

Förslag på uppföljning av åtgärder för ökad kolinlagring och minskade utsläpp i LULUCF-sektorn – Beskogning av tidigare jordbruksmark

Mattias Lundblad	SLU, Institutionen för mark och miljö
Cornelia Roberge	SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning
Alex Appiah Mensah	SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning
Hans Petersson	SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning
Johan Stendahl	SLU, Institutionen för mark och miljö

Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsår:	2021
Utgivningsort:	Umeå
Serietitel:	Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning
Delnummer i serien:	525
ISSN:	1401-1204
Nyckelord:	beskogning, skog, åkermark, betesmark, klimat, koldioxid

Sammanfattning

Genom att aktiviteter inom markanvändning och skogsbruk (LULUCF-sektorn) fått större betydelse i klimatarbetet, såväl internationellt (EU/2018/841) som nationellt (SOU 2020:4) har behovet av förbättrad uppföljning av dessa aktiviteter aktualiserats. Det finns även ett behov av att förbättra bedömningen av potentialen, dvs. effekten på växthusgasbalansen av att åtgärderna införs.

I denna rapport analyseras hur kolinlagringen kan öka genom beskogning av jordbruksmark och hur åtgärden kan följas upp. I uppdraget ingår att (i) föreslå hur förändrade utsläpp och upptag kan kvantifieras på objektsnivå i samband med utförd åtgärd, (ii) identifiera tillgängliga datakällor för att följa upp åtgärderna, (iii) föreslå eventuellt ytterligare behov av data för uppföljning av åtgärderna.

Eftersom omfattande inventering krävs för mäta effekten av beskogning på plats har vi tagit fram en uppsättning typbestånd för olika trädslag (gran, tall, björk, asp, contortatall, ek, lärk, bok), bördighet (låg, medel, hög), tidigare markanvändning (vallbruk, odling av ettåriga grödor respektive grönräda) för tre regioner (Götaland, Svealand, Norrland), dvs. 216 olika alternativ. Dessutom har vi också tagit fram motsvarande uppsättning för fall där föryngringen är något mindre lyckad. De olika typbestånden simulerades med Heureka Planwise med komplettering av markkolsdata för tidigare markanvändning som simulerades med ICBM-modellen. För att också visa effekten av att välja snabbväxande trädslag som poppel och hybridasp gjordes en litteraturgenomgång som jämfördes med de simulerade bestånden.

Det är stor skillnad i utfallet för de olika simulerade beskogningsalternativen. Gran binder i genomsnitt 2,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över en omloppstid, medan björk binder 0,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över en omloppstid. Generellt sker ett större kolupptag vid lyckade föryngringar med i snitt 1,4 ton C ha⁻¹ år⁻¹ nettoupptag över en omloppstid vid 2000 stammar vid en återväxtinventering jämfört med 1,1 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid 1000 stammar. Högre bonitet ger i snitt 1,7 ton C ha⁻¹ år⁻¹ jämfört med 0,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid lägre bonitet i genomsnitt över samtliga simulerade bestånd.

En intressant observation är att det tar ett antal år innan bestånden bidrar som nettosänka (men med stor variation givet variationerna ovan). Detta beror på att nedbrytningen av det gamla kolet i marken inledningsvis är högre än tillförseln av nytt kol. Även om man ska tolka dessa simulerade resultat med viss försiktighet visar det att tidigare markanvändning bör tas i beaktande för var beskogning bör ske och med vilka trädslag. Det finns annars en risk att nyttan med beskogningen begränsas både i total effekt och tidsmässigt för att bidraget ska bli signifikant relativt befintliga klimatmål.

Underlagen från de simulerade typbestånden kan användas i kombination med aktivitetsdata, dvs. arealer för aktiv plantering för att beräknas totaleffekt av beskogning. Genomsnitt kan t.ex. tas fram som kan komplettera de utsläpps- och upptagsfaktorer som används i klimatrapporeringen idag i kombination med data från SLU Riksskogstaxeringen (RT), exempel ges i rapporten på regionvisa faktorer. Det är också möjligt att använda typvärden på den aggregeringsnivå som är lämplig givet de aktivitetsdata som finns tillgängliga. Andra källor för aktivitetsdata kan vara den anmälan som görs till Länsstyrelsen när jordbruksmark tas ur bruk eller uppgifter om att jordbruksmarken inte längre ingår i ansökan om stöd inom landsbygdsprogrammet. Om en bra uppföljning ska kunna göras i framtiden behöver ett system som sammanställer den anmälan som görs idag och de ansökningar om stöd som kan bli verklighet om aktiviteten beskogning kommer ges stöd i någon form (antingen genom ett nytt system eller genom att det implementeras i befintliga stödsystem). Uppföljning kan göras genom stickprovsinventering i lämpliga tidsintervall men också genom att markägaren informerar ansvarig myndighet löpande om beståndets utveckling, i.e. i

vilken utsträckning beskogningen varit lyckad (kanske vart femte år). Uppgiftslämnarbördan ska dock hållas så låg som möjligt för att inte minska intresset för åtgärden.

När det gäller potentialen av beskogning relativt klimatmål till 2030 och 2045 är det uppenbart att bidraget inte hinner bli så stort till 2030 givet att det tar tid innan tillväxten får fart och effekten av att nedbrytningen av markkol är högre än tillförseln av nytt kol initialt. Vi har beräknat ett antal scenarier med stöd av simuleringar av typbestånd. Utgångspunkten har varit dagens beskogningsintensitet och trädslagsfördelning. Den additionella effekten jämfört med det bidrag som aktiviteten beskogning ger idag, hamnar på i storleksordningen 50 kton CO₂ år⁻¹ 10 år efter att scenarierna startar, men efter 25 år, dvs. runt 2045 kan bidraget bli mer än 1 000 kton CO₂ år⁻¹ vid beskogning på 10 kha år⁻¹ i 20 år, dvs. totalt 200 kha. Det är dock stor variation beroende på vilken beskogningsstrategi som väljs. Ett alternativ där andelen löv ökar samtidigt som vi antar att bättre lokaler väljs ger bara ett extra bidrag på drygt 100 kton CO₂ år⁻¹ efter 25 år. Kortsiktigt verkar det effektivt att satsa på att plantera snabbväxande trädslag som poppel eller hybridasp, åtminstone på en del av den aktuella arealen.

Beskogningen bidrar inte bara med inlagring av koldioxid utan också till produktion av träråvara. Efter 60 år kan bidraget från beskogad mark, dvs. den mark som beskogas i scenarierna bidra med mellan ca 0,4 miljoner m³sk år⁻¹ (scenario *löv*) och ca 1,4 miljoner m³sk år⁻¹ (scenario *BAUx2*) i gallring. Om utvecklingen följer alternativ Hög kan det handla om uppemot 2 miljoner m³sk år⁻¹ för scenario *BAUx2* (som innebär att upp till 400 kha mark tas i anspråk för beskogning). Jämfört med dagens avverkningsnivåer motsvarar detta ca 1-2% av det årliga virkesuttaget. Därtill tillkommer förstås virkesleveranser när bestånden slutavverkas men den kolmängden är inkluderad i nettoupptaget. Potentiellt skulle beskogning och produktion av skogsråvara på nedlagd jordbruksmark kunna frigöra produktiv skogsmark för andra ändamål, t.ex. för ökat bevarande av biologisk mångfald.

Hur våra marker utnyttjas i framtiden är dock en svår balansgång, samtidigt som jordbruksmark läggs ner, pekar mycket på dessa arealer kan behövas för livsmedelsproduktion i framtiden. Det är därför rimligt att inte inteckna alltför stor areal för beskogning. Vår bedömning är att de 200 kha som vi använt i denna studie inte i alltför stor utsträckning inkräktar på framtida livsmedelsproduktion eftersom marken i huvudsak redan tagits ur jordbruksproduktion.

Nyckelord: beskogning, skog, åkermark, betesmark, klimat, koldioxid

Förord

Med anledning av det ökade behovet av att öka precisionen i uppföljningen av åtgärder inom LULUCF-sektorn har Naturvårdsverket tillfrågat SLU om att analysera och redovisa hur åtgärder för att öka kolinlagring och minska utsläpp inom LULUCF-sektorn kan följas upp.

I uppdraget ingår att (i) föreslå hur förändrade utsläpp och upptag kan kvantifieras på objektsnivå i samband med utförd åtgärd, (ii) identifiera tillgängliga datakällor för att följa upp åtgärderna, (iii) föreslå eventuellt ytterligare behov av data för uppföljning av åtgärderna.

I denna del av uppdraget analyseras aktiviteten beskogning av jordbruksmark (åkermark och naturbetesmark) vilket i praktiken innebär ägoslagsförändring från bebyggd mark, åker- eller betesmark till produktiv skogsmark.

Analyserna har utförts vid Institutionen för mark och miljö och Institutionen för skoglig resursanalys, SLU gemensamt.

Innehållsförteckning

1. Inledning	8
2. Potentialen av nybeskogning i Sverige givet olika trädslag och beskovningsintensitet	9
2.1. Material och metoder.....	10
2.1.1. Simulering av beskogning.....	10
2.1.2. Scenarier.....	12
2.2. Resultat - beskogning.....	14
2.2.1. Beskogade arealer och genomsnittlig kolinbindning	14
2.2.2. Scenarier.....	17
2.3. Aktivitetsdata för beskogning av mark.....	23
2.3.1. Skattning av beskovningsareal.....	25
3. Diskussion	29
Referenser	34
Appendix A	38
Utveckling av totalt kolförråd över tid för poppelbestånd i Sverige.....	38
Data	38
Metod.....	38
Resultat	39
References	40
Bilaga 1	41

1. Inledning

Genom att aktiviteter inom LULUCF-sektorn¹ fått större betydelse i klimatarbetet, såväl internationellt (EU/2018/841) som nationellt (SOU 2020:4) har behovet av förbättrad uppföljning av dessa aktiviteter aktualiserats.

Idag baseras redovisningen av utsläpp och upptag inom LULUCF-sektorn till stor del på underlag från SLU Riksskogstaxeringen (RT) och SLU Markinventeringen (MI). Redovisningen uppfyller de krav som ställs i överenskomna riktlinjer inom EU och under Klimatkonventionen/Kyotoprotokollet (NIR 2021) men för flera av de redovisade bokföringsaktiviteterna är osäkerheten stor. Särskilt när aktiviteterna omfattar mindre arealer finns risk att det statistiska underlaget är för svagt för att tillförlitligt kvantifiera effekten av eventuellt implementerade åtgärder.

När det gäller Sveriges klimatstrategi (Prop. 2016/17:146) föreslås åtgärder inom LULUCF-sektorn kunna ingå som kompletterande åtgärder vilket ställer än större krav på att uppföljningen verkligen kan inkludera en redovisning av de implementerade åtgärderna. En av de åtgärder som lyfts fram är beskogning av jordbruksmark (åkermark och betesmark) vilket omfattar mark som tidigare tagits ur jordbruk men även mark som tas ur jordbruk framgent (SOU 2020:4). Beskogning innebär i praktiken ägoslagsförändring från bebyggd mark, åker- eller betesmark till produktiv skogsmark. Effekten av en beskogningsåtgärd påverkas av befintligt kolförråd i mark och annan vegetation som främst beror på tidigare markanvändning/brukningssystem men också av markens övriga egenskaper. Markförhållandena påverkar också trädens tillväxtbetingelser.

I denna rapport presenteras en analys av effekten av beskogning med olika trädslag och på olika marktyper med hänsyn tagen till variationer i bördighet och klimat. Rapporten diskuterar även hur förändrade utsläpp och upptag kan följas upp genom att samla information från olika datakällor.

¹ Land Use, Land Use Change and Forestry, sektorn markanvändning och skogsbruk

2. Potentialen av nybeskogning i Sverige givet olika trädslag och beskningsintensitet

Tidigare har tillväxtförändringar som resultat av beskningsåtgärder undersökts inom ramen för Skogliga konsekvensanalyser (SKA). I SKA-VB-08 (Skogsstyrelsen 2008) valde man att beskoga 400 kha nedlagd jordbruksmark (åkermark och betesmark), vilket enligt bästa tillgängliga data från RT och Jordbruksverket skulle lämna 200 till 300 kha av nedlagda jordbruksmarker att inte beskogas, då dessa sannolikt skulle vara mer värdefulla för sina naturvärden (biologisk mångfald). När SLU senare tog fram underlag till ett regeringsuppdrag (MINT, Larsson m. fl. 2009) för att utreda möjligheterna till intensivodling av skog på marker med låga naturvärden, kom man fram till att när en jämn åldersfördelning uppnåtts på den successivt beskogade arealen skulle den genomsnittliga tillväxten för hybridasp motsvara $17,1 \text{ m}^3 \text{sk ha}^{-1} \text{år}^{-1}$, medan den för arealen med gran är $11,5 \text{ m}^3 \text{sk ha}^{-1} \text{år}^{-1}$.

Även i senare utredningar pekar man på att den tillgängliga arealen är stor. I redovisningen av den klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) skattades den tillgängliga arealen till ca 150 kha. Samtidigt pekade man på att givet utvecklingen av jordbruksmarkens användning som redovisas i Jordbruksverkets prognoser kan ytterligare drygt 200 kha åkermark och betesmark finnas tillgängliga för beskogning inom 25 år (Jonasson 2018).

Den senast tillgängliga skattningen av tillgängliga arealer baserat på RT 2015-2019 ger en lägre tillgänglig areal för beskogning jämfört med tabell 3.1 i MINT-utredningen som baserades på RT 2002-2006, d/ vs. 13 år senare. Då skattade man övergiven åkermark som övergivits de senaste 20 åren till 160 kha och enligt senaste skattning får vi 127 kha (tabell 1). Detta beror sannolikt på att skog etablerats på marken eller att den bytt ägoslag. Men man ska också beakta att fördelat på landsdelar och tidigare ägoslagsklass, handlar det om jämförelsevis små arealer vilket betyder att skattade värden är behäftade med relativt höga medelfel.

Tabell 1. Nedlagd åker- och betesmark (kha) enligt SLU Riksskogstaxeringen 2015-2019.

Landsdel	Betesmark < 20 år	Åkermark < 20 år	Åkermark > 20 år	
			Ej kalmark	Kalmark
N Norrland	1	12	52	24
S Norrland	6	14	43	21
Svealand	25	43	139	26
Götaland	55	59	156	31
Totalt	88	127	391	102

2.1. Material och metoder

2.1.1. Simulering av beskogning

Beskogning av tidigare jordbruksmark simulerades med det skogliga beslutsstödsystemet Heureka (Planwise) (Wikström m.fl. 2011). Tre fiktiva lokaler definierades för respektive landsdel (söder, mellan och norr) med tre ståndortsindex² (G20, G26, G34). Dessa baserades på data från Västerbotten (breddgrad 64,1°), Örebro län (breddgrad 59,1°) och Kronobergs län (breddgrad 56,5°). Samtliga placerades i klimatzon 0 och 50 m ö.h. eftersom vi ville hålla så mycket som möjligt lika så att skillnaderna i resultat, i möjligaste mån, skulle handla om effekterna av bördighet, trädslag och läge i nord-syd.

Simuleringar gjordes för de trädslag som finns inkluderade i programvaran idag, trots att trädslagen inte alltid kan anses vara lämpliga för den aktuella ståndorten eller ens lagliga (t.ex. bok i Norrland eller contortatall i Götaland). Ett grundläggande antagande är att samtliga bestånd vid starten av simuleringen anses vara planterade och livskraftiga, vilket är ett långtgående antagande, speciellt med avseende på överlevnad av ädellöv i norra Sverige, men överlevnad kan också kräva hägn och gräsbekämpning för att åstadkomma bra resultat över tid. En kompletterande simulering med hälften av plantantalet vid en återväxtinventering har tagits fram som en jämförelse av en situation när planteringen inte lyckas lika bra.

På respektive lokal simulerades således beståndsutveckling av bestånd med 2000 respektive 1000 plantor per hektar av respektive trädslag (gran, björk, lärk, tall, asp, contorta, bok och ek) med hjälp av Heureka Planwise (version 2.17.1). Av de genererade skötselalternativen användes det alternativ som genererade högsta nuvärdet³ för respektive bestånd. Detta för att skapa realistiska resultat utifrån

² Ståndortsindex ger ett mått på markens produktionsförmåga och visar den beräknade övre höjden vid en given referensålder, normalt 100 år för gran och tall, och 50 år för snabbväxande lövträd. SI G20 betyder t.ex. att dominerande granar blir 20 meter höga på 100 år.

³ Nuvärdet tar hänsyn till framtida kostnader och avkastning vid antagen räntenivå och används för optimeringsanalys.

nuläget, dvs. att de som väljer att aktivt beskoga och investerar i plantor kommer att vilja ha resultat i plånboken. Inga förändringar gjordes i Heurekas grundinställningar med avseende på skötsel av skog, vanlig mortalitet och inväxning av andra trädslag, samt priser på åtgärder och virke. Tidpunkten för både gallringar och slutavverkning genererades av systemets skötselprogram. Inget biobränsleuttag gjordes varken i gallringar eller i slutavverkningar, men all avgång antas tillvarataget som brännved och ingår därför inte i det uppbyggda kolförrådet. Simuleringsperioden sattes till 100 år i samtliga fall. De efterföljande beräkningarna av kolinbindning baserades emellertid på en omloppsperiod (mellan simuleringarnas start och slutavverkning) som i de flesta fallen var kortare än 100 år.

De ovan beskrivna kombinationerna av ståndortsindex, lokal och trädslag ger oss 216 bestånd. Vissa kombinationer är som redan nämnts föga troliga givet förutsättningar för olika trädslags och växtplatskombinationer, medan andra är mer sannolika och töjer mindre på modellernas antaganden – exempelvis finns inget dataunderlag för hur lyckat det skulle vara att plantera 2000 ekplantor i Västerbotten på en G34, dessa simuleringar är därför något av ett stresstest av de modeller som implementerats i Heureka med utgångspunkt i en lyckad föryngring med levande träd under 1,3 meter i brösthöjd vid utgångspunkten/inventeringstillfället. Att uppnå detta kan anses vara omöjligt i sig och hänsyn till detta bör tas vid tolkning av resultaten. Det är också viktigt att notera att vi simulerat 100 år, vilket innebär att några kombinationer av fiktiva bestånd inte hinner uppnå en full omloppstid (för Götaland endast ek på låg bördighet, men för Norrland och Svealand gäller detta även bok). Det är också viktigt att komma ihåg att för vissa föryngringar kan hägn vara nödvändigt för lyckad föryngring vilket medför höga kostnader och därför knappt förekommer idag. Här kanske främst RASE (rönn-asp-sälg-ek), men lokalt kan också tall vara eftertraktade av klövvilt (Albrektsson m.fl. 2012).

Heureka simulerar utvecklingen av kolförrådet för mineraljord på skogsmark. Eftersom planteringen antas ske på tidigare jordbruksmark som normalt har ett högre kolinnehåll än skogsmark för de simulerade typlokalerna användes ICBM-modellen (Andrén & Kätterer, 1997) för att simulera nedbrytningen av det befintliga organiska kolet i mineraljorden över tid. Inlagringen av nytt organiskt kol i marken simulerades med Heureka. Representativa värden för nedbrytningen av kolförrådet för tidigare vall, odling med ettåriga grödor samt grönträda simulerades fram där initiala kolförråd sattes i relation till det regionala genomsnittet för åkermark, med 20% lägre kolförråd för den ettåriga växtföljden och 20% högre kolförråd för långliggande vall. Med långliggande vall avses här permanent vall som inte förnyas och kan ligga obruten i 10 till 20 år (används antingen till foder eller till bete eller en kombination) eller långliggande träda bestående av gammal vall som helt enkelt bara får ligga kvar. Dessa tre alternativa marker innebär alltså

ytterligare tre alternativ per region och trädslag när de kombineras med Heureka-simuleringarna enligt beskrivningen ovan vilket ger totalt 216 alternativ för varje nivå av beståndsutveckling (1 000 respektive 2 000 plantor ha⁻¹).

Utöver simuleringarna med Heureka gjordes en litteraturgenomgång om effekten av att plantera poppel, som jämfört med de traditionella trädslagen ger stora volymer på kort tid. Genomgången presenteras i appendix A.

2.1.2. Scenarier

För att skatta effekten av olika beskningsstrategier har vi använt resultaten från simuleringarna av bestånd i kombination med observerad årlig beskningsareal och beskningstakt. Utgångspunkten har varit dagens beskningstakt, dvs. den areal som aktivt beskogas per år idag och den fördelning av trädslag per landsdel som registrerats av SLU Riksskogstaxeringen (RT).

Skattad genomsnittlig aktivt beskogad areal enligt RT 1988-2019 var ca 11,7 kha⁻¹ år⁻¹ (tabell 2). Fördelningen över landsdelar har använts för att fördela den beskogade arealen i scenarierna.

Tabell 2. Skattad årligt aktivt beskogad areal (skattat medelvärde kha år⁻¹, 1988-2019) Riksskogstaxeringens permanenta stickprov.

Landsdel	Areal (ha)
Götaland	4,2
Svealand	4,6
Södra Norrland	0,7
Norra Norrland	2,2
Totalt	11,7

De beståndstyper som identifierats för aktiviteten besknings i RT är övervägande gran och tall men även björk och asp förekommer. Fördelningen över beståndstyper för besknings enligt RT användes som utgångspunkt i grundscenarierna *BAU* (*Business as usual*) som är en framskrivning av *historisk beskningsintensitet*, *BAUx2* som är en fördubbling av *BAU*, *Snabb* som liknar *BAU* men där beskningsen går snabbare och *Långsam* som liknar *BAU* men där beskningsen tar längre tid.

Scenarierna ovan fördelas arealmässigt (tabell 3) på olika trädslag och arealer för respektive trädslag (tabell 3). I scenarierna *Gran*, *Löv* respektive *Contorta* prioriteras trädslagen annorlunda, se tabell 4. Observera att såväl variationer i beskningstakt som i trädslagsval är hypotetiska scenarier som kan användas för att illustrera skillnaden givet olika beskningsstrategier.

Tabell 3. Fördelning av den beskogade arealen för landsdelar och beståndstyp per landsdel (%) för beräkning av scenarier (BAU, BAUx2, Snabb och Långsam).

Landsdel	Areal	Gran	Tall	Björk	Asp
Götaland	38	65	10	20	5
Svealand	37	65	10	25	
Norrland	25	50	40	10	

Utifrån grundförutsättningarna i tabell 2 och 3 har vi beräknat effekten av (i) dagens beskogningstakt, (ii) en dubbling arealmässigt av dagens beskogningstakt och (iii) en snabbare beskogningstakt men samma totalareal som för (i) över en 20-årsperiod samt (iv) en snabbare beskogningstakt efter 10 år (tabell 4). Dessutom har vi beräknat effekten av att (v) all beskogning sker med gran, att (vi) hälften av barrskogsandelen i BAU ersätts med löv och att (vi) hälften av tallandelen ersätts med contortatall.

Som vi beskrev i inledningen av beskogningsavsnittet finns idag ca 150 kha tillgängligt för beskogning och på sikt kan arealen öka till 350 kha. I alla scenarier utom ett (BAUx2) håller vi oss alltså väl inom denna areal.

Tabell 4. Beskogningsscenarier. Omfattning totalt och intensitet över tid..

Scenario	Omfattning	Total areal (kha)
BAU. Dagens beskogningstakt	10 kha år ⁻¹ i 20 år	200
BAUx2. Dubbel beskogningstakt	20 kha år ⁻¹ i 20 år	400
Snabb. Snabbare beskogningstakt	20 kha år ⁻¹ i 10 år	200
Långsam. Senare ökning av beskogningstakten	10 kha år ⁻¹ i 10 år och därefter 20 kha/år i fem år	200
Gran.	Som BAU men all beskogning sker med gran	200
Löv.	Som BAU men lövskog ersätter hälften av barrskogen	200
Contorta.	Som BAU men contorta ersätter hälften av tallskogen	200

2.2. Resultat - beskogning

Resultat från simuleringarna med Heureka Planwise finns i bilaga 1 som beskriver Resultatfil_beskogning.xlsx som också finns i bilaga. Dessa är de huvudsakliga resultaten från rapporten. Resultaten sammanfattas i text nedan och i två figurer.

2.2.1. Beskogade arealer och genomsnittlig kolinbindning

I Heureka Planwise skapades alltså fiktiva bestånd på en ha vardera med 2000 respektive 1000 huvudstammar av respektive trädslag för respektive landsdel, föregående markanvändning och bördighet. Över en omloppstid vid omställning till skogsmark över samtliga alternativa bestånd och föregående markanvändningar blev den genomsnittliga kolinbindningen per år i den biomassa som avverkas under perioden 0,2 ton C ha⁻¹ år⁻¹, i levande biomassa 1,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹. I marken sker en genomsnittlig förlust av 0,2 ton C ha⁻¹ år⁻¹.

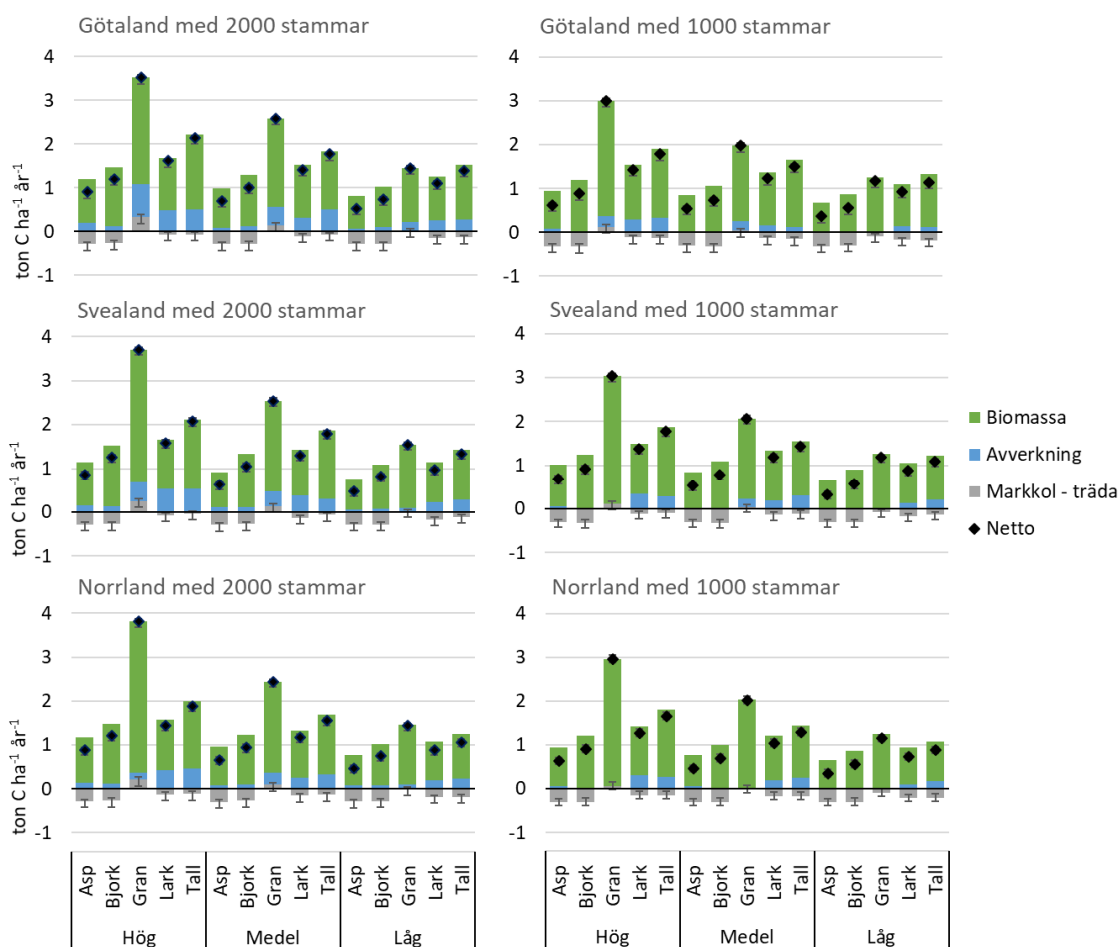
Mer specifikt binds vid beskogning med gran i genomsnitt 2,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över en omloppstid, medan beskogning med björk binder i genomsnitt 0,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över en omloppstid i genomsnitt över samtliga genererade bestånd. Från marken förloras 0,1 ton C ha⁻¹ år⁻¹ i genomsnitt över samtliga alternativa bestånd vid omställning efter ettåriga grödor, medan det efter vallbruk förloras i genomsnitt 0,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över samtliga alternativa bestånd. Generellt sker ett större kolupptag vid lyckade förnygringar med 1,4 ton C ha⁻¹ år⁻¹ nettoupptag vid 2000 stammar mot 1,1 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid 1000 stammar och motsvarande för bonitet är att högre bonitet ger 1,7 ton C ha⁻¹ år⁻¹ jämfört med 0,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid lägre bonitet.

Ser man till de första trettio åren efter återväxtinventering binds ca 0,8 ton C ha⁻¹ år⁻¹ i levande biomassa och i marken sker en genomsnittlig förlust av 0,4 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid omställning till skogsmark över samtliga alternativa bestånd och föregående markanvändningar. Från tidigare vallbruk blir den genomsnittliga källan från marken ca 0,5 ton C ha⁻¹ år⁻¹ men den blir mindre vid omställning efter ettåriga grödor, i genomsnitt ca 0,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över samtliga alternativa bestånd.

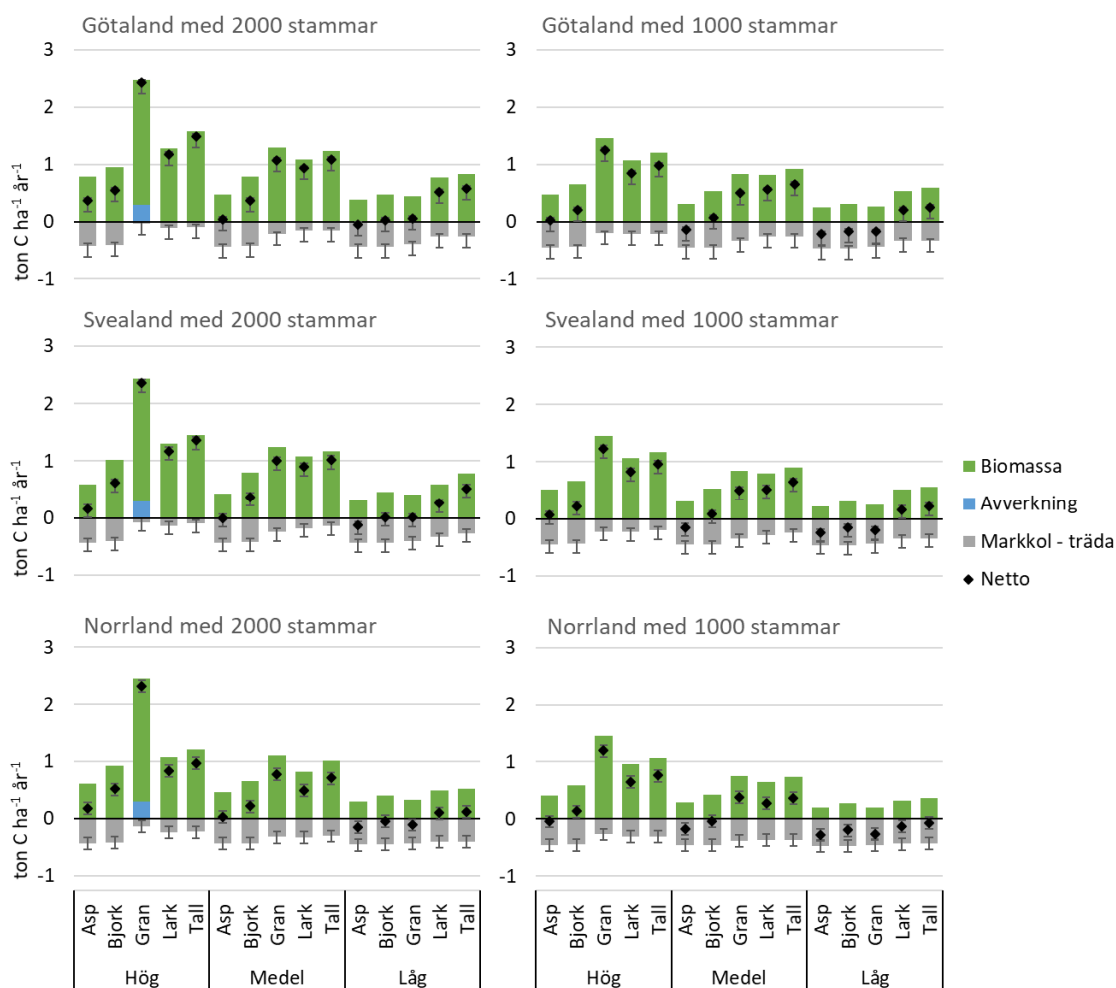
Det är viktigt att beakta att många av de alternativ vi simulerat inte är så sannolika, men att de alla väger lika i denna sammanfattning. Om vi istället väljer att titta på ett vanligt förnygringsalternativ i Götaland, dvs. gran, blir resultaten mer specifika. I genomsnitt förloras över en initial trettioårsperiod sett över samtliga alternativa granbestånd i Götaland ca 0,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid omställning till skogsmark, medan när det över en hel omloppstid binds 0,1 ton C ha⁻¹ år⁻¹ ytterligare i marken. Över samtliga alternativa granbestånd och föregående markanvändningar binds i genomsnitt 1,1 ton C ha⁻¹ år⁻¹ i levande biomassa över de första 30 åren medan det binds 1,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ sett över en hel omloppstid. Under de första åren sker inte så stort virkesuttag, men i genomsnitt för gran i

Götaland över samtliga alternativa bestånd sker ett genomsnittligt uttag av 0,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ över en omloppstid, exklusive slutavverkningsvolymen.

Vi har valt att simulera att vi vid återväxtinventeringen har 1000 eller 2000 levande stammar kvar i beståndet för att illustrera skillnader och variationer i föryngringen, självklart finns större variation än så i verkliga bestånd, men det ger ändå en bild över de variationer som en skillnad i föryngringsframgång/etablering medför. Uttryckt i ett medelvärde över samtliga trädslag, landsdelar, föregående markanvändningar och bördigheter blir skillnaden att man över de första 30 åren förlorar 0,4 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid 1000 stammar från marken, medan förlusten blir 0,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ när 2000 plantor överlevt. I levande biomassa binds 0,6 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid 1000 plantor, respektive 0,9 ton C ha⁻¹ år⁻¹ med 2000 plantor över 30 år. Avverkning (gallring) under de första trettio åren blir inte aktuellt vid 1000 stammar, medan det vid 2000 stammar sker ett litet uttag. Över en hel omloppstid förloras i genomsnitt över samtliga bestånd 0,2 ton C ha⁻¹ år⁻¹ i markkol vid 1000 stammar och 0,2 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vid 2000 stammar, vid avverkning (gallring) tas 0,1 respektive 0,2 ton C ha⁻¹ år⁻¹ ut, medan det i levande biomassa binds 1,2 respektive 1,3 ton C ha⁻¹ år⁻¹ i genomsnitt över samtliga simulerade bestånd.



Figur 1. Genomsnittlig kolinbindning (ton C ha⁻¹ år⁻¹) över en omloppsperiod, per landsdel, bördighetsklass och antal planterade huvudstammar. Markkolsutveckling vid plantering på före detta grönräda är representerat av det grå fältet, medan de alternativa tidigare markanvändningarna (ettårig gröda och vall) representeras av felmarginalerna på markkolsstapeln.



Figur 2. Genomsnittlig kolinbindning ($\text{ton C ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) över de första 30 åren efter lyckad förnygring per landsdel, bördighetsklass och antal planterade huvudstammar. Markkolsutveckling vid plantering på före detta grönträda är representerat av det grå fältet, medan de alternativa tidigare markanvändningarna (ettårig gröda och vall) representeras av felmarginalerna på markkolsstapeln.

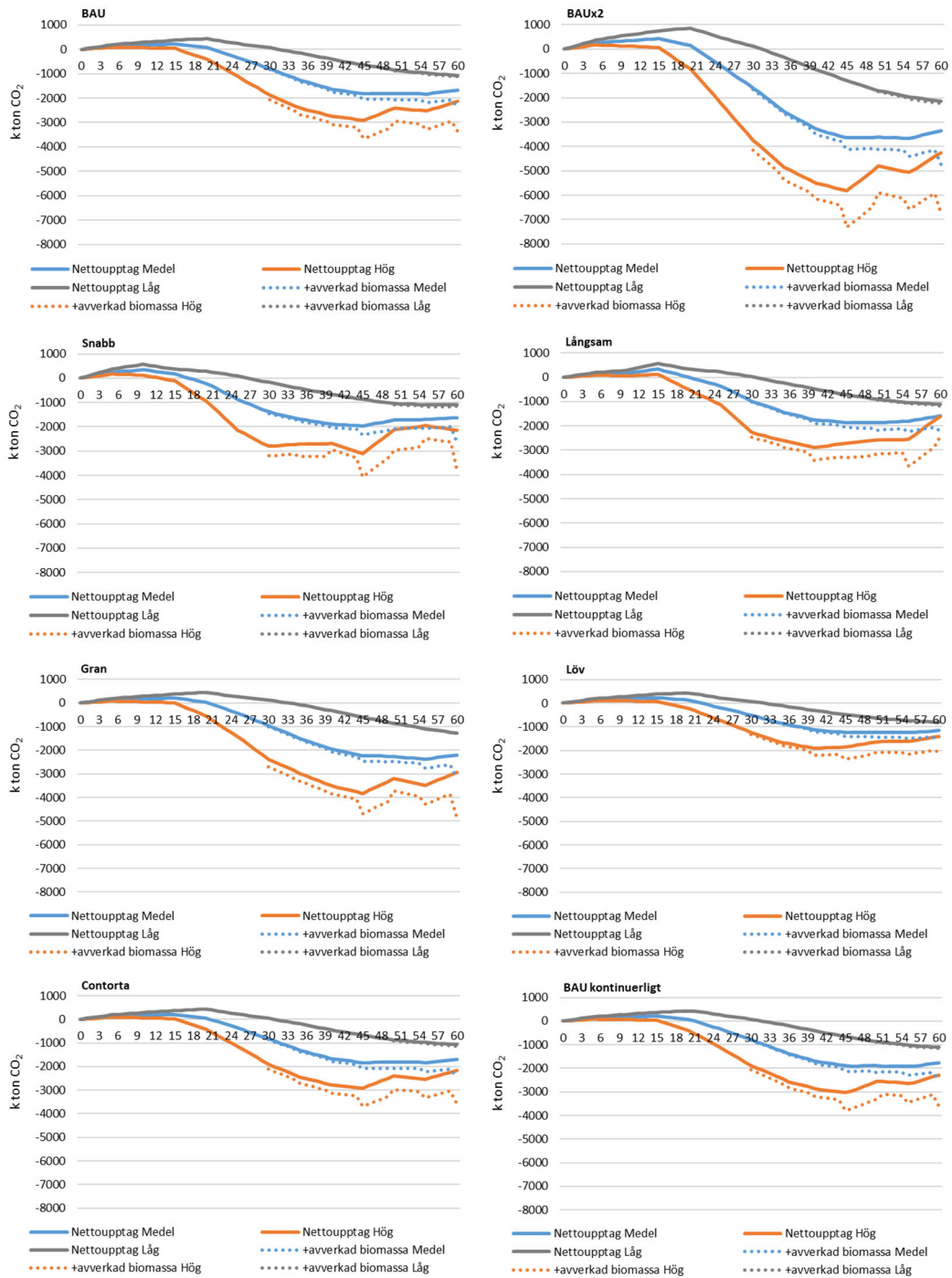
2.2.2. Scenarier

I figur 3, tabell 5 och tabell 6 nedan redovisas resultaten för sju besknings-scenarier. I tabell 5 redovisas resultaten över en 30-årsperiod för att illustrera bidraget av åtgärden mot klimatmål runt 2050 och i tabell 6 redovisas resultat för en 60-årsperiod för att ge ett lite längre tidsperspektiv och också visa på det bidrag som ges vad gäller nyttiggörande av avverkad biomassa. Notera att det längre fram även tillkommer avverkning från slutavverkningar för bestånd med längre omloppstider och bestånd som planterats senare. För varje scenario (beskrivs i tabell 3) visas den genomsnittliga beståndsutvecklingen som är summan för varje ingående beståndstyp per landsdel baserat på fördelningen i tabell 2. Hög och låg i figur 3 och tabell 5 och 6 motsvarar på liknande sätt summan av den ”bästa”

respektive ”sämsta” beståndsutvecklingen för varje ingående beståndstyp per landsdel (se tabell 3).

Hög representerar därmed en hög bonitet där etableringen är 100% i kombination med att förlusten av kol från marken är liten (motsvarar mark som tidigare användes för ettåriga grödor) medan låg representerar en låg bonitet med sämre plantetablering i kombination med att förlusten av kol från marken är stor (motsvarar mark som tidigare användes för vall). Det innebär att spannet mellan hög och låg både representerar skillnader i faktiska förutsättningar för växtplatsen men också osäkerhet vad gäller plantetableringen.

Resultaten som presenteras här utgår från att beskogningen över hela arealen påbörjas år 0. Eftersom det i själva verket är så att det redan pågår en årlig beskogning i linje med BAU kan resultaten närmast tolkas som den extra effekten av fortsatt beskogning i samma omfattning som tidigare men med mer intensiv, mer lyckosam beskogning eller som effekt av andra val av trädslag givet de olika scenarioalternativ som beräknats. I klimatrapporeringssammanhang redovisas beskogning som en separat aktivitet under Kyotoprotokollet/EU med 1990 som startår för ackumulering av areal och i en speciell övergångskategori under Klimatkonventionen (NIR 2021). Nivån på det årliga upptaget för Kyotoprotokollet/EU ligger på ca 1 100 kt CO₂ (där arealen således ackumulerats i 30 år) och för Klimatkonventionen på ca 900 kt CO₂. För klimatkonventionsrapporteringen och kommande EU-rapportering förs den beskogade arealen över till kategorin för ”normal” skogsmark efter 20 år och bidrar då till nettoupptaget i den kategorin. För att upprätthålla denna nivå behöver beskogningen fortsätta på samma nivå som idag eller öka.



Figur 3. Resultat från beskningsalternativen uttryckt som nettoutsläpp. Negativa värden innebär således ett nettoupptag av koldioxid från atmosfären.. Nettoupptag medel motsvarar genomsnittbeståndets utveckling, hög motsvarar den bästa beståndsutvecklingen givet alla beskningsalternativ och låg den sämsta. Motsvarande gäller för avverkad biomassa.

Resultaten (se *BAU* i figur 3 och tabell 5) visar att en optimal föryngring, dvs. god etablering på den för beståndstypen bästa växtplatsen där förlusten av markkol är mindre ger avsevärt högre nettoinlagring efter 30 år. Det är också tydligt att en intensifierad föryngring tidigt (se *Snabb*) ger ett betydligt högre nettoupptag efter 30 år än med nuvarande beskögningstakt. Att skjuta på intensifieringen (se *Långsam*) gör att effekten på den totala nettoinlagringen av ökad beskögningstakt dröjer.

Tabell 5. Resultat från beskögningsscenarierna. Årligt nettoupptag efter 30 år, genomsnittligt nettoupptag under 30 år samt ackumulerat nettoupptag efter 30 år. Avverkad biomassa efter 30 år, genomsnittlig avverkning under 30 år samt total avverkad biomassa efter 30 år. Slutligen nettoupptag + avverkad biomassa år 30, genomsnitt under 30 år samt ackumulerad efter 30 år. Negativa värden innebär ett nettoupptag av koldioxid från atmosfären.

År 30 (kton CO ₂ år ⁻¹)								
	Nettoupptag			Avverkad biomassa		Nettoupptag + avverkad biomassa		
	Medel	Hög	Låg	Medel	Hög	Medel	Hög	Låg
BAU	-796	-1 871	62	-33	-198	-829	-2 070	62
BAUx2	-1 591	-3 742	124	-66	-397	-1 657	-4 139	124
Snabb	-1 390	-2 808	-169	-66	-397	-1 456	-3 204	-169
Långsam	-977	-2 273	30	-33	-198	-1 010	-2 472	30
Gran	-950	-2 378	127	-54	-324	-1 004	-2 702	127
Löv	-503	-1 227	85	-16	-93	-518	-1 320	85
Contorta	-824	-1901	40	-34	-204	-858	-2 105	40
Medel under 30 år (kton CO ₂ år ⁻¹)								
	Nettoupptag			Avverkad biomassa		Nettoupptag + avverkad biomassa		
	Medel	Hög	Låg	Medel	Hög	Medel	Hög	Låg
BAU	-39	-398	250	-1	-6	-40	-405	250
BAUx2	-79	-797	499	-2	-13	-81	-809	499
Snabb	-183	-736	258	-2	-13	-185	-749	258
Långsam	-50	-442	261	-1	-6	-51	-449	261
Gran	-74	-524	264	-2	-10	-76	-534	264
Löv	31	-227	253	-1	-3	30	-230	253
Contorta	-47	-407	245	-1	-7	-48	-413	245
Ackumulerat efter 30 år (kton CO ₂)								
	Nettoupptag			Avverkad biomassa		Nettoupptag + avverkad biomassa		
	Medel	Hög	Låg	Medel	Hög	Medel	Hög	Låg
BAU	-1 221	-12 348	7 742	-33	-198	-1 254	-12 546	7 742
BAUx2	-2 442	-24 696	15 484	-66	-397	-2 508	-25 093	15 484
Snabb	-5 682	-22 821	8 009	-66	-397	-5 748	-23 218	8 009
Långsam	-1 563	-13 717	8 092	-33	-198	-1 596	-13 916	8 092
Gran	-2 295	-16 237	8 190	-54	-324	-2 349	-16 561	8 190
Löv	954	-7 030	7 837	-16	-93	938	-7 123	7 837
Contorta	-1 447	-12 611	7 603	-34	-204	-1 481	-12 815	7 603

Om dessutom valet av trädslag varierar kan bidraget från beskogning ökas ytterligare. Om vi kan tänka oss att all beskogning sker med gran blir den årliga nettoinlagringen ca 150 kton CO₂ per år högre efter 30 år än med nuvarande beståndstypsfordelning (som i *BAU*). För att även tillgodose andra mål än klimatmålet är det dock inte sannolikt att prioritera granåkrar utan att andelen lövskog ökar. Om hälften av gran och tallarealen ersätts med björk och asp blir nettoupptaget efter 30 år närmare 300 kton CO₂ per år lägre än med nuvarande beståndstypsfordelning och arealer enligt *BAU*. Om samma ansats används men med den dubbla beskogningsarealen blir bidraget också lägre än med dagens beståndsfordelning men nettoupptaget ökar ändå jämfört med *BAU*. En produktionshöjande åtgärd som diskuteras inom skogsbruket är att ersätta vanlig tall med den mer snabbväxande contortatalen. Om vanlig tall till hälften ersätts med Contorta i Svealand och Norrland ökar bidraget från beskogning bara marginellt över en 30-årsperiod.

I tabell 6 visas effekten efter 60 år och det är tydligt att det framförallt är den totala beskogningsarealen som har betydelse. Skillnaden mellan övriga scenarier är liten i förhållande till effekten av att öka arealen till det dubbla. Det innebär att en ökning av arealen i kombination med optimala trädslagsval och växtplats ytterligare förbättrar bidraget till klimatomställningen av beskogningsåtgärder.

Beskogningen bidrar inte bara med inlagring av koldioxid utan också till produktion av träråvara. Efter 60 år bidrar beskogningsåtgärderna i scenarierna som presenteras här i medeltal med avverkad biomassa mellan 388 kton CO₂ (scenario *Löv*) och 1 390 kton CO₂ (scenario *BAUx2*) vilket motsvarar ca 0,3-1 miljon m³sk per år. Om utvecklingen följer alternativ *Hög* kan det handla om uppemot 2 miljoner m³sk per år för scenario *BAUx2*. Jämfört med dagens avverkningsnivåer motsvarar detta ca 1-2% av den årliga avverkade mängden stamved. Potentiellt skulle alltså beskogning och produktion av skogsråvara på nedlagd jordbruksmark kunna frigöra produktiv skogsmark för andra ändamål, t.ex. för ökat bevarande av biologisk mångfald.

I scenarierna som beräknats här utifrån simuleringarna med Heureka antas att beskogningsaktiviteten pågår i 10-20 år eftersom den tillgängliga arealen är begränsande. Det gör att den årliga nettoinlagringen kommer minska periodvis när bestånden slutavverkas och återplanteras. Om det finns ytterligare mark tillgänglig så att beskogningen kan fortsätta med samma intensitet kan de redovisade nivåerna för nettoupptag och biomassaleveranser upprätthållas även efter 60 år.

Beskogning har som nämnts tidigare lyfts fram som en åtgärd för att öka nettoupptaget i LULUCF-sektorn, t.ex. inom EU:s klimatramverk till 2030 och i Sveriges klimatstrategi som kompletterande åtgärd. Inom EU räknas beskogning med för de första 20 åren eller om medlemsstaten kan motivera det för de 30 första åren efter beskogningen. I tabell 7 redovisas den årliga additionella effekten, jämfört med dagens bidrag från beskogning (här representerad av *BAU* medel), om

beskogningsintensiteten ökar enligt beräknade scenarier respektive om beståndsfördelningen ändras. Det ger en bild av vad bidraget blir för Sveriges måluppfyllnad inom EU (dvs. om 10 år) där beskogning bidrar till att nå balans i LULUCF-sektorn, och vad effekten blir som ett bidrag till att nå nettonollutsläpp 2045 i den nationella klimatstrategin (dvs. om 25 år). Här har vi för beräkning av skillnaden mot BAU valt att använda ett genomsnitt av medelbestånd och det bästa beståndet för varje scenario eftersom vi förutsätter att beskogning kommer ske på ett så optimalt sätt som möjligt när det blir fråga om en åtgärd för klimatet och som dessutom kanske subventioneras.

Resultaten i tabell 7 visar att i det korta perspektivet 10 år, dvs. fram till ca 2030 kan inte bidraget från extra beskogning bidra nämnvärt till måluppfyllnad. För en snabbare plantering är det till och med så att effekten blir sämre än BAU. I det längre perspektivet till 2045 (eller efter 25 år) och givet att den tillgängliga arealen ligger runt ca 200 kha kan det extra bidraget bli som högst drygt 1 100 kton per år CO₂ totalt (för scenariot *Snabb*). Detta är det verkliga extra bidraget, utan begränsning av konverteringstid eller andra bokföringsbegränsningar.

Tabell 6. Resultat från beskogningsscenarierna. Årligt nettoupptag efter 60 år, genomsnittligt nettoupptag under 60 år. Avverkad biomassa efter 60 år, genomsnittlig avverkning under 60 år. Slutligen nettoupptag + avverkad biomassa år 60, genomsnitt under 60 år.

År 60 (kton CO ₂ år ⁻¹)								
	Nettoupptag			Avverkad biomassa		Nettoupptag + avverkad biomassa		
	Medel	Hög	Låg	Medel	Hög	Medel	Hög	Låg
BAU	-1 675	-2 126	-1 072	-695	-1 253	-2 370	-3 378	-1 119
BAUx2	-3 350	-4 252	-2 145	-1 390	-2 505	-4 739	-6 757	-2 237
Snabb	-1 622	-2 135	-1 097	-1 041	-1 659	-2 663	-3 794	-1 145
Långsam	-1 584	-1 605	-1 106	-619	-837	-2 203	-2 442	-1 174
Gran	-2 196	-2 943	-1 276	-970	-1 940	-3 166	-4 882	-1 276
Löv	-1 164	-1 411	-807	-388	-653	-1 552	-2 064	-830
Contorta	-1 686	-2 169	-1 071	-771	-1420	-2 457	-3 589	-1 134
Genomsnitt under 60 år (kton CO ₂ år ⁻¹)								
	Nettoupptag			Avverkad biomassa		Nettoupptag + avverkad biomassa		
	Medel	Hög	Låg	Medel	Hög	Medel	Hög	Låg
BAU	-816	-1 435	-174	-96	-252	-911	-1 688	-181
BAUx2	-1 632	-2 870	-349	-191	-505	-1 823	-3 375	-362
Snabb	-954	-1 603	-263	-130	-315	-1 084	-1 918	-275
Långsam	-851	-1 474	-196	-105	-280	-955	-1 754	-203
Gran	-1 023	-1 882	-165	-100	-290	-1 123	-2 172	-165
Löv	-527	-937	-95	-67	-177	-594	-1 114	-98
Contorta	-826	-1 448	-186	-103	-263	-929	-1 711	-197

Tabell 7. Resultat från beskogningsscenarioerna. Skillnad nettoupptag (kton CO₂ år⁻¹) för olika scenarier jämfört med dagens nivå som utgörs av BAU. Negativa värden innebär ett större nettoupptag än BAU.

År	BAU(halvhög)	Snabb	Långsam	Gran	Löv	Contorta
0	0	0	0	0	0	0
5	-19	85	-19	-22	-14	-20
10	-55	63	-55	-64	-36	-55
15	-91	-179	13	-107	-58	-92
20	-238	-639	-330	-320	-109	-250
25	-387	-1 154	-396	-575	-105	-404
30	-538	-1 303	-830	-869	-69	-567

2.3. Aktivitetsdata för beskogning av mark

De ovan redovisade resultaten för beskogning av nedlagd jordbruksmark kan användas för att i kombination med aktivitetsdata, dvs. arealer som beskogas av olika trädslag på olika marktyper över landet, skatta effekten av beskogning. Principen är densamma som när vi beräknar effekten av olika beskogningsscenarioer.

För redovisning av beskogning (i.e. konvertering av icke skogsmark till skogsmark) används idag arealskattningar baserat på RTs permanenta provytor. Nettoupptag i biomassa skattas utifrån mätningar i fält på samma provytor som används för arealskattningen. För övriga kolpooler används utsläppsfaktorer som är tänkta att representera de genomsnittliga årliga utsläppen eller upptagen under den period som marken redovisas i konverteringskategorin. Utsläppsfaktorn för förna som används i dagens klimatrapporering (NIR 2021) motsvarar en ökning av kolförrådet med 0,30 ton C ha⁻¹ år⁻¹ och för mineraljord används en utsläppsfaktor på 0,26 ton C ha⁻¹ år⁻¹ vilket sammantaget blir en ökning av kolförrådet med 0,04 ton C ha⁻¹ år⁻¹. Markkol i denna rapport avser både humuslager och mineraljorden eftersom Q-modellen idag inte separerar de olika delpoolerna. Underlaget som tagits fram kan användas till att dels ta fram utsläppsfaktorer på nationell nivå utifrån känd trädslagsfördelning och antaganden om markbeskaffenhet. Ett genomsnitt för all beskogad mark skulle för medelbeståndet bli ett utsläpp på -0,14 ton C ha⁻¹ år⁻¹ för en 20-årsperiod. Motsvarande för det bästa utfallet respektive det sämsta blir 0,43 respektive -0,57 ton C ha⁻¹ år⁻¹.

Om förändringarna i förna/markkol i denna rapport som baseras på modellering med bedöms rimliga kan utsläppsfaktorer för förna och markkol tas fram per landsdel, trädslag, bördighet och tidigare markanvändning. Utsläppsfaktorerna kan spegla förändring under olika perioder. I exemplet med gran i tabell 8 visas genomsnitt över de första 20- respektive 30 första åren som skulle kunna användas för Sveriges klimatrapporering men det går naturligtvis ta fram utsläppsfaktorer för specifika 5-årsperioder eller för en hel omloppstid om så är önskvärt. För den ordinarie rapporteringen enligt klimatkonventionen är det dock inte rimligt att göra

en finare indelning än medelvärden för all mark inom varje region så länge aktivitetsdata baseras på RTs permanenta provytor, eftersom tillräckligt detaljerad information om beskningsobjekt för ytterligare stratifiering inte finns tillgänglig (t.ex. saknas information om tidigare odlingssystem) eller att det är för få objekt som ingår i stickprovet. En finare stratifiering kan dock övervägas att användas tillsammans med annan aktivitetsdata, se exempel på sådan information nedan. Metodiken kan liknas vid den metod som av IPCC benämns Tier 2, dvs. nationella faktorer används i kombination med aktivitetsdata (IPCC 2006).

För uppföljning på beståndsnivå kan eventuellt även simulerat nettoupptag i biomassa användas om det inte är möjligt att samla in uppgifter om tillväxt via mätningar. Då kan motsvarande faktorer som i tabell 8 sammanställas även för biomassa, t.ex. för löpande 5-årsperioder.

Tabell 8. Årligt genomsnittligt nettoutsläpp (negativ kolförrädsförändring) från mark under en 20- respektive 30-årsperiod för olika lokaler och bördighetsalternativ.

Landsdel	Trädslag	Bördighet	Tidigare ägoslag	20 år ton C ha ⁻¹ år ⁻¹	30 år ton C ha ⁻¹ år ⁻¹
Götaland	Gran	Hög	ettåriga	-0,31	0,00
Götaland	Gran	Låg	ettåriga	-0,44	-0,35
Götaland	Gran	Medel	ettåriga	-0,39	-0,18
Götaland	Gran	Hög	grönträda	-0,34	-0,04
Götaland	Gran	Låg	grönträda	-0,47	-0,39
Götaland	Gran	Medel	grönträda	-0,42	-0,22
Götaland	Gran	Hög	Vall	-0,57	-0,24
Götaland	Gran	Låg	Vall	-0,70	-0,59
Götaland	Gran	Medel	Vall	-0,65	-0,42
Norrland	Gran	Hög	ettåriga	-0,29	-0,03
Norrland	Gran	Låg	ettåriga	-0,41	-0,33
Norrland	Gran	Medel	ettåriga	-0,39	-0,22
Norrland	Gran	Hög	grönträda	-0,38	-0,13
Norrland	Gran	Låg	grönträda	-0,49	-0,43
Norrland	Gran	Medel	grönträda	-0,47	-0,32
Norrland	Gran	Hög	Vall	-0,52	-0,24
Norrland	Gran	Låg	Vall	-0,64	-0,54
Norrland	Gran	Medel	Vall	-0,62	-0,43
Svealand	Gran	Hög	ettåriga	-0,30	-0,01
Svealand	Gran	Låg	ettåriga	-0,42	-0,34
Svealand	Gran	Medel	ettåriga	-0,38	-0,18
Svealand	Gran	Hög	grönträda	-0,35	-0,07
Svealand	Gran	Låg	grönträda	-0,47	-0,41
Svealand	Gran	Medel	grönträda	-0,43	-0,25
Svealand	Gran	Hög	Vall	-0,54	-0,23
Svealand	Gran	Låg	Vall	-0,66	-0,56
Svealand	Gran	Medel	Vall	-0,62	-0,41

2.3.1. Skattning av beskovningsareal

Idag skattas arealen beskovning baserat på RTs permanenta provytor. När det gäller beskovning av mark så handlar det framförallt om beskovning av åkermark, betesmark och bebyggd mark. Den markanvändningsförändring som sker från våtmark och övrig mark till skogsmark är obetydlig i sammanhanget och har främst att göra med naturliga processer (t.ex. att det tillfälligt eller permanent blir torrare och träden växer bättre). Skogsvårdslagen anger att övergiven mark utgör skogsmark vilket också utgör praxis för bedömningen i fält inom RT.

Eftersom den areal som beskovas varje år utgör en mycket liten del av den totala landarealen (ca 12 kha av 45 miljoner ha) skulle det bli svårt att statistiskt säkert följa upp effekten av riktade åtgärder, också på grund av att det inte går att tydligt urskilja aktiv beskovning som klimatåtgärd från annan plantering. Metoden lämpar sig dock bra för rapportering på nationell nivå där det är viktigare att redovisa övergripande trender för olika redovisningskategorier och bokföringsaktiviteter snarare än detaljerade analyser av implementerade åtgärder. För mer detaljerade analyser av effekter av eventuellt implementerade klimatåtgärder för att främja beskovning behövs därför kompletterande aktivitetsdata.

Det finns förespråkare (bl.a. EU-kommissionen) för heltäckande geografiska analyser och tillgängligheten av olika typer av geografiska databaser ökar allteftersom nya metoder gör det möjligt att analysera satellitdata och annan fjärranalysdata. Bl.a. finns Nationella marktäckedata⁴ (NMD), SLU:s skogskarta⁵ och skogliga grunddata⁶ med heltäckande information om markanvändning och bestandsdata. För att skatta beskovning behöver man dock kunna göra en förändringsskattning vilket är svårt att detektera tillförlitligt innan de planterade träden blivit tillräckligt höga.

Nationella marktäckedata är en kartering av Sverige, som hittills tagits fram en gång (2018). Syftet är att få grundläggande information om landskapet och hur det förändras och göra det möjligt att följa förändringar över tid. Intentionen från NMD:s intressegrupp är att NMD ska uppdateras vart femte år. Det innebär att en förändringsanalys och en utvärdering av huruvida NMD utgör ett lämpligt underlag för att kartera markanvändningsförändringar är möjlig tidigast 2023. I en utvärdering av NMD utförd av Metria och SLU (Nilsson m.fl. 2020) konstaterades det att NMD gav mycket god överensstämmelse mellan NMD och RT och NILS⁷ fältdata. Dock konstaterades det att på landsdelsnivå, och främst i klassning av övrig öppen mark fanns problem med ett relativt litet dataunderlag från RT och NILS, den klassen hade även sämre användartillförlitlighet än övriga klasser på motsvarande nivå.

⁴ <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktackedata-NMD/>

⁵ <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/slu-skogskarta/>

⁶ <https://www.skogsstyrelsen.se/skogligagrunddata>

⁷ NILS, Nationell övervakning av landskapet i Sverige

SLU:s skogskarta finns för åren 2000, 2005, 2010 och 2015. En jämförelse av arealen skogsmark som tidigare inte var skogsmark är dock inte möjlig eftersom de är baserade på olika källor och har olika upplösning.

Under perioden 2009 - 2016 togs skogliga grunddata för hela Sverige fram med hjälp av information från laserskanning och data från RTs provvytor. Eftersom skogen ständigt förändras behöver underlaget uppdateras och utvecklas för att vara fortsatt användbart. En ny laserskanning av Sveriges skogsmark startade 2018. Den beräknas pågå under ett antal år. Det innebär att förändringsanalys visserligen kan göras men bara för de områden som uppdaterats i den nya scanningen. Uppdateringen sker succesivt över olika delar av landet. Det går alltså inte göra en komplett förändringsanalys för hela landet för en specifik tidsperiod.

Ett utgångsläge för en kartbaserad förändringsanalys där utfallet för beskogning utgörs av underlag kan också vara den s.k. blockdatabasen. Blockdatabasen är en vektorbaserad databas som innehåller uppgifter om områden som är jordbruksmark enligt EU:s definitioner och ligger till grund för ansökningarna om jordbrukarstöd. Blockdatabasen i kombination med SLU:s skogskarta eller skogliga grunddata skulle kunna vara ett sätt att få en mer heltäckande bild av beskogning i Sverige. Det kommer dock inte finnas någon koppling till om beskogningen är kopplad till någon särskild klimatåtgärd. Förändringsanalysen begränsas också till de årsintervall under vilka de olika underlagen produceras.

Enligt 12 kap. 9 § miljöbalken får en åtgärd som innebär att jordbruksmark tas ur jordbruksproduktion inte vidtas utan att en anmälan har lämnats till länsstyrelsen, om inte åtgärden är av ringa betydelse för jordbruket på brukningsenheten eller för natur- och kulturmiljön. Den som har underrättat länsstyrelsen om att jordbruksmark ska tas ur jordbruksproduktion, anses enligt 6 § 2 stycket förordning (1998:904) om anmälan för samråd, även ha gjort en anmälan för samråd enligt 12 kap. 6 § miljöbalken för den verksamhet för vilken marken planeras tas i anspråk.

Generellt sett bör mark som det går att ta matjord från anses vara åkermark. Planerar en brukare av mark att plantera skog på en åker som det är möjligt att ta matjord från innebär det således att markanvändningen ändras. Brukaren är därmed skyldig att anmäla till länsstyrelsen att man avser att ta jordbruksmark ur jordbruksproduktion.

Plantering av träd på åkermark och betesmark är alltså anmälningspliktig, vilket innebär att en stor del av den beskogning som sker anmäls till länsstyrelsen och att information bör finnas för att kunna skatta effekten av beskogning som en klimatåtgärd. Det kräver också att information finns om vad som planterats och i vilken omfattning. Då kan simulerad beståndsutveckling som beskrivs ovan användas för att grovt skatta kolinlagringen.

Idag finns ingen sammanställd information av de anmälningar som görs till Länsstyrelsen om att ta jordbruksmark ur produktion⁸. Att ta mark ur produktion

⁸ Länsstyrelsen Uppsala, muntlig information.

innebär också att marken inte ingår i bidragsansökan till Jordbruksverket (s.k. SAM-ansökan), dvs. en succesiv jämförelse kan göras av Jordbruksverkets databas för stöd för att studera hur mycket mark som tas ur bruk men där anges inte vad den nya markanvändningen är.

Det dyker också upp initiativ för att skapa en frivillig marknad för negativa utsläpp som kan omfatta upptag i skog genom beskogning. Den information som samlas in under sådana projekt kan vara en del för att skapa en bättre bild av beskogningens effekter på Sveriges växthusgasutsläpp. Det finns dock inget samlat system för att samla in sådan information idag.

Slutsatsen vad gäller aktivitetsdata för att följa upp beskogningsåtgärder är därmed att det idag finns olika typer av underlag (t.ex. geografiska data och dokumentation om samråd) som kan användas men att den är spridd på olika myndigheter och att en diskussion om hur information kan samordnas behöver initieras. Dessutom behöver möjligheterna att använda information från eventuella projektägare på frivilligmarknaden undersökas.

Ovan gäller den information som finns idag. Eftersom stor vikt fäst vid möjligheterna att utnyttja åtgärder inom LULUCF-sektorn för att dämpa klimatförändringarna och om beskogning etableras som en klimatåtgärd som erhåller ekonomiskt stöd i någon form kan ett system utformas enligt:

1. Grundläggande information:
 - a. Ansökan om stöd för beskogning lämnas till ansvarig myndighet (t.ex. Länsstyrelsen). Ett grundläggande krav är att beståndet sköts enligt gängse praxis och återetableras efter slutavverkning.
 - b. Anmälan (som görs idag) om att ta jordbruksmark ur produktion sammanställs av Länsstyrelserna.
 - c. En succesiv jämförelse av Jordbruksverkets stöddatabas för att bedöma hur mycket mark som tas ur jordbruksproduktion.
2. Ansökan/anmälan ska innehålla den information som behövs för att skatta effekten av beskogning enligt den typ av simuleringar som presenteras ovan (areal, bördighet, region, trädslag, tidigare markanvändning).
3. Uppföljning kan ske genom stickprovsinventering eller genom att markägaren informerar ansvarig myndighet löpande om beståndets utveckling, i.e. i vilken utsträckning beskogningen varit lyckad (kanske vart femte år). Uppföljningen kan också inkludera någon form av enklare inventering som utförs av projektägaren/markägaren. Det är dock viktigt att inte redovisningsbördan blir för tung.

Utformningen av ett sådant system behöver diskuteras med berörda myndigheter (Länsstyrelsen, Skogsstyrelsen, Jordbruksverket, Naturvårdsverket) och möjligheten att integrera beskogning i befintliga bidragsformer bör också undersökas vidare.

Den stickprovsinventering som nämns i punkt 3 ovan skulle kunna utgöras av temporärt förtätade stickprov inom NILS eller RT. Detta skulle kunna göras t.ex. vart femte år och riktas mot de ägoslag som är av intresse, eller exempelvis för att validera och kvantifiera förändringar detekterade med olika fjärranalys- eller registerdata.

3. Diskussion

Vi har i simuleringarna utgått från beståndsregisterdata från återväxtinventering vilket innebär att Heureka simulerat beståndsutveckling, inväxning samt mortalitet utifrån genomsnittlig utveckling för ungskogar. Dessa modeller är baserade på data från ungskogar som inventerades under 70-talet (Elfving 1982, Nyström och Söderberg 1987, Näslund 1986). Med modeller som återspeglar ett genomsnitt simuleras inte hela spannet av möjlig variation, utan snarare något sannolikt medel. Den skog som uppkommer efter plantering på nedlagd jordbruksmark överensstämmer sannolikt inte helt med genomsnittliga ungskogar för nästan 50 år sedan. När ungskogen nått ca 7 meter övergår Heureka till andra modeller vars dataunderlag är något mer sentida (Elfving 2010). Även om dessa modeller visat sig vara robusta för historisk utveckling av normala skogar under historiskt normala förhållanden (Fahlvik m.fl. 2014) vet vi inget om hur det enskilda fallet eller några få skulle utvecklas. Speciellt när vår population inte egentligen ligger inom ramen för befintliga modellers dataunderlag, exempelvis finns det dåligt underlag för rena aspbestånd. Klimatförändringarna kan också komma att påverka sanna framtida resultat av besöksaktiviteter och på så vis osäkerheten i framtagna data. Det finns studier som visar eventuellt något ökad tillväxt vid varmare klimat, men sannolikt påverkar också ökade störningar och mortalitet negativt (Eriksson m.fl. 2016). Rytter och Rytter (2020) noterade stora variationer i inbundet kol över en 8-9 års period i empiriska försök i Sverige, med mellan 0 och 4.9 ton C ha⁻¹ år⁻¹.

Planteringsframgång är avgörande för resultaten. Men en lyckad plantering av flera trädslag kräver också ytterligare åtgärder som ökar kostnaden, t.ex. stängsling/hägn för att motverka betesskador på löv. Slutresultaten är också beroende av konkurrens från gräs och annan undervegetation. I simuleringarna har vi bortsett från dessa skillnader mellan trädslagen, men de är minst sagt viktiga för den som ska beskoga sin mark.

I simuleringarna med Heureka ingår inte några av de mer snabbväxande trädslagen (t.ex. poppel och hybridasp) eller energiskog då dessa inte prioriterats i utvecklingen av Heureka. I Fahlvik m.fl. (Fahlvik m.fl. 2017) finns en översikt över både volym och biomassa per ha och år det nämns också att för att utnyttja hybridaspens höga tillväxtpotential bör den växa på god mark. Den bör därför planteras på frisk och bördig mark, åkermark liksom bra granmark är lämpliga ståndorter. Det innebär frisk och bördig mark med ståndortsindex på ungefär G30

och uppåt. Mullrika jordar bör undvikas. De beskriver också ett relativt krävande skötselprogram med hägn och ogräsbekämpning, mm. Tyvärr är mycket ännu okänt kring övrig skötsel då det finns relativt lite erfarenheter ännu. Sammanställningen och skattningen av kolinbindning i poppel som sammanställts i Appendix A tyder på att inlagringen av kol i biomassa är i snitt $4 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ vilket kan jämföras med det genomsnittliga granbeståndet baserat på alla simuleringar som gjorts i denna studie som i snitt binder drygt $1 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Ett granbestånd i Götaland på bördig mark binder $2,2 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Det innebär alltså att om en del av den beskogade arealen nyttjas för poppel så kan en avsevärd ökning av nettoupptaget förväntas. Om hälften av granarealen i scenariot *BAU* planteras med Hybridasp innebär det en fördubbling av nettoupptaget över en 30-årsperiod men noggrannare analyser behöver göras. Dessutom innebär det en tidigare leverans av biomassa vid avverkning än för traditionella skogsträd där omloppstiden är betydligt längre.

När det gäller simulering av utvecklingen i markkolspoolen inklusive förna så utgår vi från att det är jordbruksmark som omedelbart ställs om. I själva verket kan marken ha varit lämnad under flera år innan plantering faktiskt sker. Det påverkar både det initiala kolinnehållet men också hur snabbt det befintliga kolet bryts ner. I de simuleringar av gammalt kol som används här är minskningen av kolförrådet upp till 50% större under de första tio åren jämfört med de nästkommande tio åren. Sett över en hel omloppstid blir skillnaden inte mer än 10% om de första 10 åren av nedbrytning av gammalt kol exkluderas. Totalt sett får detta alltså liten inverkan på slutresultaten men för de första decennierna spelar det i varje enskilt fall roll om marken bereds så att den är bar när plantorna planteras eller om den fortfarande är bevuxen i någon grad.

Att utgå från kolinnehåll i normal jordbruksmark gör att marken initialt innehåller relativt mycket kol och att förlusten till följd av beskogningen, särskilt inledningsvis, är stor. Men det gör också att skattningen blir konservativ, dvs. effekten av beskogningen överskattas inte. I tidigare studier, t.ex. i MINT-utredningen, har effekterna på markkolet inte analyserats och man har enbart tittat på potentialen att producera biomassa. Vi kan också konstatera att den negativa effekten av att markkol frigörs och påverkar kolbalansen negativt inte påverkar totalresultaten och inte heller jämförelsen av olika beskogningsalternativ i någon större utsträckning. Det finns studier som visar att marken förlorar kol under flera decennier (Karhu m.fl. 2011 och Vesterdal m.fl. 2011) efter beskogning men också studier som pekar på en inlagring redan de första 20 åren (Bárcena m.fl. 2014) vilket visar att variationen är stor precis som resultaten i denna studie visar. Detta avspeglas också i ländernas klimatrappporter där både Finland och Norge redovisar ett upptag för beskogning av åkermark medan båda redovisar ett utsläpp från mark vid beskogning av betesmark (NIR 2021 Norway, NIR 2021 Finland))

I simuleringarna har förutsättningen varit att simulera skogens utveckling enligt normal skogsskötsel, där man vill maximera skogens sk. nuvärde. Hur resultaten

skulle bli om inriktningen ställs mot att producera specifika trävarusortiment kan vi bara spekulera i men skillnaden är sannolikt liten eftersom den utförda simuleringen strävar efter en så hög intäkt som möjligt och timmer betalar bättre än massaved. Men en genomtänkt beskogningsstrategi bör också analysera hur industrin och övriga samhällets behov av skogsråvara ser ut idag och inom en omloppstid. Svårigheter att göra sådana bedömningar och om bedömningar inte kan göras i tid kan försena beskogningsåtgärder och för att vinna tid kan man välja att satsa mer på snabbväxande trädslag för att skapa möjlighet att ändra strategin längre fram. En annan aspekt är också att skapa variation, vilket sannolikt blir fallet då många olika markägare, marker och geografiska lägen påverkar beskogningen och de bestånd som anläggs. Därmed sprids risken och möjligheterna. Flera bedömningar gör gällande att behovet av skogsråvara kommer öka redan inom de närmsta 20 åren (SOU 2020:73, Skogsstyrelsen 2021).

Om utgångspunkten hade varit att binda in så mycket kol som möjligt i biomassan istället för att optimera avkastningen skulle nettoupptaget i biomassa kunna bli något högre än i de simuleringar som presenteras här. En sådan ansats användes i de simuleringar av granbestånd som användes för att bedöma beskogningspotential som kompletterande åtgärd i den klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) där beskogning av 10 kha år^{-1} i 10 år ledde till ett nettoupptag på drygt 400 kt $\text{CO}_2 \text{ år}^{-1}$ efter 20 år att jämföra med ett knappt 100 kt $\text{CO}_2 \text{ år}^{-1}$ efter 20 år för ”medelbeståndet” i BAU med motsvarande beskogningstakt i detta projekt. Med hög plantöverlevnad på optimala lokaler blir nettoupptaget närmare 500 kt $\text{CO}_2 \text{ år}^{-1}$. Det pekar också mot att det är viktigare att komma igång med optimal beskogning så snart som möjligt snarare än inriktningen på hur skogen sköts, dvs. för att binda kol eller att tjäna pengar. Slutavverkning ligger så långt in i framtiden att det är svårt att ta med i bedömningen.

Som redan beskrivs i resultatredovisningen av såväl beståndssimuleringar som i scenarieräkningen så finns stora osäkerheter som rör både utvecklingen av de planterade bestånden men också om de tillgängliga arealerna. I simuleringarna tas inte heller någon hänsyn till effekter av klimatförändringar. Varken positiva såsom tillväxtökningar eller negativa som en ökad risk för skador på skogen. I praktiken finns många aspekter som kan påverka utfallet. De resultat som redovisas här ger dock en bra bild över skillnader i utfall givet olika beskogningsstrategier. Både på beståndsnivå och på nationell nivå genom de scenarier som redovisas.

I detta projekt har vi inte tittat närmare på effekter för landskapsbild och biodiversitet och andra miljö kvalitetsmål. Trädplantering på jordbruksmark kan ha både positiva och negativa effekter vilket avgörs av hur planteringarna görs och hur de sköts. När rekommendationer tas fram om var och med vilka trädslag beskogning ska ske behöver också sådana aspekter tas med i bedömningen. Förutom mer eller mindre kvantifierbara effekter påverkas beskogningsaktiviteter också av social acceptans för beskogning. Att plantera skog på åkermark leder

ibland till protester av olika slag, ofta baserat på att boende i området ser sin närmiljö hotad och att man inom ett område har en genuin känsla för vad generationer åstadkommit genom att röja och odla marken.

Hur våra marker utnyttjas i framtiden är en svår balansgång. Samtidigt som jordbruksmark kontinuerligt läggs ner, jordbruksarealen har minskat med närmare 400 kha eller ca 13% sedan början av 1980-talet, pekar mycket på att dessa arealer kan behövas för livsmedelsproduktion i framtiden (Prop. 2016/17:104 och FAO 2018)). Det är därför rimligt att inte in-teckna alltför stor areal för beskogning. Vår bedömning är att de 200 kha som vi använt i denna studie inte i alltför stor utsträckning inkräktar på framtida livsmedelsproduktion eftersom marken i huvudsak redan tagits ur jordbruksproduktion.

Det har inte varit ett syfte med detta projekt att utgöra underlag för beskogning som projektbaserad klimatkompensation. Några sådana initiativ har etablerats under senare år. I projektet *Absorb*⁹ är ansatsen att den mängd inbunden koldioxid som erhålls vid köp av krediter ska motsvara vad en skog i kontinuerligt omlopp i genomsnitt binder. Utgångspunkten är att ett träd absorberar ungefär 140 kilo CO₂ från plantering till skörd vilket beräknats på medelkolförråd vid föryngring med 2000 plantor. Det verkar rimligt att satsa på vad skogen ger långsiktigt i sådana projekt för att inte överskatta effekten av åtgärderna. Våra simuleringar syftar till att bedöma beskogningspotential i ett större perspektiv men skulle ändå kunna användas vid fortsatt diskussion om hur projektbaserade klimatåtgärder beräknas.

För att få till stånd en beskogningsstrategi är det viktigt att kunna följa upp effekterna. Att det finns system för mätning, rapportering och verifiering (MRV) av åtgärdernas effekter är en grundbult i klimatarbetet. För att öka precisionen i skattningarna av beskogning går det inte komma ifrån att det innebär en utökad arbetsbörda för berörda myndigheter. Samtidigt finns dokumentation redan idag (t.ex. anmälan om att ta jordbruksmark ur bruk) som skulle kunna användas för att bygga ett system för rapportering. Det är snarare regel än undantag att länder använder registrering av beskogning för att redovisa aktiviteten beskogning i rapporteringen till klimatkonventionen och EU. Ett system som bygger på att markägare (eller motsvarande) själva anmäler och rapporterar in information riskerar dock att inte bli heltäckande. Det går inte med säkerhet veta att all information kommer in eller vilken kvalitet de inrapporterade uppgifterna håller för sammanställning. Därför behövs också någon form av verifiering, kanske som en stickprovsbaserad intensifierad inventering av tidigare åkermark och betesmark, kanske vart femte år. En sådan kan integreras antingen i NILS eller i RT eller utföras separat.

Trots osäkerheten med stickprovsbaserade skattningar för beskogning av nedlagd jordbruksmark (som sker på en relativt liten areal, sett till stickprovet), så bör det noteras att RT är en oberoende och heltäckande inventering vilket i sig tillser

⁹ www.absorb.nu

skattningar som i genomsnitt överensstämmer väl med den sanna populationen. För att öka precisionen skulle dock antalet provytor behöva öka dramatiskt så i dagsläget är det inte ett alternativ att använda Riksskogstaxeringen för att följa upp specifika klimatåtgärder. Förslagsvis används även fortsättningsvis Riksskogstaxeringen för redovisningen till Klimatkonventionen och EU medan ett nytt system etableras för att följa upp och redovisa åtgärder nationellt.

Den typ av studie som presenteras här är ett försök att med hjälp av simuleringar beskriva effekten av större beskningsinsatser i Sverige. Även om resultaten ger indikationer om vilka parametrar som är viktiga vid val av mark och trädslag för beskogning finns, vilket diskussionen ovan också visar, behov av ytterligare studier för att skapa en mer heltäckande bild av hur en beskningsstrategi för Sverige bör se ut. Dessa bör fördjupa kunskapen om utvecklingen av kolförrådet i marken, inkludera effekter på andra miljömål och landskapsbild, inkludera samhällets behov av olika typer av vedråvara samt undersöka vilka eventuella socioekonomiska hinder som finns för mer omfattande beskogning än den som sker idag.

Referenser

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. och Valinger, E. 2012. Skogsskötselns grunder och samband. Skogsskötselserien, kapitel 9. Andra upplagan. Tillgänglig på: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. [2021-05-26]

Anon. 2019. Statistik om formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark. Redovisning av regeringsuppdrag. Rapport 2019/18. DNR 2018/4167. Skogsstyrelsen, juni 2019. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/omoss/publikationer/2019/rapport-2019-18-statistik-om-formellt-skyddad-skogsmark-frivilligaavsattningar-hansynsytor-improduktiv-skogsmark.pdf> [2019-10-29]

Anon.2. 2019. Scenarier för den svenska skogen och skogsmarkens utsläpp och upptag av växthusgaser. Rapport. SLU ID: SLU ua 2019.2.6-1375. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/mom/ma/klimatrapportering/ru_lulucf_prognoser_va_xthusgaser_skog_skogsmark_slutrapport.pdf [2019-11-22]

Bárcena, T.G., Kiær, L.P., Vesterdal, L., Stefánsdóttir, H.M., Gundersen, P. and Sigurdsson, B.D. 2014. Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: a meta-analysis. *Glob Change Biol*, 20: 2393-2405. <https://doi.org/10.1111/gcb.12576>

Claesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2001. Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in northern Sweden with high stand densities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 138-146.

Claesson, S., Duvemo, K., Lundström, A. & Wikberg, P.E., 2015. Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15. Skogsstyrelsen. Rapport 10/2015. ISSN 1100-0295.

Elfving, B. 2010. Growth modelling in the Heureka system. Tillgänglig: Arbetsrapport, utkast: Heureka prognosystem (Elfving rapportutkast) (heurekaslu.se)

Eriksson, H., Bergqvist J., Hazell, P., Isacson, G., Lomander, A. och Black-Samuelsson, S. 2016. Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket. Rapport 2-2016. Skogsstyrelsen. 48637063-1d24e7-klimatet_webb_ny.pdf (textalk.se)

Europaparlamentets och Rådets förordning (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013/EU

Fahlvik N., Elfving B., Wikström P. 2014. Evaluation of growth functions used in the Swedish Forest Planning System Heureka. *Silva Fennica* vol. 48 no. 2 article id 1013. <https://doi.org/10.14214/sf.1013>

FAO 2018. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome. 224 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Finland's National Inventory Report 2021. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol 2021. Statistics Finland 2021.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan

Johansson, T., Hjelm, B., 2012. Stump and Root Biomass of Poplar Stands. *Forests* 3, 166–178. <https://doi.org/10.3390/f3020166>

Johansson, T., Karačić, A., 2011. Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 35, 1925–1934. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.040>

Jonasson, L. 2018. Scenarier för jordbrukets klimatpåverkan med livsmedelsstrategin och ändrad konsumtion.

Karhu, K., Wall, A., Vanhala, P., Liski, J., Esala, M., & Regina, K. 2011. Effects of afforestation and deforestation on boreal soil carbon stocks-Comparison of measured C stocks with Yasso07 model results. *Geoderma*, 164(1-2), 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.05.008>

Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885

Nilsson, M., Ahlkrona, E., Jönsson, C. & Allard, A. 2020. Regionala jämförelser mellan Nationella Markttäckedata och fältdata från Riksskogstaxeringen och NILS (naturvardsverket.se)

NIR 2021. National Inventory Report Sweden 2021. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2019. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Swedish Environmental Protection Agency.

Norway's National Inventory Report 2021. Greenhouse Gas Emissions 1990-2019, National Inventory Report. Norwegian environment agency. Report M-2013, 2021.

Proposition 2016/17:146. Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige

Proposition 2016/17:104, En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet.

Rytter, R.-M., 2012. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 36, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.012>

Rytter, R.-M., Rytter, L. 2020. Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management* (466). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118129>

Skogsstyrelsen 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008. Rapport 2008:25.

Skogsstyrelsen 2021. Marknaden för skogsråvara och skogsnäringens utveckling fram till 2035. Rapport 2021:3

SOU 2020:4. Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. Stockholm 2020.

SOU 2020:73. Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och naturvård i skogen. Betänkande av Skogsutredningen.

Vesterdal, L., Leifeld, J., Poeplau, C., Don, A., Van Wesemael, B., 2011, Land-use change effects on soil carbon stocks in temperate regions - development of carbon response functions, in: Soil Carbon in Sensitive European Ecosystems - From Science to Land Management. In: R. Jandl, M. Rodeghiero, M. Olsson, (eds.), John Wiley & Sons.

Wikström P, Edenius L, Elfving B, Eriksson LO, Lämås T, Sonesson J, Öhman K, Wallerman J, Waller C, Klintebäck F. 2011. *The Heureka forestry decision support system: an overview*. Math. Comput. For. Nat. Resour. Sci. 3(2), 87-94

Appendix A

Utveckling av totalt kolförråd över tid för poppelbestånd i Sverige

Data

På grund av avsaknaden av tidsserier med upprepade mätta tillväxtdata för poppel användes data från tillfälliga mätningar av hybridpoppel på tidigare jordbruksmark belägna mellan 56-63° N i Sverige. Antalet inventerade bestånd var 41 som omfattade 4 kloner av poppelarter: *P. trichocarpa*, OP-42 (*P. maximowiszii* x *P. trichocarpa*), *P. balsamifera* och Boelare (*P. deltoides* x *P. trichocarpa*). Beståndsåldern varierade mellan 4 och 73 år med ett medelvärde på 20 år. Bestånden var gallrade en eller två gånger och jordarten varierade. En sammanfattning om beståndsdata finns i tabell 1 (Johansson och Karačić, 2011).

Metod

Separata funktioner för bestånds ovanjordsdel (stam med bark, grenar och löv) och underjordsdel (stubbar och rötter) (Johansson och Karačić, 2011; Johansson och Hjelm, 2012) tillämpades på beståndsdata och medeldiameter som oberoende variabler. Skattningarna av biomassa justerades utifrån stamtäthet (träd per ha) och den totala biomassan beräknades som summan av ovan- och underjordsbiomassa. Kolhalten (ton C ha⁻¹) antogs vara 47 % av den totala biomassan (torr vikt). Kollagret i marken skattades inte på grund av brist på data. För att simulera utvecklingen av totala kolmängd över tiden, användes en enkel logistisk tillväxtfunktion:

$$Y = a / (1 + \exp((b-X) / c))$$

Där Y är kolmängd i ton C ha⁻¹, X är beståndsålder i år och a , b , c är modellparametrar som skattas med icke-linjär regression.

Från ekvationen ovan simulerades utvecklingen av den totala kolmängden över tid för de observerade data, utan hänsyn till gallring och avgång (mortalitet).

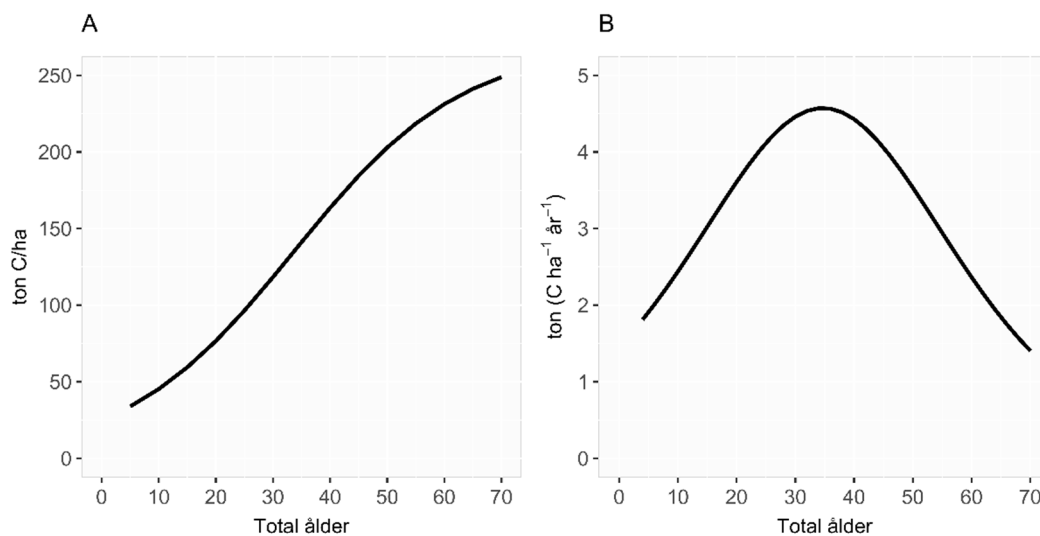
Resultat

De beräknade parametrarna (medelvärde \pm medelfel) för den logistiska tillväxtmodellen var $a = 270,097 \pm 46,696$; $b = 33,673 \pm 6,565$ och $c = 14,758$. Den förklarade variationen var 61 % och avvikelser kring modellen var 31 ton C ha^{-1} . Figur A1 visar den simulerade kolmängdens utveckling över tiden. Det skattade kollagret från 5 till 70 år varierade från 34 till $250 \text{ ton C ha}^{-1}$. Under samma period var den årliga kolbindningen $3,56\text{--}6,88 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och bindningshastigheten minskade med stigande ålder. Resultaten överensstämde med litteraturen som visade liknande resultat för det totala koldioxidlagret (76 ton C ha^{-1}) hos 20-åriga popplar som växer under svenska förhållanden (Rytter, 2012). Under de första 20 åren är den totala kolmängden i vedartad vegetation och jord cirka 87 ton C ha^{-1} med en årlig bindning på $4,35 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Tabell A1).

Tabell A1. Genomsnittligt kollager (ton C ha^{-1}) och årlig kolbindning ($\text{ton C ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) i jord och vedartad vegetation under de första 20 åren av poppelbestånd som växer på tidigare jordbruksmark.

	Vedartad vegetation	Mark*	Total
Kollager	76,67	10,3	86,97
Årlig kolbindning	3,83	0,52	4,35

* Organisk kol i mark enligt Rytter (2012).



Figur A1. Total utveckling av koldioxidlager (vänster, A) och årlig koldioxidbindning (höger, B) i poppelbestånd.

Table A2. Skattad kolmängd (t C ha⁻¹) över tid (beståndsålder; år) för hybridpoppelbestånd på tidigare åkermark.

Ålder	Kolmängd i biomassa (t C ha⁻¹)
5	34
10	45
15	59
20	77
25	96
30	118
35	141
40	164
45	184
50	203
55	219
60	231
65	241
70	249

References

Johansson, T., Hjelm, B., 2012. Stump and Root Biomass of Poplar Stands. *Forests* 3, 166–178. <https://doi.org/10.3390/f3020166>

Johansson, T., Karačić, A., 2011. Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 35, 1925–1934. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.040>

Rytter, R.-M., 2012. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 36, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.012>

Bilaga 1

Beskrivning av resultatfil **Resultatfil_beskogning.xlsx**

Flik PerBeståndstyp innehåller följande variabler:

Landsdel (Gotaland/Svealand/Norrland)

Tradslag (Gran, Bjork, Lark, Tall, Asp, Contorta, Bok och Ek)

Bordighet (Lag/Mellan/Hog enligt metodbeskrivning ovan)

AntalStammar (1000 eller 2000 stammar/ha)

FdAgoslag (vall, ettåriga, grönträda)

PerAr_AvvC (medeltal över en omloppstid, ton C ha⁻¹ år⁻¹)

PerAr_BiomC (medeltal över en omloppstid, ton C ha⁻¹ år⁻¹)

PerAr_MarkC (medeltal över en omloppstid, ton C ha⁻¹ år⁻¹)

PerAr_AvvC_30 (medeltal 30 år e. återväxtinventering, ton C ha⁻¹ år⁻¹)

PerAr_BiomC_30 (medeltal 30 år e. återväxtinventering, ton C ha⁻¹ år⁻¹)

PerAr_MarkC_30 (medeltal 30 år e. återväxtinventering, ton C ha⁻¹ år⁻¹)