av politik och åtgärder är ett viktigt forum för att utveckla förståelse, delaktighet och erfarenhetsutbyten. Scenarier hjälper därmed till att studera och konkretisera hur den framtida utvecklingen skulle kunna se ut och förstå hur beslut och förvaltning kan anpassas för att leda i en önskvärd riktning. Vilka scenarier skulle vi gärna se att framtiden följer, och vilka vill vi undvika - och vad krävs för att nå dit?

"The goal of working with scenarios is not to predict the future, but to better understand uncertainties in order to reach decisions that are robust under a wide range of possible futures" (Moss m. fl. 2010)

2.4 Nivåer av säkerhet – hur fastställs kunskapsläget?

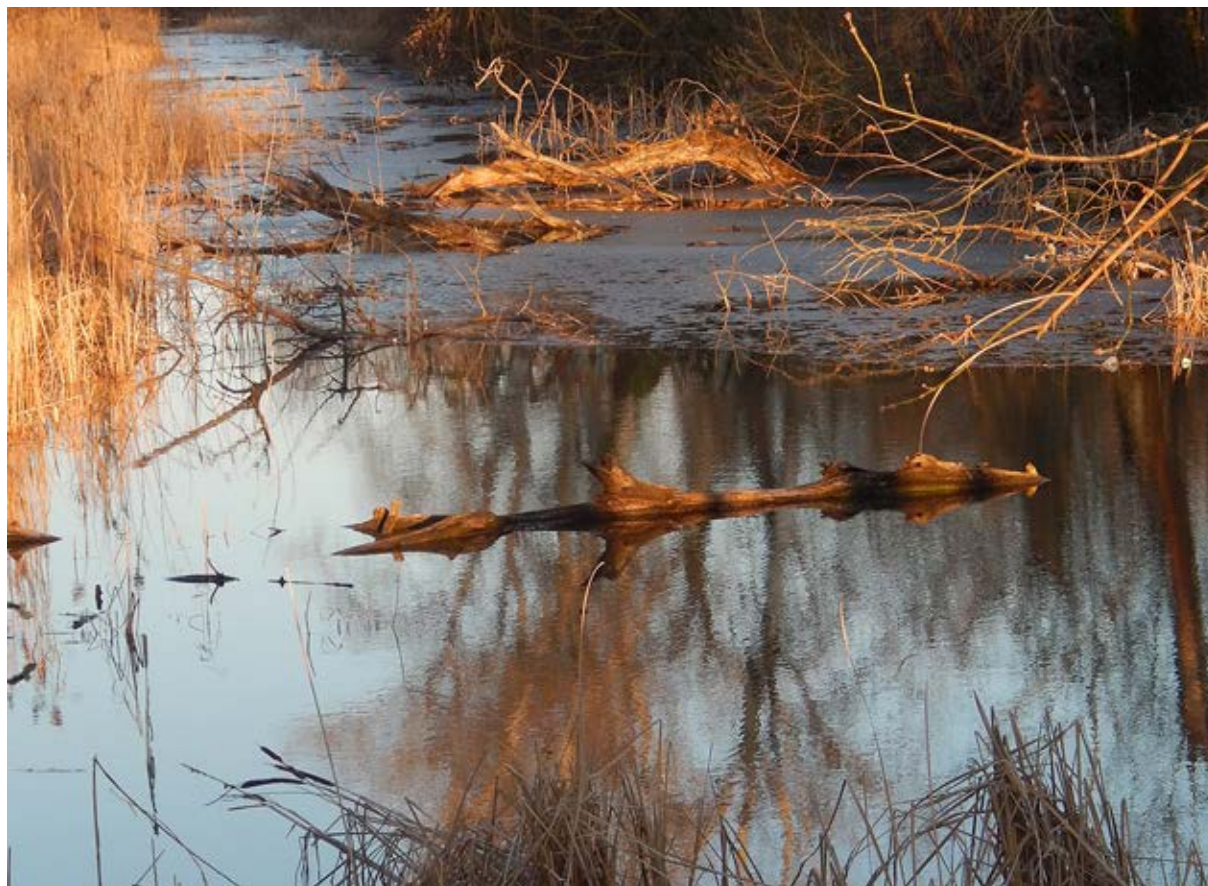
De utvärderingar av kunskapsläget som IPCC och IPBES utför sammanfattar vad som i nuläget är känt om historiska, nuvarande och framtida förhållanden grundat på vetenskap, socioekonomisk och teknisk kunskap, samt inhemsk och lokal kunskap. Det ligger i de vetenskapliga bevisens natur att de alltid är belagda med ett mått av osäkerhet eller konfidensnivå. En viktig faktor i utvärderingarna är att vara tydlig med hur säkerställda olika resultat är.

Både IPCC och IPBES har formaliserat hur säkerheten i det aktuella kunskapsläget ska anges. För varje enskilt uttalande anges vilken nivå av säkerhet just detta påstående är behäftat med. Det finns ett flertal källor till osäkerhet som var för sig, eller i samspel, kan påverka hur säkra eller osäkra vi kan vara på att det framtagna beviset ger en korrekt lägesbild. En del av källorna till osäkerhet kan hanteras genom att använda mer precis terminologi eller genom att samla in mer eller bättre vetenskapliga data, medan andra källor till osäkerhet är ofrånkomliga eftersom de härstammar från den inneboende oförutsägbarheten i naturliga system. Forskarna förväntas också vara medvetna om att det finns osäkerhet kopplat till variation i subjektivitet i människors omdöme, något som i en del fall kan motverkas, i andra inte.

Klimatpanelen IPCC anger hur säkert ett givet faktapåstående är genom att i huvudsak belägga det med en av fem huvudsakliga säkerhetsnivåer: ”mycket hög”, ”hög”, ”medel”, ”låg” och ”mycket låg”. Därtill finns ytterligare säkerhetsnivåer som kan appliceras (se Mastrandrea m.fl. 2010). Detta bygger på en kombination av hur omfattande underlaget är, och hur stark överensstämmelsen är inom det givna faktaområdet (Mastrandrea m.fl. 2010, 2011). Även IPBES anger osäkerhet genom att varje påstående relateras till två dimensioner; dels beaktas nivån av överensstämmelse mellan alla tillgängliga forskningsevidens, dels styrkan i dessa. Detta ger ett kvalitativt sätt att ange hur säkert ett visst påstående är. De fyra huvudkategorierna är ”väletablerat” (*well established*), ”etablerat men ofullständigt” (*established but incomplete*), ”ofullständigt” (*inconclusive*), och ”osäkert” (*unresolved*). Var och en av dessa kan sedan grupperas vidare till mer precisa termer. Inom huvudkategorin ”väletablerat”, pekar till exempel underkategorierna ”mycket väl etablerat” och ”i princip säkert” på yttranden som i mycket hög grad stöds av tillgängliga forskningsbevis.

Både IPCC och IPBES har även en skala för att ange sannolikheten för ett givet utfall, som kan användas när underlaget kan sammanfattas med kvantitativa termer. Skalan går från ”exceptionellt osannolikt” (mindre än en procent sannolikhet) till ”i princip säkert” (mer än 99 procent sannolikhet). Det är viktigt att notera att för en del mellannivåer, som till exempel ”ungefär lika sannolikt som osannolikt”, så handlar detta inte om kunskapsläget utan specifikt om sannolikheten i själva utfallet.

Slutsatser från de senaste rapporterna från IPCC och IPBES presenteras mer ingående i kapitel 4.



3. Varför är samspelet mellan klimatförändringar och biologisk mångfald viktigt?

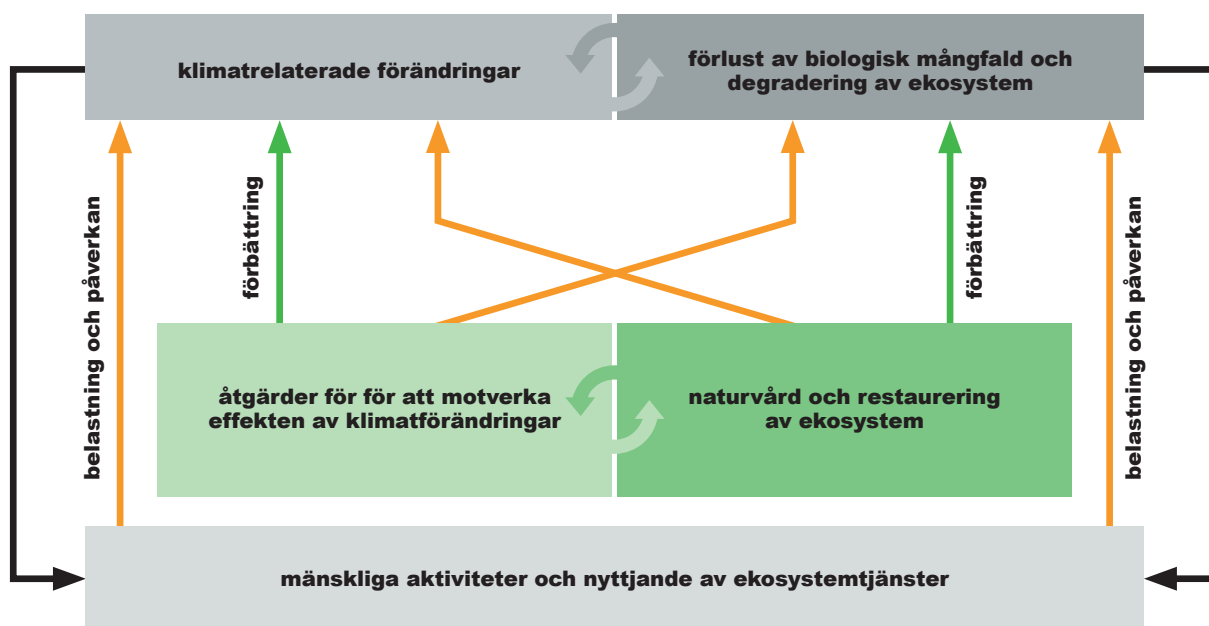
3.1 Klimat och biologisk mångfald är beroende av varandra

Utvärderingarna från IPCC visar hur mänskliga aktiviteter, inklusive utsläpp av växthusgaser och förändrad markanvändning, påverkar klimatet. Pågående klimatförändringar är idag en betydelsefull påverkansfaktor för alla typer av ekosystem (IPCC 2014, 2018, 2019a,b). Förändrade temperaturförhållanden har en direkt effekt på livsmiljöer, populationer och arter. Till detta kommer effekter av flera andra klimatrelaterade förändringar, exempelvis ändrad nederbörd, minskad isbildning, minskad utbredning och varaktighet av snötäcken, temperatur- och nederbördsextremer, havsnivåhöjning och havsförsurning. Sådana förändringar kan förstärka effekten av ökad temperatur, eller rentav vara den dominerande faktorn som påverkar ekosystem i vissa områden. I Östersjön leder den ökande temperaturen dessutom till minskad salthalt och minskad syrehalt i bottenvattnet, med konsekvenser för den biologiska mångfalden (HELCOM 2013, von Storch m.fl. 2015). Forskarna bakom IPCCs utvärderingar varnar för att pågående och framtida klimatpåverkan kommer att leda till stora förändringar i jordens ekosystem.



IPBES utvärderingar visar att en övervägande del av jordens ekosystem idag är påverkade av mänsklig verksamhet på ett sätt som gör dem känsliga för ytterligare påverkan, inklusive klimatförändringar (IPBES 2019). Exempelvis är 75 procent av landytan, 66 procent av haven, och 85 procent av våtmarkerna kraftigt förändrade på grund av människans aktiviteter (IPBES 2019). Eftersom arter påverkas olika av miljöförändringar, inklusive klimatförändringar, påverkas även arternas samspel. Både förlust av arter och förändrade tätheter av organismer leder till ändrade samspel som i sin tur får konsekvenser för ekosystemens funktioner och därmed de ekosystemtjänster som ekosystemen genererar (Box 3.1). Dessa förändringar kan i sin tur dels ha återkopplingseffekter på klimatet, dels påverka ekosystemens förmåga att buffra effekter av klimatförändringar på ekosystemtjänster.

IPCC och IPBES är eniga om att det behövs åtskilliga, och i många fall kraftfulla, åtgärder för att begränsa klimatförändringarna och hejda förlusten av biologisk mångfald, liksom för att hantera konsekvenserna av dessa förändringar. Det kan vara fruktbart att skilja mellan akuta dämpande åtgärder som syftar till att minimera risker för människa och ekosystem på kort sikt, och mer framåtsyftande åtgärder för att säkerställa en långsiktig hållbarhet och resiliens (Box 3.1). Medan vissa åtgärder medför en lätt identifierbar nytta genom att lindra en negativ belastning, kan andra åtgärder innebära en samtidig risk för sidoeffekter (eller indirekta effekter) som därför måste analyseras och utvärderas parallellt (Figur 3.1).



Figur 3.1 Klimatförändringar samt förändringar i biologisk mångfald och ekosystemens struktur är starkt sammankopplade – den ena kan förstärka den andra både direkt och via de åtgärder man vidtar. Både klimat och biologisk mångfald har en direkt effekt på de nyttor människan får av naturen. Samhälleliga beslut måste dels ta ställning till mänskliga aktiviteter och nyttjande av ekosystemtjänster, dels till klimatåtgärder och naturvård för att motverka belastningar på klimatet och biologisk mångfald. Samhälleliga beslut måste hantera förväntade effekter på både kort och lång sikt. I ett framtida hållbart samhälle bör naturvärden vara anpassad till klimatförändringar, till exempel genom att upprätthålla ekosystemens resiliens. Parallellt med detta behöver det mänskliga samfundet anpassas till klimatförändringar, och där kan vi delvis använda oss av så kallade naturbaserade lösningar. De orange pilarna representerar belastningar, som kommer direkt från mänskliga aktiviteter, men som även kan uppstå som en indirekt effekt av klimatåtgärder och naturvård. Klimatåtgärder kan påverka biologisk mångfald och naturvårdsåtgärder kan påverka klimatet, med både konflikter och synergier som utfall. I ett hållbart samhälle minimeras belastningarna, och behovet av direkta naturvårds- och klimatåtgärder minskar.

Box 3.1 Biologisk mångfald, ekosystemtjänster, naturens funktioner och naturnyttor

Biologisk mångfald är viktig att bevara av etiska orsaker, men också därför att biologisk mångfald påverkar ekosystemfunktioner och därmed tillgången till ekosystemtjänster (Cardinale m. fl. 2012).

I diskussioner om biologisk mångfald och **ekosystemtjänster** är det viktigt att vara medveten om vad de olika begreppen syftar på. Utvärderingarna från IPBES beaktar såväl **biologisk mångfald** som sådan som de tjänster eller nyttor som naturens funktioner bidrar med till mänskligheten: ekosystemtjänster. Kunskapen att den biologiska mångfalden (i vid mening innefattande variation av gener, arter och ekosystem) bidrar med tjänster och nyttor för oss människor har funnits länge, men det har successivt skett en utveckling av både terminologi och ramverk. En tidig term var *Nature's services*, vilket sedan formulerades om till *Ecosystem services*, som fått brett genomslag i politik och förvaltning. I IPBES Global Assessment Report (2019) introducerades det vidare begreppet naturnyttor (*Nature's Contributions to People*). Begreppet **naturnyttor** anses mer inkluderande och ger utrymme för flera dimensioner av hur vi människor förhåller oss till naturen ur både sociala, kulturella och andliga perspektiv, och stämmer överens med många urfolks traditioner och sedvänjor samt deras relation till naturen.

De **ekologiska processer** som genererar ekosystemtjänster påverkas av ekosystemets struktur, det vill säga vilka arter som förekommer och i vilken omfattning, samt hur arterna samspelar med varandra. Ofta är den så kallade funktionella mångfalden central, det vill säga den variation av funktioner som möjliggörs av den aktuella strukturen i ekosystemet. Ändrade förutsättningar för arter och populationer, till exempel genom klimatpåverkan eller markanvändning, kan påverka dessa processer såväl direkt som indirekt (via andra arter), eller genom att det sker förändringar över tid i den relativa dominansen av funktionellt viktiga arter. Högre biologisk mångfald sammanfaller ofta med ökad sannolikhet att viktiga funktioner bibehålls även i en i framtiden förändrad miljö, eftersom det finns en funktionell redundans.

Sambandet mellan biologisk mångfald och ekosystemtjänster är ofta komplext (t.ex. Braat och ten Brink 2008). Olika ekosystemtjänster har olika förhållande till biologisk mångfald och kan gynnas av förekomsten av enskilda arter, en viss sammansättning av organismsamhällena eller mångfalden som sådan. Försörjande ekosystemtjänster produceras sällan i orörda ekosystem där den biologiska mångfalden är intakt, medan många reglerande ekosystemtjänster gynnas av högre mångfald. Mångfalden påverkar också ekosystemens förmåga att stå emot störningar, och deras förmåga att återhämta sig efter en störning (Isbel m.fl. 2015). Ett omtalat exempel på en reglerande ekosystemtjänst är samspelet mellan växter och pollinerande djur, där nyttorna för det mänskliga samfundet är mångsidiga. Ökad mångfald bidrar till skördars kvantitet, kvalitet och stabilitet (IPBES 2016a).

Begreppet **resiliens** används ofta i sammanhanget ekosystemtjänster, även om det som sådant också kan ha delvis skiftande betydelse. Inom somliga forskningstraditioner omfattar begreppet resiliens ekosystemens motståndskraft mot förändringar, ibland i betydelsen hur mycket störning som kan tolereras utan att systemet övergår i ett alternativt stabilt tillstånd (ekologisk resiliens; Holling 1973), men det kan även uppfattas som förmågan att återgå till ett ursprungstillstånd efter en störning (ingenjörsmässig resiliens; Pimm 1984). Ofta används termen för att beskriva båda aspekterna (Hodgson m.fl. 2015), inte minst eftersom stabila tillstånd är svåra att definiera i många ekosystem (Oliver m.fl. 2016), men detta är inte allmänt accepterat (Standish m.fl. 2014). Resiliens är därmed inte nödvändigtvis positiv (Standish m.fl. 2014, Hodgson m.fl. 2015). När begreppet syftar på ekosystemens förmåga att bidra med ekosystemtjänster värderas resiliens positivt. Biologisk mångfald på olika nivåer (gener, arter, ekosystem) bidrar till resiliens, bland annat därför att ett artrikt samhälle har en viss funktionell redundans, så att om en art påverkas negativt av miljöförändringar kan en annan art delvis ersätta dess funktion (Oliver m.fl. 2015).

3.2 En förändrad natur: direkta kopplingar mellan klimat och biologisk mångfald

Både IPCC och IPBES lyfter klimatförändringarna som en viktig direkt påverkansfaktor på naturliga ekosystem och brukade miljöer, såväl historiskt som i framtiden. IPCC framhåller att vi i framtiden kommer att se stora strukturella förändringar i jordens ekosystem allteftersom klimatpåverkan får en större effekt över tid och IPBES understryker att klimatförändringar accelererar effekten av andra påverkansfaktorer.

Genom scenarier undersöker IPBES och IPCC hur vår globala framtid skulle kunna utvecklas givet olika antaganden om framtiden (se avsnitt 2.3). IPCC utvärderar bland annat vilka omställningar som krävs för att hålla den globala uppvärmningen under givna nivåer, till exempel i relation till Parisavtalets målsättningar (se avsnitt 4.2). De scenarier där den globala uppvärmningen framgångsrikt minimeras förutsätter radikala omställningar både i hur vi brukar ekosystemen och en storskalig implementering av åtgärder för att motverka klimatförändringarna.

Den sammanlagda effekten av olika belastningar är central

Vilken status våra ekosystem kommer att ha i framtiden beror på samspelet mellan klimatförändringar och markanvändning, men påverkas även av andra belastningar från mänsklig verksamhet (se kapitel 4.4). Även variation i naturliga faktorer påverkar hur ekosystemen kommer att påverkas av mänskliga aktiviteter. Bland abiotiska (icke-levande) faktorer utgör till exempel tillgång på mineralnäringssämnen och topografiska förhållanden förutsättningar för tillväxt och produktivitet, och bland biotiska (levande) faktorer är bland annat arternas genetiska variation och ekosystemens biologiska sammansättning viktiga för motståndskraft och återhämtningsförmåga efter yttre påverkan.

Vilka följeffekter som förändringar i klimat och biologisk mångfald får för ekologiska funktioner och flödet av ekosystemtjänster är därför ofta svåra att förutspå. Utredningen ”Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter” (SOU 2007) beskriver hur ett varmare klimat skulle kunna medföra högre antal arter i vissa naturtyper, men att vi samtidigt kommer att förlora sällsynta och/eller nordliga arter, allteftersom livsmiljöer minskar i omfattning eller förskjuts allt längre norrut, för att till slut kanske försvinna helt. En del ekosystem förväntas genomgå större förändringar än det globala genomsnittet. Exempelvis gäller detta arktiska ekosystem, eftersom ökningen i temperatur är relativt sett större där än i de flesta andra miljöer. I regioner som redan är under stark påverkan från andra belastningar kan effekten på ekosystemen bli påtaglig även vid en relativt sett liten förändring. Fler exempel på hur klimatförändringarna kan komma att uttrycka sig i den svenska naturen sammanfattas i Box 3.2. Mer utvecklade djupdykningar baserat på några av dessa exempel presenteras i kapitel 5.

I vissa fall är det lätt att se hur förändringar i biologisk mångfald eller ekosystem påverkar tillgången på ekosystemtjänster, som när en minskad tillgång på pollinatörer påverkar produktiviteten i jordbruket eller när förlust av våtmarker leder till minskad naturlig reglering av vattenflöden. I andra fall kan naturens betydelse för ekosystemtjänster vara svårare att se eller mäta. Det gäller till exempel de reglerande och stödjande tjänster som verkar på en längre tidsskala, eller upplevelsevärden som kan uppfattas olika av olika grupper av människor. Inte minst saknas metoder att mäta förändringar i ekosystemens resiliens, oavsett den exakta definitionen av denna (IPBES 2019).



Box 3.2 Exempel på effekter av klimatförändringar på biologisk mångfald i den svenska naturen

- Klimatförändringarna förväntas leda till både **krympande och växande livsmiljöer**, och därmed ha olika effekter på arters utbredning. De kan leda till att arter försvinner eller att det tillkommer nya arter i en viss miljö, men också till att den relativa fördelningen mellan arter ändras. I norra Sverige väntas till exempel arealen av kalfjäll krympa och trädgränsen krypa uppåt. På land kommer vegetationszoner att förflyttas norrut, och i haven förändras arters livsmiljöer när utbredningen av vattenmassor med olika temperatur eller salthalt förändras. Arters möjlighet att anpassa sig beror i hög grad på deras möjlighet till spridning. Spridningsmöjligheten påverkas ofta negativt av fragmentering av lämpliga livsmiljöer. Särskilt i sjöar har djur och växter ofta inga effektiva naturliga sätt att söka sig till nya områden om livsmiljön försämras. Generellt är anpassningsförmågan ett större problem för habitatspecialister än för habitatgeneralister.
- Klimatförändringar leder också till **förändringar i arters livscykel** under året, så kallade fenologiska förändringar. Exempelvis blir de aktiva tidigare på säsongen, eller ändrar tidpunkten för reproduktion eller flyttning. För vissa arter som barkborre kan det leda till fler generationer under samma säsong.
- Både förändrade utbredningar och fenologiska förändringar leder till **ändrade samspel mellan arter**. Effekterna är speciellt drastiska när arter som tidigare inte delat livsmiljö rumsligt eller tidsmässigt kommer i kontakt med varandra, eller när kontakten minskar mellan arter som är en del av samma naturliga näringsväv. De kan även vara mindre omfattande, som ett resultat av till exempel förändringar i den relativa populationsstorleken mellan arter eller i arters relativa fenologi. Både antagonistiska (konkurrens, predation) och mutualistiska (exempelvis växt-pollinatörsnätverk) samspel påverkas. I tempererade akvatiska system, som i Sverige, kan till exempel tidpunkten och omfattningen av den naturliga vårbloomingen av alger i fria vattenmassan destabiliseras eller försvagas, och därmed påverka födobasen för många andra arter.
- Förändringar i hur arter och populationer reagerar leder även till en **ändrad styrka i samspelet mellan arter**. Exempelvis kan det bli fler och kraftigare utbrott av skadeorganismer i skogsekosystem. Snabb variation i miljöförhållanden kan ofta leda till att mer kortlivade arter, som kan vara mer anpassningsbara, gynnas, medan mer långsamt tillväxande arter försvagas. Sådana förändringar kan i sin tur påverka hela näringsvävens stabilitet och produktivitet.
- Ökad förekomst av **extrema väderhändelser och andra störningar** kan orsaka mer plötsliga förändringar i den biologiska mångfalden (IPCC 2018a, IPCC 2019b). I den boreala skogen är naturliga störningar, såsom bränder och stormar, en förutsättning för att bibehålla en hög biologisk mångfald (IPBES 2018), men klimatförändringar påverkar denna naturliga störningsdynamik, exempelvis så att bränder blir mer frekventa och stormar mer intensiva. Vid frekvent störning kan den positiva effekten av störning gå förlorad eftersom ekosystemet inte har möjlighet att återhämta sig (Seidl m.fl. 2017). Extrema värmeböljor kan orsaka skada både i terrestra miljöer och i akvatiska system, där de flesta djur är växelvarma och inte reglerar sin egen temperatur. Nederbördsmonster förväntas i många fall bli mer variabla eller extrema, och fördelas ojämnt mellan geografiska områden och år. Dels finns en ökad risk för långa perioder med torka, exempelvis sommaren 2018, dels en risk för ökad nederbörd under delar av året med efterföljande risk för översvämningar.

3.3 Människan som aktör i samspelet mellan klimat och biologisk mångfald

Klimatförändringar gör att det uppstår nya utmaningar och möjligheter när det gäller vår markanvändning och vårt nyttjande av naturresurser, vilket påverkar den biologiska mångfalden (IPCC 2019b, IPBES 2019). Utöver den direkta påverkan som klimatförändringarna har på biologisk mångfald och som beskrevs i föregående avsnitt, påverkar klimatförändringarna även biologisk mångfald indirekt. Detta sker dels genom att vi människor anpassar våra samhällen och beteenden till ett förändrat klimat, dels genom att vi introducerar olika åtgärder för att motverka klimatförändringarna (gröna fält i figur 3.1).

Både när det gäller de gröna näringarnas klimatanpassning och när det gäller åtgärder för att minska den pågående globala uppvärmningen är det viktigt att förstå människans samspel med biologisk mångfald, och utforma åtgärder i enlighet med ekosystemets förutsättningar.

Klimatanpassning

Klimatanpassning handlar både om förändrade sätt att bruka våra landskap för att upprätthålla god lönsamhet i gröna näringar i ett förändrat klimat och införandet av olika åtgärder för att begränsa direkta negativa klimateffekter. Brukandet av ekosystem i såväl land- som vattenmiljöer kan komma att se mycket annorlunda ut i framtiden, som ett resultat av såväl opportunistisk som behovsstyrd anpassning till nya klimatförutsättningar (för några exempel, se Figur 3.2). Dessa åtgärder kan i sin tur ha effekter på den biologiska mångfalden, vilka kan vara både positiva och negativa beroende på hur klimatanpassningen genomförs.

När klimatzoner förskjuts norrut, kommer en del odlingssystem som tidigare endast varit ekonomiskt gångbara på sydligare breddgrader att kunna introduceras längre norrut. Samtidigt kan nya klimatförutsättningar gynna skadeorganismer, i såväl jordbruk (t.ex. Eckersten m.fl. 2008) som skogsbruk, där granbarkborre är ett känt exempel (t.ex. Jönsson m.fl. 2012). Val av trädslag i skogen och grödor i jordbruket kan därmed komma att förändras, liksom skötselmetoder för att till exempel hantera skadegörare.

Näringsverksamheter kan påverkas genom att arters livsmiljöer förändras. Till exempel kan utbredningen av kommersiella fiskbestånd förflyttas så att vissa arter försvinner från områden där de tidigare nyttjats. De kan även dyka upp i nya fångstområden, vilket ställer nya typer av krav på samarbeten inom både nationell och internationell fiskeriförvaltning. För att vara långsiktigt hållbart kommer uttaget av arter i många fall att behöva anpassas till nya förutsättningar för beståndens produktivitet.

Även åtgärder för att hantera direkta klimateffekter som ändrade vattenflöden eller havsnivåhöjningar kan påverka den biologiska mångfalden negativt, framförallt om de begränsas till traditionella tekniska lösningar som inte är anpassade för långsiktig hållbarhet eller ekosystemets förutsättningar, så kallade grå lösningar. Alternativa lösningar bygger istället på ekologiska principer och har potentialen att gynna biologisk mångfald. Här ingår både ekosystembaserad klimatanpassning och lösningar som handlar om att hantera utmaningar som kan, men inte behöver vara klimatrelaterade.



A.**B.****C.****D.**

Figur 3.2 Människans anpassning till ett förändrat klimat leder till nya typer av påverkan på och interaktioner med biologisk mångfald. **A. Skogsbruk** tar nya landområden i anspråk, till exempel genom en nordlig förskjutning av skogsbruket då produktionspotentialen ökar i nordliga marker och högre upp i fjällen (SOU 2007). Även fördelningen mellan olika trädslag kan ändras och trädslag som hittills endast planterats på prov eller i begränsad omfattning kan komma att öka, exempelvis silvergran, poppel, hybridlärk, sitkagran och douglasgran (Skogsstyrelsen 2015). **B. Grödor** som hittills endast odlats i liten omfattning kan förväntas öka i ett ändrat klimat, till exempel sojabönor och solrosor. Detta kan även påverka jordbrukslandskapets biologiska mångfald, eftersom olika grödor drar till sig och gynnar olika arter av exempelvis flygande insekter. **C. Fiskbestånd** får nya utbredningsområden på grund av förändringar i havets temperatur och havsströmmar. I Östersjön påverkas fiskens utbredning och förekomst även av andra klimatrelaterade effekter, som ökad syrebrist och minskad salthalt (se även avsnitt 5.2.5-5.2.6, 5.3.4). För flera bestånd ökar kraven på internationella samarbeten. **D. Kust- och strandnära bebyggelse** behöver anpassas till direkta förändringar i havs- och grundvattennivå, vattenflöden och stormar. Sandstranden med tillhörande grunda bottnar och dyner utgör en viktig livsmiljö för många arter och är i sig ett viktigt skydd mot höjda havsnivåer. Det är därför viktigt att kustskydden för bebyggelse utformas så att biotoperna inte försvinner och att stranden tillåts anpassa sig efter höjda havsnivåer utan att bebyggelse bakom dynen stoppar den (se även avsnitt 5.3.3).

Naturbaserade lösningar

Naturbaserade lösningar (*nature-based solutions* på engelska) syftar till att möta samhällets hållbarhetsutmaningar med hjälp av naturens egna funktioner (se till exempel Hanson m.fl. 2020). Begreppet omfattar även åtgärder för begränsning av klimatförändringar och klimatanpassning, och naturbaserade lösningar ses som centrala av både IPCC och IPBES. Till naturbaserade lösningar hör åtgärder som inspireras, stöds av, eller kopieras från naturen för att ge oss viktiga ekosystemtjänster som bidrar till att lösa olika samhällsutmaningar, som exempelvis torka, översvämning eller temperaturextremer, samtidigt som man säkerställer hänsyn till biologisk mångfald. De kan därför ses som ett paraplybegrepp som innefattar ekosystembaserad klimatanpassning, grön infrastruktur och ekosystembaserad klimatreglering (Pauleit m.fl. 2017, Seddon m.fl. 2020).

Ekosystembaserad klimatanpassning innebär att biologisk mångfald och ekosystemtjänster på olika sätt används för att anpassa samhället till klimatförändringar (Thoni m.fl. 2017). I den ekosystembaserade klimatanpassningen ingår ett människocentrerat perspektiv, genom att ekosystemtjänster nyttjas för att minska negativa effekter av klimatförändringar för samhället. Insatser vars främsta mål är att öka ekosystemens egen motståndskraft eller bevarandet av naturmiljöer och biologisk mångfald för dess egen skull ingår därmed inte i definitionen (Thoni m.fl. 2017). Det finns dock klara möjligheter till synergier, till exempel kan i vissa fall den ekosystembaserade anpassningen utformas på ett sätt som är positivt för biologisk mångfald, och bevarande åtgärder kan utformas med möjligheter till ekosystembaserad anpassning. Den fysiska och strukturella anpassningen kan dessutom vara multifunktionell, det vill säga den kan bidra med andra typer av nyttor, som att binda växthusgaser eller trygga försörjningsmöjligheter (IPCC 2019c). Fler exempel på ekosystembaserad klimatanpassning och synergier med bevarande av biologisk mångfald återfinns i Kapitel 5.

Grön infrastruktur syftar i detta sammanhang till att stötta naturliga funktioner i ekosystemet ur ett landskapsperspektiv. Begreppet har definierats på flera sätt beroende på tillämpning (till exempel Ekroos m.fl. 2020; Ruskule m.fl. 2019). Inom EU är grön infrastruktur ett strategiskt planerat nätverk av naturliga och semi-naturliga områden, som gynnar ekosystemtjänster (EC 2019). Genom ett parallellt fokus på att säkerställa naturvärden och tillgodose samhällets behov av ekosystemtjänster ökar landskapets multifunktionalitet (EC 2019). I Sverige betonas mer bevarandet av biologisk mångfald. Naturvårdsverkets definition av grön infrastruktur är ”Ekologiskt funktionella nätverk av livsmiljöer och strukturer, naturområden samt anlagda element som utformas, brukas och förvaltas på ett sådant sätt att biologisk mångfald bevaras och för samhället viktiga ekosystemtjänster främjas i hela landskapet” (Naturvårdsverket 2015). Begreppet grön infrastruktur används även för akvatiska miljöer, som kust- och havsområden (Nyström Sandman m.fl. 2020, Ruskule m.fl. 2019), även om man ibland även hör alternativa formuleringar som ”blågrön infrastruktur”.

Konventionen för biologisk mångfald (CBD) definierar ekosystembaserad klimatanpassning som:

”[...] användning av biologisk mångfald och ekosystemtjänster som en del av en övergripande strategi för att hjälpa människan att anpassa sig till klimatförändringens negativa effekter. För att tillhandahålla tjänster som gör det möjligt för människan att anpassa sig till effekterna av ett förändrat klimat används inom ekosystembaserad klimatanpassning olika metoder för hållbar förvaltning, bevarande och restaurering av ekosystem. Ekosystembaserad klimatanpassning syftar till att upprätthålla och öka ekosystems och människors motståndskraft och minska deras sårbarhet inför klimatförändringens negativa effekter. Ekosystembaserad klimatanpassning integreras lämpligen i mer övergripande anpassningsstrategier och utvecklingsprogram” (CBD 2009, översatt till svenska av Thoni m.fl. 2017)

Åtgärder för att motverka klimatförändringar

Bland åtgärder för att motverka klimatförändringar spelar ökad produktion och användning av förnybar energi för att ersätta fossil energi en viktig roll, men också att värna och förstärka befintliga naturliga kolsänkor, samt att binda koldioxid från atmosfären genom tekniska lösningar som ger negativa utsläpp. Flera sådana omställningar kan ha konsekvenser – både positiva och negativa – för den biologiska mångfalden.

Förnybar energi

Inom EU har medlemsstaterna kommit överens om att andelen förnybar energi ska vara minst 32 procent av den totala energianvändningen år 2030, och parallellt finns en överenskommelse om att den totala energianvändningen ska minska genom effektivisering (EU 2018a). För Sverige innebär direktivet att den förnybara energianvändningen ska öka till 49 procent år 2020, vilket är uppnått (Naturvårdsverket 2019). Sveriges mål idag är att uppnå 100 procent förnybar elproduktion år 2040. Energimyndighetens scenarier anger att detta kan komma att kräva en utbyggnad av förnybar elproduktion på upp emot 100 TWh i årlig energivoly. Reduktionsplikten för bensin och diesel som infördes i Sverige 2018 ska främja användningen av biodrivmedel och därmed bidra till att nå nationella mål om kraftigt minskade växthusgasutsläpp från inrikes transporter (STEMFS 2018).

Till förnybara energikällor räknas vatten, vind, sol och biobränsle. Förnybara energiresurser saknar dock inte avtryck på miljön. För att stödja en hållbar utveckling måste energikällorna tillgodose dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov.

Vindkraft

Bland de förnybara energikällorna växer vindkraften snabbt, både i Sverige och internationellt. Den levererar idag mellan 12 och 15 procent av den el vi använder i Sverige (Energimyndigheten 2019). Vindkraften ger inga direkta utsläpp vid själva driften, och områden kan lätt återställas efteråt. Vindkraftens miljöfrågor handlar i första hand om effekter på landskapsbilden och biologisk mångfald. Valet av plats är viktigt eftersom områden lämpliga för utbyggnad av vindkraft identifieras på basen av vindförhållanden och andra yttre förutsättningar, som möjligheter att ansluta till elnät. Men även effekter på miljön behöver beaktas, för att undvika känsliga områden för naturvärden. Här är effekter på rörliga arter som fågel, fladdermöss, fisk och tumlare särskilt angelägna (t.ex. Rydell m.fl. 2017). Tekniken för vindkraft utvecklas kontinuerligt, vilket kan förändra förutsättningarna över tid. Potentiella risker för biologisk mångfald vid havsbaserad vindkraft tas även upp i avsnitt 5.3.5.

Havsenergi

Även om havsbaserad vindkraft (se ovan) är ett av de områden som bedöms ha särskilt stor utvecklingspotential idag (Walsh 2020), så är hela segmentet havsenergi av intresse och under omfattande utveckling (EC 2014, IPCC 2019a). I begreppet havsenergi ingår vågkraft, tidvattenkraft, samt utvinning av energi från vattenströmmar och från skillnader i temperatur eller salthalt. Utvinningen av energi från dessa källor är dock fortfarande ofta begränsad av tekniska utmaningar, och det finns begränsat med utvärderingar om deras miljöeffekter (Wright m.fl. 2020). I Sverige är till exempel omfattningen av tidvatten försumbar.

Bioenergi

Bioenergi produceras på flera olika sätt, och dess produktion kan ha konsekvenser för biologisk mångfald och ekosystem. I Sverige produceras en stor andel av den inhemska bioenergin av restprodukter från jordbruket, skogsbruket, skogsindustrin och samhället. Inom den marina biotekniken ingår även försök med att utveckla marin bioenergi, till exempel genom algodling. Typen av påverkan på biologisk mångfald beror bland annat på vilken sorts biomassa som nyttjas. Exempelvis kan ett ökat uttag av död ved i skogsbruket (till exempel avverkningsstubbar) ha negativa konsekvenser eftersom många skogslevande arter är beroende av död ved (se till exempel Ranius m.fl. 2018), medan slyröjning kan ge både biomassa till bioenergi och vinster för biologisk mångfald i form av motverkad igenväxning (se till exempel Lennartsson m.fl. 2017). Ett effektivare nyttjande av restprodukter inom skogsindustrin har inte någon påverkan på biologisk mångfald eftersom detta inte påverkar uttaget av primär skogsråvara. Bioenergiproduktion spelar även en viktig roll i implementering av Bio-CCS (*Bioenergy with carbon capture and storage*), en central metod för att åstadkomma negativa utsläpp (se Figur 3.3). Bio-CCS har en framträdande roll i IPCC:s scenarier för att hålla planeten under givna uppvärmningsnivåer. Bioenergiproduktion berörs även i avsnitt 4.5, samt 5.3.2 och 5.3.3. Det finns även en problematik kopplad till importerade biobränslen, eftersom den produktionen kan påverka biologisk mångfald i en annan del av världen.

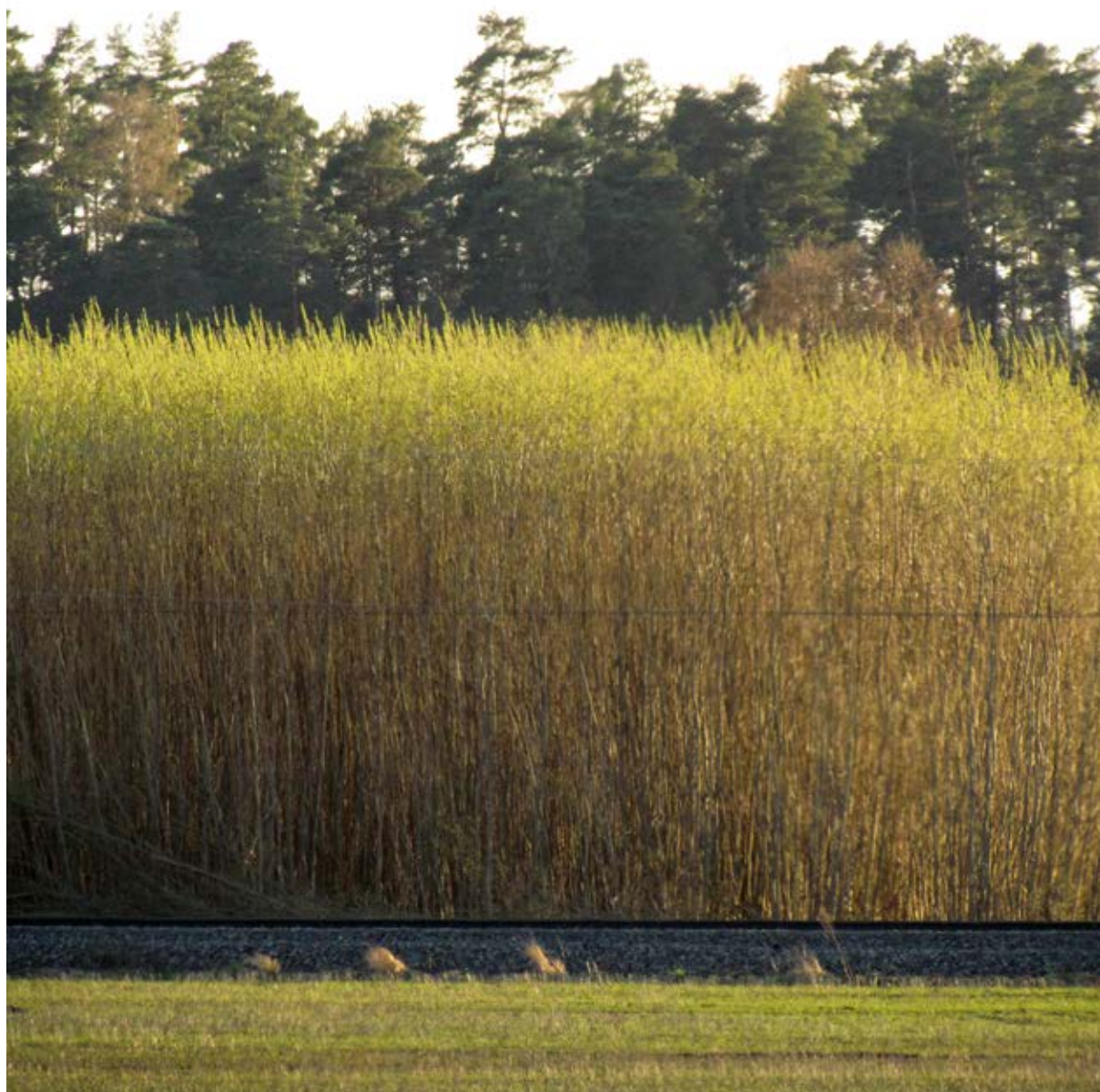
Naturliga kolsänkor

Sveriges landyta täcks till 69 procent av skog, varav cirka 90 procent består av produktiv skog (SCB 2019). Skogar är viktiga kolsänkor, och en utmaning blir därmed att utforma skötsel som kan värna och stärka skogens potential som kolsänka samtidigt som målsättningar för produktion och naturvård beaktas

(se även avsnitt 5.3.1, 5.3.2 och Box 5.1 i kapitel 5). I diskussioner om naturliga kolsänkor på land hamnar skogen ofta i fokus, men även andra ekosystem är viktiga. Framförallt torvmarker, men även gräsmarker, håller stora mängder markbundet kol och kan fungera som viktiga kolsänkor (Seddon m.fl. 2019).

I svenska kustekosystem kan flerårig vegetation, som sjögräsängar, fungera som kolsänkor. Kustzonen har en hög produktivitet tack vare goda ljusförhållanden och stor tillförsel av näring, vilket under rätt förhållanden kan bidra till en hög produktion av växtbiomassa. Vegetationen i vattnet och vattenlinjen kan även fungera som filter för kol och närsalter som kommer med avrinningen från land (se även avsnitt 5.2.3).

Inom jordbruket skulle ändrade brukningsmetoder kunna leda till både ökad bördighet och ökad inbindning av koldioxid, åtminstone tillfälligt. Detta beskrivs vidare i avsnitt 5.3.3. Genom lämpligt skydd och skötsel kan dessa markers status som kolsänkor värnas och stärkas.



Figur 3.3 Negativa utsläpp innebär att upptaget av koldioxid överstiger utsläppet. Storskalig implementering av s.k. Bio-CCS (*Bioenergy with carbon capture and storage*) har en framträdande roll i alla IPCC:s scenarier för att begränsa klimatförändringar i linje med 1,5-gradersmålsättningen. Vid Bio-CCS kombineras storskaliga bioenergigrödeplanteringar med koldioxidavskiljning och lagring. Sverige anses ha stor potential för bio-CCS, eftersom våra befintliga utsläpp av biogen koldioxid är stora (SOU 2020).

4. Slutsatser från IPCC och IPBES

4.1 Ett ökat fokus på samspelet mellan klimat och biologisk mångfald

IPCC:s och IPBES:s utvärderingar skapar en gemensam utgångspunkt för det globala arbetet med klimatfrågan och bevarandet av biologisk mångfald. Rapporternas syfte är att ge en övergripande bild som berör alla länder, med inriktning på storskaliga slutsatser och trender. För att belysa specifika geografiska områden eller utvalda frågeställningar finns fördjupade regionala och tematiska utvärderingar som kompletterar den globala bilden. Sådana särskilda analyser är viktiga för ländernas konkreta arbete med att begränsa och hantera klimatförändringar och förlust av biologisk mångfald/ ekosystemtjänster. Inom den pågående sjätte klimatutvärderingen AR6 har IPCC publicerat ett antal specialrapporter som har bäring på hur klimat och biologisk mångfald samverkar, medan IPBES i sina rapporter uppmärksammat klimatets direkta och indirekta effekter på biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Tillsammans ger dessa rapporter därför en analys som visar att klimat och biologisk mångfald måste behandlas som ett gemensamt problemkomplex.

Det här kapitlet presenterar en överblick av slutsatser från några nyligen utkomna rapporter från IPCC och IPBES när det gäller klimat och biologisk mångfald (Figur 4.1). Strävan är inte att ge en heltäckande bild av rapporterna, utan fokus är på hur klimat och biologisk mångfald förhåller sig till varandra. Målsättningen är att belysa hur klimatet påverkar biologisk mångfald och ekosystem, hur biologisk mångfald och förändringar i ekosystem kan påverka klimatet, och på vilket sätt detta i sin tur kan påverka både arbetet med att motverka och anpassa samhället till klimatförändringar och arbetet med att bevara biologisk mångfald. Utgångspunkten är de båda panelernas slutsatser på global nivå. De globala slutsatserna relateras även till exempel på förändringar i svenska förhållanden.

Ett centralt budskap från både IPCC och IPBES är att nuvarande och framtida förändringar i klimat och biologisk mångfald förstärker varandra och att deras effekter berör oss alla

- Det finns ingen säker nivå när det kommer till den globala uppvärmningen, men ju mer ambitiösa klimatmålen är desto bättre kan negativa klimateffekter begränsas. Många effekter blir till exempel klart mindre vid 1,5 jämfört med 2 graders global uppvärmning. Att minska utsläppen i ett så tidigt skede som möjligt bidrar till att minska risken för oåterkalleliga effekter på ekosystem (IPCC 2018, 2019a)
- Världshaven har hittills tagit upp den största delen av den globala överskottsvärmen. Temperaturen i haven ökar nu snabbare än tidigare, och utbredningen av landisar minskar snabbare. Risken för oåterkalleliga effekter och förstärkningseffekter som bidrar till klimatförändringarnas utveckling ökar (IPCC 2019a)
- Markanvändningen har stor påverkan på klimatet, och spelar en central roll för hur klimatkrisen kan bemötas (IPCC 2019b)
- Biologisk mångfald och ekosystemtjänster är centrala för det mänskliga samfundet på såväl global som regional nivå. Mänskliga aktiviteter, framförallt förändrad markanvändning, har kraftig negativ påverkan på biologisk mångfald (IPBES 2018a, 2019); klimatförändringar påverkar i ökande grad biologisk mångfald och ekosystemtjänster (IPBES 2019)



Specialrapport om 1,5 graders uppvärmning (IPCC 2018)

Denna specialrapport belyser effekter av en global uppvärmning om 1,5 grader, och möjliga samhällsutvecklingar som kunde uppnå detta. Enligt Parisavtalet ska temperaturen hållas under 2 grader. Är det en tillräcklig ambition? Rapporten jämför risker och effekter mellan 1,5 och 2 gradersnivån.

Havet och kryosfären i ett förändrat klimat (IPCC 2019a)

Denna specialrapport utvärderar klimateffekter på världshaven, polarkrakter och andra frusna delar av planeten. Rapporten belyser vilka risker och möjligheter som kan inträffa för människor och ekosystem samt klimatåtgärder, anpassningar och styrmedel för att minska dessa.

Klimatförändringar och marken (IPCC 2019b)

Denna specialrapport belyser kopplingen mellan klimatet och markanvändning. Den omfattar bland annat hur utsläpp av växthusgaser hänger ihop med markanvändning, betydelsen av en mer hållbar markanvändning för klimatåtgärder och anpassning, samt markens roll för livsmedelsförsörjningen.

Biologisk mångfald och eko-systemtjänster (IPBES 2019)

IPBES globala rapport belyser hur biologisk mångfald och ekosystemtjänster bidrar till människors välmående och åtgärder för att skydda dessa. Utöver det globala arbetet gör IPBES b.l.a. regionala rapporter. Sverige omfattas av den regionala rapporten för Europa och Centralasien (IPBES 2018).

Figur 4.1 Tre specialrapporter från IPCC samt globala och regionala rapporter från IPBES visar tydligt på beroendeförhållandet mellan klimat och biologisk mångfald.

4.2 Klimatförändringarna

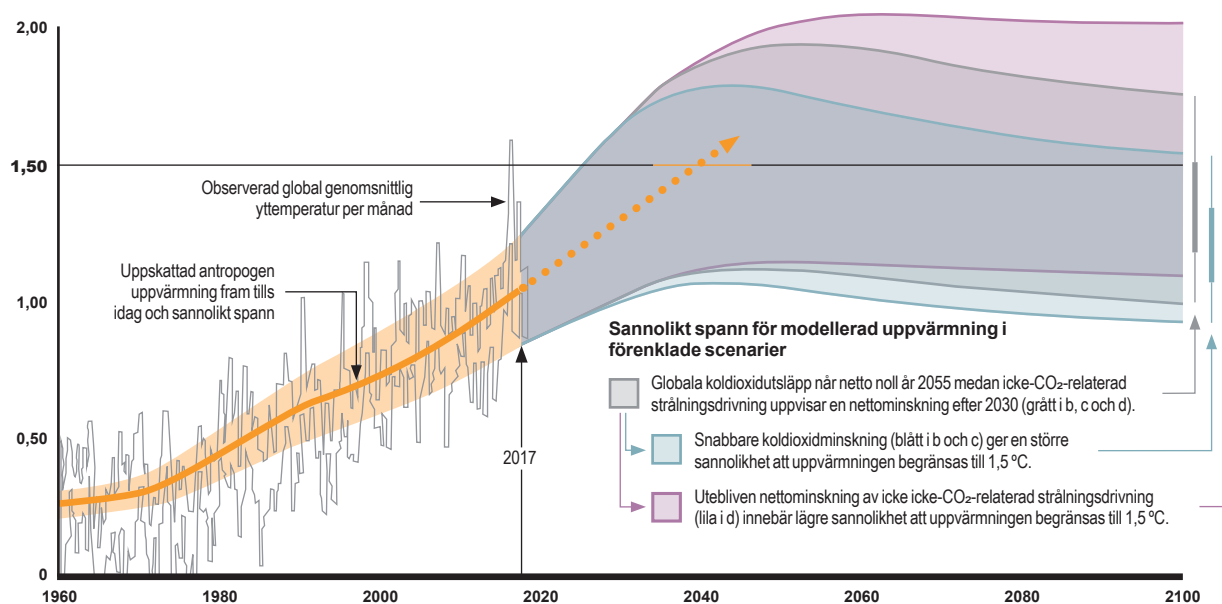
Klimatet påverkas på ett tydligt sätt av människan

Människans påverkan på pågående klimatförändringar var ett huvudbudskap i den senaste övergripande klimatutvärderingen från IPCC, AR5 (IPCC 2014). Den pågående omfattningen av utsläpp av växthusgaser riskerar att leda till genomgripande negativa konsekvenser för ekosystem runt om i världen, liksom för människors samhällen och försörjningsmöjligheter. I rapporten varnas för att risken för allvarliga, ihållande och oåterkalleliga effekter ökar påtagligt ju mer vi påverkar det framtida klimatet. Samtidigt betyder det att människan även har möjlighet och medel att vända eller åtminstone dämpa det pågående skeendet.

Globala och nationella målsättningar för klimatet

Slutsatserna från IPCC utgjorde ett bakgrundsunderlag till Parisavtalet som togs fram inom FN:s ramkonvention om klimatförändringar, som togs fram 2015 och idag är undertecknat av 195 länder (EU 2016, se även Prop. 2016/17:16, Sveriges regering). Parisavtalet erkänner att halterna av växthusgaser och den globala medeltemperaturen ökar som ett resultat av människans påverkan. Enligt avtalet ska den globala ökningen i medeltemperatur begränsas till långt under 2 grader över förindustriell nivå, och ansträngningar ska göras för att hålla ökningen lägre än 1,5 grader över förindustriell nivå. Globalt behöver utsläppen av växthusgaser gå ned till en netto-nollnivå innan år 2050 för att hålla temperaturökningen så långt under två grader som möjligt (se till exempel Naturvårdsverket 2018, och Figur 4.2).

Utsläppen och uppvärmningen fortsätter dock att öka. Följdverkningarna kan ses i form av exempelvis smältande glaciärer, extremväder som blir kraftigare och kommer tätare, och som ekologiska effekter på arter och livsmiljöer på olika rumsliga skalor (IPCC 2018a).



Figur 4.2 Den globala uppvärmningen är idag ungefär 1°C som ett resultat av människans påverkan. Enligt IPCC (2018) var förhöjningen i temperatur 0,87 °C ($\pm 0,12$ °C) under perioden 2006-2015 jämfört med perioden 1850-1900. Om den nuvarande takten fortsätter nås en förhöjning på 1,5 °C någon gång mellan år 2030 och 2052. Det grå fältet ger en stiliserad bild av den globala medeltemperaturens utveckling vid ett 1,5-graders scenario där en kraftig reducering av utsläpp inleddes år 2020 och nollutsläpp uppnås år 2055.

Formuleringarna från Parisavtalet speglas i den precisering av Sveriges nationella miljömål ”Begränsad klimatpåverkan” som tagits fram av riksdagen. Ambitionen i detta miljömål är inte uppnått. Den senaste utvärderingen av miljömålen bedömde att befintliga och beslutade styrmedel och åtgärder inte är tillräckliga för att uppnå målet ens över tid, utan att nya åtgärder behövs (Naturvårdsverket 2019). Sverige verkar internationellt för att rikta in det globala arbetet mot Parisavtalets mål. Sveriges officiella uppfattning är även att EU:s klimatpolitik behöver stärkas och bli mer ambitiös så att åtaganden om utsläppsminskningar kommer i linje med Parisavtalets 1,5-gradersmål.

”Den globala medeltemperaturökningen begränsas till långt under 2 grader Celsius över förindustriell nivå och ansträngningar görs för att hålla ökningen under 1,5 grader Celsius över förindustriell nivå. Sverige ska verka internationellt för att det globala arbetet inriktas mot detta mål.” (Riksdagens precisering av miljökvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan)

Både tid och omfattning är viktiga för att minska risken

Enligt Parisavtalet och FN:s klimatkonvention (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*) ska halten av växthusgaser i atmosfären stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig, och detta ska uppnås på ett sådant sätt och i en sådan takt att den biologiska mångfalden bevaras, livsmedelsproduktionen säkerställs och andra mål för hållbar utveckling inte äventyras (se t.ex. EU 2018b, FN 1992, 2015).

Klimatförändringarna innebär att beslutsfattare ställs inför strategiska val om hur man ska gå tillväga när det gäller åtgärder och anpassning. Ska man tillämpa mer genomgripande åtgärder än världen hittills sett, för att nå 1,5-gradersmålsättningen? Eller ska man använda en något mer återhållsam strategi som initialt ger en högre uppvärmning, till exempel med 2-3 grader, för att sedan nå klimatneutral hållbarhet på längre sikt? IPCC:s 1,5-gradersrapport (IPCC 2018) analyserar forskarna risken för ekologisk och socioekonomisk påverkan under dessa alternativ, och undersöker olika scenarier för samhällsutveckling i förhållande till dessa målsättningar.

Forskarnas slutsatser gör det tydligt att två graders uppvärmning inte är en säker nivå – man ser att det är mycket angeläget att minska utsläppen i ett så tidigt skede som möjligt och i stället klara det skarpa målet om 1,5 grader, för att mildra omfattningen av oåterkalleliga effekter på ekosystemen (IPCC 2018). Att minska utsläppen så tidigt som möjligt är också viktigt för att undvika krav på en alltför orealistisk minskningstakt längre fram, samt för att minska beroendet av så kallade negativa utsläpp (se nedan) och alla svårigheter som det skulle medföra.

Betoningen på att agera snabbt grundar sig i att den högsta globala temperatur som inträffar är en följd av den sammanlagda mängden utsläpp av koldioxid fram till dess att nollutsläpp nås, samt nivån av andra klimatpåverkande ämnen (till exempel metanutsläpp) under årtiondena fram till dess att den maximala temperaturen nås. Om utsläppen pågår så länge att denna sammanlagda mängd blir för stor, kommer världen i stället att i allt högre grad behöva förlita sig på att vi i framtiden kan åstadkomma upptag av koldioxid, så kallade negativa utsläpp (se även avsnitt 3.3).

IPCC (2019a) anger att fortsatta negativa nettoutsläpp av koldioxid även kan bli nödvändiga på en längre tidsskala, för att hindra ytterligare återkopplingsmekanismer i jordsystemet, som exempelvis ökande kolutsläpp från ekosystem, och troligtvis för att vända eller minska försmurningen av världshaven eller minimera höjningen av havsnivån. Det är dock osäkert om negativa utsläpp i den skala som kan komma att krävas är möjliga att åstadkomma. Hamnar vi över 1,5-gradersnivån, även om det skulle ske tillfälligt, ökar därtill omfattningen av oåterkalleliga förändringar i ekosystem påtagligt, till exempel arter som utrotas eller att livsmiljöer som präglas av snö och is går förlorade. Att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 grader skulle för övrigt innebära större temperaturhöjningar på vissa håll, allmänt över land och i Arktis, och mindre på andra håll, ofta ute på de stora haven, vilket även berörs i nästa stycke.

Forskarna konstaterar att det fortfarande är möjligt att begränsa den globala uppvärmningen genom att i tid uppnå netto-nollutsläpp av växthusgaser, men att det krävs en tydlig vilja och en omedelbar omställning i samhället. För att undvika att den totala mängden växthusgaser i atmosfären blir orimligt hög måste hela världen minska nettoutsläppen av växthusgaser snabbt.

"Every bit of warming matters" (IPCC 2018)



Klimatförändringarna fördelas ojämnt

Den globala medeltemperaturen ger ett övergripande mått på klimatförändringarna, men i realiteten fördelas klimatförändringarna inte jämnt över planeten. Även de effekter som kommer av klimatförändringarna varierar mellan olika ekosystem och samhällen. IPCC (2018) identifierar särskilt stora risker för arktiska ekosystem, torra regioner, små önationer och utvecklingsländer.

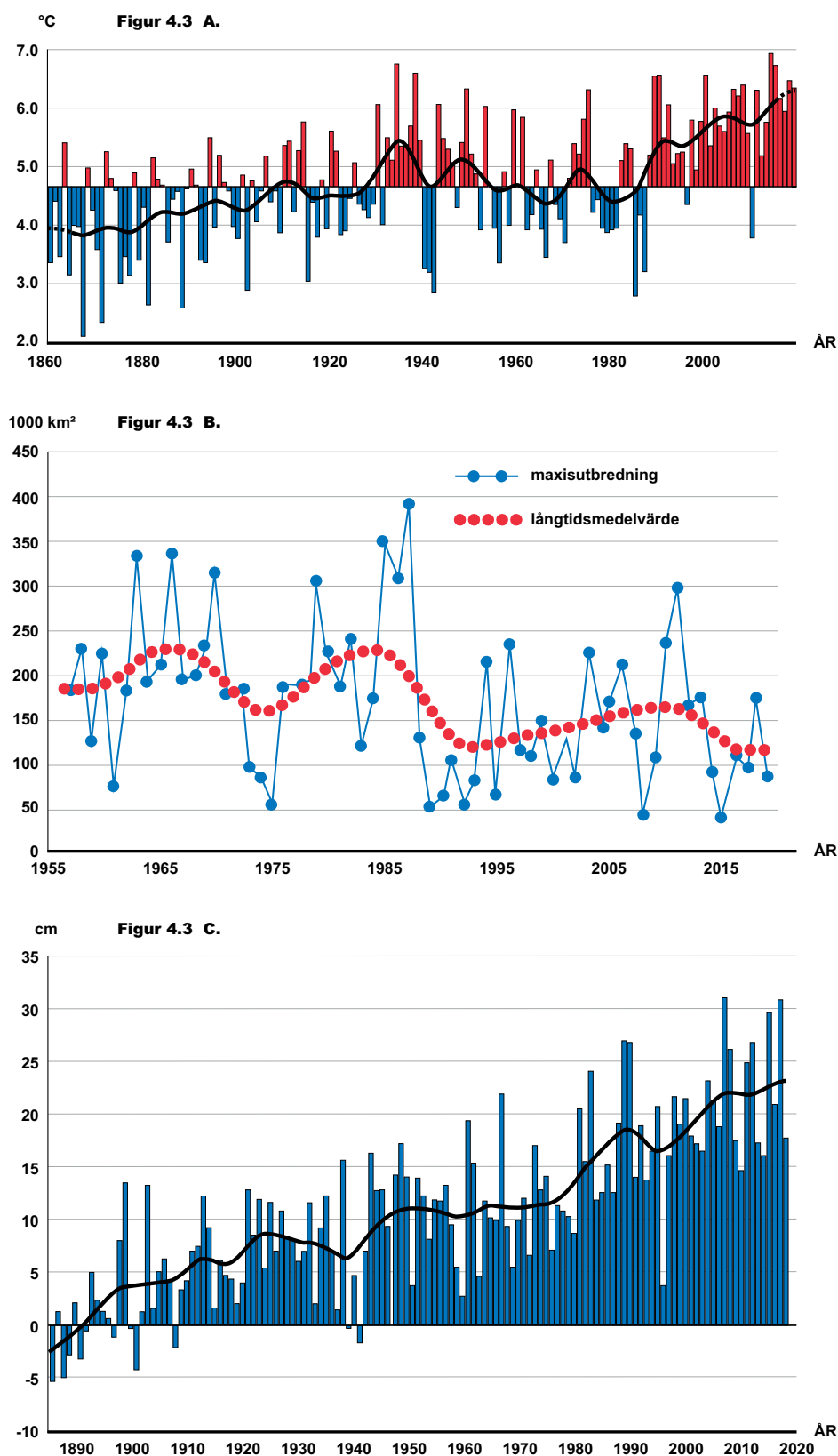
Årsmedeltemperaturen ökar generellt snabbare över landområden än över hav, och ökningstakten ser olika ut under olika årstider (IPCC 2018, 2019b). Uppvärmningen sker även snabbare vid högre breddgrader, bland annat på grund av att den förstärks av effekter på is och snö. Detta innebär att flera områden redan nu upplever minst 1,5 graders uppvärmning (IPCC 2018, 2019b).

Vid Arktis är ökningen idag två till tre gånger högre än det globala medelvärdet. På land är temperaturhöjningen typiskt större än över världshaven och även i Sverige är temperaturhöjningen högre än det globala genomsnittet (Figur 4.3). Den relativa temperaturökningen är större i de norra och östra delarna av landet, och sett över årstider är den minst under sommaren (SMHI 2020a). I norra Sverige har den relativt största ökningen skett under vintern och våren, och i södra Sverige under våren.

Världshav och fasta isar är särskilt betydelsefulla eftersom de under lång tid har fungerat som buffert för den pågående uppvärmningen. Till exempel konstaterade IPCC (2019a) att världshaven har tagit upp mer än 90 procent av det globala värmeöverskottet sedan 1970-talet, men att världshavens temperatur nu ökar med en takt som kan ha mer än fördubblats jämfört med 1993. Hur detta fortsätter i framtiden är starkt beroende av klimatåtgärder och hur effektiva dessa är. Som ett exempel förväntas den negativa utvecklingen av havsisar vid Arktis fortsätta i omkring nuvarande takt de kommande decennierna, men förändringen därefter beror på vad som händer med den globala uppvärmningen. Vid en stabilisering av den globala uppvärmningen på 1,5 grader år 2100 beräknas den årliga sannolikheten för att Norra Ishavet är isfritt i september till cirka 1 procent, men ökar till 10-35 procent vid en uppvärmning om 2 grader (IPCC 2019a).

Havsvattennivån påverkar i synnerhet kustområden och låglänta öar. Ökningen i havsvattennivå sker idag dubbelt så snabbt som under 1900-talet. Om inte utsläppstakten minskas kan den globala havsvattennivån öka med upp till 1,1 meter år 2100, jämfört med perioden 1986-2005 (RCP8,5), och även om utsläppen begränsas i linje med Parisavtalets ambitioner förväntas nivån öka med mellan 0,3 och 0,6 meter under denna period (RCP2,6; IPCC 2019a). I Sverige stiger havsvattennivån med ungefär samma takt som det globala genomsnittet (SMHI 2020), vilket låg inom intervallet 3-4 mm per år under 2006-2015 (IPCC 2019a). Den upplevda havsnivåhöjningen längs våra kuster förväntas dock variera lokalt, eftersom landhöjningen har motsatt verkan och ser olika ut i olika delar av kusten. I Sverige är landhöjningen i delar av den norra kusten idag nära 10 mm per år, medan den är mindre än 1 mm per år i söder (SMHI 2020c). Redan idag upplever södra Sverige effekter av ökad havsvattennivå.

Ökningen av havsvattennivån gör det angeläget att snarast minska utsläppen för att ge tid för anpassning för de som bor i områden som drabbas. IPCC (2019a) anger dock att det är sannolikt att havsvattennivån kommer att fortsätta stiga under kommande århundraden oavsett om man uppnår nollutsläpp enligt Parisavtalet eller inte. Man uppmärksammar även risken att vissa delar av landisar inleder en ostoppt avsmältning, vilket skulle göra att den långsiktiga havsnivåhöjningen blir ännu större. Denna risk kan triggas redan vid ökning av den globala medeltemperaturen mellan 1,5 och 2 grader (IPCC 2018, 2019a).



Figur 4.3 A. Temperaturförändringen i Sverige är högre än det globala genomsnittet. Linjen visar förändring i årsmedeltemperatur i Sverige från 1860 till idag. De röda staplarna anger vilka år temperatur har varit över medelvärdet för perioden som helhet. Om man gjorde en likadan graf på en mer detaljerad skala skulle man även se att ökningen är relativt högre framför allt i norr och under vintertid. **B.** Isens utbredning i Östersjön under perioden 1957-2019. Isläggningen i våra hav förväntas minska ytterligare i framtiden. **C.** Havsvattennivån ökar i Sverige. Värdena i figuren är korrekterade för den lokala landhöjningen vid varje station. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp. Från och med år 1917 visar grafen ett medelvärde för 14 stationer. Källa: SMHI (2020b)

4.3 Biologisk mångfald och ekosystemtjänster

Utarmningen av naturvärden - en global framtidsfråga

Den nuvarande och framtida förlusten av biologisk mångfald på olika nivåer - genetisk, arter, och ekosystem - är ett globalt hot som påverkar människors livsförhållanden (IPBES 2019). Den internationella grupp av forskare som bidrog till IPBES globala utvärdering är enig om att naturvärden idag försämras snabbare än någonsin tidigare i mänsklighetens historia. I analysen av scenarier konstaterar forskarna att de åtgärder som hittills vidtagits för att skydda naturen och ekosystemtjänster inte är tillräckliga. De ser att naturvärden kan skyddas, återställas och nyttjas på ett socialt hållbart sätt, men att en omställning som främjar bevarande och hållbart brukande av biologisk mångfald är brådskande, förutsätter gemensamma åtgärder och kräver en genomgripande samhällsomställning.

Grundläggande för hållbarhetsmålen

Både problemet och dess lösningar är nära knutna till rättvisefrågor och social hållbarhet (IPBES 2019). IPBES analyser visar tydligt att utarmningen av naturen och de effekter detta får fördelas ojämnt mellan och inom olika geografiska områden och mellan olika grupper av människor. Även tidsaspekten är central eftersom effekterna av den påverkan människan idag har på naturen kommer att påverka förhållandena för kommande generationer.

IPBES varnar för att utarmning av biologisk mångfald och ekosystem direkt underminerar möjligheten att nå 35 av de 44 globala målen för hållbar utveckling, relaterade till "Ingen fattigdom" (mål 1), "Ingen hunger" (2), "God hälsa och välbefinnande" (3), "Rent vatten och sanitet för alla" (6), "Hållbara städer och samhällen" (11), "Bekämpa klimatförändringarna" (13), "Hav och marina resurser" (14), samt "Ekosystem och biologisk mångfald" (15) (IPBES 2019). Man kan därtill förvänta sig samverkande effekter med de mer samhällsorienterade hållbarhetsmålen (Naturvårdsverket 2019). Det här betyder att de åtgärder som införs idag för att skydda och bevara naturvärden förväntas ha en tydlig positiv effekt även på de flesta av hållbarhetsmålen. Ytterligare, och mer kraftfulla åtgärder är dock nödvändiga för att stoppa den pågående negativa utvecklingen för biologisk mångfald (IPBES 2019a; se även avsnitt 4.4).

I Sverige återspeglar de svenska miljömålen den ekologiska dimensionen av de globala hållbarhetsmålen. Liksom vad gäller klimatmålet, är dessa mål inte uppfyllda (Naturvårdsverket 2019).

"The implementation of policy responses and actions to conserve nature and manage it more sustainably has progressed, yielding positive outcomes relative to scenarios of no intervention, but progress is not sufficient to stem the direct and indirect drivers of nature deterioration" (IPBES 2019)

Förlust av biologisk mångfald och ekosystemtjänster

IPBES rapport för Europa och Centralasien visar att även vår region genomgår en kraftig och generell nedgång i biologisk mångfald (IPBES 2018a). Omfattningen av naturliga ekosystem har minskat. Exempelvis har arealen våtmark halverats sedan 1970, och gräsmarker, torvmarker och kustnära marina habitat har utarmats. Dessutom har landskapen homogeniserats, vilket innebär att variationen i artsammansättning och därmed funktion mellan olika områden har minskat. Omkring 28 procent av de arter som är endemiska¹ för Europa och Centralasien hotas i någon utsträckning av utrotning, enligt data från den internationella naturvårdsunionen (IUCN). För Västeuropa, den underregion dit Sverige hör, anger IPBES (2018) att andelen hotade endemiska arter är ännu högre, cirka 35 procent. I förhållande till dessa bedömningar visar den senaste nationella rödlistan en fortsatt försämring för den biologiska mångfalden i Sverige. Det finns förvisso exempel på arter som det går bättre för, men andelen rödlistade arter och arter i högre hotkategorier har ökat jämfört med tidigare versioner av rödlistan (Box 4.1, Artdatabanken 2020).

¹Endemiska arter har sin utbredning begränsad till ett specifikt område, vilket innebär att de löper större risk för global utrotning.

Box 4.1 Påverkan på biologisk mångfald och hotade arter i Sverige

I Sveriges senaste rödlista bedömdes totalt 21 740 arter, och av dessa klassades 2 249 som hotade. Artdatabanken identifierar skogsavverkning och igenväxning som de viktigaste påverkansfaktorerna, även om klimatförändringar fått större betydelse under 2010-talet (SLU Artdatabanken 2020). Effekten av klimatförändringar får främst genomslag för nordliga arter och särskilt bland mossorna. I rödlistan noterar man också att flera vanliga fågelarter har minskat kraftigt. Andelen formellt skyddad natur är fortsatt låg, speciellt i södra Sverige.

Havsmiljön identifieras som den miljö där kunskapsbristen är som störst, samtidigt som Artdatabanken (2020) konstaterar att denna miljö är särskilt utsatt för stora och snabba förändringar. Flertalet av de hotade arterna i havet har drabbats av minskade utbredningsområden. Man noterar att bottentrålning berör stora arealer och är det enskilda hot som kan påverka flest arter. Övergödning och utsläpp av miljögifter påverkar också en stor del av vår havsmiljö. Många arter som tidigare var vanliga nära kusten finns nu endast kvar på utsjöbankarna.

Samtidigt som den globala produktionen inom jordbruk, fiskets fångster, samt produktion av bioenergi och andra råvaror har ökat sedan 1970-talet, konstaterar IPBES (2019a) att det har skett en omfattande nedgång i andra naturnyttor, som ofta drivits av att ekonomiska incitament gynnat ekonomisk expansion och missgynnat bevarande. IPBES noterar samtidigt att förvaltningsstrategier som beaktat naturvärden ur ett bredare perspektiv, exempelvis genom att inkludera flera olika typer av ekosystemtjänster, är mer gynnsamma för ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet.

En historik över det svenska yrkesfisket ger ett parallellt exempel från våra förhållanden. Yrkesfiskets fångster ökade länge under 1900-talet, om än med viss variation över kortare tidsperioder och mellan bestånd (Hentati-Sundberg 2017). Fångsterna har dock minskat under de senaste decennierna. Till exempel år 2015 var fiskets landningar en tredjedel av vad de var under toppåren i slutet av 1990-talet. Antalet aktiva yrkesfiskare idag är lägre än de någon gång varit under 1900-talet. Det finns dock stora frågetecken kring beståndsstatus hos många arter (Havs- och vattenmyndigheten 2020). Teknologin inom fisket har utvecklats dramatiskt, bland annat med en omfattande övergång från passiva till aktiva redskap. Fisket har förskjutits mot arter som ger ett lågt försäljningsvärde men fångas i stora kvantiteter, framförallt sill och skarpsill, och även inom dessa arter har det skett en förskjutning från fångst för humankonsumtion till fångst för övervägande industriändamål, som fiskmjöl och fiskolja (Hentati-Sundberg 2017).

4.4 Klimatets påverkan på ekosystemen

Flera olika påverkansvägar

Klimatförändringarna påverkar redan arternas livsmiljöer och förutsättningarna för biologisk mångfald (IPCC 2018a-b, 2019). Som ett resultat av nuvarande och kommande utsläpp kommer koldioxidhalten i atmosfären och uppvärmningen att fortsätta öka, vilket direkt påverkar naturen. Vi ser även andra abiotiska (icke-levande) effekter av utsläppen, till exempel förändringar i nederbördsmonster, havsnivåförändringar, minskad utbredning av glaciärer, havsis och permafrost, mer extrema väderhändelser, förändrade havsströmmar och vattencirkulation, samt havsförurning och syrebrist i haven, som samtliga påverkar förutsättningarna för arter och biologisk mångfald (IPCC 2014, 2019a,b; Se även avsnitt 4.2).

Klimatet samspelar med andra påverkansfaktorer

IPBES globala utvärdering visar en tydlig direkt koppling mellan mänskliga aktiviteter och den problematiska situationen för biologisk mångfald och ekosystemtjänster. IPBES identifierar förändrad markanvändning som den främsta orsaken till förlust av biologisk mångfald och ekosystemtjänster, både globalt (IPBES 2019) och i regionen Europa och Centralasien (IPBES 2018). Samspelet mellan markanvändning och klimatförändringar belyses i kapitel 4.5.

På global nivå listar IPBES (2019) de fem sammanlagt viktigaste faktorerna som: (1) förändrad användning av mark och vatten, (2) direkt övernyttjande av arter genom jakt och fiske, (3) klimatförändringar, (4) föroreningar och (5) spridning av främmande arter. Dessa faktorer är därför nyckelområden för ökade åtgärder. Dessutom samverkar effekten av alla dessa faktorer när det gäller effekten på biologisk mångfald.

Klimatförändringar påverkar redan den biologiska mångfalden, men listas inte av IPBES som den allra största faktorn (IPBES 2019). Däremot konstateras att påverkan från ett förändrat klimat på den biologiska mångfalden och ekosystemtjänster kommer att bli allt viktigare under kommande decennier. Omfattningen av negativa effekter kan förväntas bli särskilt stora i kombination med annan påverkan (Brook m.fl. 2008). Forskarnas analyser av scenarier visar att vår möjlighet att nå långsiktig global hållbarhet är beroende av att vi inkluderar effekter av klimatförändringar i målen för hållbar utveckling och biologisk mångfald. IPBES noterar också att följderna av klimatförändringar på biologisk mångfald och ekosystemtjänster kan förväntas öka snabbt.

Både struktur och funktion påverkas

Det finns starka bevis för att klimatförändringarna redan påverkar den biologiska mångfalden i Europa och Centralasien (IPBES 2018a). Förändringarna påverkar till exempel arternas möjliga utbredningsområde, deras tillgång på lämpliga livsmiljöer, tidpunkten för reproduktion, och deras tillväxt (Flera exempel på detta ges i kapitel 5). Temperaturhöjningen är idag relativt sett snabbast över land, vilket kan innebära ett starkare tryck på terrestra ekosystem. Medan den globala uppvärmningen beräknas till cirka 0,9 grader idag, skattas temperaturökningen över land till 1,5 grader (IPCC 2019a). Både på land och i marina miljöer har värmeböljors frekvens, varaktighet och intensitet ökat, och förväntas fortsätta öka, liksom torka och fler och kraftigare extremer i nederbörd på många ställen. Detta medför direkta konsekvenser för både naturliga och skötta ekosystem, liksom de ekosystemtjänster som dessa förser oss med.



Områden på höga breddgrader har ännu högre relativ uppvärmning (IPCC 2019a). Detta ses även i nationella mätningar, som visar en genomsnittlig uppvärmning på 1,7 grader och upp emot 2 grader i de norra delarna av Sverige (SMHI 2020b). Det anses mycket troligt att en kombination av kontinuerlig uppvärmning och kopplade väderextremer kommer att påverka den boreala zonen inklusive dess skogar negativt. Dessa miljöer utsätts redan för fler och större bränder än tidigare, och det finns viss säkerhet att trenden kommer att fortsätta (IPCC 2019b). Utsattheten för skogar och arktiska områden beskrivs närmare i avsnitt 5.1.2 och 5.2.1.

En annan effekt i landmiljöer är en förgröningsstrend med ökad fotosyntes, som visats tydligt på satellitbilder (IPCC 2019b). De ökade koldioxidnivåerna under global uppvärmning har en gödande effekt på fotosyntesen, vilket kan öka ekosystemens primärproduktion (IPCC 2018b). Genom modellering har man konstaterat att den observerade trenden av förgröning tycks vara ett kombinerat resultat av klimatförändring, kvävenedfall, koldioxidutsläpp och markanvändning, där dessa aspekter kan ha olika betydelse beroende på lokala omständigheter. En sådan förgröning är inte nödvändigtvis ett tecken på ett hälsosamt ekosystem, eftersom det kan ske på bekostnad av biologisk mångfald, till exempel om förgröningen främst beror på en expansion av jordbruksmark eller en mer intensiv markskötsel.

Fördröjningar mellan påverkan och effekt

De effekter som syns i ekosystemet beror även på arters faktiska möjligheter till anpassning, spridning och förflyttning (naturliga och andra barriärer), generationstid, påverkan av annan mänsklig aktivitet, samt på samspel mellan arter som påverkar populationerna och i vissa fall kan ha en stabiliserande effekt

(IPBES 2018a). IPBES regionala rapport visar att även om effekterna av ett förändrat klimat ibland är tydliga, är de biologiska effekterna inte alltid så stora i relation till de förändringar i klimat som har ägt rum (IPBES 2018a). Det beror delvis på att arter och populationer reagerar med en viss fördröjning, jämfört med de mer snabba förändringarna i till exempel temperatur och väderlek (IPBES 2018a). I vissa fall är klimatrelaterade förändringar i biologisk mångfald över tid fortfarande svåra att detektera över "bruset" av annan historisk variation, till exempel förändringar i markanvändning. Den takt och det sätt som naturen reagerar på klimatförändringar skiljer sig även åt mellan olika geografiska områden.

4.5 Markanvändning, klimat och biologisk mångfald

Markanvändningen är central för både klimat och biologisk mångfald

Markanvändning är en central påverkansfaktor för biologisk mångfald, och denna påverkan kommer även ta nya uttryck i takt med att klimatrelaterade ändringar i markanvändning tar fart (IPBES 2019b). Markanvändningen samspelar dessutom med mänsklighetens klimatpåverkan. I IPCC:s specialrapport om markanvändning och klimat (IPCC 2019b) slås det fast att jordbruk, skogsbruk och annan markanvändning är källan till 23 procent av utsläppen av växthusgaser globalt sett. Biogeokemiska effekter av markanvändning har genom åren bidragit till den uppvärmning av jorden som vi kan observera idag. Markanvändningen leder även till förändringar i jordytans albedo (reflexionsförmåga) som kan påverka klimatet både regionalt och globalt. Den historiska markanvändningen har med viss säkerhet bidragit till ett sådant "ljusnande" av landytan, som har dämpat nettobidraget till den globala uppvärmningen från dessa typer av miljöer (IPCC 2019b). Man framhåller även att det kommer uppstå allt kraftigare konkurrens mellan olika former av markanvändning, där även behovet av landbaserade klimatåtgärder ökar.

Utmaningar och möjligheter i framtidens markanvändning

Storskaliga, landbaserade klimatåtgärder kan förstärka ett redan intensivt nyttjande av marken, vilket kommer att påverka den biologiska mångfalden i de brukade ekosystem där åtgärderna genomförs.

I Sverige utgör skogsbruk och jordbruk en betydande del av den sammanlagda markanvändningen (SCB 2019). I dessa skogs- och agroekosystem produceras värdefulla naturresurser, samtidigt som de härbärgerar biologisk mångfald (inklusive kulturlandskapets biologiska mångfald) och bidrar till andra ekosystemtjänster. Dessa ekosystem kommer som alla andra att påverkas av klimatförändringar, såväl direkt som indirekt. I skogs- och jordbrukets klimatanpassning, och i avvägningar med mål för matförsörjning, biomassaproduktion och upptag av kol, finns det såväl risker som möjligheter för biologisk mångfald (Se till exempel Box 4.2 och avsnitt 5.3.1-5.3.3).

Globalt sett så kan en kraftigt ökad produktion av bioenergi, speciellt storskaliga monokulturer av bioenergigrödor, ha negativa konsekvenser för såväl möjlighet till matförsörjning som bevarande av biologisk mångfald. Typ och grad av inverkan beror dock på vilken skala bioenergiproduktionen implementeras, samt markens status där detta sker. Att integrera produktion av bioenergi i hållbart förvaldade jordbrukslandskap skulle kunna underlätta utmaningen genom att minska eventuell negativ påverkan på natur- och kulturmiljö. IPCC (2019b) konstaterar att om bioenergiproduktionen kan begränsas till marginalmarker eller övergiven jordbruksmark kan de negativa effekterna på biologisk mångfald och matsäkerhet bli försumbara, men å andra sidan skulle omfattningen av fördelar för klimatanpassning också bli mindre. Fleråriga odlingssystem av energigrödor kan leda till positiva synergieffekter såsom ökad kolinbindning i mark, och även ett mer varierat odlingslandskap som ger fördelar för biologisk mångfald. Med andra ord, valet av energigrödor och odlingssystem (exempelvis ettåriga respektive fleråriga) har också betydelse.

Landbaserade klimatåtgärder kan även påverka klimatet genom biofysiska effekter, utöver att påverka balansen mellan utsläpp och upptag av kol. I boreala regioner kan skogsbaserade åtgärder, som beskogning, återskogning och skötselstrategier, ge stark återkopplingseffekt på klimatet. Både observations- och modelleringsstudier indikerar att beskogning och återskogning leder till biofysisk uppvärmning under vintern. Lämpliga skötselstrategier när det gäller exempelvis gallring och omloppstid kan ha positiva konsekvenser för det lokala klimatet genom att påverka albedo, jordytans strävhets, och avdunstningsmönster (IPCC 2019b).



Box 4.2 Jordbruk i ett framtida klimat

Jordbruket ställs inför dubbla utmaningar genom behoven att både minska jordbrukets klimatpåverkan och anpassa jordbruket till ett förändrat klimat. Behovet av omställning är tydligt. Klimatrelaterade risker för livsmedelsförsörjning beräknas öka med en global uppvärmning på 1,5 grader och öka ytterligare med 2 graders uppvärmning (IPCC 2018). Samtidigt bidrar jordbruket med uppskattningsvis 23 procent av de totala antropogena växthusgasutsläppen (2007–2016) tillsammans med skogsbruk och annan markanvändning (IPCC 2019).

I IPCC:s specialrapport om klimatiförändringar och marken (IPCC 2019b) framgår att den uppvärmning av vår planet som skett hittills redan kan kopplas till en ökad frekvens, intensitet och varaktighet av till exempel både värmeböljor och extrem nederbörd, världen över. Klimatiförändringarna påverkar därmed redan idag livsmedelsförsörjningen.

Det finns starka bevis på att skadedjur och sjukdomar på grödor och boskap redan har påverkats av klimatiförändringar och att förändringarna resulterar i både ökningar och minskningar av angrepp. Typ och omfattning av framtida förändringar kommer sannolikt att bero på lokala förutsättningar eftersom klimatiförändringar kan ha inverkan på en rad biologiska och ekologiska mekanismer som påverkar fördelning, populationsstorlekar och effekter av skadedjur och sjukdomar. Exempelvis kan klimatiförändringar bidra till att överlappet mellan skadedjur och de organismer som reglerar dem i deras naturliga miljö förändras i tid eller rum.

Genom att formulera effektiva anpassningsstrategier är det möjligt att reducera och till och med undvika vissa av de negativa effekter som klimatiförändringarna har på livsmedelsförsörjningen. Dessa anpassningar kan ske inom alla delar av livsmedelskedjan. Hur maten produceras, transporteras och processas samt hur den konsumeras har betydelse, så även vad vår diet består av (IPBES 2018, IPCC 2019b).

I rapporten "Handlingsplan för klimatanpassning – Jordbruksverkets arbete med klimatanpassning inom jordbruks- och trädgårdssektorn" (2017) sammanfattas en del av de anpassningar och förändringar som kommer att krävas i det svenska jordbruket. I Sverige kan de ökade temperaturerna möjliggöra en längre växtsäsong och eventuellt också större skördar, längre betessäsong för boskap och att vissa grödor kan odlas längre norrut. Klimatiförändringarna kommer dock även att innebära utmaningar. Exempel på detta är förändrade nederbördsmonster med mer eller mindre nederbörd under olika säsonger, större risk för värmestress hos boskap och som nämndes tidigare i detta avsnitt, större behov av växtskyddsåtgärder på grund av förändringar i skadedjurs- och sjukdomstryck.

4.6 Synergier mellan klimatåtgärder och naturvård

Anpassning till ett förändrat klimat medför både risker för ökad förlust av biologisk mångfald och dess relaterade ekosystemtjänster, och möjligheter för positiva samordningsvinster, om anpassningen utformas väl. På motsvarande sätt kan behovet av klimatåtgärder integreras i naturvårdsarbetet så att åtgärder för att bevara biologisk mångfald också stärker och bevarar sådana ekosystemtjänster som minskar omfattningen och effekten av klimatförändringar.

"Limiting warming to 1.5 °C can go hand in hand with achieving other global goals such as the Sustainable Development Agenda" (IPCC 2019a)

IPCC analyserar i sin 1,5-graders rapport (IPCC 2019a) synergier och målkonflikter mellan åtgärder för att klara ett klimatmål om högst 1,5 graders global uppvärmning och olika globala hållbarhetsmål. Det framhålls att det finns många synergier, särskilt mellan målet att "säkerställa tillgång till ekonomiskt överkomlig, tillförlitlig, hållbar och modern energi för alla" och sociala mål. För några av de analyserade utvecklingsvägarna finns en potentiell risk att åtgärder för att nå klimatmålet har negativa effekter på mål för minskad fattigdom, minskad hunger, bättre hälsa och tillgång till vatten, vilket gör det viktigt att särskilt beakta dessa aspekter i utformningen av klimatåtgärder. Framför allt ser man att utvecklingsvägar som innehåller en större komponent av förändringar i markanvändning eller av negativa utsläpp kan ha en större inverkan. IPCC (2019a) konstaterar att det faktiska utfallet i hög grad är beroende av hur förvaltningen tillämpas när det gäller till exempel metoder för koldioxidupptag och utvecklingen av bioenergi.

I en analys av framtidsscenarier för norra delen av västra Europa beskriver och utvärderar IPBES (2018) sex möjliga framtider för samhället när det gäller påverkansfaktorer och politiska åtgärder, och översätter dem till projicerade konsekvenser för biologisk mångfald och ekosystemtjänster. I scenarierna beskrivs också möjliga konflikter mellan biologisk mångfald och till exempel bioenergigrödor, som är en central komponent i IPCC:s scenarier för att nå 1,5 gradersmålet (se även till exempel avsnitt 3.3). I de flesta av IPBES scenarier ökar produktion av bioenergigrödor, produktion av mat och foder, samt områden med skog och timmerproduktion, vilket skulle ge en ökad sårbarhet och fortsatt minskning för biologisk mångfald i både terrestra och akvatiska miljöer. Det enda undantaget är scenariot "Global hållbar utveckling" som beskriver en genomgripande samhällsomställning med omorganisation av nuvarande sociala, ekonomiska och tekniska strukturer.

I "Klimatförändringar och marken" lyfter IPCC även kopplingar mellan klimat och andra faktorer som berör mark. I kapitel sex nämns hur insatser för bevarande av biologisk mångfald kan ha effekt även på klimatet, och vice versa (se Tabell 6.8 i IPCC 2019b). Ett flertal möjliga synergier mellan insatser för biologisk mångfald och klimat lyfts fram. Exempelvis kan etablering av skyddade områden, samt fortsatt skydd av befintliga sådana, bibehålla och öka kolinlagring i växtlighet och jord. Även restaurering och bevarande av kust- och strandnära våtmarker, samt torvmarker lyfts fram. Viltvård kan påverka klimatet genom påverkan på utsläpp av växthusgaser (producerade av idisslande djur som bryter ner växtmaterial i sin matsmältning), betestryck på vegetation (exempelvis påverkas produktivitet och föryngring i skogar), ändrad brandfrekvens, samt ändrad cirkulation och transport av näringsämnen. Att bevara och återställa stora djurarter (megafauna) i nordliga regioner kan också förhindra permafrostens upptining och igenväxning av buskar och träd, vilket gör att utsläpp av koldioxid och metan, samt ökning i albedo, kan undvikas. Frågor kring samspelet mellan markanvändning, biologisk mångfald och klimat tas även upp i IPBES specialrapport om utarmning och restaurering i landecosystem (IPBES 2018b) samt ur ett svensk perspektiv av Naturvårdsverket (under bearbetning), inklusive hur åtgärder kan och bör utformas med både klimat- och naturvårdsvinster i åtanke.

5. Djupdykningar

Detta avsnitt ger exempel på samband mellan klimat och biologisk mångfald under svenska förhållanden, med utgångspunkt i några av de generella slutsatser som framkommer i rapporterna från IPCC och IPBES. Avsnittet är inte uttömmande när det gäller problemställningar som är relevanta i Sverige, utan består av ett urval exempel som gjorts av forskare inom akvatisk och terrester ekologi. Urvalet syftar till att illustrera hur klimatförändringar påverkar biologisk mångfald och ekosystem i Sverige, och även lyfta exempel på vilka möjligheter, utmaningar och problem som människans behov av anpassning till klimatförändringar kan leda till. Ansatsen är därmed inte fullständig: forskningen om sambanden mellan klimat och biologisk mångfald är omfattande i Sverige, Norden och internationellt, och de givna exemplen bör kompletteras med information från andra källor och synteser.

5.1 Klimateffekter på biologisk mångfald och ekosystemfunktioner

Både IPCC och IPBES lyfter klimatförändringarna som en viktig påverkansfaktor för förändringar i biologisk mångfald, som dessutom förväntas ha en allt större betydelse i framtiden. Dessa förändringar påverkar både naturliga ekosystem och brukade miljöer. Några generella exempel på hur klimatförändringarna kan uttrycka sig, genom direkta eller indirekta mekanismer, sammanfattades i Box 3.2 i kapitel 3.

I praktiken är effekterna av klimatförändringar ofta komplexa. Effekterna innefattar hur förändringar i medelvärden, variabilitet och extremer av temperatur och nederbörd, eller andra yttre faktorer, påverkar enskilda organismer, samt hur de påverkar arternas samspel med varandra. Den globala uppvärmningen leder till geografiska förskjutningar i klimatförhållanden, med följden att arters utbredningsområden förändras, eller att arter som inte lyckas anpassa sina utbredningsområden dör ut.

konkurrensförhållanden mellan arter ändras. Dessa förändringar kan sammantaget leda till att den biologiska mångfalden ökar eller minskar på lokal nivå, men på sikt utgör det förändrade klimatet ett allvarligt hot mot mångfalden på såväl nationell som global nivå. Eftersom arter är olika känsliga vad gäller klimatförändringar, påverkas av olika aspekter av dessa förändringar (till exempel temperaturen vid olika årstider eller nederbördsförändringar), och har olika förmåga att anpassa sina utbredningsområden, kommer sammansättningen på organismsamhällen ofta att vara annorlunda än de sett ut historiskt. De strukturella förändringarna påverkar även funktionerna i respektive ekosystem, till exempel deras produktivitet och motståndskraft mot andra förändringar.

5.1.1 Ändrade säsongs- och utbredningsmönster leder till nya artsamspel i landmiljöer

Enligt IPBES globala utvärdering har förändrad markanvändning varit den största drivkraften bakom minskad terrester biologisk mångfald, men klimatets betydelse som drivkraft ökar inte minst genom interaktion med andra drivkrafter, såsom markanvändning.

För att förstå hur organismer påverkas av klimatet och hur denna påverkan interagerar med andra drivkrafter krävs data. Det gör att vi idag bäst känner till effekter på organismer som ingår i de övervakningsprogram som ofta bygger på frivilliga insatser, men också på andra organismer där frivilliga samlat in data. Studier av fåglar, dagfjärilar, nattfjärilar och växter i de nordiska länderna har visat att arter förskjutits norrut (t.ex. Lindström m.fl. 2013, Betzholtz m.fl. 2013, Pöyry m.fl. 2009, Tyler m.fl. 2018). Detta syns inte bara som förändringar i utbredningsområden, utan även som att fjärils-, fågel- och växtsamhällen lokalt förskjutits mot högre andel av sydliga arter. Omfattande inventeringar av växter i Skåne visar en förskjutning mot mer värmeälskande arter från 1989-2006 till 2008-2015 (Tyler m.fl. 2018). Genom unika tidsseriedata har man kunnat följa hur artsammansättningen i fågelsamhällen speglar temperatur men inte nederbördsförändringar (Tayleur m.fl. 2015). Över 35 år har artsammansättningen skiftat så att det motsvarar en förskjutning i utbredning på cirka 105 kilometer, vilket dock är betydligt mindre än förskjutningen i temperatur på cirka 195 kilometer (Lindström m.fl. 2013). Vad som gör att fåglar inte ”hinner med” klimatförändringarna är okänt, men en anledning kan vara att habitatet inte förändras i samma takt som klimatet, eller att fåglarna har begränsad spridningsförmåga.

Samma typ av förskjutning mot norr har noterats hos fjärilar som studerats i Finland, där det också visats att arter som är specialiserade för särskilda livsmiljöer (habitatspecialister) förflyttats i mindre utsträckning (Pöyry m.fl. 2009, Mattila m.fl. 2011). Eftersom många sådana specialiserade arter är hotade är detta ett allvarligt problem för bevarandet. Inte minst kan det leda till förändring i artsammansättningen, så att organismsamhällen i ökande utsträckning kommer att domineras av generalister. En svensk studie visar att det är viktigt med god tillgång på livsmiljöer för att en hotad fjärilsart (backvisslare) ska förskjuta sitt utbredningsområde (Fourcade m.fl. 2017). Arter som förekommer i starkt fragmenterade landskap har därför sämre förutsättningar att sprida sig till de nya områden som ett förändrat klimat i sig hade möjliggjort. Alla förskjutningar i utbredning är dock inte entydigt kopplade till klimatet. Till exempel hos fjärilar har specialister med en kvävegynnad diet ökat i utbredning, antagligen som ett svar på ökad tillgång till kväverika livsmiljöer (Betzholtz m.fl. 2013).

Klimatet har direkt påverkan på organismers fenologi, d.v.s. den tidpunkt på säsongen när olika aktiviteter som blomning, ankomst till häckningsområden, reproduktion m.m. sker. Ändringar i en arts livscykel kan i sin tur påverka samspelet med andra arter och därmed ge indirekta effekter på dessa. Förändringar i fenologi över tid är bäst dokumenterat bland fåglar eftersom dessa har inventerats under årtionden både under häckningstid och vår- och höstflyttning (Lehikoinen m.fl. 2004, Knudsen m.fl. 2011). I Sverige har framförallt kortflyttare, dvs arter som övervintrar i Europa, visat starka tidsförskjutningar av vårflytten. Många fågelarter anländer numera betydligt tidigare jämfört med den situation som rådde för 40 år sedan (Kullberg m.fl. 2015). Svenska långtidsstudier av mesar (Källander m.fl. 2018) och starar (Svensson 2004) har visat på stora förändringar i fåglarnas häckningssäsong, så att de nu häckar betydligt tidigare än för några decennier sedan. Förändringar i höstflyttningen är mer variabla (Lehikoinen m.fl. 2004), men hos vissa fågelarter som grågås övervintrar numera fler individer i Sverige (Nilsson och Kampe-Persson 2018).

Arter kan också påverkas indirekt av klimatförändringar, genom att de arter som de interagerar med påverkas. Till exempel kan klimatförändringar leda till att tidpunkten för häckning för talgoxar och svartvita flugsnappare inte längre sammanfaller med när tillgången på byte är störst (Visser m.fl. 1998, Both m.fl. 2001, men se Charmantier m.fl. 2008). Trots att flyttfåglar generellt kan tänkas gynnas av tidigare ankomst till häckningsområden, indikerar en unik långtidsstudie av fåglar i Sverige att åtminstone en flyttfågel, den svartvita flugsnapparen, kan ha minskat på grund av det förändrade klimatet eftersom de stannfåglar (mesar) som den konkurrerar med, gynnas av milda vintrar (Wittver m.fl. 2015).

Klimatrelaterade förändringar leder till ökad mångfald av fåglar, framförallt i norra Sverige (Davey m.fl. 2013, Lehikoinen m.fl. 2014). Detta sker främst genom att ett mildare klimat gör det möjligt för sydliga arter att öka sina utbredningsområden mot norr. Samtidigt blir arter som är beroende av kalla klimat "habitatförlorare", vilket syns i form av negativa populationstrender för nordliga arter (Lehikoinen m.fl. 2014, Davey m.fl. 2016).



Det är uppenbart att de direkta effekterna av klimatförändringarna kommer att leda till förändringar av ekosystemen, med potentiellt allvarliga konsekvenser för biologisk mångfald. Frågan är vilka åtgärder som kan vidtas i Sverige för att förhindra detta, utöver att bidra till att minska klimatförändringarna. Det har argumenterats för att plats-centrerad naturvård (reservat) är mindre relevant om klimatet förändras, och att det istället är viktigt att öka landskapens permeabilitet så att arter kan anpassa sina utbredningsområden (se Minter m.fl. 2012). Detta synsätt har dock blivit kritiserat, för att det inte tar hänsyn till värdet av skyddade områden både för att öka arters resiliens under ett förändrat klimat och för att öka arters förmåga att sprida sig (Thomas m.fl. 2015). IPBES konstaterar att det krävs både mer av traditionell naturvård och mer arbete med att öka landskapens konnektivitet för att möta hotet från klimatförändringarna (IPBES 2019).

5.1.2 Längre växtsäsong, förskjutna klimatzoner och ökad störning påverkar skogsekosystemen

Enligt IPCC:s 1,5-gradersrapport (IPCC 2018) förväntas växtsäsongen i nemorala och boreala skogar bli längre, samtidigt som klimatrelaterade störningar generellt ökar, med ökad risk för bland annat vårbakslag med frostsador, sommartorka, värmeböljor, skogsbrand, översvämning, stormskador, och en kopplad risk för insektsangrepp och etablering av invasiva arter. Den globala uppvärmningen har också resulterat i en förflyttning av klimatzoner. Ju varmare det blir, desto mer förskjuts klimatzonerna på såväl mellan- som högre breddgrader mot polerna. På de högre, nordliga breddgraderna väntas uppvärmningen ge ökade störningar i boreala skogar, genom torka, brand, och utbrott av skadeorganismer (IPCC 2019b).

I Sverige kan ett varmare klimat ge tidigare knoppsprickning och längre växtsäsong. Skogstillväxten förväntas därmed öka (också på grund av koldioxidgödning), men samtidigt kan torkstress under sommaren och högre respiration hos primärproducenter under vintern ta en del av den förväntade tillväxtökningen (Jönsson och Lagergren, 2018). Antalet frostdagar minskar generellt i ett varmare klimat, men samtidigt kan en tidig vår leda till ökad risk för vårbakslag med efterföljande frostsador på ungskog. Risken för vårbakslag ökar framför allt i södra Sverige, då våren längre norrut generellt kommer senare och med snabbare temperaturprogression (Jönsson m.fl. 2004).

Äldre granskog kan angripas av granbarkborre, en av de allvarligaste skadeinsekterna i boreala produktionsskogar. Ett varmare klimat i Sverige medför ökad frekvens av två fullt utvecklade generationer granbarkborrar per år, men en populationsökning begränsas av tillgången på yngelmateriäl i form av nyligen stormfällda och torkstressade granar (Jönsson m.fl. 2012). Pågående klimatförändringar påverkar risken för stormskador, eftersom ökad nederbörd vintertid i kombination med otjälad mark minskar trädens förankringsförmåga vid stormtillfällen. Stormskador ökar risken för efterföljande angrepp av granbarkborre, men riskens utveckling är samtidigt beroende av hur snabbt och i vilken omfattning vindfällerna kan tas om hand och forslas ut ur skogen (Jönsson m.fl. 2015).



I Sverige är ett varmare klimat för flera skogslevande arter förknippat med förändrad utbredning mot nordligare områden och högre altituder. För fjällbjörk, gran och tall har trädgränsen på många platser flyttats uppemot 200 m under det senaste århundradet, vilket är i linje med den uppmätta temperaturändringen (Kullman och Öberg, 2009). Dock är den genomsnittliga förändringen lägre, runt 70-90 m, då trädgränsens temperaturberoende förflyttning begränsas av störningsfaktorer som vindexponering (Kullman och Öberg, 2009), renbete och insektsutbrott (Van Bogaert m.fl. 2011), samt vårbakslag med frostsador under knoppsprickning (Kollas m.fl. 2014).

I avsnitt 3.3 introducerades skogens roll i åtgärder för att motverka klimatförändringar. Skogar är viktiga kolsänkor, och producerar stora mängder biomassa. Genom så kallad substitution kan skogens biomassa bidra till en utfasning av fossila bränslen och material i samhället, och ge alternativ till material som har högre klimatbelastning. Samtidigt kan uttag åtminstone tillfälligt påverka skogens roll som kolsänka (se Box 5.1). Skogarna bidrar också med viktiga naturvärden. Medvetna och evidensbaserade avvägningar mellan olika syften är nödvändiga för att åstadkomma positiva synergier mellan klimatåtgärder och åtgärder för bevarande av biologisk mångfald i skogsekosystemen, och är ett viktigt område för fortsatta utvärderingar. Problematiken utvecklas ytterligare i avsnitt 5.3.

5.1.3 Biologisk mångfald och riktad skötsel kan säkra samspelet mellan växter och pollinatörer

Hur samspelet mellan växter och pollinatörer påverkas av miljöförändringar har fått mycket uppmärksamhet det senaste årtiondet, inte minst av IPBES, vars första specialrapport handlar just om pollinatörer och de nyttor som dessa bidrar med genom att pollinera vilda blommor och grödor. I rapporten konstaterades att klimatförändringar globalt påverkar utbredning, populationsstorlekar och fenologi hos pollinatörer, men att detta också påverkas av en rad andra drivkrafter inklusive förändringar i markanvändning, som i sin tur kan interagera med klimatet (IPBES 2016a). Därför är det relevant i sammanhanget att lyfta hur klimatet hittills påverkat pollinatörer och deras samspel med växter i norra Europa, och vilken påverkan som förväntas i framtiden.

Det finns en stor brist på data som kan användas för att utvärdera förändringar i mängden pollinatörer över tid, framförallt när det gäller bin, som anses vara de viktigaste vilda pollinatörerna av såväl vilda växter som grödor. Genom att upprepa historiska inventeringar kan man undersöka om mångfalden av pollinatörer, men ofta inte antalet, har förändrats över tiden. I en klassisk studie visade Biesmeijer m.fl. (2006) att jämfört med studier före 1980 hade artrikedomen av bin minskat i både Nederländerna och Storbritannien, medan trenden för blomflugor var otydlig. Andra studier har visat på förlust av mångfald eller utbredning hos blombesökande insekter i Europa, men med variation mellan tidsperioder, länder och taxonomiska grupper och även vissa positiva trender (Carvalho m.fl. 2013, Powney m.fl. 2019). Studier i Sverige visar att artsammansättningen av humlor som pollinerar rödklöverfält har förändrats drastiskt, så att arter med lång tunga - som är bäst anpassade för att pollinera rödklöver - minskat i antal i förhållande till arter med korta tungor (Bommarco m.fl. 2012). Dessa förändringar har i en dansk studie visats bero på att de långtungade humlorna har minskat snarare än att de kort-tungade humlornas populationer ökat (Dupont m.fl. 2011). Troligtvis beror detta på förändrad markanvändning (Goulson m.fl. 2015, Vray m.fl. 2019), och har konsekvenser för pollination av både grödor och vilda blommor (Aguilar m.fl. 2006, Garibaldi m.fl. 2013). Förändringar bland pollinatörer över tid har dock inte ännu kunnat kopplas till parallella förändringar i produktiviteten hos insektpollinerade grödor, eftersom det saknas tillgängliga tidsserier som mätt förändringar i grödornas pollinering över tid (Scheffers m.fl. 2016).

Pollinerande insekter påverkas direkt av klimatet. Många pollinatörer i norra Europa gynnas av ett varmare klimat i nordliga regioner och får ökade utbredningsområden mot norr (Martinet m.fl. 2015, Biella m.fl. 2020, men se Kerr m.fl. 2015), och mot högre altituder (Fourcade m.fl. 2019). Samtidigt är humlor känsliga för extremt varma väderförhållanden och kan därför missgynnas av ökad medeltemperatur och värmeböljor i de sydliga delarna av sina utbredningsområden (Kerr m.fl. 2015, Soroye m.fl. 2020). Man kan förvänta sig att framtida förändringar i utbredning för humlor kommer att påverkas av en interaktion mellan klimat och markanvändning (Marshall m.fl. 2018) (se även 5.1.1. om effekter av klimatförändringar i fragmenterade landskap).

Hos både växter och pollinatörer påverkas arters utbredning och fenologi av klimatet, vilket kan leda till mismatch dem emellan i tid och rum. Om växter och pollinatörer svarar på klimatförändringar på likartade sätt behöver konsekvenserna dock inte bli dramatiska (Hegland m.fl. 2009). Pollinerande insekter reagerar emellertid på förändringar i värmeförhållanden i större utsträckning än vilda växter, vilka ofta reagerar på förändringar i ljusförhållanden under våren. Internationellt finns exempel på att sådan mismatch redan uppstått och förväntas uppstå i framtiden (IPBES 2017), men sådana effekter är inte tydligt dokumenterade i Sverige. Hög biologisk mångfald gör interaktioner mellan växter och pollinatörer mer robusta mot klimatförändringar (Bartomeus m.fl. 2013). Blomremсор (Jönsson m.fl. 2015) och ekologisk odling (Carrié m.fl. 2018) kan ge bättre kontinuitet av resurser för pollinatörer i intensivt odlade landskap. IPBES har därför föreslagit dessa som åtgärder som gynnar pollinerande insekter (IPBES 2016a).

5.1.4 Temperaturökningar kan ha en allvarlig inverkan på sötvattensekosystem och deras biologiska mångfald

Sjöar och vattendrag utgör endast en bråkdel av världens yta, cirka 0,08 procent, men de håller cirka 6 procent (100 000) av alla beskrivna arter. Klimatförändringar har flera typer av effekter på sötvatten. Till exempel påverkar extrema väderhändelser både vattenflöden och arternas levnadsförutsättningar. Vattentemperaturen är en särskilt kritisk variabel för flera arter i sötvatten. Att minska hastigheten på den globala uppvärmningen så mycket som möjligt är viktigt för att öka arters möjlighet att anpassa sig till de nya förutsättningarna (IPCC 2019a).

Sveriges sjöar och andra typer av sötvatten påverkas i hög grad av klimatförändringar, som en direkt följd av att förändringar i temperatur och dess effekter på ekologiska processer och funktioner är särskilt påtaglig över landområden och på nordligare breddgrader (Sandin m.fl. 2014). Många sötvattensarter klarar inte större temperaturförändringar. Hos till exempel laxfiskar kan temperaturförhållanden i vattenlandskapet vara avgörande för deras utbredning, och den påverkar även fiskens tillväxt och ynglens migrationsförmåga (Jutila m.fl. 2005). Eftersom pågående och förväntade framtida klimatförändringar förväntas orsaka förhöjningar av vattentemperaturen i svenska sjöar och vattendrag, förutspås klimatförändringar ha en allvarlig inverkan på sötvattensekosystem och dess biologiska mångfald (Dudgeon m.fl. 2010).

Med några få undantag reglerar sötvattensarter inte sin egen kroppstemperatur. I stället har den omgivande vattentemperaturen direkta effekter på deras fysiologi, ämnesomsättning, reproduktion, beteende och utbredning. Förändringar i vattentemperatur påverkar även arternas livsmiljö på andra sätt, till exempel genom att påverka hastigheten i biologiska och kemiska processer, vattnets syrekoncentration, sönderdelningen av organiskt material och förutsättningarna för samspel mellan arter (Woodward m.fl. 2010).



Många studier har förutspått fortsatta framtida förändringar i artsammansättningen i sötvattens ekosystem som svar på klimatförändringar (Carlson m.fl. 2017). Dessa förändringar kan även leda till försämrade ekosystemfunktioner och minskade ekosystemtjänster samt få negativa effekter på ekosystemens möjlighet att anpassa sig till ytterligare klimat- och miljöförändringar.

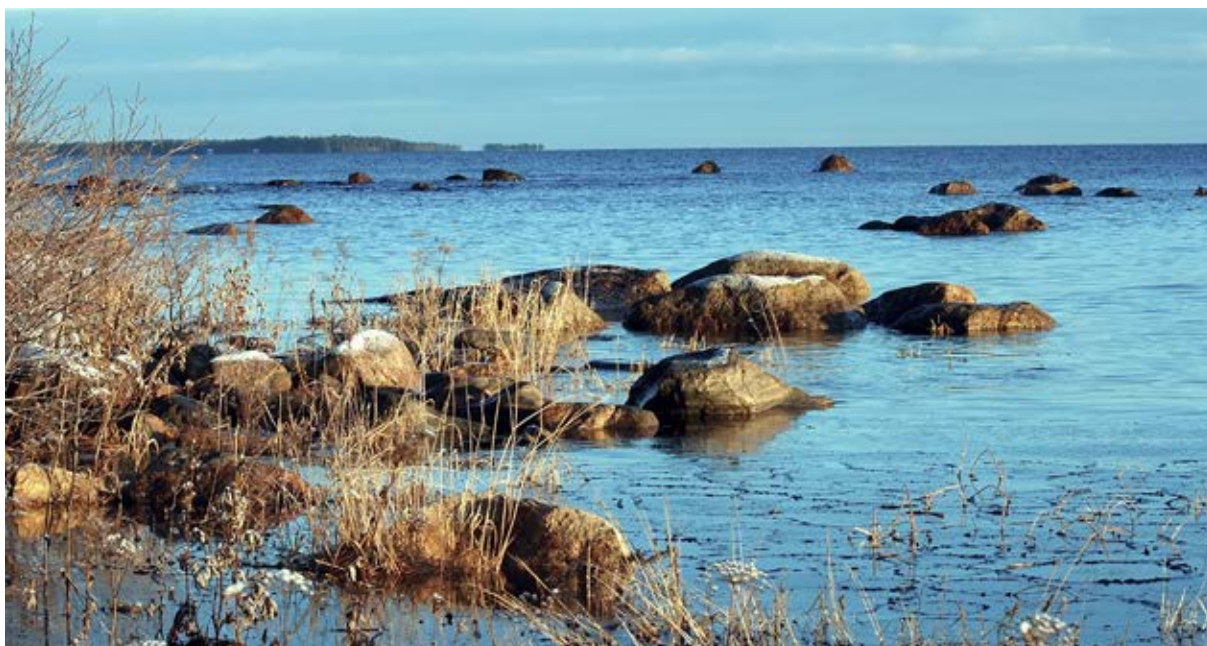
Bäckar, åar och grunda sjöar är särskilt utsatta eftersom ett förändrat klimat i första hand förväntas påverka den biologiska mångfalden i dessa typer av ekosystem. Sjöar påverkas också, men i något mindre utsträckning, och djupa sjöar förväntas påverkas minst (Moss m.fl. 2009). Ökande vattentemperaturer kan även öka de negativa effekterna av annan mänsklig påverkan såsom övergödning och gynna etableringen av främmande växter som tål de nya temperaturförhållandena.

I synnerhet naturligt förekommande kallvattenarter förutspås få svårt att överleva värmeböljor under sommarperioden, särskilt i grunda sjöar och mindre vattendrag. Både kallvattenarter och mer värmeälskande arter förväntas förflytta sin utbredning norrut och även mot högre altituder med ett varmare klimat (Markovic m.fl. 2014). I vilken omfattning detta kommer att ske i sjöar och vattendrag beror till stor utsträckning på vilka mekanismer organismerna har till förfogande för att förflytta sig, och om det finns olika typer av hinder såsom dammar som hindrar denna förflyttning.

5.1.5 Markanvändning och klimatförändringar bidrar till vattnets brunifiering

Under de senaste decennierna har många sjöar och vattendrag i Sverige blivit brunare. Orsaker till detta har kopplats både till mänsklig påverkan på terrest miljö, främst ändrad eller ökad markanvändning, och klimatförändringar (IPBES 2019, IPCC 2019a,b). Ett varmare och blötare klimat i Sverige (SMHI 2020d) kan förväntas bidra till en fortsatt brunifiering av våra vatten, och medför även negativa konsekvenser på vattnets kvalitet och produktionen av många vattenlevande organismer.

Ett stort antal svenska vatten har naturligt en brunaktig färg, vilket gör det svårt för ljuset att tränga ned till botten. Den bruna färgen kommer sig av löst organiskt kol i form av humusämnen och järn som läcker in till vattendrag från den omgivande marken (Kritzberg m.fl. 2020). Nu visar flera forskningsrapporter att många sjöar på norra halvklotet blir allt brunare (Creed m.fl. 2018). Flera av de orsaker som diskuteras har koppling till mänsklig påverkan, såsom ändrad markanvändning och klimatförändringar. Ökad temperatur och förändrad nederbörd förväntas bidra till ökad transport av brunfärgat organiskt material (humusämnen) till våra vattendrag, sjöar och kustområden. Särskilt i nordliga lågproduktiva områden, såsom de svenska fjällen, kan ett varmare klimat leda till ökad produktion på land och därmed ökad tillförsel av organiskt material till sjöar och vattendrag. En ökad nederbörd kan också ge en större transport av brunfärgat sötvatten till våra kustområden.



Att mängden tillgängligt ljus i vattnet minskar kan få ekologiska konsekvenser. Solljus är nödvändigt för produktion av växtplankton och bottenlevande alger och växter. Detta gör i sin tur att tillgången på föda minskar, särskilt för de djur som livnär sig på bottenlevande alger som till exempel olika kräftdjur och insektslarver. Det har också visat sig att produktionen av fiskbiomassa ofta är lägre i bruna än i klara sjöar (Karlsson m.fl. 2009), vilket till stor del visat sig bero på lägre kroppstillväxt hos fisk i bruna vatten (van Dorst m.fl. 2019). Då produktionen av fisk i många fall också förväntas minska i varmare vatten kan kombinationen få relativt stora negativa konsekvenser på fiskproduktionen (van Dorst m.fl. 2019). Särskilt de fiskarter som är specialiserade att leva i klara och kalla vatten kommer att påverkas negativt. Förutom ekosystemeffekter på grund av minskat solljus till alger och växter i vattnet, kan det lösta organiska kolet gynna bakterier som kan nyttja kol som energikälla, något man också observerat i svenska kustekosystem (Wikner och Andersson 2012). Utöver effekter på ekosystemens organismer har studier visat att brunare vatten minskar värdet på sjöar för rekreation samt kan leda till behov av nya reningsprocesser för att upprätthålla god dricksvattenkvalitet (Kritzberg m.fl. 2020).

Brunifiering påverkas inte bara av klimatförändringar, utan det kol som orsakar brunt vatten kan i viss utsträckning också påverka klimatet. Det kommer sig av att ökad nedbrytning av organiskt material i bruna sjöar i vissa fall kan leda till att sjöarna släpper ut mer växthusgaser (Lapierre m.fl. 2013).

5.1.6 Varmare vatten i havet påverkar kroppsfunction, näringsvävar och fiskfångster

Haven har blivit ännu varmare det senaste årtiondet, och enligt IPCC går uppvärmningen av haven sannolikt allt fortare (IPCC 2018, 2019a). Detta har redan påverkat hela havsmiljön, genom att till exempel vattnets syrehalt minskat och stratifieringen ökat. Organismer i havet påverkas också direkt av högre temperaturer genom att deras ämnesomsättning ökar. Det här gör att många individer kan växa snabbare när det blir lite varmare, om de inte får brist på föda. Men vid ännu högre temperaturer minskar ofta organismernas intag av föda och de får svårare att tillgodose sitt ökande energibehov, innan vattnet till sist kan nå dödliga temperaturer. Vid vilken temperatur detta uppstår beror ofta på kroppsstorlek och skiljer sig dessutom åt mellan arter. Därför påverkar uppvärmning både hur stora individer blir, vilka arter som finns i havens näringsvävar, och hur dessa näringsvävar fungerar.

När klimatförändringarna gör haven varmare påverkas allt levande däri. Till exempel ökar hastigheten på biologiska processer med temperaturen (Brown m.fl. 2004). En grundläggande process hos djur är ämnesomsättningen som omvandlar kolföreningar i det djuren ätit till energi. Energin används till att växa, fortplanta sig och underhålla och reparera kroppen, liksom till beteenden och rörelser.

Organismer har en optimal temperatur där de växer bäst, och denna skiljer sig åt mellan arter. Effekten av uppvärmningen beror därför på vilken temperatur organismerna är anpassade till, och hur stor



uppvärmningen är. Arter som är anpassade till kalla temperaturer missgynnas av uppvärmning medan arter anpassade till varmare temperaturer kan komma att öka i antal och utbredning. Det här mönstret ser vi till exempel redan hos kustfisk i Östersjön, där vissa arter som är anpassade till varmare vatten har ökat under de senaste fyra årtiondena medan de som är anpassade till kallare vatten minskat (Olsson m.fl. 2012).

Sammansättningen förändras inte bara mellan arter, utan även inom arter. Uppvärmning leder till att organismer växer snabbare, förutsatt att de får i sig tillräckligt med energi och att energin inte behövs till annat än tillväxt. När ämnesomsättningen och andra fysiologiska processer blir snabbare behövs samtidigt mer energi för att reparera vävnader och organ. Eftersom en större kropp kräver mer underhåll än en liten, finns det exempel på fiskarter där uppvärmning ökar energibehovet mer hos stora individer än hos små. Det gör att varmare vatten på samma gång kan gynna små individer av fisk och vara skadligt för stora individer. Därför leder stigande vattentemperaturer ofta till skillnader i kroppstillväxt - små individer växer fortare, medan stora individer lider av värmen vilket gör att de förbrukar mer energi än vad de har tillgång till. Detta har till exempel visats i ett mångårigt uppvärmningsexperiment på abborre i Östersjön (Huss m.fl. 2019). Sådana skillnader i kroppstillväxt gör att storleksfördelningen förändras även inom populationer när vattnet blir varmare (Gårdmark och Huss 2020).

Förändringarna i förekomsten av både arter och individer av olika storlek påverkar hur havens näringsvävar fungerar. Uppvärmningen kan till exempel påverka predationsmönster och konkurrensförhållanden mellan individer och arter (Lindmark m.fl. 2018, 2019). Hur fiskar växer och hur många det finns av olika storlekar är också viktigt för hur stora fångster som kan fås inom fisket, och hur fiske kan utföras på ett hållbart sätt. Eftersom uppvärmningen gynnar små individer av fisk, medan stora individer i vissa fall till och med växer långsammare i varmt vatten, kan den totala produktionen av ny fiskbiomassa minska med uppvärmning. Genom att jämföra ett stort antal svenska sjöar har det visats att exempelvis den totala produktionen av fiskbiomassa av abborre är lägre i varma jämfört med kallare miljöer (Van Dorst m.fl. 2019). Om uppvärmning minskar primärproduktionen, vilket enligt IPCC-rapporten är mycket sannolikt, minskar mängden fisk som produceras ytterligare (Chassot m.fl. 2010). Liknande beräkningar har inte gjorts för Östersjön, men enkla skattningar på global nivå visar på att den totala fångsten av fisk i världens hav kan komma att minska med mellan en femtedel och en fjärdedel till år 2100 vid fyra graders uppvärmning (och mellan en trettiondedel till en femtondedel redan vid en grads uppvärmning), enligt IPCC. Därför måste vi hitta nya lösningar för hur ett hållbart fiske ska gå till i ett varmare hav.

5.2 Var kan vi förvänta oss särskilt starka klimateffekter?

– Några exempel

Ekosystem påverkas i olika stor grad av klimatförändringar, dels för att effekten av den globala uppvärmningen fördelas ojämnt mellan geografiska områden, dels för att klimatförändringar i hög grad samspelar med andra påverkansfaktorer och belastningar. Utöver klimatförändringar och markanvändning listar IPBES (2019) överutnyttjande av arter genom jakt och fiske, föroreningar, samt spridning av främmande arter som de viktigaste globala påverkansfaktorerna, och därmed som nyckelområden för ökade åtgärder. Dessa frågeställningar är även aktuella i den svenska miljön. I den övergripande förvaltningen av klimat och biologisk mångfald är det viktigt att se över hur olika faktorer samspelar och påverkar varandra. Där det är möjligt är det viktigt att minimera alla typer av belastningar som har en negativ effekt på ekosystemets naturliga motståndskraft, återhämtningsförmåga och förutsättningar för tillväxt och produktivitet.

5.2.1 Arktisk biologisk mångfald och socioekologiska system är särskilt utsatta

Den arktiska zonen, det vill säga området norr om polcirkeln, påverkas starkt av klimatförändringar. Temperaturökningen i dessa områden har troligen legat mer än dubbelt så högt som det globala genomsnittet under de senaste tjugo åren (IPCC 2019a). Både IPCC och IPBES betonar att just de arktiska ekosystemen kan genomgå stora förändringar i framtiden på grund av det förändrade klimatet (IPCC 2018). Sverige är ett av endast åtta länder i världen med landområden i den arktiska zonen. I Sverige utgör den arktiska zonen 15 procent av landytan. På grund av sina särdrag är arktiska ekosystem föremål för nationell (exempelvis Polarforskningssekretariatet) och internationell (exempelvis the Arctic Institute) forskning, politiskt samarbete, och fokuserade bedömningar.

Den arktiska biologiska mångfaldens känslighet för klimatförändringar sätter den i fokus när det gäller ansatser att tematiskt koppla IPCC och IPBES. Den snabba förändringen av klimatet på nordliga breddgrader har betydande konsekvenser för de arter som lever i arktiska miljöer, särskilt i bergsområden där uppvärmningen har en särskilt stark inverkan (Lenoir m.fl. 2008, Steinbauer m.fl. 2018, Prevey m.fl. 2019, Arft m.fl. 1999), växtsäsongen är kort, och det kan finnas begränsad tillgång till tillräckligt svala tillflyktsplatser (Pauli m.fl. 2012, Steinbauer m.fl. 2018). I Norrbotten förväntas en genomsnittlig ökning av nederbörd, framförallt i fjällområdena, fram till 2100, och antalet dygn med snötäcke förväntas till dess ha minskat med uppemot en månad (Bredefeldt 2015).

I IPBES regionala rapport nämns att utbredningsområden för växter (till exempel för skog) i genomsnitt har flyttats med 6,1 km per decennium mot polerna, och 6,1 m per decennium i höjd (IPBES 2018a). Växtsäsongen har tidigare lagts, och lämmelcykler har förändrats (exempelvis dämpats) på grund av förändringar i snötäckesmönster. Ett tydligt mönster av så kallad "shrubification" har framträtt, vilket tros drivas inte bara av ökad förekomst av vedväxter utan mer generellt av högt växande växter (Björkman m.fl. 2018). Snö är en viktig påverkansfaktor för arktiska växtarter (se till exempel Niitynen och Luoto 2018) och fångas inte ordentligt av klimatmodeller (dock bättre av dynamiska vegetationsmodeller, såsom LPJ-GUESS, Smith m.fl. 2001). Andra mikro-klimatiska effekter är förmodligen också viktiga, såsom lokal smältning av permafrost och skuggning från höga växter (Johansson m.fl. 2013).

Det finns tecken på en ökande klimatpåverkan på arktisk biologisk mångfald, med biotisk homogenisering som drivs av ökad andel arter som är generalister, och en minskad andel som är specialister (exempelvis alpina arter och snöbäddarter) (IPBES 2019). Framtida forskning bör dokumentera vad som leder till vegetationsförskjutningar på rumsliga (Tang m.fl. 2015; Zhang m.fl. 2013) och tidsmässiga (Miller m.fl. 2008) skalor samt undersöka nationella och internationella alternativ för att motverka negativa effekter (till exempel omplacera eller öka anslutningsförmågan för arter som minskar och/eller vars utbredningsområde förändras).

IPCC (2019a) fastslår att det finns tydliga regionala luckor i kunskap när det gäller polara ekosystem och deras biologiska mångfald, och otillräcklig information om populationsstorlekar och trender för många nyckelarter. Hur biologisk mångfald kan förväntas utvecklas i dessa regioner är svårt att förutsäga, eftersom det finns stor osäkerhet kring hur väl regionernas arter kan tänkas anpassa sig till habitatförändringar, samt hur motståndskraftiga näringsvävarna i dessa ekosystem är. Det behövs bättre förståelse för hur effektiva olika strategier är när det gäller att minimera riskerna och stärka motståndskraften i polara ekosystem och för de människor som lever där. Det finns endast begränsad kunskap om hur befintlig teoretisk kunskap om socioekologisk resiliens skulle kunna översättas till hållbar förvaltning av dessa områden (IPCC 2019a).



Ett socioekologiskt system som är av särskild relevans i Sverige är rennäringsen och den samiska kulturen. Hur detta system påverkas av klimatförändringar och konkurrens med annan markanvändning omnämns som en problemställning i IPBES regionala rapport (IPBES 2018). Ytterligare exempel på miljöer och arter som är av särskild relevans när det gäller klimatförändringar i arktiska regioner, och som vi inte går in närmare på i denna rapport, är fjällhedar, fjällbjörkskogar, snölegor, palsmyrar, och särskilt konkurrenssvaga arktiska arter (t.ex. flera alpina växtarter, och fjällräv).

5.2.2 I urbana miljöer kan blågröna lösningar stärka människors relation till naturen

Trots att urbana miljöer endast utgör cirka 3 procent av Sveriges landyta, så bor 85 procent av landets befolkning i tätorter. Dessa är därför ett viktigt forum för människors relation till och möten med naturen. Parker, stadsträdgårdar, gröna tak, träd och andra gröna inslag i urbana miljöer bidrar till en rad nyttor. Dessa områden utgör i praktiken naturbaserade lösningar som bidrar till att till exempel rena luften, reglera det lokala klimatet och förhindra översvämningar, men de är också viktiga för vårt fysiska och mentala välbefinnande och stärker vår koppling till naturen (t.ex. Dunn m.fl. 2008, se även Box 3.1 i kapitel 3).

Urbana miljöer skiljer sig från rurala när det gäller klimat, markanvändning och biologisk mångfald. Stadens klimat påverkas av klimatförändringar, men urbaniseringen leder även till ett varmare lokalt klimat (en så kallad värmeöeffekt) (IPCC 2019b). Förändringarna i klimat påverkar både biologisk mångfald och ekosystemtjänster, som dock i ännu högre grad påverkas av markanvändning, introduktion och etablering av främmande arter och föroreningar i de urbana miljöerna (IPBES 2018a, 2018b, 2019). Sammantaget kan vi förvänta oss att urbana miljöer på många vis kommer att påverkas mer av klimatförändringar än omgivande rurala miljöer (Emilsson och Ode Sang 2017). I EU:s 2030-strategi för biologisk mångfald understryks betydelsen av att återföra naturen till städerna och kommissionen uppmanar europeiska städer med mer än 20 000 invånare att utveckla ambitiösa planer för urbana miljöer (EC 2020). Dessa bör enligt kommissionen innehålla bland annat åtgärder för att med både biologisk mångfald och tillgänglighet i åtanke skapa till exempel urbana skogar, ängar och häckar men även för att förbättra förbindelserna mellan grönområden och anpassa skötseln för att gynna den biologiska mångfalden till exempel genom att inte klippa grönytor så intensivt som tidigare varit brukligt (EC 2020).

IPBES globala utvärdering lyfter att naturbaserade lösningar på städernas klimatproblem är ett möjligt sätt att också gynna biologisk mångfald. Man framhäver dock att naturbaserade lösningar såsom initiativ för grön infrastruktur också tydligt måste införliva målsättningar om att bevara natur samt utvärdera och säkerställa effekterna av denna typ av förvaltning på biologisk mångfald (IPBES 2019, se även Box 3.1 i kapitel 3). Detta är en möjlig synergi som idag ofta saknas när städer genom naturbaserade lösningar anpassar sig till ett förändrat klimat (Butt m.fl. 2018).



För att effektivt integrera åtgärder för att gynna biologisk mångfald och relaterade ekosystemtjänster i urbana miljöer behövs specifik kunskap om arternas ekologi och krav på livsmiljöer, både när det gäller livsmiljöns storlek och kvalitet. Även kännedom om arternas spridningsförmåga och därmed deras krav på funktionell konnektivitet är viktig (Ekroos 2020, Persson och Smith 2014). Det finns en rad exempel på ekosystembaserad klimatanpassning i urbana miljöer som har stor potential att också bidra till att gynna biologisk mångfald, om åtgärderna planeras med detta i åtanke. I urbana miljöer används ekosystembaserad klimatanpassning för att begränsa hetta, översvämningar och vattenbrist (Thoni m.fl. 2017). Genom att till exempel öka mängden urban grönska så sänks luft- och marktemperaturen genom skuggning och ökad avdunstning, och även rätt placerade urbana vattendrag bidrar till luftcirkulation och har en avkylande effekt. Gröna och blå ytor, istället för hårdgjord mark minskar dessutom risken för översvämningar och ökar infiltrationen till grundvattentäkter. Grönskan och utformning av vattendrag och dagvattendammar kan planeras på sätt som samtidigt gynnar biologisk mångfald.

Ett konkret svenskt exempel på möjligheten att skapa så kallade ”blågröna” lösningar för att anpassa staden till ett framtida klimat är stadsdelen Sofielund i Malmö (Alkan Olsson och Hanson 2018). Studier av Sofielund har bland annat belyst vikten av att skapa ekonomiska incitament för anläggning av blågröna lösningar, att stimulera till samarbete mellan olika grupper och kommunala förvaltningar, att skapa stadsdels-specifika forum med olika aktörer där förvaltningsalternativ kan diskuteras, och att på kommunal nivå bygga en kunskapsbank över hur blågröna lösningar kan utformas i redan bebyggda områden (Alkan Olsson och Hanson 2018).

5.2.3 I kustnära ekosystem förenas påverkan från land och vatten

Med en strandlinje mot havet på 4 800 mil har Sverige många kustnära miljöer med stor betydelse för vår biologiska mångfald. Dessa miljöer bidrar på flera sätt till biologisk mångfald och ekosystemtjänster, och knyter även ihop näringsvävar på land och i vatten (Naturvårdsverket 2018). Kustnära marina ekosystem är dock en av många typer av livsmiljöer där den biologiska mångfalden har utarmats på grund av mänsklig aktivitet det senaste århundradet (IPBES 2018a, 2019c). Samtidigt utgör klimatförändringarna ett allt större hot mot kustområden, genom havsnivåhöjning med ökad stranderosion som följd (IPCC 2019c). Här finns tydliga möjligheter för synergier mellan anpassningar till klimatförändringar och förvaltning av biologisk mångfald både på land och i havet.

Vegetationen i vattnet längs kusten skyddar mot erosion genom att minska vågenergin och genom att bidra till ansamling av sediment på botten, vilket gör att sediment transporteras mot stranden istället för bort från den (Duarte m.fl. 2013, Spalding m.fl. 2014). Ett ofta använt svenskt exempel är ålgräs (*Zostera marina*). Ålgräs växer på grunt vatten på västkusten, och något djupare ned i Östersjöns bräckta vatten upp till Egentliga Östersjön. Sveriges ålgräsängar är dock starkt utsatta för mänsklig påverkan. Till exempel längs Skånes kuster minskade utbredningen av ålgräs med 60 procent under den andra halvan av 1900-talet (Baden m.fl. 2003). Övergödning är en av de främsta anledningarna till denna minskning, men en annan viktig orsak är fysisk påverkan som till exempel bebyggelse eller muddring (Moksnes 2009). En fungerande äng av ålgräs förhindrar erosion genom att ålgräset har ett välutvecklat rotsystem som binder sediment, och växten i sig minskar vågenergin. Dessutom är ålgräsängarna en viktig livsmiljö för fiskar och ryggradslösa djur.

Längs många delar av Sveriges kust och speciellt i Östersjön med sitt bräckta vatten är kustnära våtmarker viktiga inslag för ekosystemens funktion. De är viktiga lekmiljöer för fiskar av sötvattensursprung, som gädda och abborre. Kustnära våtmarker är ofta utsatta för mänsklig påverkan, inte minst genom historisk utdikning som har lett till att en stor del av tidigare förekommande våtmarker har försvunnit eller saknar ekologisk funktion idag. Ett flertal projekt för att restaurera och återställa kustnära våtmarker pågår, primärt för att säkerställa lekmiljöer för kustfisk (Hansen m.fl. 2020). Det är viktigt att också säkerställa vilken effekt dessa åtgärder har för biologisk mångfald i en bredare bemärkelse, samt på klimatförändringar. I terrestra landskap betraktas etablering av våtmarker ofta som en naturbaserad lösning med en stor potentiell multi-funktionalitet (Thorslund m.fl. 2019). Frågor som kvarstår att reda ut är vilka effekter våtmarker har på lokal skala respektive i ett landskapsperspektiv (Thorslund m.fl. 2019) och även vilken roll våra grunda produktiva kustområden har som kolkällor respektive kolsänkor i ett föränderligt klimat (Humborg m.fl. 2019).

Kustnära strandängar och kustnära sandiga miljöer har ofta höga naturvärden, med särskilda arter knutna till sig, och även stort värde för friluftsliv och rekreation. Klimatförändringarna ökar dock osäkerheten om vad som skall hända med denna biotop. I Skåne riskerar strandängar att försvinna i takt med stigande havsnivåer (Berlin och Rosquist 2014) och har skapat konflikter mellan naturvård och behovet av att skydda bebyggelse. I Västra Götaland har beräkningar gjorts på vilka närliggande ytor kring befintliga salta strandängar som med hjälp av lämplig planering och riktad skötsel kan utvecklas till strandängar i framtiden, och därmed ersätta de livsmiljöer som förloras i takt med att havsnivån stiger (Finsberg 2014). Det är även viktigt att vara medveten om att det utöver höjd havsnivå finns andra klimatrelaterade hot mot strandängar. Ett sådant hot är ökad igenväxning i takt med att växtsäsongen blir längre i ett varmare och våtare klimat (Finsberg 2014). Med medveten skötsel av dessa miljöer kan de risker som klimatförändringar medför minimeras.

Höjningar av vattennivån och behovet av skydd mot stormar ökar behovet av klimatanpassningar i kustmiljöer (Hieronymus och Kalén 2020). Idag kan vi se allt fler exempel på ekosystembaserad klimatanpassning, som visar på potentiella synergieffekter för biologisk mångfald längs kuster runt om i världen (avsnitt 3.3, Thoni m.fl. 2017). I allt större utsträckning vill man ersätta hårda strukturer såsom friliggande vågbrytare av betong med 'gröna åtgärder' (EEA 2013). Att återplantera ålgräs (van Katwijk m.fl., Moksnes 2009) kan vara ett sätt att minska erosionen i många områden längs Sveriges kust (Thoni m.fl. 2017). För att stå emot de problem som höjda havsnivåer kommer att medföra, företrädesvis i södra Sverige, räcker det dock inte med återplantering av ålgräs, eftersom skydd även behöver etableras för kuster som är utsatta för starka vågor, högt belägna kustremsor och klinter. Sådana skydd kan i vissa fall utformas så att de gynnar biologisk mångfald, precis som skyddsåtgärder utförs för att gynna en etablering av naturligt förekommande biologisk mångfald i sandiga gräsmarker på andra ställen (Ödman m.fl. 2012). Eftersom bebyggelse i kustområden minskar deras motståndskraft och återhämtningsförmåga vid påverkan, har det svenska strandskyddet en positiv naturvårds- och klimatanpassningseffekt.

5.2.4 Krympande livsmiljöer – syrebrist i Östersjön förvärras av klimatförändringar

Ökad syrebrist är en av klimatförändringarnas många effekter på världshaven (IPCC 2019a), och studier visar att både kuster och hav blir allt syrefattigare (Diaz och Rosenberg 2008, Breitburg m.fl. 2018). Minst 700 kustnära havsområden i världen beräknas ha för låg syrehalt eller syrebrist (Diaz m.fl. 2019). Flera



Foto: Theresia Widholm

faktorer kan bidra, men i Östersjön förenas många av dessa till vad som kunde ses som den ”perfekta stormen” när det gäller syrebristens orsaker och effekter. I Östersjön är den påverkade ytan omkring 80 000 kvadratmeter vilket motsvarar 40 procent av den totala ytan och nära 30 procent av volymen (Hansson m.fl. 2019). Det här gör Östersjön till jordens största område med syrebrist påverkad av människan (Conley m.fl. 2009).



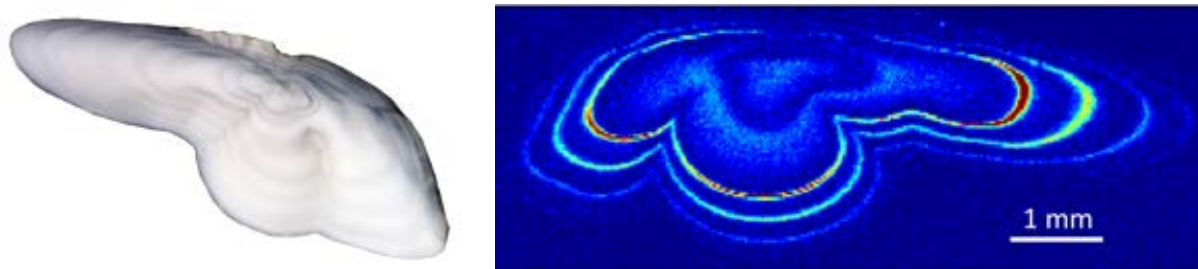
Foto Charlott Stenberg

En grundläggande orsak till den omfattande syrebristen är utsläpp av näringsämnen, framför allt kväve och fosfor. Östersjön nås varje år av övergött vatten från reningsverk, städer och odlingsmarker, eller via luften till exempel från avgaser. En positiv nyhet är att länderna runt Östersjön genom samarbete har lyckas få ned omfattningen av utsläpp betydligt, så att den årliga tillförseln nu minskar. Till de dåliga nyheterna hör dock att tillförseln fortfarande är för hög, och att de utsläpp som redan har nått havet kommer att ge effekter i ekosystemet ännu under en lång tid framöver (Gustafsson m.fl. 2011, McCrackin m.fl. 2019). Problemen förstärks av klimatförändringar (Andersson m.fl. 2015). Global uppvärmning leder bland annat till att vattnets förmåga att hålla syre försämras, och därtill förändras omsättningen av näringsämnen så att symptom på övergödning ökar, till exempel algbloomningar.

Syrebristen i Östersjöns djupvatten leder till effekter på biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Simmande djur kan i viss mån leta upp mer gynnsamma platser, men många djur är inte tillräckligt rörliga. Bottenfauna saknas idag i stora delar av Östersjön och i en ytterligare stor del har bottenfaunans artantal och artsammansättning försvagats (Karlsson m.fl. 2002, Carstensen m.fl. 2014). Även när syrebristen inte är direkt dödlig kan den leda till att djuren behöver mer energi, eller att de blir mer passiva. Många djur på havsbotten fyller en viktig ekologisk funktion genom att de under naturliga förhållanden är aktiva och gräver sig genom sand och lera för att leta efter mat. Denna så kallade bioturbation är viktig för att syresätta havsbotten, och stödja de mikrobiologiska och kemiska processer som upprätthåller den biologiska mångfalden.

Den sammanlagda effekten på en art beror på hur utsatt den är för alla belastningar som samverkar. Torsken i Östersjön har fått bära en särskild börda som exempel på sådana processer. Torsken är den viktigaste rovfisken i stora delar av Östersjön och central för att upprätthålla viktiga ekosystemtjänster. Samtidigt är den utsatt för flera påverkansfaktorer, som fiske, syrebrist och klimatförändringar, och beståndet är dramatiskt försvagat idag (Hav- och vattenmyndigheten 2020, se även avsnitt 5.2.5). Torskens konditionsindex används som ett mått på dess fysiologiska hälsa. I studier över tid ser man att torskens konditionsindex minskar parallellt med att syretillgången försämras (Casini m.fl. 2016). En viktig anledning är att den tillgängliga livsmiljön minskar på grund av syrebristen och därmed det område som är tillgängligt för födosök. Analyser av torskens hörselstenar stärker denna bild (Figur 5.2.1). Hörselstenarna sitter i fiskens huvud och växer när fisken växer så att nya ämnen hela tiden inlagras. Då uppstår kemiska spår. Resultat för prover från de senaste 40 åren visar ett tydligt samband mellan kemiska förändringar i torskens hörselstenar och hur syresituationen i Östersjön har förändrats (Limburg och Casini 2018). Under perioder med syrebrist har tillväxten försvagats. Påverkan har varit särskilt stark efter år 2000, det år när Östersjöns syreförhållanden blev påtagligt sämre (Limburg och Casini 2019).

De sammanvägda effekterna av syrebrist på arter och livsmiljöer är i många fall komplexa och flera viktiga frågor är ännu inte helt klarlagda. Det som man redan kan se, från rovfiskar som torsken till bottenlevande djur, är att syrebristen påverkar hela näringsväven och minskar förutsättningarna för biologisk mångfald.



Figur till avsnitt 5.2.1 Till vänster: Hörselsten från torsk som har simmat i Ålands hav, ett område som är relativt förskonat från syrebrist jämfört med många andra delar av Östersjön. Till höger: Samma hörselsten scannad för att detektera förekomsten av spårämnen. De färgade ränderna indikerar hög manganhalt som uppkommer under perioder av syrebrist. Dessa har sannolikt tillkommit under vintern när torsken har vandrat till djupare eller sydligare områden.

5.2.5 Förändringar i arters utbredning - Samspel mellan klimatförändringar och fiske påverkar ekosystemet

Klimatförändringar ökar temperaturen i världshaven och påverkar fördelningen av vattenmassor med olika temperatur och salthalt, vilket även påverkar utbredningen av arter (IPCC 2018, 2019a). Flera fiskarter i våra hav har fått en förändrad geografisk utbredning under de senaste decennierna. Utvecklingen beror både på direkt mänsklig påverkan och klimatrelaterade förändringar, och ger effekter på den lokala biologiska mångfalden, samspelet mellan arter i ekosystemet, och förutsättningarna för fiske.

Förändringen är särskilt tydlig i Egentliga Östersjön längs den svenska kusten. I detta område, som sträcker sig längs kusten mellan södra Skåne och Uppland, lever många marina arter på gränsen för sin naturliga utbredning. Det bräckta vattnet gör att de är särskilt känsliga för en minskning i salthalt, och gör dem även känsliga för ytterligare belastningar. Hos marina fiskarter kan stora förändringar härledas till klimatrelaterade förändringar tillsammans med direkta och indirekta effekter av övergödning och överfiske.

Torsk, skarpsill, sill och storspigg utgör den högsta delen av biomassen av fisk i Östersjön. Dagens situation jämförs ofta med den i början av 1980-talet, när torskens biomassa var ovanligt hög tack vare gynnsamma miljöförhållanden och det fanns torsk praktiskt taget överallt. I slutet av 1980-talet minskade dock beståndet på grund av ett för högt fisketryck och försämrade miljöförhållanden. Beståndet minskade kraftigt och koncentrerades till de södra delarna av Östersjön där salthalten är högre (Bartolino m.fl. 2017). Sedan dess har omfattningen av syrefria djupbottnar dessutom ökat påtagligt, på grund av övergödning och ett minskat inflöde av saltare vatten från Nordsjön. Detta har ytterligare bidragit till att torskbeståndet krympt och har även lett till att utbredningen av torsk blivit grundare under vissa årstider (Orio m.fl. 2019).

Parallellt med dessa förändringar har skarpsill, och i någon utsträckning sill/strömming, ändrat sina utbredningar från att vara mer eller mindre homogent utbredda till att koncentreras i norra Egentliga Östersjön (Casini m.fl. 2011). Denna förändring kan relateras till att en ökande vattentemperatur gynnar de två arternas reproduktion, men också till att predationen från torsk är lägre i detta område.

Norra Egentliga Östersjöns utsjö har i och med detta förlorat stor rovfisk, och gått miste om en central funktion i ekosystemet. I stället har näringsväven blivit mer dominerad av liten, planktonätande fisk, och fått en reducerad strukturell och funktionell biologisk mångfald (Oesterwind m.fl. 2013).



Storskaliga förändringar i arters utbredning och därmed i regional artsammansättning kan även leda till andra ekologiska konsekvenser, vilket man även sett i Östersjön. Skarpsillens kondition och tillväxt, och i någon omfattning även strömmingens, har gått ned i norra Egentliga Östersjön på grund av ökad konkurrens när skarpsillen blivit allt vanligare (Casini m.fl. 2011). Dominansen av planktonätande fiskar som helhet kan också öka risken för algbloomning. För torsken har en minskad tillgänglig livsmiljö, med en mycket mindre areal än tidigare, ökat den lokala tätheten av fiskar och orsakat ett överlapp med skrubbskäddans livsmiljö (Orio m.fl. 2020). Skrubbskäddan konkurrerar med torsk för bottenlevande föda. Denna ökade konkurrens, tillsammans med en ökning av syrefria djupbottnar och med det faktum att det rumsliga överlappet med pelagiska arter försämrats, har bidragit till en kraftig nedgång i torskens kondition och tillväxt under de senaste 20 åren (Casini m.fl. 2016). Dessa nedgångar i tillväxt, och därmed även i storleken, hos både torsk och de pelagiska fiskarna bidrar ytterligare till den generella förändringen i fisksamhällens struktur och funktion.

5.3 Svensk markanvändning och havsplanering i ett klimat under förändring

IPBES globala analyser pekar ut markanvändning som den största orsaken till förlust av biologisk mångfald idag, och anger att den kommer att fortsätta vara en betydande, och ofta avgörande, påverkansfaktor även i framtiden, samtidigt som effekter av till exempel klimatförändringar också kommer att öka (IPBES 2019). Som beskrevs i kapitel 3 så kan klimatförändringar förväntas ha dels en mer direkt påverkan på biologisk mångfald, dels en mer indirekt sådan genom klimatanpassning inom areella näringar och åtgärder för att motverka klimatförändringar. För Sveriges del är exempelvis klimatrelaterade omställningar i skogsbruk och jordbruk viktiga områden där vi kan förvänta oss att se denna typ av mer indirekt påverkan på biologisk mångfald. Både på land och i havsmiljöer kräver det ökade, och ofta snabba, behovet av klimatåtgärder och klimatanpassning ett helhetsperspektiv på markanvändning, med insikter i hur olika åtgärder påverkar biologisk mångfald och ekosystemtjänster på kort och lång sikt.

5.3.1 Medveten skogsskötsel kan uppfylla parallella produktions- och naturvårdsmål

Den globala rapporten från IPCC om klimatförändringar och land (IPCC 2019b) noterar att intensifiering av skogens skötsel i många fall lett till minskad överexploatering av virke och ökad produktion. En intensivare skogsskötsel associeras dock med minskad biologisk mångfald. IPBES (2019) belyser att i stort sett alla skogliga skötelsystem, både trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk, resulterar i lägre strukturell komplexitet och minskad biologisk mångfald. Mänsklig påverkan har lett till avskogning. Mer än 35 procent av Europas skogar finns i ett mosaiklandskap som är fragmenterat av annan markanvändning.

Den skog som avverkas i dag är starkt influerad av 1900-talets normer och ideal, vilka bland annat har lett till att Sveriges virkesförråd fördubblats. Trakthyggesbruk med slutavverkning och plantering har ersatt glesa, extensivt skötta kontinuitetsskogar och nedlagd jordbruksmark har beskogsats, vilket skedde i relativt omfattande utsträckning under 1950-1970. Skogsskötsel medför dock en förenkling av ekosystemen, som har lett till oönskade förluster av biodiversitet (Chapin m.fl. 2007, Felton m.fl. 2020), och kalhuggning med markberedning har en negativ påverkan till exempel på symbiotiska mykorrhizasvampar (Varenius m.fl. 2016). Samtidigt är monokulturer känsliga för angrepp av skadeinsekter (Klapwijk m.fl. 2016), och rötsvampar (Oliva och Stenlid 2011).

Markanvändning har hittills utgjort det största hotet för den biologiska mångfalden i skogen, och ett förändrat klimat kan leda till att dess känslighet ökar ytterligare. I Finland har forskning visat att skyddad skogsmark kan bromsa negativa effekter av ett förändrat klimat, genom att fåglar som missgynnas av ett varmare klimat kan klara sig bättre i skyddad skog jämfört med produktionsskogar (Lehikoinen m.fl. 2019). Samtidigt är klimatkänsligheten okänd för flertalet skogslevande arter (Mair m.fl. 2018). En portfölj av olika anpassningsstrategier kan behövas för att möta denna osäkerhet med hjälp av riskspridning, då det till stor del saknas kunskap om i vilken utsträckning olika arter är motståndskraftiga mot klimatförändringar eller har möjlighet att återhämta sig efter störningar orsakade av till exempel extrema väderhändelser (Park m.fl. 2014).

En generellt ökad efterfrågan på biomassa för exempelvis bioenergi inom EU riskerar att förstärka den globala utarmningen av den biologiska mångfalden (Di Fulvio m.fl. 2019), om bioråvaran kommer från en expansion av odlingssystem inom jord- och skogsbruk som inte uppfyller väsentliga hållbarhetskriterier. För att bevara den biologiska mångfalden behöver anpassnings- och klimatåtgärder utformas så att den biologiska mångfalden gynnas (Felton m.fl. 2016a), och med hänsyn till att artbevarande behöver ske på flera skalor där diversifiering, förluster av livsmiljöer och fragmentering sätts i ett landskapsperspektiv (Felton m.fl. 2019). Som introducerades i avsnitt 3.3 så används restprodukter från svenskt skogsbruk till inhemsk bioenergiproduktion; vilken påverkan det har på skogsekosystemets biologiska mångfald beror bland annat på vilka restprodukter som används och i vilken omfattning (se t.ex. Ranius m.fl. 2018). I en kunskapssyntes från 2018 som byggde på mångårig forskning med bland annat fältförsök, bedömdes vilka uttagsnivåer av så kallad grot (grenar och trädtoppar) och stubbar i skogsbruket som kunde vara möjlig utan att ge negativ påverkan på biologisk mångfald och andra miljöaspekter; där beaktas såväl bestånds- som landskapsnivå (de Jong m.fl. 2018).

5.3.2 Svenska skogars framtid – kollagring, biomassa och mångfald

IPCC (2018) anger att biomassan i tropiska, subtropiska, tempererade respektive boreala miljöer för närvarande håller 1085, 194, 176 respektive 190 miljarder ton koldioxid. Bevarande och återställande kan säkra och öka dessa naturliga kolsänkor. Globalt sett kan en ökad intensifiering av skogsbruket, i hög grad driven av efterfrågan på bioenergi, leda till en negativ påverkan på skogsekosystemen (IPBES 2019). För att hitta vägar till en hållbar framtid behövs bättre kunskap kring hur markanvändning och klimatförändringar påverkar den biologiska mångfalden och dess bidrag till människors välbefinnande (Filyushkina m.fl. 2016, Kim m.fl. 2018).

För att minska negativa effekter av pågående klimatförändringar på skogsekosystemen behöver skogsbruket klimatanpassas, vilket kräver andra och kompletterande åtgärder sett i relation till skogens möjlighet att generera klimatnytta (Lagergren och Jönsson 2017). Av tradition står produktion oftast i fokus, även om sociala värden kan spela stor roll för privata skogsägare (Bjarstig och Stens 2018). Ett radikalt annorlunda artval och skötsel skulle dock krävas för maximerad multifunktionalitet (Baeten m.fl. 2019) eller för att minska klimatpåverkan genom maximerat albedo (Lutz och Howarth 2014, Luyssaert m.fl. 2019). Det har framhållits att återskapande av våtmark kan vara ett bättre alternativ än skog på dikad torvmark ur ett klimatperspektiv (Kasimir m.fl. 2018). Skogens tillväxtkapacitet kan ökas genom gödsling av skogen, att använda förädlade plantor vid föryngring, samt introducera snabbväxande exotiska trädslag och snabbväxande lövträd (Lidskog m.fl. 2013), vilket kan påverka naturvärden (t.ex. Strengbom och Nordin 2008, Strengbom m.fl. 2011).

Sveriges nationella skogsprogram strävar efter att balansera alla dimensioner och nyttor, det vill säga en hållbar, ekonomisk, social och miljömässig utveckling i samklang och i enighet med ekosystemansatsen (Näringsdepartementet 2018). Utmaningen ligger till stor del i att hantera komplexiteten i de socio-ekologiska system som skötta skogar utgör (Klapwijk m.fl. 2018), där äganderätsfrågor och legitima samhälleliga mål kan hamna i konflikt. Flera frågor behöver hanteras samtidigt, såsom frågor kring klimatanpassning (Keskitalo m.fl. 2016), koldioxidupptag (Box 5.1), inklusive utveckling av internationella överenskommelser och nationella riktlinjer för användning av bioenergi (Klapwijk m.fl. 2018).

Anpassad skötsel i form av ändrad omloppstid, ökad andel lövträd, trädslagsblandning och kontinuitets-skogsbruk kan påverka stående volym och risktagande (Jönsson m.fl. 2015). Exempelvis kan en kortare omloppstid minska risken för stormskador, barkborrar och angrepp av rötsvampar. Den har dock generellt en negativ effekt på försörjande, reglerande och kulturella ekosystemtjänster, och en längre omloppstid är positivt för biologisk mångfald, enligt flertalet biodiversitetsindikatorer (Roberge m.fl. 2016); detta alternativ kan belysas vidare i exempelvis modelleringsstudier. När det gäller just omloppstid så kan en förlängd sådan vara ett bra alternativ om målet är att maximera kolinlagring (Box 5.1), samtidigt som en kortare omloppstid kan vara att föredra ur ett perspektiv som fokuserar på skoglig klimatanpassning och minimerad risk, detta då äldre skogsbestånd är mer utsatta för stormskador, granbarkborreangrepp och rottröta. Blandskogar och kontinuitetsskogar har framförts som alternativ till jämnåldriga monokulturer, där faktorer som förbättrad stormstabilitet, ökad biologisk mångfald med fler naturliga fiender och en ökning av markens kolförråd och näringsförråd samt påverkan på grundvattenkvalitet kan ge mervärden som skulle kunna uppväga en produktionsminskning.

Modellstudier bidrar till att öka kunskapen och fylla kunskapsluckor om hur markanvändning påverkar den biologiska mångfalden och därmed människors välbefinnande. Till exempel visar en studie av hur proportionen mellan gran och bok påverkar produktion, kolinlagring, strukturell diversitet och påfyllnad av grundvatten, att valet av artsammansättning påverkas av avvägningar mellan de olika ekosystemtjänsterna (Schwaiger m.fl. 2018, 2019). I en annan modellstudie låg fokus på klimateffekter och effekter av skogsskötsel på flera faktorer (t.ex. potentiell avverkningsvolym, nettoinkomst, indikatorer för biologisk mångfald, risk för stormskador, och kolinlagring), och med avseende på boreala, sydligt boreala och nemorala skogar i Sverige. Där såg forskarna att man genom en målinriktad kombination av olika bestånd med målanpassad skötsel kan nå högre grad av måluppfyllelse på landskapsnivå än vad som uppnås med nuvarande inriktning (Lagergren och Jönsson 2017). Vidare används agentbaserade modeller för att studera hur skogsägare med olika målsättningar och drivkrafter genom sina beslut påverkar skogsekosystemens struktur och tjänster (Blanco m.fl. 2017, Sotirov m.fl. 2019).

Box 5.1 Skogens kolbalans och substitutionsnytta ur ett tidsperspektiv

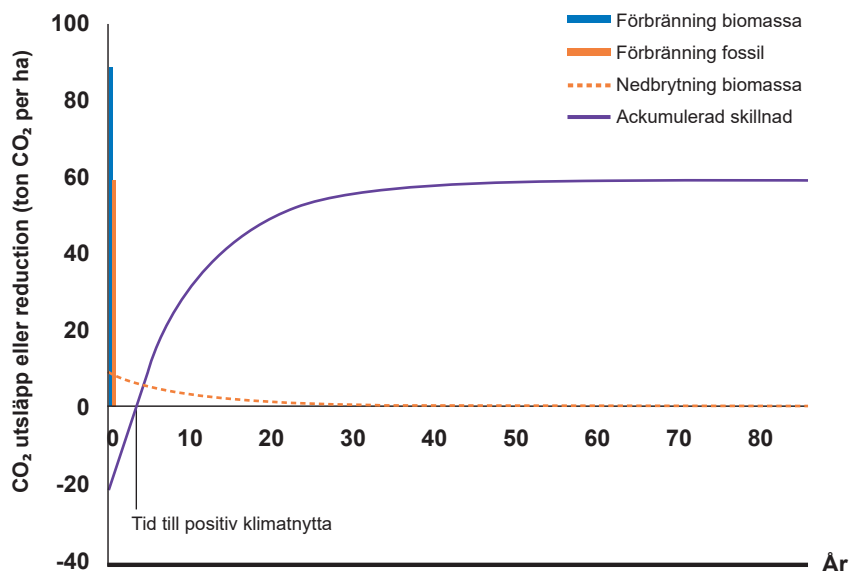
Skogens olika nyttor för klimatet kan avgränsas av två ytterligheter, som även representeras i den pågående samhällsdebatten. Å ena sidan kan skogen stå kvar och lagra kol, vilket på kort tid skulle kunna ge en maximal bromsning av koldioxidhaltens ökning i atmosfären. Å andra sidan kan skog användas till produkter som via substitution ger en minskning av andra utsläpp och lagrar kol, och till bioenergi som substituerar fossila bränslen. I dessa fall sker klimatnyttan över längre tid. När skogens olika klimatnyttor ska balanseras är det viktigt att beakta dels tidsperspektivet, dels hur påverkan ser ut på andra mål, däribland biologisk mångfald och andra naturvärden.

Av det kol som binds i skogens träd genom fotosyntesen avges drygt hälften genom trädens cellandning. Av resterande kol (nettoprimärproduktionen), blir en del kvar i det levande trädet medan en annan del dör och bildar förna. Till exempel barr och grenar men även rötter och hela träd bryts ned, varvid kolet med tiden återgår till atmosfären. När träd avverkas tas en fraktion ut (stammen och alternativt även annan biomassa) medan resten lämnas kvar och bildar förna.

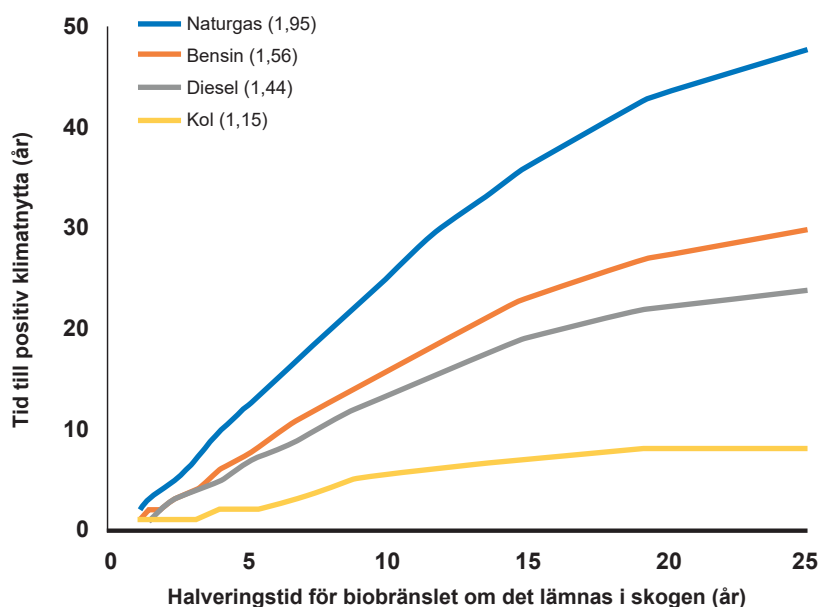
Vid skörd av biomassa för energiändamål ersätts nedbrytningen i skogen med en förbränning som kan utnyttjas till att ersätta fossilt kol. Klimatnyttan med att använda biobränsle från skogen kan därmed ses som att man begränsar cellandningen i skogsmark och istället tar tillvara den energin. Ett uttag av biomassa för energiändamål leder alltid till ökat koldioxidutsläpp på kort sikt, men ger på lång sikt ett minskat utsläpp (Figur Box 5.1.a). Tiden det tar till minskat utsläpp kan variera mellan ett och uppemot 25 år beroende på vilken typ av biomassa som skördas. För helträd och stubbar som bryts ned långsamt tar det längre tid, medan effekten infaller snabbare för grot (grenar och trädtoppar), som bryts ner snabbare. Tiden det tar tills man får en utsläppsminskning beror också på vilket fossilt bränsle som substitueras med biobränsle (Figur Box 5.1.). Klimatnyttan av att substituera annat fossilintensivt material, exempelvis cement och stål, i långlivade produkter är mer komplex att kvantifiera. Den beror till exempel på vad som ersätts, om den totala konsumtionen ökar eller inte, och vad som händer längre fram vid återvinningen av det som en gång har lagts in i kretsloppet.

Skogsmarkens totala nedbrytning kan ses som en potential, där en del är mycket svår eller omöjlig att utnyttja (t.ex. barr och finrötter som omsätts årligen), medan en annan del kan tas upp betydligt enklare (t.ex. hyggesrester). Genom att ta tillvara hyggesrester ersätts dock den naturliga nedbrytningen, vilket utgör en viktig del av livet i skogen (Ranius m.fl. 2018, IPCC 2019b). Skogens nedbrytare är en central del av skogens födoväv och tillgången på död ved och hyggesrester påverkar många arters livsmiljöer. Därför är det viktigt att nyttja den del av potentialen som kan identifieras som effektiv när det gäller substitution och som åsamkar minst skada på andra aspekter när den utnyttjas.

Modifierat från Jönsson m.fl. (in prep): Dragkampen om skogen – en syntesrapport om uthålligt brukande med fokus på klimat, miljö och bioenergi. BECC syntesrapport. (www.becc.lu.se)



Figur Box 5.1.a Om man har ett skogsbestånd och står inför valet att tillfredsställa ett visst energibehov med hjälp av fossilt bränsle eller bränsle från skogen är det förenklat två koldioxidflöden som är viktiga att beakta. Det initiala flödet från förbränningen blir högre vid nyttjande av biobränsle eftersom det har högre koldioxidutsläpp per producerad energienhet än fossila bränslen (från 1.15 ggr högre, jämfört med kol upp till 1.95 ggr jämfört med naturgas³). Om den biomassa som skördas för biobränsle istället lämnas kvar i skogen bryts den ned med ett exponentiellt avtagande förlopp över en viss tid som framförallt beror på typen av biomassa (barr bryts ned snabbt och stubbar långsamt) men också på klimatet (temperatur och fuktighet). Det tar därför tid innan positiv klimatnytta erhålls. Tiden det tar beror på vilken typ av fossilt bränsle som ersätts samt nedbrytningshastigheten (se vidare figur nedan).



Figur Box 5.1.b Tid till positiv klimatnytta vid ersättande av fossila bränslen med olika kvoter för koldioxidutsläpp per producerad energienhet jämfört med biobränsle, och med olika nedbrytningshastigheter. Beräkningarna baseras på att en omställning sker för ett helt skogsområde där det varje år avverkas ett bestånd. Ju längre biomassans halveringstid är, desto längre tid tar det till klimatnytta vid substitution av olika fossila bränslen. Vid utnyttjande av grot, som har en halveringstid på 2-5 år, har man således en säker och snabb klimatnytta medan det vid utnyttjande av stubbar och helträd, med en halveringstid på 15-25 år, kommer att ta längre tid till positiv effekt uppnås, oavsett vilket fossilt bränsle som substitueras.

³www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index_e.php

5.3.3 I jordbrukslandskapet möts produktion, naturvård och klimatåtgärder

Jordbruket står inför utmaningen att producera tillräckligt mycket mat i en värld med en växande befolkning, samtidigt som klimatet påverkar förutsättningarna att bedriva jordbruk. Både IPBES och IPCC lyfter utmaningarna för framtidens lantbruk när det gäller att säkra produktionen och hitta långsiktigt hållbara lösningar som minimerar negativ natur- och klimatpåverkan. Anpassningen av svenskt jordbruk till nya klimatförutsättningar innebär såväl risker som möjligheter för agroekosystemens biologiska mångfald.

Den biologiska mångfalden i svenska jordbrukslandskap har påverkats negativt av två kontrasterande utvecklingar: nedläggning av jordbruksmark och jordbrukets intensifiering, med stora regionala skillnader i biologisk mångfald som följd (Smith m.fl. 2017). Klimatförändringarna kan påverka båda dessa processer och därmed leda till fortsatt förändring av biologisk mångfald, både positiv och negativ. Till exempel kan jordbrukets förutsättningar påverkas både av klimatet och av ett ökat behov av bioenergi som kan produceras på jordbruksmark. Samtidigt kommer klimatförändringar att i ökande grad påverka jordbrukslandskapets biologiska mångfald genom att gynna vissa arter och missgynna andra, med konsekvenser även för de ekosystemtjänster som jordbruket nyttjar.

I Sverige förväntas klimatförändringarna kunna påverka jordbrukets produktivitet positivt, men samtidigt introduceras också nya utmaningar, till exempel extrema väderhändelser (som torkan 2018) och ökad förekomst av skadegörare (Eckersten m.fl. 2008, Wihren 2018). IPBES för fram att det finns en rad åtgärder för att uppnå ett hållbart jordbruk under sådana omständigheter, samtidigt som biologisk mångfald och ekosystemtjänster bevaras. Metoder som stödjer hållbarhet i jordbruket innefattar exempelvis integrerat växtskydd och hushållning med växtnäring, plöjningsfritt jordbruk och agroforestry (på svenska ofta benämnt skogsjordbruk).



Foto Maria Björk Renner

IPBES för även fram den ekologiska odlingen som ett användbart verktyg. Genom att bryta jordbrukets konventionella intensifiering kan ekologisk odling gynna biologisk mångfald och landskapens multifunktionalitet, vilket inte minst svensk forskning visat (Smith m.fl. 2017). Eftersom ekologiskt jordbruk ofta leder till minskade skördar, har det befarats leda till ökat behov av att exploatera mark för jordbruk, med andra negativa konsekvenser för biologisk mångfald som följd (se till exempel Phalan m.fl. 2014, Kremen m.fl. 2015), men detta synsätt har också ifrågasatts (Tscharntke m.fl. 2012, Fischer m.fl. 2014). Hur stor klimatpåverkan från ekologisk odling är jämfört med konventionell odling beror bl.a. på om man jämför per yta eller per skördeenheter (t.ex. Seufert och Ramankutty 2017, Rööf m.fl. 2018). I Sverige utgår stöd till ekologisk odling, och dessa går till stor del till mindre produktiva jordbruksområden. Detta innebär att stöden har en begränsad påverkan på odlingen i många av de produktiva områden där mångfalden minskat mest, som slättbygder, men å andra sidan kan stöden bidra till att motverka nedläggning av jordbruk i mindre produktiva områden där jordbruket är viktigt för mångfalden (Rundlöf och Smith 2006).

Agroekologisk intensifiering har föreslagits som en naturbaserad lösning (Maes och Jacobs 2015) för att skapa ett hållbart jordbruk som är mindre beroende av växtskyddsmedel och konstgödning (Bommarco m.fl. 2013), och har lyfts av IPBES som en möjlighet för att bevara biologisk mångfald i jordbruket (IPBES 2016a, 2019). Vid agroekologisk intensifiering utnyttjas naturliga ekologiska processer, som biologisk bekämpning av skadegörare genom naturliga fiender, pollinering genom vilda pollinatörer och näringsämnes-cirkulation, för att med bibehållen eller ökad produktion minska behovet av insatsvaror. En åtgärd som skapar synergier med bevarande av biologisk mångfald är att öka landskapets heterogenitet. Svensk forskning har visat att mångfald i landskapet i olika former – till exempel ökat inslag av mer eller mindre naturliga habitat, anläggning av livsmiljöer som förstärker mångfald, och ökad diversitet av grödor – gynnar biologisk mångfald (t.ex. Belfrage m.fl. 2015, Josefsson m.fl. 2017), naturliga fiender och pollinatörer (t.ex. Ekroos m.fl. 2013, Aguilera m.fl. 2020), och stärker ekosystemtjänster som är viktiga för jordbruket (t.ex. Rusch m.fl. 2013). Resultaten från olika studier är dock inte entydiga (se t.ex. Hiron m.fl. 2015, Herbertsson m.fl. 2018), primärt eftersom responsen ser olika ut hos olika arter och funktionella grupper (t.ex. Ekroos m.fl. 2013), och det återstår att visa om denna heterogenitet har en påtaglig effekt på skörden. Internationell forskning har visat likadana effekter (Martin m.fl. 2019), men också uppmärksammat variationen i hur organismer reagerar på landskapets struktur (Karp m.fl. 2018).

För att effektivt implementera ekologisk intensifiering krävs sannolikt en bättre förståelse av vilka aspekter av heterogenitet som bidrar till olika processer, så att det går att göra antaganden om var och när en viss åtgärd faktiskt fungerar. Möjligheterna till lågintensivt jordbruk kan komma att försvåras i ett varmare klimat om risken för skadedjursangrepp ökar (jfr Jordbruksverket 2017), men å andra sidan ökar betydelsen av metoder som utnyttjar naturliga ekosystemtjänster och kan undvika ökad användning av insatsmedel.

Genom att bruka jordbruksmark på ett sätt som ökar markens kolinlagring möjliggörs positiva synergieffekter för biologisk mångfald, produktion av grödor och klimatet. Växter binder kol genom fotosyntesen, och det kol som inte används av växterna själva eller konsumeras av växtätare blir med tiden organiskt material i marken. Eftersom marken är en viktig kolsänka, kan åtgärder som ökar andelen organiskt material i marken, såsom perenna grödor, mellan- och täckgrödor och minskad markbearbetning (Haddaway m.fl. 2015, Haddaway m.fl. 2017), vara ett sätt att minska klimatpåverkan (Lal m.fl. 2011). Denna effekt kan dock förr eller senare avta genom att marken uppnår en kolmättnad (IPCC 2019). Det organiska materialet i marken utgör även energi för de hundratusentals arter av bakterier, svampar och djur som lever i marken, och upprätthåller på så vis det komplexa ekologiska nätverk som de ingår i. Dessa markorganismer omsätter organiskt material och omvandlar det till näringsämnen för växterna, vilket ökar jordbrukets produktivitet och minskar behovet av kvävegödsel (Brady m.fl. 2015). Men mer kol i marken ökar även markens vatteninfiltration och vattenhållande förmåga (Barrios 2007, Wall m.fl. 2012), vilket motverkar effekter av extremt väder (IPCC 2019).

Givet ett ökat behov av biobaserad energi (avsnitt 3.3, 4.5), så ökar trycket för att använda grödor och restprodukter (exempelvis halm) från jordbruket till bioenergi. För att undvika målkonflikter mellan matproduktion och biomassaproduktion för energi, har man bland annat föreslagit att biomassaproduktionen ska dirigeras till marginalmarker (Werling m.fl. 2014). Marginalmarker har definierats på många olika

sätt, inklusive oanvänd eller underanvänd åkermark och utarmade eller övergivna marker (Dauber m.fl. 2012). Enligt en annan definition innebär marginalmark sådan jordbruksmark som inte är ekonomiskt lönsam eller kostnadseffektiv (Carlsson m.fl. 2017). Från EU:s sida har man gett stöd för bioenergigrödor på trädesarealer inom aktiv odlingsmark, som en del av de ekologiska fokusarealerna inom förgröningsstödet, vilket i Sverige inneburit odling av energiskog (Söderberg 2016). Nyttjande av marginalmark för energiproduktion kan ha både positiva och negativa effekter på biologisk mångfald, beroende på vilken slags mark som tas i anspråk; vissa marginalmarker har särskilt hög biologisk mångfald, exempelvis om det handlar om övergiven ängs- och hagmark.

Ett starkt fokus på ökad biomassaproduktion kan få oväntade negativa effekter på biologisk mångfald i jordbrukslandskapet, om jordbruksmarker med hög biologisk mångfald börjar utnyttjas. Det saknas dock idag till stor del forskning om avvägningar mellan bevarandevärden av biologisk mångfald och ökad biomassaproduktion. Ett exempel är dock pågående forskning kring outnyttjade gräsmarker för biologisk mångfald och bioenergi (Carlsson m.fl. 2015; 2017), och det finns tidigare svensk forskning som visat viss positiv koppling mellan energiskog och lokal biologisk mångfald (t.ex. Börjesson 1999). Att integrera odlingar av energigrödor i landskapet kan också bidra till ett mer varierat landskap och skapa ekologiska korridorer i odlingslandskapet, längs vilka växter och djur kan förflytta sig (Berndes m.fl. 2008). Det kan även bidra till att jordbrukets övergripande miljöpåverkan minskar (Englund m.fl. 2020, Brady m.fl. 2019). Fleråriga odlingssystem av energigrödor kan även bidra till minskat näringsläckage och erosion, som indirekt kan ge positiva effekter på biologisk mångfald och andra positiva synergieffekter (Styles m.fl. 2016). Andra exempel på åtgärder som föreslagits ha positiv påverkan på både klimat och biologisk mångfald är skapandet av bevuxna kantzoner och återvätning av dränerad organogen jordbruksmark, exempelvis dikad torvmark (Haddaway m.fl. 2018, Markensten m.fl. 2018).

5.3.4 Klimatförändringar och påverkan på biologisk mångfald förstärker behovet av områdesskydd i havet

Våra havsmiljöer påverkas på flera sätt av klimatförändringarna och dess effekter (IPCC 2019a). Livsmiljöer i både Västerhavet och Östersjön förändras då vattentemperatur, salthalt och vattenströmmar förändras, och därmed även vattenmassornas skiktningar såväl som närsaltsförhållanden. Modeller anger att utbredningen av arter och populationer kommer att omdanas i betydande utsträckning, och i de flesta fall påverka den biologiska mångfalden negativt.



Svenska havsområden omfattar flera olika typer av livsmiljöer och en stor och variationsrik biologisk mångfald. I Västerhavet återfinns några av våra totalt sett mest artrika miljöer. Till exempel i Skagerraks nordliga djupränna, som står i förbindelse med världshaven, finns rev av ögonkorall till vilka över 300 andra arter har kunnat knytas. Flera av arterna är sällsynta eller hotade (Eide m.fl. 2020). Det svenska artprojektet följde under åren 2006-2009 i spåren av tidigare omfattande marinbiologiska expeditioner i Kattegatt och Skagerrak, som utförts 1921-1938 (Jägerskiöld 1971). Resultatet påvisade en dystert utveckling då bara en tredjedel av de arter som Jägerskiölds expeditioner noterade kunde påträffas igen (Obst m.fl. 2018). I första hand hade de arter som var ovanliga redan på Jägerskiölds tid försvunnit, men också mer förekommande arter tycktes ha minskat och blivit ovanligare. Endast ett fåtal arter visade på en ökning.

Direkta, indirekta och samspelande effekter av såväl ett intensivt fiske, destruktiva fiskemetoder, miljögifter, marint skräp och förhöjd närsaltsbelastning har under långt tid försämrat vattenkvalitet och livsvillkor för arter i havet (HELCOM 2018, OSPAR 2017). Bottentrålning har orsakat särskilt betydande skador på havets ekosystem (Eijgaard m.fl. 2017). En viktig faktor är att denna typ av utarmning skett under lång tid utanför omvärldens blickar. Havet är dessutom fortfarande en svårtillgänglig miljö: Även om vi har mycket större kännedom om marina miljöer idag än för bara något decennium sedan så är vår kunskap om arter i havet, deras ekologi och samspel, till stora delar okända. Trots att det till stora delar saknas kunskap om klimatförändringarnas faktiska effekter så vet vi dock med stor säkerhet att de kommer att få stora konsekvenser på den marina biologiska mångfalden (IPCC 2019a).

Arterna i våra hav finns där för att den befintliga livsmiljön ger dem förutsättningar för att överleva och i de flesta fall även reproducera sig. Modellerade scenarier för hur livsmiljöer påverkas av klimatförändringar gör dock gällande att dessa förutsättningar kommer att förändras för flera arter (Törnqvist m.fl. 2019). Den minskade salthalten i Östersjön innebär att flera nyckelarter för ekosystemens produktion kommer att försvinna. Torsk, strömming, blåmussla och blåstång är alla exempel på marina arter, som lyckats anpassa sig till Östersjöns brackvattensförhållanden men som kommer att få det svårt i ett ytterligare utsötat och varmare vatten (Törnqvist m.fl. 2019). Både i Västerhavet och i Östersjön kommer framför allt arter som redan nu är på skiljelinjen till vad de klarar av att påverkas mest. Framför allt förväntas klimatförändringarna att påverka arter som kräver svalare och saltare miljöer, medan arter som tål högre vattentemperaturer kan gynnas. Även flera sydligare arter som idag inte hör hemma på våra breddgrader kan komma att göra sig hemmastadda. Sådana förändringar kan i vissa fall innebära ett ökat antal arter men de medför även risker för existerande ekosystem, särskilt i de fall de nya arterna blir invasiva. En ökad risk för spridning och överlevnad av parasiter och andra patogener kan även de utgöra ett ökat hot i klimatförändringarnas spår (Strand m.fl. 2018).

Har havet någon chans överhuvudtaget i en tid av förändring? Det finns fortfarande betydande möjligheter att mildra de skadliga effekterna, och kanske även undvika vissa av dem (IPCC 2018). En förbättrad ekosystembaserad förvaltning förväntas kunna minimera den totala belastningen på havsmiljön och därmed minska negativa synergieffekter av mänskliga aktiviteter. Välriktade och genomgripande åtgärder för att skydda, stärka och i vissa fall restaurera livsmiljöer är centrala, och behövs för att säkerställa ekosystemens inneboende resiliens som dämpar negativa konsekvenser av klimatförändringar. EU-kommissionens nyligen presenterade biodiversitetsstrategi är ett exempel på hur viktigt det är att agera (EC 2020). Flera åtgärder är möjliga att implementera snarast, som ett ökat och stärkt områdesskydd, begränsningar av fysisk påverkan genom regleringar av fiske, båttrafik och exploatering, samt för att begränsa utsläpp av farliga ämnen och närsaltsbelastande ämnen. Strategin gör även tydligt att insatser för att dämpa krisen för såväl klimat som förlust av biologisk mångfald måste inbegripa storskaliga förändringar i så gott som alla samhällssektorer.

5.3.5 Havsbaserad vindkraft – en risk eller möjlighet?

Förnybar energi har en central roll bland åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser (IPCC 2019a). I Sverige finns förutsättningar för att utveckla havsbaserad vindkraft eftersom vi har en lång kuststräcka med goda vindförhållanden. Jämfört med på land förväntas områden till havs vara mer lämpade för storskalig energiproduktion eftersom konkurrensen med andra verksamheter är mindre. Planeringen är dock inte okomplicerad. Förutom de hänsyn som måste tas till andra samhällssektorer, som sjöfart och militära områden, finns en påtaglig risk för negativ påverkan på biologisk mångfald. Samtidigt är många naturvärden i havet redan utsatta för stor och ökande påverkan.

Sverige var bland de första länderna som inte bara installerade vindkraft till havs, utan även initierade omfattande kontrollprogram för att utvärdera dess effekter på miljön (Naturvårdsverket 2020). Idag har flera andra länder passerat Sverige när det gäller havsbaserad vindkraft (Walsh 2020). De nya svenska havsplanerna innehåller dock relativt omfattande utrymme för vindkraft (Havs- och vattenmyndigheten 2019).

Frågan påverkar inte enbart energiproduktion utan även biologisk mångfald, eftersom våra havsområden redan idag är kraftigt utsatta för belastningar (HELCOM 2018). Områden som är mest lämpliga för havsbaserad vindkraft ur teknisk synpunkt sammanfaller ofta med viktiga naturvärden, till exempel grunda utsjöbankar som ofta har unika livsmiljöer och i flera fall fungerar som refuger för biologisk mångfald (Naturvårdsverket 2010). Med en förbättrad teknisk utveckling ökar förutsättningarna för att etablera vindkraft något djupare samt att minska dess påverkan på miljön.

En viktig frågeställning är hur man kan minimera negativ påverkan på fåglar. Även om flera arter av sjöfågel klarar av att undvika de roterande bladen, så gör deras undvikande att de trängs undan från området (Rydell m.fl. 2017). Risken för negativa effekter på populationsnivå ökar om vindparken skulle sammanfalla med viktiga livsmiljöer för sjöfåglarnas häckning, övervintring eller rastning under flyttningen. En annan viktig fråga är påverkan på marina däggdjur, framförallt tumlaren som är listad som livskraftig i Skagerrak, Kattegatt och Öresund, men som är akut hotad i Östersjön (SLU Artdatabanken 2020). Tumlaren kommunicerar med ljud och använder eko-signaler vid födosök. Det ljud som kommer från vindkraftverken kan därför påverka tumlarens naturliga beteende. Framför allt kan de höga ljudimpulser som uppstår när man installerar vindkraftverkens fundament ge permanenta skador på tumlarens hörsel om man inte vidtar mildrande åtgärder och undviker viktiga områden för tumlare (Nabe-Nielsen m.fl. 2018).

Vindparkerna leder dock inte bara till uteslutning av arter. Vissa arter gynnas av de nya strukturer som uppstår vid fundamenten eller vid de stenar och block som ofta anläggs som erosionsskydd omkring dem. Dessa miljöer fungerar i praktiken som artificiella rev, och är gynnsamma för till exempel musslor,



sjöstjärnor, krabbor och flera fiskarter (Dannheim m.fl. 2019). Även större fiskar kan attraheras till reven för att leta efter föda. Om en sådan reveffekt även ger upphov till en ökad produktivitet under svenska förhållanden, eller enbart leder till en omfördelning av arter, är dock oklart (Bergström m.fl. 2015).

Vilka arter som kan tillkomma och gynnas i en viss miljö är inte enkelt att förutsäga. Potentiellt negativa effekter kan tillkomma om reven fungerar som etablerings-punkter för främmande arter, eller i första hand gynnar opportunistiska arter som inte bidrar till ökad biologisk mångfald (Dannheim m.fl. 2019). Under alla förhållanden ger vindkraftverken upphov till en ny typ av livsmiljö, som inte tidigare förekom i området, och påverkar därmed den naturliga biologiska mångfalden (Bergström m.fl. 2015).

Eftersom vindparker inte är förenliga med de flesta typer av fiske, särskilt inte med rörliga redskap, kan man under vissa förhållanden även förvänta sig en indirekt positiv effekt eftersom störning av havsbotten från trålning skulle minska. Detta kunde förbättra förutsättningarna för bottenlevande arter, som idag är påverkade av bottentrålning i stora områden (Bergström m. fl. 2019). Det har även framförts att vindkraftverk kan ge en lokal skyddseffekt på fiskbestånd, om fisket utesluts. En sådan effekt är dock osäker, och beror i hög grad på hur fiskerierna i stället skulle omfördelas.

Den sammantagna bilden belyser vikten av en helhetssyn på hur man använder den marina miljön. Behovet ökar eftersom klimatförändringarna förväntas leda till nya direkta och indirekta belastningar. Både arters utbredning och samspelet mellan olika arter förväntas bli förändrade (se t.ex. avsnitt 5.2.5, 5.3.4). En nyckelaspekt är att undvika nya typer av belastningar och samtidigt planera för en sammanvägd effekt som motsvarar ett hållbart nyttjande.

5.3.6 Översvämningar i sötvatten – klimatförändringar ökar trycket på ekosystemtjänster

Klimatförändringarna förutspås leda till mer intensiva skyfall och mer frekventa översvämningar i Sverige (IPCC 2019b, SMHI 2020) och därmed också till negativa effekter och ett ökat tryck på många ekosystemtjänster i sjöar och vattendrag. Hur ekosystemet och den biologiska mångfalden påverkas beror till stor del på vilken mark som översvämmas och hur väl de reglerande ekosystemtjänsterna kan dämpa de negativa effekterna.

Många viktiga ekosystemtjänster kommer från sjöar och vattendrag. Till dessa räknas bland annat upprätthållande av biologisk mångfald, livsmiljö, dricksvatten, reglering av översvämning samt rekreation (Naturvårdsverket 2017). Med en ökad befolkning har tillgången på ekosystemtjänster blivit alltmer hotad av mänskliga aktiviteter, som bland annat vattenkraft, skogsbruk, jordbruk och fiske. Ett annat stort hot är klimatförändringarna, som även IPBES (2019) konstaterade. Klimatförändringar förväntas i Sverige att leda till mer intensiva skyfall och mer frekventa översvämningar (SMHI 2020). Ekosystemen i sötvatten är bland de mest påverkade på jorden (Dudgeon m.fl. 2006) och den biologiska mångfalden där minskar (IPBES 2019). I en kartläggning över ekosystemtjänster i svenska sötvatten bedömdes majoriteten av ekosystemtjänsterna vara måttlig påverkade (Bergek 2017).

Naturens förmåga att själv kunna reglera mängden vatten är central. Under normala förhållanden transporterar sjöar och vattendrag vatten från inlandet till havet och förhindrar att landmassan översvämmas. Även avdunstning av vatten till atmosfären begränsar översvämning, om än i mindre grad. Svämplan är plana ytor längs vattendrag som formas genom återkommande översvämningar, och som är vanliga längs små och stora vattendrag i Sverige. Svämplan dämpar höga flöden och minskar näringstransporten i vattendragen och fungerar därmed som vattendragets säkerhetsventil. Även våtmarker fungerar som ett översvämningsskydd mot övrig mark. I Sverige har vi bara en bråkdel av de forna våtmarkerna kvar (Verhoeven 2014). Förlust av våtmarker är även en av de viktiga drivkrafterna bakom förlusten av biologisk mångfald i jordbrukslandskapet (Bradbury och Kirby 2006). Våtmarker kan, förutom att reglera mängden vatten, med andra ord vara en bra åtgärd även för att öka den biologiska mångfalden i jordbruksmark. Utöver detta är våtmarker viktiga även för det omgivande landskapet och fyller en viktig funktion för att skapa nätverk mellan olika naturtyper (IPBES 2019). I ett väl fungerande ekologiskt nätverk med olika strukturer, livsmiljöer och naturområden, även kallat grön infrastruktur, har arter möjlighet att sprida sig på ett obehindrat sätt (se avsnitt 3.3). Grön infrastruktur bidrar därmed till att stärka och bevara ekosystemen och främja den biologiska mångfalden och ekosystemtjänster.

Vilken påverkan översvämningar har på den biologiska mångfalden och övriga ekosystemtjänster beror till stor del på vilken mark som översvämmas samt mängden vatten. Översvämning leder till en ökad markavrinning från både yt- och grundvatten. Översvämning på jordbruksmark kan därmed leda till ett för stort läckage av näringsämnen, som kväve och fosfor, i vattnet. Ökad markavrinning från industri- och stadsmiljöer kan leda till ett ökat läckage av näringsämnen och föroreningar. Förutom att markavrinning och medförsel av olika ämnen sätter ett större tryck på de reglerande ekosystemtjänsterna, som till exempel vattenrening, reglering av giftiga ämnen, reglering av övergödning och sedimentkvarhållning, har det en direkt negativ effekt på den biologiska mångfalden och därmed också samtliga andra ekosystemtjänster.

För att minska de negativa effekterna och trycket på ekosystemtjänsterna, eller stärka/tillskapa nya, behövs åtgärder som ser till att vattnet kan fördelas i landskapet på ett effektivt och bra sätt, i både tid och rum. Det kan vara till exempel att anlägga av funktionella kantzoner, restaurera svämplan och anlägga våtmarker. I Sverige har ett stort antal våtmarker skapats de senaste åren men det finns få vetenskapliga studier som följt upp konsekvenserna (Strand och Weisner 2013). På vilken geografisk skala åtgärden påverkar den biologiska mångfalden behöver också beaktas. Internationella studier visar att våtmarker som skapats för att gynna biologisk mångfald har varit positivt för återskapandet av både lokal och regional biologisk mångfald (Galatowitsch och van der Valk 1996, Seabloom och Van Der Valk 2003). Vilka åtgärder som är mest lämpliga i en viss typ av miljö och var i landskapet dessa ger mest önskvärd effekt, både för reglering av mängden vatten samt för den biologiska mångfalden och övriga ekosystemtjänsterna, är ett viktigt område för fortsatt forskning.



6. Möjligheter och utmaningar – synergier mellan klimatåtgärder och bevarande av biologisk mångfald i Sverige

Sammanfattande slutsatser

Klimatförändringar och förlust av biologisk mångfald är tätt sammanlänkade, vilket skapar både utmaningar och möjligheter. Klimatförändringar påverkar biologisk mångfald, men utarmning av ekosystem kan även påverka klimatet och naturens förmåga att hantera klimatförändringar. Rapporterna från IPCC och IPBES visar hur det är både nödvändigt och möjligt att ta hänsyn till synergier - det vill säga att beakta hur klimatåtgärder påverkar biologisk mångfald och hur åtgärder för att bevara biologisk mångfald påverkar klimatet. Genom att ta vara på positiva synergier är det möjligt att begränsa klimatförändringarna samtidigt som man bevarar den biologiska mångfalden, vilket kan gynna både naturens inneboende värden och de nyttor för människan som biologisk mångfald och ekosystem kan bidra med.

Markanvändningen har en central roll både för klimatet och för biologisk mångfald. Sammantaget visar IPCC och IPBES att om inte markanvändningens negativa effekter på klimat och biologisk mångfald begränsas, kommer konsekvenserna för människors välfärd bli mycket stora. Påverkan på biologisk mångfald från markanvändning kan i flera fall bli större i takt med klimatförändringarna, genom att klimat och markanvändning samspelar. Samtidigt kan en hållbar markanvändning som gynnar biologisk mångfald leda till minskade växthusgasutsläpp och öka ekosystemens resiliens mot klimatförändringar. Både IPCC och IPBES framhåller att frågan om hur vi använder mark är avgörande när det gäller att begränsa riskerna för kommande generationer.

Det finns en stor potential i att skapa synergier för att stärka naturvärden och klimatarbetet. För att kunna ta vara på synergier är det viktigt att beakta påverkan på biologisk mångfald vid utformning av åtgärder för att anpassa oss till eller begränsa klimatförändringar. På samma sätt är det viktigt att beakta vilken påverkan åtgärder för att bevara eller restaurera biologisk mångfald har på klimatet. Enligt rapporterna från IPCC och IPBES kan många klimatåtgärder ge positiva bidrag till biologisk mångfald, till exempel att bevara och återställa naturliga ekosystem som våtmarker, kustområden och skogar, medan utarmning av jordens ekosystem underminerar de ekosystemtjänster som är avgörande för att begränsa och anpassa oss till klimatförändringar.

Enligt IPBES och IPCC behövs kraftfulla åtgärder för att nå ekologisk och samhällsekonomisk hållbarhet. Ett centralt begrepp är genomgripande samhällsomställning (transformative change), som innebär åtgärder i samtliga delar av samhället. Genomförandet av åtgärderna bör äga rum omgående eftersom utmaningens omfattning ökar avsevärt med tiden. Åtgärder som sätts in nu är mer kostnadseffektiva och genererar större samhällsnytta än motsvarande åtgärder i framtiden. När det gäller klimatet, blir risken för oåterkalleliga förändringar, behovet av drastiska åtgärder och beroendet av osäkra negativa utsläpp större ju längre det dröjer innan åtgärderna sätts in och börjar ha effekt. När det gäller biologisk mångfald kan förlusten bli oåterkallelig genom att livsmiljöer förändras och organismer utrotas om inte åtgärder genomförs i närtid.

För att hantera klimatförändringar och motverka förlusten av biologisk mångfald krävs ökade kunskaper både hos beslutsfattare och - ur ett demokratiskt perspektiv - befolkningen i allmänhet. Som även betonas i utredningen ”Synliggöra värdet av ekosystemtjänster” (SOU 2013:68), behövs en grundläggande kunskap i samhället om hur biologisk mångfald och ekosystemprocesser bidrar till välfärden i bred mening, eftersom detta är en förutsättning för att ta fram och skapa förståelse och stöd för hållbara beslut. På samma sätt behöver sambanden mellan klimat, biologisk mångfald och ekosystemens funktioner vara allmän kunskap, vilket ställer krav på riktade kommunikations- och informationsåtgärder på flera samhällsnivåer.

Rapporterna från IPBES och IPCC är rika källor till kunskap, som ger en bred vetenskapligt förankrad översyn av det aktuella kunskapsläget inklusive en analys av säkerheten i de slutsatser som presenteras. Rapporterna kan fungera som en gemensam bas och utgångspunkt för arbete på olika

nivåer: globalt, nationellt, och lokalt. För att bli tillämpbar i förvaltningen av våra naturresurser ger dessa översyner en grund som sedan kan behöva fördjupas med kunskap om specifika frågeställningar, omständigheter och förutsättningar för regionen eller platsen i fråga.

6.1 När kan åtgärder för klimat och biologisk mångfald gå hand i hand?

IPBES och IPCCs rapporter visar på behovet av genomgripande samhällsförändringar för att hantera de pågående förlusterna av biologisk mångfald och klimatförändringar, men betonar vikten av att samplanera åtgärder. Genom att fokusera på hållbar markanvändning kan man skapa synergieffekter mellan klimatåtgärder, bevarande av biologisk mångfald och ekosystemens förmåga att producera ekosystemtjänster/naturnyttor. Genom att säkerställa, och vid behov restaurera, ekosystemens struktur och funktion, kan deras motståndskraft och återhämtningsförmåga efter störningar bibehållas eller ökas, inklusive effekter av klimatförändringar. Åtgärder för att stärka biologisk mångfald och ekosystemtjänster kan också bidra till att begränsa nettoutsläppen av växthusgaser.

Panelerna identifierar dessutom ett behov av att tillräckliga åtgärder genomförs i närtid snarare än längre fram, både för att minska risken för oåterkalleliga effekter och för att åtgärderna blir mer kostnadseffektiva och genererar större samhällsnytta. Att skydda biologisk mångfald och ekosystem ger resultat i närtid, gör att irreversibla eller svårreparerade förluster av arter och ekosystemfunktioner undviks, och är mer kostnadseffektivt än att återställa områden senare (till exempel Kraufvelin m.fl. 2020). På samma sätt innebär klimatåtgärder som genomförs i närtid ett mer kostnadseffektivt sätt att begränsa klimatförändringar och leder till att stressen på arter och ekosystem minskar.

Behovet av att stärka naturskyddet finns på alla skalor, från det globala till det lokala. I IPBES regionala rapport för Europa och Centralasien (IPBES 2018a) ser man dock att exempelvis konnektivitet och skötsel av skyddade områden generellt har förbättrats. IPBES (2018a) nämner att det på många håll finns en uppfattning om att naturskydd kräver att man gör avkall på ekonomisk utveckling, och att denna uppfattning kan vara ett hinder för utveckling av adekvat naturvårdspolicy. I Sverige identifieras fortfarande ett behov av att öka naturskyddet inom flera områden. Till exempel har Artdatabanken (Eide m.fl. 2020, se även Box 4.1 i kapitel 4) understrukt behovet att skydda mer orörd skog, men också behovet av naturvårdsskötsel av vissa skogar. I havsmiljön ses ett generellt behov av att öka skyddet både internationellt och i Sverige, samt att förbättra konnektiviteten mellan skyddade områden (Eide m.fl. 2020, se även IUCN 2020, Sveriges regering 2020). Delområden av särskild vikt i svenska vatten är att skydda djupa mjukbottenar, att minska exploateringen av nyckelarter och att värna strandskyddet i kustmiljöer (avsnitt 5.1.6, 5.2.3, 5.3.4).

Skydd av mer eller mindre orörda ekosystem är dock inte tillräckligt för att uppnå hållbar utveckling på lång sikt. Många ekosystem är redan degraderade (IPBES 2018b), och har förlorat stora delar av sin biologiska



mångfald. Det finns ett behov av åtgärder för att återställa livsmiljöer, som en del i arbetet med att skapa resilienta ekosystem. Åtgärder som fokuserar på att minska befintliga påverkansfaktorer och att återskapa biologisk mångfald krävs särskilt i de ekosystem som nyttjas av människor, som jordbrukslandskap, produktionsskog, påverkade havsbottnar och olika typer av bebyggda områden. Detta kan exempelvis handla om att bevara och stärka den gröna infrastruktur av naturliga gräsmarker som finns i jordbrukslandskapet, öka andelen skog med längre omloppstider eller hyggesfritt skogsbruk, minska effekter av överfiske och övergödning i havet (avsnitt 5.2.4, 5.2.5), säkerställa nätverk av viktiga livsmiljöer för arter i kust och hav (Nyström Sandman m.fl. 2020), identifiera och implementera fungerande avvägningar mellan naturvård och ägarintressen i skogen (5.3.1, 5.3.2), eller att i högre grad integrera natur i våra städer (5.2.2).

Naturbaserade lösningar ("*nature based solutions*") av samhällsutmaningar, till exempel orsakade av klimatförändringar, fungerar som verktyg för att återskapa naturliga strukturer och funktioner. De kan även vara multifunktionella, så att de bidrar till både motståndskraft mot klimatförändringar och återskapande av biologisk mångfald (se även avsnitt 3.3, och 5.3.6). Åtgärder för att återskapa biologisk mångfald i miljöer som nyttjas av människor skall dock inte ses som en ersättning för att bevara befintlig biologisk mångfald – vilket innefattar alla typer av variation från nivåerna genetisk, art, samhälle, ekosystem, landskap – utan olika typer av områdesskydd har en fortsatt viktig roll i form av till exempel biotopskydd, reservat, och nationalparker. Det är även viktigt att beakta vilka åtgärder som lämpar sig bäst på vilken skala. Exempelvis behöver en åtgärd som har skapats för att gynna biologisk mångfald inte nödvändigtvis fungera lika väl på regional som på lokal skala.

6.2 Synergieffekter kommer inte automatiskt – vi måste planera för dem

Anpassningar med avsikt att bemöta klimatförändringar eller gynna biologisk mångfald kan leda till både konflikter och synergier mellan olika mål. Till exempel omfattar ekosystembaserad klimatanpassning ansatser för att skapa långsiktigt hållbara sätt att mildra effekter av klimatförändringar, som i vissa fall även kan främja biologisk mångfald och andra samhälleliga mål (se avsnitt 3.3). Olika "gröna lösningar" för att bidra till att hantera klimatförändringar (exempelvis ekosystembaserad klimatanpassning) leder dock inte automatiskt till förbättrad biologisk mångfald. Det finns till och med risker, eftersom klimatanpassningar ibland kan påverka biologisk mångfald negativt, som till exempel vid användningen av monokulturer av främmande trädslag för att producera bioenergi (Seddon m.fl. 2019). För att skapa synergier mellan klimatanpassning och biologisk mångfald behöver båda dessa aspekter inkorporeras som explicita mål i planeringen.

Det är dock i många fall orealistiskt att förvänta sig att samtidigt uppnå full måluppfyllnad för olika konkurrerande mål. För att hantera målkonflikter (och synergier) behövs en medvetenhet om hur olika alternativ för utformning, omfattning eller lokalisering av den planerade markanvändningen påverkar såväl klimatet, resiliensen mot klimatförändringar, biologisk mångfald och andra värden. I vissa fall kan synergieffekter uppnås på en lokal skala, som till exempel när blågröna lösningar i städer både minskar översvämningsrisker och bidrar med biologisk mångfald, men ibland krävs snarare en kombination av olika åtgärder på en större skala, där olika omfattningar och placeringar vägs samman i en bred landskapsansats (se avsnitt 6.3).

Det finns områden med relevans för Sverige där särskilt tydliga synergieffekter mellan klimatåtgärder och biologisk mångfald identifierats. Exempelvis kan våtmarker med naturskydd gynna såväl kolinlagring som biologisk mångfald (Kasimir 2013). Även restaurering av våtmarker i jordbruksmiljöer och återskapande av meandrande vattendrag kan gynna biologisk mångfald både i landmiljön och vatten, på lokal och regional skala (se även avsnitt 5.3.6), samtidigt som det medför nyttor som att minska läckaget av näringsämnen, agera som buffert mot översvämnningar, och minska den lokala effekten av extrema temperaturer (se avsnitt 5.1.4). I kustområden bidrar återställning av våtmarker till att öka rekryteringen av fisk och kan samtidigt gynna biologisk mångfald (Hansen m.fl. 2020). I vilken omfattning olika naturtyper i kustområdet påverkar klimatförändringarna, till exempel genom att fungera som kolsänka eller kolkälla, är dock inte klarlagt, och speciellt inte i kombination med extrema väderhändelser (se även avsnitt 5.2.3, Humborg m.fl. 2019).

Åtgärder för att minska den sammanlagda påverkan av olika belastningar är viktiga för ekosystemens motståndskraft och resiliens mot klimatförändringar. Även andra belastningar från mänsklig verksamhet kan påverkas av klimatförändringar. Till exempel kan utbredningen av fiske och jakt samt hur dessa aktiviteter påverkar bestånden förändras (se till exempel avsnitt 5.1.6, 5.2.5). Även åtgärder för att reglera läckage av näringsämnen till Östersjön och dess effekter behöver anpassas till nya förutsättningar under klimatförändringarna (avsnitt 5.2.4). Dessa behov är väl etablerade på en övergripande nivå, men mycket återstår för att förstå hur lokala miljöer i praktiken skall förvaltas.

Genom att åtgärder som främjar den biologiska mångfalden även kan öka komplexiteten i ekosystemen, kan ekosystemens naturliga resiliens mot olika störningar inklusive klimatförändringar bevaras eller öka. Tankar som dessa ligger bakom konceptet *rewilding*. Rewilding associeras ofta med återinförandet av stora rovdjur, vilket är kontroversiellt. Det centrala i konceptet är dock att öka ekosystemens resiliens genom att återskapa och stärka möjligheter till spridning, öka den trofiska komplexiteten och tillåta stokastiska störningar (Perino m.fl. 2019). I betydelsen att skapa ekosystem som inte påverkas av människor, kan rewilding vara problematisk i många av våra produktionslandskap. Men de grundläggande principerna – att främja och höja den biologiska mångfalden och bibehålla naturliga ekosystemprocesser genom att tillåta mer naturlig dynamik, i nära interaktion med de människor som berörs – är användbara när det gäller att samtidigt hantera klimatförändringar och förhindra fortsatt förlust av biologisk mångfald.

6.3 Att utveckla synergier kräver en landskapsansats

Användningen av mark- och vattenområden skall fylla många olika syften. De lokala, nationella och globala ekosystemen bistår samhället med produkter från jordbruk, skogsbruk och fiske, samt nyttjas för boende och flera andra verksamheter. IPCC och IPBES rapporter visar på behovet av att förena produktionen och nyttjandet av dessa resurser med åtgärder för klimatreglering och klimatanpassning, samt vikten av att bevara och restaurera biologisk mångfald och ekosystemens funktioner. Det handlar också om en rad kulturella värden, inklusive det historiska perspektivet som bidrar till vår känsla av tillhörighet. På en lokal nivå kan det vara svårt att lösa samtidigt förekommande konflikter mellan alla dessa olika behov av mark och vatten.

Utmaningen är istället att skapa ett helhetsperspektiv, där positiva synergier gynnas och negativa synergier motverkas genom att mark- och vattenanvändning sker på lämpliga platser och i relevant omfattning. Ökad kunskap om vilka effekter mark- och vattenanvändning har på olika samhällsvärden och naturvärden, gör det lättare att utveckla hållbara strategier. En samordnad förvaltning är tillämpbar i jordbrukslandskap, skogslandskap, bebyggda miljöer och vattenmiljöer, men kan dessutom vara ett sätt att hantera interaktioner mellan dessa miljöer. Här finns dock ett antal problem som behöver lösas, exempelvis sektorsindelning och konflikter mellan privata och allmänna intressen. Ett landskapsperspektiv på mark- och vattenanvändning (Arts m.fl. 2017) är därför teoretiskt tilltalande men är samtidigt en utmaning att genomföra på ett sätt som tar hänsyn till motstridiga målbilder och prioriteringar, äganderättsfrågor och behovet av integration mellan sektorer (Akselsson m.fl. 2020, se även Pan Baltic Scope 2020 för aktuella exempel i havsmiljö).

För att hantera de konflikter kring markanvändning som IPCC och IPBES pekar på, på ett sätt som skapar både demokratisk legitimitet och tar hänsyn till hur markanvändningen styrs, är det centralt att målkonflikter hanteras explicit (avsnitt 6.2, Sayer m.fl. 2013). För detta krävs att aktuell kunskap, både om relevanta ekologiska processer och om de multipla konsekvenser som markanvändningen medför inom olika områden, görs tillgänglig som underlag i beslutsprocesser, vare sig det gäller övergripande samhälleliga strategier eller beslut som enskilda aktörer tar.

IPCC (2019b) belyser att det behövs koordinerade insatser mellan aktörer, inklusive företag, producenter, konsumenter, lokala samhällen och beslutsfattare, för att möjliggöra bred implementering av åtgärder. Utöver de naturvetenskapliga analyserna som är i fokus i den här syntesen kan flera andra typer av barriärer mot implementering uppstå, gällande exempelvis ekonomiska, tekniska, institutionella, juridiska, sociokulturella, och organisatoriska aspekter. En dialog kring markanvändning över sektorsgränser (exempelvis mellan jordbruks- och skogsbrukssektorn) och mellan olika intressen har större förutsättningar att hitta synergier, undvika konflikter och ge bättre måluppfyllelse. Här kan en landskapsansats öka möjligheten att hantera potentiella konflikter mellan privata och gemensamma intressen på ett transparent och övergripande sätt.

Olika tillgängliga verktyg har potential att tillsammans forma ”portföljer” av åtgärder som kan tillämpas av aktörer, från mycket lokal skala (som exempelvis en enskild gård) till nationell nivå, samt internationellt (IPCC 2019b). I Sverige kan möjligheten att nå uppsatta mål inom en samordnad landskapsförvaltning särskilt gynnas av att vidareutveckla strategier för grön infrastruktur och för strategisk tillämpning av ekosystembaserad anpassning (Avsnitt 3.3). Både när det gäller övergripande och mer specifika frågor finns det skäl att analysera hur naturskydd, restaureringsåtgärder, anpassningar till klimatförändringar samt åtgärder för att motverka klimatförändringar tillsammans kan bidra till att nå hållbarhetsmålen, och förbättra förutsättningarna för samexistens mellan bevarande och nyttjande. För att uppnå den önskade effekten på biologisk mångfald, är det viktigt att utformningen av åtgärder är väl förankrad i ekologisk forskning, eftersom organismer har olika krav på habitats kvalitet, omfång och konnektivitet (Se till exempel Ekroos m.fl. 2020, Nyström Sandman m.fl. 2020, Berkström m.fl. 2019).

”Åtgärder för anpassning och reduktion har redan påbörjats (mycket troligt). Framtidens klimatrelaterade risker kan minskas genom att skala upp och snabba upp omfattande klimatåtgärder som sträcker sig över många nivåer och sektorer samt genom både stegvis och transformativ anpassning (mycket troligt)” (IPCC 2018, från översättning av SMHI 2019)

6.4 Förvaltning under osäkerhet

IPBES och IPCC visar att det finns mycket kollektiv kunskap att bygga vetenskapligt informerade förvaltningsbeslut på, men även att det finns osäkerhet kring många aspekter av framtidens klimat, biologiska mångfald och ekosystemtjänster. Denna osäkerhet har många grunder. Osäkerheter gäller till stor del hur stora de framtida utsläppen av växthusgaser blir, och hur den framtida markanvändningen kommer att vara utformad, vilket bland annat beror på politiska och andra beslut som inte ännu är tagna. Osäkerheten kan också bero på kunskapsluckor kring vissa processer och återkopplingsmekanismer i klimatsystemet och ekosystem, samt känsligheten hos olika arter och ekosystem. Denna osäkerhet behöver man ta hänsyn till vid planering av åtgärder och bedömningar av vilka konsekvenser enskilda åtgärder som implementeras idag kan ha på framtidens klimat, biologiska mångfald och ekosystemtjänster. Ett problem med osäkerheter är att det kan leda till att diskussionen blir polariserad och förenklad, eller att närvaron av osäkerheter försvårar beslut och vägval. Det är viktigt att på ett sakligt sätt belysa den komplexitet som påverkar beslut under olika förutsättningar. Att ta fram ytterligare kunskap reducerar osäkerheten, men det är mycket viktigt att vara medveten om att det inte går att ta ner osäkerheten helt, även med mer fullständig kunskap.

Hur ska vi fatta välgrundade beslut under osäkerhet? Ett förhållningssätt kan vara att verka för resilienta ekosystem, det vill säga ekosystem som både har förmåga att absorbera störningar och kan upprätthålla grundläggande funktioner. En sådan ansats är inriktad på att hantera klimatförändringar och även framtida påverkansfaktorer som idag är okända. Det finns en växande forskning kring vad som gör ekosystem resilienta, där den generella konsensusen är att biologisk mångfald bidrar till resiliens. Det finns en bred acceptans kring generella principer för vad som bidrar till ekosystemens resiliens, som att eftersträva mångfald på olika organisationsnivåer (gener, arter, ekosystem) och skalor (lokalt, regionalt). Samtidigt saknas ofta tillräcklig kunskap kring hur ekosystemens resiliens ska mätas. Det här gör det exempelvis utmanande att följa upp utvecklingen av ekosystemens resiliens, som en viktig del av en adaptiv förvaltning.

IPBES (2019) förordar beslut som minskar riskerna i framtiden, vilket kan innebära åtgärder för att undvika ytterligare mänsklig påverkan på naturen idag, minska belastningar, och tillämpa en övergripande försiktighet vid ingrepp. IPBES betonar även bland annat vikten av att det finns möjlighet till övervakning och utvärdering som kan tillgodose ett adaptivt förhållningssätt, där ny kunskap som uppkommer över tid kan inkorporeras i förvaltningen och tas tillvara (Naturvårdsverket 2007, Se Box 6.1 för några exempel i svenska förhållanden). IPCC (2018, 2019a) beskriver hur tilltagande klimatförändringar leder till successivt större negativ påverkan bland annat på ekosystem, vilket innebär att begränsandet av klimatpåverkan är avgörande för att värna för biologisk mångfald på sikt, samtidigt som anpassning behövs för att hantera effekterna av de klimatförändringar som man inte hinner förebygga. Lösningar handlar bland annat om hållbart brukande av mark och vatten, samt bevarande och återskapande av ekosystem.

Box 6.1 Samspel mellan klimat och biologisk mångfald – implikationer för forskning, förvaltning och kunskapsbehov

▪ Parallellt med de övergripande slutsatserna behövs lokalt anpassad kunskap och strategier för hur befintlig kunskap tas till vara. Vilka principer bör följas vid adaptiv, evidensbaserad förvaltning i ett specifikt sammanhang? Hur ska den kunskap som finns idag bäst tillgodogöras och utvecklas? En sammanfattande bild är att det behövs tillämpade analyser som belyser långsiktiga effekter på klimat och biologisk mångfald i kombination. Vilka synergieffekter och vilka åtgärdsområden behöver vi mer kunskap om? Nedan ges några illustrativa exempel på aktuella utmaningar för de ekosystem som berörs i denna syntes.

▪ **Arktiska ekosystem.** IPCC (2019a) belyser regionala kunskapsluckor kopplade till polara ekosystem och deras biologiska mångfald. I arktiska miljöer saknas fortfarande ofta tillräcklig information om populationsstorlekar och trender för många nyckelarter, vilket ger svårigheter att förutsäga utvecklingen av biologisk mångfald. Hur väl regionens olika arter kan tänkas anpassa sig till habitatförändringar är belagt med stor osäkerhet, så även hur resiliens i dessa ekosystem är för förändring (avsnitt 5.2.1). IPCC efterlyser även en överlag bättre förståelse för effektiviteten i olika strategier när det gäller att stärka resiliensen, och minimera riskerna för de polara ekosystemen och människorna som lever där.

▪ **Skogsbruk.** Det finns få studier globalt som uttryckligen beaktar synergier (positiva och negativa) mellan biologisk mångfald och klimatanpassning i jord- och skogsbruk. Beträffande skogsbruk har denna kunskapslucka också lyfts i ett svenskt perspektiv (Felton m.fl. 2016a). Skogens skötsel har konsekvenser för tillgången på ekosystemtjänster som biomassa, kolförråd, biologisk mångfald, och det lokala klimatet, och såväl pågående som framtida avvägningar mellan olika nyttor som skogen bidrar med är föremål för en omfattande samhällsdebatt (avsnitt 5.3.2). Beslut har konsekvenser under mycket långa tidsrymder (exempelvis långsiktig påverkan på klimat, och oåterkallelig förlust av naturskogar). Det är viktigt att förvaltningsbeslut grundar sig på kunskap, vilken delvis är svag i detta område; det behövs därför strategier för hur osäkerhet och kunskapsluckor ska hanteras. Det kan exempelvis handla om modellbaserade skattningar av förväntade nyttor och måluppfyllelser, eller att lösningar som bemöter flera parallella behov identifieras.

▪ **Jordbruk.** Även i jordbrukslandskap uppstår behov av avvägningar mellan olika möjligheter och nyttor. Detta gäller inte minst konflikten mellan en intensiv produktion av livsmedel och bevarande av biologisk mångfald. Den debatt som har förts inom forskarvärlden kring frågan om bevarande av biologisk mångfald bäst bedrivs i reservat eller bör integreras i jordbrukslandskapen (Fischer m.fl. 2014, Phalan m.fl. 2016) visar på behovet av ökad kunskap kring konsekvenser av markanvändning. Synergistiska strategier kan i stället bygga på att nyttja biologisk mångfald för att öka jordbruksproduktionen och/eller minska jordbrukets externa miljöpåverkan. Jordbrukets roll för att reglera klimat, genom kollagring och produktion av biobränslen, skapar nya potentiella målkonflikter, men rätt skött också möjligheter för att skapa synergier med bevarande av biologisk mångfald (avsnitt 5.3.3).

▪ **Sjöar och vattendrag.** Sötvatten är bland de miljöer som är mest påverkade av mänsklig verksamhet och den biologiska mångfalden i dessa miljöer minskar. När klimatzoner och vegetationszoner förskjuts norrut riskerar sötvattens ekosystem att drabbas påtagligt (avsnitt 5.1.4). Många sötvattensarter har begränsad tolerans mot större temperaturförändringar och populationer riskerar att dö ut om de inte lyckas anpassa sig. Det är viktigt att ta bort barriärer som hindrar förflyttning och öka kunskapen om hur naturliga vandringsvägar kan återställas. Även torrperioder och översvämningar kan påverka den biologiska mångfalden negativt. Indikatorer behöver utvecklas för att följa upp effekter på den biologiska mångfalden och ekosystemens resiliens. Ytterligare kunskap kring multifunktionella åtgärder behöver tas fram för ekosystembaserad klimatanpassning, uppbyggnad av grön infrastruktur och säkring av den biologiska mångfalden (avsnitt 5.3.6).

▪ **Kustområdet.** Akvatiska arter påverkas inte bara av temperaturökningar utan även andra förändringar. Till exempel förväntas en minskande salthalt ha en stark effekt på utbredningen av marina arter i Östersjön. Dessa förändringar påverkar även samspelet mellan arter. Många kustområden är idag starkt påverkade av mänsklig verksamhet. Lokala åtgärder som gynnar den biologiska mångfalden och stärker näringsvävarnas stabilitet är nödvändiga om man vill ge långsiktiga förutsättningar för fungerande kustekosystem under klimatförändringar. En viktig fråga är hur anpassningar till en förändrad havsvattennivå kan utformas för att både gynna en naturlig biologisk mångfald och resiliens. Kunskapen behöver också utvecklas om kustområdets betydelse som kolsänkor och kolkällor, hur klimatförändringarna påverkar produktivitet och biogeokemiska processer i kusten och hur dessa i sin tur påverkar den biologiska mångfalden (avsnitt 5.2.3).

▪ **Havet.** Pågående utarmning av den biologiska mångfalden och näringsvävar har följder för marina verksamheter och genererandet av ekosystemtjänster. Framför allt för fiskesektorn är det viktigt att förstå omfattningen och hastigheten på dessa förändringar och anpassa fisket så att det blir hållbart och beaktar ekosystemets förändrade förutsättningar (avsnitt 5.1.6). Samhället behöver kunskapsunderlag som beaktar förändringar i biologisk mångfald och även analyserar vilka ytterligare utmaningar som klimatförändringarna medför, exempelvis för att anpassa regleringar inom fisket, utvecklingen av infrastruktur och identifiera hållbara konsumtionsmönster (avsnitt 5.2.5, 5.3.5-6). Ett viktigt utvecklingsområde är att identifiera särskilt gynnsamma livsmiljöer i landskapet vid ett ändrat klimat. Det behövs kunskap om vilka miljöer och områden som ger bäst långsiktiga förutsättningar för nyckelarter, så att skyddade områden kan utvecklas och åtgärder för att stärka ekosystemens funktioner och resiliens kan utformas (avsnitt 5.2.4, 5.3.4).

Ett central budskap från både IPBES och IPCC är att vi måste agera snabbt för att undvika ökade risker och dyrare och mer svårgenomförbara åtgärder i framtiden. Nödvändiga beslut kommer alltid att behöva fattas under osäkerhet, till exempel för att det saknas konsensus kring problemformuleringen, det finns luckor i kunskapsunderlaget eller motstridiga forskningsresultat. Forskningsfronten kommer alltid att innehålla ett visst mått av osäkerhet, eftersom detta är en inneboende del av en forskningsprocess som strävar efter ny kunskap. Men detta kan inte tas som intäkt för att inte utnyttja den kunskap som finns vid beslut. När det gäller klimat och biologisk mångfald finns det strax under forskningsfronten gott om etablerad kunskap som kan tillämpas i samhällsdiskussionen och vägleda beslutsfattande och genomförande. Sådan kunskap kan, om den sammanställs, vägleda om vilka åtgärder som redan nu kan tillämpas för att mildra effekterna av klimatförändringarna på biologisk mångfald, bevara ekosystemens funktion och tjänster, öka livskraftigheten hos nyckelarter, och gynna ekosystemens förmåga att stå emot störningar. Det är därför viktigt att befintlig forskning systematiskt sammanställs och görs tillgänglig, men också att processer för detta är flexibla så att ny kunskap kan fasas in allteftersom den blir tillgänglig. Eftersom kunskapen inte är komplett, behövs också - när så är möjligt - adaptiv förvaltning, vilket innebär att effekterna av åtgärder som genomförs måste dokumenteras och utnyttjas för att uppdatera hur förvaltningen sker.

"A comprehensive set of five levers for this transformative change emerged from our unprecedentedly broad and rigorous analysis of the many possible levers that have been proposed previously:

- (i) developing incentives and widespread capacity for environmental responsibility and eliminating perverse incentives;
- (ii) reforming sectoral and segmented decision-making to promote integration across sectors and jurisdictions;
- (iii) taking preemptive and precautionary actions in regulatory and management institutions and businesses to avoid, mitigate, and remedy the deterioration of nature, and monitoring their outcomes;
- (iv) managing for resilient social and ecological systems in the face of uncertainty and complexity to deliver decisions that are robust in a wide range of scenarios; and (v) strengthening environmental laws and policies and their implementation, and the rule of law more generally"

(Diaz m.fl. 2019).

Avslutande ord

Både IPCC och IPBES pekar på att flera typer av insatser behövs för att hantera klimatfrågan och värna den biologiska mångfalden. Framförallt pekar både IPCC och IPBES på att åtgärder är brådskande, eftersom vad som händer nu i det korta perspektivet spelar en avgörande roll. Båda panelerna betonar tydligt behovet av en genomgripande samhällsomställning.

Utöver de naturvetenskapligt grundade frågor som är i fokus i denna syntes, tillkommer även samhällsvetenskapliga dimensioner för att göra sådana breda ansatser möjliga. För flera av de aspekter som berörs krävs en integrerad förvaltning över olika nivåer, som möjliggör en helhetssyn. Åtgärder för att begränsa klimatförändringarna och anpassning till deras konsekvenser å ena sidan och åtgärder för att bevara den biologiska mångfalden å den andra kan i många fall samordnas för att öka synergierna och undvika eventuella målkonflikter.

För att åstadkomma den utveckling som behövs för att klara både klimatet och den biologiska mångfalden krävs med andra ord både åtgärder i det omedelbara perspektivet och åtgärder som fokuserar på det långa perspektivet. Det är också viktigt att dessa tidsperspektiv diskuteras parallellt, eftersom det som görs (eller inte görs) på kort sikt är avgörande för behovet av och möjligheterna till att bygga på med fler åtgärder längre fram i tiden. I båda fallen har den vetenskapliga kunskapen en viktig roll, och det är centralt att den kunskap som finns sprids, utvärderas och utvecklas. Detta kräver en kontinuerlig dialog mellan forskare och beslutsfattare på alla nivåer i samhället.

De samarbeten och den dialog som behövs inom flera områden i det svenska samhället kommer inte automatiskt. Det finns ett flertal aktörer på olika nivåer, med olika kunskaper och med olika resurser. En öppen dialog som belyser konflikter och synergier mellan olika målsättningar, informerad av den vetenskapliga kunskap som finns, ökar möjligheterna att hitta lösningar som gynnar biologisk mångfald, minskar klimatpåverkan och ökar samhällets resiliens mot klimatförändringar.

"Except in scenarios that include transformative change, negative trends in nature, in ecosystem functions and in many of nature's contributions to people are projected to continue to 2050 and beyond, due to the projected impacts of increasing land-/and sea-use change, exploitation of organisms and climate change." (IPBES 2018)

Tack

Författarna vill tacka arbetsgrupperna vid SMHI och Naturvårdsverket som har gett synpunkter på texterna, samt Pål Börjesson (Institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola), Yann Clough, Chiara Cortinovia, Katarina Hedlund och Anna Persson (Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet), som gett synpunkter på innehållet i valda delar av kapitel 3-5. Texterna i avsnitt 5.1.2, 5.3.1, 5.3.2 och Box 5.1 bygger på utdrag ur den kommande syntesen ”Dragkampen om skogen – en syntesrapport om uthålligt brukande med fokus på klimat, miljö och bioenergi” (Jönsson m.fl., in. prep.) från BECC (www.becc.lu.se); författarna tackar för tillgången till detta material, samt riktar särskilt tack till Fredrik Lagergren (Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet) som bidragit med underlag för Box 5.1.

Referenser

- Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto, L., Aizen, M. A. (2006). Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology letters* 9: 968-980.
- Aguilera, G., Roslin, T., Miller, K., Tamburini, G., Birkhofer, K., Caballero-Lopez, B., Lindström, S.A.-M., Öckinger, E., Rundlöf, M., Rusch, A., Smith, H.G., Bommarco, R. (2020). Crop diversity benefits carabid and pollinator communities in landscapes with semi-natural habitats. *Journal of Applied Ecology*. in press.
- Akselsson, C., Keskitalo, C., Öhman, K., Ranius, T., Forsberg, M., Smith, H. (2020). Samordnad landskapsförvaltning – Ett nytt sätt att förvalta landskap för att uppnå hållbarhetsmålen. BECC Policy brief 06.
- Alkan Olsson, J., Hanson, H. (2018). Blågröna lösningar i Sofielund - Klimatanpassningsåtgärder i allt tätare städer. Centrum för miljö och klimatforskning, Lunds universitet.
- Andersson, A., Meier, H. M., Ripszam, M., Rowe, O., Wikner, J., Haglund, P., Eilola, K., Legrand, C., Figueroa, D., Paczkowska, J., Lindehoff, E. (2015). Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management. *Ambio* 44: 345-356.
- Arft, A.M., Walker, M.D., Gurevitch, J., Alatalo, J.M., Bret-Harte, M.S., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G.H.R., Jones, M.H., Hollister, R.D., Jónsdóttir, I.S., Laine, K., Lévesque, E., Marion, G.M., Molau, U., Mølgaard, P., Nordenhäll, U., Raszhivin, V., Robinson, C.H., Starr, G., Stenström, A., Stenström, M., Totland, Ø., Turner, P.L., Walker, L.J., Webber, P.J., Welker, J.M., Wookey, P.A. (1999). Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs* 69: 491-511.
- Arts, B., M. Buizer, L. Horlings, V. Ingram, C. van Oosten, P. Opdam. (2017). Landscape Approaches: A State-of-the-Art Review. *Annual Review of Environment and Resources* 42: 439-463.
- Baden, S., Gullström, M., Lundén, B., Leif, P., Rosenberg, R. (2003). Vanishing Seagrass (*Zostera marina*, L.) in Swedish Coastal Waters. *Royal Swedish Academy of Sciences* 5.
- Baeten, L., Bruelheide, H., van der Plas, F., Kambach, S., Ratcliffe, S., Jucker, T., Allan, E., Ampoorter, E., Barbaro, L., Bastias, C.C., Bauhus, J., Benavides, R., Bonal, D., Bouriaud, O., Bussotti, F., Carnol, M., Castagnérol, B., Charbonnier, Y., Češko, E., Coomes, D.A., Dahlgren, J., Dawud, S.M., De Wandeler, H., Domisch, T., Finér, L., Fischer, M., Fotelli, M., Gessler, A., Grossiord, C., Guyot, V., Hättenschwiler, S., Jactel, H., Jaroszewicz, B., Joly, F.-X., Koricheva, J., Lehtonen, A., Müller, S., Muys, B., Nguyen, D., Pollastrini, M., Radoglou, K., Raulund-Rasmussen, K., Ruiz-Benito, P., Selvi, F., Stenlid, J., Valladares, F., Vesterdal, L., Verheyen, K., Wirth, C., Zavala, M.A., Scherer-Lorenzen, M. (2019). Identifying the tree species compositions that maximize ecosystem functioning in European forests. *Journal of Applied Ecology* 56: 733-744.
- Bartolino, V., Tian, H., Bergström, U., Jounela, P., Aro, E., Dieterich, C., Meier, H.E.M. Cardinale, M., Bland, B., Casini, M. (2017). Spatio-temporal dynamics of a fish predator: density-dependent and hydrographic effects on Baltic Sea cod population. *PLoS ONE*, 12(2): e0172004.
- Belfrage, K., J. Björklund, Salomonsson, L. (2015). Effects of Farm Size and On-Farm Landscape Heterogeneity on Biodiversity—Case Study of Twelve Farms in a Swedish Landscape. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 39: 170-188.
- Bergek, S., Sandin L., Tomband F., Holén, B.A. (2017). Ekosystemtjänster från svenska sjöar och vattendrag. Havs- och vattenmyndigheten Rapport 2017: 7.
- Bergström, L., Sundqvist, F., Bergström, U. (2013). Effects of an offshore wind farm on the local demersal fish community. *Marine Ecology progress series* 485: 199–210.
- Bergström, L., Malm, T., Åstrand Capetillo, N., Ohlsson, H., Wahlberg, M., Rosenberg, R., Kautsky, L., Wilhelmsson, D. (2014). Effects of off shore wind farms on marine wildlife – a generalized risk assessment. *Environmental Research Letters* 9 034012
- Bergström, L., Miloš, A., Haapaniemi, J., Saha, C.R., Arndt, P., Schmidtbauer-Crona, J., Kotta, J., Kaitaranta, J., Husa, S., Palsson, J., Pohja-Mykrä, M., Ruskule, A., Matczak, M., Strake, S., Zych, A., Nummela, A., Wesolowska, M., Carneiro, G. (2019). Cumulative Impact Assessment for Maritime Spatial Planning in the Baltic Sea Region. Pan Baltic Scope. www.panbalticscope.eu

- Berkström, C., Wennerström, L., Bergström, U. (2019). Ekologisk konnektivitet i svenska kust- och havsområden - en kunskapssammanställning. Aqua reports 2019: 15
- Berndes, G., Börjesson, P., Ostwald, M., Palm, M. (2008). Multifunctional biomass production systems – an overview with presentation of specific applications in India and Sweden. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 2: 16-25.
- Berlin, G., Rosquist, G. (2014). Här finns höga naturvärden i Skåne – Artpools- och traktanalys med hjälp av rödlistade arter. Länsstyrelsen i Skåne, Naturskyddsenheten. ISBN: 978-91-87423-47-5.
- Betzholtz, P.-E., L. B. Pettersson, N. Ryrholm, Franzen, M. (2013). With that diet, you will go far: trait-based analysis reveals a link between rapid range expansion and a nitrogen-favoured diet. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 280.
- Biella, P., Četković, A., Gogala, A., Neumayer, J., Sárospataki, M., Šima, P., Smetana, V. (2020). Northwestward range expansion of the bumblebee *Bombus haematurus* into Central Europe is associated with warmer winters and niche conservatism. *Insect Science*.
- Bjarstig, T., Stens, A. (2018). Social Values of Forests and Production of New Goods and Services: The Views of Swedish Family Forest Owners. *Small-Scale Forestry* 17(1): 125-146.
- Björklund, N., Lindelöw, A., Schroeder, L.M. (2016). Erroneous conclusions about current geographical distribution and future expansion of forest insects in Northern Sweden: comments on Hof and Svahlin (2015). *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(1): 126-127.
- Blach-Overgaard, A., Blok, D., Cornelissen, J.H.C., Forbes, B.C., Georges, D., Goetz, S.J., Guay, K.C., Henry, G.H.R., HilleRisLambers, J., Hollister, R.D., Karger, D.N., Kattge, J., Manning, P., Prevéy, J.S., Rixen, C., Schaepman-Strub, G., Thomas, H.J.D., Vellend, M., Wilmking, M., Wipf, S., Carbognani, M., Hermanutz, L., Lévesque, E., Molau, U., Petraglia, A., Soudzilovskaia, N.A., Spasojevic, M.J., Tomaselli, M., Vowles, T., Alatalo, J.M., Alexander, H.D., Anadon-Rosell, A., Angers-Blondin, S., Beest, M.t., Berner, L., Björk, R.G., Buchwal, A., Buras, A., Christie, K., Cooper, E.J., Dullinger, S., Elberling, B., Eskelinen, A., Frei, E.R., Grau, O., Grogan, P., Hallinger, M., Harper, K.A., Heijmans, M.M.P.D., Hudson, J., Hülber, K., Iturrate-Garcia, M., Iversen, C.M., Jaroszynska, F., Johnstone, J.F., Jørgensen, R.H., Kaarlejärvi, E., Klady, R., Kuleza, S., Kulonen, A., Lamarque, L.J., Lantz, T., Little, C.J., Speed, J.D.M., Michelsen, A., Milbau, A., Nabe-Nielsen, J., Nielsen, S.S., Ninot, J.M., Oberbauer, S.F., Olofsson, J., Onipchenko, V.G., Rumpf, S.B., Semenchuk, P., Shetti, R., Collier, L.S., Street, L.E., Suding, K.N., Tape, K.D., Trant, A., Treier, U.A., Tremblay, J.-P., Tremblay, M., Venn, S., Weijers, S., Zamin, T., Boulanger-Lapointe, N., Gould, W.A., Hik, D.S., Hofgaard, A., Jónsdóttir, I.S., Jorgenson, J., Klein, J., Magnusson, B., Tweedie, C., Wookey, P.A., Bahn, M., Blonder, B., van Bodegom, P.M., Bond-Lamberty, B., Campetella, G., Cerabolini, B.E.L., Chapin, F.S., Cornwell, W.K., Craine, J., Dainese, M., de Vries, F.T., Díaz, S., Enquist, B.J., Green, W., Milla, R., Niinemets, Ü., Onoda, Y., Ordoñez, J.C., Ozinga, W.A., Penuelas, J., Poorter, H., Poschlod, P., Reich, P.B., Sandel, B., Schamp, B., Sheremetev, S., Weiher, E. (2018). Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature* 562: 57-62.
- Blanco, V., Brown, C., Holzhauer, S., Vulturius, G., Rounsevell, M.D.A. (2017). The importance of socio-ecological system dynamics in understanding adaptation to global change in the forestry sector. *J. Environmental Management* 196: 36-47.
- Bommarco, R., Lundin, O., Smith, H.G., Rundlöf, M. (2012). Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279: 309–315.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. (2013). Ecological Intensification: Harnessing Ecosystem Services for Food Security. *Trends in Ecology & Evolution* 28: 230-238.
- Both, C., Visser, M. E. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411.6835: 296-298.
- Baat L., ten Brink, P. (eds.) (2008). The Cost of Policy Inaction, The case of not meeting the 2010 biodiversity target. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 171
- Bradbury, R. B., Kirby, W. B. (2006). Farmland birds and resource protection in the UK: Cross-cutting solutions for multi-functional farming? *Biological Conservation* 129: 530-543.

- Brady, M.V., Hedlund, K., Cong, R.-G., Hemerik, L., Hotes, S., Machado, S., Mattsson, L., Schulz, E., Thomsen, I.K. (2015). Valuing Supporting Soil Ecosystem Services in Agriculture: A Natural Capital Approach. *Agronomy Journal* 107: 1809-1821.
- Brady, M.V., Hristov, J., Wilhelmsson, F., Hedlund, K. (2019). Roadmap for valuing soil ecosystem services to inform multi-level decision-making in agriculture. *Sustainability*: 11.
- Bredfeldt, M. (2015). Naturmiljö och klimatförändringar i Norrbotten – konsekvenser och anpassning. Länsstyrelsens rapportserie nr 14/2015. Länsstyrelsen i Norrbottens län, Luleå.
- Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D., Garçon, J.V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M., Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science* 359 (6371).
- Brook, B.W., Sodhi, N.S., Bradshaw, C.J.A. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 453-460.
- Brooks, T. M., Lamoreux, J. F., Soberón, J. (2014). IPBES ≠ IPCC. *Trends in Ecology & Evolution* 29: 543-545.
- Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M., West, G.B. (2004). Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85: 1771-1789. www.jstor.org/stable/3450341
- Butt, N., Shanahan, D.F., Shumway, N., Bekessy, S.A., Fuller, R.A., Watson, J.E.M., Maggini, R., Hole, D.G. (2018). Opportunities for biodiversity conservation as cities adapt to climate change. *Geo: Geography and Environment* 5, e00052.
- Båmstedt, U., Wikner, J. (2016). Mixing depth and allochthonous dissolved organic carbon: controlling factors of coastal trophic balance. *Marine Ecology Progress Series* 561: 17-29.
- Börjesson, P. (1999). Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy* 16: 137-154.
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, and S. Naeem. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- Carlson, A.K., Taylor, W.W., Schlee, K.M., Zorn, T.G., Infante, D.M. (2017). Projected impacts of climate change on stream salmonids with implications for resilience-based management. *Ecology of Freshwater Fish* 26: 190-204.
- Carlsson, G., Svensson, S.G., Mattsson, J.E., Prade, T. (2015). Artrika vallar ger hållbar energiråvara och gynnar den biologiska mångfalden. Sveriges lantbruksuniversitet. LTV-fakultetens faktablad 2015: 20.
- Carlsson, G., Mårtensson, L.-M., Prade, T., Svensson, S.-E., Jensen, E.S. (2017). Perennial species mixtures for multifunctional production of biomass on marginal land. *GCB Bioenergy* 9: 191-201.
- Carrie, R., Ekroos, J., Smith, H.G. (2018). Organic farming supports spatiotemporal stability in species richness of bumblebees and butterflies. *Biological Conservation* 227: 48-55
- Carstensen, J., D.J. Conley, E. Bonsdorff, B.G. Gustafsson, S. Hietanen, U. Janas, T. Jilbert, A. Maximov, A. Norkko, J. Norkko, D.C. Reed, C.P. Slomp, K. Timmermann, and M. Voss. (2014). Hypoxia in the Baltic Sea: biogeochemical cycles, benthic fauna, and management. *Ambio* 43: 26-36.
- Carvalho, L.G., Kunin, W.E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W.N., Fox, R., Groom, Q., Hennekens, S., Van Landuyt, W., Maes, D., Van de Meutter, F., Michez, D., Rasmont, P., Ode, B., Potts, S.G., Reemer, M., Roberts, S.P.M., Schaminée, J., WallisDeVries, M.F., Biesmeijer, J.C. (2013). Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters* 16: 870-878.
- Casini, M., Kornilovs, G., Cardinale, M., Möllmann, M., Grygiel, W., Jonsson, P., Raid, T., Flinkman, J., Feldman, V. (2011). Spatial and temporal density-dependence regulates the condition of central Baltic Sea clupeids: compelling evidence using an extensive international acoustic survey. *Population Ecology* 53: 511-523.

- Casini, M., Käll, F., Hansson, M., Plikshs, M., Baranova, T., Karlsson, O., Lundström, K., Neuenfeldt, S., Gårdmark, A., Hjelm, J. (2016). Hypoxic areas, density-dependence and food limitation drive the body condition of a heavily exploited marine fish predator. *Royal Society Open Science* 3: 160416.
- CBD. (2009). Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. 126. Secretariat of the CBD. Montreal, Canada.
- Chapin, F.S., Danell, K., Elmqvist, T., Folke, C., Fresco, N., (2007). Managing climate change impacts to enhance the resilience and sustainability of Fennoscandian forests. *Ambio* 36: 528-533.
- Charmantier, A., McCleery, R. H., Cole, L. R., Perrins, C., Kruuk, L. E., Sheldon, B. C. (2008). Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population. *Science* 320(5877): 800-803.
- Chassot, E., Bonhommeau, S., Duvly, N.K., Mélin, F., Watson, R., Gascuel, D., O. Le Pape. (2010). Global marine primary production constrains fisheries catches. *Ecology Letters* 13: 495-505.
- Clough, Y., Ekroos, J., Báldi, A., Batáry, P., Bommarco, R., Gross, N., Holzschuh, A., Hopfenmüller, S., Knop, E., Kuussaari, M., Lindborg, R., Marini, L., Öckinger, E., Potts, S.G., Pöyry, J., Roberts, S.P.M., Steffan-Dewenter, I., Smith, H.G. (2014). Density of insect-pollinated grassland plants decreases with increasing surrounding land-use intensity. *Ecology Letters* 17: 1168-1177.
- Conley, D.J., Björck, S., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Destouni, G., Gustafsson, B.G., Hietanen, S., Kortekaas, M., Kuosa, H., Meier, H.E.M., Muller-Karulis, B., Nordberg, K., Norkko, A., Nurnberg, G., Pitkanen, H., Rabalais, N.N., Rosenberg, R., Savchuk, O.P., Slomp, C.P., Voss, M., Wulff, F., Zillen, L. (2009). Hypoxia-Related Processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology* 43: 3412-3420.
- Cong, R.-G., Termansen, M., Brady, M.V. (2015). Managing soil natural capital: a prudent strategy for adapting to future risks. *Annals of Operations Research* 255: 439-463.
- Dannheim, J., Bergström, L., Birchenough, S.N.R., Brzana, R., Boon, A.R., Coolen, J.W.P., Dauvin, J.-C., De Mesel, I., Derweduwien, J., Gill, A.B., Hutchison, Z.L., Jackson, A.C., Janas, U., Martin, G., Raoux, A., Reubens, J., Rostin, L., Vanaverbeke, J., Wilding, T.A., Wilhelmsson, D., Degraer, S. (2019). Benthic effects of offshore renewables: identification of knowledge gaps and urgently needed research. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1092-1108.
- Dauber, J., Brown, C., Fernando, A., Finnan, J., Krasuska, E., Ponitka, J., Styles, D., Thrän, D., Van Groenigen, K., Weih, M., Zah, R. (2012). Bioenergy from "surplus" land: environmental and socio-economic implications. *BioRisk* 7: 5-50.
- Davey, C.M., Devictor, V., Jonzén, N., Lindström, Å., Smith, H.G. (2013). Impact of climate change on communities: revealing species' contribution. *Journal of Animal Ecology* 82: 551-561.
- Davey, C.M., Devictor, V., Gauzere, P., Jonzén, N., Smith, H.G., Lindström, Å. (2016). Regional variation in climate change winners and losers highlights the rapid loss of cold-dwelling species. *Diversity and Distributions* 22: 468-480.
- De Jong, J., Akseelsson, C., Egnell, G., Löfgren, S., Olsson, B. (2018). Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag: En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten Rapport: ER 2018: 02.
- Diaz, R. J., Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321: 926-929.
- Diaz, R.J., Rosenberg, R., Sturdivant, K. (2019). Hypoxia in estuaries and semi-enclosed seas. S. 85-116 i: Laffoley, D. och Baxter, J.M. (eds.). *Ocean deoxygenation: Everyone's problem - Causes, impacts, consequences and solutions*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science* 359(6373): 270-272

- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K.J., Zayas, C.N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* 366(6471): eaax3100.
- Di Fulvio, F., Forsell, N., Korosuo, A., Obersteiner, M. and Hellweg, S. (2019). Spatially explicit LCA analysis of biodiversity losses due to different bioenergy policies in the European Union. *Science of the Total Environment* 651: 1505-1516.
- Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., Marba, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change* 3: 961-968
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M.L.J., Sullivan, C.A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81: 163-182.
- Dudgeon, D. (2010) Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21st century: linking ecosystem structure and function. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2: 422-430.
- Dunn, R.R., Gavin, M.C., Sanchez, M.C., Solomon, J.N. (2006). The Pigeon Paradox: Dependence of Global Conservation on Urban Nature. *Conservation Biology* 20: 1814-1816.
- Dupont, Y.L., Damgaard, C., Simonsen, V. (2011). Quantitative Historical Change in Bumblebee (*Bombus* spp.) Assemblages of Red Clover Fields. *Plos One* 6.
- Dänhardt, J., Hedlund, K., Birkhofer, K., Bracht Jörgensen, H., Brady, M., Brönmark, C., Lindström, S., Nilsson, L., Olsson, O., Rundlöf, M., Stjernman, M., Smith, H. (2013). Ekosystemtjänster i det skånska Jordbrukslandskapet. CEC Syntes Nr 01. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet. ISBN 978-91-981577-0-3.
- Eallinbiras (2009). Sametingets livsmiljöprogram. Antaget av Sametingets plenum 090219 § 11. <http://www.sametinget.se/7366>
- EC. 2020. (European Commission) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our live. COM(2020) 380 final. Brussels, 20.5.2020
- Eckersten, H., Andersson, L., Holstein, F., Mannerstedt Fogelfors, B., Lewan, E., Sigvald, R., Torssell, B., Karlsson, S. (2008). Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige. Report from the Department of Crop Production Ecology (VPE). No. 6. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU).
- EEA. (2013). Adaptation in Europe, Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments. Luxembourg. <http://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-europe>
- Eide, W., Ahnér, K., Bjelke, U., Nordström, S., Ottosson, E., Sandström, J., Sundberg, S. (red.) (2020). Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer – rödlistade arter i Sverige 2020. SLU Artdatabanken rapporterar 24. SLU Artdatabanken, Uppsala.
- Eigaard, O.R., Bastardie, F., Hintzen, N.T., Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Catarino, R., Dinesen, G.E., Egekvist, J., Fock, H.O., Geitner, K., Gerritsen, H.D., González, M.M., Jonsson, P., Kavadas, S., Laffargue, P., Lundy, M., Gonzalez-Mirelis, G., Nielsen, J.R., Papadopoulou, N., Posen, P.E., Pulcinella, J., Russo, T., Sala, A., Silva, C., Smith, C.J., Vanelslander, B., Rijnsdorp, A.D. (2016). The footprint of bottom trawling in European waters: distribution, intensity, and seabed integrity. *ICES Journal of Marine Science* 74: 847-865.
- Ekroos, J., Rundlöf, M., Smith, H.G. (2013). Trait-dependent responses of flower-visiting insects to distance to semi-natural grasslands and landscape heterogeneity. *Landscape Ecology* 28: 1283-1292
- Ekroos, J. von Post, M., Nilsson, L., Smith, H.G. (2020). Effekter av grön infrastruktur på biologisk mångfald- en forskningsöversikt. Naturvårdsverket Rapport 6922.

- Emilsson, T., Ode Sang Å. (2017). Impacts of Climate Change on Urban Areas and Nature-Based Solutions for Adaptation. Sidorna 15-27 i Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (red.). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice. Springer International Publishing, Cham.
- Englund, O., Börjesson, P., Berndes, G., Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Grizzetti, B., Dimitriou, I., Mola-Yudego, B., Fahl, F. (2020). Beneficial land use change: Strategic expansion of new biomass plantations can reduce environmental impacts from EU agriculture. *Global Environmental Change* 60: 101990.
- European Commission. (2013). Building a Green Infrastructure for Europe. European Union, 2013, Belgium.
- European Commission. (2014). Meddelande från Kommissionen till Europaparlamentet, Rådet, Europeiska Ekonomiska och Sociala Kommittén samt Regionkommittén Blå energi. Åtgärder som behövs för att utnyttja potentialen hos havsenergin i Europas hav med resultat till 2020 och därefter. /* COM/2014/08 final */. EUR Lex Document 52014DC0008
- European Commission. (2020). EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our lives. Brussels, 20.5.2020 COM(2020) 380 final. Document 52020DC0380
- EU. (2018a). Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor (omarbetning).
- EU. (2018b). Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013.
- Felton, A., Gustafsson, L., Roberge, J.M., Ranius, T., Hjältén, J., Rudolphi, J., Lindblad, M., Weslien, J., Rist, L., Brunet, J., Felton, A.M. (2016a). How climate change adaptation and mitigation strategies can threaten or enhance the biodiversity of production forests: Insights from Sweden. *Biological Conservation* 194: 11-20.
- Felton, A., Nilsson, U., Sonesson, J., Felton, A.M., Roberge, J.-M., Ranius, T., Ahlström, M., Bergh, J., Björkman, C., Boberg, J., Drössler, L., Fahlvik, N., Gong, P., Holmström, E., Keskitalo, E.C.H., Klapwijk, M.J., Laudon, H., Lundmark, T., Niklasson, M., Nordin, A., Pettersson, M., Stenlid, J., Sténs, A., Wallertz, K. (2016b). Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio* 45: 124-139.
- Felton, A., Löfroth, T., Angelstam, P., Gustafsson, L., Hjältén, J., Felton, A.M., Simonsson, P., Dahlberg, A., Lindblad, M., Svensson, J., Nilsson, U., Lodin, I., Hedwall, P.O., Sténs, A., Lämås, T., Brunet, J., Kalén, C., Kriström, B., Gemmel, P., Ranius, T. (2020). Keeping pace with forestry: Multi-scale conservation in a changing production forest matrix. *Ambio* 49: 1050-1064.
- Filyushkina, A., Strange, N., Lof, M., Ezeibilo, E.E., Boman, M. (2016). Non-market forest ecosystem services and decision support in Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 99-110.
- Finsberg, C. (2014). Havsstrandängar och klimatförändringar - Hot och åtgärder. Rapportnr: 2014: 69. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Naturvårdsenheten.
- Fischer, J., Abson, D.J., Butsic, V., Chappell, M.J., Ekroos, J., Hanspach, J., Kuemmerle, T., Smith, H.G., von Wehrden, H. (2014). Land Sparing Versus Land Sharing: Moving Forward. *Conservation Letters* 7: 149-157.
- FN. (1992). United Nations. Convention on Biological diversity. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>
- FN. (2015). United Nations. Paris Agreement. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- Fourcade, Y., Ranius, T., Öckinger, E. (2017). Temperature drives abundance fluctuations, but spatial dynamics is constrained by landscape configuration: Implications for climate-driven range shift in a butterfly. *Journal of Animal Ecology* 86: 1339-1351.
- Fourcade, Y., Åström, S., Öckinger, E. (2019). Climate and land-cover change alter bumblebee species richness and community composition in subalpine areas. *Biodiversity and conservation* 28.3: 639-653.

Galatowitsch, S., van der Valk, A. (1996). Characteristics of recently restored wetlands in the prairie pothole region. *Wetlands* 16: 75-83.

Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhoeffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipolito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlöf, M., Seymour, C.L., Schuepp, C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Tschamntke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science* 339: 1608-1611.

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E.L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347: 1255957.

Gustafsson, B.G., Schenk, F., Blenckner, T., Eilola, K., Meier, H.E.M., Müller-Karulis, B., Neumann, T., Ruoho-Airola, T., Savchuk, O.P., Zorita, E. (2012). Reconstructing the Development of Baltic Sea Eutrophication 1850–2006. *Ambio* 41: 534-548.

Gårdmark, A., Huss, M. (2020). Individual variation and interactions explain food web responses to global warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society London Series B*, accepted.

Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Söderström, B. (2015). What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems? *Environmental Evidence* 4: 23.

Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence* 6: 30.

Haddaway, N., Brown, C., Eales, J., Eggers, S., Josefsson, J., Kronvang, B., Randall, M.P., Uusi-Kämpä, J. (2018). The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. *Environmental Evidence* 7: 14

Hansen, J., Anderson, H.C., Bergström, U., Borger, T., Brelin, D., Byström, P., Eklöf, J., Kraufvelin, P., Kumblad, L., Ljunggren, L., Nordahl, O., Tibblin, P. (2020). Våtmarker som fiskevårdsåtgärd vid kusten. Utvärdering av restaurerade våtmarkers effekt på fiskreproduktion och ekosystemet längs Östersjökusten. Stockholms universitets Östersjöcentrum rapport 1/2020s. https://www.su.se/polopoly_fs/1.500696.1589978079!/menu/standard/file/Våtmarksrapport%20Östersjöcentrum.pdf

Hanson, H., Wickenberg, B., Alkan Olsson, J. (2020). Working on the boundaries—How do science use and interpret the nature-based solution concept? *Land Use Policy* 90: 104302

Hansson, M., L. Viktorsson, and L. Andersson. (2018). Oxygen survey in the Baltic Sea 2018 - Extent of anoxia and hypoxia, 1960-2018. SMHI Report Oceanography No. 65. ISSN: 0283-1112.

Havs- och vattenmyndigheten. (2019). Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet Statlig planering i territorialhav och ekonomisk zon. Havs- och vattenmyndigheten, Dnr 3628-2019. 2019-12-16

Havs- och vattenmyndigheten. (2020). Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten 2019. Resursöversikt. Havs och vattenmyndigheten rapport 2020: 3

Hegland, S.J., Nielsen, A., Lazaro, A., Bjerknes, A.L., Totland, O. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters* 12: 184-195.

HELCOM. (2013). Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 137.

HELCOM. (2018). State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 155

Hentati-Sundberg, J. (2017). Svenskt fiske i historiens ljus – en historisk fiskeriatlas. *Aqua reports* 2017: 4. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser.

- Herbertsson, L., Jönsson, A.M., Andersson, G.K.S., Seibel, K., Rundlöf, M., Ekroos, J., Stjernman, M., Olsson, O., Smith, H.G. (2018). The impact of sown flower strips on plant reproductive success in Southern Sweden varies with landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 259: 127-134.
- Hieronymus, M., Kalén, O. (2020). Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate. *Ambio* 49: 1587–1600.
- Hiron, M., Berg, Å., Eggers, S., Berggren, Å., Josefsson, J., Pärt, T. (2015). The relationship of bird diversity to crop and non-crop heterogeneity in agricultural landscapes. *Landscape Ecology* 30: 2001-2013.
- Hodgson, D., McDonald, J. L., Hosken, D. J. (2015). What do you mean, 'resilient'? *Trends in Ecology & Evolution* 30: 503-506.
- Hof, A.R., Svahlin, A. (2016a). Not erroneous but cautious conclusions about the potential effect of climate change on the geographical distribution of insect pest species in the Swedish boreal forest. Response to Bjorklund et. al (2015). *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 128-129.
- Hof, A.R., Svahlin, A., (2016b). The potential effect of climate change on the geographical distribution of insect pest species in the Swedish boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 29-39.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1-23.
- Hoppe, I., Rödder, S. (2019). Speaking with one voice for climate science—Climate researchers' opinion on the consensus policy of the IPCC. *Journal of Science Communication* 18.3. A04.
- Humborg, C., Geibel, M. C., Sun, X., McCrackin, M., Mörtz, C.-M., Stranne, C., Jakobsson, M., Gustafsson, B., Sokolov, A., Norkko, A., Norkko, J. (2019). High Emissions of Carbon Dioxide and Methane From the Coastal Baltic Sea at the End of a Summer Heat Wave. *Frontiers in Marine Science* 6: 493.
- Huss, M., Lindmark, M., van Dorst, R. M., Jacobson, P., Gårdmark, A. (2019). Large-scale experimental evidence of gradual size-dependent shifts in body size and growth of fish in response to warming. *Global Change Biology*, 5: 2285–2295.
- IPBES. (2016a). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V. L., Ngo, H. T. (red.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 s.
- IPBES. (2016b). The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services. Ferrier, S., Ninan, K. N., Leadley, P., Alkemade, R., Acosta, L. A., Akçakaya, H. R., Brotons, L., Cheung, W. W. L., Christensen, V., Harhash, K. A., Kabubo-Mariara, J., Lundquist, C., Obersteiner, M., Pereira, H. M., Peterson, G., Pichs-Madruga, R., Ravindranath, N., Rondinini, C., Wintle, B. A. (red.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 348 s.
- IPBES. (2018a). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marín Rando, A. och Mader, A. (red.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 892 s.
- IPBES. (2018b). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (red.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 s.
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (red.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T. (red.).
- IPCC. (2019a). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J. Rama, B., Weyer, N.M. (red.).
- IPCC (2019b). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M. Malley, J. (red.).
- IPCC. (2019c). Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M. Malley, J. (red.). In press
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Bezemer, T.M., Bonin, C., Bruelheide, H., de Luca, E., Ebeling, A., Griffin, J.N., Guo, Q., Hautier, Y., Hector, A., Jentsch, A., Kreyling, J., Lanta, V., Manning, P., Meyer, S.T., Mori, A.S., Naeem, S., Niklaus, P.A., Polley, H.W., Reich, P.B., Roscher, C., Seabloom, E.W., Smith, M.D., Thakur, M.P., Tilman, D., Tracy, B.F., van der Putten, W.H., van Ruijven, J., Weigelt, A., Weisser, W.W., Wilsey, B., Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526: 574-577.
- IUCN (2020). Marine protected areas and climate change. Online <https://www.iucn.org>
- Ives, C.D., Lentini, P.E., Threlfall, C.G., Ikin, K., Shanahan, D.F., Garrard, G.E., Bekessy, S.A., Fuller, R.A., Mumaw, L., Rayner, L., Rowe, R., Valentine, L.E., Kendal, D. (2016). The importance of cities for threatened species. *Global Ecology and Biogeography* 25: 117-126.
- Johansson M, Callaghan TV, Bosio J, Åkerman J, Jackowicz-Korczynski M, Christensen T. (2013). Rapid responses of permafrost and vegetation to experimentally increased snow cover in sub-arctic Sweden. *Environmental Research Letters* 8(3).
- Jordbruksverket. (2017). Handlingsplan för klimatanpassning - Jordbruksverkets arbete med klimatanpassning inom jordbruks- och trädgårdssektorn. Jordbruksverket Rapport 2017: 7.
- Josefsson, J., Berg, Å., Hiron, M., Pärt, T. and Eggers, S. (2017). Sensitivity of the farmland bird community to crop diversification in Sweden: does the CAP fit? *J. Applied Ecology* 54: 518-526.
- Jutila, E., Jokikokko, E., Julkunen, M. (2005). The smolt run and postsmolt survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to early summer water temperatures in the northern Baltic Sea. *Ecology of Freshwater Fish* 14: 69-78.
- Jägerskiöld, L.A. (1971). A survey of the marine benthonic macro-fauna along the Swedish west coast 1921–1938. *Acta Regia Societatis Scientiarum et Litterarum Gothoborgensis, Zoologica* 6.
- Jönsson, A.M., Lagergren, F., Smith, B. (2015). Forest management facing climate change - an ecosystem model analysis of adaptation strategies. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 20: 201-220.
- Jönsson, A.M., Linderson, M.L., Stjernquist, I., Schlyter, P., Bårring, L. (2004). Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies*. *Global and Planetary Change* 44: 195-207.
- Jönsson, A.M., Schroeder, L.M., Lagergren, F., Anderbrant, O. and Smith, B. (2012). Guess the impact of *Ips typographus* -An ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agric. For. Meteorol.* 166: 188-200.

- Jönsson, A.M., Ekroos, J., Dänhart, J., Andersson, G.K., Olsson, O., Smith, H.G. (2015). Sown flower strips increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape *Biological Conservation* 184: 51-58.
- Jönsson, A.M., Lagergren, F. (2018). Effects of climate and soil conditions on the productivity and defence capacity of *Picea abies* in Sweden-An ecosystem model assessment. *Ecological Modelling* 384: 154-167.
- Karlson, K., Rosenberg, R., Bonsdorff, E. (2002). Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic waters—a review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 40: 427–489.
- Karlsson, J., Byström, P., Ask, J., Ask, P., Persson, L., Jansson, M. (2009). Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature* 460: 506-509.
- Kasimir, Å. (2013). Skog och jordbruk på dikade våtmarker avger stora mängder växthusgaser. BECC Policy Brief 03 2013.
- Kasimir, A., He, H.X., Coria, J., Norden, A. (2018). Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production, and economics. *Global Change Biology* 24: 3302-3316.
- Keskitalo, E.C.H., Bergh, J., Felton, A., Bjorkman, C., Berlin, M., Axelsson, P., Ring, E., Agren, A., Roberge, J.M., Klapwijk, M.J., Boberg, J. (2016). Adaptation to Climate Change in Swedish Forestry. *Forests* 7.
- Kerr, J. Pindar, T. A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S.G., Roberts, S.M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S.R., Richardson, L. L., Wagner, D. L., Gall, L. F., Sikes, D. S., Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* 349: 177-180.
- Kim, H., Rosa, I.M.D., Alkemade, R., Leadley, P., Hurtt, G., Popp, A., van Vuuren, D.P., Anthoni, P., Arneth, A., Baisero, D., Caton, E., Chaplin-Kramer, R., Chini, L., De Palma, A., Di Fulvio, F., Di Marco, M., Espinoza, F., Ferrier, S., Fujimori, S., Gonzalez, R.E., Gueguen, M., Guerra, C., Harfoot, M., Harwood, T.D., Hasegawa, T., Haverd, V., Havlik, P., Hellweg, S., Hill, S.L.L., Hirata, A., Hoskins, A.J., Janse, J.H., Jetz, W., Johnson, J.A., Krause, A., Leclerc, D., Martins, I.S., Matsui, T., Merow, C., Obersteiner, M., Ohashi, H., Poulter, B., Purvis, A., Quesada, B., Rondinini, C., Schipper, A.M., Sharp, R., Takahashi, K., Thuiller, W., Titeux, N., Visconti, P., Ware, C., Wolf, F., Pereira, H.M. (2018). A protocol for an intercomparison of biodiversity and ecosystem services models using harmonized land-use and climate scenarios. *Geoscientific Model Development* 11: 4537-4562.
- Klapwijk, M.J., Boberg, J., Bergh, J., Bishop, K., Bjorkman, C., Ellison, D., Felton, A., Lidskog, R., Lundmark, T., Keskitalo, E.C.H., Sonesson, J., Nordin, A., Nordstrom, E.M., Stenlid, J., Marald, E. (2018). Capturing complexity: Forests, decision-making and climate change mitigation action. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 52: 238-247.
- Klapwijk, M.J., Bylund, H., Schroeder, M., Bjorkman, C. (2016). Forest management and natural biocontrol of insect pests. *Forestry* 89: 253-262.
- Kollas, C., Korner, C., Randin, C.F. (2014). Spring frost and growing season length co- control the cold range limits of broad- leaved trees. *Journal of Biogeography* 41: 773-783.
- Kremen, C. (2015). Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1355: 52-76.
- Kritzbeg, E.S., Hasselquist, E.M., Škerlep, M., Löfgren, S., Olsson, O., Stadmark, J., Valinia, S., Hansson, L.-A., Laudon, H. (2020). Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49: 375-390.
- Kullman, L., Öberg, L. (2009). Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective. *Journal of Ecology* 97: 415-429.
- Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W.J., Bach, L.A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J.A., Gordo, O., Hedenstroom, A., Lehikoinen, E., Marra, P.P., Moller, A.P., Nilsson, A.L.K., Peron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T.H., Spina, F., Studds, C.E., Saether, S.A., Tryjanowski, P., Stenseth, N.C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews* 86: 928-946.
- Kullberg, C., Fransson, T., Hedlund, J., Jonzén, N., Langvall, O., Nilsson, J., Bolmgren, K. (2015). Change in spring arrival of migratory birds under an era of climate change, Swedish data from the last 140 years. *Ambio* 44: 69-77.

- Lagergren, F., Jönsson, A.M. (2017). Ecosystem model analysis of multi-use forestry in a changing climate. *Ecosystem Services* 26: 209-224.
- Lal, R., Delgado, J.A., Groffman, P.M., Millar, N., Dell, C., Rotz, A. (2011). Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation* 66: 276-285.
- Lal, R. (2011). Sequestering carbon in soils of agroecosystems. *Food Policy* 36:S33–S39.
- Larigauderie, A., Mooney, H. A. (2010). The Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Moving a step closer to an IPCC-like mechanism for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2: 9-14.
- Lehikoinen, A., Green, M., Husby, M., Kålås, J. A., Lindström, Å. (2014). Common montane birds are declining in northern Europe. *Journal of Avian Biology* 45: 3-14.
- Lehikoinen, E., Sparks, T. H., Zalakevicius, M. (2004). Arrival and departure dates. *Advances in Ecological Research* 35: 1–31.
- Lehikoinen, P., Santangeli, A., Jaatinen, K., Rajasärkkä, A. (2019). Protected areas act as a buffer against detrimental effects of climate change—Evidence from large-scale, long-term abundance data. *Global Change Biology* 25: 304-313.
- Lennartsson, T., Svensson, R., Helldin, J.-O., Ek, T., Axelsson Linkowski, W., Westin, A. (2017). Biobränslen, gamla träd och död ved i jordbrukslandskapet. CBM:s skriftserie nr. 105. Centrum för Biologisk Mångfald, Uppsala. ISBN 978-91-88083-13-5
- Lenoir, J., Gegout, J. C., Marquet, P. A., de Ruffray, P., Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768-1771.
- Levington, J. S. (2001). *Marine biology: function, biodiversity, ecology*. Vol. 2. Oxford University Press Inc.
- Lidskog, R., Sundqvist, G., Kall, A.S., Sandin, P., Larsson, S. (2013). Intensive forestry in Sweden: stakeholders' evaluation of benefits and risk. *Journal of Integrative Environmental Sciences* 10: 145-160.
- Limburg, K.E., Casini, M. (2018). Effect of marine hypoxia on Baltic Sea cod *Gadus morhua*: evidence from otolith chemical proxies. *Frontiers in Marine Science* 5: 482.
- Limburg, K.E., Casini, M. (2019). Otolith chemistry indicates recent worsened Baltic cod condition is linked to hypoxia exposure. *Biology Letters* 15: 20190352.
- Lindmark, M., Huss, M., Ohlberger, J., Gårdmark, A. (2018). Temperature-dependent body size effects on population responses to climate warming. *Ecology Letters* 21: 181–189.
- Lindmark, M., Ohlberger, J., Huss, M., Gårdmark, A. (2019). Size-based ecological interactions drive food web responses to climate warming. *Ecology Letters* 22: 778–786.
- Lindström, Å., Green, M., Paulson, G., Smith, H. G., Devictor, V. (2013). Rapid changes in bird community composition at multiple temporal and spatial scales in response to recent climate change. *Ecography* 36: 313-322.
- Lutz, D.A., Howarth, R.B. (2014). Valuing albedo as an ecosystem service: implications for forest management. *Climatic Change* 124: 53-63.
- Luyssaert, S., Marie, G., Valade, A., Chen, Y.Y., Djomo, S.N., Ryder, J., Otto, J., Naudts, K., Lanso, A.S., Ghattas, J., McGrath, M.J. (2019). Trade-offs in using European forests to meet climate objectives (vol 562, pg 259, 2018). *Nature* 567, E13-E13.
- Maes, J., Jacobs, S. (2015). Nature-Based Solutions for Europe's Sustainable Development. *Conservation Letters* 10: 121-124.
- Mair, L., Jönsson, M., Rätty, M., Barring, L., Strandberg, G., Lämås, T., Snäll, T. (2018). Land use changes could modify future negative effects of climate change on old-growth forest indicator species. *Diversity and Distributions* 24: 1416-1425.

- Markensten, T., Reiter, L., Bodin, P., Hasund, K.P., Svensson, E., Nyberg, M. (2018). Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd. Jordbruksverket Rapport 2018: 30
- Markovic, D., Carrizo, S., Freyhof, J., Cid, N., Lengyel, S., Scholz, M., Kasperdus, H., Darwall, W. (2014). Europe's freshwater biodiversity under climate change: distribution shifts and conservation needs. *Diversity and Distributions* 20: 1097-1107.
- Martin, E.A., Dainese, M., Clough, Y., Báldi, A., Bommarco, R., Gagic, V., Garratt, M.P.D., Holzschuh, A., Kleijn, D., Kovács-Hostyánszki, A., Marini, L., Potts, S.G., Smith, H.G., Al Hassan, D., Albrecht, M., Andersson, G.K.S., Asís, J.D., Aviron, S., Balzan, M.V., Baños-Picón, L., Bartomeus, I., Batáry, P., Burel, F., Caballero-López, B., Concepción, E.D., Coudrain, V., Dänhardt, J., Díaz, M., Diekötter, T., Dormann, C.F., Duflot, R., Entling, M.H., Farwig, N., Fischer, C., Frank, T., Garibaldi, L.A., Hermann, J., Herzog, F., Inclán, D., Jacot, K., Jauker, F., Jeanneret, P., Kaiser, M., Krauss, J., Le Féon, V., Marshall, J., Moonen, A.-C., Moreno, G., Riedinger, V., Rundlöf, M., Rusch, A., Scheper, J., Schneider, G., Schüepp, C., Stutz, S., Sutter, L., Tamburini, G., Thies, C., Tormos, J., Tschamtker, T., Tschumi, M., Uzman, D., Wagner, C., Zubair-Anjum, M., Steffan-Dewenter, I. (2019). The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecology Letters* 22: 1083-1094.
- Martinet, B., Rasmont, P., Cederberg, B., Evrard, D., Odegaard, F., Paukkunen, J., Lecocq, T. (2015). Forward to the north: two Euro-Mediterranean bumblebee species now cross the Arctic Circle. *Annales De La Societe Entomologique De France* 51: 303-309.
- Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K.L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.-K., Yohe, G.W., Zwiers, F.W. (2010). Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). www.ipcc.ch.
- Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Edenhofer, O., Stocker, T.F., Field, C., Ebi, K.L., Matschoss, P.R. (2011). The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties. a common approach across the working groups. *Climatic Change* 108: 675-691.
- Mattila, N., Kaitala, V., Komonen, A., Pälvinen, J., Kotiaho, J.S. (2011). Ecological correlates of distribution change and range shift in butterflies. *Insect Conservation and Diversity* 4: 239-246.
- McCrackin, M.L., Muller-Karulis, B., Gustafsson, B.G., Howarth, R.W., Humborg, C., Svanbäck, A., Swaney, D.P. (2018). A century of legacy phosphorus dynamics in a large drainage basin. *Glob. Biogeochem. Cyc.* 32: 1107-1122
- McLachlan, A., Brown, A.C. (2006). *The Ecology of Sandy Shores*. Academic Press.
- Miller, P. A., Giesecke, T., Hickler, T., Smith, B., Bradshaw, R., Valdes, P.J., Seppä, H., Sykes, M.T. (2008). Exploring climatic and biotic controls on Holocene vegetation change in Fennoscandia. *Journal of Ecology* 96: 247-259.
- Minteer, B. A., Collins, J. P. (2012). Species conservation, rapid environmental change, and ecological ethics. *Nature Knowledge Education* 3(10): 14
- Moksnes, P-O. (2009). Restaurera ålgräsängar. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten, rapport nr. 26
- Moss, B., Hering, D., Green, A.J., Adoud, A. (2009). Climate Change and the Future of Freshwater Biodiversity in Europe: A Primer for Policy-Makers. *Freshwater Reviews* 2: 103-130
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756.
- Nabe-Nielsen, J., van Beest, F.M., Grimm, V., Sibly, R.M., Teilmann, J., Thompson, P.M. (2018). Predicting the impacts of anthropogenic disturbances on marine populations. *Conservation Letters*: e12563.
- Naturvårdsverket. (2007). Ekosystemansatsen – en väg mot bevarande och hållbart nyttjande av naturresurser. Naturvårdsverket Rapport 5782.

Naturvårdsverket. (2010). Undersökning av utsjöbankar. Inventering, modellering och naturvärdesbedömning. Naturvårdsverket Rapport 6385.

Naturvårdsverket. (2015) Riktlinjer för regionala handlingsplaner för grön infrastruktur. Ingår i redovisning av ett regeringsuppdrag (M2014/1948/Nm) 2015-09-24. <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/ru-gron-infrastruktur-delredovisning/ru-gron-infrastruktur-riktlinjer-20150924.pdf>

Naturvårdsverket. (2017). Ekosystemtjänstförteckning med inventering av dataunderlag för kartläggning av ekosystemtjänster och grön infrastruktur. Naturvårdsverket Rapport 6797.

Naturvårdsverket (2018). Biodiversity and ecosystem services in Nordic coastal ecosystems – an IPBES-like assessment. Summary for policymakers. A Nordic cooperation among Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweden, the Faroe Islands, Greenland and the Åland Islands. Swedish Environmental Protection Agency.

Naturvårdsverket (2019). Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019 med förslag till regeringen från myndigheter i samverkan. ISBN 978-91-620-6865-3

Naturvårdsverket (2020). Vindval – forskningsprogram om vindkraftens miljöpåverkan - Rapporter och projekt 2005–2021. <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/forskning/vindval/vindval%20forskningsprojek%20t2005-2021%20apr2020.pdf>

Nilsson, L. och Kampe-Persson, H. (2018). Changes in migration and wintering patterns of Greylag Geese Anser anser from southernmost Sweden during three decades. *Ornis Svecica* 28: 19-38.

Niittynen, P. och Luoto, M. (2018). The importance of snow in species distribution models of arctic vegetation. *Ecography* 41: 1024-1037.

Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. Sidorna 833-868 i *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White L.L., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Nogues-Bravo, D., Araujo, M. B., Errea, M. P., Martinez-Rica, J. P. (2007). Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change* 17: 420-428.

Nyström Sandman, A., Christiernsson, A., Gidhagen Fyhr, F., Lindegårdh, M., Kraufvelin, P., Bergström, P., Nilsson, P., Fredriksson, R., Bergström, U., Hogfors, H. (2020). Grön infrastruktur i havet - landskapsperspektiv i förvaltningen av Sveriges marina områden. Naturvårdsverket Rapport 6930.

Näringsdepartementet. (2018). Sveriges nationella skogsprogram https://www.regeringen.se/49bad6/contentassets/34817820fe074cb9aeff084815bd3a9f/20180524_hela.pdf.

Obst, M., Vicario, S., Lundin, K., Berggren, M., Karlsson, A., Haines, R., Williams, A., Goble, C., Mathew, C., Güntsch, A. (2018). Marine long-term biodiversity assessment suggests loss of rare species in the Skagerrak and Kattegat region. *Marine Biodiversity* 48: 2165-2176.

Oesterwind, D., Psuty, I., Pachur, M., von Dorrien, C., Lejk, A., Casini, M., Larson, N. (2013). HELCOM Core indicator of biodiversity - proportion of large fish in the community. HELCOM 2013 online

Oliva, J., Stenlid, J. (2011). Validation of the Rotstand model for simulating Heterobasidion annosum root rot in Picea abies stands. *Forest Ecology and Management* 261: 1841-1851.

Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A., Bullock, J.M. (2016). A synthesis is emerging between biodiversity-ecosystem function and ecological resilience research: reply to Mori. *Trends in Ecology & Evolution* 31: 89-92.

Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A., Bullock, J.M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution* 30: 673-684.

Olsson, J., Bergström, L., Gårdmark, A. (2012). Abiotic drivers of coastal fish community change during four decades in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Sciences* 69: 961-970.

Orio, A., Bergström, U., Florin, A.-B., Lehmann, A., Šics, I., Casini, M. (2019). Spatial contraction of demersal fish populations in a large marine ecosystem. *Journal of Biogeography* 46: 633-645.

Orio, A., Bergström, U., Florin, A.-B., Šics, I., Casini, M. (2020). Long-term changes in spatial overlap between interacting cod and flounder in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 847: 2541–2553.

OSPAR. (2017). Intermediate Assessment 2017. Online. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/>

Pan Baltic Scope (2020). Recommendations for bringing better maritime spatial plans in the Baltic Sea Region from the Pan Baltic Scope collaboration. http://www.panbalticscope.eu/wp-content/uploads/2019/12/Recommendations_PBS2019_final.pdf

Park, A., Puettman, K., Wilson, E., Messier, C., Kames, S., Dhar, A. (2014). Can boreal and temperate forest management be adapted to the uncertainties of 21st century climate change? *Critical Reviews in Plant Sciences* 33: 251-285.

Parmesan, C., Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.

Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T.B., Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. In: N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, A. Bonn (Red.). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice*. Springer International Publishing, Cham. 29-49.

Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Calzado, R.F., Ghosn, D., Holten, J.I., Kanka, R., Kazakis, G., Kollar, J., Larsson, P., Moiseev, P., Moiseev, D., Molau, U., Mesa, J.M., Nagy, L., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A.O., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Unterluggauer, P., Villar, L., Vittoz, P., Grabherr, G. (2012). Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. *Science* 336: 353-355.

Persson, A., Smith, H.G. (2014). *Biologisk mångfald i urbana miljöer – förutsättningar, fördelar och förvaltning*. CEC Syntes Nr 02. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet. ISBN 978-91-981577-2-7.

Phalan, B., Green, R., Balmford, A. (2014). Closing yield gaps: perils and possibilities for biodiversity conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369: 20120285.

Phalan, B., Green, R. E., Dicks, L. V., Dotta, G., Feniuk, C., Lamb, A., Strassburg, B. B. N., Williams, D. R., zu Ermgassen, E. K. H. J., Balmford, A. (2016). How can higher-yield farming help to spare nature? *Science* 351: 450-451.

Pimm, S.L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature* 307: 321-326.

Powney, G., Carvell, C., Edwards, M., Morris, R.K.A., Roy, H.E., Woodcock, B.A., Isaac, N.J.B. (2019). Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature Communications* 10: 1018.

Prevéy, J.S., Rixen, C., Rüger, N., Høye, T.T., Bjorkman, A.D., Myers-Smith, I.H., Elmendorf, S.C., Ashton, I.W., Cannone, N., Chisholm, C.L., Clark, K., Cooper, E.J., Elberling, B., Fosaa, A.M., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Jónsdóttir, I.S., Klanderud, K., Kopp, C.W., Lévesque, E., Mauritz, M., Molau, U., Natali, S.M., Oberbauer, S.F., Panchen, Z.A., Post, E., Rumpf, S.B., Schmidt, N.M., Schuur, E., Semenchuk, P.R., Smith, J.G., Suding, K.N., Totland, Ø., Troxler, T., Venn, S., Wahren, C.-H., Welker, J.M., Wipf, S. (2019). Warming shortens flowering seasons of tundra plant communities. *Nature Ecology & Evolution* 3: 45-52.

- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K., Kuussaari, M., Saarinen, K. (2009). Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology* 15: 732-743.
- Ranius, T., Hamalainen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklof, K., Stendahl, J., Rudolphi, J., Stens, A., Felton, A. (2018). The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environmental Management* 209: 409-425.
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Samir, K.C., Leimbach, M., Jiang, L.W., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenoder, F., da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Streffer, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 42: 153-168.
- Roberge, J.M., Laudon, H., Bjorkman, C., Ranius, T., Sandstrom, C., Felton, A., Stens, A., Nordin, A., Granstrom, A., Widemo, F., Bergh, J., Sonesson, J., Stenlid, J., Lundmark, T. (2016). Socio-ecological implications of modifying rotation lengths in forestry. *Ambio* 45: S109-S123.
- Rundlöf, M., Lundin, O., Bommarco, R. (2018). Annual flower strips support pollinators and potentially enhance red clover seed yield." *Ecology and evolution* 8.16: 7974-7985.
- Rusch, A., Bommarco, R., Jonsson, M., Smith, H.G., Ekbom, B. (2013). Flow and stability of natural pest control services depend on complexity and crop rotation at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology* 50: 345-354.
- Rydell, J., Ottvall, R., Pettersson, S., Green, M. (2017). Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss - Uppdaterad syntesrapport 2017. Naturvårdsverket Rapport 6740.
- Röös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C., Watson, C.A. (2018). Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 38: 14.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H. (2000). Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Sandin, L., Schmidt-Kloiber, A., Svenning, J.-C., Jeppesen E., Friberg, N. (2014). A trait-based approach to assess climate change sensitivity of freshwater invertebrates across Swedish ecoregions. *Current Zoology* 60: 221-232.
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.-L., Sheil, D., Meijaard, E., Venter, M., Boedhihartono, A. K., Day, M., Garcia, C., van Oosten, C., Buck, L. E. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 8349-8356.
- Seabloom, E.W., Van Der Valk, A.G. (2003). The development of vegetative zonation patterns in restored prairie pothole wetlands. *Journal of Applied Ecology* 40: 92-100.
- Seddon, N., Turner, B., Berry, P., Chausson, A., Girardin, C.A.J. (2019). Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change* 9: 84–87.
- Seddon, N., A. Chausson, P. Berry, C.A.J. Girardin, A. Smith, B. Turner. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375: 20190120.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A., Reyher, C.P.O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395-402.
- Seufert, V., Ramankutty, N. (2017). Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances* 3: e1602638.

Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffmann, A.A., Pandolfi, J.M., Corlett, R.T., Butchart, S.H.M., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W.B., Martin, T.G., Mora, C., Bickford, D., Watson, J.E.M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science* 354, aaf7671.

Schwaiger, F., Poschenrieder, W., Biber, P., Pretzsch, H. (2018). Species Mixing Regulation with Respect to Forest Ecosystem Service Provision. *Forests* 9(10).

Schwaiger, F., Poschenrieder, W., Biber, P., Pretzsch, H. (2019). Ecosystem service trade-offs for adaptive forest management. *Ecosystem Services* 39.

Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.

Skogsstyrelsen. (2015). Skogen i ett varmare klimat. Skogsstyrelsen, Jönköping. ISBN: 978-91-87535-08-6.

SLU Artdatabanken. (2020). Rödlistade arter i Sverige 2020. SLU, Uppsala. <https://www.artdatabanken.se/globalassets/ew/subw/artd/2.-var-verksamhet/publikationer/31.-rodlista-2020/rodlista-2020>

Smith, B., Prentice, I.C., Sykes, M.T. (2001). Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space. *Global Ecology & Biogeography* 10: 621-637.

Smith, H. G., Dänhardt, J., Blombäck, K., Caplat, P., Collentine, D., Grenerstam, E., Hanson, H., Höjgård, S., Jansson, T., Johnsson, H., Jönsson, A.M., Lantz, M., Lindström, Å., Nilsson, L., Nordin, M., Olsson, O., Stewart, R., Stjernman, M., Öckinger, E. (2017). Slututvärdering av det svenska landsbygdsprogrammet 2007–2013. Delrapport II: Utvärdering av åtgärder för en bättre miljö. Jordbruksverket, Jönköping.

SMHI. (2019). FN:s klimatpanel, IPCC – Sammanfattning för beslutsfattare. Global uppvärmning på 1,5°C. *Klimatologi* 53.

SMHI. (2020a). Temperaturen ökning i Sverige sedan 1800-talet. Kunskapsbanken. www.smhi.se

SMHI. (2020b). Klimatindikatorer <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer>

SMHI. (2020c). Landhöjning och vattenstånd. Kunskapsbanken. www.smhi.se

SMHI. (2020d). Klimatindikator - Nederbörd. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer>

Soroye, P., Newbold, T., Kerr, J. (2020). Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science* 367: 685-688.

Sotirov, M., Sallnäs, O., Eriksson, L.O. (2019). Forest owner behavioral models, policy changes, and forest management. An agent-based framework for studying the provision of forest ecosystem goods and services at the landscape level. *Forest Policy and Economics* 103: 79-89.

SOU. (2007) Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter. Statens Offentliga Utredningar 2007: 60.

SOU. (2020). Vägen till en klimatpositiv framtid. Statens Offentliga Utredningar 2020: 4.

Spalding, M.D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L.Z., Shepard, C.C., Beck, M.W. (2014). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean & Coastal Management* 90: 50-57.

Standish, R. J., Hobbs, R.J., Mayfield, M.M., Bestelmeyer, B.T., Suding, K.N., Battaglia, L.L., Eviner, V., Hawkes, C.V., Temperton, V.M., Cramer, V.A., Harris, J.A., Funk, J.L., Thomas, P. A. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? *Biological Conservation* 177: 43-51.

Steinbauer, M.J., Grytnes, J.A., Jurasinski, G., Kulonen, A., Lenoir, J., Pauli, H., Rixen, C., Winkler, M., Bardy-Durchhalter, M., Barni, E., Bjorkman, A.D., Breiner, F.T., Burg, S., Czortek, P., Dawes, M.A., Delimat, A., Dullinger, S., Erschbamer, B., Felde, V.A., Fernandez-Arberas, O., Fossheim, K.F., Gomez-Garcia, D., Georges, D., Grindrud, E.T., Haider, S., Haugum, S.V., Henriksen, H., Herreros, M.J., Jaroszewicz, B., Jaroszynska, F., Kanka, R., Kapfer, J., Klanderud, K., Kuhn, I., Lamprecht, A., Matteodo, M., di Cella, U.M., Normand, S., Odland, A., Olsen, S.L., Palacio, S., Petey, M., Piscova, V., Sedlakova, B., Steinbauer, K., Stockli, V., Svenning, J.C., Teppa, G., Theurillat, J.P., Vittoz, P., Woodin, S.J., Zimmermann, N.E., Wipf, S. (2018). Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* 556: 231-234

- STEMFS (2018) Statens energimyndighets föreskrifter om reduktion av växthusgasutsläpp genom inblandning av biodrivmedel i bensin och dieselbränslen; beslutade den 2 maj 2018. Statens energimyndighets författningssamling 2018:2.
- Strand, M., Aronsson, M., Svensson, M. (2018). Klassificering av främmande arters effekter på biologisk mångfald i Sverige – ArtDatabankens risklista. ArtDatabanken Rapporterar 21. ArtDatabanken SLU, Uppsala.
- Strengbom, J., Nordin, A. (2008). Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256: 2175-2181.
- Strengbom, J., Dahlberg, A., Larsson, A., Lindelöw, Å., Sandström, J., Widenfalk, O., Gustafsson, L. (2011). Introducing Intensively Managed Spruce Plantations in Swedish Forest Landscapes will Impair Biodiversity Decline. *Forests* 2: 610-630.
- Svensson, S. (2004) Onset of breeding among Swedish starlings *Sturnus vulgaris* in relation to spring temperature in 1981–2003. *Ornis Svecica* 14.3: 117-128.
- Sveriges regering. (2020). Sweden signs up to initiative to protect 30 percent of oceans by 2030. <https://www.government.se/press-releases/2020/01/sweden-signs-up-to-initiative-to-protect-30-per-cent-of-oceans-by-2030/>
- Söderberg, T. (2016) Förgröningen i praktiken. Jordbruksverket Rapport 8: 1-60.
- Tang, J., Miller, P. A., Persson, A., Olefeldt, D., Pilesjö, P., Heliasz, M., Jackowicz-Korczynski, M., Yang, Z., Smith, B., Callaghan, T. V., Christensen, T. R. (2015) Carbon budget estimation of a subarctic catchment using a dynamic ecosystem model at high spatial resolution, *Biogeosciences* 12: 2791-2808.
- Tayleur, C., Caplat, P., Massimino, D., Johnston, A., Jonzen, N., Smith, H.G., Lindström, Å. (2015). Swedish birds are tracking temperature but not rainfall: evidence from a decade of abundance changes. *Global Ecology and Biogeography* 24: 859-872.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151: 53-59.
- Thomas, C. D., Gillingham P. K. (2015). The performance of protected areas for biodiversity under climate change. *Biological Journal of the Linnean Society* 115: 718-730.
- Thoni, T. (red.), Alkan Olsson, J., Brink, E., Ekroos, J., Hanson, H., Hollander, J., Linder, S., Knaggård, Å., Olsson, P. A., Rummukainen, M., Sidemo Holm, W. (2017). Ekosystembaserad klimatanpassning: Konceptualisering och kunskapsöversyn. Lund, Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet. CEC Syntes Nr 04. 90 s.
- Thorslund, J., Jarsjö, J., Jaramillo, F., Jawitz, J.W., Manzoni, S., Basu, N.B., Chalov, S.R., Cohen, M.J., Creed, I. F., Goldenberg, R., Hylin, A., Kalantari, Z., Koussis, A.D., Lyon, S.W., Mazi, K., Mard, J., Persson, K., Pietro, J., Prieto, C., Quin, A., Van Meter, K., Destouni, G. (2017). Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management. *Ecological Engineering* 108B: 489-497.
- Tyler, T., Herbertsson, L., Olsson, P.A., Fröberg, L., Olsson, K.-A., Svensson, Å., Olsson, O. (2018). Climate warming and land-use changes drive broad-scale floristic changes in Southern Sweden. *Global Change Biology* 24: 2607-2621.
- Törnqvist, O., Jonsson, P.R. och Hume, D. (2019). Climate refugia in the Baltic Sea. Modelling future important habitats by using climate projections. Pan Baltic Scope report.
- Van Bogaert, R., Haneca, K., Hoogesteger, J., Jonasson, C., De Dapper, M., Callaghan, T.V. (2011). A century of tree line changes in sub-Arctic Sweden shows local and regional variability and only a minor influence of 20th century climate warming. *Journal of Biogeography* 38: 907-921.
- Van Dorst, R.M., Gårdmark, A., Svanbäck, R., Beier, U., Weyhenmeyer, G.A., Huss, M. (2019). Warmer and browner waters decrease fish biomass production. *Global Change Biology* 25: 1395-1408.

- van Katwijk, M.M., Bos, A.R., de Jonge, V.N., Hanssen, L.S.A.M., Hermus, D.C.R., de Jong, D.J. (2009). Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin* 58: 179-188.
- Varenius, K., Karen, O., Lindahl, B., Dahlberg, A. (2016). Long-term effects of tree harvesting on ectomycorrhizal fungal communities in boreal Scots pine forests. *Forest Ecology and Management* 380: 41-49.
- Verhoeven, J. T. A. (2014). Wetlands in Europe: Perspectives for restoration of a lost paradise. *Ecological Engineering* 66: 6-9.
- Visser, M.E., Van Noordwijk, A.J., Tinbergen, J.M., Lessells, C.M. (1998). Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 265: 1867–1870.
- von Storch, H., Omstedt, A., Pawlak, J., Reckermann, M. (2015). Introduction and Summary. In: The BACC II Author Team (red.) *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies*. Springer, Cham.
- Vray, S., Rollin, O., Rasmont, P., Dufrêne, M., Michez, D., Dendoncker, N. (2019). A century of local changes in bumblebee communities and landscape composition in Belgium. *Journal of Insect Conservation* 23: 489-501.
- Walsh, C (Ed.) (2020). Offshore Wind in Europe Key trends and statistics. (2019). WindEurope <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2019.pdf>
- Werling, B.P., Dickson, T.L., Isaacs, R., Gaines, H., Gratton, C., Gross, K.L., Liere, H., Malmstrom, C.M., Meehan, T.D., Ruan, L., Robertson, B.A., Robertson, G.P., Schmidt, T.M., Schrottenboer, A.C., Teal, T.K., Wilson, J.K., Landis, D.A. (2014). Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 1652.
- Wirén, L. (2018). Nordic agriculture under climate change: A systematic review of challenges, opportunities and adaptation strategies for crop production. *Land Use Policy* 77: 63-74.
- Wittwer, T., O'Hara, R.B., Caplat, P., Hickler, T., Smith, H.G. (2015). Long-term population dynamics of a migrant bird suggests interaction of climate change and competition with resident species. *Oikos* 124: 1151-1159.
- Woodward, G., Perkins, D.M., Brown, L.E. (2010). Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2093-2106.
- Wright, A.J., Araújo-Wang, C., Wang, J.Y., Ross, P.S., Tougaard, J., Winkler, R., Márquez, M.C., Robertson, F.C., Williams, K.F., Reeves, R.R. (2020). How 'Blue' Is 'Green' Energy? *Trends in Ecology & Evolution* 35: 235-244.
- Zhang, W., Miller, P.A., Smith, B., Wania, R., Koenigk, T., Döscher, R. (2013). Tundra shrubification and tree-line advance amplify arctic climate warming: results from an individual-based dynamic vegetation model. *Environmental Research Letters* 8: 034023.
- Ödman, A. M., Schnoor, T. K., Ripa, J., Olsson, P. A. (2012). Soil disturbance as a restoration measure in dry sandy grasslands. *Biodiversity and Conservation* 21: 1921-1935.



SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

601 76 Norrköping • Besöksadress Folkborgsvägen 17

Telefon 011-495 80 00 • Internet www.smhi.se



NATURVÅRDSVERKET

106 48 Stockholm • Besöksadress Virkesvägen 2

Telefon 010-698 10 00 • Internet www.naturvardsverket.se