

Prognoser för försurningsutveckling under klimatförändring med ForSAFE-modellen

Salim Belyazid¹, Cecilia Akselsson², David Rayner³

¹ Belyazid Consulting and Communication AB, Malmö

² Institutionen för Naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet

³ Göteborgs Universitet

Innehåll

1	Introduktion	2
2	Syfte	2
3	Metod	2
4	Resultat	3
4.1	Modellerade effekter av klimatförändring på trädbiomassa	3
4.2	Klimat effekter på markvattenbalansen	4
4.3	Vittringsrespons på klimatförändring	5
4.4	Tidsutveckling av basmättnadsgraden (BS) under olika klimatscenarier	6
4.5	Historik och prognoser till 2020 och 2100	8
5	Slutsatser	10
6	Referenser	10

1 Introduktion

Minskningen i svaveldeposition över svenska ekosystem har lett till att andelen skogsmark där den kritiska belastningen överskrids minskat. Överskridandet av den kritiska belastningen ger en bra bild av ekosystemens långsiktiga hållbarhet, men säger inget om tidsutvecklingen till följd av svaveldepositionsminskningen. Med hjälp av dynamisk modellering kan vi följa utvecklingen för olika försurningsindikatorer över tiden. Dynamisk modellering används både för att reproducera hur dessa indikatorer har påverkats historiskt av ökningen i svaveldeposition, och för att visa i vilken takt den förväntade återhämtningen kan förväntas ske.

2 Syfte

Syftet med denna studie är att använda den dynamiska skogsekosystemmodellen ForSAFE för att följa utvecklingen i skogsmarksförsurning fram till år 2100. I beräkningarna används scenarier baserade på den nuvarande lagstiftningen under FNs luftvårdskonventionen (the UN's Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, LRTAP). Studien tar också hänsyn till klimatförändringen inom ramen av IPCCs A2 klimatscenariogrupp (Solomon et al., 2007).

Studien syftar till att ta fram prognoser över tidsutvecklingen för specifika indikatorer för skogsmarksförsurning fram till år 2100, med specifika värden för 2020, 2050 och 2100. Dessa ska bidra till en bild av omfattningen av återhämtningen som förväntas efter minskningen i surt nedfall över svenska ekosystem.

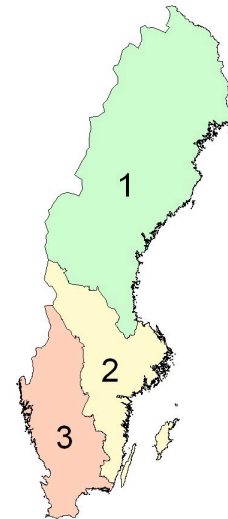
3 Metod

Studien är baserad på dynamisk modellering med ForSAFE-modellen på 640 skogsytor. Ytorna är fördelade över tre försurningsregioner (FR) (Figur 1). Norra Sverige (FR1) innehåller 246 ytor, mellersta Sverige (FR2) innehåller 183 ytor, och södra Sverige (FR3) innehåller 211 ytor.

Data för de 640 ytorna baseras på Alveteg (2004). Hydrologiska data är beräknade med hjälp av data på markttextur och organiskt innehåll (Belyazid, manuskript). Data för trädfysiologi och nedbrytning baseras på Belyazid et al (2011).

Modellsimuleringarna gjordes för två klimatscenarier. I det första klimatscenariot antas att klimatet inte kommer att förändras i framtiden, utan klimatet från de sista 30 åren upprepas (perioden 1980-2010) tre gånger fram till 2100. Det andra klimat scenariot är baserat på Max Plank Institutets *ECHAM5* modell, och följer SRES A2 klimatscenariofamiljen (Rayner, pers. comm.). De historiska klimatdata är baserade på SMHIs mätningar vad gäller nederbörd och temperatur och SMHIs STRÅNG modell vad gäller strålning (Rayner, pers. comm.).

Försurningsprognoserna är gjorda för den nuvarande lagstiftningen (Current Legislation, betecknad CLE) under LRTAP.

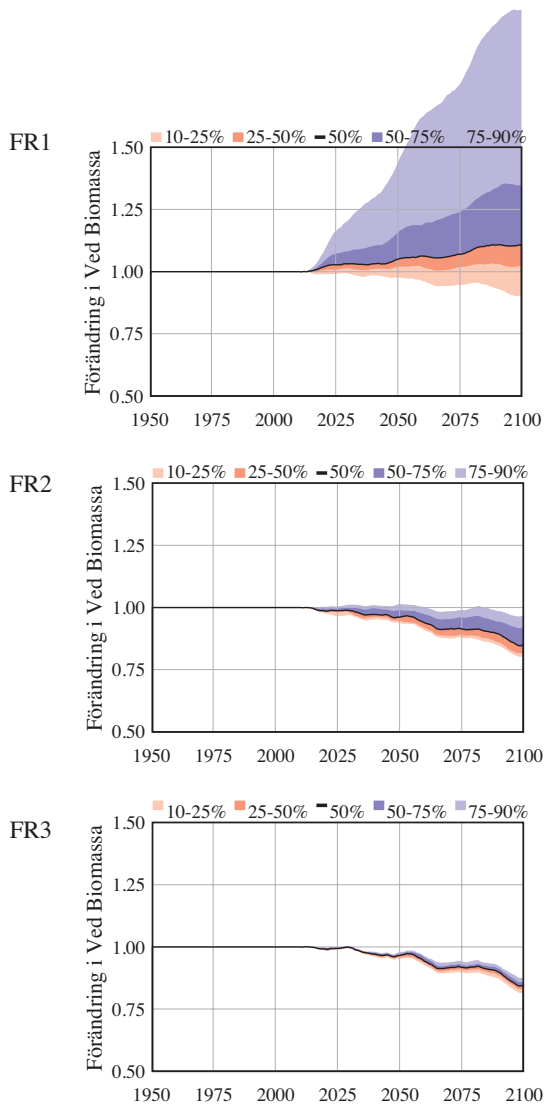


Figur 1: De tre försurningsområdena i Sverige.

4 Resultat

4.1 Modellerade effekter av klimatförändring på trädbiomassa

Då mängden surt nedfall minskar medan efterfrågan på biomassa och skörden ökar, kommer skogsbrukets bidrag till bortförsl av näring från skogsmark att öka i betydelse. Därför är det viktigt att undersöka de potentiella effekterna av klimatförändringen på trädutväxt. Modellen tyder på att medan klimatförändringen kan ha en positiv effekt på utväxten i Norra Sverige (FR1), så kan effekten vara negativ i de mellersta (FR2) och södra (FR3) delarna av landet.



Figur 2: Kvoten mellan den modellerade vedbiomassan med och utan klimatförändring (medianvärden samt percentilintervall). Klimatförändringens effekter på trädbiomassa är enligt modelleringen positiva i Norra Sverige, medan de är negativa i de mellersta och södra regionerna.

Enligt modellberäkningarna kommer 75 % av de modellerade ytorna i norra Sverige (n=246) att få en ökad tillväxt till följd av klimatförändring (Figur 2, FR1). På 10 % av de norra ytorna kommer tillväxten att fördubblas, medan 10 % kommer att få en marginell minskning. Däremot kommer klimatförändringen att ha en negativ effekt på tillväxten

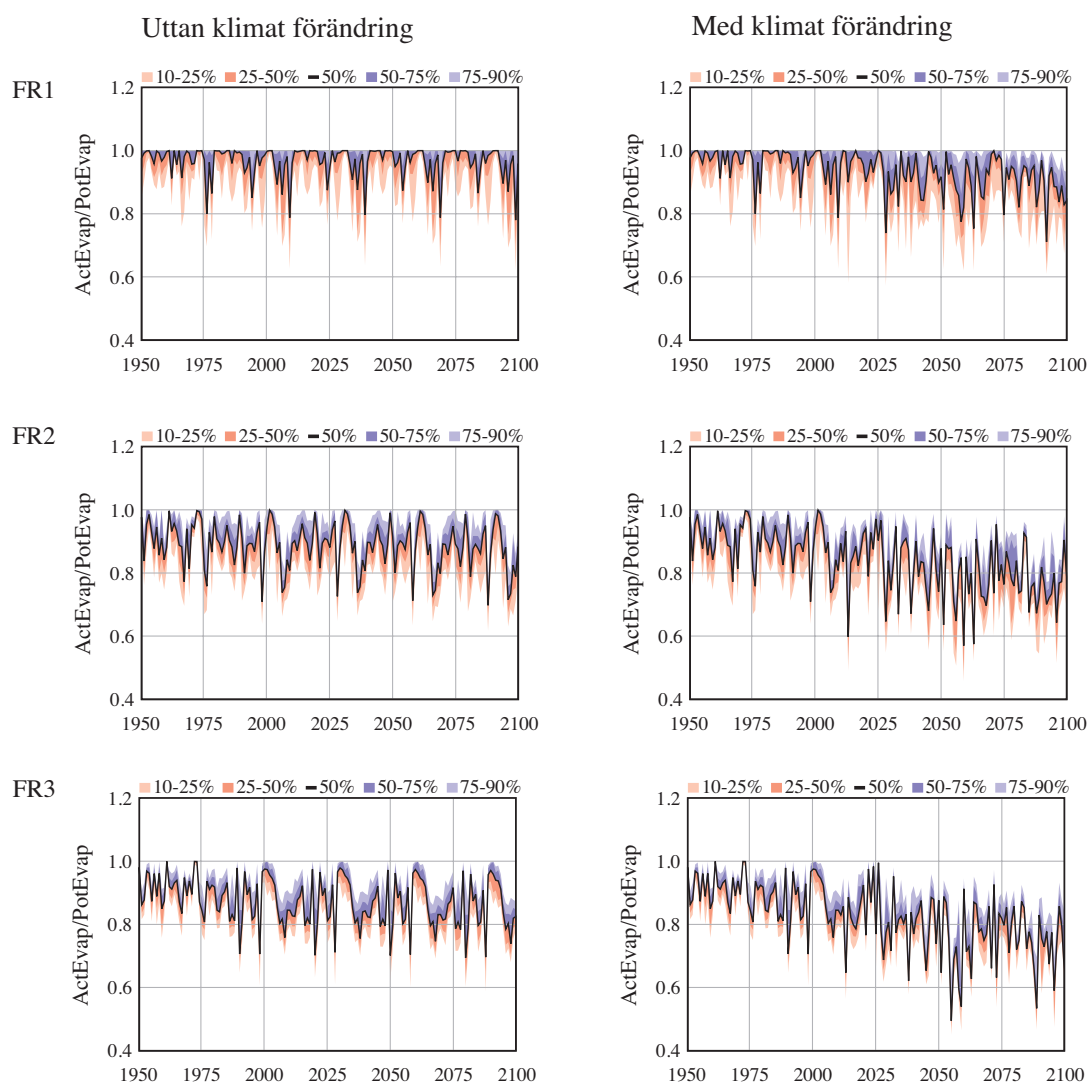
både i mellersta (n=183) och södra (n=211) Sverige, medianen för tillväxten beräknas vara 85 % av den tillväxt som skulle ha skett utan klimatförändring (Figur 2, FR2 och FR3). Skillnaden i tillväxtrespons mellan norra Sverige och mellersta och södra Sverige är huvudsakligen orsakad av skillnaden i klimateffekten på vattenbalansen, som beskrivs nedan. Detta stämmer överens med studier som sammanfattas i Berg et al. (2003).

4.2 Klimat effekter på markvattenbalansen

Även tidigare än år 2000 visar modellen att träd tillväxten kan vara begränsad av vattenbrist (Figur 3, vänster kolumn). Vattenbristen visas som kvoten mellan den potentiella evapotranspirationen av träden (PotEvap), som är den mängd vatten som träden behöver för fotosyntesen, och den aktuella evapotranspirationen (ActEvap), som är vattenmängden som träden faktiskt kan ta upp. Om träden får tillräcklig tillgång till vatten, blir den aktuella evapotranspirationen lika med den potentiella, och kvoten ActEvap/PotEvap blir lika med 1. Men om träden får begränsad tillgång till vatten, kan den aktuella evapotranspirationen vara mindre än den potentiella, och då blir kvoten ActEvap/PotEvap mindre än 1. Modellen använder kvoten ActEvap/PotEvap för att hindra CO₂ upptag av träden och därmed minska fotosyntesen proportionellt (Aber et al., 1994). Evapotranspirationen är en funktion av vattentryckskillnaden (Vapor Pressure Difference) och lufttemperatur.

Modellen visar att alla tre försurningsregioner kommer att drabbas av högre vattenbrist under klimatförändring, på grund av kombinationen mellan ökad temperatur och otillräcklig nederbörd. Vattenbristen visas som en sänkning i kvoten ActEvap/PotEvap i alla tre regioner, men mycket beständigare och allvarligare i mellersta och södra än i norra Sverige (Figur 3, höger kolumn). Kvoten ActEvap/PotEvap kretsar runt 80% i mellersta och södra Sverige, vilket betyder en minskning av den potentiella fotosyntesen med ungefär 20%. Detta leder till en signifikant minskning av tillväxt i mellersta och södra Sverige, till skillnad av norra Sverige.

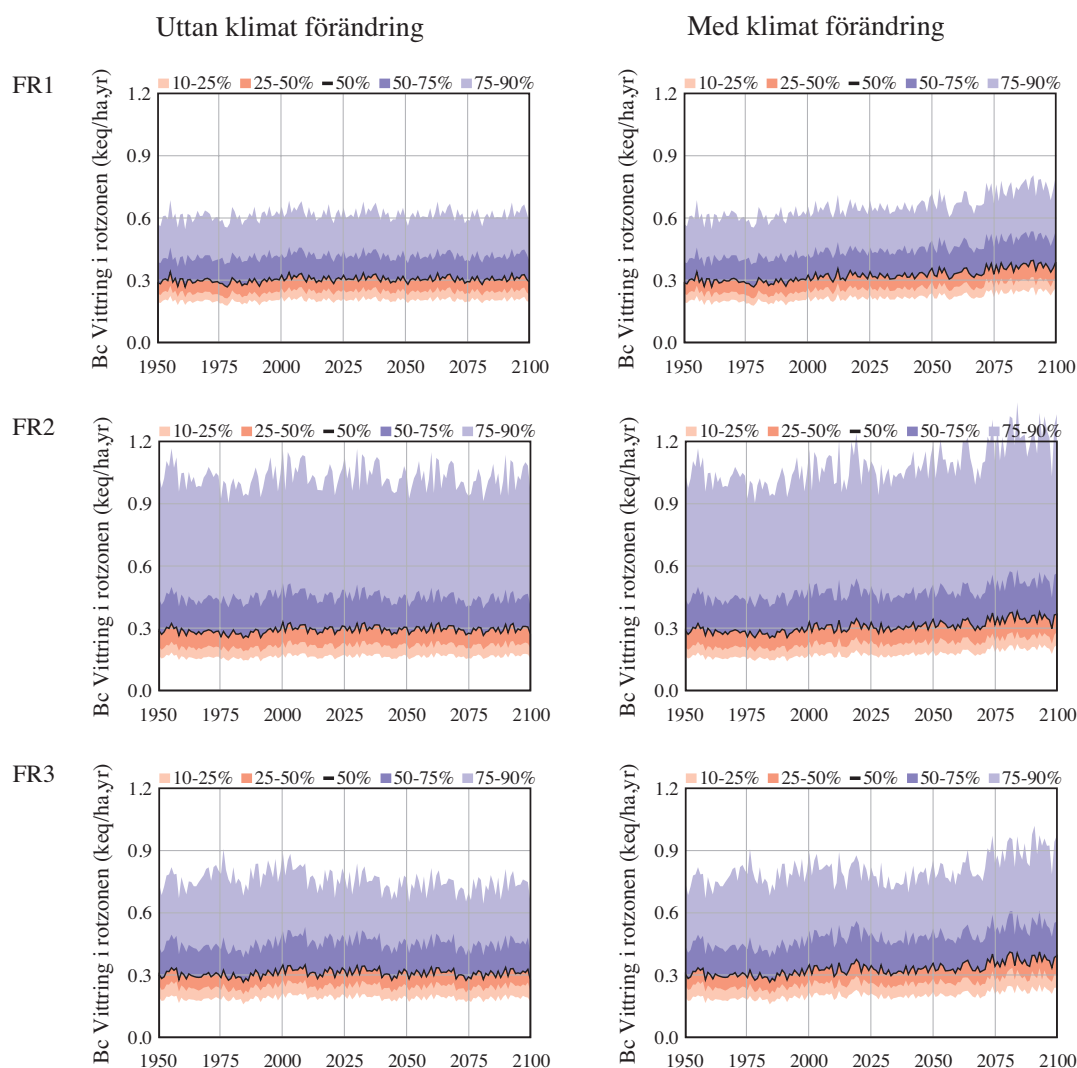
Vattenbristen kommer också att begränsa den förväntade ökningen i vittringshastighet på grund av klimatförändringen. Temperaturökningen kommer att leda till betydligt högre vittringshastigheter enligt Arrhenius-principen, men denna effekt kan motverkas av markvattenbrist (Sverdrup, 1990). Markvattnet är viktigt både för att behålla en markvattenlösning där vittringsreaktioner kan ske, och för att transportera bort baskatjoner som annars skulle bromsa vittringen. Den samlade effekten av klimatförändringen på vittring är beskriven nedan.



Figur 3: Kvoten mellan den aktuella och den potentiella evapo-transpirationen i de tre försurningsregioner (ActEvap/PotEvap) under två klimat scenarier. Klimatförändring ska leda till ökad vatten brist, uttryckt i minskade ActEvap/PotEvap kvoterna i alla tre regioner.

4.3 Vittringsrespons på klimatförändring

Vittringsvariationerna inom de studerade försurningsregionerna är större än skillnaderna mellan regionerna (Figur 4), vilket reflekterar vikten av markens mineralogi för vittringen. Samtidigt har skillnaderna mellan åren varit större än några trender om ingen klimatförändring antas. När modellen räknar med klimatförändringseffekten visas det att vittring kan öka betydligt i alla regioner. I norra Sverige räknar modellen med att vittringsmedianen skulle öka från kring 0.3 keq/ha,yr utan klimatförändring till kring 0.38 keq/ha,yr med klimatförändring mellan åren 2075 och 2100, en ökning med 27 %. Under samma period (2075 till 2100), skulle klimatförändring leda till en ökning i vittringshastigheter med 18 % i mellersta Sverige och 21 % i södra Sverige (beräknat på medianerna i Figur 4). Att vittringsresponsen är störst i norra Sverige kan bero på att ökningen i mellersta och södra Sverige begränsas av vattenbrist i marken.



Figur 4: Trots de relativt stora temporala och regionala variationerna visar modellen att klimatförändringen kan leda till en betydlig ökning i vittringshastigheter.

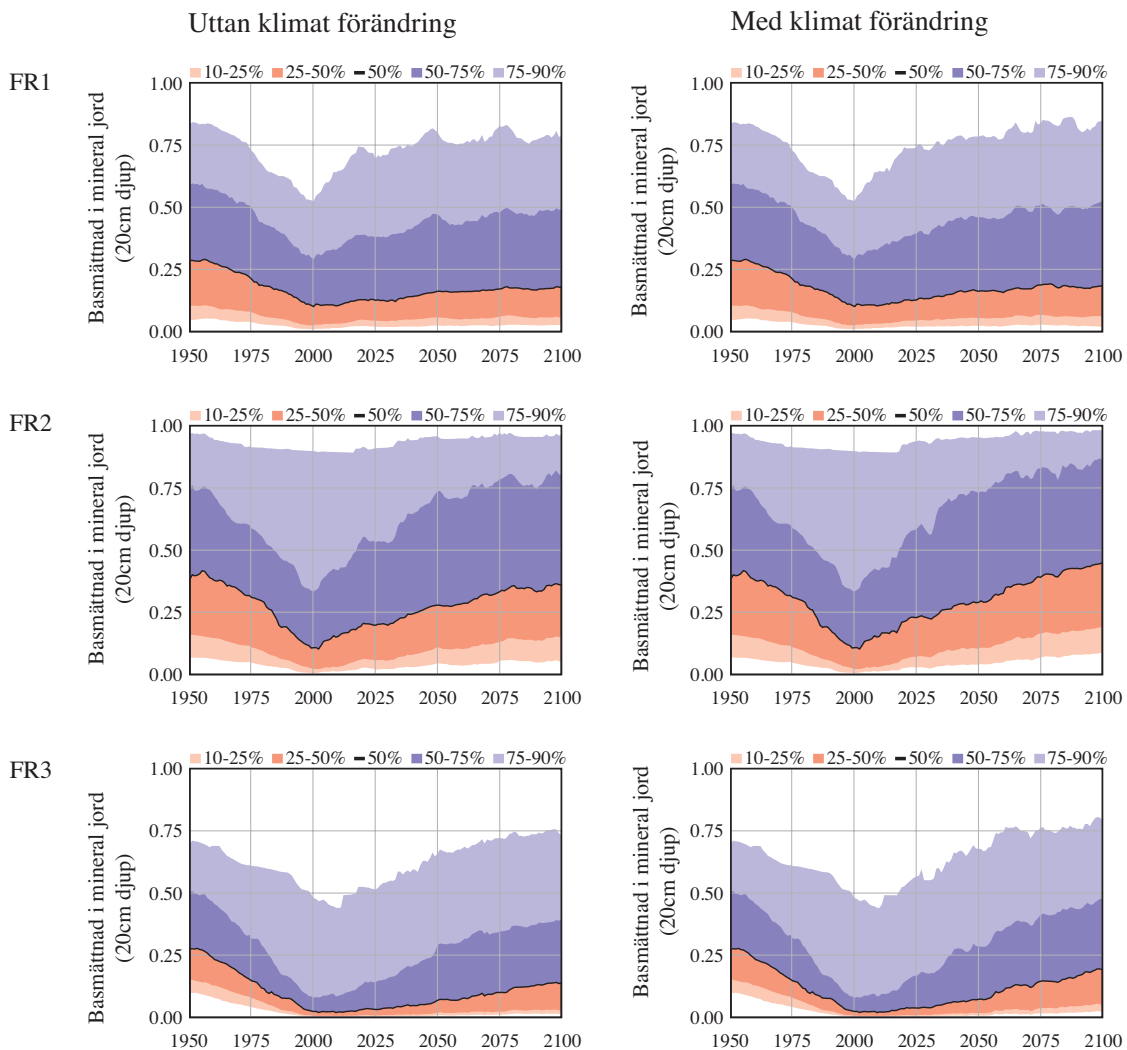
4.4 Tidsutveckling av basmättnadsgraden (BS) vid olika klimatscenarier

BS har minskat betydligt mellan 1950 och 2000 på grund av sur nederbörd. Men även om nedfallet började minska redan på 1980 talet, började inte trenden i BS vända förrän mer än 20 år senare (Figur 5). Medan återhämtningen från försurningen är avsevärd på mellersta Sveriges ytor, är den extremt långsam i norra och södra Sverige, detta även under klimatförändring (Figur 5, höger kolumn). I norra Sverige är återhämtningen av BS begränsad av högre näringsbortförsel på grund av den snabbare tillväxttakten under klimatförändring, vilket motverkar den positiva effekten av den samtidigt ökade vittringen. Detta gör att återhämtningen i norra Sverige fortsätter vara långsam, och modellprognosen tyder på att BS kommer att stabilisera sig på en nivå som är lägre än de modellerade historiska värdena, det vill säga att marken aldrig återhämtar sig till de historiska nivåerna (Figur 5, FR1).

Återhämtningen är snabbast i mellersta Sverige, där tillväxtbegränsningen på grund av vattenbrist är högst. Modellprognosen tyder på att BS kan återgå till 1950 års nivåer i mellersta Sverige vid år 2100. Återhämtningen är dessutom ännu mer tydlig under klimatförändringsscenariot, då tillväxten är ännu starkare begränsad av vattenbrist (Figur 2, FR2). Enligt modellprognosen kan klimatförändringen leda till att medianen av BS-värdena i mellersta Sverige överstiger den nivå den var på år 1950.

Enligt modellen har BS-minskningen, d.v.s. markförsurningen, varit allvarligast i södra Sverige. Återhämtningen predikteras vara extremt långsamt, men till skillnad med norra Sverige finns det en fortsatt positiv trend mellan 2000 och 2100. Enligt modellen så skulle klimatförändringen förstärka den positiva trenden och gynna återhämtningen, dock inte tillräckligt för att nå 1950 års nivåer inom de kommande 88 åren.

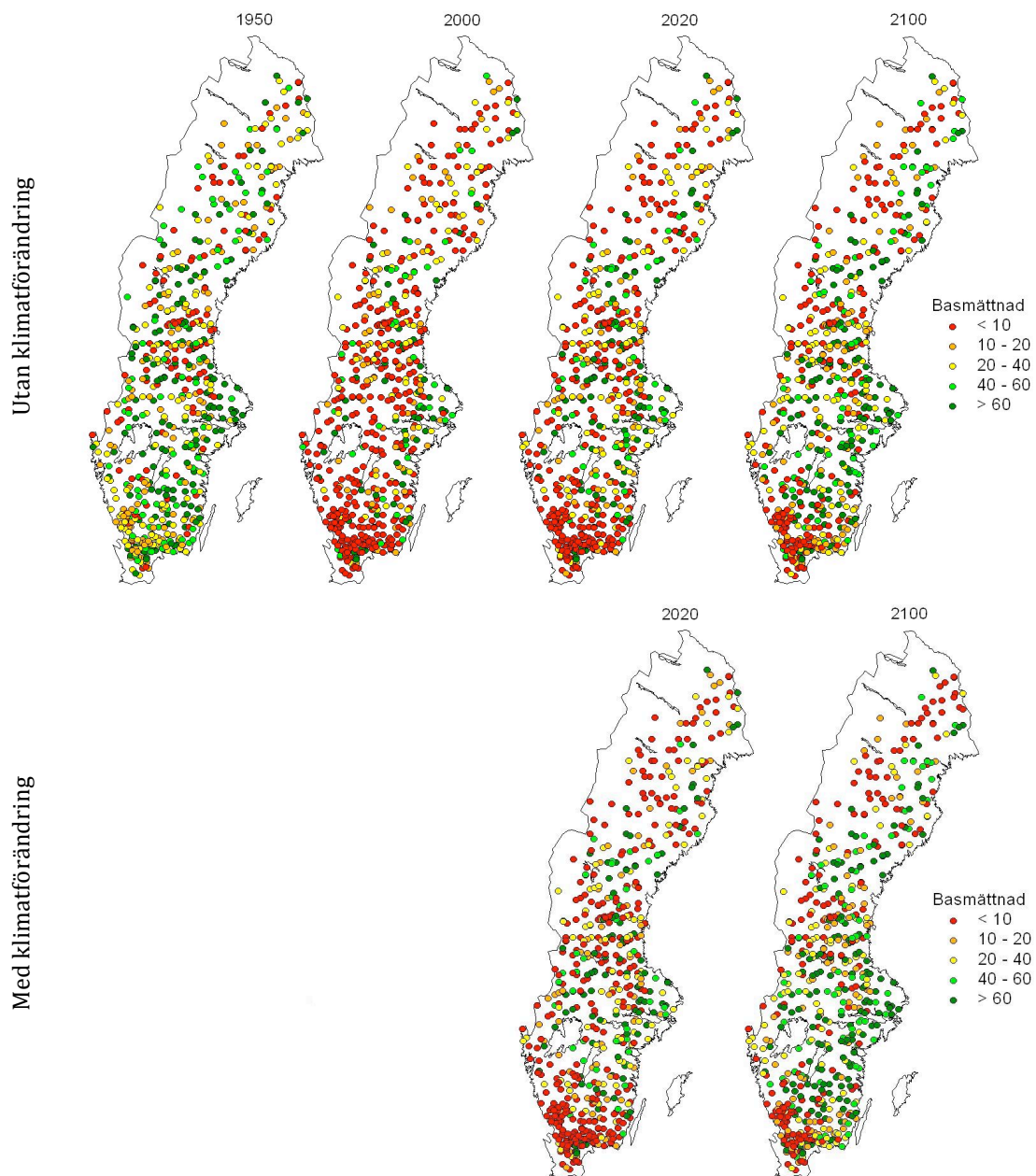
Kopplingen mellan återhämtningen från försurning och näringsbortförel genom tillväxt och skörd som visas i denna studie bekräftar hypotesen som tagits fram av Belyazid et al (2006), där modellering på specifika våldokumenterade ytor visade att återhämtningen från försurning kan motverkas av tillväxtökning och ökad näringsbortförel vid skogskörd.



Figur 5: Basmättnad på 20 cm djup. Enbart i mellersta Sverige, med klimatförändringsscenariot, sker en fullständig återhämtning av basmättnaden (BS) till 2100.

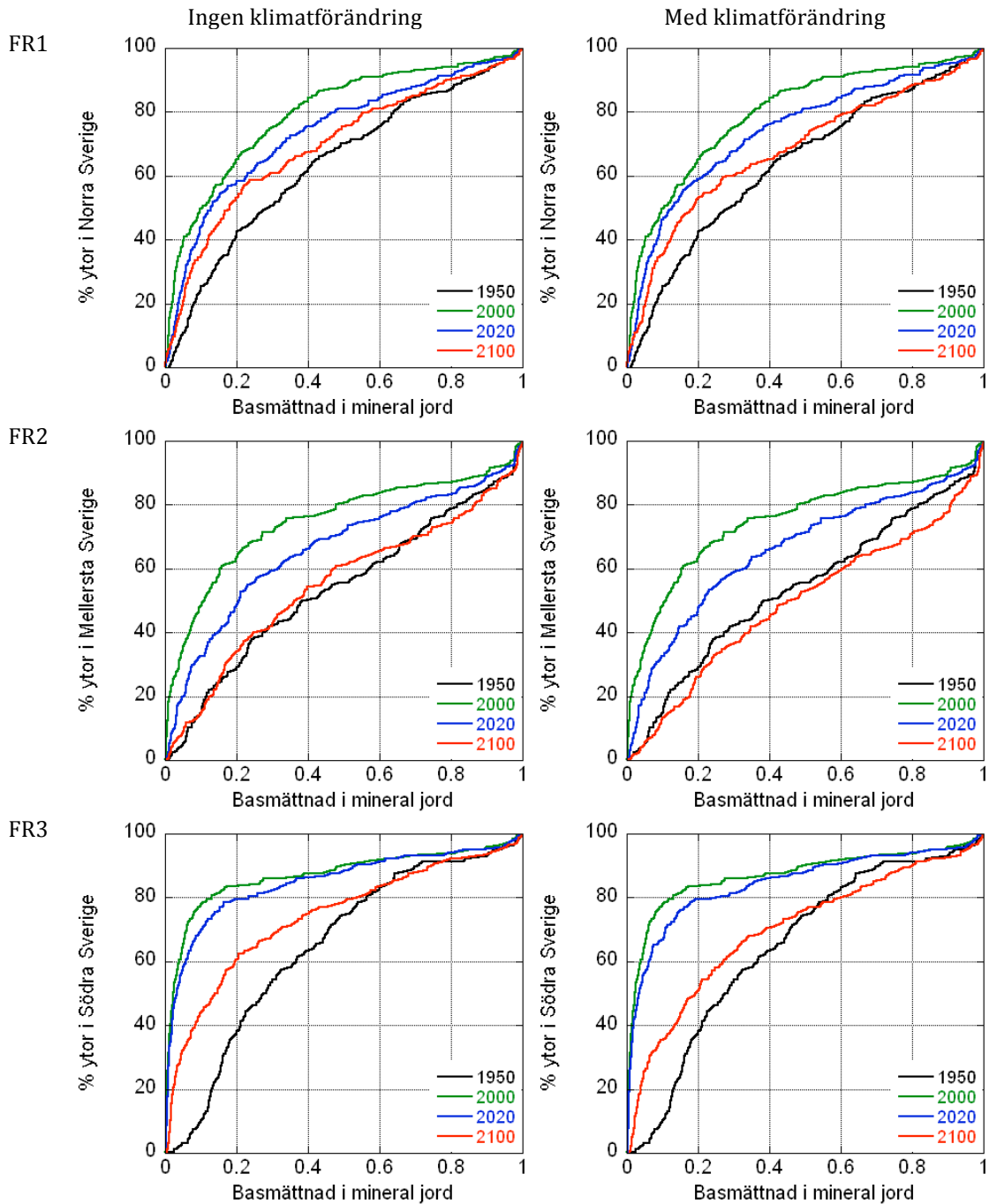
4.5 Historik och prognoser till 2020 och 2100

Sett från ett nationellt perspektiv (Figur 6), tyder modellprognosen på att BS-värdena inte kommer att uppnå 1950 nivåer, trots en betydlig återhämtning från de låga nivåerna år 2000. År 2020 kommer de flesta av de modellerade ytorna att vara försurade. År 2100 kommer flera ytor i mellersta Sverige att ha återhämtat sig till 1950 års nivå, men inte i södra och norra Sverige.



Figur 6: Basmättnadsgrad i mineraljorden i rotzonen för olika år och under två olika klimatscenarier. Klimatförändringen har en tydlig positiv effekt på BS vid år 2100 i mellersta Sverige, en mindre effekt i södra och norra Sverige.

Modellprognosen förutser att vid år 2020 kommer 66% av ytorna i norra Sverige, 64% i mellersta samt 84% i södra att ha en BS värde som är mindre än 20%. Vid samma år är skillnaden mellan de två klimatscenerierna liten. År 2100, kommer 54% av de norra ytorna att ha en BS under 20% om klimatet inte förändras, och 53% om klimatet förändras. I mellersta Sverige däremot, kommer andel ytor med BS under 20% att vara 35% om klimatet inte förändras, men endast 26% om klimatet förändras. I södra Sverige blir andelen 61% respektive 51%.



Figur 7: Kumulativa distributioner för BS för de tre försurningsområdena och under de två klimatscenerierna.

5 Slutsatser

Modellberäkningarna med ForSAFE visar att det finns ett tätt samband mellan skogen och återhämtningen från försurning. Där träden gynnas av klimatförändring, framför allt i norra Sverige, ökar tillväxten och baskatjonsbortförselelsen i samband med skörd, och på dessa ytor fördröjs återhämtningen eller förhindras, även om klimatförändringen kan leda till ökad vittring. I mellersta och södra Sverige främjar däremot den ökade vittringshastigheten återhämtningen något eftersom tillväxten begränsas av vattenbrist.

Modellprognosen visar att även under klimatförändringsscenarioet kommer mer än hälften av de modellerade ytorna i norra och södra Sverige, och ungefär vart fjärde yta i mellersta Sverige, att ha BS värden under 20% år 2100.

6 Referenser

Aber, J., Reich, P.B., Goulden, M.L., 1996. Extrapolating leaf CO₂ exchange to the canopy: a generalized model of photosynthesis compared with measurements by eddy correlation. *Oecologia* **106**, 257-265.

Belyazid, S., Kurz, D., Braun, S., Sverdrup, H., Rihm, B., Hettelingh, J.P., 2011. A dynamic modelling approach for estimating critical loads of nitrogen based on plant community changes under a changing climate. *Environmental pollution* **159**, 789-801.

Belyazid, S., Westling, O., Sverdrup, H. (2006). Modelling changes in forest soil chemistry at 16 Swedish coniferous forest sites following deposition reduction. *Environmental Pollution* **144**, 596-609.

Bergh, J., Freeman, M., Sigurdsson, B., Kellomäki, S., Laitinen, K., Niinistö, S., Peltola, H., Linder, S., 2003. Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management* **183**, 327-340.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), 2007. *Climate Change 2007: The physical Science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Sverdrup, H., 1990. *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*. Lund University Press.