

Examensarbete INES nr **498**

En sammanställning av biotiska och abiotiska hot mot framtida produktion av gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) under RCP 8.5 och RCP 2.6 i Sverige

Clara Jonsson

2019
Institutionen för
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds universitet
Sölvegatan 12
S-223 62 Lund
Sweden



Clara Jonsson (2019).

En sammanställning av biotiska och abiotiska hot mot framtida produktion av gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) under RCP 8.5 och RCP 2.6 i Sverige

A compilation of biotic and abiotic threats toward the future production of Norway spruce (*Picea abies*) and Scott's pine (*Pinus sylvestris*) under RCP 8.5 and RCP 2.6 in Sweden.

Masterarbete, 30 högskolepoäng inom *Naturgeografi och Ekosystemanalys*
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds universitet

Master degree thesis, 30 credits in *Physical geography and Ecosystem Science*
Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University

Nivå: Master of Science (MSc)

Level: Master of Science (MSc)

Kursperiod: *januari* 2019 till *juni* 2019

Course duration: *January* 2019 until *June* 2019

Ansvarsfriskrivning

Detta dokument beskriver det arbete som utförts inom ett studieprogram vid Lunds universitet. Alla synpunkter och åsikter som uttrycks i denna är den ansvarige författarens, och inte nödvändigtvis institutionens.

Disclaimer

This document describes work undertaken as part of a program of study at the University of Lund. All views and opinions expressed herein remain the sole responsibility of the author, and do not necessarily represent those of the institute.

En sammanställning av biotiska och abiotiska hot mot framtida produktion av gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) under RCP 8.5 och RCP 2.6 i Sverige

Clara Jonsson

Masterexamenarbete, 30 högskolepoäng, i *Naturgeografi och Ekosystemanalys*

Handledare:
Fredrik Lagergren
Lund University

Examinator:
Janne Rinne, Lund University
Adrian Gustafson, Lund University

Förord

Jag vill tacka min handledare Fredrik Lagergren som varit till stor hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka Sören Wulff vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå som delat med sig av Riksskogstaxeringens data avseende skogsbeståndsskador i Sverige. Slutligen vill jag tacka Erik Normark och Patrik Olsson på Skogsstyrelsen för hjälp under arbetets uppstartningsfas.

Abstract

Climate observations are showing that air temperatures are constantly increasing, and modelled data indicates that temperatures will continue rising in the future. Changes in the climate will affect ecosystems and consequentially, the ecosystem services we depend upon. In Sweden, forests are among the most important ecosystems for humans. The forest is a major part of the Swedish economy. Currently, several different types of damage, or risk, affect Swedish forests annually. These damages can be biotic or abiotic. The threat that these damage types pose, will only increase with climate change. This study investigated which types of damage pose the greatest threat to spruce and pine populations in Sweden, and how these damage types will be affected by climate change. Firstly, a literature study was carried out to determine what the threat scenario looks like today and which damage types can be affected by changes in temperature and precipitation. Secondly, a quantitative analysis was conducted on selected biotic and abiotic damage types, using climate data that follows IPCC's RCP 8.5 and 2.6 scenarios. Finally, maps were constructed, illustrating that many of damage groups that pose the largest threat to the Swedish forest industry will be favoured by increasing temperatures and changes in precipitation patterns. The study is general, yet comprehensive, and can be used as a starting point for future studies regarding the effect of climate change on threats to Swedish forests.

Sammanfattning

Observationer visar på ständigt stigande temperaturer och modellerade data pekar på fortsatta temperaturökningar för framtiden. Förändringar i klimatet kommer påverka ekosystem och därmed de tjänster vi får ifrån dem. I Sverige är skogen ett av de viktigaste ekosystemen för oss människor. Skogen är av största vikt för Sveriges ekonomi. I dagsläget förekommer flera olika skador på svensk skog årligen. Skadorna kan vara biotiska eller abiotiska. Hotbilden som skador utgör kommer förändras med klimatförändringar. I denna studie undersöks vilka de största hoten mot gran- och tallbestånd i Sverige och hur de kommer påverkas av klimatförändringar. En litteraturstudie har gjorts för att fastställa hur hotbilden ser ut i dagsläget och vilka hot som kan påverkas av förändringar i temperatur och nederbörd. Sedan har en kvantitativ analys utförts på utvalda biotiska och abiotiska skador med användning av klimatdata som följer IPCCs RCP 8.5 och 2.6 scenarier. Slutligen har kartor sammanställts som visar att många av de största hoten mot svensk skogsproduktion kommer gynnas av temperaturökningar och förändringar i nederbördsmonster. Även om studien är väldigt bred och övergripande, kan den användas som startpunkt för framtida studier av klimatpåverkan på skador på svenska skogar.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	1
1.1 Inledning.....	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
2. Bakgrund och litteraturstudie.....	3
2.1 Skogsstyrelsen och Sveriges Lantbruksuniversitet.....	3
2.2 Biotiska störningar	3
2.2.1 Insekter	3
2.1.2 Svampar.....	5
2.1.3 Hjortvilt	7
2.3 Abiotiska störningar.....	8
2.3.1 Torka.....	8
2.3.2 Storm	8
3. Data och metod	9
3.1 Studieområde	10
3.2 Utvalda biotiska och abiotiska hot för kvantitativ analys.....	10
3.3 E-OBS data	10
3.4 Modellerad klimatdata EURO-CORDEX.....	11
3.5 Indexberäkningar	12
3.5.1 Granbarkborre och snytbagge.....	12
3.5.2 Märgborre	13
3.5.3 Rotröta	13
3.5.4 Gremmeniella	13
3.5.5 Torka.....	13
3.4 Statistik	14
3.5 GIS	14
4. Resultat	15
4.1 Statistik över temperatur och nederbörd	15
4.2 Biotiska hot.....	16
4.2.1 Granbarkborre och snytbagge.....	16
4.2.2 Märgborre	18
4.2.3 Rotröta	19
4.2.4 Gremmeniella	19
3.2 Abiotiska hot.....	21
3.2.1 Torka.....	21

.....	22
5. Diskussion.....	23
5. 1 Biotiska hot mot Sveriges skogsproduktion	23
5.1.1 Insekter	23
5.1.2 Svampar	24
5.1.3 Hjortvilt	25
5.2 Abiotiska hot mot Sveriges skogsproduktion	25
5.2.1 Torka.....	25
5.2.2 Storm	26
5.3 Begränsningar och framtida studier	26
6. Slutsats	27
7.Referenser	28

1. Introduktion

1.1 Inledning

Enligt *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), working group I, definieras klimatförändringar som en statistiskt signifikant variation i medelläget för klimatet under en längre tidsperiod (2013). Observationer visar på ständigt stigande globala temperaturer och modeller, presenterade som *Representative Concentration Pathway* (RCP) scenarier, predicerar fortsatt temperaturökning och förändrade nederbördsmonster och medföljande förändringar för ekologiska system som vi människor är beroende av för att överleva (IPCC, 2013). RCP scenario 2.6 innebär att jordens medeltemperatur slutar öka och RCP scenario 8.5 innebär att inga åtgärder tas för att minska utsläpp och undvika medeltemperaturökning (IPCC, 2013). Sveriges skog tillhandahåller ekosystemtjänster som är av största vikt ur flera olika aspekter, inte minst den ekonomiska. Den svenska skogsindustrin står för cirka 10% av landets industriella BNP (Carlgren, 2018). Tillika detta, är Sverige den tredje största exportören av skogsprodukter i världen; till exempel stod pappersindustrin för 77 miljarder kronor år 2017 (SCB, 2018). Utöver skogens ekonomiska betydelse, bidrar den även med flera andra ekosystemtjänster, som till exempel kolbindning, markstabilisering och bevarandet av biologisk mångfald (Seidl et al., 2016).

Majoriteten av Sveriges skogsbestånd består av gran (*Picea abies*) (40,8%) och tall (*Pinus sylvestris*) (39%) (SLU, 2017). Båda dessa arter utsätts varje år i varierande grad för skador orsakade av biotiska och abiotiska skogsstörningar. Dessa störningar förekommer naturligt i skogsekosystem. Både biotiska och abiotiska störningar påverkar skogens dynamik, sammansättning, biodiversitet samt dess biofysiska och geokemiska processer, inklusive kolbindning och vattencyklar (Weed et al., 2013). Även om störningar har en viktig roll i formgivandet av skogliga ekosystem, kan förändringar i utbredningen för störningarna, allvarlighetsgraden av skadorna som störningarna orsakar, samt typ av störning förändra skogsekosystem för snabbt relativt till historiska normer (Weed et al., 2013).

I dagsläget finns flera naturligt förekommande biotiska och abiotiska skogsstörningar som utgör hot av varierande grad mot gran- och tallbestånd i Sverige. Biotiska hot innefattar bland annat klövvilt, insekts- och svamputbrott (Eidmann och Klingström, 1990, Normark och Fries, 2018, Kårén et al., 2018). Abiotiska hot inkluderar bland annat storm, torka och skogsbrand (Eidmann och Klingström, 1990, Normark och Fries, 2018, Kårén et al., 2018). Dessa

störningar kan medföra lindriga till förödande skador på skogsindustrin; nämligen genom att trädens storlek och kvalitet påverkas (både på individnivå och beståndsnivå) samt genom kostnadsökningar på grund av behovet av att implementera förebyggande och bärgande åtgärder.

Alla skogsstörningar påverkas direkt eller indirekt av klimatet. Abiotiska störningar påverkas direkt med temperatur och nederbördsförändringar och biotiska störningar påverkas indirekt då skogsorganismers livscyklar påverkas av extrema vädertillfällen (som till exempel storm, torka eller översvämningar), säsongslängder och nederbördsmönster, vilket i sin tur leder till fler eller färre och kraftigare eller lindrigare skador (Kårén et al., 2018, Jönsson och Barring, 2011). Fortsatta klimatförändringar utgör därför en signifikant risk för att skogsstörningar kommer påverkas. Skadepotentialen för Sveriges skog i ett förändrat framtidsklimat är hög och därför är det viktigt att utöka kunskap gällande hur skogsstörningar kommer påverkas och hur detta i sin tur kommer påverka svensk skog för att säkerställa bevarandet av skogens ekosystemtjänster på ett hållbart sätt (IPCC, 2013, Seidl et al., 2016).

Ökad förståelse för hur skogsindustrin kan komma att påverkas av klimatberoende störningar i framtiden kan utgöra en grund för utveckling av försiktighetsåtgärder med syfte att förbereda för och reducera skador.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att besvara följande frågeställningar:

1. Vilka biotiska och abiotiska hot är störst för dagens skogsproduktion och hur ser skadebilden ut idag?
2. Hur påverkas dessa hot av väder och klimat i dagsläget?
3. Hur kommer framtidens klimat påverka biotiska och abiotiska hot mot tall- och granproduktionen i Sverige?
4. Vilka biotiska och abiotiska hot kommer öka och vilka kommer minska i framtidens klimat?
5. Var i Sverige kommer de olika biotiska och abiotiska hoten orsaka störst problem för skogsproduktionen under två olika klimatscenarier; RCP 2.6 och RCP 8.5?

Studien är strukturerad på följande sätt; först diskuteras kvalitativa resultat i form av en litteraturstudie, därefter följer en data- och metodbeskrivning för framställandet av en kvantitativ undersökning på vissa selekterade störningar funna i litteraturstudien med

efterföljande resultat. Till sist diskuteras resultaten från litteraturstudien och den kvantitativa undersökningen i diskussionen.

2. Bakgrund och litteraturstudie

2.1 Skogsstyrelsen och Sveriges Lantbruksuniversitet

För att säkerställa skogens ekonomiska och ekologiska vikt för Sveriges framtid är det viktigt att bedriva skogsindustrin och skogsskötsel på ett hållbart sätt (Kårén et al., 2018). I dagsläget finns redan flera skogsstörningar som utgör ett hot mot denna hållbarhet. En sammanställning av fältinventeringar av olika skadeorsaker mellan 2004-2017 från Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) påvisar förekomsten av flera olika biotiska och abiotiska skador över hela Sverige under de senaste 15 åren, där Mellan- och Nordsverige är de mest utsatta områdena (SLU, 2004-2017). Fältdata med konkreta observationer är av stor signifikans när det gäller utredningar och sammanställningar av sådant som skogsskador. Fältdata räcker inte till för att kunna få en heltäckande lägesbild av skogens utsatthet. Däremot blir det tydligt att fortsatt insamling av observationsdata samt sammanställningar av nuvarande och framtida lägesbilder är av största vikt för att kunna minska skadorna från olika skogsstörningar.

2.2 Biotiska störningar

I denna studie syftar biotiska störningar på levande faktorer som påverkar skogens ekosystem och Sveriges skogsindustri. Mer specifikt innebär detta hur dessa påverkar gran och tall.

2.2.1 Insekter

Ips typographus - Granbarkborre

Granbarkborren är en typ av barkborre som har kapacitet till att orsaka förödande skador på granbestånd i Sverige (Eidmann och Klingström, 1990, Normark och Fries, 2018, Kårén et al., 2018). Även på en global skala är barkborrearter ett stort problem (Marini et al., 2017). Granbarkborrar förekommer överallt i hela Sverige. De ynglar helst på gran, men angriper även tall (Eidmann och Klingström, 1990). I ett balanserat ekosystem angriper granbarkborren mest bara skadade träd, men om populationen är stor attackerar de även helt friska träd (Eidmann och Klingström, 1990). Extrema väder så som storm och torka kan gynna granbarkborren enormt, då större arealer med träd får nedsatt livskraft och blir lättare för granbarkborren att angripa (Jönsson och Barring, 2011, Eidmann och Klingström, 1990). Barkborrar har två faser i sin livscykel: spridningsfasen där de letar yngelmaterial fram till när insekterna borrar sig in

i materialet; och utvecklingsfasen som inleds med äggläggning och avslutas med att den nya generationen lämnar yngelmaterialet (Eidmann och Klingström, 1990). Klimatförändringar förväntas påverka granbarkborren på två sätt; indirekt genom ökad risk för fler skador på tidigare friska träd orsakade av extrema väderförhållanden som medföljer klimatförändringar, och direkt genom att temperaturökningar gynnar granbarkborrens livscykel (Jönsson och Barring, 2011, Wermelinger, 2004, Marini et al., 2017, Kårén et al., 2018). Barkborreutbrott är högst temperaturberoende då insekterna behöver en minimumtemperatur på ca 6 °C för att utvecklas (Marini et al., 2017, Eidmann och Klingström, 1990, Wermelinger, 2004). Barkborreutbrott börjar därmed oftast under våren. Svärmningen börjar när dagsmedeltemperaturen ligger på 16 °C (Jönsson et al., 2009, Jönsson och Barring, 2011, Berec et al., 2013). Granbarkborren kommer främst påverkas av temperaturförändringar orsakade av klimatförändringar då utveckling och svärmning kan ske tidigare på året, vilket kan leda till att fler generationer av barkborrar kan bildas per år, vilket i sin tur leder till ännu större skadegörelse (Marini et al., 2017, Eriksson et al., 2016). Utöver detta kommer ökningarna i stormfrekvens och magnitud påverka tillgängligheten av yngelmateriäl för granbarkborren, eftersom fallna träd innebär mer yngelmateriäl och därför leder detta till en större risk för utbrott och ökningarna i årliga generationsfrekvenser (Jönsson och Barring, 2011).

Tomicus piniperda - Större mörghorre

Mörghorror är också en typ av barkborrar som förekommer i hela landet och orsakar skador främst på tall (Eidmann och Klingström, 1990, Witzell et al., 2009). Mörghorren borrar sig in i och urholkar tallskott, vilket orsakar att de bryts och ramlar av. Vid stora utbrott förlorar tallar så mycket barrmassa att hela trädets tillväxt påverkas negativt (Witzell et al., 2009). Det är även stor risk att liggande virke och skog skadat av extrema väderförhållanden blir angripna. Mörghorren svärmar tidigare än granbarkborren, då den gör det redan vid ca 12 °C (Heliövaara och Peltonen, 1999, Eidmann och Klingström, 1990). Generationstiden för mörghorren är relativt kort och därför kan det förekomma en andra kull under en säsong (Eidmann och Klingström, 1990). Mörghorresnagning kan fortsätta långt in på hösten in i oktober-november, alltså är säsongen redan idag väldigt lång för mörghorren (Witzell et al., 2009). Med temperaturökningar kommer mörghorren troligtvis kunna svärma ännu tidigare på våren, samt fortsätta näringsnagning ännu längre in på hösten och vintern, vilket ökar sannolikheten att mer än en kull ägg kan läggas på en säsong. Detta kan orsaka signifikanta ändringar för talltillväxt, vilket i sin tur innebär en kvalitetsminskning av virke och ekonomiska förluster (Heliövaara och Peltonen, 1999).

Både granbarkborrar och mörkborror omfattas av Skyddsåtgärder §29 (1993:553) i Skogsvårdslagen. Virke får inte lagras under längre perioder under sommarmånader, eftersom risken för att barkborrar använder materialet som yngelmaterial är för hög. Detta innefattar även stormfällt virke. I norra Sverige får rått barrvirke som avverkats före 15 juni inte lagras efter 15 juli, och granvirke som avverkats under perioden 15 juni – 15 juli får inte lagras efter 15 augusti. I södra Sverige får rått barkvirke som avverkats före 1 juni inte lagras efter 1 juli. Med ett förändrat klimat som gynnar barkborrar, kan dessa bestämmelser tänkas behövas ändras.

Hylobius abietis - Snytbagge

Snytbaggen förekommer i hela Sverige och även den orsakar enorma skador på planteringar i dagsläget (Nordlander et al., 2017, Brunette och Cauria, 2016). Snytbaggar kommer fram på våren när temperaturer är runt 8 °C och äter barken på barrträd (Eidmann och Klingström, 1990). Tillika granbarkborren svärmar snytbaggen vid 16 °C (Eidmann och Klingström, 1990, Nordlander et al., 2017). Snytbaggen ynglar främst på stubbar i öppna områden, som till exempel vid kalhyggen (Eidmann och Klingström, 1990). När larverna är färdigutvecklade kommer de nykläckta baggarna fram och gnager på barken på såväl unga plantor som äldre träd nära rothalsen vilket kan orsaka ringbarkning på små plantor (Eidmann och Klingström, 1990). Snytbaggar äter främst på tall, men skadar också gran. Med ökade temperaturer i framtiden kommer snytbaggen kunna komma fram tidigare på våren efter övervintring, och dessutom börja övervintra senare, vilket leder till en förlängning av gnagsäsongen (Wainhouse et al., 2014).

2.1.2 Svampar

Heterobasidion annosum – Rotröta (rotticka)

Rotröta orsakar ekonomiska förluster på 790 miljoner euro i Europa varje år (Jactel et al., 2017). En stor anledning till dessa förluster är att rotrötaangrepp oftast leder till att gran som skulle bli timmer får nerklassas till massaved (Witzell et al., 2009). Rotröta orsakar också problem för ungskog och trädutväxt (Eidmann och Klingström, 1990). Försvagningen av rötterna där svampen attackerar innebär också att drabbade träd lättare faller under stormar (Eidmann och Klingström, 1990). Enligt Skogsstyrelsen är rotröta en av de värsta skadegörarna inom svenskt skogsbruk (Kårén et al., 2018). Rotrötan angriper främst gran, och omkring 15 % av granarna i södra och mellersta Sverige är drabbade. Sporer som rotrötan producerar i

fruktkropparna släpps ut i luften och kan bäras över långa avstånd med vind och kan infektera stubbar en hel månad efter avverkning eller gallring (Brunette och Caurla, 2016). Sporerne kan geminera på färskt trä, eller på rötter/ basen av stammen. Svampstammen utvecklas och bildar ett mycelium som sedan kan infektera andra träd i närheten via rotkontakt (Brunette och Caurla, 2016). Sker sporinfektionen i ett gallrat område kan detta resultera i att friska träd blir infekterade via mycelet. Sporerne kan infektera stubbar först efter temperaturer nått 5 °C eller mer (InteragroSkogAB, 2019). Optimal sporproduktion är vid 20 °C. I en framtid med ett varmare klimat kommer rotrötan kunna bilda sporer och infektera stubbar under en längre tid på året (InteragroSkogAB, 2019). Däremot är rottickan känslig för ihållande regnperioder och torka, och i ett framtida klimat med potentiella ökning av extrema väderförhållanden kan rottickan alltså missgynnas (Witzell et al., 2009).

Gremmeniella abietina

Gremmeniella kan vid hög förekomst (epidemi) kosta upp emot 1,5 miljarder kronor i skador över bara några år (Witzell et al., 2009). Gremmeniella kan förekomma i hela Sverige. Svampen infekterar vid fuktigt väder då sporerne sprids med regn och dagg (Eidmann och Klingström, 1990). Betydelsen av vädret innan en gremmeniella-epidemi sker är stor (Witzell et al., 2009). Svampen gynnas av en våt föregående säsong följt av en säsong med få soltimmar (Witzell et al., 2009). Gremmeniella skadar olika sorters barrträd genom att angripa unga skott och knoppar och på sätt förhindra vatten- och näringstillförsel. Om plantor drabbas är det skotten som lider (Kårén et al., 2018). Utöver detta är det inte ovanligt att förekomsten av mörghorre ökar i samband med gremmeniella-epidemier (Witzell et al., 2009). Eftersom gremmeniella gynnas av mer extrema våta förhållanden kan det vara svårt att predicera hur risken för utbrott kommer öka i framtiden, eftersom även om stormar och regnoväder kan förekomma oftare, kommer även risken för torka öka (Anderegg et al., 2015). Korrelationen mellan gremmeniellautbrott och gremmeniella väderindex (GVI) där total nederbörd delas på medeltemperatur för en tidsperiod påvisar att svampen gynnas av svalare, våtare förutsättningar (Stenlid och Oliva, 2016b).

Cronartium flaccidum – Törskate

Törskate förekommer mest i norra Sverige och attackerar främst tall (Eidmann och Klingström, 1990, Witzell et al., 2009). Skador orsakade av törskate har blivit många fler under de senaste åren. Enligt skogsstyrelsen orsakar törskate 12–15% av årlig naturlig avgång av tall (Kårén et al., 2018). Tidigare har sjukdomen drabbat äldre träd hårdast, men under 2000-talet har

problemen ökat bland yngre tallskogar där träden dör inom några år efter angrepp (Witzell et al., 2009). *C. flaccidum*-stammen av törskate har en flerårig livscykel med fem olika sporstadier, och den är dessutom värdväxlande. Sporer sprids till barrträd från de alternativa värdarna och detta gynnas av fuktigt väder. (Witzell et al., 2009). Sjukdomen visar sig sen efter två till sju år efter infektion, och stamsåren bildas oftast i nedre delen av kronan på tall och vanligen dör trädet efter ett par år efter sjukdomen upptäckts (Witzell et al., 2009). Det är svårt att bedöma hur förändringar i klimatet kommer påverka törskate på grund av denna komplicerade livscykel, men ett varmare klimat kan tänkas gynna sporspridning under sommarhalvåret (Witzell et al., 2009).

Phacidium infestans – Snöskytte

Snöskytte angriper främst frisk tall i Mellansverige och norrut (Eidmann och Klingström, 1990). Svampens fruktkroppar bildas på barren hos tallen men sporerne blir inte mogna förrän sent på sommaren. Snöskytte kan endast döda barr täckta av snö. Under vintern växer svampen direkt i snön och mycelet tränger in genom barrrens klyvöppningar under snötäcket (Eidmann och Klingström, 1990). Skador som orsakas av snöskytte är i direkt proportion till snötäckets tjocklek och varaktighet (Witzell et al., 2009). Svampens fruktkroppar börjar synas i mitten på sommaren på undersidan av vinterns infekterade barr. Sporerne sprids sedan till friska barr under hösten för att till sist angripa klyvöppningarna när träden täcks av snö (Witzell et al., 2009). Snöskytte är därmed ett exempel på en svampart som kanske kan missgynnas av ett varmare klimat där vintrar är kortare och snötäcket tunnare (Witzell et al., 2009). Däremot fann Barbeito et al. (2013) att snöskytte inte var beroende av snödjup, och istället gynnades av tidigare snösmältning, som författarna härleder till att svampen är oberoende av snödensitet. Det är alltså svårt att veta hur framtidens klimat kan påverka snöskytteskador på skog.

2.1.3 Hjortvilt

Älg och rådjur orsakar otroliga skador på skog varje år och skogsindustrin förlorar 100-tals miljoner kronor per år (Witzell et al., 2009). Älgpopulationen i Sverige har ökat kraftigt under 1900-talets andra hälft (Kårén et al., 2018). Älg och rådjur kan skada skogsplantor på flera olika sätt; vanligast är genom betning på skotten, men de äter även barken och gnider horn mot stammen och bryter av plantor (Witzell et al., 2009). Hjortdjur fördrar lövträd framför barrträd, men äter gärna tallskott (Witzell et al., 2009). Även när djuren äter skotten eller löven från plantor bryts ofta hela grenar av (Kårén et al., 2018). Anledningen till att planteringar ofta blir älgföda är för att öppna områden i skogen som uppstår efter skogsbränder eller stormar, inte

längre finns naturligt i samma utsträckning på grund av människans reglering av dessa sammanhang (Kårén et al., 2018).

Det står klart att betesskador orsakade av älg och rådjur skapar stora förluster för den svenska skogsindustrin. Dock är det desto svårare att fastställa hur dessa djur kan påverkas av framtida klimatförändringar. Troligast är att de kommer påverkas indirekt när andra skadeorsaker minskar mängden tillgänglig föda, vilket kan leda till att de tall- och granbestånd som återstår utsätts (Witzell et al., 2009, Eriksson et al., 2016). Däremot kan framtida ökning av skogsbränder och stormar bidra till att den typ av betesområden som hjortvilt föredrar uppstår i större utsträckning. Dock innebär detta att bränder och stormar även påverkar skogsbestånden negativt ändå. I dagsläget är det svårt att reglera hjortstammar på ett sätt som gynnar skogsproduktionen på grund av medföljande jaktkonflikt. Utöver detta är rovdjuren som jagar hjortvilt i skogen för få för att kunna minska populationerna. Även i detta fall, gällande diskussioner om vargstammar, är det känsliga ämnen utan enkla lösningar (Witzell et al., 2009).

2.3 Abiotiska störningar

I denna studie syftar abiotiska störningar på icke-levande som påverkar gran- och tallbestånd i Sverige.

2.3.1 Torka

Ökningar av medeltemperaturer orsakade av klimatförändringar förväntas påverka förekomsten av torra perioder (Anderegg et al., 2015, IPCC, 2013). Långa perioder med vattenbrist kommer orsaka både direkta och indirekta skador på gran- och tallbestånd. Direkta skador innefattar trädöd på grund av vattenbrist. Indirekta skador kan innefatta ökad risk för skogsbränder, samt gynnsamma förhållanden för de biotiska hot som nämns ovan (Kårén et al., 2018). Även om det blir våtare under vinter och vår på grund av klimatförändringar, förväntas somrar vara desto torrare och varmare (Eriksson et al., 2016). Även om risken för ett genomsnittligt torrare klimat inte är särskilt hög för Sverige, kan isolerade torra perioder förekomma oftare än i dagsläget (Eriksson et al., 2016). Det är därför viktigt att utöka kunskap om hur skogsbestånden och andra skadehot kan tänkas påverkas av detta för att kunna implementera lämpliga åtgärder.

2.3.2 Storm

I dagsläget är vind en av de störningsfaktorer som orsakat de största skadorna för svenskt skogsbruk under det senaste seklet (Eriksson et al., 2016). Till exempel orsakade stormen

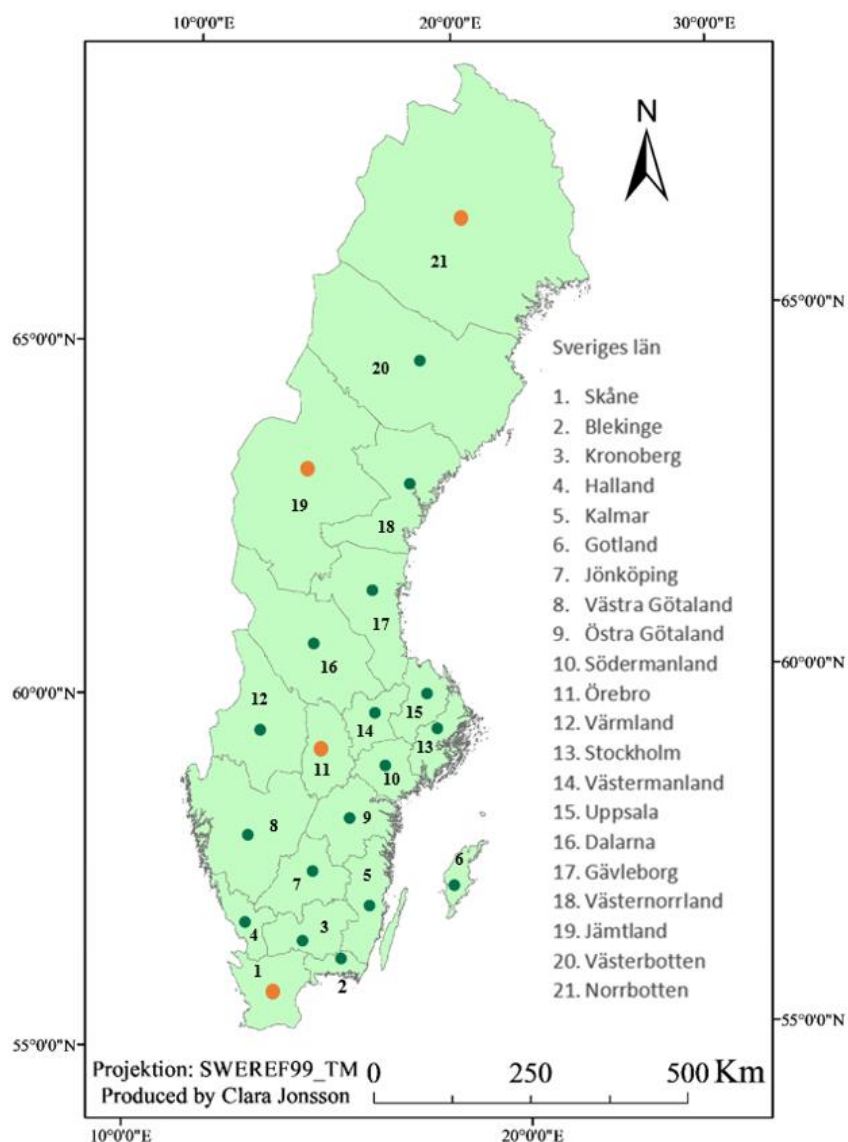
Gudrun 2005, fällningen av 75 miljoner kubikmeter skog i Sverige. I ett varmare klimat kommer tjäle i marken att minska och grundvattenstånden öka under vinterhalvåret, vilket innebär att stormfällning av tall och gran kommer att öka då träden har sämre fäste i marken (Eriksson et al., 2016). Utöver detta, orsakar dagens sätt att bedriva skogsbruk på ökad risk för stormfällningar, eftersom återbeskogning av jordbruksmark kan resultera i mindre stabilitet för träden, odlingen av monokulturell skog innebär tätt placerade, raka träd som faller varandra vid högre vindhastigheter och hyggesområden skapar hyggeskanter som kan exponeras för höghastighetsvindar som skapar turbulens vilket kan leda till skador på närliggande skog (Eriksson et al., 2016). Även om stormar som Gudrun inte sker särskilt ofta, har antalet stormar ökat under 1900-talet och kommer förmodligen fortsätta öka i både antal och allvarlighetsgrad. Därför är det viktigt att även i detta sammanhang utöka kunskapsförråd gällande försiktighetsåtgärder och förändringar som kan göras för svenskt skogsbruk för att undvika katastrofala beståndsförluster i framtiden.

3. Data och metod

Följande avsnitt inkluderar inledningsvis en genomgång av området som studien innefattar, det vill säga Sveriges län, samt en kort sammanfattning av vilka biotiska och abiotiska hot som berörs av modellerad kvantitativ analys avseende hur förekomst ser ut för olika 30-årsperioder (1981–2010; 2020–2049 och 270–2099). Detta följs av en genomgång av observerade och modellerade klimatdata som använts för de olika modellerade indexvärdena. Sedan beskrivs indexberäkningar för de utvalda biotiska och abiotiska hoten. Slutligen beskrivs den statistiska analys som utförts samt framställningen av kartor som demonstrerar de olika resultaten.

3.1 Studieområde

Den kvantitativa analysen i denna studie utforskar skadeökningar orsakade av störningar påverkade av klimatförändringar för hela landet. Sverige är uppdelat i 21 län. Samtliga län representerades i denna undersökning av en varsin gridcell. En kortare gridcellslista gjordes med syfte att användas under analysen av standardavvikelse (Fig. 1).



Figur 1. Karta över Sverige och landets 21 län med utvalda gridcellspunkter som korresponderar till E-OBS data (grön) samt 4 av dessa utvalda punkter till en kortare gridlista (röd).

3.2 Utvalda biotiska och abiotiska hot för kvantitativ analys

Baserat på tillgänglighet av litteraturvärden samt förekomst i observerade data från SLU, har följande biotiska hot analyserats kvantitativt i denna studie; granbarkborre, snytbagge, mörghorn, rotröta och gremmeniella. Det abiotiska hot som har analyserats är torka. Samtliga hot har analyserats för varje län som representeras med de utvalda gridcellspunkter som visas i Figur 1.

3.3 European Climate Assessment and Dataset, E-OBS observational data

E-OBS observerade punktdata laddades ned från *European Climate Assessment and Dataset* (ECA&D). E-OBS data består av observerade dagliga interpoleringar av temperatur-,

nederbörd- och medelhavstryckmätningar från meteorologiska stationer för åren 1950-01-01 till 2018-12-31 (Cornes et al., 2018). Denna punktdata utgör ett rutsystem med gridceller i storleken 0.25 x 0.25°. Alla punkter inom Sverige togs först fram och sedan valdes en punkt från E-OBS griddata per län manuellt i ArcMap 10.5 från Esri GIS software (Fig. 1). Punkten valdes så centralt som möjligt för varje län, och endast en punkt valdes på grund av arbetets tidsbegränsningar då en ökad mängd punkter hade förlängt modellernas körtid markant, samt förlängt datahanteringstiden. Shapefilen med karta över Sverige hämtades från Esri Sverige och hade koordinatsystemet SWEREF99_TM. För att Endast nederbörd- och temperaturdata användes från E-OBS. Klimatfiler med daglig medel-, maximum- och minimumtemperatur samt medelvärden för daglig nederbörd användes.

3.4 Modellerad klimatdata EURO-CORDEX

Modellerade klimatdata valdes från EURO-CORDEX ensemblen med regionalt nerskalade klimatmodellscenariodata för 1971–2099, med en daglig temporal upplösning och en spatial upplösning på 0.44 x 0.44°. Samtliga modellerade data utgår från IPCCs RCP 8.5 scenario, vilket innebär fortsatt användning av icke-förnybara bränslen och fortsatta utsläpp av den magnitud vi har idag, resultaten är viktiga att känna till för att bästa åtgärder skall kunna förberedas för det värsta tänkbara scenariot (Jacob et al., 2014, Kotlarski et al., 2014). Klimatdata för slutet på 2000-talet för RCP 2.6 scenario kan likställas med klimatdata från RCP 8.5 scenariodata från mitten på 2000-talet; därför används bara data som utgår från RCP 8.5. Dessa två scenarier representerar de bästa och sämsta framtida utfallen gällande klimatförändring, och därför valdes utforskning av just dessa; dels för att se om förändringar i hotbilden för skog oundvikligen förändras (dvs under det bästa scenariot) och för att se hur stor hotbilden kan bli i värsta fall (under det sämsta scenariot).

Medel-, minimum- och maximumtemperatur, samt medelnederbördsdata från tre EURO-CORDEX modeller användes (Wilcke och Bärring, 2016, Kotlarski et al., 2014). EURO-CORDEX data var biaskorrigerade (Wilcke och Bärring, 2016) och utvalda från en större ensemble, men för denna studie valdes följande tre modeller eftersom de fångar nederbörds- och temperaturvariationer på ett effektivt sätt:

CanESM2

CanESM är en *Earth System Model* (ESM) från *Canadian Centre for Climate modelling and Analysis* och den kombinerad i EURO-CORDEX med Sveriges Meteorologiska och

Hydrologiska Institutets (SMHI) regionala klimatmodell (RCM) Rossby Centre regionala atmosfäriska modell (RCA4).

EC-EARTH

EC-Earth är en ESM vars utveckling leds av SMHI. Även denna modell är kombinerad med den regionala klimatmodellen RCA4.

IPSL CM5A MR

Institut Pierre Simon Laplace Climate modell är också en ESM och den senaste versionen är 5A. IPSL kombineras också med SMHIs RCA4 RCM.

3.5 Indexberäkningar

Av de skador som framhävts i litteraturstudien var sex lämpliga för kvantitativ analys i form av framställandet av skadeindex. Därmed utvecklades skadeindex för granbarkborre, snytbagge, mörghor, rotröta, gremmeniella och torka. Matlab R2017b från Mathworks användes för att framställa dessa index och för att se hur de påverkade klimatdata från de olika modellerna och E-OBS. Gridlistan med de 21 punkterna med E-OBS koordinater lästes först in i Matlab för samtliga index. E-OBS data (NetCDF-data) lästes också in direkt. Modellerade klimatdata lästes in och närmsta gridcell till de utvalda gridcellerna från E-OBS data sorterades ut för att få fram latituder och longituder för att modellerad klimatdata skulle stämma överens med observerade data och hämtas för de specifika läns punkterna. Resultaten från temperatur- och nederbördsbaserade index analyserades i 30-årsperioder. Period 1: 1981–2010 användes som referensperiod för E-OBS och samtliga modeller för att se hur väl de stämde överens. De två andra 30-årsperioderna bestod av period 2: 2020–2049 och period 3: 2070–2099 och användes bara för modellerade data.

3.5.1 Granbarkborre och snytbagge

Litteraturvärden visar på att granbarkborren svärmar först när dygnsmedeltemperaturer överstiger 16 °C (Jönsson et al., 2009, Jönsson och Barring, 2011, Berec et al., 2013). Samma tröskeltemperatur gäller för snytbaggen (Eidmann och Klingström, 1990, Nordlander et al., 2017). För att se hur klimatförändringar under RCP 8.5 scenariot kommer påverka hur tidigt på året barkborrar och snytbaggar kan komma att svärma användes ett gränsvärde på 16 °C för att beräkna vilken dag per år som först uppnådde ett medelvärde på minst 16 °C. Ett medelvärde för första dag på året där 16 °C uppnåtts för de olika 30-årsperioderna räknades sedan ut för att

ge ett sådant medelvärde per län per 30-årsperiod. Data över dygnets medeltemperatur från E-OBS och samtliga modeller användes.

3.5.2 Märgborre

Litteraturvärden visar på att märgborrar svärmar först när dygnsmedeltemperatur överstiger 12 °C (Öhrn et al., 2018, Gokturk och Aksu, 2011, Eidmann och Klingström, 1990). Ett medelvärde för första dag på året där temperaturtröskelvärdet uppnåtts för de olika 30-årsperioderna räknades ut för att få ett medelvärde för första dag per län per 30-årsperiod på samma sätt som för granbarkborre och snytbagge, men med ett tröskelvärde på 12 °C istället.

3.5.3 Rotröta

För att sporer från rotröta skall kunna infektera stubbar behöver dygnsmedeltemperatur vara över 5 °C (Honkaniemi et al., 2017, Brunette och Cauria, 2016). Medelvärden för temperatur användes för att räkna ut antal dagar per år som hade en medeltemperatur över 5 °C. Ett medelvärde för antal dagar på året med en temperatur över 5 °C togs fram per län per 30-årsperiod.

3.5.4 Gremmeniella

Medeltemperatur och medelvärden för nederbörd användes för att beräkna ett gremmeniella väderindex (GVI) genom att dela nederbördssumman med medeltemperatur för juni, juli och augusti (Stenlid och Oliva, 2016b, Thomsen, 2009, Stenlid och Oliva, 2016a). Medelvärden för varje län och 30-årsperiod beräknades. Dessutom jämfördes E-OBS nederbördssumma delat med medeltemperaturdata med observerade nederbördssumma delat med medeltemperaturdata från SMHI som sammanställts av Stenlid och Oliva (2016a). Detta innefattade observationer för Svealand för juni, juli och augusti. För E-OBS data användes de punkter från gridlistan som representerade Värmland, Dalarna, Örebro, Södermanland och Västmanland.

3.5.5 Torka

För att undersöka framtida risk för torka för läns punkterna, beräknades ett index baserat på kvoten mellan nederbörd och potentiell markavdunstning. Potentiell avdunstning (ET) beräknades enligt Hargreaves modell (Hargreaves och Samani, 1982):

$$ET = 0.0022 \times r_a \times \sqrt{T_{max} - T_{min}} \times (T_{mean} + 17.8)$$

där r_a är strålning ovanför molnen, vilken beräknades från latitud och dag på året, T_{max} , T_{min} och T_{mean} är maximum-, minimum-, och medeltemperaturer per för respektive modellerade klimatdata. Max-, min-, och medeltemperaturdata mättes på daglig nivå. Modellen räknar med skillnaden mellan T_{max} och T_{min} som en approximation för molnighet vilket är fördelaktigt för en plats som Sverige. Utöver detta behövs endast temperaturdata vilket gör att modellen är enkel att använda, och inputdata kan komma från samma källa. Endast sommarmånaderna juni, juli, augusti undersöktes för torka.

Efter uträkningen av ET kunde en kvot framställas genom att dela nederbördssumma för varje läns punkt för varje år i de tre tidsperioderna med ET för varje läns punkt för varje år. För varje tidsperiod beräknades sedan antal år med ett lägre indexvärde än 0.5 för att belysa frekvensen av år med torka beroende på modell och tidsperiod.

3.4 Statistik

Ett medelvärde för alla tre modeller beräknades för fyra månadsperioder för varje 30-årsperiod för de fyra utvalda länen i den kortare gridlistan för nederbörd- och temperaturklimatdata. De fyra månadsperioderna bestod av; januari-februari-mars, april-maj-juni, juli-augusti-september och oktober-november-december. Medelstandardavvikelse beräknades sedan över åren för de tre modellerna och slutligen beräknades standardavvikelse över respektive modells medelvärde. Detta gjordes för att tydligt kunna se ett enda medelvärde för de fyra månadsperioderna och de olika 30-årsperioderna, samt få fram variationen mellan åren i 30-årsperioderna och variationen mellan de tre modellerna.

3.5 GIS

För att demonstrera resultaten gjordes kartor för varje skadeindex i ArcMap 10.5 där shapefilen med karta över Sverige och de 21 länen från Esri Sverige användes som grund. Tabeller med de olika årliga medelvärdena för de olika 30-årsperioderna importerades till ArcMap som textfiler och sammanställdes med grundfilen för att framställa kartor med de olika resultatmedelvärdena för varje län. För granbarkborre/ snytbagge gjordes en medelkarta per modell och 30-årsperiod, samt en E-OBS karta. För mörghorre, rotröta och gremmeniella gjordes istället endast en medelvärdeskarta för alla tre modeller per 30-årsperiod, samt en E-

OBS karta. Kartorna för torka gjordes på samma sätt som för granbarkborre/ snytbagge, dock utan en E-OBS karta.

4. Resultat

4.1 Statistik över temperatur och nederbörd

Det är tydliga skillnader mellan medelnederbördsresultaten för de olika punkterna när det gäller nederbördsdata (Tab. 1). Medelvärdena tyder på framtida ökningarna i nederbörd längre in i framtiden. Det är märkvärdigt att standardavvikelsena mellan modellerna i vissa fall är nästan lika höga som standardavvikelsena mellan åren i 30-årsperioderna. Till exempel gäller detta för Örebro för juli-augusti-september för 2020–2049. Eftersom scenariodata som användes var RCP 8.5, är skillnaderna mellan 30-årsperioderna ganska stora. Generellt sett stämmer det att ju senare 30-årsperioden är desto större standardavvikelse gäller, både för variationen mellan år och modeller.

Tabell 1. Uträknade nederbördsmedelvärden (mm) för de tre klimatmodellerna för månadsperioder och 30-årsperioder för de fyra olika läns punkterna från den korta gridlistan. Inom parentes visas medelstandardavvikelsen mellan åren i varje månadsperiod och 30-årsperiod, samt standardavvikelsen mellan uträknade medelvärden för varje modell.

Nederbördsmedel för olika gridpunkter med standardavvikelse för år och modell (mm)					
Period på året	30-årsperiod	Skåne	Örebro	Jämtland	Norrbottnen
Jan-Feb-Mars	1981-2010	145 (44, 9)	134 (42, 5)	82 (27, 7)	88 (30, 4)
	2020-2049	170 (42, 22)	148 (36, 4)	92 (27, 9)	103 (43, 10)
	2070-2099	203 (48, 33)	177 (44, 13)	124 (40, 24)	132 (49, 23)
Apr-Maj-Jun	1981-2010	140 (43, 19)	144 (44, 27)	136 (43, 16)	131 (44, 15)
	2020-2049	161 (52, 20)	170 (56, 31)	158 (50, 15)	151 (43, 16)
	2070-2099	164 (57, 20)	174 (51, 35)	197 (51, 31)	201 (72, 41)
Jul-Aug-Sept	1981-2010	186 (60, 31)	197 (66, 35)	209 (55, 20)	186 (62, 7)
	2020-2049	202 (60, 23)	218 (59, 45)	235 (62, 31)	217 (56, 23)
	2070-2099	190 (72, 29)	238 (72, 47)	251 (62, 37)	232 (65, 31)
Okt-Nov-Dec	1981-2010	178 (44, 22)	190 (44, 9)	113 (33, 12)	118 (39, 7)
	2020-2049	192 (47, 30)	193 (45, 8)	124 (36, 17)	127 (43, 13)
	2070-2099	231 (57, 38)	227 (52, 17)	164 (47, 30)	160 (46, 28)

Medeltemperaturresultaten är geografiskt beroende, med högre medeltemperaturer för de tre modellerna för de olika månadsperioderna och 30-årsperioderna i Skåne jämfört med lägsta medeltemperaturer för Norrbotten (Tab. 2). Standardavvikelsena mellan år och modeller är relativt låga. Dock är det anmärkningsvärt att medelstandardavvikelse för 30-årsperioder

tenderar att vara högre för Norrbotten och lägre för Skåne. Sommarmånaderna ger högre standardavvikelseresultat för Norrbotten och Jämtland än de andra månadsperioderna.

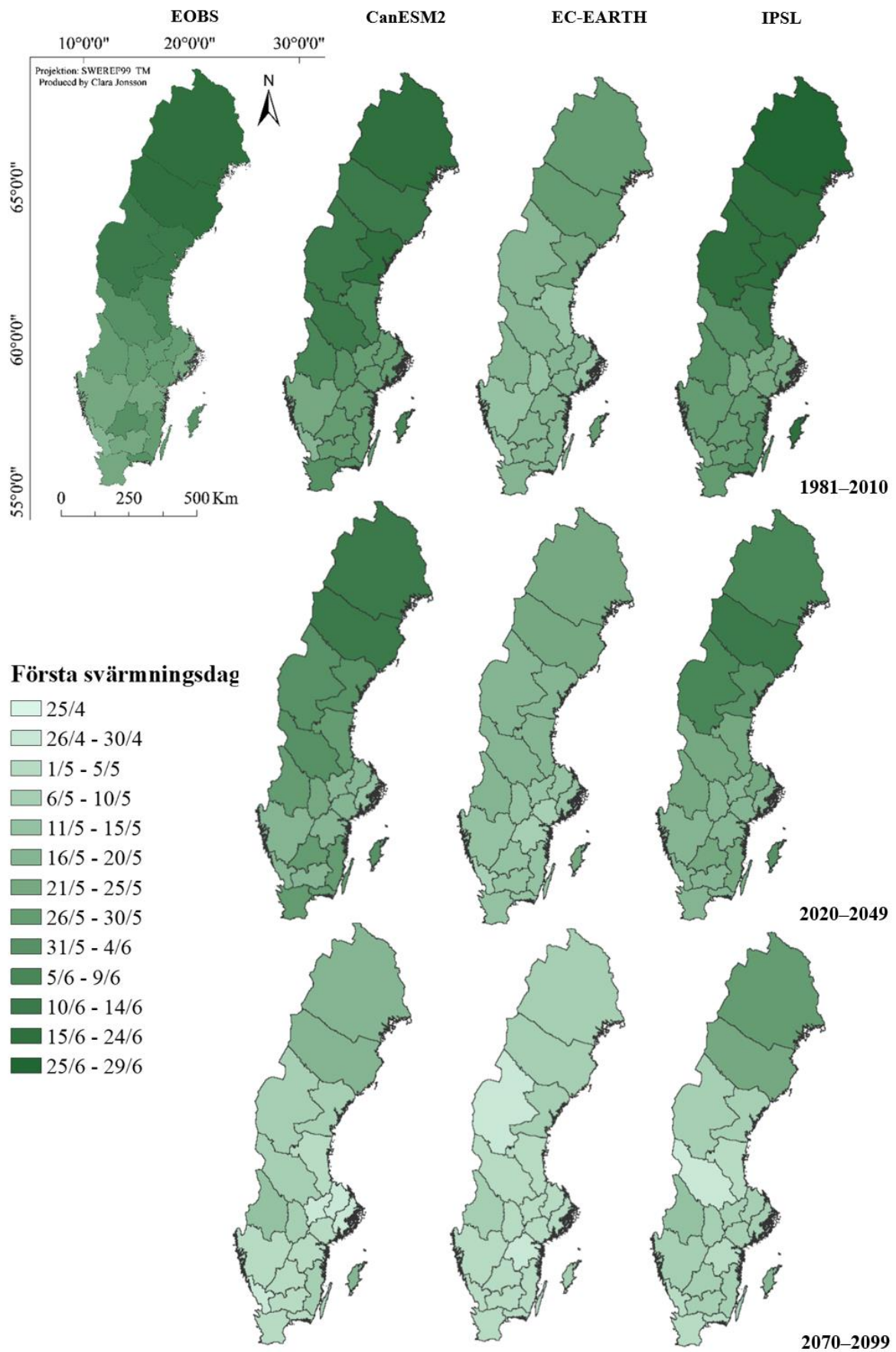
Tabell 2. Uträknade temperatursmedelvärden (°C) för de tre klimatmodellerna för månadsperioder och 30-årsperioder för de fyra olika läns punkterna från den korta gridlistan. Inom parentes visas medelstandardavvikelsen mellan åren i varje månadsperiod och 30-årsperiod, samt standardavvikelsen mellan uträknade medelvärden för varje modell.

Period på året	30-årsperiod	Skåne	Örebro	Jämtland	Norrbotten
Jan-Feb-Mars	1981-2010	0.7 (1.6, 0.3)	-1.5 (1.8, 0.3)	-4.7 (1.5, 0.6)	-10.1 (2.1, 1.0)
	2020-2049	2.1 (1.3, 0.4)	-0.0 (1.5, 0.5)	-3.3 (1.0, 0.5)	-7.5 (1.5, 0.7)
	2070-2099	4.2 (1.4, 0.6)	2.2 (1.5, 0.7)	-1.4 (1.1, 0.5)	-2.4 (1.5, 0.4)
Apr-Maj-Jun	1981-2010	10.6 (1.0, 0.3)	9.9 (1.3, 0.7)	6.7 (1.7, 1.3)	5.9 (1.5, 1.0)
	2020-2049	11.7 (0.9, 0.2)	11.2 (1.1, 0.6)	8.6 (1.5, 1.1)	7.8 (1.4, 1.0)
	2070-2099	13.9 (1.1, 0.2)	13.9 (1.3, 0.7)	12.6 (1.7, 0.9)	11.4 (1.8, 1.0)
Jul-Aug-Sept	1981-2010	15.1 (1.0, 0.2)	14.3 (1.1, 0.4)	11.3 (1.1, 0.7)	11.1 (1.0, 0.7)
	2020-2049	16.5 (0.9, 0.2)	15.8 (0.9, 0.4)	12.9 (1.0, 0.4)	12.7 (1.0, 0.5)
	2070-2099	19.4 (1.3, 0.7)	18.8 (1.2, 0.3)	16.2 (1.2, 0.2)	15.9 (1.1, 0.1)
Okt-Nov-Dec	1981-2010	3.9 (1.3, 0.0)	1.8 (1.5, 0.1)	-1.8 (1.3, 0.1)	-6.2 (1.9, 0.5)
	2020-2049	5.4 (1.0, 0.3)	3.2 (1.2, 0.2)	-0.2 (1.3, 0.3)	-3.7 (1.7, 0.2)
	2070-2099	7.6 (1.0, 0.6)	5.5 (1.2, 0.5)	2.4 (1.3, 0.5)	-0.1 (1.6, 0.3)

4.2 Biotiska hot

4.2.1 Granbarkborre och snytbagge

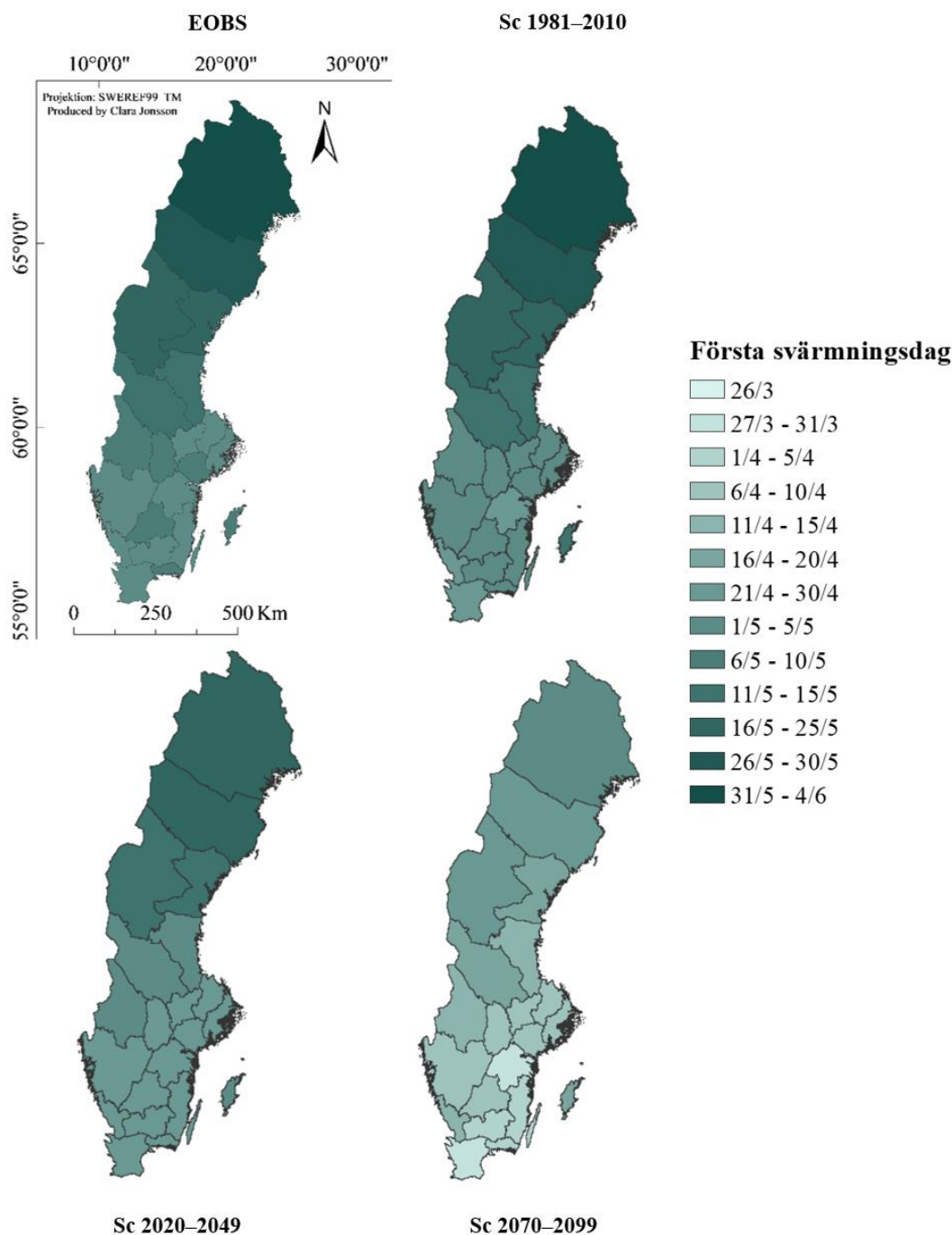
Kartorna som gjordes för de olika svärmsningsdagsmedelvärdena för varje län för varje 30-årsperiod för E-OBS data och modellerade data visar en märkbar skillnad mellan de tre årsperioderna, där första svärmsningsdag sker betydligt tidigare för period 3 (Fig. 2). Tydliga skillnader syns också mellan de olika modellerna. De modellerade resultaten för 1981–2010 för CanESM2 och IPSL visar ingen större skillnad jämfört med E-OBS data. Däremot syns en större skillnad mellan historiska modellerade data för EC-EARTH mot E-OBS-resultaten, där första svärmsningsdag beräknas ske ca 30 dagar tidigare än E-OBS. För perioden 2070–2099, jämnar skillnaderna ut sig mellan EC-EARTH och de andra modellerna och liknande resultat för första svärmsningsdag visas, dock fortfarande lite tidigare för Norrland. Under ett RCP 8.5 scenario indikerar alltså samtliga modeller att första svärmsningsdag kommer ske tidigare än i dagsläget under perioden 2070–2099. Resultatet för perioden 2020–2049 (Fig 2) kan likställas med årtalen 2070–2099 under ett RCP 2.6 scenario. Modellerna påvisar en mindre markant förändring i förskjutning av svärmsningsdagen och CanESM2 indikerar även att första svärmsningsdag kan inträffa senare än i dagsläget.



Figur2. Första svärmningsdag för granbarkborre och snytbagge för varje län, 30-årsperiod och modell (CanESM2, EC-Earth, ISPL), samt observerade data (E-OBS).

4.2.2 Märgborre

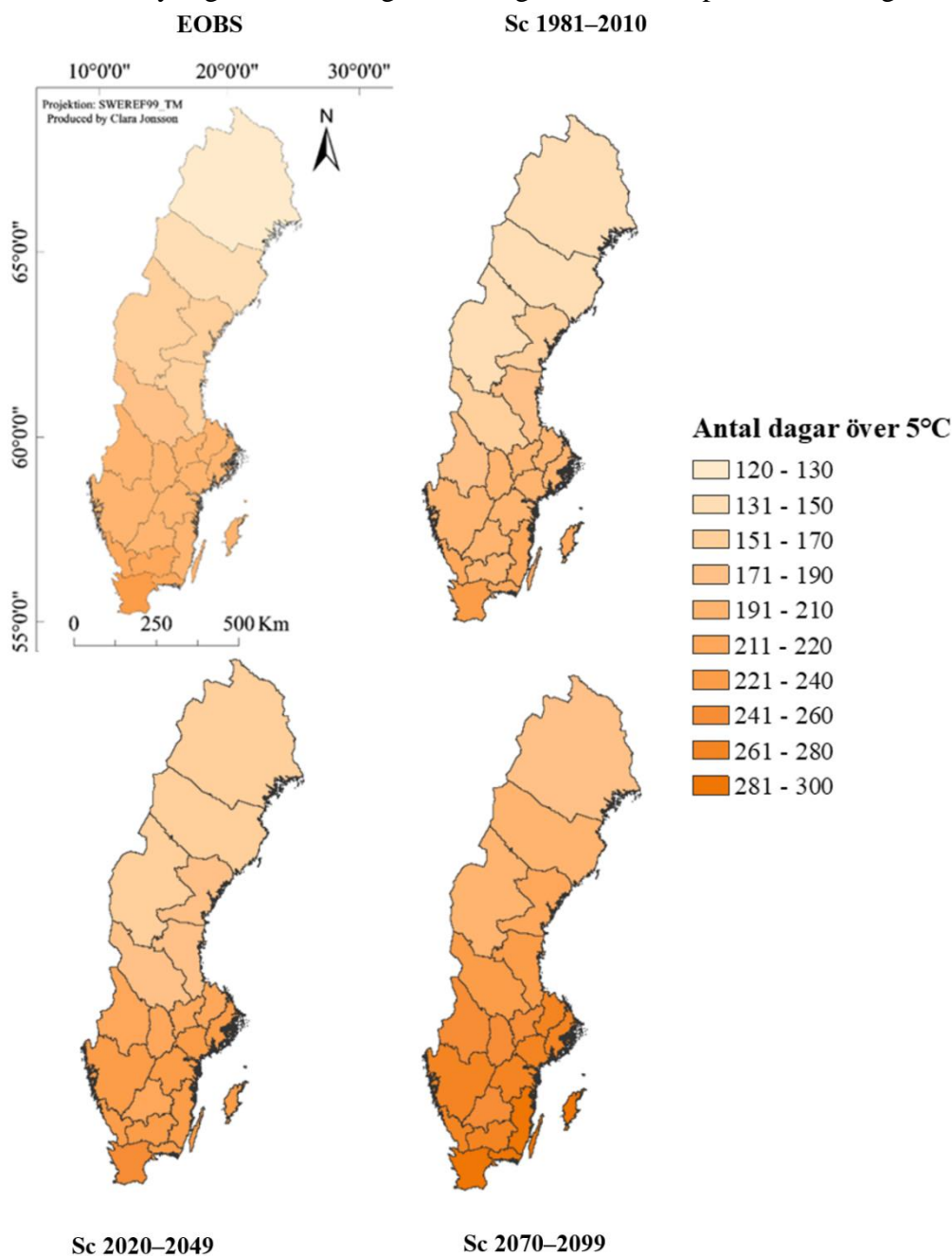
Medelvärdeskartorna för varje 30-årsperiod för första svärningsdatum för märgborre visar på tydliga skillnader beroende på period (Fig. 3). För period 3 är första svärningsdatumet betydligt mycket tidigare än för den historiska perioden, då första svärningsdag sker ca 30 dagar tidigare för perioden 2070–2099, jämfört med E-OBS och den modellerade perioden 1981–2010 som inte visar på några större skillnader. Den första svärningsdagen inträffar märkbart tidigare under 2070–2099 för RCP 8.5 scenariot. Skillnaden under RCP 2.6 (perioden likställs med RCP 8.5 period 2020–2049) scenariot är befintlig, men betydligt mindre.



Figur 3. Medelvärdeskartor för första svärningsdag för märgborre per län per 30-årsperiod, samt observerade data (E-OBS).

4.2.3 Rotröta

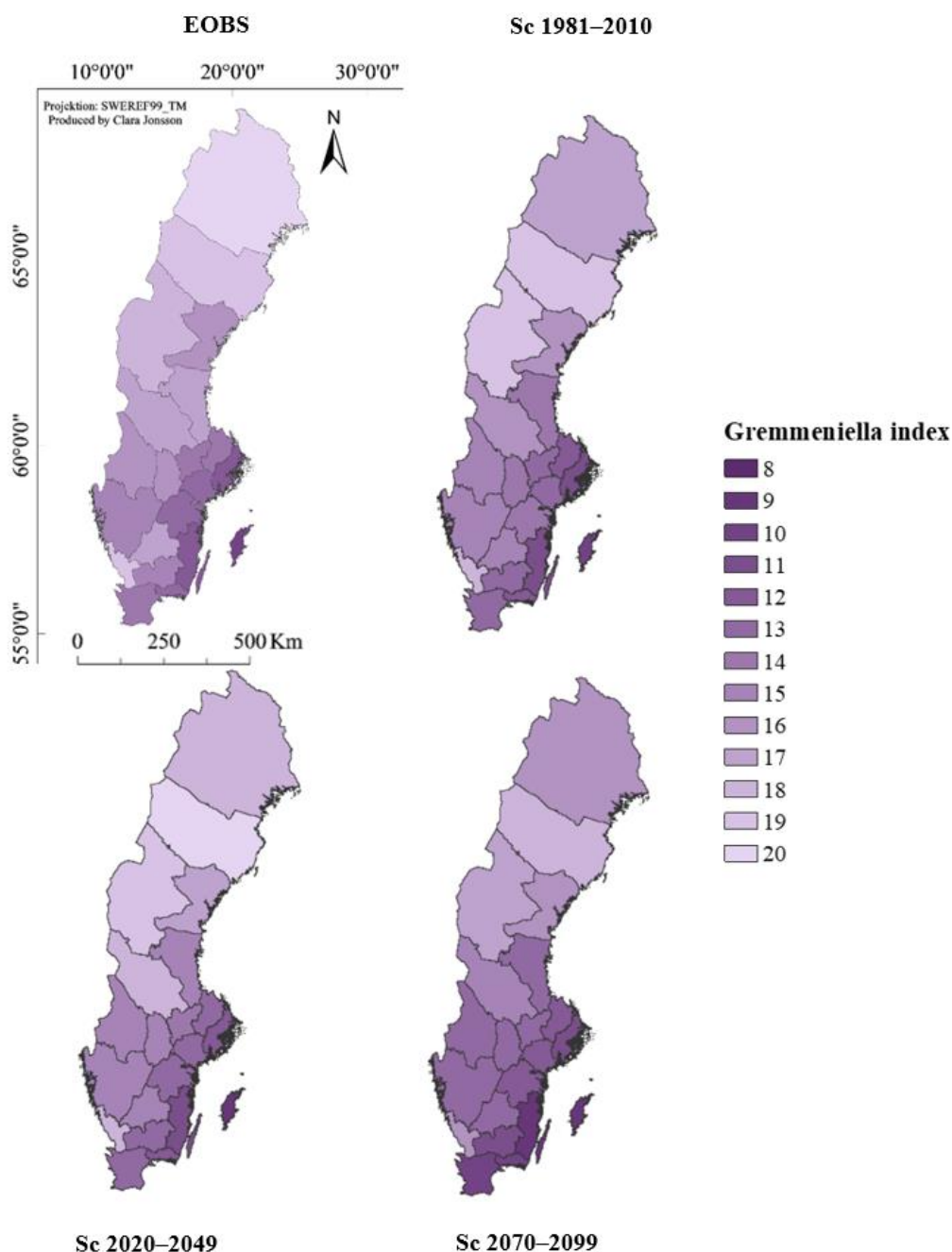
Medelvärdeskartorna för varje 30-årsperiod för antal dagar över 5 grader per år visar på en förändring över tid (Fig. 4). Under 2070–2099 perioden ökar antalet dagar över 5 grader, och därmed dagar känsliga för rotrotainfektion över hela landet med ca 70 dagar (ökning på ca 20%). I södra Sverige kommer ca 80% av året vara tillräckligt varmt för sporinfektion. I mellersta Sverige kommer ca 50% av året vara tillräckligt varmt, och i norra Sverige ca 40%. Antalet dagar med en temperatur över 5 grader är betydlig för perioden 2070–2099 under RCP 2.6 scenariot (perioden 2020–2049 för RCP 8.5) (Fig 4). Dock är det tydligt att RCP 8.5 scenariot innebär en betydligt större ökning i antal dagar med en temperatur över 5 grader.



Figur 4. Medelvärdeskartor för antal dagar över 5 grader per län per 30-årsperiod, samt observerade data (E-OBS).

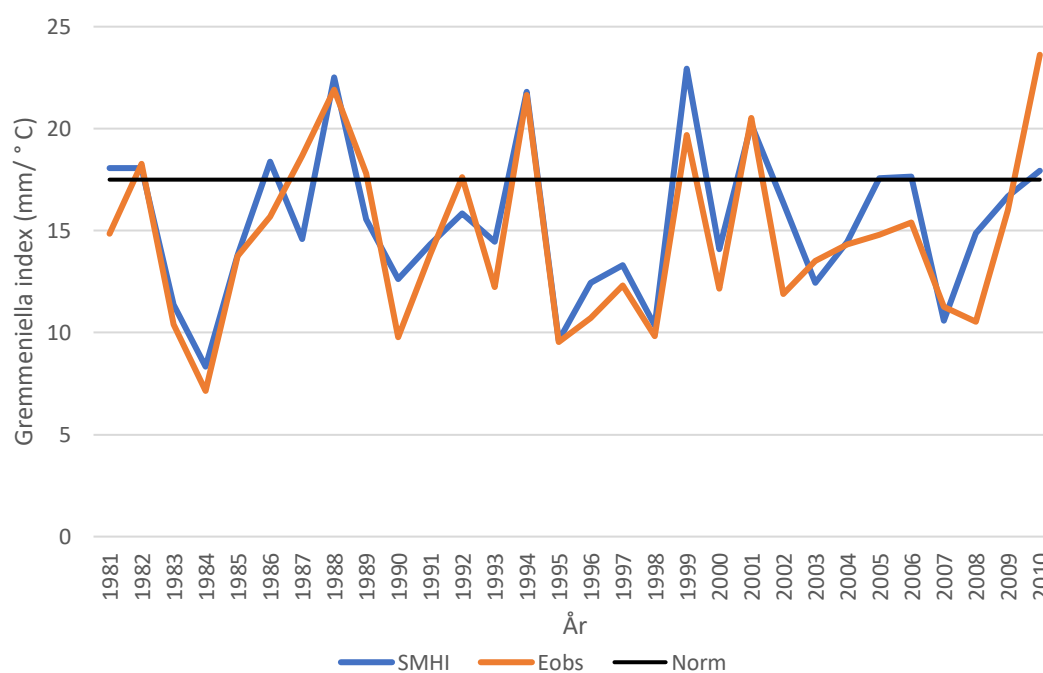
4.2.4 Gremmeniella

Medelvärdeskartor för varje 30-årsperiod för gremmeniella index för juni, juli och augusti visar inte på någon tydlig trend (Fig. 5). Normalvärdet för GVI beräknas som 17.5, indexvärden högre än detta indikerar på hög skada av gremmeniella (Stenlid och Oliva, 2016a)(Fig. 6). Indexvärdena är lite högre för modellerade historiska data jämfört med E-OBS data. Indexvärden blir sedan högre för de flesta länen under 30-årsperiod 2. Den tredje 30-årsperioden visar på sjunkande indexvärden och därmed lägre risk för utbrott. Skillnaden mellan ett RCP 2.6 scenario och ett RCP 8.5 scenario för perioden 2070–2099 är märkbar. Dock kommer GVI värden sjunka under ett RCP 8.5 scenario, snarare än öka.



Figur 5. Medelvärdeskartor för gremmeniellaindexvärde per län per 30-årsperiod, samt observerade data (E-OBS).

För att utvärdera trovärdigheten av E-OBS observationsdata, jämfördes uträkningen för GVI med sammanställd SMHI data från Stenlid och Oliva (2016a). Uträkningen för GVI med SMHI data stämmer bra överens med uträkningarna med E-OBS data för Svealand (Fig. 6). Några mindre variationer mellan SMHI-observationer och E-OBS kan urskiljas, till exempel för 1990 och 2004–2006. Av den historiska årsperioden är det 7 av 30 år som påvisar högre GVI-värde än normalvärdet på 17.5. Högre GVI värden tyder på hög skada orsakad av gremmeniella. Under den historiska perioden har alltså 7 år påvisat märkbart högre GVI värden, dock kan det antas att antalet år med högre GVI värden kommer sjunka i framtiden (Figur 5).



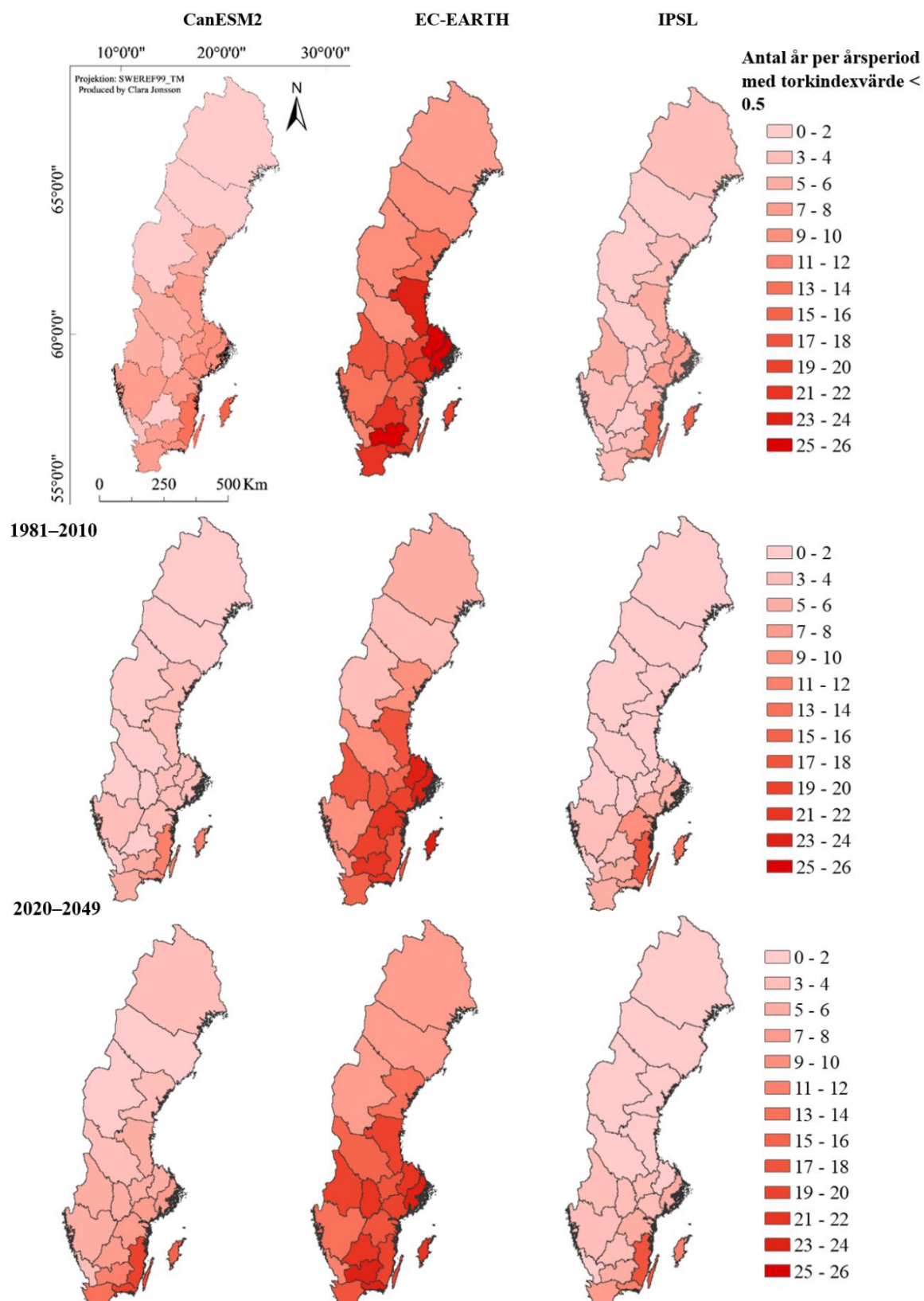
Figur 6. Uträkningar av gremmeniella index med observerade nederbörd- och temperaturdata från SMHI för Svealand (blå linje) och nederbörd- och temperaturdata från E-OBS för de läns punkter som innefattar Svealand E-OBS (orange linje). Värden högre än den svarta normlinjen (17.5) är högre än vanligt (Stenlid och Oliva, 2016a).

3.2 Abiotiska hot

3.2.1 Torka

Kartorna som gjordes för torka för de olika länen och de tre 30-årsperioderna för observerade E-OBS data och modellerade data påvisar ingen märkbar trend i ökning av antal år per 30-årsperiod med ett torkindexvärde > 0.5 över tid (Fig. 7). Det är stora variationer mellan modellerna för alla tre perioder, med störst avvikelse från EC-EARTH-modellen. Skillnaden mellan EC-EARTH resultaten och IPSL resultaten är till exempel ca 19 år för Uppland för alla tre perioder. Alla tre modeller påvisar en minskning i antal år med torka för perioden 2020–2049, för att sedan öka igen för perioden 2070–2099. Skillnaderna för Norrland är väldigt små mellan de olika perioderna och mellan IPSL och CanESM2. Det är större variationer för södra

Sverige i antal år per period och modell. Skillnaden mellan RCP 2.6 scenariot och RCP 8.5 scenariot är inte märkbar (Fig 7). Vissa delar i söder får ett högre torkindexvärde under RCP 8.5 scenariot.



Figur 7. Antal år per 30-årsperiod för varje län där torkindexvärdet är lägre än 0.5 för varje modell (CanESM2, EC-Earth, ISPL), samt observerade data (E-OBS).

5. Diskussion

Syftet med denna studie var att besvara följande frågeställningar:

1. Vilka biotiska och abiotiska hot är störst för dagens skogsproduktion och hur ser skadebilden ut idag?
2. Hur påverkas dessa hot av väder och klimat?
3. Hur kommer framtidens klimat påverka abiotiska och biotiska hot mot tall- och granproduktionen i Sverige?
4. Vilka biotiska och abiotiska hot kommer vara störst under olika klimatscenerier?
5. Var i Sverige kommer de olika biotiska och abiotiska hoten orsaka störst problem för skogsproduktionen under två olika klimatscenerier; RCP 2.6 och RCP 8.5?

5.1 Biotiska hot mot Sveriges skogsproduktion

5.1.1 Insekter

Barkborrar är onekligen ett av de största hoten mot tall- och granproduktion i Sverige idag. Med temperaturökningar orsakade av klimatförändringar kommer dessa insekter att gynnas. Granbarkborren behöver en medeldygnstemperatur på minst 6°C för att kunna utvecklas till färdig skalbagge och minst 16°C för att kunna svärma (Marini et al., 2017, Jönsson och Barring, 2011). Resultaten i Figur 2 indikerar att dygnsmedeltemperaturen kommer öka under de kommande 80 åren och därmed orsaka tidigare svärmsperioder för granbarkborren. Under RCP 8.5 scenariot kommer första svärmsdagen på året ske ca 30 dagar tidigare för perioden 2070–2099. Detta kommer resultera i att fler generationer kan uppstå på en säsong, vilket kommer resultera i en mycket större utbredning av granbarkborreskador för tall och gran. Om RCP 2.6 scenariot kan hållas, däremot, kommer första svärmsdagen bara skjutas fram med några dagar. Detta gäller för alla tre modellerade resultat. Även om EC-EARTH modellen överskattar första svärmsdag jämfört med CanESM2 och IPSL, är skillnaden mellan de tre 30-årsperioderna lika stor som mellan 30-årsperioderna för det andra två. Eftersom medeltemperaturer kommer vara högre i södra Sverige, kommer risken för en större utbredning av granbarkborreskador vara högre där. Å andra sidan finns en stor andel av Sveriges gran- och tallbestånd längre norrut i landet, och temperaturökningarna där är fortfarande tillräckligt höga för att märka en signifikant skillnad i utbrottsrisk. Eftersom snytbaggen har samma temperaturtröskelvärde för svärmning som granbarkborren, kan det förväntas att deras svärmsdag kommer påverkas av klimatförändringar på ett liknande sätt.

Tillika granbarkborreresultaten, återfinns liknande resultat för mörghorre (Fig. 3). Första svärmningsdagen kommer ske ca 30 dagar tidigare under perioden 2070–2099, om RCP 8.5 scenario antas. Skillnaden mellan den historiska perioden och period 2020–2049 är inte särskilt markant, vilket innebär att under ett RCP 2.6 scenario kommer inte risken för tidigare svärmning öka.

I nuläget specificerar skogsvårdslagen att virke inte får lämnas utanför vissa datum under sommarmånaderna. Om svärmningsdatumet framflyttas med 30 dagar i framtiden, finns det underlag för att ändra denna lag till att gälla tidigare under våren. Detta visar på behovet av att utöka kunskap gällande framtida risker för skog då lämplig lagstiftning behöver tas fram och träda i kraft i tid för att förhindra att skadorna sprids.

5.1.2 Svampar

Resultaten för rotröta påvisar att antalet dagar på året då rotröta kan påbörja infektion av stubbar kommer öka med ca 80% för södra Sverige till exempel (Fig. 4). Med fler dagar lämpliga för sporinfektion, kan rotröta spridas i större utsträckning. För att förhindra spridning bör alltså avverkning ske främst på vintern, då temperaturer inte överstiger tröskelvärdet på 5 grader. Klimatförändringar kommer dock orsaka mildare vintrar med högre temperaturer. Utan strategier för att motverka spridning av rotröta, förväntas 12-15% av landets granstammar vara infekterade i slutet av seklet, till skillnad från 8% idag (Eriksson et al., 2016). Rotröta kan även gynnas av stormfällningar då områden med exponerade stubbar öppnas upp (Eriksson et al., 2016). För att motverka förekomsten av rotröta kan man också behandla stubbar efter avverkning med ett preparat (Eriksson et al., 2016). Att blanda bestånd försvårar spridningen av rotröta (Witzell et al., 2009).

Resultaten för Gremmeniella påvisar inga egentliga trender (Fig. 5). GVI värden ökar först för perioden 2020–2049, men går sedan ner igen för perioden 2070–2099. Detta liknar resultaten för torka i mönster. Dessa två index är de som använt nederbördsdata och temperaturdata i kombination. Eftersom gremmeniella gynnas av fuktigare väder, är det sannolikt att perioden 2020-2049 är våtare än de andra, vilket leder till att GVI-värden går upp och index för torka går ner (Eriksson et al., 2016). Det kan vara så att nederbörd ökar i framtiden, men att temperaturen inte hinner stiga tillräckligt för att väga upp nederbördsökningen (Eriksson et al., 2016). Dock är det tydligt att GVI resultat är högre för de norra delarna av Sverige, och lägre

för de södra delarna. GVI-värden över 17.5 räknas som signifikant skadliga (Stenlid och Oliva, 2016a, Stenlid och Oliva, 2016b). Flera värden för Norrland är över 17.5 för alla 30-årsperioder, vilket indikerar att klimatsscenediodata inte påverkar gremmenielleareultatene. Trots att resultatene indikerar att ökade temperaturer och ändrade nederbördsmonster inte kommer påverka gremmenielleautbrott under framtida klimatscenarier, kan det ändå antas att utbrott kommer ske med liknande frekvens som under den historiska 30-årsperioden eftersom GVI värden för E-OBS observationsdata liknade resultatene från GVI beräknat på SMHI data (Fig. 6). Utbrott kan alltså förväntas ske ca 7 gånger per 30 år (Fig. 6). Detta innebär stora förluster för Sveriges skogsbruk.

Det är svårt att bedöma hur klimatförändringar kommer påverka törskate och snöskytte. Törskate har en komplicerad flerårig livscykel (Witzell et al., 2009). Snöskytte kan tänkas missgynnas av ett varmare klimat där vintrar är mildare och snötäcke, som behövs för att de ska kunna infektera barr, kommer smälta tidigare på våren. Att titta närmre på dessa svampar hade varit intressant.

5.1.3 Hjortvilt

Även om älg- och rådjursbete är en av de största hotene mot tall- och granbestånd i dagsläget, är det svårt att bedöma hur klimatförändringar kan komma att påverka detta, men det kan bli så att bete ökar på plantor när alternativ mat tar slut på grund av andra skogsskador (Eriksson et al., 2016). I dagsläget påverkar jakt viltbeståndene avsevärt mer än klimatet. Det kan därför vara svårt att härleda viltbeständsökningar eller minskningar till klimatförändringar (även i framtiden) eftersom majoriteten av påverkan orsakas av jakt (Normark och Fries, 2018).

5.2 Abiotiska hot mot Sveriges skogsproduktion

5.2.1 Torka

Att resultatene för torka först visar på en minskning i torkindex för perioden 2020–2049, och sedan en ökning igen för perioden 2070–2099, kan bero på felberäkningar (Figur. 7). Men det kan också bero på att nederbörd ökar under denna period, samtidigt som temperaturökningen inte har nåt till den punkt där den påverkar avdunstning så pass mycket att påverkan av ökad nederbörd resulterar i motsatsen till torka. Denna teori stärks av att GVI värden går upp 2020–2049 eftersom gremmeniellea gynnas av fuktigt väder (Eriksson et al., 2016). Skillnaden mellan

modellerna är märkbar för resultaten för torka, där EC-EARTH predicerar fler år med ett torkindexvärde mindre än 0.5 än de andra modellerna som predicerar mer liknande resultat .

Även om resultaten pekar på att det inte kommer bli någon signifikant skillnad för torka i framtiden, finns ändå litteratur som menar att perioder med torka kommer öka i framtiden (Eriksson et al., 2016). Träd som har torkskador är mer känsliga för insektsangrepp, vilket kommer gynna till exempel barkborrar (Eriksson et al., 2016, Anderegg et al., 2015).

5.2.2 Storm

Framtida stormar kan komma att orsaka stora skador på skogsbestånd på grund av temperaturökningar som medför markdestabilisering, vilket i sin tur leder till mer att fler träd fälls. Detta i sin tur gynnar insekter som granbarkborren (Eriksson et al., 2016). Kombinationen av dessa två skador kan orsaka otroliga ekonomiska förluster för skogsindustrin (Witzell et al., 2009).

5.3 Begränsningar och framtida studier

I framtida studier där tid och utrymme finns och en liknande metod används, kan det vara mer representativt att använda fler punkter/per område för att få bättre, mer detaljerade resultat. Utöver detta valdes en punkt per län för denna studie trots att de skiljer sig åt väldigt mycket i storlek. Det kan vara bättre att använda fler punkter för till exempel Norrbotten och då bara en för till exempel Blekinge. Resultatosäkerheten demonstreras till exempel i Figur 6, där en punkt per län i Svealand användes, vilket antagligen inte var lika representativt som att använda fler punkter från gridceller.

Värt att notera är också att valet av månader för standardavvikelseuträkningar för den statistiska analysen, hade kanske varit lättare att applicera på resultatvärden om månaderna hade delats upp mer efter vinter, vår, sommar och höst.

Standardavvikelseresultaten påvisar att det finns en variation mellan modeller och mellan åren som analyserats. Detta bidrar till en osäkerhet i resultaten. Även observerade E-OBS data kan ha varit osäker till viss del på grund av interpolering av flera mätstationers data. Detta kan dock också bidra till mer säkra värden då flera räknas med.

Att utveckla mer detaljerade skadeindex, eller flera enkla per hot hade gett en mer detaljerad hotbild för Sveriges gran-och tallbestånd och hoten mot dem. Även att utveckla indicier för de hot som inte blev representerade kvantitativt i denna studie hade varit hjälpsamt för fortsatt förbättrad kunskap om hur skadebilden kan tänkas se ut i framtidens ändrade klimat.

6. Slutsats

Som det ser ut i dagsläget är en medeltemperaturökning oundviklig. Medeltemperaturer för Sverige kommer öka och nederbördsmonster kommer ändras. Mildare våtare vintrar och varmare, torrare somrar kommer påverka skogens ekosystem och gynna biotiska och abiotiska hot mot tall- och granproduktionen. Även om denna studie var övergripande och saknar en mer detaljerad kvantitativ redogörelse för hur skogshotbilden ser ut för Sverige, utgör den en bra grund för vilka biotiska och abiotiska störningar som behöver mest uppmärksamhet under framtidens klimatförändringar. Mer kunskap behövs om hur biotiska och abiotiska skador kommer påverkas i framtiden och övervakningar på dessa hot behövs för att kunna utveckla och förbättra de försiktighetsåtgärder och anpassningsstrategier som finns idag för att säkerställa en hållbar framtid av fortsatt utnyttjande av skogens ekosystemtjänster.

7.Referenser

- Anderegg, W. R. L., Hicke, J. A., Fisher, R. A., Allen, C. D., Aukema, J., Bentz, B., Hood, S., Lichstein, J. W., Macalady, A. K., Mcdowell, N., Pan, Y., Raffa, K., Sala, A., Shaw, J. D., Stephenson, N. L., Tague, C. & Zeppel, M. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist*, 208, 674-683.
- Barbeito, I., Bruecker, R. L., Rixen, C. & Bebi, P. 2013. Snow Fungi-Induced Mortality of *Pinus cembra* at the Alpine Treeline: Evidence from Plantations. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 45, 455-470.
- Berec, L., Dolezal, P. & Hais, M. 2013. Population dynamics of *Ips typographus* in the Bohemian Forest (Czech Republic): Validation of the phenology model PHENIPS and impacts of climate change. *Forest Ecology and Management*, 292, 1-9.
- Brunette, M. & Cauria, S. 2016. An economic comparison of risk handling measures against *Hylobius abietis* and *Heterobasidion annosum* in the Landes de Gascogne Forest. *Annals of Forest Science*, 73, 777-787.
- Carlgren, F. 2018. *Industriproduktionens sammansättning* [Online]. Ekonomifakta. Available: <https://www.ekonomifakta.se/fakta/ekonomi/produktion-och-investeringar/industriproduktionens-sammansattning/> [Accessed 08 Feb 2019 2019].
- Cornes, R. C., Van Der Schrier, G., Van Den Besselaar, E. J. M. & Jones, P. D. 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 9391-9409.
- Eidmann, H. H. & Klingström, A. 1990. *Skadegörare i skogen*, Borås, Centraltryckeriet AB.
- Eriksson, H., Bergqvist, J., Hazell, P., Isacson, G., Lomander, A. & Black-Samuelsson, S. 2016. Rapport 2. Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket. Jönköping.
- Gokturk, T. & Aksu, Y. 2011. Use of pheromone traps against *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor* in the Kazbegi National Park, Georgian Republic. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 2430-2435.
- Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. 1982. ESTIMATING POTENTIAL EVAPO-TRANSPIRATION. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-Asce*, 108, 225-230.
- Heliövaara, K. & Peltonen, M. 1999. Bark Beetles in a Changing Environment. *Ecological Bulletins*, 48-53.
- Honkaniemi, J., Lehtonen, M., Vaisanen, H. & Peltola, H. 2017. Effects of wood decay by *Heterobasidion annosum* on the vulnerability of Norway spruce stands to wind damage: a mechanistic modelling approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 47, 777-787.
- Interagroskogab. 2019. *Rotröta – Skogens värsta skadegörare* [Online]. Available: <https://www.interagroskog.se/rotrota/> [Accessed 2019].
- Ipc 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: [STOCKER, T. F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Deque, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kroner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., Van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell,

- M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J. F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B. & Yiou, P. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563-578.
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B., Ramon Gonzalez-Olabarria, J., Koricheva, J., Meurisse, N. & Brockerhoff, E. G. 2017. Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. *Current Forestry Reports*, 3, 223-243.
- Jönsson, A. M., Appelberg, G., Harding, S. & Barring, L. 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology*, 15, 486-499.
- Jönsson, A. M. & Barring, L. 2011. Future climate impact on spruce bark beetle life cycle in relation to uncertainties in regional climate model data ensembles. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63, 158-173.
- Kårén, O., Eriksson, U., Jansson, B., Petersson, M., Pettersson, A., Bergqvist, J. & Marntell, A. 2018. Åtgärder för att minska skador på skog - Rapport från samverkansprocess skogsproduktion Available: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2018/rapport-20184-atgarder-for-att-minska-skador-pa-skog.pdf> [Accessed 07 Feb 2019].
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O. B., Colette, A., Deque, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Luthi, D., Van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schar, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K. & Wulfmeyer, V. 2014. Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development*, 7, 1297-1333.
- Marini, L., Okland, B., Jönsson, A. M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Gregoire, J.-C., Hurling, R., Nageleisen, L. M., Netherer, S., Ravn, H. P., Weed, A. & Schroeder, M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 40, 1426-1435.
- Nordlander, G., Mason, E. G., Hjelm, K., Nordenhem, H. & Hellqvist, C. 2017. Influence of climate and forest management on damage risk by the pine weevil *Hylobius abietis* in northern Sweden. *Silva Fennica*, 51.
- Normark, E. & Fries, C. 2018. Skogsskötsel med nya möjligheter. The Swedish Forest Agency: The Swedish Forest Agency.
- Öhrn, P., Björklund, N. & Langstrom, B. 2018. Occurrence, performance and shoot damage of *Tomicus piniperda* in pine stands in southern Sweden after storm-felling. *Journal of Applied Entomology*, 142, 854-862.
- Scb. 2018. *Sveriges export* [Online]. Statistiska Centralbyrån. Available: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/sveriges-export/> [Accessed 11 Feb 2019].
- Seidl, R., Spies, T. A., Peterson, D. L., Stephens, S. L. & Hicke, J. A. 2016. Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 53, 120-129.
- Slu 2004-2017. Beståndsskador 2004-2017. In: LANTBRUKSUNIVERSITET, S. (ed.).
- Slu 2017. SKOGSDATA 2017. In: FRANSSON, J. (ed.). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Stenlid, J. & Oliva, J. 2016a. Data from: Phenotypic interactions between tree hosts and invasive forest pathogens in the light of globalization and climate change. Dryad Digital Repository.
- Stenlid, J. & Oliva, J. 2016b. Phenotypic interactions between tree hosts and invasive forest pathogens in the light of globalization and climate change. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 371.

- Thomsen, I. M. 2009. Precipitation and temperature as factors in *Gremmeniella abietina* epidemics. *Forest Pathology*, 39, 56-72.
- Wainhouse, D., Inward, D. J. G. & Morgan, G. 2014. Modelling geographical variation in voltinism of *Hyllobius abietis* under climate change and implications for management. *Agricultural and Forest Entomology*, 16, 136-146.
- Weed, A. S., Ayres, M. P. & Hicke, J. A. 2013. Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs*, 83, 441-470.
- Wermelinger, B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* - a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202, 67-82.
- Wilcke, R. & Barring, L. 2016. *Selecting regional climate scenarios for impact modelling studies*.
- Witzell, J., Barklund, P., Bergquist, J., Berglund, M., Bernhold, A., Blennow, K., Hanson, L., Hansson, P., Lindelöw, Å., Långström, B., Nordlander, G., Petersson, M., Rönnerberg, J., Stenlid, J., Valinger, E., Wallertz, K., Witzell, J. & Åhman, I. 2009. Skador på skog Skogsstyrelsen