



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Långsamma kontinuerliga risker från klimatförändringar i Sverige 2050

Långsamma kontinuerliga risker från klimatförändringar i Sverige 2050

Tidsperiod: september 2020 - mars 2021

Utförare: Department of Physical Geography and Bolin Centre for Climate Research, Stockholm University

Huvudansvarig: Fernando Jaramillo

Medförfattare: Veronika Lund, Brandon Stock, Luigi Piemontese

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktpersoner: Sara Nordmark, 010-2405274, Susanne Ingvander, 010-2404131

Publ. nr: MSB1778-maj 2021

ISBN: 978-91-7927-153-4

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna förstudie (alt. studierapport). Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Innehållsförteckning

Introduktion	5
1 Inriktning och syfte	6
2 Data and metoder.....	8
2.1 Urval av långsamma kontinuerliga risker.....	8
2.2 Litteraturgenomgång av långsamma kontinuerliga risker	8
2.3 Klimatprojektioner och klimatindikatorer för bedömning av risker	8
3 Bakgrund om begränsning och klimatanpassning i Sverige	10
3.1 Begränsning av klimatpåverkan	10
3.2 Klimatanpassning	11
4 Betydande långsamma kontinuerliga risker i Sverige	15
4.1 Blå grundvattenbrist	15
4.1.1 Nuvarande risker.....	15
4.1.2 Risker under 2050–2070.....	18
4.1.3 Kunskapsluckor och rekommendationer.....	22
4.2 Risker för grönvatten eller regnbevattnat jordbruk	24
4.2.1 Nuvarande risker.....	24
4.2.2 Risker under 2050–2070.....	25
4.2.3 Kunskapsluckor och rekommendationer	28
4.3 Skadedjur och skador inom jord- och skogsbruk.....	29
4.3.2 Risker under 2050–2070.....	29
4.4 Förorening av grundvatten.....	32
4.4.1 Nuvarande risker.....	32
4.4.2 Risker under 2050–2070.....	33
4.4.3 Kunskapsluckor och rekommendationer	37
4.5 Havsnivåhöjning och saltvatteninträngning.....	39
4.5.1 Nuvarande risker.....	39
4.5.2 Risker under 2050–2070.....	39
4.5.3 Kunskapsluckor och rekommendationer	44
4.6 Hälsorisker till följd av höga temperaturer	45
4.6.1 Nuvarande risker.....	45
4.6.2 Risker under 2050 – 2070.....	46
4.6.3 Kunskapsluckor	49
4.7 Risker för terrestra ekosystem.....	51
4.7.1 Nuvarande risker.....	51

4.7.2 Risker under 2050–2070.....	51
4.7.3 Kunskap och rekommendationer	55
4.8 Risker för akvatiska och marina ekosystem	57
4.8.1 Nuvarande risker.....	57
4.8.2 Risker under 2050 – 2070.....	59
5 Riskkartor för långsamma kontinuerliga risker i Sverige	62
Sammanfattning.....	64
References.....	67

Introduktion

Avdelningen för krisberedskap och civilt försvar på myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) kontaktade i september 2020 institutionen för naturgeografi och Bolincentret för klimatforskning vid Stockholms universitet. Det bestod av en förfrågan om att genomföra en litteraturgenomgång om de potentiella riskerna i Sverige till följd av klimatförändringar vid 2050 med särskilt fokus på det som sker efter att anpassnings- och begränsningsstrategier med syfte att motverka klimatförändringar har antagits av den svenska regeringen. Studien skulle pågå under fyra månader, från september till december år 2020, och skulle huvudsakligen bestå av en litteraturgenomgång.

Detta uppdrag tilldelades även Uppsala universitet och Mittuniversitetet. Efter inledande interna möten mellan den interinstitutionella gruppen och MSB kom man överens om att Stockholms universitet skulle koncentrera sig på långsamma kontinuerliga risker till följd av klimatförändringar. För att ta vara på kunskapen inom institutionen för naturgeografi och forskningsområdet (RA3) på Bolincentret för klimatforskning valde vår grupp att lägga ett särskilt fokus på hydroklimatologi och vattenresurser.

Särskilda effekter till följd av klimatförändringar medför olika riskfaktorer för samhället, människors hälsa och miljön. Dessa effekter orsakade av klimatförändringar kan kopplas till hastiga förändringar relaterade till extrema väderförhållanden, som exempelvis översvämning eller skogsbränder, eller till långsamma kontinuerliga effekter som utvecklas över en längre tid. Det refereras i Cancún-avtalet (COP16) till långsamma kontinuerliga risker och effekter som de med långsiktigt konsekvenser och är associerade till drivkrafter som bland annat stigande temperaturer, såsom ökenspridning, förlust av biologisk mångfald, mark- och skogsförstöring, minskning av glaciärer och relaterade effekter, försurning av haven, höjning av havsnivån och saltvatteninträngning.

Denna rapport sammanställer resultaten om långsamma kontinuerliga risker enligt det tillvägagångsätt som beskrivs i följande kapitel. Kapitel 1 inleder denna rapport, följt av kapitel 2, där vi nämner tillvägagångsätt och valda metoder. I kapitel 3 presenteras en litteraturöversikt av anpassning till och begränsningar av klimatförändringar i Sverige. I kapitel 4 redogör vi för de mest relevanta långsamma kontinuerliga risker orsakat av klimatförändringar i Sverige, innefattande nuvarande risker och möjliga framtida risker under perioden 2050–2070 samt ett antal rekommendationer för att integrera resultaten från studien med aktuella anpassnings- och begränsningsstrategier. Kapitel 5 visualiserar kartläggningen av riskerna i Sverige utifrån både scenario RCP4.5 och 8.5, och Slutsatsen sammanfattar de huvudsakliga resultaten

1 Inriktning och syfte

Ett stort antal potentiella långsamma kontinuerliga risker kan drabba Sverige. Sveriges geografiska position på en nordlig breddgrad, där några av de mest uttalade förändringar i temperatur- och nederbördsökning kommer att inträffa, kombinerat med landets långa latitudgradient, varierade altituder, täckning av tre viktiga biomer (tempererade, barrskog, tundra) samt omgiven av två hav medför ett stort antal egenskaper, potentiella effekter, och risker till följd av klimatförändringar.

En inledande översikt av tillgänglig litteratur om förekomsten av långsamma kontinuerliga risker i Sverige, tillgänglig via myndigheter, institutioner, och vetenskapliga discipliner, förmådde oss till att börja med ett specifikt fokus. Vårt resonemang för framtagandet av denna rapport är att *för att förstå potentiella förändringar i utbredning och omfattning av långsamma kontinuerliga risker efter begränsning av och anpassning till klimatförändringar i Sverige 2050, är det nödvändigt att förstå de potentiella riskerna utan sådana anpassnings- och begränsningsåtgärder*. Även om det finns en stor tillgång av information och forskningsstudier som handlar om de mest allvarliga långsamma kontinuerliga riskerna, utförda av antingen myndigheter eller forskare, finns dessa inte samlade på en specifik hemsida eller plats, vilket försvårar en adekvat litteraturgenomgång. Risker med klimatförändringar kan också omfatta åtskilliga discipliner, samhällsaspekter, ekologi och meteorologi. Vissa risker kan vara mer märkbara i samhällets dagliga verksamhet, medan andra risker kan förekomma obemärkt. Det är således en överväldigande uppgift att reflektera över alla förekomna risker under denna begränsad tidsperiod.

För att öka förståelsen om risker i Sverige 2050 beslutade vi att tydligt organisera vår studie genom att fokusera på specifika typer av risker som vi anser vara relevanta i en svensk kontext. De risker som nämns här är relaterade till vattenresurser eller vattenflöden. Risker kan vara direkt relaterat till tillgången på vatten, både ovan och under marken, eller indirekt till ett särskilt sammanhang där vatten är av relevans. Detta kan avse exempelvis hälso- och miljörisker, där tillgången på vatten kan komma att spela en betydande roll. Det kan även vara svårt att särskilja olika hydroklimatologiska förändringar eftersom klimatförändringarna inte bara medför förändringar i energitillgången genom temperatur utan också i vattentillgängligheten i form av nederbörd.

Det huvudsakliga syftet med denna studie är att genomföra en litteraturoversikt om de potentiella långsamma kontinuerliga riskerna som uppstår i Sverige på grund av klimatförändringar till år 2050. Vi syftar också till att genomföra en geografisk kartläggning av dessa risker. Hastigt förekomna risker, såsom översvämningar och skogsbränder, ingår inte i vår genomgång av risker. Vi upptäckte under den inledande processen att för att bättre förstå förekomsten och karaktären av långsamma kontinuerliga risker var det nödvändigt att ta del av vissa av de simuleringarna av hydroklimatiska förändringar i Sverige och kunna koppla samman dessa med annan geografisk data. Det är skälet till att vi lade en del av våra resurser på att ladda ner data från Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX) klimatmodellsimuleringar med en 50-meters horisontell upplösning över Europa med Rossby Centre's regionala atmosfärmodell (RCA4)

(<https://esg-dn1.nsc.liu.se/projects/esgf-liu/>) från Sveriges Meteorologiska and Hydrologiska Institut (SMHI) (Strandberg et al. 2015). Vi kombinerade denna data med annan geografiska data gällande jordbruk, vattenresurser, havsnivåhöjning och biomer för att förstå dessa risker bättre. Vi medger att det förekommer stor osäkerhet kring riskernas karaktär, omfattning och förekomst. Det råder också osäkerhet kring omfattningen av dessa riskers betydelse och relevans. Vi är också medvetna om att vi kan ha förbisett viktig information, litteratur och rapporter relaterade till förekomsten av långsamma kontinuerliga risker i Sverige och åtgärder för att avhjälpa dessa risker. Vi anser dock att litteraturöversikten, i kombination med analysen gjord här, kan kasta nytt ljus över förekomsten av långsamma kontinuerliga risker i Sverige.

2 Data and metoder

Detta avsnitt presenterar de data som används för att kartlägga de förväntade förändringarna i de hydroklimatiska förhållandena i Sverige.

2.1 Urval av långsamma kontinuerliga risker

Det initiala urvalet av långsamma kontinuerliga risker som behandlas i denna rapport baserades på två interna workshops utförda vid den naturgeografiska institutionen samt flertalet möten med varannan veckas intervall tillsammans med MSB och de andra två deltagande universiteterna. Riskerna är de följande, där namnen representerar de viktigaste aspekterna av varje risk:

1. Blå grundvattenbrist
2. Risker med grönvatten för jordbruk
3. Skadedjur inom jord- och skogsbruk
4. Förorening av grundvatten
5. Saltvatteninträngning
6. Hälsorisker till följd av stigande temperatur
7. Risker för terrestra ekosystem
8. Risker inom akvatiska- och marina ekosystem

2.2 Litteraturgenomgång av långsamma kontinuerliga risker

En litteraturgenomgång genomfördes med syfte att hitta risker som nämnts på nationell och regional nivå av svenska myndigheter och länsstyrelser. Rapporterna om klimatanpassning samlades in från svenska myndigheter och länsstyrelser som listas på portalen för klimatanpassning: <https://www.klimatanpassning.se/vem-gor-vad/vad-gor-myndigheterna/myndigheternas-handlingsplaner-for-klimatanpassning-1,157316>. Baserat på de risker som identifierats i klimatbedömningsrapporterna definierade vi i förväg en lista med långsamma kontinuerliga risker. Ytterligare information om riskerna inhämtades från vetenskapliga litteratur. Vetenskaplig litteratur söktes och inhämtades från databasen EBSCO Discovery Service (EDS) via Stockholms universitetsbibliotek.

2.3 Klimatprojektioner och klimatindikatorer för bedömning av risker

Vi använde klimatmodellsimuleringar med en 50-km horisontell upplösning över Europa hämtat från Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX), som ger nedskalade globala klimatsimuleringar (Giorgi et al., 2009). Bland de befintliga nedskalade modellerna valde vi den Rossby Center regionala atmosfärmodell (RCA4) som tagits fram av Sveriges Meteorologiska och

Hydrologiska Institutet (SMHI) eftersom denna har testats och validerats i stor utsträckning för den nordeuropeiska regionen (Strandberg et al., 2015). För att redogöra för osäkerheten i klimatprognoserna använde vi en ensemble av klimatsimuleringar från RCA4 framtagen från fem olika globala klimatmodeller (GCM): CCCma-CanESM2, CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6 -0, IPSL-IPSL-CM5A-MR och MIROC-MIROC5. Dessa simuleringar inhämtades från dataarkivet via Earth System Grid datasportal (ESG, <http://www.earthsystemgrid.org>). Vi fokuserade på variabler relaterade till energi- och vattentillgång, såsom temperatur, nederbörd, avrinning, markfuktighet och evapotranspiration, där informationen extraherades direkt från simuleringarna. Vi analyserade data på årlig och säsongsvis skala.

Förändringar i hydroklimatiska förhållanden i denna rapport hänvisar till skillnaden mellan medelvärden för två perioder, där 1980–2000 används som en referens för nuvarande klimatförhållanden och 2050–2070 för förhållanden i nära framtid. För perioden 1980–2000 använde vi historiska simuleringar framtaget från de fem olika GCM:erna, medan vi för klimatförhållanden under perioden 2050–2070 använde prognoser från framtidsscenario RCP 4.5 samt RCP 8.5 som framtagits av samma fem GCM:er.

Representative Concentration Pathways (RCP) beskriver scenarier baserat på framtida utsläpp av växthusgaser och definieras av strålningsdrivning i W/m^2 2100 (SMHI, 2018). Scenario RCP 8.5 representerar en framtid med fortsatt höga utsläpp av växthusgaser globalt, fortsatt beroende av fossila bränslen, världens befolkning växer till 12 miljarder, och otillräcklig klimatpolitik. RCP 4.5 representerar ett scenario där de globala utsläppen av växthusgaser börjar minska från 2040, den globala befolkningen växer till under 9 miljarder, och en klimatpolitik som är effektiv och handlingskraftig (SMHI, 2018).

För de båda tjugoförårsperioderna beräknade vi det årliga genomsnittet för följande månadsvariabler, som enligt vår uppfattning kan representera indikatorer för bedömning av långsamma kontinuerliga risker orsakat av klimatförändringar i Sverige. Dessa variabler är daglig maximitemperatur nära markytan ($^{\circ}C$), daglig minimitemperatur nära markytan ($^{\circ}C$), temperatur nära markytan ($^{\circ}C$), avdunstning (mm), nederbörd (mm), total avrinning (mm), total jordfuktighet (mm) och snösmältning (mm). Mer information om variablerna finns tillgängligt via https://is-enes-data.github.io/CORDEX_variables_requirement_table.pdf

För att bedöma specifika risker beräknade vi årlig potentiell evapotranspiration (PET) som en funktion av årlig medeltemperatur (I), enligt Langbein (1949) formel. PET kan sammanfattningsvis beskrivas som den avdunstning som sker från öppna vattenytor och med en obegränsad tillförsel av vatten:

Marktäckningsdata hämtades från Naturvårdsverket (2020c). Upplösningen för rasterdata omvandlades till 1000 m. Shape-filerna för åkermark i Sverige per tomtområde hämtades från Jordbruksverkets inventering (2012) och öppna vattenytor från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet (SMHI). Täckningsinformation och data om biom i Sverige erhöles från datasamlingen över terrestra ekosystem av Olson och Dinerstein (2002).

3 Bakgrund om begränsning och klimatanpassning i Sverige

3.1 Begränsning av klimatpåverkan

Den svenska klimatlagen (2017:720) uppger att Sverige strävar efter att minska sina växthusgasutsläpp med syfte att uppnå det långsiktiga utsläppsmålet om nettonollutsläpp vid år 2045 inom svenskt territorium. Alla växthusgasutsläpp är dock inte möjliga att avlägsna med nuvarande kunskap och teknik. De utsläpp som inte kan reduceras till noll kommer från cementproduktion, avloppsrening, förbränning av biobränsle och diffusa källor inom jordbruket (SOU 2020:4). Jämfört med 1990 kan högst 15% av minskningen hänföras till kompletterande åtgärder som absorption av koldioxid (CO₂) från skogar och andra landtyper, begränsande åtgärder utanför Sveriges gränser och koldioxidavskiljning och -lagring (CCS) av biomassa. Föreslagna åtgärder för ökad koldioxidupptagning från vegetation är genom plantering av träd på tidigare jordbruksmark samt återvätning av skog och tidigare jordbruksmark för återskapande av våtmarker (SOU 2020:4). I flera industrier i Sverige, såsom massa- och pappersindustrin, genereras koldioxidutsläpp från förbränning av organiskt material och det finns potential för CSS att minska utsläppen från dessa punktkällor (SOU 2020:4). På längre sikt kan kol möjligen förvaras i Sverige; dock krävs det forskning kring dessa platsers lämplighet. Inom kort kan kol behöva transporteras utanför svenska gränser för lagring utomlands. För närvarande finns det dock ingen myndighet som ansvarar för CSS, och det saknas lagstiftning och ekonomiska incitament för transport och lagring av kol (SOU 2020:4). Det diskuteras även om flera andra möjliga åtgärder för att nå negativa utsläpp, men det finns betydande osäkerhet om dessa åtgärders lämplighet och användbarhet. Det finns dock en stark enighet om att det bör investeras i en mängd olika typer av kompletterande åtgärder för att öka riskspridningen (SOU 2020: 4).

I propositionen 2019/20: 65 angav regeringen huvuddragen för en handlingsplan avseende begränsningsåtgärder för klimatförändringarna i Sverige. Inom byggsektorn innefattar åtgärderna ökad återvinning av byggmaterial och ökad användning av trä i byggandet av byggnader. Utsläpp från denna industri utgör ungefär en tredjedel av de totala utsläppen från Sverige (Prop. 2019/20:65). Regeringen kommer att investera i utvecklingen av ny teknik som är nödvändig för att uppnå nettonollutsläpp. Det anses finnas behov för utveckling av teknologi inom CCS- och Carbon Capture and Utilization (CCU) samt förbättrade plaståtervinningsmetoder, och det finns potential för inhemsk produktion av förnybara drivmedel, inklusive flygbränslen och biogas (Prop. 2019/20:65). Inhemsk produktion av batterier kan öka hållbarheten inom batteriindustrin samt säkra tillgången till batterier för elbilar. Tillgången av mineraler från svenska gruvor förväntas också bli mer betydelsefull och hållbar än att förlita sig på import från andra länder, eftersom dessa resurser behövs i elektrifieringsprocesser. Regeringen vill uppmuntra fortsatta investeringar i förnybara energikällor som sol-

och vindkraft och öka energieffektiviteten i framtiden. Elektrifiering kan dock också sätta högt tryck på elförsörjningssystemet. För detta avser den svenska regeringen att upprätta en nationell bioekonomistrategi eller utnyttja förnybara biologiska resurser från land och hav för att producera material och energi (Prop. 2019/20: 65). För närvarande kommer biodrivmedel huvudsakligen från restprodukter från jord- och skogsbruk (Black-Samuelsson et al., 2017). Ytterligare biomassa kan dock produceras på områden där det inte längre bedrivs något aktivt jord- eller skogsbruk (Prop. 2019/20: 65), eller befintlig åkermark i träda (Jordbruksverket, 2012b). Även om det finns utrymme att öka utbudet av biomassa genom ökad effektivitet och tillgång till odlingsmark förväntas efterfrågan på biomassa även att öka. Biobränslen kan ersätta fossila drivmedel, och trä kan användas som alternativ för andra mer utsläppsintensiva material (Naturvårdsverket, 2019a).

3.2 Klimatanpassning

Regeringen har infört en nationell strategi för klimatanpassning. Detta innebär att nationella myndigheter har en skyldighet att upprätta en risk- och sårbarhetsanalys, målsättningar och en tydlig handlingsplan för klimatanpassning. Länsstyrelser är ansvariga för att samordna och övervaka klimatanpassningsarbetet inom kommuner och andra regionala aktörers arbete inom länsgränserna (SMHI, 2020b). Regeringen har beslutat om att klimatanpassningsarbetet ska bedrivas utifrån särskilda vägledande principer, och flera prioriterade utmaningar för anpassningsarbetet har även framförts.

Myndigheterna är skyldiga att rapportera sitt arbete till SMHI. År 2019 hade 30 av 32 myndigheter och 20 av 21 länsstyrelser rapporterat om sina klimatanpassningsåtgärder. SMHI publicerade en rapport innehållande en sammanställning och analys av myndigheternas inrapporterade arbete (SMHI, 2020b). De påpekar att flera av myndigheterna ännu inte hunnit integrerat principerna för arbetet med klimatanpassning. Denna process måste fullföljas innan specifika risker och tillhörande anpassningsåtgärder är möjliga att definieras. Klimatrelaterade risker som var av betydelse för myndigheters klimatanpassningsarbete var främst relaterat till hastigt förekomna risker, huvudsakligen associerade till översvämningar, erosion och jordskred. Hastigt förekomna risker kan förklaras som abrupta händelser som exempelvis översvämningar, orkaner eller skogsbränder, och kan medföra omedelbara konsekvenser på infrastruktur, samhällen och människoliv. Dessa risker hanteras ofta genom beredskapsplaner på nationell och regional nivå. Det system som myndigheter och län använder för att rapportera till är fortfarande under utveckling för att åtgärda de brister som upptäcktes i SMHI:s rapport. Målet är att utveckla databas med samlad information om anpassningsåtgärder för att ytterligare förbättra samarbetet mellan myndigheterna. Ansvaret för klimatanpassningsarbetet delas mellan olika aktörer i samhället och tillämpningen av dessa åtgärder bör därför sammanföras. I detta stadium har vissa myndigheter definierat ett stort antal åtgärder medan andra inte har rapporterat någon. De beskrivna åtgärderna är allt från specifika till mycket generella, och medan vissa åtgärder är direkt utformade för att anpassa samhället till riskerna med klimatförändringar, är andra riktade på tidigare steg i processen mot

klimateanpassning. Denna process involverar bland annat insamling och spridning av kunskap om risker, framtagning av riktlinjer, integrering av ett klimatperspektiv i det vanliga arbetet, genomföra beredskapsplaner, och öka samebyars ekonomiska motståndskraft.

De myndigheter som har identifierat klimateanpassningsåtgärder anger ofta att dessa åtgärder kan möta flera av de prioriterade riskerna samt bidra till uppfyllandet av mål från Agenda 2030 och Parisavtalet. Många av åtgärderna kan bidra till en allmän utveckling. SMHI har sammanfattat hur ett klimateanpassat Sverige skulle se ut baserat på de anpassningsåtgärder som inrapporterats från myndigheterna (SMHI, 2020b). Utifrån de svar som myndigheterna och länsstyrelserna givit har SMHI identifierat särskilda områden där motstridigheter mellan olika mål kan förekomma. Det är viktigt att säkerställa att anpassningsåtgärder för en risk inte medför en negativ påverkan på andra målsättningar. Till exempel kan dränering av ytvatten från jordbruksmark eller stadsområden resultera i en förhöjd risk för översvämning i områden nedströms. Dränering av mark kan även ha negativ påverkan på ekosystem samt försämra motståndskraften mot torka. Naturbaserade klimateanpassning åtgärder i till exempel kustområden kan även ha negativ påverkan på habitat och ekosystem, samt ökar risken för införande av invasiva främmande arter (SMHI, 2020b).

Via den svenska webbportalen för Klimateanpassning (2020) finns tjugo myndighetsrapporter tillgängliga. Medan myndigheterna har inrättat långsiktiga klimateanpassningsmål fokuserar handlingsplanerna främst på kortsiktiga åtgärder för att uppnå dessa mål. En majoritet av dessa åtgärder ska verkställas inom några år samtidigt som det saknas kunskap om klimateanpassning och de mest effektiva åtgärderna. Många av myndigheterna föreslår åtgärder som fokuserar på att samla in information, bedriva forskning, kommunicera interna och externt, samt utvärdera och integrera de nuvarande processerna rörande klimateanpassning. Mer specifika åtgärder kommer sannolikt att införas i ett senare skede. Myndigheter måste samla in nödvändig information och kommunicera dessa till aktörer på lägre nivåer (exempelvis kommuner). För att uppnå målen är det även viktigt med samarbete både på nationell nivå mellan myndigheter och internationellt. Det är tydligt att flera myndigheter har kommit längre i klimateanpassningsarbetet där det presenterats många föreslagna åtgärder för att anpassa samhället till kommande effekter av klimatförändringar. Varje enskild myndighet har definierat åtgärderna enligt dess specifika ansvarsområde. Grön infrastruktur eller naturbaserade åtgärder mot översvämningar och erosion nämns i handlingsplaner av exempelvis HaV (2018), SGI (2017), Skogsstyrelsen (2020) och Naturvårdsverket (2019b). Andra exempel på åtgärder innefattar detektionsmetoder för nya sjukdomar (Folkhälsomyndigheten, 2017a), inrättande av skyddade havs- och landområden (HaV, 2018; SGU, 2017) eller ekonomiskt stöd till samer för att öka inkomstsäkerheten och främja en mer mångsidig ekonomi som är mer motståndskraftig mot klimatförändringar (Sametinget, 2017).

Olika myndigheter hänvisar till olika framtida klimatscenarier, beroende på deras ansvar och perspektiv. Exempel på myndigheter som använder RCP 8.5, som representerar ett scenario med oförändrade förhållanden (business-as-usual), för sina riskbedömningsanalyser är MSB (2020), Elsäkerhetsverket (2018) och Statens

Fastighetsverk (2020). Deras analys följer försiktighetsprincipen genom att utgå från det värste tänkbara scenariot. En majoritet av myndigheterna baserar i stället deras analyser på RCP 4.5, medan enstaka inte anger något specifikt scenario.

Anpassning till ett förändrat klimat är ofta en utdragen process som förutsätter att flera faktorer är lyckosamma, och förändringar kan därför vara långsamma. Ett nationellt mål är till exempel att öka mångfalden bland trädarter i svenska skogar med syfte att sprida riskerna för skogsbränder. Felton et al. (2010) beräknade att endast en procent av den totala skogsarealen i Götaland var tillgänglig för odling av andra trädarter vid tidpunkten för studien. Processen med diversifiering av trädarter är beroende av skogsägarnas handlingar. Eftersom de flesta skogsmarker i Götaland är privatägda måste ägarna ges incitament och information för att genomföra nödvändiga anpassningsåtgärder (Felton et al., 2010).

Även om medvetenheten om eventuella risker har stor betydelse kan det finnas andra hinder som motverkar arbetet med klimatanpassning. I en nyligen publicerad studie undersöktes möjligheter till lokal samverkan om gemensamma vattenresurser i Göta Älv avrinningsområde (Bendz och Boholm, 2019). Studien visade att berörda intressenter var väl medvetna om de olika riskerna för vattenresurser, även klimatrelaterade risker, samt att det fanns ett behov av att förbättra dessa. Det är erkänt att samverkan kring vattenförvaltning över kommungränser är fördelaktigt, men det finns tydliga hinder som försvårar sådana samarbeten som delvis kan relateras till bristande förtroende mellan olika kommuner.

Svenska jordbrukare är medvetna om de risker och möjligheter som är förknippade med klimatförändringar, men generellt sett uppfattar de inte klimatförändringarna som ett "omedelbart problem" (Juhola et al., 2017). Jordbrukare vidtar åtgärder för att hantera riskerna med klimatförändringar. Dessa åtgärder är framför allt stegvisa eller systematiska. Exempel på åtgärder kan vara att undvika jordpackning under våta perioder, förbättrade dräneringssystem och utnyttja en längre växtsäsong genom att välja olika grödor och införa vintergrödor (Juhola et al., 2017). Eftersom det är många andra faktorer än klimatförändringar som påverkar jordbrukarnas investeringar är det särskilt viktigt med ekonomiska och politiska incitament för att ytterligare utveckla arbetet med klimatanpassningar inom jordbrukssektorn (Jordbruksverket, 2018b). Erfarenheterna från torkan år 2018 kan även ha bidragit till ett förbättrat samarbete och beredskap för liknande händelser i framtiden, enligt Jordbruksverket (2019).

Målet i Sverige är att öka den inhemska livsmedelsproduktionen samtidigt som den negativa klimatpåverkan ska minska. Däremot är det inte möjligt att uppnå detta mål utan att utveckla nya metoder och teknik inom svenskt jordbruk (Jordbruksverket, 2018a). För att det nordiska jordbruket i framtiden ska bli självförsörjande och hållbar finns det behov av att producera mer djurfoder inom regionen (Åby et al., 2014). Eftersom olika jordbruksprodukter bidrar till olika mängd utsläpp av växthusgaser kan förändringar i efterfrågan på dessa produkter ha en väsentlig påverkan på de totala utsläppen från svenskt jordbruk (Jordbruksverket, 2012b).

Klimatanpassningsåtgärder kan även orsaka oavsiktliga negativa effekter vid specifika platsen eller angränsande områden, och kallas ofta missanpassning. Majs är ett sådant exempel, som med ett varmare klimat och en förlängd växtsäsong skulle kunna börja odlas i Sverige i framtiden (Neset et al., 2019). Majsodling kräver dock mycket gödsling, vilket kan förvärra angrepp från skadedjur och ogräs. Behovet av bekämpningsmedel förväntas även att öka i takt med att klimatet blir varmare och fuktigare vilket är gynnsamt för tillväxten av växtsjukdomar, och som medför försämring av bland annat vattenresurser, jordbördighet och livsmedelskvalitet. Bevattning under torkperioder kan förvärra bristen på vatten. Dagvattensystem i städer som anpassats till kraftiga regnoväder riskerar att påverka områden nedströms, såsom jordbruksmark och våtmarker, negativt. Risk för näringsläckage från matjordar förväntas även att öka vilket har effekt på övergödning i hav och sjöar (Neset et al., 2019). Utan användning av dräneringssystem förväntas jordbruksmark bli obrukbar (Wesström et al., 2017). Att minska näringsläckage genom att avstå från att ploga åkrar kan innebära att behovet av kemiska bekämpningsmedel mot ogräs ökar eftersom det inte längre rensas bort genom plöjning (Eckersten et al., 2008).

4 Betydande långsamma kontinuerliga risker i Sverige

Kapitel 4 kommer att gå in på de ovan nämnda riskerna genom att beskriva de nuvarande befintliga risker som nämns i litteraturen och diskutera möjliga och förväntade risker för den framtida perioden 2050–2070. De framtida riskerna analyseras baserat på klimatprojektioner tillsammans med utvalda klimatindikatorer som kan anses vara relevanta för bedömningen av dessa risker.

4.1 Blå grundvattenbrist

- Förändringar i grundvattennivåerna i södra Sverige kan påverka kommunal och enskild dricksvattenförsörjning eftersom vattentillgången minskar, särskilt i mindre akviferer.
- Dricksvattenförsörjning från grundvatten i kustnära akviferer i sydöstra Sverige löper större risk eftersom grundvattenmagasinen är mindre och mer utsatta för låga grundvattennivåer under sommaren.
- Ökade säsongsvariationer i grundvattennivåer i norra Sverige
- Minskade skördar till följd av låga grundvattennivåer under sommarperioden och dess inverkan på bevattning av jordbruksmark

4.1.1 Nuvarande risker

Eftersom samhällen och ekosystem mestadels är beroende av vatten som redan finns i landskapet (sjöar, floder, akviferer, jord) snarare än från direkt nederbörd, fokuserar riskbedömningar av torra främst på hydrologisk eller markvattenstorka. Vattenresurser, såsom sötvatten i sjöar, floder och vattendrag definieras, som blåvatten, och hydrologisk torka i blåvatten kan således definieras som förhållandet då nivåerna i dessa vattentäkter är under den genomsnittliga nivån (Van Lanen et al., 2012; Van Loon, 2015). Till exempel definierar Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) hydrologisk torka som avvikelser i grundvattennivåer som registrerats i mitten av månaden jämfört med den genomsnittliga grundvattennivån för den specifika månaden baserat på mätningar som startade redan under 1970-talet. Hydrologiska torka kan påverka samhällssektorer inom bland annat dricksvattenförsörjning, bevattning och energiproduktion (Alcamo et al., 2003; Kundzewicz et al., 2008; Siebert et al., 2010; Prudhomme et al., 2014; Van Loon, 2015; Jägermeyr et al., 2016; Porkka et al., 2016; Wu et al., 2020).

Under augusti 2017 uppmättes kraftig sänkta grundvattennivåer i Sverige jämfört med normalnivån för säsongen, särskilt i landets södra och centrala delar (SGU, 2017). Effekter inom samhället till följd av torkan omfattade bland annat bevattningsförbud, restriktioner för vattenförbrukning, och enskilda brunnar som torrlagts i södra Sverige. Denna sänkning av grundvattennivåerna kan kopplas till förändringar i nederbördsmängd samt geografisk fördelning av nederbörd och temperatur, vilket påverkar grundvattenbildningen. Klimatscenarioer för Sverige beräknar att medeltemperaturen kommer att stiga, att nederbördsmängden under vintern kommer att öka samtidigt som osäkerheter om nederbördsmängd under vegetationssäsongen (vår och sommar) förväntas bli större. Europeiska miljöbyrån konstaterar att torka förväntas öka i frekvens, varaktighet och svårighetsgrad i hela Europa (EES, 2020b). Temperaturer och antalet dagar med låg markfuktighet förväntas också öka, vilket framgår av olika klimatsimuleringar (RCP 4.5 och RCP 8.5) (SMHI, 2020). SMHI visar att skillnaden mellan nederbörd och avdunstning beräknas öka från 30% till 60% under vinterperioden, och minska från 20% till 40% under sommarperioden, särskilt i södra Sverige (SMHI, 2003).

En studie av Steffens et al. (2015) med fokus på Skåne och Hallands län visade att den årliga nederbörden kan öka med 12 respektive 25% och temperaturen med 2 respektive 3,5 ° C. Från olika klimatmodeller med varierade klimatscenarioer fann de att norra Sverige kan erfara en ökning i mängd avrinning, vilket är volymen per tidsenhet som flödar från ett avrinningsområde. Tvärtom kan södra Sverige i stället uppleva minskad avrinning, även om det finns stor osäkerhet kring resultaten (Arheimer et al., 2013). Specifik avrinning förväntas i delar av Sverige att minska mellan 150 och 200 mm, vilket motsvarar de områden med minskade grundvattennivåer. Generellt beräknas grundvattennivåerna beräknas öka med 10 cm över hela Sverige (Arheimer et al., 2013).

Seftigen et al. (2013) rekonstruerade sommartorkan i sydöstra Sverige och fann att förlängda torrperioder resulterade i en negativ inverkan på skogstillväxt och livsmedelsproduktion. I kombination med höga temperaturer förvärrades de negativa effekterna på grund av ökad evapotranspiration som resulterar i hydrologisk torka där både markfuktigheten och vattenståndet i sjöar minskar på grund av ökad avdunstning. Torra perioder under sommar år 2013 och 2017 resulterade i att stora områden i södra Sveriges drabbades av grundvattennivåer under normala (SGU, 2017). År med torka har korrelerats med historiska variationer i förekomsten av skogsbränder och brända områden i Sverige av Ou (2017). I södra Sverige förväntas torkperioder att öka i svårighetsgrad, särskilt mot slutet av seklet, vilket i vissa områden också orsakar hydrologiska torka. I motsats till dessa nämnda klimatprojektioner menade Europeiska miljöbyrån 2020 (EEA, 2020a) i en studie att klimatförändringar kan leda till ökade skördar i norra Europa.

En studie av Vikberg et al. (2015) undersökte nuvarande grundvattennivåers genomsnittliga fluktuation under året i olika delar av Sverige. De fann en signifikant skillnad mellan grundvattennivåer i södra respektive norra Sverige under hela året. Akviferer i norra Sverige har inledningsvis under året låga grundvattennivåer som sjunker fram till mars då det sker en markant ökning av grundvattenbildning i samband med snösmältning. Från slutet av maj sker det

därefter en långsam och gradvis nedgång i grundvattennivån. I Södra Sverige uppmätts höjda grundvattennivån under perioden mellan januari och mars, som efterföljs av en längre avsänkingsperiod. De lägsta grundvattennivåerna uppmätts i oktober och november till följd av sommarens vattenkonsumtion. Grundvattenbildning påbörjas igen i november då klimatet blivit blötare.

Vid år 2015 uppskattades den totala vattenanvändningen i Sverige till 2444 miljoner kubikmeter (eller 2,4 km³). Cirka 80% av detta var blåvattenanvändning av ytvatten. Blåvatten (bluewater) hänvisar till färskvatten som samlas och lagras i bland annat sjöar, vattendrag, och grundvattensmagasin. Grundvatten stod för drygt 13% av den totala färskvattenuttagen (SCB, 2017). Industrisektorn förbrukar mest färskvatten i Sverige och står för 61% av all blåvattensanvändning. Cirka 23% av allt blåvatten förbrukas av hushåll, medan vattenanvändning inom jordbrukssektorn står för endast 3% av den totala blåvattenanvändningen. Blåvattenbrist är ofta kopplat till låga grundvattennivåer och förekommer främst i södra och mellersta Sverige, särskilt i områden med hög befolkningsstäthet längst Svealands och Götalands kust. Grundvattentillgången är begränsad även i andra områden, framför allt i Västergötland och Upplandsslätten, Närke, och på Öland och Gotland, under särskilda årstider. På platser där det saknas geologiska avlagringar där vatten kan maganiseras (huvudsakligen sand och grus) är förutsättningarna för uttagsmöjligheter från andra typer av avlagringar låg. Detta leder till lokala problem för permanent- och fritidsboenden med enskild vattenförsörjning. Områden där vattenbrist förekommer är stora delar av Bohuslän och Dalsland, nordöstra delar av Kalmar län och Östergötland, och delar av östra Svealand, främst kustregionerna. Vattenbristen uppstår under sommarperioden när bevattningsbehovet är som störst samtidigt som vattenförbrukningen är högre till följd av en ökad befolkning under sommarmånaderna (SCB, 2017).

Kommunal vattenförsörjning är idag den dominerande källan för dricksvatten i Sverige, där en fjärdedel kommer från grundvattentäkter och tre fjärdedelar från ytvattentäkter. Ytvatten omfattar även vatten från konstgjord grundvattenbildning som involverar artificiell infiltration genom sand- eller grusavlagringar med syfte att underlätta den annars naturliga grundvattenbildningen (SGU, 2009). Cirka 8 miljoner människor, eller 88% av den svenska befolkningen, försörjs idag med dricksvatten från kommunala vattenförsörjningssystem. Detta vatten försörjer enskilda hushåll, offentliga verksamheter som skolor och sjukhus, samt privata företag. Totalt levererades 863 miljoner kubikmeter från kommunala vattenverk år 2015, varav 23% av detta kom från grundvatten.

Blåvattenförbrukning inom jordbrukssektorn består huvudsakligen av två delar: bevattning av grödor och dricksvatten för boskap. Bevattning av grödor står för den största andelen av vattenanvändningen inom jordbruket. Cirka 75 miljoner kubikmeter vatten användes av jordbruket år 2015, där 64% användes för bevattning och de återstående 36% till boskapsuppfödning (SCB, 2017). Det är svårt att fastställa den totala mängden yt- och grundvatten som använts till bevattning inom jordbruket i Sverige. Äldre undersökningar visade att 85% av vattenresurserna avsett för bevattning inom jordbruk kom från ytvattentäkter, medan den resterande mängden vatten kom från privata grundvattentäkter

(Johansson och Klingspor, 1977). En undersökning utförd av Jordbruksverket 2015 visade att 84% av jordbruksföretagen använde ytvattentäkter för bevattning. Det är dock inte möjligt att förutsätta att mängden vatten fördelas proportionellt över samtliga gårdar. Eftersom flera jordbruk tog vatten från olika vattentäkter var det inte möjligt att uppskatta volymen från varje enskild källa. Ny statistik visar att vatten som används för bevattning har minskat stadigt, vilket kan vara resultatet av en effektivisering av vattenanvändning inom jordbrukssektorn. Mellan år 2010 och 2015 minskade volymen vatten för bevattning med 14 miljoner kubikmeter, från 62 miljoner till 48 miljoner kubikmeter. Förbrukningen av bevattningsvatten varierar stort mellan regioner, där Skåne står för nästan 60% av den totala användningen. Detta kan förklaras av att cirka 40% av all jordbruksmark i Sverige är beläget i Skåne.

4.1.2 Risker under 2050–2070

I norra Sverige förväntas de mest betydande förändringarna i grundvattennivåerna ske under första halvan av året. Grundvattennivåerna förväntas att stiga till följd av ökad nederbörd under vintermånaderna samt tidigare snösmältning på våren. Denna ökning kommer troligtvis att överstiga sänkningen av grundvattennivån som förväntas att ske under sommarmånaderna till följd av ökad vattenupptagning från växter och avdunstning (Vikberg et al., 2015). Ett ökat vattenuttag och avdunstning kombinerat med tidigare snösmältning kan möjligen resultera i lägre grundvattennivåer under sommarperioden, men att dessa sedan återställs senare under året. Framtidsprognoser visar att tidigare snösmältning medför att den högsta grundvattennivån infaller tidigare på året samtidigt som sommarperioden med låga grundvattennivåer förlängs vilket både förskjuter och begränsar perioden då det sker grundvattenbildning. I norra Sverige kan ett tydligt samband observeras mellan snösmältning och stigande grundvattennivåer. Klimatmodeller visar att grundvattennivåerna under hösten förväntas höjas eftersom nederbörd i större utsträckning kommer falla som regn, och således bidra till grundvattenbildning, i stället för snö (Vikberg et al., 2015).

En höjning av grundvattenytan i norra Sverige kan påverka vattentäkter med konstgjord grundvattenbildning eftersom den övre markvattenzonen minskar och kräver således en mindre volym ytvatten för att återställa grundvattenmagasinet. Vattenförsörjningen från ytvatten kan också påverkas av ökad avrinning till ytvattentäkter till följd av höjda grundvattennivåer. Grunda grundvattensmagasin har generellt lägre pH än djupare grundvattentäkter, och kan därför innehålla förhöjda metallhalter och organiska ämnen (Columbani et al., 2016).

I sydöstra Sverige förväntas grundvattennivån att minska (Sundén et al., 2010) till följd av förlängd vegetationssäsong och högre temperaturer under höst- och vårmånaderna vilket ökar den totala avdunstningen.

De största förändringarna av grundvattennivån beräknas ske i södra Sverige i områden med vanligtvis höga och låga vattennivåer. Detta på grund av ökad nederbördsmängd under vintermånaderna som bidrar till ökad grundvattenbildning samtidigt som stigande temperaturer under sommarperioden ökar avdunstningen. Vattennivåerna kommer att minska i grundvattenmagasin

som både är snabb- och långsamreagerande på säsongsvariationer. På östkusten förväntas grundvattennivåerna vara under dagens nivå vid tidpunkten då grundvattenbildningen påbörjas samtidigt som perioden med sjunkande nivåer förlängs under hösten. De mest avgörande perioderna för grundvattenbildning i sydöstra Sverige förväntas vara under årets första samt sista månader, där grundvattennivån beräknas vara som högst i januari och februari (Vikberg et al., 2015). Beräkningar tyder även på att grundvattennivåerna i södra och sydöstra Sverige kommer att stiga under de inledande månaderna på året i jämförelse med nuvarande nivåer. Trots att grundvattennivån i de flesta områden i södra Sverige förväntas att sjunka kan nivåerna på västkusten komma att stiga under sommarmånaderna på grund av en kombination av lågt tryck och stora mängder nederbörd. Klimatprojektionerna indikerar dock på en fortsatt minskning av grundvattennivåer på västkusten tidigt under våren, och att områden i sydöstra Sverige förväntas få stora grundvattenvariationer i jämförelse med dagens vattennivåer.

Även om förändringarna av grundvattennivåerna inte förväntas bli lika stora än de i norra Sverige kommer konsekvenserna av dessa förändringar bli mer påtagliga för både enskild och kommunal vattenförsörjning i södra Sverige när grundvattenuttag måste begränsas till följd av lägre grundvattennivå.

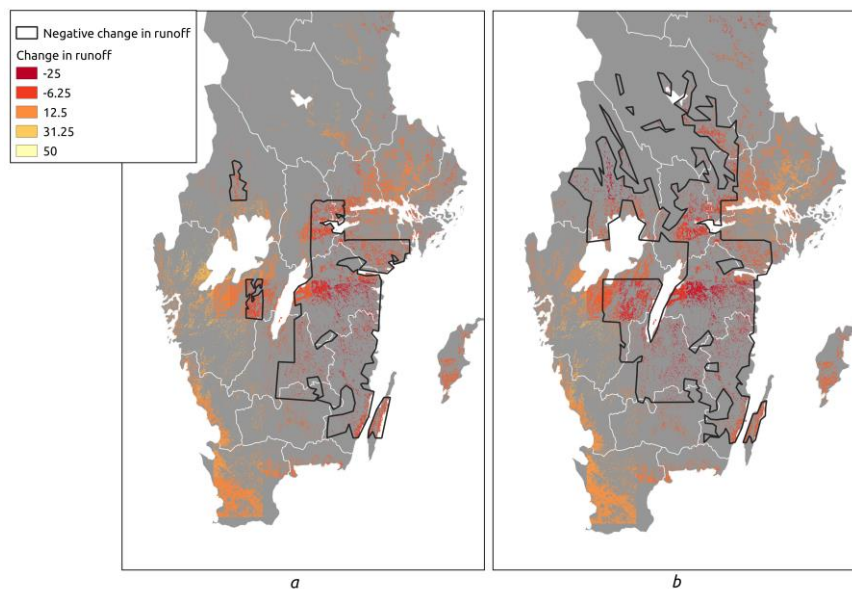
De största utmaningarna avseende dricksvattenförsörjning från grundvatten kommer främst vara lokaliserade i sydöstra Sverige. Ytterligare belastning på det kommunala vattenförsörjningssystemet kan också uppstå då vatten måste tillföras till fler områden med vattenbrist. Det handlar framför allt om kustområden där grundvattenmagasinen generellt är mindre och har längre perioder utan grundvattenbildning, vilket förväntas bidra till vattenbrist. I områden med sjunkande grundvattennivå förväntas även avrinningen av ytvatten minska i volym, vilket skulle medföra problem för nuvarande vatteninfrastruktur och den framtida vattenförsörjning (Aastrup et al., 2012). Variationer i grundvattennivån förväntas att minska i norra Sverige medan de kommer att öka i södra och sydöstra Sverige (Nygren et al., 2020).

Säsongsvariationer i grundvattennivån beräknas förändras för snabbreagerande grundvattenmagasin framför allt i norra Sverige, vilket skulle komma att påverka den enskilda vattenförsörjningen. Grundvattennivån uppskattas vara lägre på sensommaren och början av hösten, vilket påverkar enskilda vattentäkter då perioder med grundvattenbildning under sommaren blir kortare.

De efterföljande effekterna av klimatförändringar och torka kan kraftigt påverka vattentillgången för energi- och livsmedelsproduktion, särskilt i områden där vattnet för bevattning inom jordbruk kommer från grundvatten. Campana et al. (2018) visar att om skörden inte bevattnas under ett år av torka kan det innebära förluster på upp till 50% av den totala skörden. Syftet med att definiera klimatindikatorer som kan associeras till grundvattennivåer är att kartlägga riskområden med minskade grundvattenresurser. När dessa riskområden har definierats kan begränsande och anpassningsåtgärder vidtas. I bristen av information om vilket typ av vatten som används för bevattning inom jordbruk i Sverige kombinerar vi data om bevattnat jordbruk från

Naturvårdsverket (2020c) med data om möjliga områden som bevattnas med grundvatten från Siebert et al. (2013) för att tillhandahålla en karta som illustrerar jordbruksmark i Sverige som bevattnas av grundvatten (figur 1).

Resultatet från figur 1 visar troligtvis en större andel jordbruksmark som bevattnas av grundvatten än vad som faktiskt förekommer i Sverige. Vi fokuserar i denna rapport på delar i södra Sverige där majoriteten av all bevattnad jordbruksmark förekommer. Vi beslutade oss för att använda klimatprojektioner för framtida avrinning under vegetationssäsongen (mars-oktober) som klimatindikator för grundvattennivåer, som extraherades från CORDEX-datauppsättningarna. Antagandet är att minskad avrinning i framtiden kan relateras till lägre grundvattennivåer, vilket utgör en möjlig risk för hydrologisk torka. Den omättade zonen är större där grundvattennivån är låg, vilket resulterar i minskad avrinning då en större del vatten i stället infiltreras. Detta gör därför avrinning till en lämplig klimatindikator (Berhanu och Hatiye, 2020).



Figur 1: Förändring av årlig avrinning (mm/år) mellan 1980–2000 och 2050–2070 för åkermark som bevattnas med grundvatten för a) RCP4.5 och b) RCP8.5-scenarier. Figuren kan visa ett större område jordbruksmark än vad som existerar eftersom en global datauppsättning för bevattnad jordbruksmark har använts.

Avrinningen beräknas öka betydligt mer för RCP4.5 än RCP8.5, vilket indikerar på att grundvattennivån förblir hög under sommarperioden (figur 1). Det förekommer dock fortfarande flertalet områden där förändringen i avrinning är negativ, vilket är områden där avrinning förväntas minska. Vid Sveriges södra spets förekommer stora arealer jordbruksmark. Områden där avrinning förväntas minska i framtiden är i båda scenarier Östergötland. Avrinning och potentiella riskzoner för hydrologisk torka förekommer även i områden i Södermanland och Uppland. Även om vattenuttaget totalt sett är större i södra Sverige är avrinningen i området minimal eller positiv, vilket tyder på att grundvattennivån förblir på nuvarande nivåer. Uttag från akviferer i detta område skulle således inte riskeras

att tömmas, och tillräckligt med grundvatten bör finnas tillgängligt för andra att konsumera.

Trots det belyser figur 1 områden med en negativ förändring i avrinning, vilket antyder att grundvattennivåerna sjunker. För scenario RCP4.5 förekommer jordbruksmark med minskande avrinning huvudsakligen vid den sydöstra kusten i Kalmar, Östergötland och Södermanland. Under scenario RCP8.5, som motsvarar en framtid med fortsatt höga utsläpp, expanderas dessa riskområden med minskad avrinning till att omfatta jordbruksmark även i Värmland, Kopparberg och Örebro. Detta innebär att en större andel jordbruksmark riskerar att drabbas av grundvattenbrist, med potentiell brist på vatten för bevattning. Om det råder brist på vatten för bevattning riskerar storleken på skörden att minska. Mindre tillgängligt markvatten gör att vattensituationen blir ännu mer ansträngd. De markerade områdena är platser där anpassningsåtgärder bör övervägas, som att exempelvis ersätta nuvarande grödor med andra mindre vattenkrävande och ändra jordbruksmetoder.

En rad klimatanpassningsåtgärder presenteras av Livsmedelsverket (2020) som syftar till att begränsa de negativa effekterna av klimatförändringar på dricksvattenförsörjningen i landet, och skydda mot akuta händelser som olyckor och extremväder. Det är dock upp till varje enskild kommun att se till att åtgärderna uppfylls, och att dricksvattentillgången förblir oförändrad och fri från föroreningar. De föreslår både administrativa och tekniska åtgärder för att begränsa potentiella risker. Det administrativa arbetet involverar åtgärder som är inriktade på ökad medvetenhet, utbildning, och utveckling av verksamheten ur ett klimatförändringsperspektiv. Arbetet syftar även till att öka medvetenheten hos berörda aktörer om dricksvattens sårbarhet och funktion i samhället. För att uppnå dessa åtgärder krävs det samarbete både inom och mellan kommuner, samt på regional nivå. Det kräver också regelbunden personalutbildning och uppdatering om aktuell forskning om klimatförändringar och klimatanpassning. En genomgång av resurser inom länsstyrelsen och kommunen bör också utföras samt klargöra för verksamheter deras ansvar i klimatarbetet.

Fysiska planer ska öka medvetenheten om dricksvattnets sårbarhet, såsom vattenbrist och förorening. Dessa planer involverar utformning av översikts- och detaljplaner som har som syfte att skydda vattenresurser vid exploatering av mark på både regional och lokal nivå. Med en väl genomtänkta plan kan riskerna för kontaminering av vattentäkter begränsas genom att undvika etablering av nya samhällen eller jordbruk på platser med hög översvämningsrisk eller betydelsefulla vattentäkter (Livsmedelsverket, 2020). Kartläggning av översvämningsrisker, jordskred och instabilitet i marken kan åskådliggöra eventuella effekter dessa kan orsaka på dricksvattenförsörjningen i kommunen, en så kallad sårbarhetskarta. Det är också viktigt att ta hänsyn till regler och lagar under planeringsprocessen, såsom exempelvis Miljöbalken, Plan- och bygglagen (PBL), miljökvalitetsnormer, och bestämmelser om vattenskyddsområden.

Administrativa åtgärder inkluderar också krisberedskap för dricksvattensystemet för oönskade klimathändelser. Dessa åtgärder baseras på risk- och sårbarhetsbedömningar. För att effektivt hantera kriser bör man skapa sig

förståelse om risken och utvärdera hur denna risk kan eskalera utifrån olika scenarier. Förebyggande åtgärder, tillgång till nödutrustning och förvarningssystem som i ett tidigt skede uppfattar varningssignaler måste finnas tillgängliga i kommunen för att reducera risker och säkerställa full beredskap (Livsmedelsverket, 2020).

Vattentillgången i framtiden kommer att förändras till följd av ändrade nederbördsmonster och nederbördstyp, vilket kommer påverka efterfrågan på både dränering och bevattning (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007). I södra Sverige där fler långvariga torrperioder och högre temperaturer väntas i framtiden, har en av de inledande anpassningsåtgärderna inom jordbruket varit odling av quinoa. Quinoa är en sydamerikansk gröda som är lämplig att odla i torra förhållanden. Nu i förädlad form kan denna gröda även odlas i Sverige, där lantbrukare i Östergötland är först med att undersöka möjligheterna. Östergötland är ett område där medeltemperaturen kommer att stiga och där fler värmeböljor förväntas under sommarmånaderna. Antalet dagar med låg markfuktighet kommer också att öka då nederbörden främst är koncentrerad till vår- och vintermånaderna (SMHI, 2020). Quinoa är lik rapsplantan och kan skördas med samma metoder. Däremot krävs det att jordbrukare investerar i teknik som används i Sydamerika som kan sortera, polera, tvätta och torka quinoa innan den paketeras (Klimatanpassningsportalen, 2020).

4.1.3 Kunskapsluckor och rekommendationer

Med en växande befolkning mängd ökar även efterfrågan på mat och vatten, vilket skapar ytterligare tryck på grundvattenresurserna som används för både bevattning och dricksvatten. Anpassningsåtgärder som involverar odling av grödor som är mindre vattenkrävande, som exempelvis quinoa, kan minimera belastningen på vattenresurserna. För att minimera riskerna krävs det dock att fler jordbruk anpassas till det framtida klimatet. I en rapport om framtidens jordbruk från Lantmännen (2019) uppges det att det finns goda förutsättningar att öka skördarna med upp till 48% till år 2050. Det är däremot oklart om vilken data som använts i beräkningarna för bevattning. Förutsatt att bevattning inom jordbruket förblir konstant kommer grundvattensbristen att öka i samband med sjunkande grundvattennivåer. Det kan därför bli svårt att upprätthålla samma bevattningsstrategi då det råder brist på grundvatten. Det är viktigt att ha kännedom om hur bevattningsstrategier kommer att förändras i framtiden för att kunna avgöra vilka risker som föreligger. Inga tidigare studier om befolkningstillväxt och livsmedelsproduktion i Sverige påträffades. Befolkningen i Sverige förväntas att öka från nuvarande 10,3 miljoner till 12 miljoner i början av 2050-talet (SCB, 2020). För att bemöta en ökad efterfrågan av livsmedel från en större befolkning skulle det möjligen krävas ökade skördar, vilket potentiellt skulle påverka grundvattenresurserna negativt då större arealer behöver bevattnas. Befolkningstillväxt i kombination med klimatförändringar kan således förstärka de risker som tidigare förutsetts.

Ett annat område med bristande kunskap inom är rumslig information om omfattningen av bevattning med grund- respektive ytvatten inom jordbruk. I denna studie har vi använt global data för bevattning (Siebert et al., 2013), vilket möjligen inte är lämpligt för en skala som Sverige. Vid en första anblick framstod

bevattning inom jordbruk i Sverige som mer omfattande än vad som var förväntat och sträckte sig långt in i centrala delar av Sverige. Beräkningar av det svenska jordbrukets expansion eller intensifiering i framtiden anträffades inte heller. Denna information kan dock existera men inte varit åtkomlig vid tidpunkten för skrivandet av denna rapport. Dessa beräkningar är nödvändiga för att ytterligare förstå risker från expansion av jordbruksmark norrut eller ett utökat behov av bevattning i södra Sverige. De nämnda kunskapsluckorna kan vara av intresse för Jordbruksverket och Sveriges Geologiska Undersökning att undersöka vidare, om dessa studier inte redan pågår.

4.2 Risker för grönvatten eller regnbevattnat jordbruk

- Nederbörden beräknas öka över hela Sverige, vilket kan vara gynnsamt för svenskt jordbruk. Temperaturökningar kan dock hämma de positiva effekterna från ökad nederbörd.
- Den beräknade ökningen av avdunstningen orsakar lägre markfuktighet i stora delar av landet (sydöstra och norra Sverige). Förutsägelser av markfuktighet bör dock tolkas med försiktighet på grund av hög osäkerhet i dessa klimatprognoser.
- Ingen betydande ökning i nederbördsmängd över regnbevattnat jordbruk förväntas under höstmånaderna, vilket minskar risken för skador inom jordbruket.

I Sverige anses de förväntade positiva effekterna av klimatförändringar vara mer betydelsefulla än de negativa effekterna, enligt Jordbruksverket (Jordbruksverket, 2017). Ökad nederbörd, längre vegetationssäsong och bättre tillväxt för grödor till följd av förhöjda halt av CO₂, är exempel på positiva effekter, medan negativa konsekvenser för jordbruket är ökad risk för skadedjursangrepp, torka under tillväxtperioden, samt ökad översvämningrisk till följd av stora nederbördsmängder under skördeperioden (Neset et al., 2019). Jordbrukstorka kan definieras som brist på markvatten till den grad att grödorna skadas eller går förlorade (Tian et al., 2018). Regnvatten som infiltrerat jorden och finns tillgänglig för växter kallas grönvatten. Grönvatten är en viktig vattenresurs för både bevattnad och obevattnad åkerareal (Rost et al., 2008). I bristen av en extern källa till blåvatten (yt- eller grundvattentäkter), är grödor i ett obevattnat jordbruk mer sårbara för jordbrukstorka (Wilhelmi och Wilhite, 2002). Den mest lämpliga klimatindikatorn för jordbrukstorka är således låg markfuktighet (Nam et al., 2012). Det finns stora svårigheter med att mäta markfuktighet inom jordbruk i stor skala och effekterna av jordbrukstorka visar sig ofta först vid skördeperioden (Boken et al., 2005). I Sverige bevattnas mindre än 5% av den totala jordbruksarealen under ett typiskt år (Jordbruksverket, 2018c).

4.2.1 Nuvarande risker

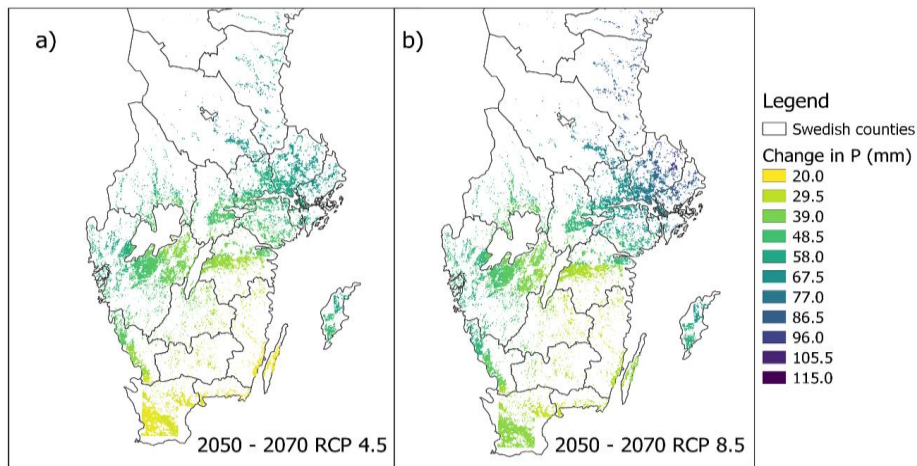
Under sommarmånaderna år 2018 drabbades Nordeuropa av långvarig torka som resulterade i stora förluster inom jordbruket (Beillouin et al., 2020). I Sverige var temperaturen flera grader högre än månadsgenomsnittet för perioden 1961–1990 i större delen av landet, särskilt under maj och juli månad (SMHI, 2020c). Samtidigt var nederbördsmängden lägre än normalt i många områden under sommarmånaderna (SMHI, 2020c). En period av jordbrukstorka kan påverka produktionen av till exempel foder till livsmedelsproducerande djur. Under torrperioden år 2018 steg foderpriser till följd av minskade skördar vilket medförde en ökning av mängden importerat livsmedel och slakt av djur (Statens Veterinärmedicinska Anstalt et al., 2019).

Till följd av torkan under 2018 delade Jordbruksverket ut ekonomiskt stöd till drabbade jordbrukare (Regeringskansliet, 2019), och sammanlagt beräknades de totala förlusterna inom jordbruket vara mellan 6–10 miljarder kronor (Jordbruksverket, 2019). Grödor som bevattades var främst grönsaker, frukt och potatis, medan spannmål och oljeproducerande grödor sällan bevattas i Sverige. Skördeförlusterna minimerades för dem som hade möjlighet att bevattna grödorna (Jordbruksverket, 2019). Nettoinkomsten från spannmål var omkring 30–40% lägre år 2018 jämfört med genomsnittet för tidigare år, vilket var direkt orsakat av torka och behovet av att använda mer av skörden till djurfoder (Jordbruksverket, 2019). Beillouin et al. (2020) analyserade extrema skördeförluster inom det europeiska jordbruket under perioden 1990–2018 men fann ingen uppenbar trend under denna tidsperiod. Baserat på historisk data analyserade Spinoni et al. (2015) förekomsten av torka i Europa under perioden 1950–2012 och fann en minskande förekomst av torka i Skandinavien. Detta kunde främst förklaras av att nederbörden ökat i regionen.

4.2.2 Risker under 2050–2070

Frekvensen och intensiteten av torrperioder beräknas öka i norra Skandinavien mot mitten av 2000-talet, främst under scenarierna RCP 8.5 och RCP 4.5. Medan sommartorka förväntas minska i södra Skandinavien, kan torka under höst- och vårmånaderna bli mer frekvent (Spinoni et al., 2018). Jordbruksverket är väl införstådda med riskerna för sommartorka, särskilt i sydöstra Sverige, och det växande behovet av bevattning (Jordbruksverket, 2017). Vattenbrist kan leda till både ökade kostnader och brist på djurfoder vilket kan medföra att fler djur måste nödslaktas (Statens Veterinärmedicinska Anstalt et al., 2019).

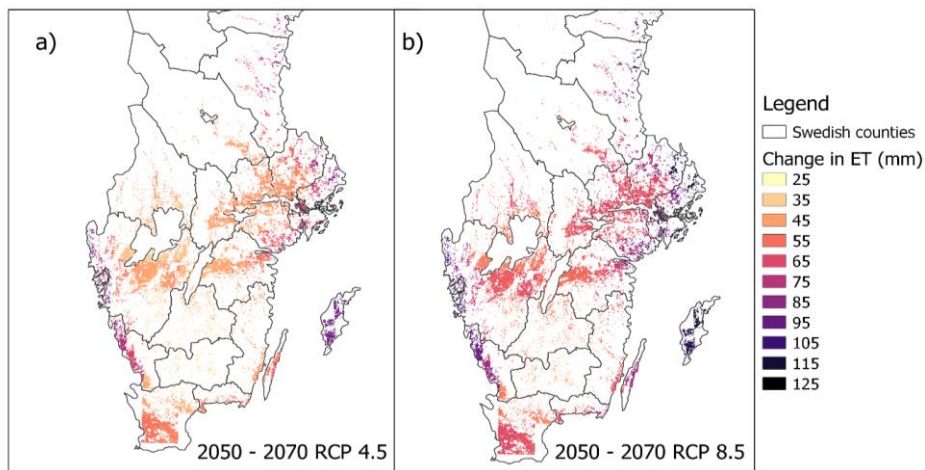
För att bedöma risken för jordbrukstorka i regnbevattnat jordbruk i en framtid med varmare klimat använde vi tidigare uppskattningar av förändringar i nederbördsmängd under vegetationssäsongen mellan perioden 1980–2000 och framtidsperioden 2050–2070 som klimatindikator. En positiv förändring indikerade på en ökning i nederbördsmängd, vilket minimerar risken för jordbrukstorka i regnbevattnat jordbruk. Om förändringen i stället var negativ antydde det på att mindre nederbörd under vegetationssäsongen (april-september), vilket potentiellt kan påverka regnbevattnat jordbruk. Klimatprojektionerna för framtida nederbörd påvisade en positiv förändring i nederbördsmängd över hela Sverige. Den mest markanta ökningen i nederbörd är beräknas ske i nordliga jordbruksområden och i östra Svealand, medan den lägsta ökningen syns i sydöstra Götaland (figur 2). Nederbördsökningen i norra Sverige och östra Svealand är betydligt större i scenario RCP 8.5 jämfört med RCP 4.5, medan motsatt trend ses i de centrala delarna av Götaland, omkring sjöarna Vänern och Vättern.



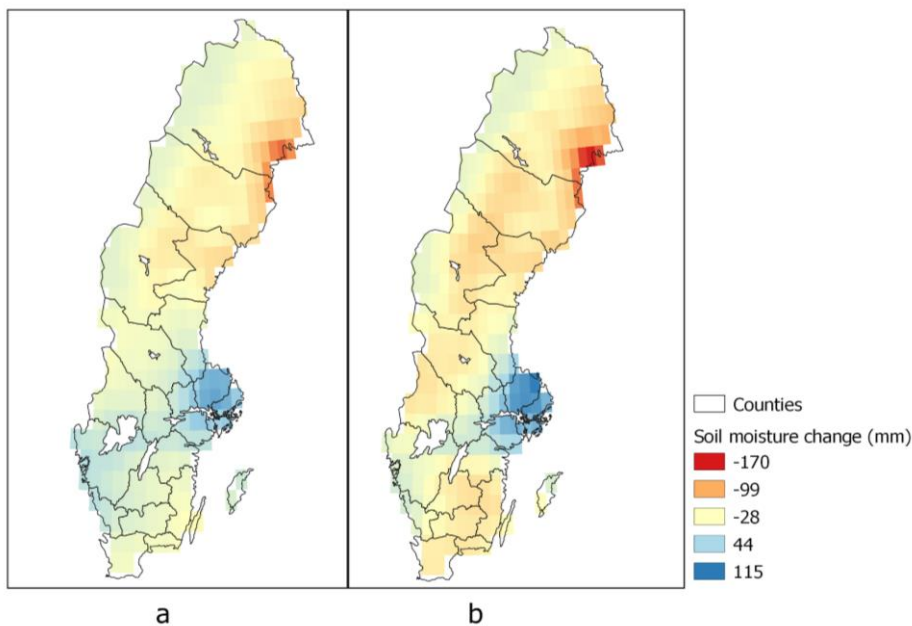
Figur 2: Förändring i nederbörd under vegetationssäsongen (april - september) mellan referensperioden 1980–2000 och den framtidsperioden 2050–2070 under de två framtidsscenarierna a) RCP 4.5 och b) RCP 8.5. Klimatdata (0,5° upplösning) maskeras av ett raster för jordbruksmark i Sverige med en upplösning på 1000 meter.

Baserat på nederbördsmängd verkar det inte finnas risk för jordbrukstorka inom regnbevattnat jordbruk. Däremot är det sannolikt att högre temperaturer kommer öka avdunstningen vilket kommer påverka mängden grönvatten. Evapotranspiration kan förklaras som skillnaden mellan nederbörd och avrinning, dit både grundvatten och ytavrinning inräknas. Temperaturökningen i Sverige under både vegetationssäsongen och hela året beräknas medför en ökad evapotranspiration i båda framtidsscenarierna (figur 3). Den största ökningen i evapotranspiration beräknas ske i kustområdena.

Resultaten om markfuktighet från klimatprojektionerna kan användas som klimatindikator för att bedöma förändringar i klimatförhållandena för regnbevattnat jordbruk. De uppvisar dock en högre osäkerhet än de direkta klimatprojektionerna. På årsbasis beräknar klimatmodellerna att markfuktigheten kommer att minska i större delen av Sverige i båda scenarier, förutom i östra Svealand och västkusten i scenario RCP 4.5 (figur 4). Det är svårt att fastställa hur risken för jordbrukstorka i Sverige kommer att förändras i framtiden baserat på tillgänglig information. Även om erfarenheter från tidigare torrperioder har visat att dessa händelser kan orsaka allvarliga konsekvenser för jordbruk även i Sverige, är uppfattningen att klimatförändringar har fler positiva än negativa effekter på regnbevattnat jordbruk (Rötter et al., 2012). Mer forskning krävs för att bättre förstå framtida jordbruksförhållanden, särskilt efter att anpassningsåtgärder vidtagits.



Figur 3: Förändring i evapotranspiration (beräknad från skillnaden mellan nederbörd och avrinning) för den modellerade perioden 2050–2070 under scenarier a) RCP 4.5 och b) RCP 8.5. Ett raster av jordbruksmark som maskerar klimatdata ($0,5^\circ$ upplösning) med 1000 m upplösning.

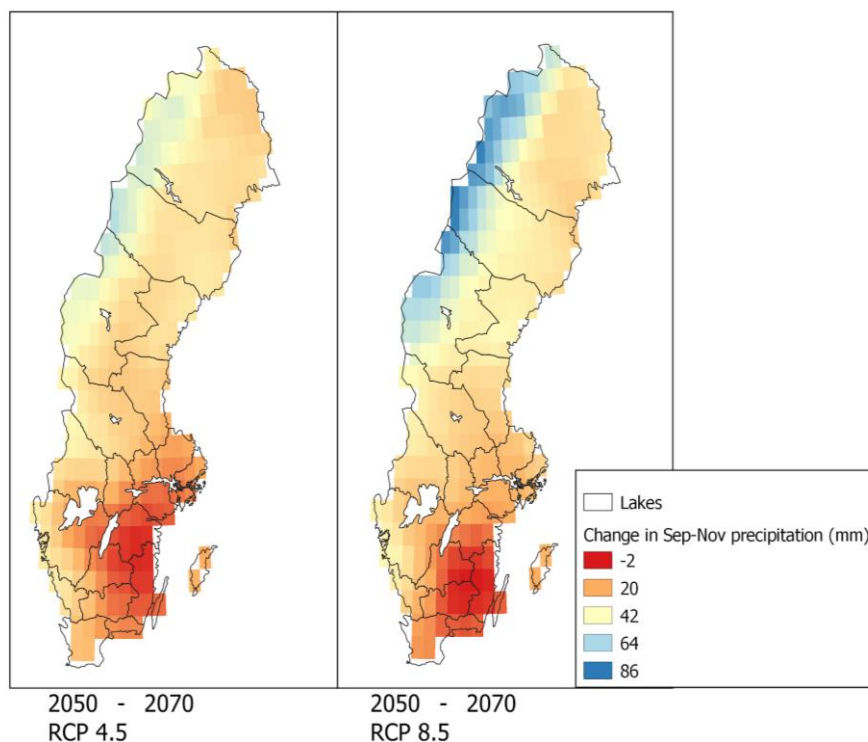


Figur 4: Årlig förändring av markfuktighet under perioden 2050–2070 i förhållande till 1980–2000 med a) RCP 4.5 och b) RCP 8.5.

Ökad nederbörd under skördeperioden kan orsaka instabilitet i jorden och maskiner som sedan används på marken kan påverka markstrukturen (Juhola et al., 2017). Enligt Jordbruksverket kan markpackning vara ett potentiellt problem, och de föreslår därför att utbyggnad eller förbättrat dräneringssystem kan begränsa markpackningen (Jordbruksverket, 2017).

Nederbördsmängden under höstmånaderna beräknas öka under 2050–2070 över större delen av Sverige i båda scenarier. Ökningen är störst i nordvästra Sverige, längs gränsen till Norge (figur 5). I områden med stor jordbruksareal är ökningen

av nederbörd däremot låg. Baserat på den genomsnittliga nederbörds mängden är det inte särskilt sannolikt att riskerna för skador inom jordbruket relaterat till nederbörd kommer att öka avsevärt. Däremot berättar inte denna information något om kraftiga regnoväder kommer bli mer eller mindre frekvent.



Figur 5: Förändring i nederbörd under hösten mellan perioderna 1980–2000 och 2050–2070.

4.2.3 Kunskapsluckor och rekommendationer

Ytterligare forskning behövs för att fastställa hur framtida förändringar av hydrologin kommer att påverka olika regnbevattnade grödor. Även om ökad nederbörd gynnar tillväxten av regnbevattnade grödor, särskilt i områden där grödorna kan dra nytta av en ökad vattentillgänglighet, finns det särskilt oro över hur koncentrerad denna ökning förväntas bli. Prognoserna visar även att markfuktigheten i nordöstra Sverige kommer minska, troligtvis till följd av ökad avdunstning, vilken kan påverka regnbevattnat jordbruk i denna region. Detta resultat bör dock tolkas med försiktighet eftersom beräkningar av markfuktighet från klimatprojektioner har en högre osäkerhetsgrad än de relaterade klimatvariablerna. Ökad nederbörds mängd kan relateras till att fler extrema skyfall uppstår, då en stor mängd nederbörd med hög erosionspotential faller under en period, vilket kan skapa stora markförluster under nuvarande förhållanden. Högre nederbördsintensitet kan också öka risken för översvämning och resultera i vattenfyllda åkrar vilken kan vara ogynnsamt för särskilda grödor. För att skapa sig en större förståelse över denna risk är det rekommenderat att beräkna den framtida ökningen av nederbördsintensitet och energi i nuvarande regnbevattnade jordbruksområden. Ökad kunskap om den svenska regeringens strategi inom utvidgning av jordbruket kan också bidra till en bättre förståelse av hur framtida jordbruksområden kan hantera förändringar i nederbörd.

4.3 Skadedjur och skador inom jord- och skogsbruk

- Bättre förutsättningar för skadeinsekter i skogar i norra Sverige
- Ökat problem med skadeinsekter i jordbruket i södra Sverige på grund av stigande temperaturer

4.3.1 Nuvarande risker

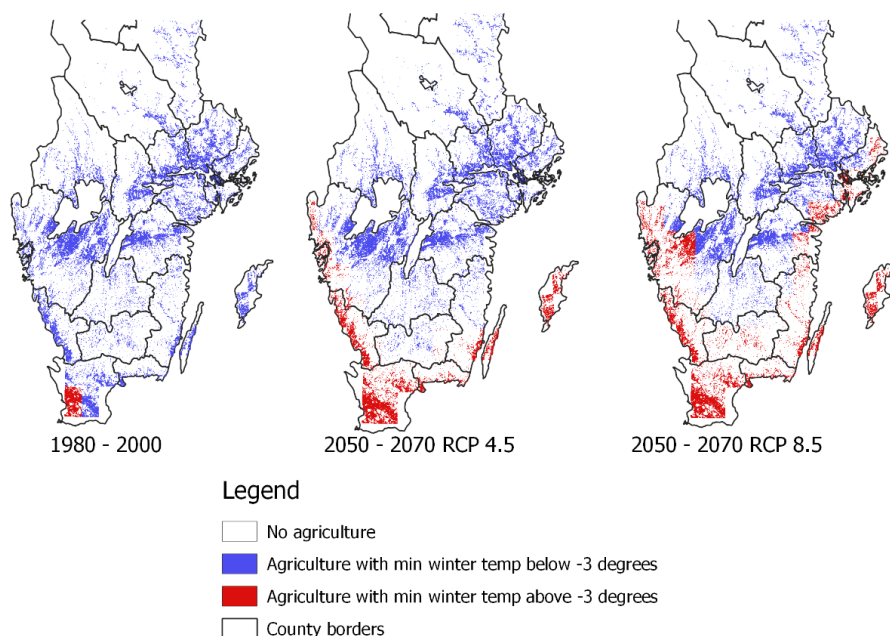
För att begränsa klimatförändringarna är ökad produktion av skogsprodukter fördelaktig eftersom detta kan kompensera för annan produktion som drivs av fossila bränslen (Lundmark et al., 2014). Stigande temperaturer kommer sannolikt att öka skogstillväxten i svenska skogar och virkesproduktion, men detta är dock ännu inte helt bevisat (Jaramillo et al. 2018). Dessutom förkommer det också ökande risker för skador på träd i samband med klimatförändringar (Keskitalo et al., 2016). Insektsskador i skogsbruket har ökat i Sverige under det senaste århundradet på grund av stigande temperaturer under vinter- och sommarperioden, samt förändringar inom skogsbruket (Tudoran et al., 2016).

Det är troligt att skador orsakade av skadedjur och svampangrepp kommer att öka i Sverige vid år 2050 (Sari Kovats et al., 2014). För närvarande har det svenska jordbruket drabbats främst av ogräs och svampsjukdomar, men med ett varmare klimat kommer insektsangrepp sannolikt att öka (Jordbruksverket, 2012a). Många av de svampsjukdomar som finns idag kan också öka i varmare temperaturer, även om vissa kommer att missgynnas av torrare somrar (Jordbruksverket, 2012a). Under sommartorkan år 2018 var svampangrepp (mögel) lägre på grund av torkan, och användningen av svampmedel var därför lägre. Däremot ökade insektsangrepp på vissa grödor (Jordbruksverket, 2019). En längre varm säsong kan förlänga aktiviteten hos olika typer av skadedjur (Sari Kovats et al., 2014), och spridningen av virus från insekter till växter förväntas öka (Jordbruksverket, 2012a). Vektorer gynnas av högre temperaturer och en lång varm period gör att de kan öka antalet generationer per år (Roos et al., 2011). Det finns exempel på att skadeinsektspopulationer expanderar norrut med stigande temperaturer, vilket sannolikt kommer att fortsätta (Lamichhane et al., 2015). Mildare vintertemperaturer kommer troligtvis också att gynna insekternas överlevnad under vintern (Lamichhane et al., 2015). Grünig et al. (2020a) modellerade skadedjursinspridningens fördelning och fann en tröskel när den kallaste månadens lägsta temperatur var över -3°C . Varmt väder kan öka risken för överlevnad av insektsarter som orsakar problem med insektsangrepp på europeiskt jordbruk. Torka försämrar också trädens motståndskraft mot skadedjursangrepp (Brecka et al., 2018; Venäläinen et al., 2020).

4.3.2 Risker under 2050–2070

I enlighet med resultaten från Grünig et al. (2020a) använde vi den lägsta dagliga medeltemperaturen från januari till mars som klimatindikator i bedömningen för risken för skadedjur och svampangrepp (figur 6). Under referensperioden 1980–

2000 var endast ett mindre område i Sverige, beläget i sydvästra Skåne, med en lägsta daglig medeltemperatur över -3°C från januari till mars. Eftersom vintertemperaturerna förväntas öka kommer de genomsnittliga minimitemperaturerna över -3°C att öka under framtidsscenarioer RCP 4.5 och RCP 8.5. Under scenario RCP 4.5 beräknas västkusten, södra delarna (Skåne och Blekinge) och öarna Öland och Gotland att uppleva milda vintrar med lägsta temperaturer över -3°C . För scenario RCP 8.5 förväntas de milda vintrarna också att täcka östra kusten upp till Stockholm samt södra Sveriges inland och kust. Lägsta vintertemperatur kommer sannolikt att stiga i framtiden, vilket möjliggör överlevnad av insektsarter i södra Sveriges jordbruksområden. Det finns också en hög risk att nya skadedjur och sjukdomar etablerar sig i landet när klimatet förändras och när nya grödor införs (Grünig et al., 2020b; Jordbruksverket, 2012a; Lamichhane et al., 2015). Jordbruksverket (2012a) identifierade möjliga angrepp av insekter, svampar, bakterier och ogräs som inte förekommer i Sverige idag men som kan utgöra ett hot i framtiden. För svenskt jordbruk förväntas riskerna med skadedjur vara högst i landets södra delar, vilket både framgår av analysen och resultaten av andra studier (e.g. Grünig et al., 2020b, Eckersten et al., 2008).



Figur 6: Genomsnittliga lägsta vintertemperaturer (januari - mars) i jordbruksmark för nuvarande och framtida prognoser enligt scenario RCP4.5 och RCP8.5. Jordbruksmarkens upplösning är 500 meter, och klimatupplösningen är 0.5 grader.

Högre exponering för skadedjur i jordbruket kommer sannolikt att leda till ökad användning av bekämpningsmedel (Wivstad, 2010). Utvecklingen av ekologiskt jordbruk och alternativa bekämpningsmetoder kan motverka denna trend avsevärt om politiska och ekonomiska krafter förstärker eller reglerar dessa förändringar (Wivstad, 2010). Ökad odling av korn som kräver lite eller inga bekämpningsmedel och ökad övergång till ekologiskt jordbruk av grödor som generellt kräver mycket bekämpningsmedel är exempel på metoder för att minska användningen av bekämpningsmedel. Naturlig skadedjursbekämpning är en ekosystemtjänst för

både ryggradsdjur och ryggradslösa djur. Eftersom bekämpningsmedel ofta är skadliga för naturliga rovdjur kan naturlig skadedjursbekämpning genom ryggradsdjur i södra Sverige gynnas av ett varmare klimat (Civantos et al., 2012).

Klimatuppvärmningen tros gynna många insekter, vilket kan öka trädskadorna och därmed påverka skogsbruket negativt. Hof och Svahlin (2016) modellerade den geografiska fördelningen av klimatlämplighet år 2070 för 30 arter av potentiella insektskadegörare för skogsbruk i norra Sverige. Studien beskrev att det nuvarande klimatet tillåter spridning av insektsarter främst nära kusten och runt stora vattenförekomster som Storsjön i Jämtland. År 2070, under både scenario RCP 4.5- och 8.5, skulle de flesta arters potentiella geografiska fördelning öka till att täcka större delen av Norrland. Skadedjurens förflyttning går i nordvästlig riktning i norra Sverige (Grünig et al., 2020b), och den ekonomiska skadan från skadedjur i skogsbruket kommer sannolikt att öka och insektsfördelningen kommer spridas snabbare i de mer sydliga områdena (Hof och Svahlin, 2016). Skogsstyrelsen (2020) har gjort uppskattningar av risker inom skogsindustrin i Sverige för att finna att den mest betydande kostnadsökningen är förknippad med angrepp av granbarkbaggar år 2050 och 2100 i jämförelse med den nuvarande perioden 1990–2010.

4.4 Förorening av grundvatten

- Regioner med hög variation av grundvatten norra Sverige är mer utsatta för kontaminering på grund av mobilisering av tungmetaller i matjorden.
- När förhållandena blir mer gynnsamma för jordbruket längre norrut ökar risken för kontaminering från bekämpningsmedelsanvändning.

4.4.1 Nuvarande risker

Förorenad mark är ett problem globalt, och den Europeiska miljöbyrån har beräknat att det finns 340 000 förorenade markområden inom Europa (EEA, 2020). Det finns cirka 25 000 förorenade platser i Sverige (EPA, 2017) och cirka 1 300 av dessa platser anses utgöra en betydande risk för miljön eller människors hälsa och kräver saneringsåtgärder (SGU, 2020). Riksdagen har tagit fram riktlinjer för framtida sanering av förorenade områden genom att anta det miljökvalitetsmål som kallas En giftfri miljö. Målet syftar till att säkerställa att förekomsten av mänsklig infrastruktur, eller utvunnet material eller ämnen inte utgör ett hot mot människors hälsa eller biologiska mångfald (Naturvårdverket, 2020). De främsta föroreningskällorna inkluderar tungmetaller, såsom bly och arsenik, som huvudsakligen kommer från atmosfärisk nedfall av trafikutsläpp, gruvdrift, jordbruk, utsläpp från deponier, annan industriell verksamhet och oavsiktligt spill av föroreningar (Barth et al., 2009; Tóth et al., 2016; Jarsjö et al., 2017a). Bly och arsenik representerar både hög och låg rörlighet för tungmetaller inom jord och grundvatten, med arsenik som den mest rörliga (Jarsjö et al., 2020). Det typiska resultatet från förorenad mark är en vertikal gradient av metaller i jorden, där matjorden har högst koncentration metall som sedan minskar med djupet. Uptagning av föroreningar från jorden genom grödor och direktkontakt med jorden kan leda till exponering för människor (Raguz et al., 2013). Vidare kan vattenburen spridning genom kopplade grundvattenytvattensystem påverka brunnar och dricksvatten (Mulligan et al., 2001; Törnqvist et al., 2011). Nuvarande befolkning och industrier samt föroreningsplatserna ligger nära vattenkällor, vilket ytterligare ökar riskerna för exponering och förorening (Destouni et al., 2010; Persson et al., 2011; Andersson et al., 2014).

Den förväntade temperaturförändringen som gör det lämpligt för jordbruk längre norrut kommer att förbättra förhållanden för grödor och produktivitet i Sverige och andra nordiska länder (Trnka et al., 2011). Förändringar inom odling och nya sorters grödor kommer troligtvis ske för att anpassa sig till en ändrad vegetationssäsong (Olesen et al., 2011). Den geografiska och tidsmässiga fördelningen av grödor, och efterföljande ogräs, kommer också att påverkas av klimatförändringen. Detta kan resultera i att bekämpningsmedel användas i större utsträckning, vilket leder till läckage och förorening av både yt- och grundvattenresurser. Eftersom grundvatten kan ta långt tid och dyrt att sanera (Vonberg et al., 2014) är det viktigt att skydda grundvattenresurserna. Herbicider tenderar att vara mer rörliga och utgör därför störst risk att förorena grundvattnet

inom jordbruk. Klimatförändringar kan direkt och indirekt påverka utlakning av herbicider genom förändringar i nederbörd, temperatur, markanvändning och bekämpningsmedelsanvändning (Steffens et al., 2015).

Löst organiskt material i ytvatten bidrar till brunifiering som gör att vattendrag blir brunfärgat. Brunifiering är en miljörisk för ekologin i sötvatten eftersom den påverkar vattenkvaliteten samt funktionen och strukturen av akvatiska ekosystem (Solomon et al., 2015). Avrinning är starkt kopplad till transport av organiskt material (Svenskt Vatten, 2007) och rester av löst organiskt material försvårar behandlingen av dricksvatten och ökar risken för andra skadliga organiska föreningar i vattnet (Kritzberg et al., 2020). Det är inte helt fastställt hur klimatförändringar och markanvändningsförändringar påverkar brunifieringen (Kritzberg et al., 2020). Vattenfärgen i västra delen av Mälaren har blivit mörkare under de senaste decennierna, särskilt under våren när mängden humus som transporteras i vattendrag är stora (Sonesten et al., 2013).

4.4.2 Risker under 2050–2070

Det finns oro om att pågående hydroklimatiska förändringar kan leda till aggregation samt öka nuvarande föroreningsrisker och påverka vattnets transportvägar till dricksvattenbrunnar och vattendrag (Schiedek et al., 2007; Colombani et al., 2016; Jarsjö et al., 2017b). Effekten av stigande temperaturer globalt (Field, 2014) kommer att påverka de geokemiska och fysiska egenskaperna av den kontaminerade jorden och interaktioner med grundvatten (e.g. Augustsson et al., 2011). Grundvattenbildning kommer att påverkas av förändringar i nederbördsintensitet och frekvens (Jyrkama och Sykes, 2007), som påverkar utlakning av föroreningar och vidare transport (Barth et al., 2009). Arktis och norra Europa förväntas se en ökning av den genomsnittliga årliga nederbörden (Olsson och Foster, 2014) och stigande temperaturer i regioner med hög latitud. Grundvattennivåerna är känsliga för förändringar i klimatförhållanden, både säsongsmässigt och årligen (Rodhe et al., 2009; Sundén et al., 2010; Vikberg et al., 2015).

Varmare vintrar på höga breddgrader kommer att leda till längre perioder med ofryst mark, att snösmältningen förekommer tidigare på året, och nederbörd i form av regn snarare än snö (Vikberg et al., 2015). Dessa förändringar kommer att öka mängden potentiell grundvattenbildning och sedermera grundvattennivåerna (Sutinen et al., 2008; Okkonen och Kløve, 2011). Vikberg et al. (2015) förutspår att grundvattennivån över vintern kommer att öka i Sverige. Men varmare temperaturer med högre avdunstning i kombination med mindre grundvattenbildning och större belastning på grundvattenresurserna kommer grundvattennivån under sommaren att minska (Okkonen och Kløve, 2011), med större märkbara säsongsvariationer och ökad fluktuation i grundvattennivån.

Jarsjö et al. (2020) drar slutsatsen att för regioner där den genomsnittliga grundvattennivån eller dess fluktuationer förväntas öka, finns det en risk att tungmetallföroreningar i matjorden mobiliseras och sprids till grundvattensystem. Klimatförändringarna ökar indirekt transporten av arsenik när grundvattennivån fluktuerar. Bly är relativt stabilt i jord men är känsligt för ökade grundvattennivåer och fluktuationer på grund av förbättrad transport av blypartiklar i den mycket

ledande matjorden. Därför är element som ökar lösligheten i markens övre lager mer mottagliga för klimatdriven grundvattenförändring.

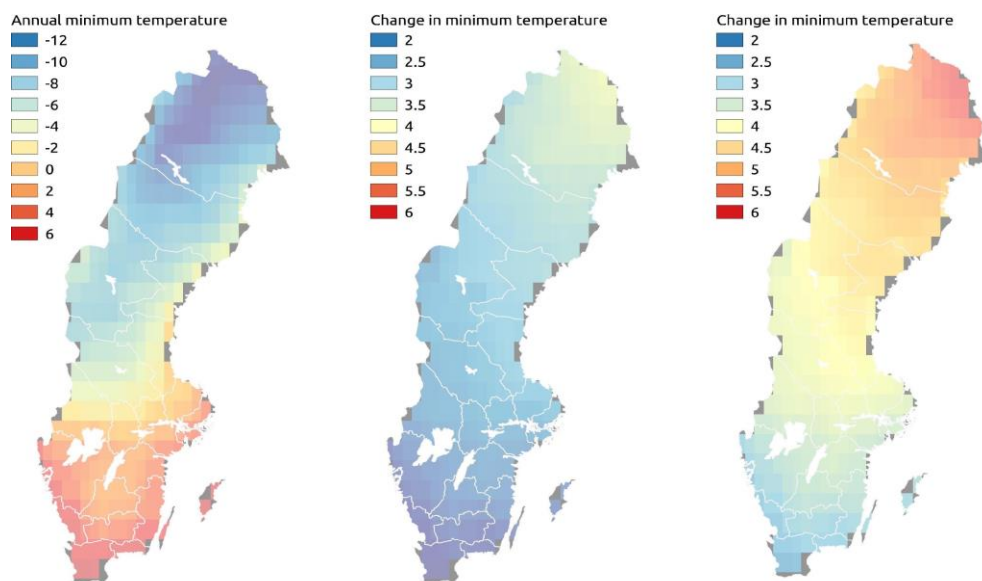
Ogräs och skadedjur kan förväntas flyttas norrut på grund av snabbare reproduktion och ökad överlevnadsgrad (Patterson et al., 1999), vilket kommer att påverka grödors hälsa i Sverige (Roos et al., 2011). Med ökade skadedjur på grund av klimatförändringar kommer större mängd bekämpningsmedel att krävas för att upprätthålla grödans hälsa, vilket leder till en ökad risk för grundvattenförorening till följd av bekämpningsmedelsläckage (Bloomfield och Marchant, 2013; Henriksen et al., 2013). Användningen av bekämpningsmedel kan påverkas av klimataktorer som ökad temperatur och nederbörd (Nolan et al., 2008). De direkta effekterna av klimatförändringar leder inte nödvändigtvis till negativa konsekvenser då ökad temperatur ökar nedbrytningen av föroreningar. Ökad nederbörd leder emellertid till ökad urlakning (Bloomfield et al., 2006).

Annan inverkan på spridningen av bekämpningsmedel involverar indirekta effekter av klimatförändringar, såsom förändrade odlingsmönster (Olesen et al., 2011), användning av bekämpningsmedel (Koleva et al., 2009), samt jordtyp och förhållanden som tining av frusen jord (Stenrød et al., 2008). En studie av Steffens et al. (2015) illustrerade vikten av indirekta effekter av klimatförändringar på urlakning av herbicider, eftersom förändringar i odlingsmönster och användning av herbicider kommer att fördubbla antalet områden med risk för kontaminering grundvatten. Områden med medium till hög lerhalt i jorden har högre risk i framtiden om användningen av herbicider ökar (Steffens et al., 2015).

För att bedöma riskerna med potentiella klimatindikatorer för kontaminering använde vi projektioner av snösmältning, årliga minimitemperatur, samt förändringar i avrinning och nederbörd. En ökning av årlig snösmältning representeras av det blå och illustreras som ett band som går från centrala till norra Sverige genom Jämtland, Västerbotten och Norrbotten. Den ökade snösmältningen kommer att öka grundvattningsbildningen och grundvattennivåerna, vilket medför en förhöjd risk för mobilisering av tungmetaller från matjorden till grundvattensystemen. En minskning av den årliga förändringen av snösmältning kan observeras i södra Sverige, vilket begränsar spridningen av föroreningar i grundvattnet. Nedgången beror troligen på att förekomsten av snö kommer att minska. Risken för kontaminering är störst när det sker stora fluktuationer i grundvattennivån, och minskade förändringar av snösmältning kommer att innebära mindre grundvattenbildning och slutligen långsamma förändringar i grundvattennivån. Minskad snösmältning i söder kan vara en följd av varmare årstemperaturer som medför mindre mängd snöfall under vinter.

Figur 7 visar referensperiodens (1980–2000) årliga lägsta temperatur och figur 8 förändringar i årlig lägsta temperatur för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Den nuvarande årlig lägsta medeltemperatur varierar mellan Sverige från 6 °C i söder till -12 °C i norr. För scenario RCP4.5 kommer minimitemperaturen att stiga med +2°C i södra Sverige och +4°C i norr. Ökningen av minimitemperaturen under RCP8.5 är betydligt högre vilket kan resultera i fler dagar med nederbörd som faller som regn i stället för snö (Xu, 2000). Varmare temperaturer leder till att en

större mängd vatten går till grundvattenbildning eftersom det inte lagras i snö, vilket orsakar grundvattennivåer och fluktuationer som är högre än genomsnittet. Dessa förändringar kan aktivera matjorden och mobilisera föroreningar som i normala förhållanden är stabila. I Sveriges norra delar är risken högre för spridning av föroreningar i grundvatten genom fluktuationer av grundvattennivån. Även om dessa områden inte består av stora arealer odlingsmark kan ytvattentäkter och dricksvattensresurser fortfarande förorenas, vilket kan ha en samhällelig och ekologisk inverkan på framtida etablering av gruvsdrift eller industriell verksamhet. Dricksvattenbrunnar kan bli förorenade och vattenkvaliteten försämras. Det är dock viktigt att uppmärksamma att jordtyp, geologi och annan industriell verksamhet kan ha allvarlig påverkan på spridningen av föroreningar i grundvatten och måste därför beaktas i en mer detaljerad, platsspecifik studie. Snösmältning och temperatur kan ge en bra indikation på vilka områden som har en förhöjd risk för spridning av föroreningar i grundvattnet till följd av fluktuationer i grundvattennivåerna och mobilisering av tungmetaller i matjorden. För att få en fullständig bild över föroreningspotentialen från en källa och föroreningars möjlighet att nå grundvattensystemet krävs mer detaljerade studier. Det krävs djupare förståelse om nederbörd, branta sluttningar, infiltration, jordtyper, berggrund, bevattning, samt källor och mängd av använt bekämpningsmedel för specifika platser för att kunna återge en fullständig analys om riskerna.

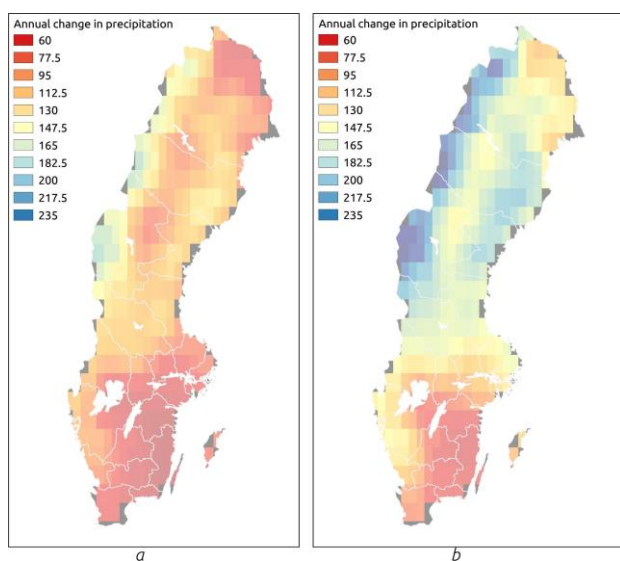


Figur 7: Temperatur under referensperioden

Figur 8, a) temperaturförändring (°C) mellan 1980–2000 och 2050–2070 under RCP4.5 och (b) RCP8.5

Figur 9 visar förändringar av den årliga nederbörden för RCP4.5 och RCP8.5 där en ökning förväntas ske i båda scenarierna. Även om en mindre ökning kan observeras i scenario RCP4.5 i jämförelse med RCP8.5 uppvisar båda scenarierna en positiv förändring, vilket representerar en allmän spridd ökning av nederbörd i Sverige. Den minsta förändringen i nederbörd är beläget i sydöstra Sverige i båda scenarier. För scenario RCP4.5 har en stor del av södra Sverige mindre nederbördsförändringar än resten av landet. Detta mönster liknar RCP8.5, även om området under detta scenario är mindre förblir nederbördsförändringen

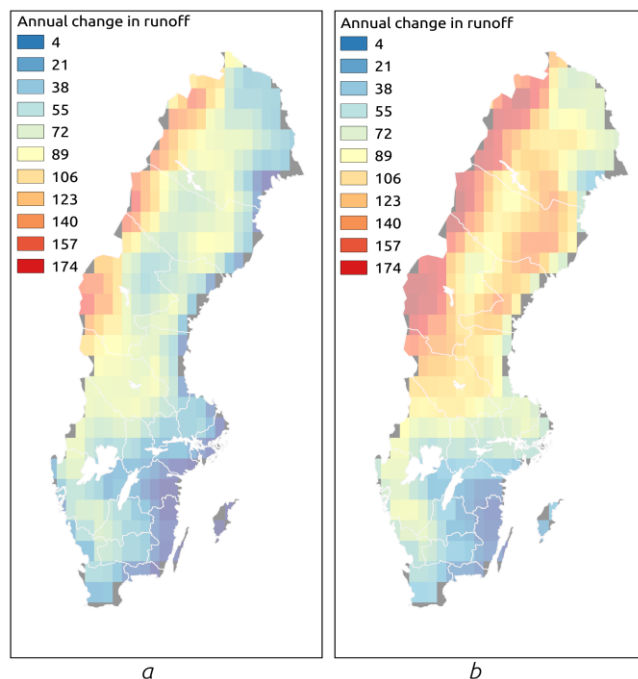
oförändrat. I områden där förändringarna i nederbörd är betydligt större är risken för spridning av föroreningar i grundvatten stor eftersom en mer nederbörd kan resultera i ökad grundvattenbildning och således större fluktuationer av grundvattennivåerna. Om grundvattnet stiger och når matjorden kan metaller mobiliseras och förorena grundvattensystem, och då även dricksvattentillförseln. För RCP4.5 är de områden som har störst förändring i nederbörd, och följaktligen de med störst risk, placerade längs med gränsen mot Norge samt vid östkusten norr om Upplands län. Dessa riskområden är densamma för RCP8.5. Däremot ökar risken under detta scenario då förändringen i nederbörd blir större. Den ökade förändringen under RCP8.5 innebär också att områden på Sveriges västkust har en större risk än under RCP4.5. Länen Västernorrland, Västerbotten på östkusten, samt Norrbotten längst Sveriges västra gräns, är inom riskzonen.



Figur 9: (a) Årlig förändring i nederbörd (mm) mellan 1980–2000 och 2050–2070 för RCP4.5 och (b) RCP8.5

I figur 10 som visar den årliga förändringen i avrinning över hela Sverige för RCP4.5 och RCP8.5 kan man observera att den största förändringen i avrinningen för båda projektionerna är området längs Sveriges västra gräns. Förändringen i avrinning i södra Sverige är inte lika omfattande. De geografiska skillnaderna är även i detta fall likartade i båda framtidsscenarierna. Däremot är skillnaden mellan de två framtidsscenarierna i norra Sverige betydligt större, där förändringen i avrinning under RCP8.5 är som störst. Om det förekommer en föroreningskälla, såsom en hög koncentration av tungmetaller i jorden, inom ett område där både nederbörd och avrinning förväntas öka markant kan detta bedömas som ett högriskområde. Den förhöjda risken är relaterad till en större mängd nederbörd som infiltreras och bidrar till grundvattenbildning, vilket medför stora variationer i grundvattennivåerna och ökar risken för mobilisering av tungmetaller från matjorden. Förändrade grundvattennivåer påverkar även den lokala hydrauliska gradienten och således förbättra transporten av föroreningar. Områden med både hög avrinning och stora förändringar i nederbörd ligger längst den norska gränsen samt 70 km inåt landets nordostliga kust. De hydrologiska förhållandena vid dessa platser utgör en förhöjd risk för spridning av föroreningar i grundvattnet, men

eventuella föroreningskällor inom områdena är däremot okända. Eftersom förhållandena blir gynnsamma för jordbruket längre norrut i Sverige kan ökad användning av bekämpningsmedel utgöra en potentiell föroreningskälla. Ytterligare studier inom dessa områden behövs för att fastställa omfattningen av spridningen av föroreningar samt hur detta påverkar flora och fauna. Om grundvattnet däremot blir förorenat, men att människor eller ekosystem inte använder sig av det som vattenresurs, utgör detta inte längre någon risk.



Figur 10: (a) Förändring i avrinning (mm) mellan 1980–2000 och 2050–2070 för RCP4.5 och (b) RCP8.5

4.4.3 Kunskapsluckor och rekommendationer

På grund av den platsspecifika karaktären hos risker relaterade till grundvattenföroreningar är det inte möjligt att ha landsomfattande anpassningsåtgärder för sådana risker. En samling riktlinjer kan dock tas fram, och grundvattenövervakning kan göra det möjligt att förstå effekterna av klimatförändringar på förorening av grundvatten. Ett gemensamt vattenprojekt av två kommuner pågår i Skåne, i Bromölla kommun, och Blekinge, i Olofströms kommun, för att säkra tillgång till reservvatten från Olofström, där Olofström i sin tur får tillgång till bättre och säkrare vattenförsörjning från Bromölla. Båda kommunerna har problem med dricksvattnets kvalitet. Kommunerna upprättade därför ett gemensamt avtal för vattenförsörjning år 2012, vilket möjliggjorde anläggningen av en vattenledning mellan kommunerna som förser även Olofström med dricksvatten från grundvattenmagasin i Bromölla. Genom att skapa en gemensam vattenförsörjningsstrategi har båda kommunerna sett fördelar. För Bromölla kommun har det varit fördelaktigt ur ekonomisk synpunkt samtidigt som de kan erhålla reservvatten i händelse av en vattenbrist. Olofström kan nu i stället erhålla stora mängder rent och säkert dricksvatten från Bromölla.

Kostnaden för att bygga vattenledningar, vattenverk och grundvattenbrunnar delas mellan de två kommunerna, varvid uppdelningen bestäms av den faktiska vattenanvändningen.

Ett annat exempel för klimatanpassningar och begränsningar är längst Höje å (Klimatanpassningsportalen, 2020). Samarbetet med Höjeåprojektet startade 1991 och avsåg att skydda allt vatten i avrinningsområdet. En helhetssyn och fördelning av kostnader möjliggjorde det inledande arbetet med mätningar över kommungränserna, och investeringar i större åtgärdsprojekt. Detta tillvägagångsätt kan komma att bli särskilt relevant då klimatförändringar skapar ytterligare utmaningar.

Det råder brist på kunskap om hur en förändrad hydraulisk gradient kommer att påverka vattenflöden i större skala. Den hydrauliska gradienten definieras som en potentialgradient mellan två eller flera mätningar av vattenpotentialpunkter över flödesbanans längd, och fördelningen av vattenpotentialen genom akviferen bestämmer vilken riktning grundvattnet strömmar. Det är inte klarlagt om det finns en potentiell risk för kontaminering när stora vattenförekomster tappar volym. På grund av att problem med kontaminering av grundvatten är platsspecifikt bör större grundvattensreservoarer studeras för att bedöma risken i det specifika fallet.

Trots att de sydvästra delarna av Skåne domineras av jordbruk har användningen av bekämpningsmedel samt näringsläckage till intilliggande vattentäkter från intensivt odlad mark alltid varit låg. Med ökade temperaturer kan dock läckage av näringsämnen öka då mildare vintrar resulterar i att marken förblir ofrusen och att nederbörd faller som regn. Odlad mark släpper igenom regnvatten snabbare i jämförelse med annan mark vilket leder till ökat näringsläckage och översvämningsrisk. För vidare utredning av näringsläckage i jordbruket bör valet av gröda, jordtyp, gödsling och jordbearbetning undersökas utifrån förväntade klimatförändringar, inklusive klimatvariabilitet. En studie av Lewan et al. (2009) föreslår att genom att begränsa perioden då bekämpningsmedel kan appliceras för att undvika förhållanden med blöt jord under hösten kan läckaget av bekämpningsmedel potentiellt minska med två till tre gånger. Detta skulle vara mer effektivt och bättre för jorden än att begränsningar enbart är baserade på specifika datum. Risk för spridning av bekämpningsmedel i ytvatten under våren kan även det minskas lika mycket genom att undvika applicering av bekämpningsmedel om väderprognosen för de närmsta 5 dagarna förutsäger stora nederbörds mängder (>10 mm). Eftersom vattentäkter ofta delas av flera kommuner krävs det en helhetssyn i åtgärdsarbetet för att minska riskerna i samtliga berörda kommuner.

4.5 Havsnivåhöjning och saltvatteninträngning

- Sveriges sydöstra kust riskerar att drabbas av saltvatteninträngning på grund av havsnivåhöjning och förändrad grundvattennivå
- Lågländ i södra Sverige och eventuellt Gotland och Öland riskerar att översvämmas, vilket innebär förlust av jordbruksmark och ekosystem.

4.5.1 Nuvarande risker

Det är idag ett faktum att havsnivåerna stiger på grund av smältande istäcken på Grönland och västra Antarktis (Hanna et al., 2005; Meier et al., 2007; Stroeve et al., 2007). Den mellanstatliga panelen för klimatförändringar (IPCC) är en organisation grundad av Förenta nationerna med syfte att förse världen med vetenskaplig information som är relevant för förståelsen av den vetenskapliga grunden för riskerna med antropogen klimatpåverkan, dess effekter på ekologi, politik, ekonomi, samt tillhandahålla möjliga åtgärder. Enligt IPCC ökar stigningstakten av havsnivån, och en global genomsnittlig havsnivåhöjning på 0.63 meter kommer sannolikt att inträffa vid år 2100 och därefter fortsätta att stiga (IPCC, 2014). Under scenario RCP8.5 kan havsnivåhöjningen i Sverige variera mellan 52 och 98 cm. På en global skala är det dock förväntat att minskningen av Grönlands istäcke med stor sannolikhet kommer resultera i en genomsnittlig havsnivåhöjning på sju meter (IPCC, 2014). Det råder dock osäkerhet kring den exakta mängden och stigningstakten (Nicholls et al., 2011). Förutsatt en global havsnivåhöjning på 88 cm vid år 2100 är nettoeffekten av havsnivåhöjningen i södra Sverige upp till Östergötland 80 cm, 50 cm i mitten av Sverige upp till Uppsala, och 20 cm i norra Sverige (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007). Landhöjningen i Sverige innebär att havsnivåhöjningen kommer vara lägre än det globala snittet i Sveriges norra och centrala delar. Eftersom landhöjningen i södra Sverige är marginell kommer havsnivån där att stiga som mest. Den uppskattade landhöjningen är baserad på Lantmäteriets beräkningar (Ågren och Svensson, 2007).

4.5.2 Risker under 2050–2070

En effekt av stigande havsnivåer i kustregioner skulle vara inträngning av havsvatten i grundvattensmagasin som används för dricksvatten. Studier om Östersjön har generellt fokuserat på klimatförändringseffekter på ytvattentäkter snarare än grundvattenresurser (Andréasson et al., 2004; Graham, 2004). En av de första studierna som undersökte effekterna av klimatförändringar på saltvatteninträngning i grundvattensmagasin var Sherif och Singh (1999). Denna studie var inte genomförd i Sverige, men deras slutsats var att en höjning av havsnivån med 50 cm skulle resultera i ytterligare saltvatteninträngning nio kilometer inåt i Nildelta-akviferen. En annan slutsats från studien var att havsnivåhöjningen kommer att höja havets vattenpotential intill kustområdena och ytterligare saltvatteninträngning i grundvattenmagasin kan därför förväntas.

Förändringar av gränsskiktet mellan det söta grundvattnet och det salta havsvattnet i kustnära akviferer kan påverka grundvattenmagasin relativt långt inåt landet med bara en liten ökning av havsnivån. Observationer från Rasmussen et al. (2013) visar att volymen och tjockleken på kustnära grundvattenmagasin i Östersjöområdet kan minska avsevärt vid förändrade klimatförhållanden. På grund av den kristallina berggrunden är havsvatteninträngning i akviferer vanligtvis begränsat till en ungefär 100 meter bred zon längs kusten. På platser som i Södra Sverige samt Gotland och Öland där sedimentära bergarter förekommer kan havsvatten tränga in i grundvattenmagasin belägna mycket längre in från kusten. Sprickiga kalkstensakviferer med karststrukturer kan vara skälet till att 61% av alla grundvattenbrunnar på Gotland riskerar att drabbas av saltinträngning (Olofsson, 1996). I områden där sandsediment med hög permeabilitet är hydrauliskt sammanbundna med havet har saltvatten trängt in i akviferer när sötvatten har utvunnits för kommunal försörjning. Det finns också en risk att havsvatten tränger in i grundvattenbrunnar genom översvämning till följd av havsnivåhöjningen, vilket gör vattenresursen otjänlig.

Dricksvattenförsörjningen och vattenkvaliteten påverkas av havsnivåhöjningen och jordbruks- och industrisektorn. Havsnivåhöjning kan leda till översvämning i kustnära områden. Marken som översvämmats har också potential att släppa ut föroreningar ut i vattendrag. Områden med översvämningsrisk inom Sverige definierades i en rapport från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap år 2018 (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2018), där det uppgavs att 25 områden var i fara, varav 16 var lokaliserade i kustområden. Risk för översvämning längst kustområdena har ökat till följd av förhöjd havsnivå. Majoriteten av riskområdena förekommer i södra Sverige och anpassningsåtgärder bör därför prioriteras i dessa områden.

Stigande havsnivåer orsakar även ökad stranderosion längs Sveriges södra kust som består av lätteroderad jord och sand. Erosion förekommer redan i större omfattning längs Skånes kust, där kustlinjen vid vissa platser dragit sig tillbaka upp till 150 meter de senaste 30 åren (Rankka och Rydell, 2005), vilket utgör en stor risk för fastigheter i dessa områden. Kustnära fastigheter är mycket eftertraktade och en allt större andel av dagens fastigheter ligger inom kustzonen (5 km från kusten). Fler än 30% av de svenska fastigheterna ligger inom kustzonen (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007) och andelen av byggnader inom 100 meter från strandlinjen har fördubblats mellan 1970-talet och 1990-talet (Boverket, 2009). Över 150 000 byggnader som motsvarar ett värde på 220 miljarder svenska kronor ligger i erosionskänsliga områden vid en havsnivåhöjning på 88 cm (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007), och kostnaderna för erosionsskydd längs kuststräckan på 220 km uppskattas till 2.7–5.4 miljarder svenska kronor (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007). Strandskyddet i Sverige är framför allt fokuserat på fysisk planering. Strandskyddet innebär att de första 100–300 meterna av strandlinjen måste hållas fria från exploatering enligt naturskyddslagen från 1974. Det är kommunens ansvar att följa plan- och bygglagen. Dessutom krävs det att nya utvecklingsprojekt har en säkerhetsmarginal med syfte att skydda mot högre havsnivåer och erosion. Områden intill kusten som inte utnyttjas av privata eller offentliga intressen blir förvaltade områden (Dronkers och Stojanovic, 2016).

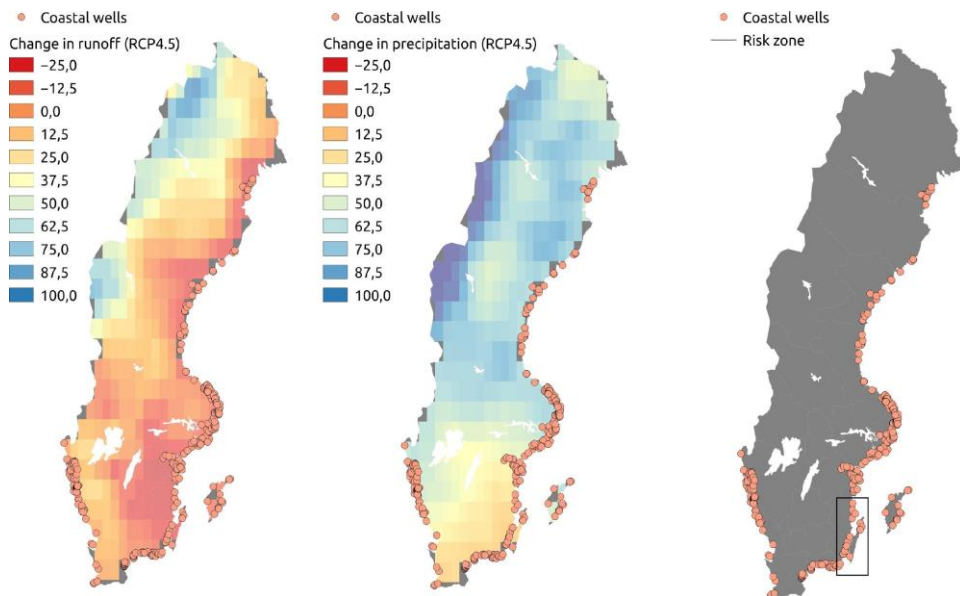
Havsnivådata för framtidsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5 som hämtats från SMHI (2019) användes för att bedöma det potentiella hotet om saltvatteninträngning i kustbelägna akviferer och effekten på dricksvattenbrunnar från havsnivåhöjningen. Information om dricksvattenbrunnar hämtades från SGU:s (2020) databas och avgränsades till brunnar som endast används för dricksvatten. Vid respektive scenario användes både den genomsnittliga och den högre havsnivån (SMHI, 2019) för beräkningen av antal brunnar som är utsatta för risk. Risken beräknades för dricksvattenbrunnar inom 300 till 500 meter från kusten för respektive havsnivå, liknande Eriksson et al. (2018). Vid större avstånd till Östersjön minskar risken för saltvatteninträngning då gränsskiktet mellan salt- och sötvatten blir större. Två buffertzoner användes, där den första zonen representerar området från kusten och 300 meter inåt, och den andra representerar ett område mellan 300 och 500 meter från kustlinjen. Tabell 1 presenterar antalet brunnar inom varje buffertzona för de olika framtidsscenarierna.

Intressant nog beräknas 3% av dricksvattenbrunnar inom 300 meter från kusten att riskera saltvatteninträngning i scenario RCP4.5, medan antalet i scenario RCP8.5 endast är 2%. Detta gick emot den inledande hypotesen om att betydligt fler dricksvattenbrunnar skulle hamna inom riskzonen i ett scenario med oförändrade förhållanden. En marginell ökning av antalet brunnar i buffertzonen 300–500 meter kan observeras för både RCP4.5 och RCP8.5, där ökningen är 1.5% respektive 2%. Däremot är inte avstånd till kusten en tillräckligt bra riskindikator för saltinträngning, och därför har data om grundvattennivåer samt förändringar i avrinning och nederbörd under sommarperioden också tillämpats i denna rapport.

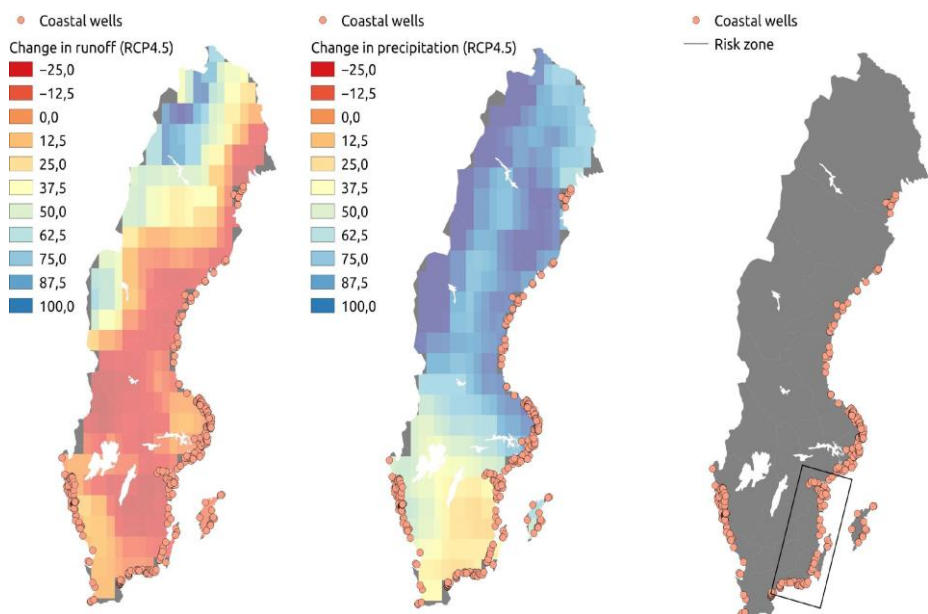
Tillämpade klimatindikatorer för grundvattennivåer inkluderar CORDEX-data avseende förändring avrinning och nederbörd under sommarperioden för respektive projektion. Lägre nederbördsmängdminskar grundvattenbildningen och innebär en ökad risk för saltvatteninträngning (Rushton, 2004). Lägre grundvattennivåer sänker den hydrauliska gradienten och grundvattenströmmarna mot Östersjön, vilket ytterligare ökar risken för saltvatteninträngning (Klassen och Allen, 2017). Sommarmånaderna är en period med redan naturligt låga grundvattennivåer.

Tabell 1: *Dricksvattenbrunnar inom 300 och 500 meter från kustlinjen för nuvarande och varierande havsnivåprojektioner RCP4.5 och RCP8.5 för 2050*

	Antal dricksvattenbrunnar belägna inom 300 m från kusten	Antal dricksvattenbrunnar belägna inom buffertzonen mellan 300 och 500 meter från kusten
Nuvarande	16,910	4952
Genomsnittliga RCP4.5	17,480	4709
Hög RCP4.5	17,555	4692
Genomsnittliga RCP8.5	17,318	4924
Hög RCP8.5	17,389	4934



Figur 11: a) Förändring av avrinning (mm) och b) i nederbörd (mm) för sommarperioden mellan 1980–2000 och 2050–2070 i scenario RCP4.5. c) Riskzon för RCP4.5 havsnivåhöjning visas i den svarta rutan



Figur 12: Samma som figur 11, men för scenariot RCP8.5

Figurerna 11a och b illustrerar den förväntade förändringen i avrinning och nederbörd i scenario RCP4.5. Förändring i avrinning under sommarperioden visar att majoriteten av områdena längst Sveriges östkusten kan förvänta sig en minskad avrinning. I kustområden där både avrinning och nederbörd förväntas minska kan förändringar i grundvattennivån också antas minska, vilket ökar risken för saltvatteninträngning när den hydrauliska gradienten sänks. Dricksvattenbrunnar i södra Sverige är värst drabbade, vilket hotar den allmänna dricksvattenförsörjningen i området. De beräknade förändringarna i nederbörd och avrinning för RCP8.5 (figur 12) liknar de i RCP4.5 och visar minskad mängd

avrinning på östkusten, vilket sannolikt ökar risken för saltinträngning. Denna studie har identifierat en buffertzonen intill kusten där det förekommer risk för saltvatteninträngning på grund av havsnivåhöjningen (Fig. 11c och 12c). Området kan bättre kartläggas genom andra parametrar som jordtyp, höjd, avstånd till sjöar, och årlig medelnederbörd (Eriksson et al., 2018).

En studie om risken för havsnivåhöjning av Eriksson et al. (2018) tillämpade dessa parametrar och använde ett viktat genomsnitt för att skapa detaljerade riskkartor över Öland. Omfattande studier av Eriksson et al. (2018) och Ebert et al. (2016) analyserade effekten av havsnivåhöjning på Öland respektive Gotland. Dessa studier undersökte effekterna av en hypotetisk havsnivåhöjning på två meter, vilket är mer än vad som beräknas för den framtida tidsperiod som refereras till i denna rapport från 2050–2070. Eriksson et al. (2018) drog slutsatsen att med en framtida havsnivåhöjning på två meter skulle 5% av Ölands landareal översvämmas tillsammans med 3% av dricksvattenbrunnar, inklusive brunnar som används för små gårdar, sommarhus och för geotermisk energi. Som sådan kommer havsnivåhöjningen att vara kostsam i områden omkring tätbefolkade områden där förlust av egendom och skada kan vara stor. På lång sikt kan Öland drabbas av minskad turism eftersom turistområdena förloras vid havsnivåhöjning. Norra Öland har störst risk för saltvatteninträngning då området är beläget på låg höjd över havet och relativt liten årlig nederbörd. Högriskområden för saltvatteninträngning består av 17.5% av dricksvattenbrunnarna; därför kan riskkartan skapad av Eriksson et al. (2018) användas till att identifiera dricksvattenbrunnar med lägre risk för saltvatteninträngning.

Vid en två meters havsnivåhöjning kommer 3% av Gotland att översvämmas, vilket påverkar turist- och naturområden (Ebert et al. 2016). De drabbade områdena inrymmer 53% av alla hotade växter och djurarter på ön, 35% campingområdena, 60% av raukfälten, och 60% av alla strandängar. Havsnivåhöjningen skulle även riskera översvämma 231 dricksvattenbrunnar samtidigt som desto fler brunnar hamnar inom riskzonen för saltvatteninträngning. Havsnivåhöjningen riskerar att leda till oåterkalleliga förändringar av miljövärden. Exempelvis riskerar grundvatten i kustnära områden att gå förlorade till följd av saltvatteninträngning, medan andra miljövärden kommer att förflyttas inåt land, vilket kan bli kostsamt. Det krävs ett holistiskt synsätt vid studier av framtida konsekvenser av havsnivåhöjningen, och för att identifiera risker och lämpliga åtgärder i särskilda regioner (Ebert et al., 2016).

Havsnivåhöjning och saltvatteninträngning utgör risker som måste undersökas och hanteras. Ystads kommun upplever redan idag problem med kusterosion. Erosionshastigheten förväntas öka när havet stiger och kustområdena i staden är av stor betydelse för Ystad kommuns ekonomi och naturliga miljö. Det första storskaliga strandfodringsprojektet i Sverige ägde rum år 2011, där 100 000 kubikmeter sediment utvanns från havsbotten och fördelades vid de två hårdast drabbade stränderna, Löderups Strandbad och Ystad Sandskog. Strandfodring bevarar både strandens natur- och rekreationsvärde samtidigt som det fungerar som ett naturligt skydd mot kusterosion. Ystad har avsatt 10 miljoner svenska kronor var tredje år för att genomföra strandfodring. Det krävs tillstånd att få utvinna havsbottensediment enligt miljöbalken och kontinentalsockellagen och

utredningarna som ligger till grund för tillstånd för strandfodringen har sammanlagt kostat 3 miljoner svenska kronor (Klimatanpassningsportalen, 2020). Denna anpassningsåtgärd kan inspirera andra kommuner med liknande problem.

4.5.3 Kunskapsluckor och rekommendationer

Förbättrad kunskap om enskilda oåterkalleliga brytpunkter, så kallade ”tipping points”, för grundvattenmagasin i kustnära områden skulle vara till stor nytta för att bedöma den efterföljande risken för saltvatteninträngning. Mazi et al. (2013) redogör för en metod för att beräkna dessa brytpunkter för havsvatteninträngning. Studier bör fokusera på kustnära bebyggelse vid Sveriges sydöstra kust där grundvattenmagasin används för dricksvatten i större omfattning. Dessutom förekommer många av dessa grundvattenmagasin i sedimentär berggrund, vilket är mer känsligt för saltvatteninträngning. Undersökningar liknande Eriksson et al. (2018) kan sedan utföras med syfte att kvantifiera risken vid varje specifik plats. Det finns redan god kunskap om vilka områden som kommer att översvämmas och infrastruktur som riskeras att drabbas (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2018). Däremot behövs mer information kring indirekta konsekvenser, såsom effekter på lokala ekosystem till följd av förlust av habitat.

4.6 Hälsorisker till följd av höga temperaturer

- Ökad risk för värmebölja i urban miljö under sommaren
- Ökad spridning av sjukdomar från vektorer
- Högre vattentemperaturer ökar exponeringsrisken för patogener

4.6.1 Nuvarande risker

4.6.1.1 Värmerelaterad dödlighet

Värmerelaterad dödlighet ökar vid höga temperaturer (Rocklöv och Forsberg, 2008). Riskerna är individuella eftersom värmetåligheten beror på personens hälsa och många andra faktorer. Mer utsatta grupper i samhället är äldre och personer med hjärt-kärlsjukdomar (Folkhälsomyndigheten, 2015). Däremot är både värmeböljornas varaktighet och intensitet sammankopplat med dödligheten i Sverige. Varaktigheten av en värmebölja är den mest kritiska faktorn för dödlighet hos vuxna under 65 år, medan de höga temperaturerna är den mest kritiska faktorn för personer över 65 år (Rocklöv et al., 2014). Det är också troligt att den geografiska platsen har betydelse för risken att drabbas. I till exempel Kalifornien har det dokumenterats att känsligheten för värme är högre i kustregionerna än i de torrare inlandsregionerna (McElroy et al., 2020). I Sverige kan känsligheten för höga temperaturer vara högre i norr på grund av att befolkningen inte utsätts för högre temperaturer i samma omfattning som södra Sverige (Oudin Åström et al., 2020). Socioekonomiska faktorer har också kopplats till sårbarhet för värmestress (Rohat et al., 2019).

SMHI utfärdar varningar om värmeböljor om den maximala temperaturen överstiger 30°C tre dagar i rad eller mer (SMHI, 2019). Under värmeböljan år 2018 registrerades flest antal dagar med temperaturer över 30°C under juli månad än vad som tidigare någonsin observerats. Överdödligheten under perioder juni-augusti var cirka 700 fler dödsfall. Däremot framgår det inte om dessa dödsfall orsakades av värmen (Folkhälsomyndigheten, 2018a).

4.6.1.2 Infektionssjukdomar

Spridningen och räckvidden för flera infektionssjukdomar beror på klimatförhållandena. Det är dock svårt att avgöra om ökning eller minskning i spridningen av olika sjukdomar är relaterade till klimatförändringar, särskilt eftersom det kan finnas andra faktorer som påverkar spridningen och fördelningen av sjukdomar (Carlson et al., 2011).

De inhemska arterna av fästingar i Sverige, en vektor av både fästingburen encefalit (TBE) och Lyme borrelios, har ökat i omfattning och spridning, och spridningen av dessa två sjukdomar ökar också (Carlson et al., 2011). Fästingar förekommer idag längre norrut jämfört med för trettio år sedan och täcker södra och centrala Sverige samt hela Norrlands kustområde (Jaenson et al., 2012b). Det kan finnas flera bakomliggande orsaker till den ökade geografiska fördelningen. Det kan delvis vara på grund av en ökning av tillgängliga värddjur och på ett

mildare klimat med en längre varm säsong (Jaenson et al., 2012a). Värddjur av olika parasiter kan också spridas ytterligare på grund av klimatförändringar och därigenom öka parasitspridningen (Deksne et al., 2020).

I salt eller bräckt vatten finns bakterierna i *Vibrio*-gruppen (orsakar sjukdomen *Vibriosis*) och dess tillväxt ökar i vattentemperaturer över 20°C (Folkhälsomyndigheten, 2017b). Under varma somrar har det förekommit utbrott av *Vibriosis*, där de flesta smittade personer utsatts för bakterierna vid bad i Östersjön (Folkhälsomyndigheten, 2017b). Under den varma sommaren år 2014 observerades fler fall av *Vibriosis* jämför med genomsnittliga år i både Sverige och Finland (Baker-Austin et al., 2016). Sjukdomen är inte smittsam mellan människor (Folkhälsomyndigheten, 2017b). Däremot kan vattenburna sjukdomar också påverka människor genom infekterat dricksvatten. Dricksvattenförsörjningen i Östersund drabbades år 2010 av ett utbrott av parasiten *Cryptosporidium* (Carlson et al., 2011). Under utbrottet smittades cirka 27 000 personer med gastrointestinala sjukdomar och komplikationer (Widerström et al., 2014). Orsaken till föroreningen är fortfarande inte känd (Folkhälsomyndigheten, 2016).

Tularaemia är en vektorburen sjukdom som överförs genom en mängd olika djur, inklusive myggor och harar (Ma et al., 2020). Bakterien kan också överleva i vatten, och förorenat vatten kan därför bidra till vissa utbrott (Lindhusen Lindhé et al., 2018). Under sommarmånaderna år 2019 rapporterades cirka fyra gånger fler fall av Tularaemia in jämfört med genomsnittet de senaste två decennierna (Dryselius et al., 2019). I Sverige förekommer de flesta fall under sommarmånaderna (Lindhusen Lindhé et al., 2018), och stigande temperaturer i framtiden som förlänger sommarperioden kan leda till att antalet fall ökar. Att utbrott av Tularaemia är lokala antyder att andra faktorer påverkar dess spridning i större utsträckning än storskaliga temperaturförändringar (Rydén et al., 2009). En ny modelleringsstudie visade att hydroklimatiska förändringar som nederbörd och avrinning är mer inflytelserika för spridningen av Tularaemia. Spridningen av sjukdomen Tularaemia beräknades öka i centrala och norra Sverige, närmare bestämt länen Norrbotten, Jämtland, norra Gävleborg, Dalarna och Värmland (Ma et al., 2020).

4.6.2 Risker under 2050 – 2070

4.6.2.1 Värmerelaterad dödlighet

Vid ökade temperaturen i Sverige förväntas dödligheten under perioden med värmebölja att öka, särskilt i norra Sverige där populationen inte är van vid högre temperaturer (Rocklöv och Forsberg, 2008). Klimatindex för värmeböljor enligt SMHI beräknas som det högsta antalet sammanhängande dagar med genomsnittliga dagliga temperaturer över 20°C (SMHI, 2020a).

Genom klimatmodeller fann SMHI (2020a) en dramatisk ökning av klimatindexet under scenario RCP 8.5 mot slutet av seklet i hela Sverige. Prognoserna för perioden 2021–2050 är likartade för scenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5, men mot slutet av seklet blir skillnaderna mellan dem betydligt mer markanta. Klimatindexet för värmebölja förväntas vara högst i sydöstra Sverige, särskilt runt Mälaren och östra Östersjöskusten, inklusive öarna Gotland och Ölands samt Skånes västkust

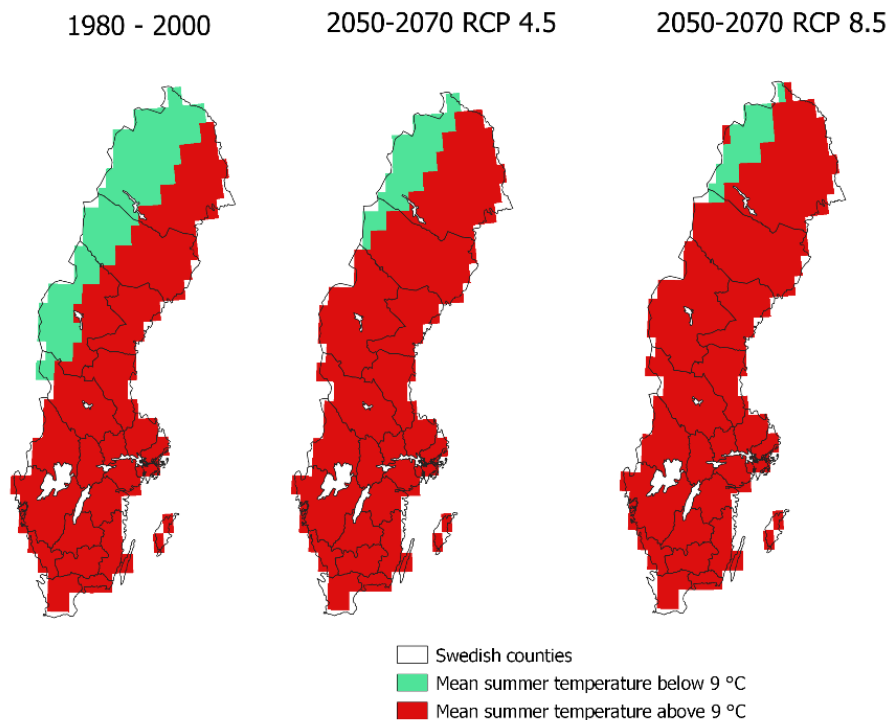
och runt Vänern (SMHI, 2020a). Områden med höga index för värmebölja kommer därför sannolikt att uppleva höga temperaturer i flera sammanhängande dagar i framtiden. En majoritet av alla län i Svealand och Götaland är väl medvetna om hälsoriskerna relaterat till hög temperatur, särskilt i städer (e.g. Länsstyrelsen Blekinge län, 2014; Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2017; Länsstyrelsen Kalmar län och Lars Ljungström, 2012; Länsstyrelsen Skåne, 2020; Länsstyrelsen Stockholm, 2014; Länsstyrelsen Västmanlands län, 2013).

4.6.2.2 Infektionssjukdomar

Spridningen av sjukdomar från vektorer, såsom fästingar eller myggor, förväntas öka. Det finns flertalet arter av potentiella vektorer som redan förekommer i Sverige som kan sprida nya sjukdomar. Det förändrade klimatet gör det också möjligt för nya vektorarter att spridas till Sverige från sydligare områden samtidigt som utbredningen av inhemska vektorer sker längre norrut i landet då vektorinsekter ofta gynnas av varmare temperaturer (Carlson et al., 2011; Garamszegi, 2011).

Många län nämner i sina klimatanpassningsplaner ökande risker för människors hälsa från både vektorburna sjukdomar och patogener i vattenresurser (e.g. Länsstyrelsen i Kronobergs Län, 2016; Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018; Länsstyrelsen Östergötland, 2014; Länsstyrelsen Västerbotten, 2014; Länsstyrelsen Västmanlands län, 2013). Folkhälsomyndigheten publicerade år 2011 en rapport (Carlson et al., 2011) som beskriver sambandet mellan klimat och folkhälsa utan att göra några förutsägelser. Vid år 2007 genomfördes en riskanalys av flera sjukdomar som kan kopplas till klimatförändringarna i klimat- och sårbarhetsrapporten (*Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*, 2007). De sjukdomar som klassificerades som höga eller mycket höga risker var Lyme borrelios, Visceral Leishmaniasis och Vibrios som sprids av fästingar, myggor respektive sjövattnen.

De vanligaste arterna av fästingar i Sverige (*Ixodes Ricinus*) trivs i fuktiga områden nära markytan (Jaenson et al., 2018). Antalet dagar med temperaturer över nio grader förmodas korrelera med ökad spridning av TBE-viruset på grund av lägre aktivitet hos fästingar vid kallare temperaturer (Jaenson et al., 2018). Medeltemperaturen under sommaren (juni - augusti) är över 9°C i större delen av Sverige, och området ökar i omfattning under båda framtidsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Även om temperaturer över 9°C under referensperioden (figur 13) sträcker sig längre norrut än den faktiska geografiska fördelningen av fästingar under samma tidsperiod, har den faktiska fördelningen expanderat sedan dess, särskilt i områden nära sjöar (Jaenson et al., 2012b). Stigande sommartemperaturer längre norrut som visualiseras i figur 20 reflekterar att lämpligheten för fästingar och smittorisken för TBE kan öka med klimatförändringarna. Expansionen av fästingar styrs av tillgången på vatten och fästingarnas förmåga att spridas i naturen.



Figur 13: Medeltemperatur under sommaren (juni - augusti) över eller under nio grader.

Det finns en ökande risk att vattenburna sjukdomar sprids när vattentemperaturen stiger (Carlson et al., 2011). Varmare vatten under en längre tid är gynnsamt för tillväxten av patogener och detta kan troligtvis förklara ökningen av patogener (Statens Veterinärmedicinska Anstalt et al., 2019). Höga vattentemperaturer kan dock minska infektionsriskerna för enteropatogener (e.g. *E. coli*) på grund av att dessa inaktiveras vid varmare temperaturer (Coffey et al., 2014). Spridningen av andra mindre känsliga patogener (e.g. Norovirus) kan öka på grund av ökad överlevnadsförmåga vid högre temperaturer (Sterk et al., 2013).

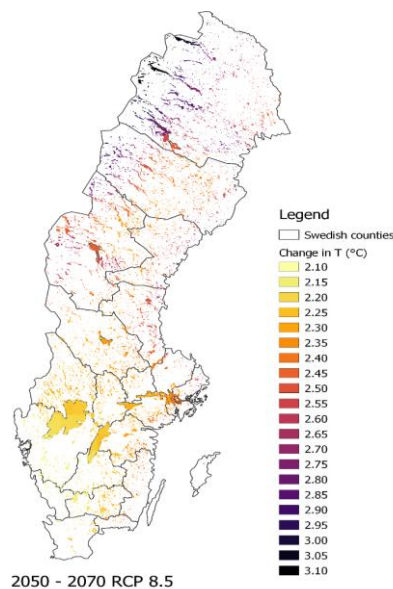
Det finns ett antal faktorer som påverkar temperaturförändringar i sjöar, men de mest betydande faktorerna är lufttemperatur och solinstrålning (Schmid och Köster, 2016). Effekten av uppvärmningen av sjöns vattentemperatur från lufttemperatur kan både mildras eller ökas baserat på dess morfologiska tillstånd, skiktning och omblandning. Varma temperaturer tidigt på året kan stärka skiktningen i en sjö, vilket medför att ytskiktet minskar i volym och snabbare värms upp under sommaren av högre lufttemperaturer (Piccolroaz et al., 2015). En större vattenvolym tar längre tid att värmas upp, och temperaturförändringar i större vattenmassor har således en mer framträdande tröghet än mindre sjöar. Tjockleken av ytskiktet (skiktningen i sjön) samt sjöns djup påverkar temperaturförändringens hastighet (Toffolon et al., 2014). Förändringar i lufttemperatur kan därför användas som klimatindikator för temperaturändringar i ytvatten (Piccolroaz et al., 2020). Klimatmodellerna förutsäger en ökning av sommartemperaturer i hela Sverige. Temperaturförändringen är mer omfattande i scenario RCP 8.5 än under RCP 4.5. Medan sommartemperaturerna är högre i södra Sverige är temperaturökningen större i norr (figur 14). Med avseende på

patogener i ytvatten antyder den beräknade ökningen i lufttemperatur i norra Sverige att överlevnadsgraden för flertalet patogener kommer att öka. Förändringarna i södra Sverige är däremot inte lika drastiska.

Den svenska vattenreningsinfrastrukturen är anpassad för att behandla bakterier i dricksvatten, men hotet mot vattenkvaliteten från parasiter och virus kommer sannolikt att öka i framtiden (Svenskt Vatten, 2007). Risken finns att nuvarande vattenreningsmetoder inte kan anpassas till dessa nya hot, vilket länen Blekinge (Länsstyrelsen Blekinge län, 2014), Jämtland (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018) och Västerbotten (Länsstyrelsen Västerbotten, 2014) belyser. Det finns dessutom en hög risk att organiska miljöföroreningar sprids till sjöar och vattendrag som används som dricksvattenförsörjning om obehandlat vatten släpps ut till följd av höga flöden (Svenskt Vatten, 2007).

4.6.3 Kunskapsluckor och rekommendationer

Det är viktigt att ta hänsyn till inomhustemperaturen vid bedömning av värmens hälsoeffekter, särskilt eftersom många i Sverige tillbringar större delen av sin tid inomhus (Folkhälsomyndigheten, 2018b). Faktorer som påverkar inomhustemperaturen under en värmebölja är bland annat luftkonditionering, byggnadstyp samt placering i staden (Folkhälsomyndigheten, 2018b). Folkhälsomyndigheten (2019) har utvecklat en metod för att kartlägga risken för höga temperaturer i stadsområden baserat på byggmaterial, vegetation, bebyggelsegeometri och -täthet, samt sårbara grupper i samhället. Träd och annan vegetation är väsentliga för att sänka temperaturen i städer (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2019). Lokala studier har till exempel genomförts i Stockholm (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2019; Lindberg et al., 2012), men för att fastställa relativa risker på nationell skala krävs det att fler städer också utför studier som kartlägger värmerelaterade hälsorisker.



Figur 14: Lufttemperaturförändringar under RCP 8.5 från klimatmodeller med upplösning 0.5 grader, maskeras av ytvattentäckter med upplösning 1000 meter.

Veterinärinstitutet nämner även att risken för antibiotikaresistens ökar med klimatförändringar (Statens Veterinärmedicinska Anstalt et al., 2019). De menar att avloppsöversvämning riskerar att öka i framtiden och då också spridningen av sjukdomar, som följaktligen ökar användandet av antibiotika. Resistensutveckling i mikrober kan ske i större omfattning till följd av fysiologiska förändringar orsakade av högre temperatur (Rodríguez-Verdugo et al., 2020). Mer forskning krävs för att bättre förstå sambandet mellan klimatförändring och antibiotikaresistens (Rodríguez-Verdugo et al., 2020). Hanteringen av antibiotikaresistens i Sverige fokuserar främst på antibiotikaanvändandet och kommunikation rörande detta, utan att särskilt nämna klimatförändringarna (Folkhälsomyndigheten, 2014).

4.7 Risker för terrestra ekosystem

- Klimatförändringar orsakar förflyttning av biom, ofta till högre breddgrader eller höjd. Det finns en risk för förlust av arter som har svårigheter med att anpassa sig till de nya förhållandena eller migrera till lämpliga platser.
- En tidigare start av vegetationsperioden kan öka frostskadorna på växter.
- Temperaturer runt noll grader kan orsaka ett isskikt ovanpå snön som hindrar betande däggdjur, som renar, att nå den underliggande födan.

4.7.1 Nuvarande risker

Olika arters tolerans mot temperaturförändringar, särskilt under de mest kritiska levnadsåren, är avgörande för hur en art kommer att påverkas av klimatförändringarna (Loarie et al., 2009). En studie från Skåne visade att tidigare observerade förändringar i fördelningen av växtarter främst kunde härledas till stigande temperaturer och förändringar av markanvändningen (Tyler et al., 2018). Fördelningen av olika pollinatörer i alpin miljö i norra Sverige förändras, där arter från sydligare områden migrerar uppåt till alpina områden vilket ökar antalet arter i högalpina områden (Franzén et al., 2012). Den horisontella förflyttningen som krävs för att hålla jämna steg med en specifik temperatur är mer framträdande i slättlandskap än i bergsområden på grund av den topografiska skillnaden (Peterson, 2003). Förskjutningen av livsmiljöer kan därför vara mer betydelsefull i slättlandskap än i bergsområden (Loarie et al., 2009). Arter anpassade till att leva på de allra högsta höjderna i den alpina regionen finns det dock inget annat område att migrera till när klimatet värms upp (Peterson, 2003), vilket är ett öde som många alpina ekosystem i världen står inför (e.g. Cresso et al. 2020)

Klimatförändringar påverkar olika arter annorlunda och kan orsaka att årliga förekommande faser i naturen, som tidigare var väl tidsbestämda, förändras i tid och som kan leda till att vissa arter som är beroende av detta samspel påverkas negativt. Detta kallas ofta fenologisk missmatchning. Exempel på detta är rådjurens födsel som idag föds senare under växtsäsongen (Rehnus et al., 2020) eller pälsen på bergharen som skiftar färg till vit tidigare än det bildas snötäcken, vilket gör dem mer synliga för rovdjur (Hofmeester et al., 2020).

4.7.2 Risker under 2050–2070

Varmare temperaturer har visat sig förlänga vegetationsperioden i nordliga ekosystem (Richardson et al., 2018; Schwartz et al., 2006). Längden på dagsljus (fotoperiod) hindrar inte en tidigare säsongstart (Richardson et al., 2018), även om det kan ha en mer begränsande effekt på arter på lägre latituder (Zohner et al., 2016). Att vegetationsperioden sker tidigare kan göra vegetationen känsligare för kalla temperaturer och frostsador (Richardson et al., 2018). Det finns också indikationer på att vissa växtarters tillväxt kommer att försenas under

vegetationsperiodens inledande fas om det saknas en längre kall period under vintern (Laube et al., 2014). Frostsador på granplantor beräknas öka i södra Sverige eftersom knopparna slår ut tidigare under säsongen under perioden 2036–2065 jämfört med 1961–1990. I norra Sverige förväntas denna risk inte öka (Langvall, 2011).

Snö smälter vid temperaturer över noll och fryser igen när temperaturen går under noll grader, vilket skapar en beläggning av is ovanpå snötäcket. Detta hindrar renar från att beta den underliggande renlaven. Denna situation skapar ett behov för stödfoder vilket ökar risken för sjukdomsspridning mellan djuren då de kommer närmare varandra (Sametinget, 2017).

Antalet potentiella livsmiljöer för däggdjur i arktiska och subarktiska miljöer förväntas öka till år 2080 för många arter (Hof et al., 2012). Däremot begränsas arktiska djurs förmåga att hitta nya livsmiljöer av både djurens naturliga anpassningsförmåga och mänsklig interaktion som exempelvis förändringar i jaktområden och markanvändning (Hof et al., 2012). Vid förflyttning av klimatzonerna längre norrut kan arter antingen genetiskt anpassa sig till de nya förhållandena eller migrera till mer lämpliga miljöer (Bernes, 2016). Fundamental nisch avser alla olika miljöförhållanden en viss art kan existera inom om ingen konkurrens från andra arter förekommer. Faktorer för den fundamental nischen anses vara konstanta. Den nisch en art faktiskt upptar inom ett ekosystem är mer begränsad än den fundamentala nischen och bestäms av konkurrens och interaktion mellan andra arter inom samma livsmiljö. Miljöförändringar kan orsaka att arter ingår i en ny nisch än tidigare, men däremot kommer en arts nisch inte att förflyttas utanför den fundamentala nischen (Wasof et al., 2013). Arters anpassningsförmåga kan därför nå till ett visst tröskelvärde. Uppvärmningen av klimatet kan ske för snabbt för arter att hinna anpassas eller migrera, främst på grund av fragmentering av livsmiljöer från mänsklig markanvändning (Bernes, 2016). Trädgränsen i de svenska fjällen kan förflyttats flera hundra meter högre vid slutet av seklet, och med en 3–4 graders uppvärmning skulle de flesta av kalfjällområdena försvinna (Bernes, 2016). Känsliga arter i alpina områden kommer sannolikt att försvinna när det inte finns områden att migrera till (Bernes, 2016).

4.7.2.1 Analys av hydroklimatiska förändringar för att förstå förändringar i förhållandena för svenska ekosystem

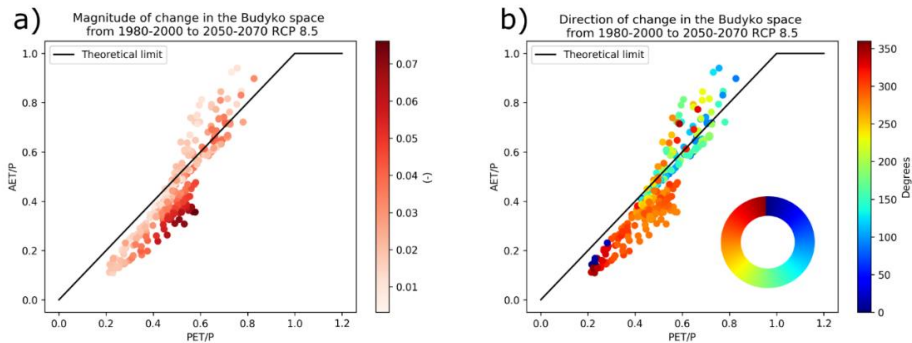
Både terrestra och akvatiska ekosystem är beroende av sötvatten för att trivas, och ytvatten är beroende av tillgången på vatten från atmosfären i form av nederbörd och energi i form av solinstrålning. Att förstå hur tillgången på vatten och energi kommer att förändras i framtiden kan ge en inblick i hur ekosystem kan reagera på dessa pågående hydroklimatiska förändringar. Budyko-ramverket är ett viktigt verktyg som kan användas för ett sådant syfte (Budyko 1974). Ramverket ger ett samband mellan torrhetsindex (PET/P) och förhållandet mellan avdunstning och nederbörd (E/P). Den första representerar områdets torrhetsgrad, medan den andra visar hur stor andel av all nederbörden återgår till atmosfären genom avdunstning. Dess omvända information ger sedan information om mängden vatten som vanligtvis rinner på ytan och är tillgänglig för ekosystem och akvatiska

resurser. Det matematiska utrymmet som genereras av PET/P på x-axeln och ET/P på y-axeln hänvisas vanligtvis till som Budyko-utrymmet (Budyko space). Att titta på förhållandena mellan dessa betydelsefulla parametrar för vatten- och energibalans kan det ge en allmän uppfattning om de primära vätnings- och uttorkningstrenderna (Greve et al., 2014), genom att koppla förändringar i energibehovet som drivs av klimatuppvärmning till effekter på vattenfördelning och vattentillgänglighet på land (Piemontese et al.). Detta tillvägagångssätt har använts för att förstå hydroklimatiska förändringar i Sverige från mitten av 1900-talet till början av 2000-talet (van der Velde et al. 2014). Vi använder oss här av ett liknande tillvägagångssätt för referensperioden 1980–2000 och den framtida perioden 2050–2070 genom att använda resultat från CORDEX gällande nederbörd (P), evapotranspiration (ET) och potentiell evapotranspiration (PET). Eftersom förhållandet mellan PET och P är ett torrhetsindex indikerar värden över 1 att systemet är vattenbegränsat, vilket innebär att temperaturen är tillräckligt hög för att avdunsta mer vatten än vad som finns tillgängligt. ET beräknas utifrån vattenbalans ekvationen (i.e., P-R), medan PET beräknas från modellerad och observerad årstemperatur genom Langbeins formel. Alla punkter från analysen i Sverige har ett torrhetsindex under 1, vilket indikerar att det är ett energibegränsat system där en större del av allt tillgängligt vatten kan avdunsta om temperaturen var högre. Förhållandet ET och P är avdunstningsindex, vilket indikerar hur mycket av den inkommande nederbörden avdunstras och definieras mellan 0 och 1 (figur 15a).

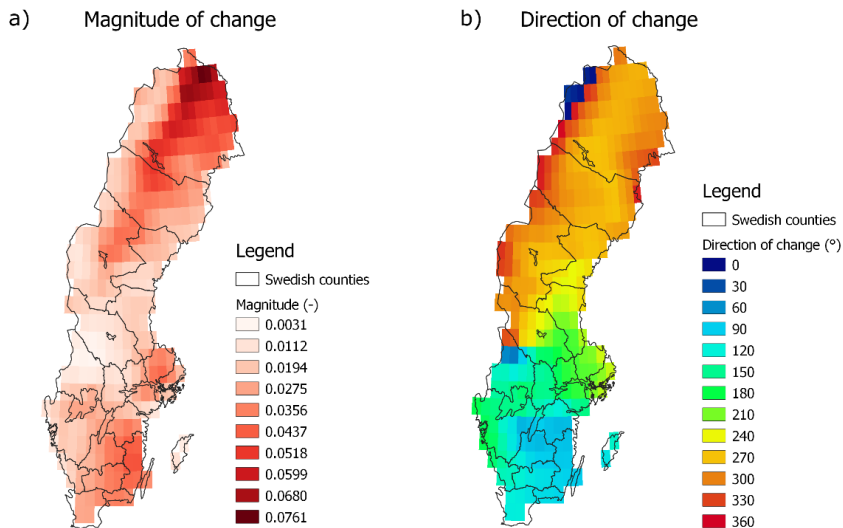
Storleken (dimensionslös) (figur 15a) och riktning (grader) (figur 15b) för förändringen mellan de observerade värdena från referensperioden och de modellerade värdena i framtidsscenario RCP 8.5 infogas i Budyko-utrymmet samt på kartan över Sverige (figur 16a respektive b) enligt beräkningar av Jaramillo et al. (2018) för Sverige. Den mest markanta förändringen beräknas ske i norra Sverige, utom i fjällområdena längs gränsen till Norge. Förändring av hydroklimatiska förhållanden är mest påtaglig längst i norr och avtar längre söderut. En betydande förändring förväntas också ske i Mälardalens område, sydöstra Sverige och över de större sjöarna i Sverige. Omfattningen av dessa förändringar kan tolkas som ekosystemens känslighet för klimatförändringar (van der Velde et al., 2014). Vegetationen kan anpassa sig till temperatur- och nederbördsförändringar, vilket inte skulle förändra placeringen inom Budyko-utrymmet avsevärt. Skillnaden i den geografiska omfattningen kan däremot indikera på skillnaden i känslighet mellan olika ekosystem. Rasterlagrets grova upplösning gör det dock svårt att skilja mellan olika ekosystem, särskilt i heterogena landskap som fjällområden. Rastervärdena representerar medelvärden i celler med storlek 50 km och kan således representera en mängd olika ekosystem vilket gör tolkningen svår.

Topografi påverkar klimatets rumsliga variation och skapar svalare och varmare delar i landskapet på olika altituder och sluttningsriktning. Arter vid kanten av sitt optimala temperaturområde i en viss miljö kan ta tillflykt till områden där regionala klimatförändringar är dämpade (Ackerly et al., 2020). Mikroklimat kan ibland fungera som refugium mot klimatförändringar. Variationer i klimatet på lokal skala är dock inte möjligt att avgöra till följd av klimatmodellernas grova upplösning. För att bättre förstå klimatuppvärmningens effekt på biologisk

mångfald krävs en analys med högre upplösning som tar hänsyn till mikroklimat (Lenoir et al., 2017).



Figur 15: Varje cell i Sverige från klimatmodellen 2050–2070 i scenariot RCP 8.5 ritat i Budyko-utrymme. Punktens färg visar a) förändringsstorlek från 1980–2000 till 2050–2070 och b) förändringsriktning från 1980–2000 till 2050–2070 i grader.



Figur 16: a) förändringsstorlek från 1980–2000 till 2050–2070 och b) förändringsriktning från 1980–2000 till 2050–2070 i grader.

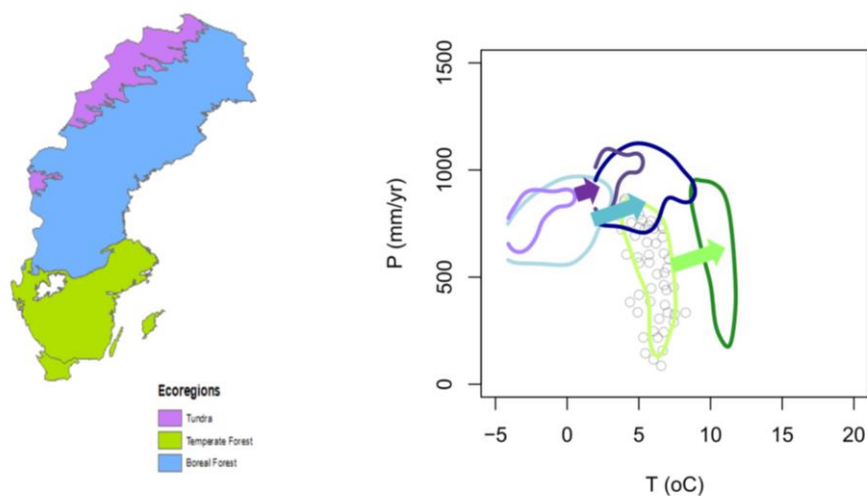
Förändringsriktningen i Budyko-tomten beskriver förändringen mellan referensperioden och den framtida perioden under RCP 8.5. Punkterna är placerade långt till vänster för större delen av norra Sverige, vilket indikerar ett lägre torrhetsindex under den kommande perioden. I Mälardalen och längs västkusten går rörelsen mot ett lägre avdunsningsindex. Sydöstra Sverige har en rörelse mot högre torrhetsindex och på vissa ställen också ett högre avdunsningsindex. Rörelsen antyder att även om norra Sverige kan bli blötare under den framtida perioden med högre P än PET, kan södra Sverige bli torrare med en lägre ökning av P än PET.

De flesta av punkterna i Budyko kurvan med högt avdunsningsindex faller utanför de teoretiska gränserna, med högre värden av ET än PET, vilket påvisar

en viss osäkerhet av de klimatprojektioner och modeller som används för beräkningar av de hydrologiska variablerna. Det är också en större spridning av dessa punkter och uppvisar inga tydliga mönster på vare sig omfattning eller riktning. En mer exakt analys med högre geografisk upplösning och mer tillförlitliga beräkningar av evapotranspiration krävs. Dessa resultat tyder på att framtida hydrologiska förändringar kommer att vara mest tydliga i norra Sverige, vilket kan ha betydande effekter på ekosystemen. Resultaten visar även att temperaturökningen i sydöstra Sverige kommer att öka avdunstningskapaciteten mer än vad nederbörden ökar, vilket måste tilldelas mer uppmärksamhet när det gäller risken för jordbrukstorka.

4.7.3 Kunskap och rekommendationer

Vi rekommenderar en helhetssyn för att förstå hydroklimatiska förändringar i de tre viktigaste biomen i Sverige; tundra, boreala och tempererade skogar. De flesta studier om effekterna av klimatförändringar på ekosystem är utförda på en mindre landyta i Sverige, och fokuserar främst på aklimatisering och anpassning av arter till temperaturförändringar eller ökande koncentrationer av koldioxid. Det saknas studier om anpassningen och motståndskraften hos dessa ekosystem till nederbörd och andra viktiga klimatparametrar som vindhastighet, luftfuktighet, potentiell evapotranspiration. Ännu mindre känt är hur dessa förändringar kommer att utvecklas på regional och landskapsnivå.



Figur 17: Förändringar av tundra, tempererade och boreala skogsbiom i Sverige anseende medeltemperatur och årlig nederbörd. Pilarna visualiserar ändringarna från nuvarande till framtida förhållanden. Observera att de nya polygonerna i de flesta fall inte korsar med polygonerna som beskriver de ursprungliga förhållanden för dessa biom.

Klimatförändringar kommer att skapa nya förhållanden som dessa tre biomer inte har genomgått tidigare, åtminstone i Sverige. Det är nödvändigt att förstå dessa förhållanden mot bakgrund av hydroklimatiska ramverk såsom Budyko-ramverket som beskrivs här (Budyko, 1974; Piemontese et al., 2020; Jaramillo and Destouni, 2014) eller Novel Climate framework (Williams et al. 2007; Williams och Jackson 2007; Dahinden et al. 2017). Dessa ramverk bidra till ökad förståelse om risker på en landskapskala snarare än utifrån en art eller individ. En enkel graf av hur

förändringar i nederbörd och temperatur i vart och ett av dessa tre ekosystem sker kan visa att de flesta av områdena inom dessa ekosystem faktiskt kommer att uppleva kombinationer som för närvarande inte finns på dessa platser. Det förekommer följaktligen risker för hur dessa terrestra ekosystem reagerar vid nya klimatförhållanden och bör därför studeras inom en snar framtid.

4.8 Risker för akvatiska och marina ekosystem

- **Klimatförändringar kan orsaka förflyttning av biom, vilket kan påverka vattenarters möjlighet att överleva. Ett varmare klimat kan också öka förekomsten av invasiva främmande arter, vilket kan hota de befintliga ekosystemen.**
- **Ökad avrinning och nederbörd kan minska salthalten i Östersjön, vilket påverkar saltvattensarter negativt.**
- **Ökad avrinning kan öka transporten av näringsämnen från landområden till Östersjön och till sötvattenssjöar, vilket kan öka problemen med övergödning.**

4.8.1 Nuvarande risker

Övergödning och syrebrist i Östersjön är främst kopplat till näringsämnen som transporteras till havet genom vattendrag och via nedfall från atmosfärisk (Meier et al., 2019). Under flera decennier har utsläpp av näringsämnen från landkällor som konstgödsel inom jordbruket, kogödsel, och avloppsvatten transporterats genom vattendrag ut till Östersjön (Arneborg och Gustafsson, 2020). Både kväve- och fosfortransport till havet varierar kraftigt mellan åren, där variationen främst är beroende på avrinning (Havs- och vattenmyndigheten, 2020d, 2020e). Direkta effekter av klimatförändringar har mindre inverkan på näringsbelastningar än antropologiska förändringar (Pihlainen et al., 2020). Livscykeln för fosfor i havet är cirka 50 år, medan kväve kan omvandlas mellan olika former genom cyanobakterier och har en uppehållstid på bara några år (Arneborg och Gustafsson, 2020). Med högre koncentration näringsämnen i vattnet ökar det organiska materialet i havet. Sönderdelningen av organiskt material kräver syre, och när cyanobakterierna sjunker till havsbotten förbrukas syret i vattnet.

Klimatframkallade förändringar i nederbördsmonster och temperatur kan påverka övergödning även i sjöar där mänsklig aktivitet är begränsad (Lu et al., 2019). En omätlig näringsstransport till sjöar kan påverka vattenkvaliteten, till exempel genom att öka allvarlighetsgraden av algbloomingar och öka syrebristen (Couture et al., 2014). Det har inte skett någon signifikant förändring i den totala koncentrationen av fosfor i svenska sjöar och vattendrag under de senaste tjugo åren (Havs- och vattenmyndigheten, 2020a).

Majoriteten av sjöar och vattendrag som är relativt opåverkade av mänsklig aktivitet har hög eller god status när det gäller övergödning (Havs- och vattenmyndigheten, 2020a). Fosforkoncentrationen används främst vid bestämning av övergödningens status i sötvatten (Havs- och vattenmyndigheten, 2020b). Kvävehalterna i svenska sjöar och vattendrag är i allmänhet låga i norra Sverige. Det finns låga eller måttliga kvävehalter i de flesta sjöar och floder som inte påverkas av mänskliga aktiviteter (Havs- och vattenmyndigheten, 2020b). Regionerna med allvarliga övergödningens problem i sötvatten är södra Skåne, Mälardalen, Östergötland och södra Vänern (Havs- och vattenmyndigheten,

2020c). För Mälaren är den ekologiska statusen i termer av fosfor- och kvävehalter otillfredsställande i de flesta inflöden, även om statusen vid utflödena till Östersjön är god (Sonesten et al., 2013). Transporten av fosfor till Mälaren minskade dramatiskt på 1960-talet på grund av förbättrad vattenreningsteknik, men har sedan dess varit stabil (Sonesten et al., 2013). Den primära källan av fosfor till Mälaren kommer från jordbruksmark, men enskilda avlopp, behandlat vatten, ytavrinning, och läckage från skogsbruk är också bidragande (Sonesten et al., 2013).

Algblomningar kan förekomma både i havsvatten och i sjöar. Sannolikheten för algblomning är högst under sommaren och hösten. Alger behöver fosfor och kväve för sin tillväxt, och övergödning är en orsak till mer intensiva algblomningar. Hälsorisker för människor som simmar i vattnet under algblomningar finns eftersom vissa arter av alger och cyanobakterier producerar toxiner (Havs- och vattenmyndigheten, 2019). Tillväxten av alger och cyanobakterier bidrar också till låga syrehalter nära havsbotten eftersom nedbrytningen av organiskt material förbrukar syre (Klimatanpassning.se, 2019).

Djupvatten syresätts normalt genom vertikal blandning med syrerikt ytvatten. Ökad nederbörd och ökad avrinning från land på grund av klimatförändringar kommer att öka tillförseln av sötvatten till ytskiktet, vilket kommer att förstärka skiktningen genom att öka densitetsskillnaden mellan yt- och djupvatten. Vertikal blandning av vattenpelaren kan således förhindras på grund av den starka skiktningen. När syret förbrukats i djupvattnet kan vattnet bli anoxiskt, med allvarliga konsekvenser för marina arter. Det giftiga ämnet svavelväte bildas under anoxiska förhållanden (Hansson et al., 2018).

Klimatuppvärmning kan också höja vattentemperaturen, vilket kan leda till ökad biologisk aktivitet. Nedbrytningsprocessen ökar till följd av den större mängden organiskt material, vilken även ökar syreförbrukningen i havet. Detta påverkar syrehalten i djupvattnet ytterligare (Hansson et al., 2018). Ett stort område i Östersjön är påverkade av anoxiska förhållanden och har under flera år ökat i storlek. Anoxiska förhållanden förekommer i havsområdet mellan Gotland och Sveriges fastland (Hansson et al., 2018). I Mälaren är övergödningen som mest omfattande i syrefattiga områden, och situationen blir särskilt allvarsam under varma somrar (Sonesten et al., 2013). Under varma somrar värms vattens ytskikt och förhindrar omblandning i vattenpelaren, vilket hindrar syresättning av bottenlagret.

Full förståelse över de effekter en uppvärmning av havet har på akvatiskt liv kan vara svårt att fastställa på grund av komplexa näringskedjor, där en arts effekt kan påverka andra arter (Jonsson och Setzer, 2015). Vattentemperaturen i Vättern har ökat sedan 1980, vilket har direkta och indirekta effekter på arterna i sjön (Jonsson och Setzer, 2015). Varmare vintertemperatur främjar utvecklingen av fjällrödningens yngel och dess föda, djurplankton. Utvecklingen för ynglen sker dock i snabbare takt och därmed hamnar dessa två händelserna i obalans. På samma sätt påverkas fiskarterna siklöja av klimatuppvärmning, vilket påverkar födotillgången för den unga fjällrödningen (Jonsson och Setzer, 2015). Det finns skillnader mellan olika sjöar och arter i hur klimat påverkar fiskrekrytering

(Sandström et al., 2014). Fiskarten Nors missgynnas till exempel av vattentemperaturer över 20°C, och om sommartemperaturerna i en sjö är höga flera år i följd är arten överlevnadschans minimal (Keskinen et al., 2012). Klimatuppvärmningen förväntas öka lämpligheten för många nya arter (Naturvårdsverket, 2020a). Tidigare (1979–2018) var det globala medelvärdet för hastigheten av klimatförändringarna i inre vatten 14 km/decennium (Woolway och Maberly, 2020). I Sverige var hastigheten högst i den sydöstra delen, inklusive sjöar Mälaren och Vättern, men också runt Storsjön i Jämtland.

Introduktionen av nya arter i ett ekosystem kan ha en betydande inverkan på dess struktur, till exempel genom ökad konkurrens mellan arter och ökad predation. EU har klassificerat 66 invasiva främmande arter, en del som redan förekommer i Sverige och vissa som kan tänkas utgöra en risk framöver. Störningar i ekosystem kan få ekonomiska konsekvenser när det gäller till exempel fiske. Främmande arter introduceras oftast genom mänsklig aktivitet, och främmande arter sprids främst till marina ekosystem i Europa via sjöfart, till exempel i barlastvattnet (Katsanevakis et al., 2013; Nunes et al., 2014). Antalet invasiva främmande arter som har introducerats till europeiska vatten från sjöfarten har ökat i flera decennier (Katsanevakis et al., 2013).

Svenska sjöar har hittills påverkats av få invasiva arter (Nellbring et al., 2011). Övervakningssystem för invasiva främmande arter i sötvattenssystem utvecklats (Naturvårdsverket, 2020b). En väsentlig del av övervakningen inkluderar medborgarrapportering av främmande arts observationer (Havs- och vattenmyndigheten, 2017). I sjön Mälaren har de inhemska kräftarterna förlorats på grund av införandet av kräftpesten och ersatts av en annan kräftart i ekosystemet (Sonesten et al., 2013). Andra redan etablerade främmande arter inkluderar kanadensiskt växtgräs (*Elodea canadensis*), Zebramusling (*Dreissena polymorpha*) och *Nymphoides peltate* (Nellbring et al., 2011). Det saknas information om riskerna med specifika nya arter, särskilt eftersom en främmande art kan finnas i små populationer länge innan den plötsligt blir invasiv (Nellbring et al., 2011).

4.8.2 Risker under 2050 – 2070

Klimatmodeller förutspår högre nederbörd och avrinning i framtiden, vilket kommer att öka inflödet av sötvatten till Östersjön. Saltvatten har högre densitet än färskvatten och innebär att det sjunker till havets lägre nivåer, vilket bidrar till en cirkulation där djupvatten kan förflyttas upp och syresättas närmare atmosfären. En eventuell framtida minskning av salthalten i Östersjön kan minska utbytet mellan djup- och ytvatten, vilket förhindrar syresättning av djupvattnet (Arneborg och Gustafsson, 2020) och ytterligare ökar de anoxiska förhållandena i havet. Högre avrinning kan också öka transporten av näringsämnen från land och bidra till övergödning. Högre vattentemperaturer kan påskynda organiska processer och öka mängden organiskt material som förbrukar syre under nedbrytningsprocessen (Arneborg och Gustafsson, 2020). En minskad salthalt i Östersjön antas ha en negativ inverkan på saltvattenarter, inklusive nyckelarterna torsk och blåmussla (Bernes, 2016).

Kväveutlakning är starkt korrelerat med avrinning, vilket beräknas öka med klimatförändringarna, särskilt under höstsäsongen (Øygarden et al., 2014). De största kväveförlusterna från åkermark förekommer i sydvästra Sverige där nederbörds mängden är stor, medan fosforförlusterna är mer rumsligt varierande i relation till jordarter (Kyllmar et al., 2014). Däremot orsakar högre nederbörd högre fosforbelastning på havet (Couture et al., 2014). Förutom förändrade hydroklimatiska förhållanden påverkar även ändrade jordbruksmetoder och politik läckaget av näringsämnen till vattentäkter (Couture et al., 2014). Till exempel kan en reduktion av näringsbelastningen till Östersjön kompensera för de negativa effekterna från klimatförändringar, förbättra havets ekologiska status och minska övergödningen (Saraiva et al., 2019). Det krävs beslut om åtgärder för att reducera näringsbelastningen i Östersjön snarast eftersom transporten av nitrat ökar i takt med högre vattenflöden under vintern (Teutschbein et al., 2017). I ett scenario med oförändrade förhållanden, avseende både klimat och näringsutsläpp, förväntas den biologiska mångfalden att minska i Östersjön och många livsmiljöer att gå förlorade (Bauer et al., 2019). Syrebristen väntas öka i saltvatten vilket försämrar livsmiljön för saltvattenarter (Wahlström et al., 2020).

Enligt IPCC:s rapport (Sari Kovats et al., 2014) finns det lågt tillförlitlighet i att högre temperaturer kommer att öka omfattningen av algblomningar, även om varmare temperaturer kan förlänga säsongen genom att tillväxten av planktonen påbörjas tidigare (Weyhenmeyer, 2001). Högre årliga nederbörds mängder kan bidra till lägre salthalt i Östersjön, vilket är gynnsamt för cyanobakterier (Klimatanpassning.se, 2019). Ökade algblomningar i framtiden på grund av varmare vattentemperaturer hotar även vattenkvaliteten i svenska sjöar, som exempelvis Vänern, som för närvarande har god vattenkvalitet (Eklund et al., 2018).

Stigande temperaturer förväntas förflytta klimatzonerna vilket påverkar de olika biomen och kräver att arter inom ett specifik biom anpassas eller migrerar. Akvatiska arter är beroende av både deras naturliga rörlighet och möjlighet att vandra mellan lämpliga livsmiljöer för sin överlevnad, vilket påverkas av hur fragmenterade de olika livsmiljöerna är. Till exempel kan uppströmsvandring i floder hindras av dammar. Fiskens lekområde i floder och kanaler runt Vättern kan hämmas av låga vattennivåer i framtiden (Eklund et al., 2018). Under perioden 2006–2009 förväntas hastigheten för klimatförändringarna i sötvattenssjöar öka globalt till 57.0 ± 17.0 km/decennium för scenario RCP 8.5 och beräknas vara något högre under sommaren än under vintern (Woolway och Maberly, 2020).

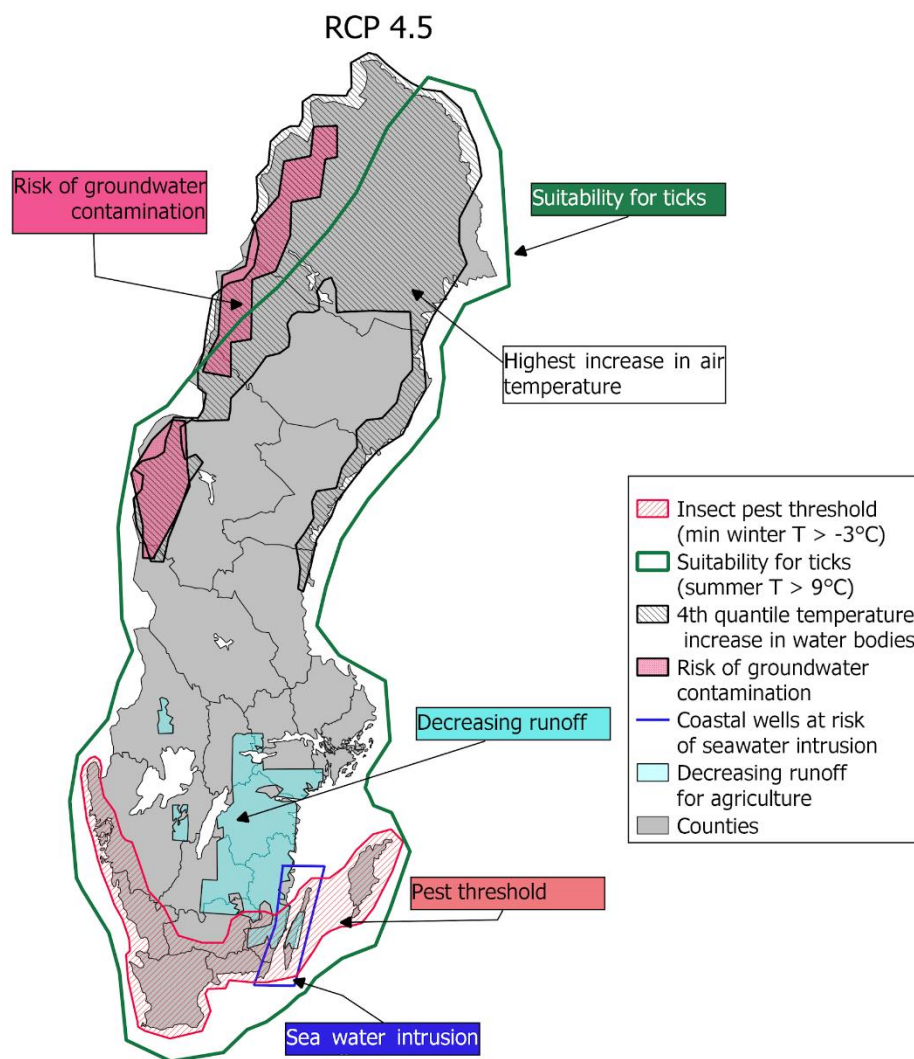
Tillgången på vatten kan minska under perioder med lågt flöde (vanligtvis under sommarmånaderna) (Eklund et al., 2018). Till exempel påverkas sjöfarten av låga vattennivåer i Vänern, och antalet dagar med lågt vattenstånd förväntas öka med extra några dagar per år till slutet av seklet, där ökningen för scenario RCP 8.5 något större än vid RCP 4.5 (Eklund et al., 2018). Låga vattennivåer i Göta Älv (nedströms Vänern) kan orsakas av det låga flödet från vattenkraftdammen.

En annan potentiell risk för klimatförändringar i Östersjön kan vara försurningen av havsvattnet. Ökade koldioxidnivåer i atmosfären leder till ökat koldioxidupptag i haven och är den enskilt viktigaste faktorn som påverkar pH-värdet i Östersjön

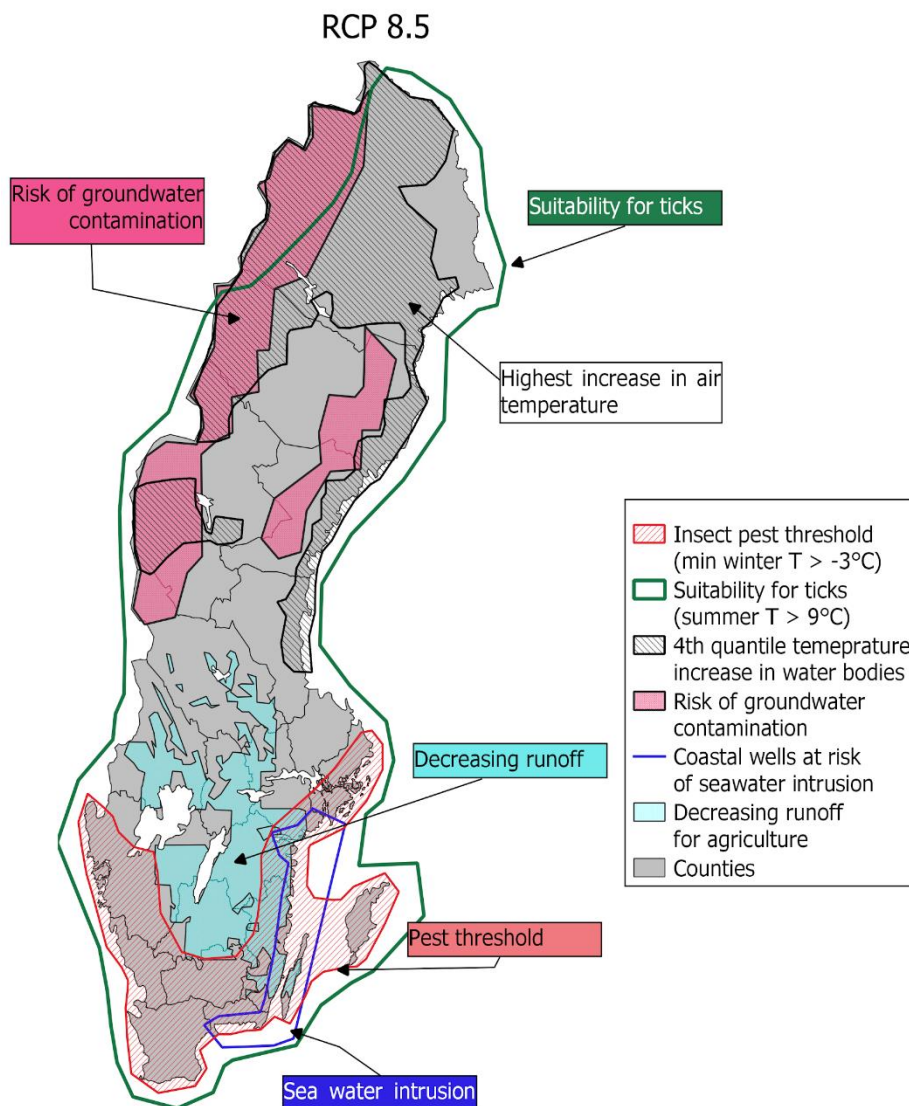
(Gustafsson och Gustafsson, 2020; Omstedt et al., 2012). Försurningen av Östersjöns beräknas fortsätta, trots en buffrande effekten av ökad näringstransport från landkällor (Omstedt et al., 2014, 2012). Alkaliniteten i flodvatten och från processer i Östersjön och motverkar en bråkdel av effekten från CO₂ (Müller et al., 2016). Havsförsurning i kombination med havsuppvärmning är dock ett potentiellt hot mot torskfiske i Östersjön (Voss et al., 2019). Även om man är överens om att försurningen i Östersjön kommer att fortgå, råder det fortfarande stor osäkerhet om hur mycket av effekten som kommer att motverkas av andra processer samt hur de marina ekosystemen reagerar.

5 Riskkartor för långsamma kontinuerliga risker i Sverige

Baserat på de åtta långsamma kontinuerliga riskerna som beskrivs i kapitel 4 har vi tagit fram två olika riskkartor för Sverige under år 2050 för både scenario RCP4.5 och RCP8.5.



Figur 17: Översikt över ett urval av klimatrelaterade risker för perioden 2050–2070 enligt klimatscenario RCP4.5.



Figur 18: Översikt över ett urval av klimatrelaterade risker för perioden 2050–2070 under klimatscenario RCP8.5.

Sammanfattning

Olika insatser för begränsning av klimatpåverkan pågår redan i Sverige, och många andra planeras införas eller utvidgas. Begränsningsåtgärder som sannolikt kommer att påverka den naturliga miljön, både ur positiva och negativa aspekter, är återställning av våtmark, ökad odling av biomassa för biobränsle, och ökad produktion av förnybar energi.

Även om det finns många exempel på klimatanpassning inom flera sektorer och samhällsnivåer finns det ett behov av att utveckla ytterligare kunskap och samarbete för anpassning och harmonisering på nationell nivå. Anpassning kräver att beslut fattas om vilken möjlig framtid som samhället ska förberedas för och kan involvera val av ett utsläppsscenario som ska ligga till grund för framtida prognoser. Olika organ kan välja att hänvisa till olika framtidsscenarioer, vilket återspeglar deras olika ansvarsområden och perspektiv. Det betyder dock att anpassningsåtgärder som vidtagits i samhället beror på vem som fattar besluten.

De mest betydande konsekvenserna av klimatförändringar på grundvattenförsörjningen förväntas vara i södra Sverige. Grundvattennivåerna förväntas vara låga i landets sydöstra delar, vilket påverkar dricksvattenförsörjningen under sommaren och tidig höst när grundvattennivån är som lägst. Vi förväntar oss effekter på både offentlig och enskild vattenförsörjning eftersom grundvattenuttaget kan behöva reduceras när grundvattennivån sjunker.

Grundvattennivåerna under vintern kommer att höjas i Sverige i framtiden. Varmare somrar med högre avdunstning, kombinerat med mindre grundvattenbildning och större belastning på grundvattenresurserna, kommer dock att leda till sänkta grundvattennivåer. Detta innebär mer markanta säsongsvariationer och större variation i grundvattennivåerna.

Områden i norra Sverige är mest utsatta för grundvattenförorening endast genom fluktuationer i grundvattennivån, där dricksvattenbrunnar riskeras att förorenas om miljöfarliga ämnen finns i närheten. Områden med en markant ökning av både nederbörd och avrinning bedöms som hög risk för kontaminering. Riskområden med hög avrinning och stora förändringar i nederbördsmängd finns belägna längst gränsen mot Norge, samt ett inlandsområde 70 km från Sveriges nordöstra kust. Detta är områden där förhållandena är mest gynnsamma för grundvattenförorening och det är nödvändigt att kartlägga eventuella föroreningskällor inom dessa områden.

Effekter från klimatförändringar inom jordbruket är ännu inte klarlagt, och det finns både positiva och negativa effekter. Sydöstra Sverige är mest utsatt för torka, men det också finns motstridig information. Torka kan påverka vattentillgängligheten, energi- och vattenförbrukningen för bevattning och storleken på skörden avsevärt, särskilt i områden där grödor bevattnas med grundvatten. Om det råder brist på vatten för bevattning finns det risk för allvarliga skördeföruster. Det kommer inte bara finnas mindre vatten tillgängligt för bevattning, men det kommer även vara brist på markvatten, vilket ökar

påfrestningen på grödorna. De områden som markerats här är områden där anpassningsåtgärder bör övervägas, som exempelvis plantera andra grödor som är mer vattentåliga samt ändra jordbruksmetoder. Ett exempel som nämns i denna rapport är den ökade quinoaodlingen.

Det är relevant att främja kunskapen om vilken effekt ett förändrat klimat kan ha på olika arter med hänsyn till skadedjur. Medan södra Sverige är mest utsatta för nya skadedjur, riskerar nya arter av skadedjur att spridas till jordbruk och skogsbruk även i norra Sverige. Det finns en risk att användningen av bekämpningsmedel ökar på grund av dessa skäl. Jämfört med annan vegetation dränerar jordbruksmark regnvatten i snabbare takt, vilket leder till ökat näringsläckage och risk för översvämning. För att minska utlakningen av näringsämnen bör fokus riktas till val av gröda, jordart, gödsling och jordbearbetning och undersökas utifrån förväntade klimatförändringar och klimatvariationer.

Den beräknade havsnivåhöjningen kommer att lägga kustområden under vatten där de flesta bosättningar och infrastruktur också finns. Risken för inträngning av saltvatten i grundvattenmagasin är vanligtvis begränsad till en cirka 100 meter bred zon längst kusten. I områden med sedimentär berggrund, till exempel i södra Sverige samt öarna Öland och Gotland, kan saltvatteninträngning däremot inträffa i akviferer belägna längre från kusten. De flesta av dessa riskområden ligger i södra Sverige och anpassningsåtgärder kan därför prioriteras till dessa områden. Det förekommer även risker för fastigheter belägna intill kusten. Kustnära bostäder är eftertraktade, och en allt större andel av fastigheter i södra Sverige, närmare hälften, ligger inom kustzonen (5 km från kusten). Havsnivåhöjningen kommer att leda till direkta samhällskostnader, där tätbefolkade områden löper stort risk eftersom förlust och skador på fastigheter kan vara omfattande. På lång sikt kan Öland till exempel drabbas av minskad turism eftersom turistområden går förlorade vid en havsnivåhöjning. Bättre kunskap om enskilda brytpunkter för kustnära grundvattenmagasin längs den svenska kustlinjen skulle vara till hjälp i bedömningen av den efterföljande risken för saltvatteninträngning. Studier bör fokuseras på kustnära bosättningar på Sveriges sydöstra kust med dricksvattenförsörjande akviferer eftersom detta område är mest utsatta.

Det finns också hälsorisker i samband med klimatförändringar. Värmeböljor i städer kan orsaka ökad dödlighet för utsatta grupper. Det finns ett behov av fortsatta ansträngningar för att minska riskerna och öka beredskapen, eftersom extrema temperaturer sannolikt kommer att bli vanligare i framtiden. Detta är särskilt viktigt när det gäller den åldrande befolkningen, vilket kan öka sårbarheten för värmerelaterade sjukdomar. Det finns betydande rumsliga variationer av urbana värmeböljor beroende på ett flera faktorer, vilket innebär att för att fastställa risker på nationell nivå krävs det att fler städer genomför studier som kartlägger värmerelaterade hälsorisker.

Det förändrade klimatet tillåter även att nya arter av vektorer bärande på nya sjukdomar sprids till Sverige från lägre breddgrader samtidigt som utbredningen av inhemska vektorer sker längre norrut i Sverige. Kraftiga förändringar i markanvändning kan kompensera för miljöns respons på

långsamma kontinuerliga klimatrisker. Effekter av klimatförändringarna på ekosystemen är många, och det är därför viktigt att fortsätta undersöka de potentiella långsiktiga effekterna på ekosystemen. Medan de framtida temperaturerna sannolikt kommer att vara högst i södra Sverige, är temperaturökningen högre i norra Sverige. De ökade temperaturerna kommer att förändra biomen i Sverige och kräva att arter anpassar sig eller migrera till andra platser. Snabba klimatförändringar i kombination med antropologiska influenser kan dock utgöra en betydande risk för biologisk mångfald.

References

- Aastrup M, Thunholm B, Sundén G. 2012. Klimatets påverkan på koncentrationer:34.
- Ackerly, D.D., Kling, M.M., Clark, M.L., Papper, P., Oldfather, M.F., Flint, A.L., Flint, L.E., 2020. Topoclimates, refugia, and biotic responses to climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18, 288–297. doi.org/10.1002/fec.2204
- Alcamo J, Döl P, Henrichs T, Kaspar F, Lehner B, Rösch T, Siebert S. 2003. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions. *Hydrological Sciences Journal* 48:339–348. doi:10.1623/hysj.48.3.339.45278. Publisher: Taylor & Francis eprint: <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.339.45278>
- Andersson I, Jarsjö J, Petersson M. 2014. Saving the Baltic Sea, the Inland Waters of Its Drainage Basin, or Both? Spatial Perspectives on Reducing P-Loads in Eastern Sweden. *AMBIO* 43:914–925, doi:10.1007/s13280-014-0523-x
- Andersson, E., Keskitalo, E.C.H., 2018. Adaptation to climate change? Why business-as-usual remains the logical choice in Swedish forestry. *Global Environmental Change* 48, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.004>
- Andréasson J, Bergström S, Carlsson B, Graham LP, Lindström G. 2004. Hydrological Change – Climate Change Impact Simulations for Sweden. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33:228–234. doi:10.1579/0044-7447-33.4.228. Publisher: Royal Swedish Academy of Sciences
- Arheimer B, Donnelly C, Strömqvist J. 2013. Large-scale effects of climate change on water resources in Sweden and Europe :8
- Arneborg, L., Gustafsson, B., 2020. Framtidens Östersjön – påverkan av övergödning och klimatförändringar (No. 2/2020). Stockholms universitets Östersjöcentrum & SMHI.
- Augustsson A, Filipsson M, Öberg T, Bergbäck B. 2011. Climate change — An uncertainty factor in risk analysis of contaminated land. *Science of The Total Environment* 409:4693–4700. doi:10.1016/j.scitotenv. 2011.07.051
- Baker-Austin, C., Trinanes, J., Salmenlinna, S., Löfdahl, M., Siitonen, A., Taylor, N.G.H., Martinez-Urtaza, J., 2016. Heat Wave–Associated Vibriosis, Sweden and Finland, 2014. *Emerging Infectious Diseases* 22, 1216–1220. <https://doi.org/10.3201/eid2207.151996>
- Barth E, Herrmann R, Dahling T, Brenner R, Wright S, Clark P. 2009. Evaluation of airborne endotoxin concentrations associated with management of a crop grown on applied biosolids. *Journal of Residuals Science and Technology* 6:61–66

- Bauer, B., Gustafsson, B.G., Hyytiäinen, K., Meier, H.E.M., Müller-Karulis, B., Saraiva, S., Tomczak, M.T., 2019. Food web and fisheries in the future Baltic Sea. *Ambio* 48, 1337–1349. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01229-3>
- Beillouin, D., Schauburger, B., Bastos, A., Ciais, P., Makowski, D., 2020. Impact of extreme weather conditions on European crop production in 2018. *Phil. Trans. R. Soc. B* 375, 20190510. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0510>
- Bendz, A., Boholm, Å., 2019. Drinking water risk management: local government collaboration in West Sweden. *Journal of Risk Research* 22, 674–691. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1485168>
- Berhanu KG, Hatiye SD. 2020. Identification of Groundwater Potential Zones Using Proxy Data: Case study of Megech Watershed, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 28:100676. doi:10.1016/j.ejrh.2020.100676
- Bernes, C., 2016. En varmare värld - Växthuseffekten och klimatets förändringar. Naturvårdsverket
- Black-Samuelsson, S., Eriksson, H., Henning, D., Janse, G., Kaneryd, L., Lundborg, A., Niemi Hjulfors, L., 2017. Bioenergi på rätt sätt - om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder (No. 10), Report by Skogsstyrelsen, Energimyndigheten, Jordbruksverket & Naturvårdsverket. Skogsstyrelsen
- Bloomfield JP, Marchant BP. 2013. Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 17:4769–4787. doi:10.5194/hess-17-4769-2013
- Bloomfield JP, Williams RJ, Gooddy DC, Cape JN, Guha P. 2006. Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater—a UK perspective. *Science of The Total Environment* 369:163–177. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.05.019
- Boken, V.K., Cracknell, A.P., Heathcote, R.L., Heathcote, R.L., 2005. *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study*. Oxford University Press, Incorporated, Boulder, UNITED STATES
- Boverket. 2009. *Building for a Changing Climate*. Boverket <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2009/building-for-a-changing-climate/>
- Brecka, A.F.J., Shahi, C., Chen, H.Y.H., 2018. Climate change impacts on boreal forest timber supply. *Forest Policy and Economics* 92, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.010>
- Budyko. 1974. *Climate and life*. Academic Press.

- Campana PE, Zhang J, Yao T, Andersson S, Landelius T, Melton F, Yan J. 2018. Managing agricultural drought in Sweden using a novel spatially-explicit model from the perspective of water-food-energy nexus. *Journal of Cleaner Production* 197:1382–1393. doi:10.1016/j.jclepro.2018.06.096
- Carlson, J., Holm, L.-E., Engvall, A., 2011. Smittsamma sjukdomar i ett förändrat klimat. 2011-4-1 50
- Changing Inputs of Terrestrial Dissolved Organic Matter to Lakes: Current Knowledge and Future Challenges. *Ecosystems* 18:376–389. doi:10.1007/s10021-015-9848-y
- Civantos, E., Thuiller, W., Maiorano, L., Guisan, A., Araújo, M.B., 2012. Potential Impacts of Climate Change on Ecosystem Services in Europe: The Case of Pest Control by Vertebrates. *BioScience* 62, 658–666. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.7.8>
- Coffey, R., Benham, B., Krometis, L.-A., Wolfe, M.L., Cummins, E., 2014. Assessing the Effects of Climate Change on Waterborne Microorganisms: Implications for EU and U.S. Water Policy. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 20, 724–742. <https://doi.org/10.1080/10807039.2013.802583>
- Colombani N, Dinelli E, Mastrocicco M. 2016. Trend of Heavy Metal Release According to Forecasted Climate Change in the Po Delta. *Environmental Processes* 3:553–567. doi:10.1007/s40710-016-0146-2
- Couture, R.-M., Tominaga, K., Starrfelt, J., Moe, S.J., Kaste, óyvind, Wright, R.F., 2014. Modelling phosphorus loading and algal blooms in a Nordic agricultural catchment-lake system under changing land-use and climate. *Environmental Science: Processes & Impacts* 16, 1588–1599. <https://doi.org/10.1039/c3em00630a>
- Cresso M, Clerici N, Sanchez A, Jaramillo F. 2020. Future Climate Change Renders Unsuitable Conditions for Paramo Ecosystems in Colombia. *Sustainability*. 12(20):8373. doi:10.3390/su12208373.
- Dahinden F, Fischer EM, Knutti R. 2017. Future local climate unlike currently observed anywhere. *Environmental Research Letters*. 12(8):084004. doi:10.1088/1748-9326/aa75d7.
- Deksne, G., Davidson, R.K., Buchmann, K., Kärssin, A., Kirjušina, M., Gavarāne, I., Miller, A.L., Pálsdóttir, G.R., Robertson, L.J., Mørk, T., Oksanen, A., Palinauskas, V., Jokelainen, P., 2020. Parasites in the changing world – Ten timely examples from the Nordic-Baltic region. *Parasite Epidemiology and Control* 10. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00150>
- Destouni G, Persson K, Prieto C, Jarsjö J. 2010. General Quantification of Catchment-Scale Nutrient and Pollutant Transport through the Subsurface to

Surface and Coastal Waters. *Environmental Science & Technology* 44:2048–2055. doi:10.1021/es902338y. Publisher: American Chemical Society

Dronkers J, Stojanovic T. 2016. Socio-economic Impacts—Coastal Management and Governance. In: M Quante, F Colijn, editors. *North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies*. Cham: Springer International Publishing. p. 475–488. doi:10.1007/978-3-319-39745-019

Dryselius, R., Hjertqvist, M., Mäkitalo, S., Lindblom, A., Lilja, T., Eklöf, D., Lindström, A., 2019. Large outbreak of tularaemia, central Sweden, July to September 2019. *Euro Surveill* 24. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2019.24.42.1900603>

Eckersten H, Karlsson S, Torssell B. 2008. Climate change and agricultural land use in Sweden. Report 7. Uppsala. ISBN: 9789185911578 ISSN: 1653-5375 Issue: 7 Num Pages: 136

Eckersten, H., Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi, 2008. *Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige*. Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

EEA. 2020. Soil contamination widespread in Europe — European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/highlights/soil-contamination-widespread-in-europe>

EEA. 2020a. Key observed and projected climate change and impacts for the main regions in Europe — European Environment Agency :<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/key-past-and-projected-impacts-and-effects-on-sectors-for-the-main-biogeographic-regions-of-europe-5>

EEA. 2020b. Meteorological and hydrological droughts in Europe — European Environment Agency :<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-flow-drought-3/assessment>

Eklund, A., Stensen, K., Alavi, G., Jacobsson, K., 2018. Sveriges stora sjöar idag och i framtiden: Klimatets påverkan på Väner, Vättern, Mälaren och Hjälmaren. Kunskapssammanställning februari 2018. (No. 49), *Klimatologi*

Elsäkerhetsverket, 2018. *Elsäkerhetsverkets handlingsplan för klimatanpassning* 57. Statens Fastighetsverk, 2020. SFV:s arbete enligt förordning (2018:1428) om myndigheters klimatanpassningsarbete

Eriksson M, Ebert K, Jarsjö J. 2018. Well Salinization Risk and Effects of Baltic Sea Level Rise on the Groundwater-Dependent Island of Öland, Sweden. *Water* 10:141. doi:10.3390/w10020141. Number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute

- Felton, A., Ellingson, L., Andersson, E., Drössler, L., Blennow, K., 2010. Adapting production forests in southern Sweden to climate change: Constraints and opportunities for risk spreading. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 2, 84–97. <https://doi.org/10.1108/17568691011020274>
- Field CB. 2014. *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press
- Folkhälsomyndigheten, 2014. *Svenskt arbete mot antibiotikaresistens*. Folkhälsomyndigheten
- Folkhälsomyndigheten, 2015. *Hälsoeffekter av höga temperaturer. En kunskapssammanställning*. Folkhälsomyndigheten
- Folkhälsomyndigheten, 2016. *Exempel på dricksvattenburna utbrott i Sverige* [WWW Document]. URL <http://www.folkhalsomyndigheten.se/smittydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/vattenburen-smitta/exempel-pa-dricksvattenburna-utbrott-i-sverige/> (accessed 10.2.20)
- Folkhälsomyndigheten, 2017a. *Folkhälsa i ett förändrat klimat - Handlingsplan för klimatanpassning år 2017-2020* 28
- Folkhälsomyndigheten, 2017b. *Sjukdomsinformation om vibrioinfektion* [WWW Document]. URL <http://www.folkhalsomyndigheten.se/smittydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/vibrioinfektioner/> (accessed 10.2.20)
- Folkhälsomyndigheten, 2018a. *Ökad dödlighet under sommarens värmebölja* [WWW Document]. Folkhälsomyndigheten. URL <http://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2018/december/okad-dodlighet-under-sommarens-varmebolja/> (accessed 10.13.20)
- Folkhälsomyndigheten, 2018b. *Värmestress i urbana inomhusmiljöer* 42
- Folkhälsomyndigheten, 2019. *Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer* 29
- Franzén, M., Ockinger, E., Öckinger, E., 2012. Climate-driven changes in pollinator assemblages during the last 60 years in an Arctic mountain region in Northern Scandinavia. *Journal of Insect Conservation* 16, 227–238. <https://doi.org/10.1007/s10841-011-9410-y>
- Garamszegi, L.Z., 2011. Climate change increases the risk of malaria in birds. *Global Change Biology* 17, 1751–1759. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02346.x>
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009. Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: the CORDEX Framework (Bulletin No. Vol. 58 (3)). WMO

- Graham LP. 2004. Climate Change Effects on River Flow to the Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33:235–241. doi:10.1579/0044-7447-33.4.235. Publisher: Royal Swedish Academy of Sciences
- Grünig, M., Calanca, P., Mazzi, D., Pellissier, L., 2020a. Inflection point in climatic suitability of insect pest species in Europe suggests non-linear responses to climate change. *Global Change Biology* n/a, 1–12. <https://doi.org/10.1111/gcb.15313>
- Grünig, M., Mazzi, D., Calanca, P., Karger, D.N., Pellissier, L., 2020b. Crop and forest pest metawebs shift towards increased linkage and suitability overlap under climate change. *Commun Biol* 3, 233. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0962-9>
- Gustafsson, E., Gustafsson, B.G., 2020. Future acidification of the Baltic Sea – A sensitivity study. *Journal of Marine Systems* 211, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103397>
- Haeberli, W., Schaub, Y., Huggel, C., 2017. Increasing risks related to landslides from degrading permafrost into new lakes in de-glaciating mountain ranges. *Geomorphology* 293, 405–417. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.02.009>
- Hanna E, Huybrechts P, Janssens I, Cappelen J, Steffen K, Stephens A. 2005. Runoff and mass balance of the Greenland ice sheet: 1958–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110. doi:10.1029/2004JD005641. eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2004JD005641>
- Hansson, M., Viktorsson, L., Andersson, L., 2018. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2018 - Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2018 (No. REPORT OCEANOGRAPHY No. 65, 2018). Swedish Meteorological and Hydrological Institute
- Havs- och vattenmyndigheten, 2017. Övervakning av främmande arter [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/overvakning-och-uppfoljning/miljoovervakning/overvakning-av-frammande-arter.html> (accessed 11.8.20)
- Havs- och vattenmyndigheten, 2018. Havs- och vattenmyndighetens arbete med handlingsplan för klimatanpassning. Report 2018:9
- Havs- och vattenmyndigheten, 2019. Algblomning [WWW Document]. Havs- och vattenmyndigheten. URL <http://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/overgodning/algblomning.html> (accessed 10.5.20)
- Havs- och vattenmyndigheten, 2020a. Fosfor i sjöar och vattendrag [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/data-och-statistik/officiell-statistik/officiell-statistik---havs--och-vattenmiljo/fosfor-i-sjoar-och-vattendrag.html> (accessed 11.2.20)

Havs- och vattenmyndigheten, 2020b. Kväve i sjöar och vattendrag [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/data-och-statistik/officiell-statistik/officiell-statistik---havs--och-vattenmiljo/kvave-i-sjoar-och-vattendrag.html> (accessed 11.2.20)

Havs- och vattenmyndigheten, 2020c. Övergödning [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/overgodning.html> (accessed 11.2.20)

Havs- och vattenmyndigheten, 2020d. Tillförsel av kväve till kusten [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/data-och-statistik/officiell-statistik/officiell-statistik---havs--och-vattenmiljo/tillforsel-av-kvave-till-kusten.html> (accessed 11.2.20)

Havs- och vattenmyndigheten, 2020e. Tillförsel av fosfor till kusten [WWW Document]. URL <http://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/data-och-statistik/officiell-statistik/officiell-statistik---havs--och-vattenmiljo/tillforsel-av-fosfor-till-kusten.html> (accessed 11.2.20)

Henriksen HJ, Rosenbom A, van der Keur P, Kjaer J, Sonnenborg T, Olesen JE, Nistrup Joergensen L, Boessing Christensen O. 2013. Prediction of climate impacts on pesticide leaching to the aquatic environments

Hof, A.R., Jansson, R., Nilsson, C., 2012. Future Climate Change Will Favour Non-Specialist Mammals in the (Sub)Arctics. PLoS ONE 7, e52574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052574>

Hof, A.R., Svahlin, A., 2016. 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. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1052751>

Hofmeester, T.R., Young, S., Juthberg, S., Singh, N.J., Widemo, F., Andrén, H., Linnell, J.D.C., Croomsigt, J.P.G.M., 2020. Using by-catch data from wildlife surveys to quantify climatic parameters and timing of phenology for plants and animals using camera traps. Remote Sensing in Ecology and Conservation 6, 129–140. <https://doi.org/10.1002/rse2.136>

IPCC. 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects, Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, NY: Cambridge University Press. OCLC: ocn900613741

Jaenson, T.G.T., Hjertqvist, M., Bergström, T., Lundkvist, Å., 2012a. Why is tick-borne encephalitis increasing? A review of the key factors causing the increasing incidence of human TBE in Sweden. Parasites & Vectors 5, 1–13. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-184>

Jaenson, T.G.T., Jaenson, D.G., Eisen, L., Petersson, E., Lindgren, E., 2012b. Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. *Parasites Vectors* 5, 8.

<https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-8>

Jaenson, T.G.T., Petersson, E.H., Jaenson, D.G.E., Kindberg, J., Pettersson, J.H.-O., Hjertqvist, M., Medlock, J.M., Bengtsson, H., 2018. The importance of wildlife in the ecology and epidemiology of the TBE virus in Sweden: incidence of human TBE correlates with abundance of deer and hares. *Parasites Vectors* 11, 477.

<https://doi.org/10.1186/s13071-018-3057-4>

Jägermeyr J, Gerten D, Schaphoff S, Heinke J, Lucht W, Rockström J. 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. *Environmental Research Letters* 11:025002.

doi:10.1088/17489326/11/2/025002. Publisher: IOP Publishing.

Jaramillo F, Destouni G. 2014. Developing water change spectra and distinguishing change drivers worldwide. *Geophysical Research Letters*. 41(23):8377–8386. doi:10.1002/2014GL061848.

Jaramillo, F., Cory, N., Arheimer, B., Laudon, H., van der Velde, Y., Hasper, T.B., Teutschbein, C., 1985, Uddling, J., 2018. Dominant effect of increasing forest biomass on evapotranspiration: Interpretations of movement in Budyko Space. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 567–580.

<https://doi.org/10.5194/hess-22-567-2018>

Jarsjö J, Andersson-Sköld Y, Fröberg M, Pietron J, Borgström R, Löv Kleja DB. 2020. Projecting impacts of climate change on metal mobilization at contaminated sites: Controls by the groundwater level. *Science of The Total Environment* 712:135560. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135560

Jarsjö J, Chalov SR, Pietron J, Alekseenko AV, Thorslund J. 2017a. Patterns of soil contamination, erosion and river loading of metals in a gold mining region of northern Mongolia. *Regional Environmental Change* 17:1991–2005.

doi:10.1007/s10113-017-1169-6

Jarsjö J, Törnqvist R, Su Y. 2017b. Climate-driven change of nitrogen retention–attenuation near irrigated fields: multi-model projections for Central Asia.

Environmental Earth Sciences 76:117. doi:10.1007/ s12665-017-6418-y

Johansson W, Klingspor P. 1977. Bevattning inom lantbruket 1976. 100

Jonsson, T., Setzer, M., 2015. A freshwater predator hit twice by effects of warming across trophic levels. *Nature Communications* 6.

<https://doi.org/10.1038/ncomms6992>

Jordbruksverket, 2012a. Vässa växtskyddet för framtidens klimat Hur vi förebygger och hanterar ökade problem i ett förändrat klimat (No. Rapport 2012:10)

- Jordbruksverket, 2012b. Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35
- Jordbruksverket, 2017. Handlingsplan för klimatanpassning Jordbruksverkets arbete med klimatanpassning inom jordbruks- och trädgårdssektorn. Rapport 2017:7
- Jordbruksverket, 2018a. Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi når det nationella klimatmålet? Sammanställning av pågående arbete och framtida insatsområden. Rapport 2018:1
- Jordbruksverket, 2018b. Avvattning av jordbruksmark i ett förändrat klimat. Rapport 2018:19
- Jordbruksverket, 2018c. Jordbrukets behov av vattenförsörjning Rapport 2018:18.
- Jordbruksverket, 2019. Långsiktiga effekter av torkan 2018 - och hur jordbruket kan bli mer motståndskraftigt mot extremväder (No. Rapport 2019:13).
- Juhola, S., Klein, N., Käyhkö, J., Schmid Neset, T.-S., 2017. Climate change transformations in Nordic agriculture? *Journal of Rural Studies* 51, 28–36.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.01.013>
- Jyrkama MI, Sykes JF. 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology* 338:237–250. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.02.036. Klassen J, Allen DM. 2017. Assessing the risk of saltwater intrusion in coastal aquifers. *Journal of Hydrology* 551:730–745. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.02.044.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C., Cardoso, A.C., 2013. Invading European Seas: Assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean & Coastal Management* 76, 64–74.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.024>
- Keskinen, T., Lilja, J., Högmander, P., Holmes, J.A., Karjalainen, J., Marjomäki, T.J., 2012. Collapse and recovery of the European smelt (*Osmerus eperlanus*) population in a small boreal lake -- an early warning of the consequences of climate change. *Boreal Environment Research* 17, 398–410
- Keskitalo, E.C.H., Bergh, J., Felton, A., Björkman, C., Berlin, M., Axelsson, P., Ring, E., Ågren, A., Roberge, J.-M., Klapwijk, M.J., Boberg, J., 2016. Adaptation to Climate Change in Swedish Forestry. *Forests* 7, 28.
<https://doi.org/10.3390/f7020028>
- Klimatanpassningsportalen., 2019. Algbloomning [WWW Document]. URL <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/naturmiljo-och-ekosystem/algbloomning-1.151155> (accessed 10.5.20)

- Klimatanpassningsportalen, 2020. Klimatanpassningsportalen:
<http://www.klimatanpassning.se/en>
Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter (No. SOU 2007:60), 2007
- Klimat och sårbarhetsutredningen. 2007. Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter; Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. Number 2007,60 in Statens offentliga utredningar. Stockholm: Fritze. OCLC: 404716517
- Koleva N, Schneider U, Tol R. 2009. The impact of weather variability and climate change on pesticide applications in the US - An empirical investigation. Research unit Sustainability and Global Change, Hamburg University, Working Papers.
- Kritzberg, 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. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>
- KUNDZEWICZ ZW, MATA LJ, ARNELL NW, DOLL P, JIMENEZ B, MILLER K, OKI T, S ĚN Z, SHIKLOMANOV I. 2008. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal* 53:3–10. doi:10.1623/hysj.53.1.3. Publisher: Taylor & Francis eprint: <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>
- Kyllmar, K., Forsberg, L.S., Andersson, S., Mårtensson, K., 2014. Small agricultural monitoring catchments in Sweden representing environmental impact. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Nitrogen losses from agriculture in the Baltic Sea region* 198, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.016>
- Lamichhane, J., Barzman, M., Booij, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Messéan, A., 2015. Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development (Springer Science & Business Media B.V.)* 35, 443–459. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0275-9>
- Langbein, W.B., 1949. Annual Runoff in the United States.
- Langvall, O., 2011. Impact of climate change, seedling type and provenance on the risk of damage to Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in Sweden due to early summer frosts. *Scandinavian Journal Of Forest Research* 26, 56–63. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.564399>
- Laube, J., Sparks, T.H., Estrella, N., Höfler, J., Ankerst, D.P., Menzel, A., 2014. Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development. *Global Change Biology* 20, 170–182. <https://doi.org/10.1111/gcb.12360>
- Lenoir, J., Hattab, T., Pierre, G., 2017. Climatic microrefugia under anthropogenic climate change: implications for species redistribution. *Ecography* 40, 253–266. <https://doi.org/10.1111/ecog.02788>

Lewan E, Kreuger J, Jarvis N. 2009. Implications of precipitation patterns and antecedent soil water content for leaching of pesticides from arable land. *Agricultural Water Management* 96:1633–1640. doi:10.1016/j.agwat.2009.06.006

Lindberg, F., Johansson, L., Thorsson, S., 2012. Rumslig variation av strålningstemperatur i Hjorthagen och på Östermalm 20

Lindhusen Lindhé, E., Hjertqvist, M., Wahab, T., 2018. Outbreak of tularaemia connected to a contaminated well in the Västra Götaland region in Sweden. *Zoonoses & Public Health* 65, 142–146. <https://doi.org/10.1111/zph.12382>

Livsmedelsverket. 2020. Klimatanpassningsåtgärder. : <https://www.livsmedelsverket.se/produktion-handel-kontroll/dricksvattenproduktion/kaskad-handbok-for-klimatanpassning-dricksvattenproduktion/klimatanpassningsatgarder>

Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B., Ackerly, D.D., 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462, 1052–1055. <https://doi.org/10.1038/nature08649>

Lu, X., Lu, Y., Chen, D., Su, C., Song, S., Wang, T., Tian, H., Liang, R., Zhang, M., Khan, K., 2019. Climate change induced eutrophication of cold-water lake in an ecologically fragile nature reserve. *Journal of Environmental Sciences* 75, 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.05.018>

Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B.C., Sathre, R., Taverna, R., Werner, F., 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5, 557–578. <https://doi.org/10.3390/f5040557>

Länsstyrelsen Blekinge län, 2014. Anpassning till ett förändrat klimat Blekinges regionala handlingsplan (No. 2014:12)

Länsstyrelsen i Stockholms län, 2019. Värmekartläggning av Stockholms län, Faktablad.

Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2017. Regional handlingsplan för klimatanpassning i Västra Götalands län 2018-2020 (No. 45)

Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018. Karsa – Klimatanpassning och risk- och sårbarhetsarbete i Jämtlands län 112

Länsstyrelsen Kalmar län, Lars Ljungström, 2012. Regional handlingsplan för klimatanpassning Kalmar län

Länsstyrelsen i Kronobergs Län, 2016. Regional Handlingsplan för Klimatanpassning i Kronobergs Län (01)

Länsstyrelsen Skåne, 2020. Regional handlingsplan för klimatanpassning för Länsstyrelsen Skåne 2020–2024 (No. 03)

- Länsstyrelsen Stockholm, 2014. Ett robust samhälle Regional handlingsplan för klimatanpassning i Stockholms län (No. 14)
- Länsstyrelsen Västerbotten, 2014. Klimatanpassa Västerbotten Regional handlingsplan för klimatanpassning 2014–2016 Vägledning för det fortsatta lokala och regionala klimatanpassningsarbetet
- Länsstyrelsen Västmanlands län, 2013. Klimatstrategi för Västmanlands län (No. 12)
- Länsstyrelsen Östergötland, 2014. Regional handlingsplan för klimatanpassning i Östergötland (No. 12). Länsstyrelsen Östergötland, Linköping
- Ma, Y., Vigouroux, G., Kalantari, Z., Goldenberg, R., Destouni, G., 2020. Implications of Projected Hydroclimatic Change for Tularemia Outbreaks in High-Risk Areas across Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, 6786–6786. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186786>
- Mazi K, Koussis AD, Destouni G. 2013. Tipping points for seawater intrusion in coastal aquifers under rising sea level. *Environmental Research Letters* 8:014001. doi:10.1088/1748-9326/8/1/014001
- McElroy, S., Schwarz, L., Green, H., Corcos, I., Guirguis, K., Gershunov, A., Benmarhnia, T., 2020. Defining heat waves and extreme heat events using sub-regional meteorological data to maximize benefits of early warning systems to population health. *Science of The Total Environment* 721, 137678. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137678>
- Meier MF, Dyurgerov MB, Rick UK, O'Neel S, Pfeffer WT, Anderson RS, Anderson SP, Glazovsky AF. 2007. Glaciers Dominate Eustatic Sea-Level Rise in the 21st Century. *Science* 317:1064–1067. doi:10.1126/science.1143906. Publisher: American Association for the Advancement of Science Section: Report. Ministry of the Environment and Energy. 2017. Sweden's Seventh National Communication on Climate Change
- Meier, H.E.M., Eilola, K., Almroth-Rosell, E., Schimanke, S., Kniebusch, M., Höglund, A., Pemberton, P., Liu, Y., Väli, G., Saraiva, S., 2019. Disentangling the impact of nutrient load and climate changes on Baltic Sea hypoxia and eutrophication since 1850. *Climate Dynamics: Observational, Theoretical and Computational Research on the Climate System* 53, 1145. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4296-y>
- Mulligan CN, Yong RN, Gibbs BF. 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and ground-water: an evaluation. *Engineering Geology* 60:193–207. doi:10.1016/S0013-7952(00)00101-0

Müller, J. d., Schneider, B., Rehder, G., 2016. Long-term alkalinity trends in the Baltic Sea and their implications for CO₂-induced acidification. *Limnology and Oceanography* 61, 1984–2002. <https://doi.org/10.1002/lno.10349>

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2018. Översyn av områden med betydande översvämningsrisk: enligt förordning (2009:956) om översvämningsrisker :84

Nam, W.-H., Choi, J.-Y., Yoo, S.-H., Jang, M.-W., 2012. A decision support system for agricultural drought management using risk assessment. *Paddy and Water Environment* 10, 197. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0329-z>

Naturvårdsverket, 2019a. Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen: industrin i fokus (No. 6911)

Naturvårdsverket, 2019b. Handlingsplan för Naturvårdsverkets arbete med klimatanpassning

Naturvårdsverket, 2020a. Invasiva främmande arter – artfakta [WWW Document]. Naturvårdsverket. URL <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vaxter-och-djur/Frammande-arter/Invasiva-frammande-arter/> (accessed 11.6.20)

Naturvårdsverket, 2020b. Miljöövervakning av invasiva främmande arter i sötvatten. Naturvårdsverket. URL <https://www.naturvardsverket.se/Nyheter-och-pessmeddelanden/Nyhetsbrev/nyhetsbrev-invasiva-frammande-arter/Artiklar-2019/Miljoovervakning-av-invasiva-frammande-arter-i-sotvatten/> (accessed 11.8.20)

Naturvårdsverket, 2020c. National Land Cover Database : <http://www.swedishepa.se/State-of-the-environment/Maps-and-map-services/National-Land-Cover-Database/>

Nellbring, S., Sverige, Naturvårdsverket, 2011. Övervakning av främmande arter i Mälaren. Naturvårdsverket, Stockholm

Neset, T.-S., Wiréhn, L., Klein, N., Käyhkøb, J., Juhola, S., 2019. Maladaptation in Nordic agriculture. *Climate Risk Management* 23, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.12.003>

Neumann B, Vafeidis AT, Zimmermann J, Nicholls RJ. 2015. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *PLOS ONE* 10:e0118571. doi: 10.1371/journal.pone.0118571. Publisher: Public Library of Science

Nicholls RJ, Marinova N, Lowe JA, Brown S, Vellinga P, de Gusmão D, Hinkel J, Tol RSJ. 2011. Sea level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369:161–181. doi: 10.1098/rsta.2010.0291. Publisher: Royal Society

Nolan BT, Dubus IG, Surdyk N, Fowler HJ, Burton A, Hollis JM, Reichenberger S, Jarvis NJ. 2008. Identification of key climatic factors regulating the transport of pesticides in leaching and to tile drains. *Pest Management Science* 64:933–944. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.1587>

Nunes, A.L., Katsanevakis, S., Zenetos, A., Cardoso, A.C., 2014. Gateways to alien invasions in the European seas. *AI9*,133–144. <https://doi.org/10.3391/ai.2014.9.2.02>

Nygren M, Giese M, Kløve B, Haaf E, Rossi PM, Barthel R. 2020. Changes in seasonality of groundwater level fluctuations in a temperate-cold climate transition zone. *Journal of Hydrology X* 8:100062. doi:10.1016/j.hydroa.2020.100062

Okkonen J, Kløve B. 2011. A sequential modelling approach to assess groundwater–surface water resources in a snow dominated region of Finland. *Journal of Hydrology* 411:91–107. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.09.038

Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rossi F, Kozyra J, Micale F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34:96–112. doi:10.1016/j.eja.2010.11.003

Olofsson B. 1996. Salt Groundwater in Sweden - Occurrence and Origin :10

Olsson J, Foster K. 2014. Short-term precipitation extremes in regional climate simulations for Sweden. *Hydrology Research* 45:479–489. doi:10.2166/nh.2013.206. Publisher: IWA Publishing

Olson DM, Dinerstein E. 2002. The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 89(2):199–224. doi:10.2307/3298564.

Omstedt, A., Edman, M., Clamer, B., Frodin, P., Gustafsson, E., Humborg, C., Hägg, H., Mörth, M., Rutgersson, A., Schugers, G., Smith, B., Wällstedt, T., Yurova, A., 2012. Future changes in the Baltic Sea acid-base (pH) and oxygen balances. *Tellus. Series B, Chemical and physical meteorology* 64. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.19586>

Omstedt, A., Humborg, C., Pempkowiak, J., Perttilä, M., Rutgersson, A., Schneider, B., Smith, B., Perttilä, M., Pempkowiak, J., Perttilä, M., 2014. Biogeochemical control of the coupled CO₂-O₂ system of the Baltic Sea: A review of the results of Baltic-C. *Ambio* 43, 49–59. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0485-4>

Ou T. 2017. Droughts and wildfires in Sweden: past variation and future projection : <https://www.msb.se/sv/publikationer/droughts-and-wildfires-in-sweden-past-variation-and-future-projection-forskningstudie/>

- Oudin Åström, D., Åström, C., Forsberg, B., Vicedo-Cabrera, A.M., Gasparri, A., Oudin, A., Sundquist, K., 2020. Heat wave-related mortality in Sweden: A case-crossover study investigating effect modification by neighbourhood deprivation. *Scand J Public Health* 48, 428–435. <https://doi.org/10.1177/1403494818801615>
- Patterson D, Westbrook J, Joyce R, Lingren P, Rogasik J. 1999. Weeds, insects, and diseases. *Climatic Change* 43:711–727. doi:10.1023/A:1005549400875
- Persson K, Jarsjö J, Destouni G. 2011. Diffuse hydrological mass transport through catchments: scenario analysis of coupled physical and biogeochemical uncertainty effects. *Hydrology and Earth System Sciences* 15:3195–3206. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-15-3195-2011>. Publisher: Copernicus GmbH
- Peterson, A.T., 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains birds: generalities of biodiversity consequences. *Global Change Biology* 9, 647–655. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00616.x>
- Piccolroaz, S., Toffolon, M., Majone, B., 2015. The role of stratification on lakes' thermal response: The case of Lake Superior. *Water Resources Research* 51, 7878–7894. <https://doi.org/10.1002/2014WR016555>
- Piccolroaz, S., Woolway, R.I., Merchant, C.J., 2020. Global reconstruction of twentieth century lake surface water temperature reveals different warming trends depending on the climatic zone. *Climatic Change: An Interdisciplinary, International Journal Devoted to the Description, Causes and Implications of Climatic Change* 160, 427. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02663-z>
- Piemontese L, Fetzer I, Rockström J, Jaramillo F. Future Hydroclimatic Impacts on Africa: Beyond the Paris Agreement. *Earth's Future*. 0(0). doi:10.1029/2019EF001169. [accessed 2019 Jul 20]. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019EF001169>.
- Pihlainen, S., Zandersen, M., Hyttiäinen, K., Andersen, H.E., Bartosova, A., Gustafsson, B., Jabloun, M., McCrackin, M., Meier, H.E.M., Olesen, J.E., Saraiva, S., Swaney, D., Thodsen, H., 2020. Impacts of changing society and climate on nutrient loading to the Baltic Sea. *Science of The Total Environment* 731, 138935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138935>
- Porkka M, Gerten D, Schaphoff S, Siebert S, Kummu M. 2016. Causes and trends of water scarcity in food production. *Environmental Research Letters* 11:015001. doi:10.1088/1748-9326/11/1/015001. Publisher: IOP Publishing
- Prudhomme C, Giuntoli I, Robinson EL, Clark DB, Arnell NW, Dankers R, Fekete BM, Franssen W, Gerten D, Gosling SN, Hagemann S, Hannah DM, Kim H, Masaki Y, Satoh Y, Stacke T, Wada Y, Wisser D. 2014. Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:3262–3267.

doi:10.1073/pnas.1222473110. Publisher: National Academy of Sciences Section: Physical Sciences.1

Raguž V, Jarsjö J, Grolander S, Lindborg R, Avila R. 2013. Plant uptake of elements in soil and pore water: Field observations versus model assumptions. *Journal of Environmental Management* 126:147–156. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.055

Rankka K, Rydell B. 2005. Erosion och översvämningar: Underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat

Rasmussen P, Sonnenborg T, G G, Hinsby K. 2013. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer. *Hydrology and Earth System Sciences* 17:421–443. doi:10.5194/hess-17-421-2013

Regeringskansliet, R. och, 2019. Jordbruksverket betalar ut över en miljard i stöd efter torkan sommaren 2018 [WWW Document]. Regeringskansliet. URL <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2019/04/jordbruksverket-betalar-ut-over-en-miljard-i-stod-efter-torkan-sommaren-2018/> (accessed 10.16.20)

Richardson, A.D., Hufkens, K., Milliman, T., Aubrecht, D.M., Furze, M.E., Seyednasrollah, B., Krassovski, M.B., Latimer, J.M., Nettles, W.R., Heiderman, R.R., Warren, J.M., Hanson, P.J., 2018. Ecosystem warming extends vegetation activity but heightens vulnerability to cold temperatures. *Nature* 560, 368–371. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0399-1>

Rocklöv, J., Forsberg, B., 2008. The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998—2003: A study of lag structures and heatwave effects. *Scand J Public Health* 36, 516–523. <https://doi.org/10.1177/1403494807088458>

Rocklöv, J., Forsberg, B., Ebi, K., Bellander, T., 2014. Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. *Global Health Action* 7, 1-N.PAG. <https://doi.org/10.3402/gha.v7.22737>

Rodhe A, Lindström G, Dahné J. 2009. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat :44

Rodríguez-Verdugo, A., Lozano-Huntelman, N., Cruz-Loya, M., Savage, V., Yeh, P., 2020. Compounding Effects of Climate Warming and Antibiotic Resistance. *iScience* 23. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101024>

Rohat, G., Flacke, J., Dosio, A., Pedde, S., Dao, H., van Maarseveen, M., 2019. Influence of changes in socioeconomic and climatic conditions on future heat-related health challenges in Europe. *Global and Planetary Change* 172, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.013>

- Roos, J., Hopkins, R., Kvarnheden, A., Dixelius, C., 2011. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. *European Journal of Plant Pathology* 129, 9–19. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9692-z>
- Rost, S., Gerten, D., Bondeau, A., Lucht, W., Rohwer, J., Schaphoff, S., 2008. Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resources Research* 44. <https://doi.org/10.1029/2007WR006331>
- Rydén, P., Sjöstedt, A., Johansson, A., 2009. Effects of climate change on tularaemia disease activity in Sweden. *Global Health Action* 2, 91–97. <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2063>
- Rötter, R.P., Höhn, J.G., Fronzek, S., 2012. Projections of climate change impacts on crop production: A global and a Nordic perspective. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 62, 166–180. <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.793735>
- Sametinget, 2017. Handlingsplan för samiska näringar och samisk kultur
- Sandström, A., Ragnarsson Stabo, H., Axenrot, T., Bergstrand, E., 2014. Has climate variability driven the trends and dynamics in recruitment of pelagic fish species in Swedish Lakes Vanern and Vattern in recent decades? *Aquatic Ecosystem Health & Management* 17, 349–356. <https://doi.org/10.1080/14634988.2014.975668>
- Saraiva, S., Markus Meier, H.E., Andersson, H., Höglund, A., Dieterich, C., Gröger, M., Hordoir, R., Eilola, K., 2019. Baltic Sea ecosystem response to various nutrient load scenarios in present and future climates. *Clim Dyn* 52, 3369–3387. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4330-0>
- Sari Kovats, R., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J.-F., 2014. Europe. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 1267–1326
- SCB. 2017. Environmental Accounts MIR 2017:1, Water Use in Sweden 2015. :57
- Schiedek D, Sundelin B, Readman JW, Macdonald RW. 2007. Interactions between climate change and contaminants. *Marine Pollution Bulletin* 54:1845–1856. doi:10.1016/j.marpolbul.2007.09.020
- Schmid, M., Köster, O., 2016. Excess warming of a Central European lake driven by solar brightening. *Water Resources Research* 52, 8103–8116. <https://doi.org/10.1002/2016WR018651>
- Schwartz, M.D., Ahas, R., Aasa, A., 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12, 343–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x>

Seftigen K, Linderholm HW, Drobyshv I, Niklasson M. 2013. Reconstructed drought variability in south- eastern Sweden since the 1650s. *International Journal of Climatology* 33:2449–2458. doi:10.1002/joc.3592. eprint: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/joc.3592>

SGU (2009). Sveriges Grundvattentillgångar – betydelse för näringslivsutveckling och tillväxt - Utredning på uppdrag av regeringen

SCB, 2020. The future population of Sweden 2020 - 2070. urn:nbn:se:scb-2020-be18sm2001_pdf

SGI, 2017. Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat. SGI Publikation 35, Statens geotekniska institut, Linköping.

SGU, 2017. Sveriges geologiska undersöknings handlingsplan för klimatanpassning. Report 2017:04

SGU. 2020. Contaminated areas :<https://www.sgu.se/en/physical-planning/contaminated-areas/>

SGU. 2017. Grundvattennivåer i augusti eprint: <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2017/augusti/grundvattennivaer-i-augusti/>

SGU. 2020 Wells: <https://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/oppna-data/grundvatten-oppna-data/brunnar/>

Sherif MM, Singh VP. 1999. Effect of climate change on sea water intrusion in coastal aquifers. *Hydrological Processes* 13:1277–1287.

Siebert S, Burke J, Faures JM, Frenken K, Hoogeveen J, Döll P, Portmann FT. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences* 14:1863–1880. doi:<https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>. Publisher: Copernicus GmbH

Solomon CT, Jones SE, Weidel BC, Buffam I, Fork ML, Karlsson J, Larsen S, Lennon JT, Read JS, Sadro S, Saros JE. 2015. Ecosystem Consequences of

Sterk, A., Schijven, J., de Nijs, T., de Roda Husman, A.M., 2013. Direct and Indirect Effects of Climate Change on the Risk of Infection by Water-Transmitted Pathogens. *Environ. Sci. Technol.* 47, 12648–12660. <https://doi.org/10.1021/es403549s>

Skogsstyrelsen, 2020. Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder. Report 2019/23

Small C, Nicholls RJ. 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research* 19:584–599. Publisher: Coastal Education & Research Foundation, Inc

SMHI, 2018. Vad är RCP? [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarioer/vad-ar-rcp-1.80271> (accessed 12.21.20)

SMHI, 2019. Varningar för höga temperaturer [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/varning-for-mycket-hoga-temperaturer-1.30684> (accessed 10.1.20)

SMHI, 2020a. Länsvisa klimatanalyser [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/lansanalyser/sweden/heat-wave> (accessed 10.24.20)

SMHI, 2020b. Myndigheters arbete med klimatanpassning 2019 [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/publikationer/myndigheters-arbete-med-klimatanpassning-2019-1.159759> (accessed 9.14.20)

SMHI, 2020c. Månads-, årstids- och årskartor [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/data/meteorologi/kartor/manadsmedeltemperatur-avvikelse/arligh/2018> (accessed 12.15.20)

SMHI. 2003. The Swedish regional climate modeling program, SWECLIM, 1996-2003. Final Report

SMHI. 2019. Havsnivå – medelvattenstånd i framtiden. MHI: <https://www.smhi.se/klimat/havet-och-klimatet/havsniva-1.120165>
SMHI. 2020. Klimatscenarioer

Sonesten, L., Wallman, K., Axenrot, T., Beier, U., Drakare, S., Ecke, F., Goedkoop, W., Grandin, U., Köhler, S., Segersten, J., Vrede, T., Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö, S. lantbruksuniversitet, 2013. Mälaren tillståndsutvecklingen 1965-2011. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P., 2015. European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Global and Planetary Change* 127, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.012>

Spinoni, J., Vogt, J.V., Naumann, G., Barbosa, P., Dosio, A., 2018. Will drought events become more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology* 38, 1718–1736. <https://doi.org/10.1002/joc.5291>

Statens Veterinärmedicinska Anstalt, Albihn, A., Alizadeh, E., Artursson, K., Axén, C., Elving, J., Eriksson, E., Gröndahl, G., Hallgren, G., Lindström, A., Nordkvist, E., Omazic, A., Pers, Y., 2019. Handlingsplan för klimatanpassning 2019 En rapport om klimatets påverkan på djuren 40

Steffens K, Jarvis N, Lewan E, Lindström B, Kreuger J, Kjellström E, Moeys J. 2015. Direct and indirect effects of climate change on herbicide leaching — A regional scale assessment in Sweden. *Science of The Total Environment* 514:239–249. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.12.049

Stenrød M, Perceval J, Benoit P, Almvik M, Bolli RI, Eklo OM, Sveistrup TE, Kværner J. 2008. Cold climatic conditions: Effects on bioavailability and leaching of the mobile pesticide metribuzin in a silt loam soil in Norway. *Cold Regions Science and Technology* 53:4–15. doi:10.1016/j.coldregions.2007.06.007

Strandberg, G., Bähring, L., Hansson, U., Jansson, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A., Wang, S., 2015. CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4 (No. ISSN: 0347-2116), RMK 116. SMHI, Sweden

Stroeve J, Holland MM, Meier W, Scambos T, Serreze M. 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophysical Research Letters* 34. doi:10.1029/2007GL029703 eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2007GL029703>

Sundén G, Maxe L, Dahné J. 2010. Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat :46

Sutinen R, Hänninen P, Venäläinen A. 2008. Effect of mild winter events on soil water content beneath snowpack. *Cold Regions Science and Technology* 51:56–67. doi:10.1016/j.coldregions.2007.05.014

Swedish EPA. 2017. Description of the management of contaminated sites 2016 (in Swedish, Lägesbeskrivning av arbetet med efterbehandling av förorenade områden 2016, Ärende nummer NV 03165–16, Skrivelse till regeringen 2017-04-06), Letter to the Government 2017-04-06, Case number NV-03165-16. [:http://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/mark/foroerade-omraden/lagesbeskrivning-2016-ebh-objekt.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/mark/foroerade-omraden/lagesbeskrivning-2016-ebh-objekt.pdf)

Tallaksen LM, Van Lanen HAJ. 2004. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Stream- flow and Groundwater*. Elsevier. Google-Books-ID: eXLDwgxG0ikC

Teutschbein, C., Sponseller, R.A., Grabs, T., Blackburn, M., Boyer, E.W., Hytteborn, J.K., Bishop, K., 2017. Future Riverine Inorganic Nitrogen Load to the Baltic Sea From Sweden: An Ensemble Approach to Assessing Climate Change Effects. *Global Biogeochemical Cycles* 31, 1674–1701. <https://doi.org/10.1002/2016GB005598>

Tian, L., Yuan, S., Quiring, S.M., 2018. Evaluation of six indices for monitoring agricultural drought in the south-central United States. *Agricultural and Forest Meteorology* 249, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.024>

Toffolon, M., Piccolroaz, S., Majone, B., Soja, A.-M., Peeters, F., Schmid, M., Wüest, A., 2014. Prediction of surface temperature in lakes with different morphology using air temperature. *Limnology and Oceanography* 59, 2185–2202. <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.6.2185>

Tóth G, Hermann T, Da Silva MR, Montanarella L. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International* 88:299–309. doi:10.1016/j.envint.2015. 12.017

Trnka M, Olesen JE, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Eitzinger J, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rötter R, Iglesias A, Orlandini S, Dubrovský M, Hlavinka P, Balek J, Eckersten H, Cloppet Calanca,P, Gobin A, Vúčetić V, Nejedlik P, Kumar S, Lalic B, Mestre A, Rossi F, Kozyra J, Alexandrov V, Semerádová D, Zalud Z. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17:2298, 2318.doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x>

Tudoran, M.-M., Marquer, L., Jönsson, A.M., 2016. Historical experience (1850–1950 and 1961–2014) of insect species responsible for forest damage in Sweden: Influence of climate and land management changes. *Forest Ecology and Management* 381, 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.044>

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. <https://doi.org/10.1111/gcb.14031>

Törnqvist R, Jarsjö J, Karimov B. 2011. Health risks from large-scale water pollution: Trends in Central Asia. *Environment International* 37:435–442. doi:10.1016/j.envint.2010.11.006

United Nations, 2012. Slow onset events Technical paper FCCC/TP/2012/7

van der Velde, Y., Vercauteren, N., Jaramillo, F., Dekker, S.C., Destouni, G., Lyon, S.W., 2014. Exploring hydroclimatic change disparity via the Budyko framework. *Hydrological Processes* 28, 4110–4118. <https://doi.org/10.1002/hyp.9949>

Van Lanen HAJ, Wanders N, Tallaksen LM, Van Loon AF. 2012. Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 9:12145–12192. doi:10.5194/hessd-9-12145-2012

Van Loon AF. 2015. Hydrological drought explained. *WIREs Water* 2:359–392. doi:10.1002/wat2.1085. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/wat2.1085>.

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O.-P., Viiri, H., Ikonen, V.-P., Peltola, H., 2020. Climate change induces multiple risks to

boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global change biology* 26, 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Vikberg E, Thunholm B, Thorsbrink M, Dahné J. 2015. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier :26

Vonberg D, Vanderborght J, Cremer N, Pütz T, Herbst M, Vereecken H. 2014. 20 years of long-term atrazine monitoring in a shallow aquifer in western Germany. *Water Research* 50:294–306. doi:10.1016/j.watres. 2013.10.032

Voss, R., Quaas, M.F., Stiasny, M.H., Hänsel, M., Stecher Justiniano Pinto, G.A., Lehmann, A., Reusch, T.B.H., Schmidt, J.O., 2019. Ecological-economic sustainability of the Baltic cod fisheries under ocean warming and acidification. *Journal of Environmental Management* 238, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.105>

Wasof, S., Lenoir, J., Gallet-Moron, E., Jamoneau, A., Brunet, J., Cousins, S.A.O., De Frenne, P., Diekmann, M., Hermy, M., Kolb, A., Liira, J., Verheyen, K., Wulf, M., Decocq, G., 2013. Ecological niche shifts of understorey plants along a latitudinal gradient of temperate forests in north-western Europe. *Global Ecology and Biogeography* 22, 1130–1140

Wesström, I., Hargeby, A., Tonderski, K., Naturvårdsverket, 2017. Miljökonsekvenser av markavvattning och dikesrensning. En kunskapssammanställning

Weyhenmeyer, G.A., 2001. Warmer Winters: Are Planktonic Algal Populations in Sweden's Largest Lakes Affected? *Ambio* 30, 565–571

Wilhelmi, O.V., Wilhite, D.A., 2002. Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards* 25, 37. <https://doi.org/10.1023/a:1013388814894>

Williams JW, Jackson ST. 2007. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5(9):475–482. doi:10.1890/070037.

Williams JW, Jackson ST, Kutzbach JE. 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(14):5738–5742. doi:10.1073/pnas.0606292104.

Wivstad, M., 2010. Klimatförändringarna - en utmaning för jordbruket och Giftfri miljö. Kemikalieinspektionen PM 2/10 97

Widerström, M., Schönning, C., Lilja, M., Lebbad, M., Ljung, T., Allestam, G., Ferm, M., Björkholm, B., Hansen, A., Hiltula, J., Långmark, J., Löfdahl, M.,

- Omberg, M., Reuterwall, C., Samuelsson, E., Widgren, K., Wallensten, A., Lindh, J., 2014. Large Outbreak of *Cryptosporidium hominis* Infection Transmitted through the Public Water Supply, Sweden - Volume 20, Number 4—April 2014 - Emerging Infectious Diseases journal - CDC 20.
<https://doi.org/10.3201/eid2004.121415>
- Woolway, R.I., Maberly, S.C., 2020. Climate velocity in inland standing waters. *Nature Climate Change* 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0889-7>
- Wu WY, Lo MH, Wada Y, Famiglietti JS, Reager JT, Yeh PJF, Ducharme A, Yang ZL. 2020. Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications* 11:3710.
doi:10.1038/s41467-020-17581-y. Number: 1 Publisher: Nature Publishing Group
- Wählström, I., Höglund, A., Almroth-Rosell, E., MacKenzie, B.R., Gröger, M., Eilola, K., Plikshs, M., Andersson, H.C., 2020. Combined climate change and nutrient load impacts on future habitats and eutrophication indicators in a eutrophic coastal sea. *Limnol Oceanogr* 65, 2170–2187.
<https://doi.org/10.1002/lno.11446>
- Xu Cy. 2000. Modelling the Effects of Climate Change on Water Resources in Central Sweden. *Water Resources Management* 14:177–189.
doi:10.1023/A:1026502114663
- Zohner, C. m., Renner, S. s., Benito, B. m. (2), Svenning, J.-C., 2016. Day length unlikely to constrain climate-driven shifts in leaf-out times of northern woody plants. *Nature Climate Change* 6, 1120–1123.
<https://doi.org/10.1038/nclimate3138>
- Åby, B.A., Kantanen, J., Aass, L., Meuwissen, T., 2014. Current status of livestock production in the Nordic countries and future challenges with a changing climate and human population growth. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 64, 73–97. <https://doi.org/10.1080/09064702.2014.950321>
- Ågren J, Svensson R. 2007. Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000 :124
- Øygarden, L., Deelstra, J., Lagzdins, A., Bechmann, M., Greipsland, I., Kyllmar, K., Povilaitis, A., Iital, A., 2014. Climate change and the potential effects on runoff and nitrogen losses in the Nordic–Baltic region. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Nitrogen losses from agriculture in the Baltic Sea region* 198, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.025>



I samarbete med:

