

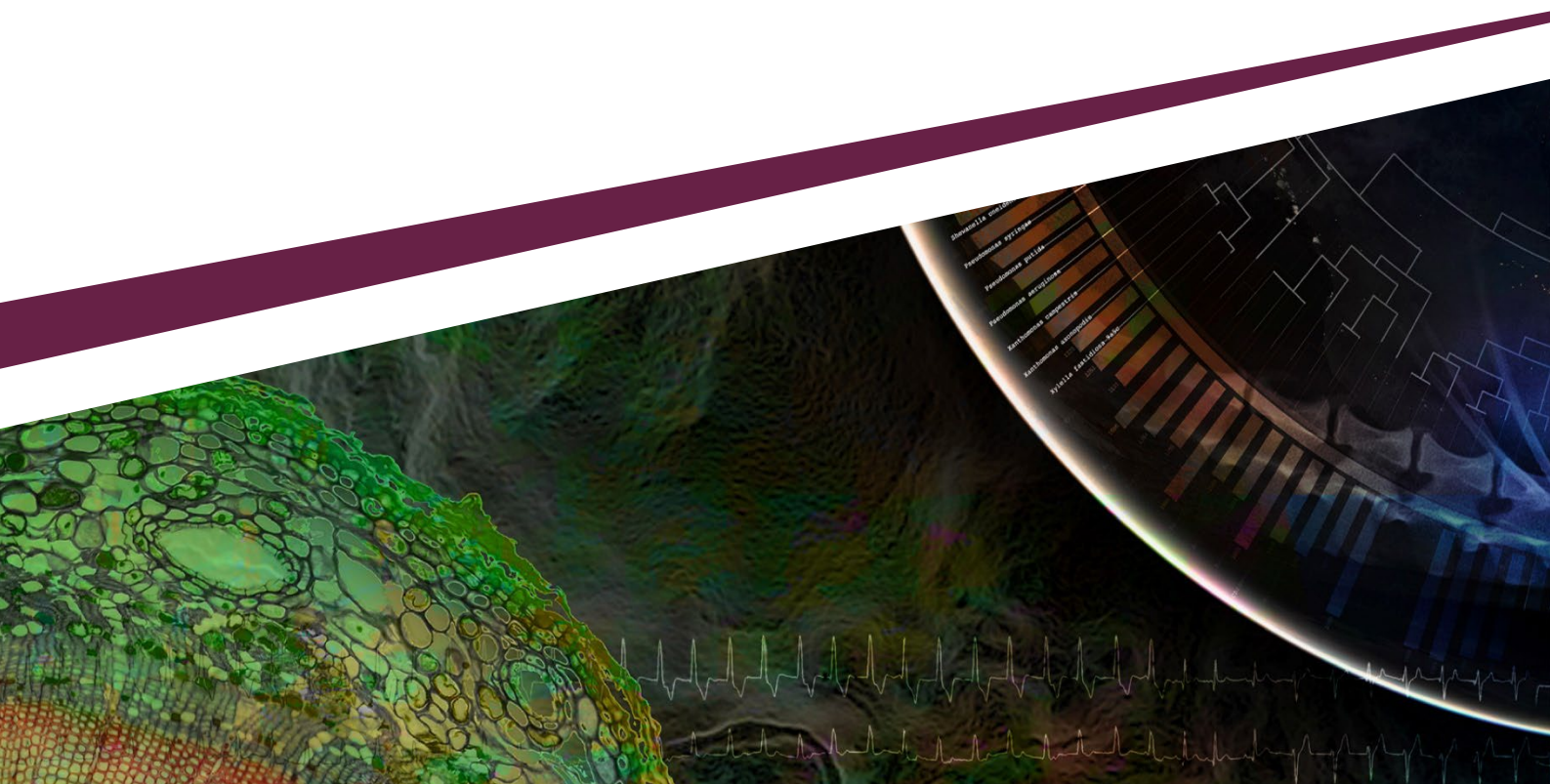


# Scenarier för utveckling av upptag och utsläpp av växthusgaser från **LULUCF-sektorn**

– underlag till Miljömålsberedningen.

---

Per-Erik Wikberg, Carina Josefson Ortiz, Miriam Markström,  
Mattias Lundblad



## Scenarier för utveckling av upptag och utsläpp av koldioxid från LULUCF-sektorn – underlag till Miljömålsberedningen

Per-Erik Wikberg SLU, Institutionen för skoglig resursanalys  
Carina Josefsson Ortiz SLU, Institutionen för mark och miljö  
Miriam Markström SLU, Institutionen för skoglig resursanalys  
Mattias Lundblad SLU, Institutionen för mark och miljö

**Utgivare:** SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Utgivningsår:** 2023  
**Utgivningsort:** Umeå  
**Serietitel:** Arbetsrapport/ Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Delnummer i serien:** 557  
**ISSN:** 1401-1204  
**Nyckelord:** LULUCF, koldioxid, växthusgaser, scenarier, Heureka, Q-modellen

## Sammanfattning

SLU har på uppdrag av Miljömålsberedningen tagit fram en analys av hur nettoupptaget för LULUCF-sektorn<sup>1</sup> kan komma att utvecklas på kort och lång sikt. Underlaget ska kunna användas för att bedöma behovet av åtgärder för att bevara och öka nettoupptaget i LULUCF-sektorn relativt nationella mål och internationella åtaganden för perioden fram till 2030 men även årtiondena därefter. Enligt LULUCF-förordningen ska Sveriges nettoupptag 2030 vara 3,995 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter<sup>2</sup> högre än det i genomsnitt var under perioden 2016–2018. I den senaste klimatrapporteringen till FN och EU redovisade Sverige ett nettoupptag för LULUCF-sektorn på -41,2 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter för år 2022 vilket är 3,6 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter lägre än för basperioden 2016–2018 och 7,6 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter lägre än målnivån 2030.

Analysen omfattar förändringar i kolförråd och övriga växthusgasutsläpp för alla markanvändningskategorier som ingår i LULUCF-sektorn, dvs. skogsmark, jordbruksmark, betesmark, våtmark, bebyggd mark och övrig mark i enlighet med klimatrapporteringen till FN och EU.

För skogsmark simulerades fem olika scenarier för att visa på utvecklingen givet variationen i naturliga förutsättningar och viss styrning av avverkningsnivåerna. Tre olika nivåer för tillväxt simulerades och för dessa antogs avverkningen öka i linje med Skogsstyrelsens bedömning av marknadens efterfrågan på skogsråvara. Den årliga avverkningen antogs öka med 5 M m<sup>3</sup>fub fram till 2030 jämfört med dagens nivå. Ett scenario simulerades med en avverkningsnivå som sattes konstant på dagens nivå och ett sista scenario simulerades där arealen skyddad skog ökades genom att all ”primary and old growth forests” avsätts för naturvård.

För övriga markanvändningskategorier beräknades scenarier baserat på historiskt rapporterade värden där känslighetsintervall för utfallet skattades genom att analysera variationen i nettoupptag och nettoutsläpp för den senaste tioårsperioden.

Med den ansats som använts i analysen erhålls resultat inom ett spann som givet antagandena är lika sannolika även om utvecklingen idag går mot minskande nettoupptag. För ett medelalternativ, dvs. medeltillväxt och den antagna avverkningsökningen för skogsmark och att övriga kategorier hamnar på medelvärdet för den senaste 10-årsperioden, blir nettoupptaget 2030 för hela LULUCF-sektorn -42,0 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år vilket är 2,8 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre än för basperioden 2016–2018 då nettoupptaget var -44,8 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år i genomsnitt och därmed 6,8 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre än målnivån 2030.

---

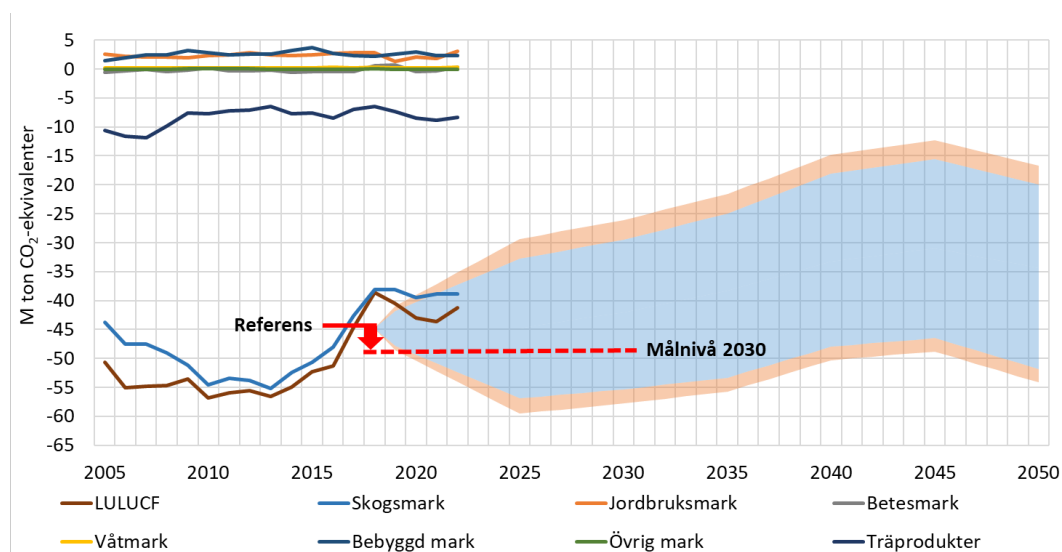
<sup>1</sup> Land Use, Land use change and Forestry, sektorn markanvändning och skogsbruk

<sup>2</sup> miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter dvs. koldioxid, metan och lustgas sammantaget där metan och lustgas beräknats utifrån GWP<sub>100</sub> (gasernas klimatpåverkan i förhållande till koldioxid över 100 år)

Givet den variation som ökad respektive minskad tillväxt ger och den variation som observerats historiskt för övriga kategorier i förhållande till basperioden 2016–2018 varierar nettoupptaget mellan -26,1 och -57,8 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år 2030. Det ger ett utfallsrum på närmare 32 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter 2030 (Figur S-1). Större delen av variationen består i de olika tillväxtscenarierna för skogsmark, de två övriga scenarierna där avverkningen justerades hamnar inom detta intervall. Nettoupptaget minskar över tid och utfallsrummet blir också större, 2050 är nettoupptaget för medelalternativet -34,4 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med ett utfallsrum på 37,5 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (-16,7- -54,2 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) och 2100 har nettoupptaget för medelalternativet minskat till -23,8 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med ett utfallsrum på närmare 38 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (-15,7- -44,3 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter).

Scenarierna inkluderar inte effekten av några åtgärder. Syftet med analysen var att visa på tänkbara utfall givet olika tänkbara alternativ för de naturgivna förutsättningarna och historisk variation i nettoupptag.

Utfallet av analysen visar på utmaningen att bevara och förstärka nettoupptaget för att nå uppsatta mål. Oavsett åtgärder kommer naturliga variationer som är svåra att prediktera i stor utsträckning påverka resultatet vilket kan resultera i både negativa och positiva konsekvenser när det gäller i vilken utsträckning Sverige ska kunna nå sina mål nationellt och inom EU.



Figur S-1. Nettoupptag för LULUCF 2005–2022 och utfallsrum 2025–2050 baserat på scenarierna för de olika markanvändningskategorierna. Blåskuggad yta representerar totalt nettoupptag i LULUCF med variation enligt scenarier för permanent skogsmark. Orangeskuggad yta representerar variationen för övriga redovisningskategorier. Medeltillväxt (röd linje) representerar medelvärdet för 2016–2018 och streckad röd linje målnivån för 2030 enligt EU 839/2023.

Nyckelord: LULUCF, koldioxid, växthusgaser, scenarier, Heureka, Q-modellen

# Förord

Denna rapport har tagits fram av SLU på uppdrag av Miljömålsberedningens sekretariat som underlag i beredningens arbete med tilläggsdirektivet om en strategi för hur Sverige ska leva upp till EU:s åtaganden inom biologisk mångfald respektive nettoupptag av växthusgaser från markanvändningssektorn (Dir. 2022:126).

I arbetet med rapporten har Per-Erik Wikberg, Miriam Markström från Institutionen för skoglig resurshushållning och Carina Josefsson Ortiz och Mattias Lundblad från Institutionen för mark och miljö medverkat.

Hans Petersson från Institutionen för skoglig resurshushållning och Johan Stendahl från Institutionen för mark och miljö har bidragit med synpunkter och diskussion kring de resultat som presenteras i rapporten.

# Innehållsförteckning

<b>1. Bakgrund</b> .....	<b>8</b>
1.1. Rapportering av LULUCF .....	9
1.2. Utsläpp och upptag från LULUCF 1990–2022 .....	10
1.3. Åtagande för LULUCF-sektorn till 2030 .....	11
<b>2. Material och metoder</b> .....	<b>13</b>
2.1. Skogsmark .....	13
2.1.1. Heureka .....	14
2.1.2. Scenarier .....	14
2.1.3. Q-modellen .....	17
2.2. Jordbruksmark .....	19
2.3. Betesmark .....	20
2.4. Våtmark (torvproduktionsmark) .....	20
2.5. Bebyggd mark .....	21
2.6. Övrig mark .....	21
2.7. Träprodukter .....	22
<b>3. Resultat och diskussion</b> .....	<b>23</b>
3.1. Skogsmark .....	23
3.1.1. Avverkning och naturlig avgång .....	23
3.1.2. Tillväxt .....	24
3.1.3. Simulerat nettoupptag i levande biomassa .....	25
3.1.4. Markkol .....	26
3.1.5. Nettoupptag för skogsmark .....	29
3.2. Jordbruksmark .....	33
3.3. Betesmark .....	34
3.4. Våtmark .....	35
3.5. Bebyggd mark .....	36
3.6. Övrig mark .....	37
3.7. Träprodukter .....	38
3.8. Totalt för LULUCF .....	39
3.9. Slutsatser .....	41
<b>Referenser</b> .....	<b>42</b>



# 1. Bakgrund

Genom att aktiviteter inom LULUCF-sektorn<sup>3</sup> fått större betydelse i klimatarbetet, såväl internationellt<sup>4</sup> som nationellt<sup>5</sup> har behovet av att bedöma utvecklingen inom LULUCF-sektorn på kort- och medellång sikt ökat. Detta för att i tid kunna sätta in eventuella åtgärder för att bevara och öka nettoupptaget i LULUCF-sektorn relativt nationella mål och internationella åtaganden för perioden fram till 2030 (se avsnitt 1.3) men även årtiondena därefter.

SLU har på uppdrag av Miljömålsberedningen tagit fram en analys av hur nettoupptaget för LULUCF-sektorn kan komma att utvecklas på kort och lång sikt givet antaganden som baseras på hur nettoupptag respektive nettoutsläpp varierat historiskt för de ingående redovisningskategorierna (se avsnitt 2.1) samt antaganden om hur nettoupptag och nettoutsläpp kan tänkas variera givet förutsättningar för tillväxt och efterfrågan på skogsråvara för skogsmark.

I analysen ingår hela LULUCF-sektorn, dvs. skogsmark, jordbruksmark, betesmark, bebyggd mark, våtmark och övrig mark. Alla kolpooler och övriga utsläpp som ingår i klimatrapporteringen till EU och UNFCCC i den senaste rapporten som inkluderar utsläpp och upptag 1990–2022 (Submission 2024) redovisas i scenarierna. Ingående kolpooler är levande trädbiomassa, död ved, förna, markkol och träprodukter. Dessutom ingår avgång av lustgas och metan från organogen mark<sup>6</sup>, lustgas från skogsgödsling, lustgas och metan från bränder, lustgas från mineralisering av kväve vid markanvändningsförändringar och indirekta lustgasutsläpp.

Det innebär att scenarierna kan jämföras med Sveriges åtagande i LULUCF-förordningen fram till 2030 i det avseendet att omfattningen i rapporteringen är densamma som idag. I enlighet med UNFCCC:s rapporteringsriktlinjer och gällande förordningar inom EU (EU/2018/841 och EU/2023/839) ska metoderna i klimatrapporteringen kontinuerligt förbättras och om dataunderlagen utökas och förbättras ska de användas. Det gör att redovisningen till EU och UNFCCC kontinuerligt räknas om. Scenarierna som presenteras i denna rapport är konsistenta med rapporteringen till EU och UNFCCC 2024 (utsläppsår 1990–2022).

---

<sup>3</sup> Land Use, Land use change and Forestry, sektorn markanvändning och skogsbruk

<sup>4</sup> EU/2018/841 och EU/2023/839

<sup>5</sup> SOU 2020:4

<sup>6</sup> Organogen mark är mark med högt organiskt kolhalt och med en mäktighet på minst 40 cm. I princip kan organogen mark likställas med torvmark.



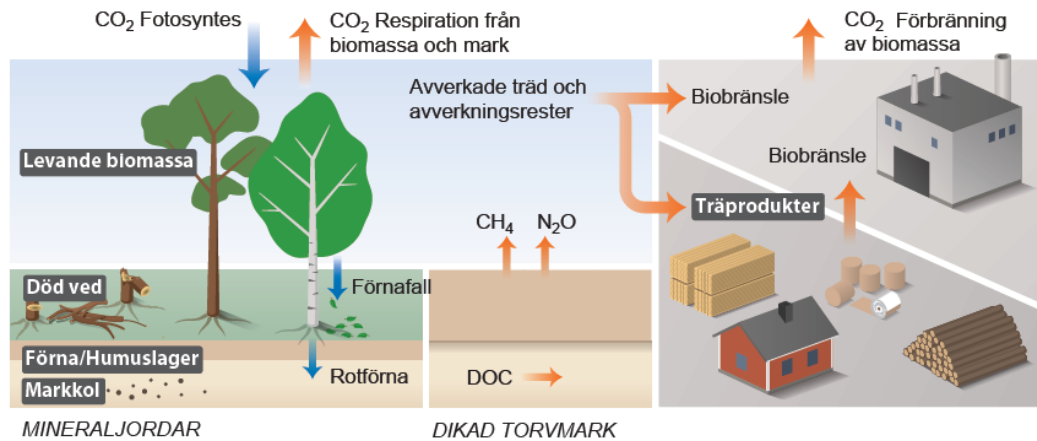
Scenarierna fokuserar på 2030 men för skogsmark har även utvecklingen fram till 2100 beräknats för att kunna ge en bild av hur nettoupptaget kan bidra till att nå Sveriges nationella klimatmål 2045 och därefter. När resultaten analyseras på längre sikt är det viktigt att komma ihåg att alla kategorier utöver skogsmark antar samma markanvändning och genomsnittliga nettoutsläpp som idag. I scenarierna ingår endast befintliga och beslutade styrmedel.

## 1.1. Rapportering av LULUCF

LULUCF-rapporteringen omfattar förändringar i kolförråd i levande biomassa, död ved (stående och liggande död ved samt stubbar), förna (inkluderar grov förna, årsförna och markens humuslager) och markkol (Figur 1). I LULUCF-sektorn redovisas också växthusgasutsläpp från skogsgödsling, utsläpp av växthusgaser från dränerad mark, utsläpp från torvproduktionsmark och producerad odlingstorf, utsläpp av lustgas från mineralisering, utsläpp från bränder i skog samt inlagring av kol i trä- och pappersprodukter där kolet binds en kortare (papper) eller längre tid (sågade trävaror).

För LULUCF redovisas förändringar i kolförråd bara för ”brukad mark”, dvs. skogsmark (virkesproduktionsmark, formellt skyddad mark och improduktiv skogsmark), jordbruksmark, betesmark och bebyggd mark. Detta beror på att rapportering av utsläpp och upptag och åtaganden om att begränsa klimatpåverkan har ett ensidigt fokus på utsläpp och upptag som kan påverkas av människan. För LULUCF i Sverige innebär det bl.a. att upptag och utsläpp från orörda våtmarker och kalfjäll inte ingår i redovisningen.

Markanvändningskategorierna inkluderar permanent markanvändning och markanvändningsförändringar. Markanvändningsförändringar hanteras i övergångsklasser där utsläpp och upptag redovisas under en 20-årig övergångsperiod innan marken övergår i en annan permanent markanvändningsklass. Totalt ger det 36 markanvändningskategorier som dessa underkategorier redovisas separat.



Figur 1. Figuren visar kolets kretslopp i förhållande till de kolpooler (vit text med grå bakgrund) som redovisas i klimatrappporteringen. Kolförrådsförändringar som rapporteras representerar skillnaden mellan inflödet och utflödet av kol för en kolpool. För kolpoolen levande biomassa representerar kolförrådsförändringen skillnaden mellan upptag genom fotosyntes och utsläpp på grund av respiration, avverkning och naturlig avgång.

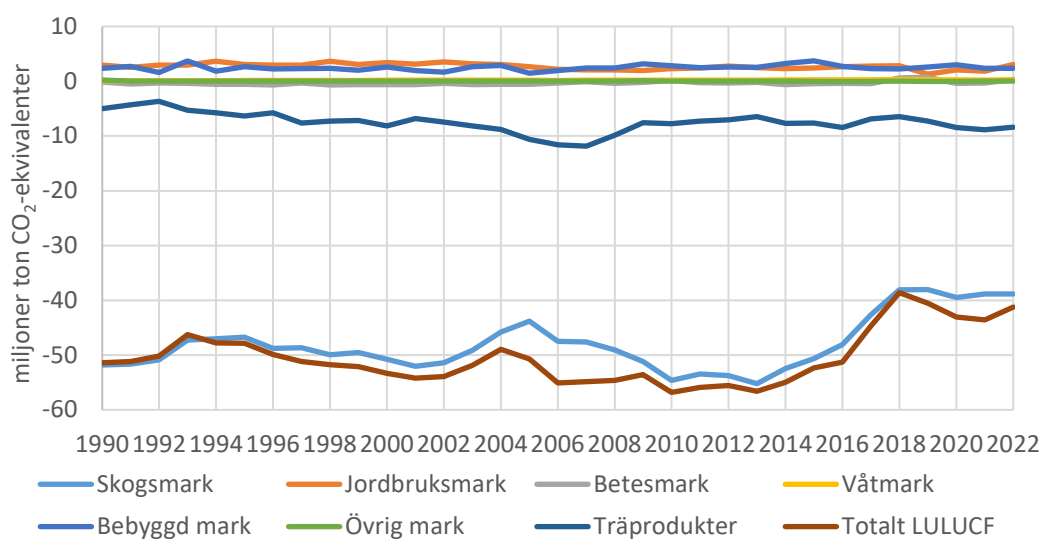
## 1.2. Utsläpp och upptag från LULUCF 1990–2022

Nettoupptaget i LULUCF-sektorn 2022 var drygt -41 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Under perioden 1990–2022 har nettoupptaget varierat mellan knappt -37 och -57 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år (Figur 2 och 3). Det största nettoupptaget av kol sker i levande trädbiomassa och i marken, och det största nettoutsläppet kommer från dränerad torvmark.

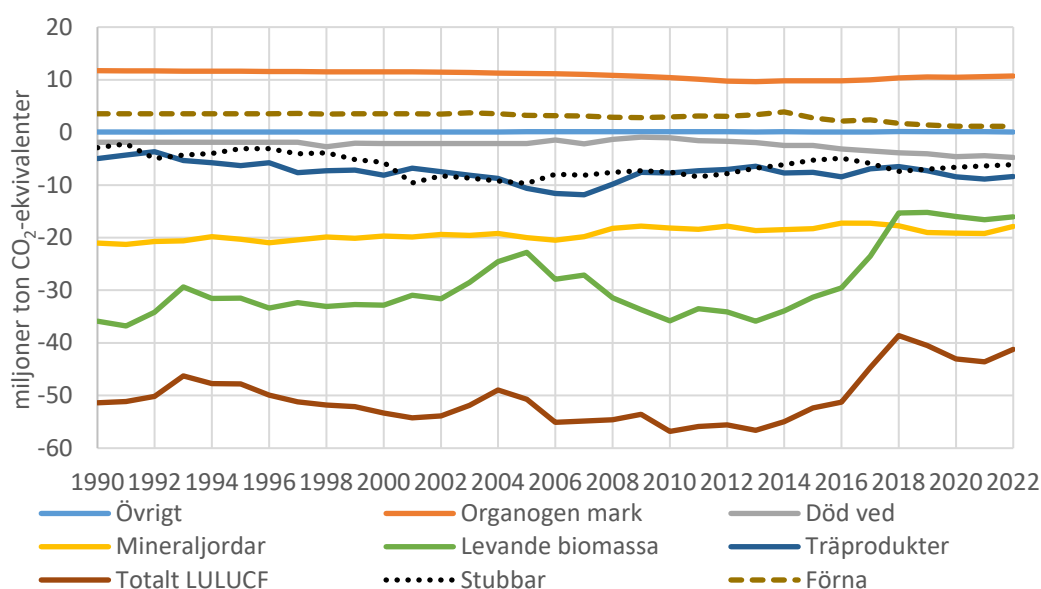
Nettoupptaget i levande trädbiomassa har varit relativt stabilt sedan 1990, men minskade 2005 och 2007 efter stormarna Gudrun och Per. Torråret 2018 som medfört till att tillväxten minskat, liksom senare års angrepp av granbarkborre, har bidragit till ett minskat nettoupptag på senare år. Genom att det tar minst fem år att inventera ett helt stickprov tar det flera år innan dessa störningar liksom effekten av en eventuell ökning av avverkningsnivåerna får fullt genomslag i rapporteringen.

Det sker en inlagring i mineraljordar för skogsmark, jordbruksmark och betesmark. Det är dock svårt att urskilja några betydande trender i tidsserierna. För jordbruksmark varierar förrådsförändringen över tid mellan att vara en källa och en sänka beroende på årliga variationer i skördenivåer och väderförutsättningar.

Dränerad organogen mark är en betydande källa för växthusgasutsläpp. De totala nettoutsläppen från dessa marker på 10,7 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter 2020 motsvarar ca 20 % av Sveriges totala territoriella utsläpp (exklusive LULUCF).



Figur 2. Nettoupptag (negativa värden) och nettoutsläpp (positiva värden) fördelat på markanvändningskategorier och träprodukter (HWP). Källa: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)



Figur 3. Nettoupptag (negativa värden) och nettoutsläpp (positiva värden) fördelat på kolpooler, träprodukter (HWP) och andra utsläpp. Källa: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

### 1.3. Åtagande för LULUCF-sektorn till 2030

Det gemensamma EU-målet för nettoupptag av växthusgaser till 2030 i LULUCF-sektorn är fastställt till 310 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter och utgörs av summan av medlemsstaternas nettoutsläpp och nettoupptag av växthusgaser 2030.

Varje medlemsstat har ett individuellt åtagande att öka nettoupptaget till 2030 jämfört med genomsnittet av växthusgasinventeringen för åren 2016–2018. Avräkning mot målet görs i och med växthusgasrapporteringen 2032. Den totala

ökningen av nettoupptaget mellan 2016 och 2018 enligt 2020 års växthusgasrapportering och målet på 310 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fördelades mellan länderna baserat på ländernas brukade landareal. Det innebär att Sverige som står för ca 9% av den totala brukade landarealen i EU fått ett beting att öka nettoupptaget med 3,955 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter till 2030 jämfört med perioden 2016–2018.

I den senaste redovisningen som representerar 2022 var nettoupptaget i LULUCF-sektorn för Sverige ca 3,6 M ton lägre än för basperioden 2016–2018, vilket innebär att den negativa skillnaden mot målnivån för 2030 för tillfället är ca 7,6 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Uppföljningen av åtagandet sker årligen 2026–2029 mot en fastställd budget. Budgeten bestäms av det genomsnittliga nettoupptaget 2021–2023 redovisat i Submission 2025 och målnivån 2030 som baseras på det genomsnittliga nettoupptaget 2016–2018 ökat med 3,955 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

## 2. Material och metoder

### 2.1. Skogsmark

För skogsmark<sup>7</sup> redovisas kolförrådsförändringar i biomassa, förna (död ved och förna vilket inkluderar humuslagret) och markkol. Avgång av lustgas i samband med kvävegödsling, lustgas och metan från organogena marker och lustgas och metan från skogsbränder ingår också. För grundläggande beskrivning av metodiken för att beräkna upptag och utsläpp hänvisas till den årliga inventeringsrapporten<sup>8</sup>.

I scenarierna för permanent skogsmark har utvecklingen av kolförrådet i levande biomassa (över och under jord) och död ved beräknats med hjälp av det skogliga planeringsverktyget Heureka Regvis<sup>9</sup> (Se avsnitt 2.1.1). Modellen simulerar skogarnas framtida utveckling utifrån antaganden om bl.a. skötsel och avverkning. Kolpoolerna förna (inklusive stubbar) och kol i mineraljorden beräknas med Q-modellen (Se avsnitt 2.1.3). För dränerad organogen mark (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O och CH<sub>4</sub>), skogsgödsling (N<sub>2</sub>O) och skogsbränder (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) används genomsnittet för den senaste rapporterade 10-årsperioden (2013–2022). Det finns idag ingen modell där utsläpp från dränerad mark kan predikteras i ett scenario. Omfattningen av skogsgödsling följer konjunkturen och har varierat en del men inget tyder på att det kommer ske några förändringar inom en snar framtid om inte förutsättningarna (regelverk och styrmedel) ändras. När det gäller skogsbränder har det visserligen inträffat fler större bränder under senaste 20-årsperioden än perioden innan men en eventuell ökning eller minskning och effekten av dessa bedöms inrymmas i de scenarier för levande biomassa som beskrivs nedan.

För mark som konverteras till skogsmark antas den årliga omvandlingen av mark ligga kvar på samma nivå som de senaste 10 åren. Därför har scenariot för dessa kategorier beräknats som genomsnittet av de senaste 10 årens rapportering (2013–2022).

---

<sup>7</sup> Skogsmark definieras som ett sammanhängande markområde om minst 0,5 hektar med en kronslutenhet av minst 10 % och en minimihöjd av 5 m, där de senare variabelerna avser fullväxt bestånd. Skogbevuxen mark med en bredd mindre än 10 m och skogsbilvägar eller kraftledningsgator med en bredd större än 5 m anses ej utgöra Skogsmark. Definitionen avviker från FAO:s definition då minimibredden på Skogsmark är satt till 10 m (FAO 20 m) och att skogsbilvägar exkluderas (FAO inkluderar dessa).

<sup>8</sup> Naturvårdsverket 2023

<sup>9</sup> Lämås et.al. 2023

### 2.1.1. Heureka

Modellen simulerar skogarnas framtida utveckling utifrån antaganden om skötsel, avverkning, tillväxt, avsättningar osv. Simuleringarna görs i framskrivningsperioder om 5 år. De viktigaste modellerna simulerar de enskilda trädens tillväxt och avgång. Modellerna är i regel empiriska och baserade på bl.a. data från Riksskogstaxeringen. Åtgärder som föryngring, ungskogsröjning, gallring och slutavverkning styrs av användaren. Även hyggesfria metoder och naturvårdande skötsel kan simuleras. Utöver "normala" avgångar kan katastrofavgångar i samband med storm simuleras. Effekt av klimatförändringar kan simuleras. Trädens kolinnehåll beräknas med hjälp av biomassafunktioner<sup>10,11</sup> och skillnader i kolförråd över tid räknas om till utsläpp eller upptag av koldioxid. Mängden kol i död ved beräknas utifrån starttillståndet på provytorna och under simuleringarna med hjälp av tillförsel av naturlig avgång som ej tas tillvara och dess nedbrytning. Nedbrytning av allt annat dött organiskt material som tillförs marken simuleras med Q-modellen som är integrerad i Heurekasystemet. I det här fallet har dock markkolsberäkningarna gjorts utanför Heurekasystemet, baserat på data om tillförda mängder förna från Heurekasimuleringarna.

### 2.1.2. Scenarier

Fem scenarier simulerades. Samtliga scenarier baserades på tillståndet 2018–2022 på Riksskogstaxeringens permanenta provytor som också utgör basen för den årliga klimatrapporeringen till EU och UNFCCC. Framskrivningsperioden var 100 år. Skötselinställningar, beräkningsområden och avsatta arealer<sup>12</sup> togs från scenarierna Dagens skogsbruk och Dagens potential från Skogliga Konsekvensanalyser 2022<sup>13</sup>. I dessa scenarier efterliknades den historiska skogsskötseln 2016–2020. Separata simuleringar gjordes för fem beräkningsområden: norra respektive södra Norrland nedan gräns för fjällnära skog, Svealand nedan fjällnära skog, Götaland samt ovan gräns för fjällnära skog. Totalt 1 333 000 hektar sattes av för naturvård genom lagskydd och 3 200 000 hektar sattes av genom lämnad hänsyn och genom frivilliga avsättningar av skogsägare. Den lämnade hänsynen inkluderar befintlig hänsyn som lämnats sedan 1990-talets mitt och även hänsyn som kommer att lämnas vid framtida slutavverkningar. Den årliga avverkningen antogs öka med 5 M m<sup>3</sup>fub<sup>14</sup> från dagens nivå på ca 77 M m<sup>3</sup>fub (tillvarataget) fram till 2030, baserat på en av Skogsstyrelsen gjord bedömning av skogsnäringens framtida utveckling<sup>15</sup>.

---

<sup>10</sup> Marklund 1988.

<sup>11</sup> Petersson, H., Ståhl, G., 2006.

<sup>12</sup> Med avsatt areal avses att arealen produktiv skogsmark för virkesproduktion minskar för annan markanvändning och normalt upphör avverkningen på denna mark.

<sup>13</sup> Skogsstyrelsen. 2022.

<sup>14</sup> m<sup>3</sup>fub (fastkubikmeter under bark) är volymen av virke innanför barken, utan trädets topp. 1 m<sup>3</sup>fub motsvarar ca 0,83 m<sup>3</sup>sk.

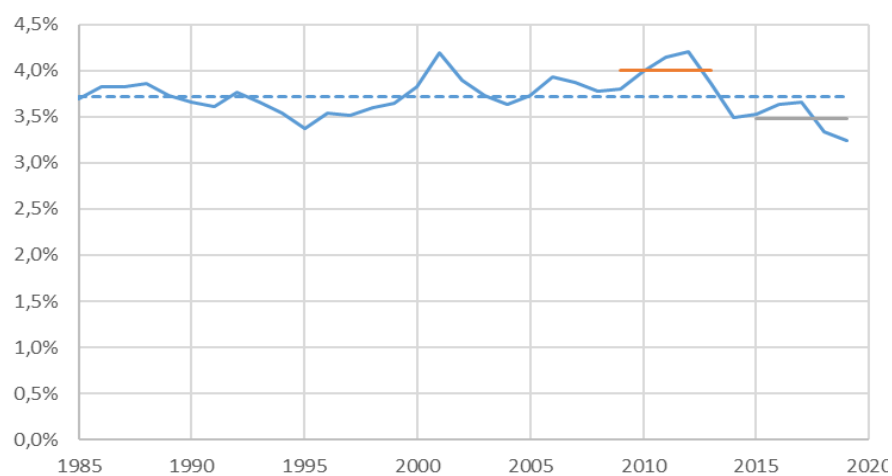
<sup>15</sup> Skogsstyrelsen 2021.

I Götaland och Svealand är avverkningsintensiteten (avverkningens andel av den tillgängliga tillväxten) redan idag så hög att ingen avverkningsökning simulerades, avverkningen sattes för dessa områden i nivå med den tillgängliga tillväxten under hela framskrivningsperioden. I Norrland där avverkningsintensiteten ligger på en lägre nivå jämfört med södra Sverige ökades avverkningen succesivt fram till 2032 för att åstadkomma en total nationell ökning av den årliga avverkningen på 5 M m<sup>3</sup>fub per år.

Utvecklingen av förrådet i levande biomassa beror på tillväxten och på hur mycket av förrådet som försvinner vid avverkning eller naturlig avgång. Tre scenarier med olika tillväxt, ett scenario med lägre avverkning, och ett scenario med ökade avsättningar simulerades.

### *Tillväxt – tre scenarier*

Tre tillväxtscenarier syftade till att visa effekten av olika framtida tillväxtnivåer: *Medeltillväxt*, *Minskad tillväxt* och *Ökad tillväxt*. Tillväxten i Heureka justerades baserat på den historiska relativa tillväxtens (årlig bruttotillväxt/virkesförråd uttryckt i procent) förändring enligt Riksskogstaxeringen (Figur 4). Vi valde att utgå från den relativa tillväxten eftersom den inte påverkas av virkesförrådets storlek liksom den absoluta tillväxten. Ett ökat förråd ger allt annat lika en högre tillväxt och skillnader i absolut tillväxt mellan perioder kan följaktligen bero på skillnad i virkesförråd och inte på hur bra det växer. Sista tillväxtåret i den historiska tidsserien är 2019 eftersom Riksskogstaxeringens tillväxtberäkningar baseras på fem års tillväxt. Från den senaste fältinventeringen från vilken data är tillgängligt (2022) baserades tillväxtberäkningen på tillväxtåren 2017–2021 (inventeringsårets tillväxt medräknas ej eftersom träden oftast inte vuxit klart vid mättillfället). Den resulterande tillväxten redovisas för femårsperiodens mittår, 2019. Det enda som skiljde tillväxtscenarierna åt var tillväxten, i övrigt var inställningarna identiska.



*Figur 4. Relativ tillväxt, löpande tillväxt/virkesförråd, på produktiv skogsmark enligt Riksskogstaxeringen (blå), blå streckad linje är medelvärdet för hela tidsserien, orange är femårsmedel för 2009–2013, och grå är femårsmedel för 2015–2019. Formellt avsatta arealer ingår ej före 2003.*

### Medeltillväxt

I scenariot *Medeltillväxt* gjordes ingen justering av tillväxten i Heureka. Scenariot visar alltså utvecklingen där tillväxten simuleras med Heurekas ordinarie tillväxtfunktioner.

### Minskad tillväxt

Femårsperioden 2015–2019 representerar en period med dåliga tillväxtbetingelser (Figur 4). Tillväxten i Heureka justerades ner för att efterlikna denna femårsperiod. Den relativa tillväxten (årlig bruttotillväxt/virkesförråd uttryckt i procent) var under perioden ca 0,25 % lägre än medelvärdet för 1985–2019 (3,7 %) och för att minska den relativa tillväxten med 0,25 % krävdes en justering av den absoluta tillväxten med 8 %. Vi är inne i den aktuella perioden just nu och scenariot simulerar alltså den framtida utvecklingen under antagandet att den låga tillväxtnivån som observerats under senare år håller i sig.

### Ökad tillväxt

Perioden 2009–2013 representerar en period med goda tillväxtbetingelser (Figur 4). På motsvarande sätt som i *Minskad tillväxt* justerades tillväxten i Heureka upp så att denna femårsperiod efterliknades. En justering av den absoluta tillväxten motsvarande 8 % krävdes för att öka den relativa tillväxten med 0,25 %.

### *Konstant avverkning*

I scenariot *Konstant avverkning* hölls avverkningen på en konstant nivå i absoluta tal genom hela framskrivningsperioden. Avverkningen under den första femårsperioden var densamma som i tillväxtscenarierna och därefter hölls den oförändrad. I övrigt var scenariot identiskt med *Medeltillväxt*.

### *Ökade avsättningar*

I uppdraget ingick även ett scenario med ytterligare avsatta arealer. Som underlag användes den bedömda arealen urskog och naturskog som tagits fram av Naturvårdsverket (NV) och Skogsstyrelsen (SKS) på beställning av miljömålsbredningen och som baseras på EU-kommissionens vägledning om kartläggning av dessa<sup>16</sup>. Bedömningsunderlaget bestod av kartsikt från olika inventeringar i fält och även arealer som tagits fram med hjälp av modeller. NV och SKS gör bedömningen att den totala arealen urskog och naturskog utanför strikt skydd på produktiv skogsmark uppgår till mellan 1,5 och 1,8 miljoner hektar. I scenariot *Ökade avsättningar* uppgick motsvarande areal till 2,2 miljoner hektar. Arealerna är inte helt jämförbara. I NV:s och SKS bedömning ingår areal som överlappar med arealer som i vårt indata klassades som frivilliga avsättningar och lämnad hänsyn, ca 760 000 hektar. I scenariot är den överlappande arealen exkluderad vilket resulterade i att 1,4 miljoner hektar återstod. Av de

---

<sup>16</sup> Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket 2023.



naturvärdeskategorier som av NV och SKS bedöms innehålla urskog och naturskog ingår inte alltid 100 % av respektive kategori, vissa andelar exkluderades<sup>17</sup>. I vårt scenario ingår däremot av beräkningstekniska skäl alltid 100 % vilket innebär en överskattning jämfört med NV och SKS. Å andra sidan räknar NV och SKS också in en viss andel av Riksskogstaxeringens naturtypsklassade areal<sup>18</sup> vilket inte gjordes i *Ökade avsättningar*. När strikt skydd, frivilliga avsättningar, hänsynsytor och extra avsättningar exkluderats återstod 17,5 miljoner hektar som antogs brukas för virkesproduktion varav 0,5 miljoner hektar var naturtypsklassad.

### 2.1.3. Q-modellen

Inlagringen av kol i marken simulerades med Q-modellen, som baseras på kontinuerlig kvalitetsteori<sup>19</sup>. Modellen har använts i ett flertal nationella skogliga och kolbalansstudier<sup>20</sup>. Förna som kommer in i marken simuleras som årliga kohorter av fraktionerna barr, fina rötter, grenar, grövre rötter, stubbar, stam och undervegetation med olika ingångskvaliteter. Kvaliteten på det organiska materialet minskar allteftersom nedbrytning sker. För grövre fraktioner som grövre rötter, stubbar och stam finns en invasionstid innan mikroorganismer börjar bryta ner materialet, vilket leder till en fördröjning av nedbrytning av dessa fraktioner vid start. Modellens parametrar förklarar nedbrytarsamhällets egenskaper, förnakvalitet utifrån trädslag. Klimatet, som påverkar nedbrytningen, beskrivs i modellen genom normalårsmedeltemperaturen (1960–1990) som en funktion av latitud och altitud.

Q-modellen används enbart för skogsmark. Nedbrytning av "Löv" (triviallöv, björk och asp) har slagits ihop med "Gran" pga. att modellens parametrar enbart beskriver nedbrytning av organiskt material från gran och tall i dagsläget. Modellparametrar har specificerats enligt Ågren G. and Hyvönen R. (2003)<sup>21</sup>.

Årlig förnaproduktion baseras på ytvis förnaproduktion som aggregerats till fyra regioner (se avsnitt 2.1.1). Förnaproduktionen skattas från levande biomassa ovan och under mark, skörderester, naturliga avgångar samt undervegetation. Q-modellen har i dagsläget inte parameteriserats för lövskog, varför förnainflöde för löv modelleras med en modell för gran (ädellövträd med modell för tall). Förnaproduktion och avverkningsrester från lövskogen bryts ner med samma egenskaper som för gran respektive tall.

GROT-uttag baseras på aktuellt uttag redovisat i SKA-22<sup>22</sup> och sker generellt i södra Sverige. Det totala uttaget motsvarar 8,8 TWh och fördelas mellan regionerna

---

<sup>17</sup> Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket 2023.

<sup>18</sup> Gardfjell, H. och Hagner, Å. 2019.

<sup>19</sup> Ågren and Bosatta, 1996.

<sup>20</sup> Ågren G. and Hyvönen R. 2003, Ågren G. et al. 2007, Ortiz, C.A., et al. 2014. Gustavsson, L. et al. 2017.

<sup>21</sup> Ågren G. and Hyvönen R. 2003.

<sup>22</sup> Skogsstyrelsen. 2022.

enligt tabell 1. I fjällnära skog sattes GROT-uttaget till 0. GROT-uttaget är detsamma för alla scenarier oavsett förändrad tillväxt och avverkning.

Tabell 1. GROT-uttag motsvarande aktuellt uttag på 8,8 TWh, enligt SKA-22

Region	Relativt uttag	Uttag M ton TS <sup>23</sup>
Fjällnära	0	0
Norra Norrland	0,034	0,061
Södra Norrland	0,046	0,082
Svealand	0,261	0,469
Götaland	0,659	1,184

Initialt kolförråd i skogsmark (Tabell 2) är framtaget med kolförråd från Markinventeringen för perioden 2003–2012<sup>24</sup>. Markinventeringen är en del av den nationella miljöövervakningen som utförs på uppdrag av Naturvårdsverket. Modellen har körts fram med antagande om att förnainflöde och nedbrytning är i jämvikt. En spin up-period på 20 år kördes fram innan simuleringsperioden med ökande förnainflöde till samma nivåer som första simuleringsperioden.

Tabell 2. Initialt kolförråd enligt Markinventeringen (2003–2012)

Region	Kolförråd (ton C per hektar)
Fjällnära	57
Norra Norrland	57
Södra Norrland	58
Götaland	83
Svealand	67

Förändringar i markens kolförråd är relativt sett mycket små och det är både svårt att mäta och att simulera dessa förändringar. Men relativt sett så utvecklas kolförråd i samma riktning i såväl mätningar av skogsmarkens kolförråd som i simuleringarna med Q-modellen. För att resultaten i scenarierna ska vara jämförbara med rapporterade data genomfördes en nivåjustering av förändringarna från simuleringarna med kvoten mellan simulerad och historisk inlagring för åren 2016–2018. Uppbyggnaden av markkolsförrådet är inte justerat. Metoden för nivåjusteringen föreslås i IPCC riktlinjer<sup>25</sup> för att undvika tidsseriebrott vid byte av metod.

De olika scenarioalternativen för variationer i tillväxt, avverkning och skydd av skog påverkar markkolssimuleringar genom ökat eller minskat inflöde av organiskt material till marken. Klimatet i Q-modellen ändras inte under scenarioalternativen,

<sup>23</sup> Ton TS=4,9 MWh

<sup>24</sup> Fridman J. et al. 2014.

<sup>25</sup> IPCC 2006.

vilket för framförallt scenariot *Ökad tillväxt* kan leda till större osäkerheter i det totala nationella nettoupptaget (Se vidare diskussion i resultat och diskussionsdelen).

## 2.2. Jordbruksmark

För jordbruksmark<sup>26</sup> redovisas kolförrådsförändringar i biomassa, dött organiskt material och markkol samt avgång av metan från organogena marker (lustgas från organogen mark redovisas i jordbrukssektorn). För grundläggande beskrivning av metodiken för att beräkna upptag och utsläpp hänvisas till den årliga inventeringsrapporten<sup>27</sup>.

Scenariot för permanent jordbruksmark antar att arealen fortsätter att minska i enlighet med scenariot som togs fram för jordbrukssektorn<sup>2022</sup> vilket innebär en minskning med drygt 20% till 2050 jämfört med dagens areal<sup>28</sup>. Det innebär att jordbruksmarksarealen antas minska snabbare kommande 30-årsperiod än tidigare 30-årsperiod.

Utsläppen i scenariot för jordbruksmark utgår från att nettoutsläppet per hektar är detsamma som idag och det genomsnittliga nettoutsläppet 2013–2022 per hektar används därför tillsammans med den minskande arealen för att uppskatta nettoutsläppen för kommande 30-årsperiod. Som ett komplement har två känslighetsanalyser beräknats där högsta och lägsta värdena för inlagring i mineraljordar åren 2013–2022 använts. Inlagringen i mineraljord beror på tillförseln av organiskt material (skörderester och stallgödsel) och på nedbrytningen av detta som i sin tur beror på klimatet. Ett torrt och varmt år går nedbrytningen snabbare än om det är kallt och fuktigt. Hög skörd i kombination med långsam nedbrytning året efter ger alltså en högre inlagring än om skörden är låg och nedbrytningen hög.

För mark som konverterats till jordbruksmark antas den årliga omvandlingen av mark ligga kvar på samma nivå som de senaste 10 åren. Därför har scenariot för dessa kategorier beräknats som genomsnittet av de senaste 10 årens rapportering (2013–2022). Högsta och lägsta värdena för nettoupptag och nettoutsläpp åren 2013–2022 har använts för att illustrera ett spann för utfallet eftersom avräkningen sker mot ett år (2030) och resultatet för ett enskilt år kan variera.

---

<sup>26</sup> Jordbruksmark definieras som all mark som används till växtodling och som regelmässigt plöjs. Till Jordbruksmark hänförs också mindre angränsande områden som kan omfatta trädvegetation.

<sup>27</sup> Naturvårdsverket 2023.

<sup>28</sup> Jonasson 2022. Modellberäkningar av EU:s gemensamma jordbrukspolitik, del 2. PM.

## 2.3. Betesmark

För betesmark<sup>29</sup> redovisas kolförrådsförändringar i biomassa, dött organiskt material och markkol samt avgång av metan från organogena marker. För grundläggande beskrivning av metodiken hänvisas till den årliga inventeringsrapporten<sup>30</sup>.

Scenariot för permanent betesmark antar att arealen permanent betesmark fortsätter att minska i enlighet med den trend som observerats för perioden 1990–2022 vilket innebär en minskning med 0,8% per år eller lite drygt 20% till 2050 jämfört med dagens areal.

Utsläppen i scenariot för betesmark utgår från att nettoutsläppet per hektar är detsamma framgent och det genomsnittliga nettoutsläppet 2013–2022 per hektar används därför tillsammans med den minskande arealen för att uppskatta nettoutsläppen för kommande 30-årsperiod.

För mark som konverterats till betesmark antas den årliga omvandlingen av mark ligga kvar på samma nivå som de senaste 10 åren. Därför har scenariot för dessa kategorier beräknats som genomsnittet av de senaste 10 årens rapportering (2013–2022).

Som ett tillägg har högsta och lägsta värdena för nettoupptag och nettoutsläpp åren 2013–2022 använts för att illustrera ett spann för utfallet eftersom avräkningen sker mot ett år (2030) och resultatet för ett enskilt år kan variera.

## 2.4. Våtmark (torvproduktionsmark)

För våtmark<sup>31</sup> redovisas kolförrådsförändringar och utsläpp av lustgas och metan för mark som används för torvproduktion och avgång av koldioxid från odlingstorv. För grundläggande beskrivning av metodiken hänvisas till den årliga inventeringsrapporten<sup>32</sup>. Våtmark anses obrukad utom de områden som används till torvbrytning eller dammanläggningar.

Scenariot för torvproduktionsmark antar att arealen torvproduktionsmark är lika stor som genomsnittet för de senaste 10 årens rapportering (2013–2022) och att produktionen av odlingstorv ligger kvar på samma nivå som idag. Utsläppen från

---

<sup>29</sup> Till betesmark räknas mark som väsentligen används till bete och som inte plöjs regelmässigt. Ägoslaget kännetecknas ofta av tuvor, sten, viss buskvegetation eller hög markfuktighet. Dessa marker är dessutom vanligtvis sämre belägna i förhållande till bebyggelse än Jordbruksmark. Detta motsvarar ägoslaget Naturbete i Riksskogstaxeringen.

<sup>30</sup> Naturvårdsverket 2023.

<sup>31</sup> Våtmark inkluderar land som regelbundet är täckt eller mättad med vatten, åtminstone under en del av året. Inkluderar sjöar, sumpmarker, vattendrag (>2 m bredd), dammar och myrar som inte klassas som skog. Detta motsvarar ägoslagen Myr och Sötvatten i Riksskogstaxeringen.

<sup>32</sup> Naturvårdsverket 2023.

torvproduktionsmark antas alltså vara detsamma framgent och det genomsnittliga nettoutsläppet 2013–2022 används för kommande 30-årsperiod.

Produktionen av odlingstorv antas ligga kvar på samma nivå som idag (2022). Det innebär att mängden torv som finns i användning kontinuerligt ökar eftersom endast en liten del (3 %) oxideras (bryts ner) varje år och genererar koldioxidutsläpp. Därför kommer också avgången av koldioxid från odlingstorv öka över den beräknade perioden för scenariot.

Som ett tillägg har högsta och lägsta värdena för utsläpp från torvproduktionsmark åren 2013–2022 använts för att illustrera ett spann för utfallet eftersom avräkningen sker mot ett år (2030) och resultatet för ett enskilt år kan variera. Höga och låga utsläpp avser variation i produktionsareal där en större areal helt enkelt medför större utsläpp och vice versa.

## 2.5. Bebyggd mark

För bebyggd mark<sup>33</sup> redovisas kolförrådsförändringar i biomassa, dött organiskt material och markkol. För grundläggande beskrivning av metodiken hänvisas till den årliga inventeringsrapporten.

Permanent bebyggd mark och mark som konverterats till bebyggd mark antas ha samma nettoutsläpp på samma nivå som de senaste 10 åren. Därför har scenariot för dessa kategorier beräknats som genomsnittet av de senaste 10 årens rapportering (2013–2022).

Som ett tillägg har högsta och lägsta värdena för nettoupptag och nettoutsläpp åren 2013–2022 använts för att illustrera ett spann för utfallet eftersom avräkningen sker mot ett år (2030) och resultatet för ett enskilt år kan variera. Variationen beror framförallt på hur stora arealer som förflyttas mellan olika redovisningskategorier snarare än att det är variationer i koluttag på bebyggd mark.

## 2.6. Övrig mark

För övrig mark<sup>34</sup> redovisas kolförrådsförändringar i biomassa, dött organiskt material och markkol. För grundläggande beskrivning av metodiken hänvisas till den årliga inventeringsrapporten.

---

<sup>33</sup> Bebyggd mark omfattar alla typer av bebyggelse såsom hus och tomter, bostadsområden och städer, vägar, järnvägar, idrottsanläggningar, kraftledningar i skog (kraftledningar som korsar annan mark hänförs till den aktuella markkategorin), flygfält, hamnområden och industriområden. All Bebyggd mark anses brukad. Träd kan förekomma på bebyggd mark

<sup>34</sup> Övrig mark omfattar all mark som inte inkluderas under något av de övriga markanvändningsslagen och består främst av de nationella ägoslagen Berg och vissa andra impediment, Fjäll och Annat klimatimpediment, i RT. Här hamnar också delar av ägoslag som inte passar in någon annanstans.

Mark som är permanent övrig mark redovisas inte eftersom denna mark anses vara obrukad och dessutom är nettoutsläpp eller nettoupptag sannolikt mycket små om de ens existerar.

För mark som konverterats till övrig mark antas den årliga omvandlingen av mark ligga kvar på samma nivå som de senaste 10 åren. Därför har scenariot för dessa kategorier beräknats som genomsnittet av de senaste 10 årens rapportering (2013–2022).

Som ett tillägg har högsta och lägsta värdena för nettoupptag och nettoutsläpp åren 2013–2022 använts för att illustrera ett spann för utfallet eftersom avräkningen sker mot ett år (2030) och resultatet för ett enskilt år kan variera.

## 2.7. Träprodukter

För redovisningskategorin träprodukter redovisas nettoförändring i kolpoolerna sågade trävaror, träbaserade skivor och papper/pappersprodukter.

Kolinlagringen i träprodukter (benämns internationellt HWP, harvested wood products) allokerar utsläppen när de sker i tid på ett mer korrekt sätt än att anta att koldioxid avges direkt vid avverkning. Det gör att träprodukter långsiktigt kan utgöra en kolsänka om avverkningen och mängden som används till långlivade produkter (t.ex. sågade trävaror) ökar. Förrådets utveckling avgörs av hur mycket nya produkter av olika slag som produceras i förhållande till hur mycket som kasseras och koldioxiden så småningom åter hamnar i atmosfären när produkterna bryts ner eller bränns upp. Om det finns mycket produkter i samhället av något slag och produktionen minskar eller upphör helt kommer denna kategori kunna utgöra en källa när mer produkter kasseras än vad som produceras. För att träprodukter ska utgöra en stabil sänka måste alltså produktionen kontinuerligt öka eller den tid som produkterna används bli längre.

Träprodukter definieras som all biomassa som tas tillvara vid avverkning och beräknas i scenarierna baserat på den avverkning som genereras av Heurekamodellen för de olika scenarierna för skogsmark.

## 3. Resultat och diskussion

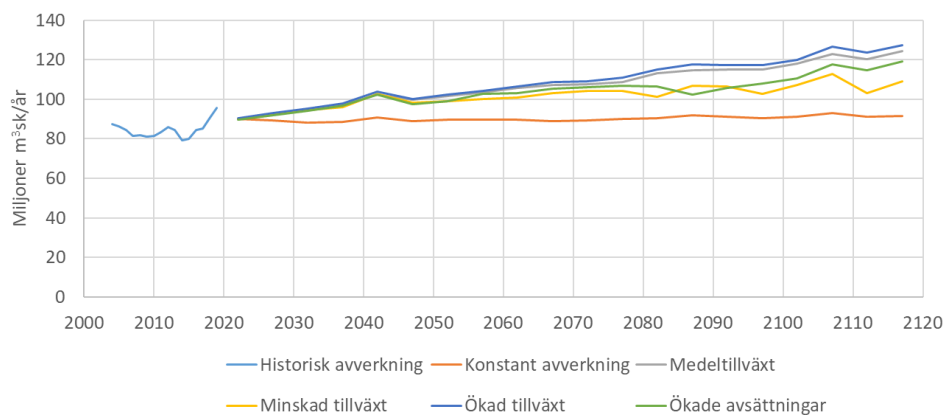
### 3.1. Skogsmark

#### 3.1.1. Avverkning och naturlig avgång

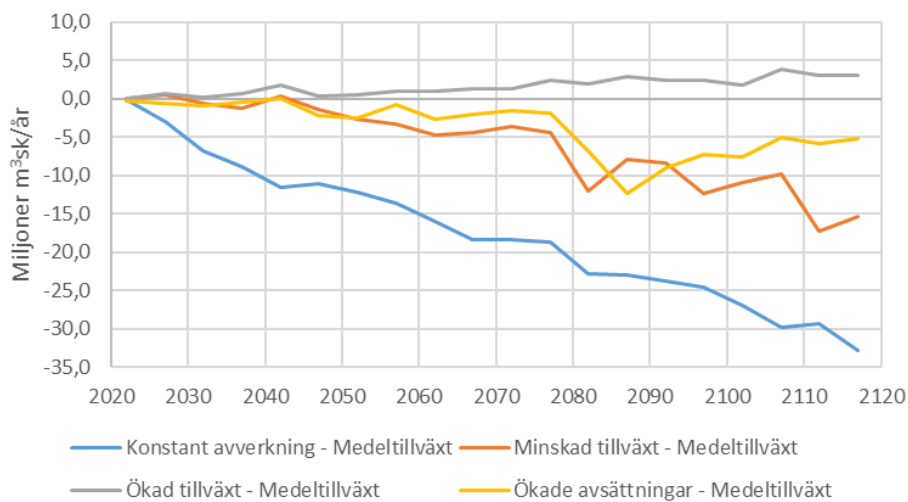
Avverkad volym avser levande träd och tillvaratagna döda träd på all skogsmark. Under första femårsperioden (mittår 2022) var avverkad volym ca 90 M m<sup>3</sup>sk<sup>35</sup> per år för samtliga scenarier. För scenariot *Medeltillväxt* ökade avverkningen till 95 M m<sup>3</sup>sk per år under tredje framskrivningsperioden (mittår 2032) och fortsatte därefter öka till totalt 124 M m<sup>3</sup>sk per år, en ökningstakt på ca 0,35 M m<sup>3</sup>sk per år (Figur 5). Avverkningen i de övriga scenarierna förutom *Konstant avverkning* sattes till samma nivå som *Medeltillväxt* under hela framskrivningsperioden. Så blev också fallet fram till ungefär 30–40 års framskrivningar då avverkad volym i *Minskad tillväxt* och *Ökade avsättningar* började avvika nedåt från avverkningen i scenariot *Medeltillväxt*. I scenariot *Minskad tillväxt* räckte inte tillväxten till för att upprätthålla tillgången på avverkningsbar skog och med *Ökade avsättningar* kunde visserligen andra arealer än de avsatta avverkas under de första decennierna för att kompensera bortfallet men på längre sikt räckte de ej avsatta arealerna inte till för att nå önskad avverkningsnivå (Figur 5 och 6).

---

<sup>35</sup> M<sup>3</sup>sk (skogskubikmeter) är hela trädets volym ovanför stubbe, inklusive bark och topp. Grenarna räknas inte med.



Figur 5. Simulerade avverkade volymer på skogsmark per scenario inkl. tillvaratagande av naturlig avgång, samt historisk avverkning enligt Riksskogstaxeringen.



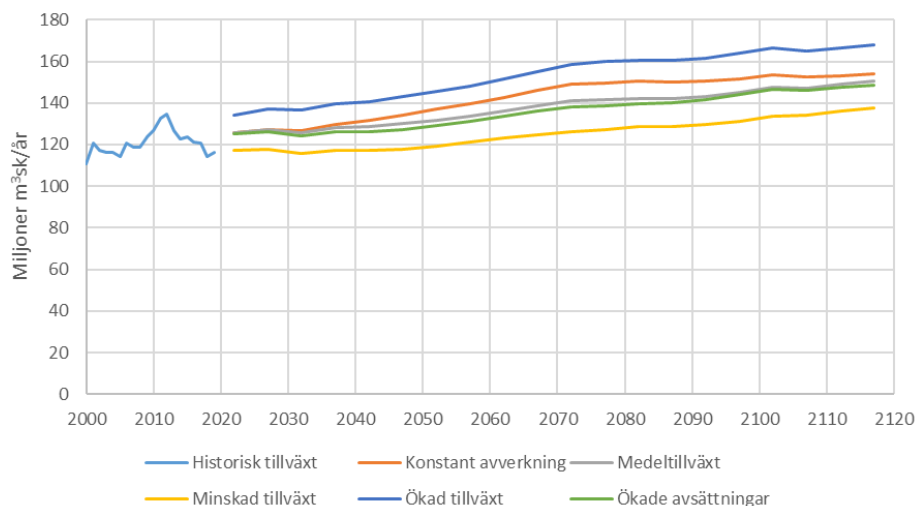
Figur 6. Simulerad skillnad i avverkning mellan respektive scenario och scenario Medeltillväxt.

### 3.1.2. Tillväxt

Eftersom tillväxten justerades upp i *Ökad tillväxt* och ner i *Minskad tillväxt* jämfört med normalnivån i *Medeltillväxt* låg tillväxten på olika nivåer för de olika scenarierna redan från simuleringarnas början (Figur 7).

För scenario *Medeltillväxt* var den årligt simulerade tillväxten inledningsvis i nivå med de senaste 20 årens faktiska medeltillväxt, dvs. ca 122 M m<sup>3</sup>sk per år, och var därefter oförändrad framemot 2045 då den började öka i takt med att biomassaförrådet ökar. För scenario *Minskad tillväxt* var den årliga tillväxten i inledningen ca 8 M m<sup>3</sup>sk lägre än för scenarierna *Medeltillväxt* och för *Ökad tillväxt* var den ca 8 M m<sup>3</sup>sk högre (Figur 7).





Figur 7. Simulerad årlig tillväxt enligt de olika scenarierna samt historisk tillväxt enligt Riksskogstaxeringen.

I *Ökad tillväxt* ökade den simulerade tillväxten snabbare än enligt scenarierna *Medeltillväxt* och *Minskad tillväxt*, sannolikt en effekt av en snabbare förrådsökning. Efter ett antal decennier var tillväxten ca 20 M m<sup>3</sup>sk per år högre än enligt scenario *Medeltillväxt*. Eftersom avverkningsnivån var lika ökade virkesförrådet snabbare med scenario *Ökad tillväxt* jämfört med *Minskad tillväxt* och *Medeltillväxt*, och ett högre virkesförråd ger en högre tillväxt. Förrådseffekten förklarar också den snabbt ökande tillväxten i scenario *Konstant avverkning*, men i det fallet var orsaken bakom det högre virkesförrådet den lägre avverkningen. Efter första femårsperioden låg tillväxten för scenario *Ökade avsättningar* 2–3 M m<sup>3</sup>sk lägre jämfört med scenario *Medeltillväxt*. Sannolikt på grund av att de skogar som sattes av och därmed inte avverkades var äldre skogar med låg tillväxt samtidigt som andra mer växtliga skogar avverkades istället.

### 3.1.3. Simulerat nettoupptag i levande biomassa

Skillnaderna i nettoupptag mellan scenarierna med olika tillväxtnivåer (*Medeltillväxt*, *Ökad* respektive *Minskad tillväxt*) följde samma mönster som tillväxten. Givet samma avgång ger en högre tillväxt ett högre nettoupptag i motsvarande grad, och vice versa (Figur 8).

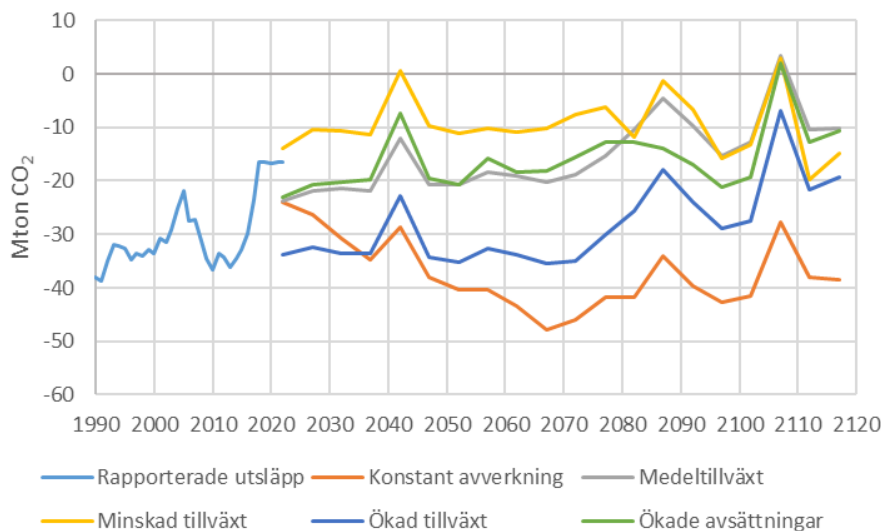
Nettoupptaget för kolpoolen levande biomassa för träd varierade mellan 14 M ton (scenario *Minskad tillväxt*) och 34 M ton CO<sub>2</sub> per år (scenario *Ökad tillväxt*) under den första femårsperioden. Skillnaden mellan *Minskad tillväxt* och *Ökad tillväxt* var alltså 20 M ton CO<sub>2</sub>. Skillnaden i tillväxt var ungefär 16 M m<sup>3</sup>sk vilket motsvarar ca 21 M ton CO<sub>2</sub><sup>36</sup>. Det årliga upptaget för scenario *Medeltillväxt* varierade mellan

<sup>36</sup> Förhållandet mellan 1 m<sup>3</sup>sk (volym stamved) och vad hela trädets vikt motsvarar i ton CO<sub>2</sub> är ungefär 1.35 ton CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>sk

22 och 24 M ton CO<sub>2</sub> per år under de första 15 åren. Den plötsliga förändringen strax efter 2040 beror på en av modellen simulerad större storm som slumpmässigt hamnat vid denna tidpunkt.

De ökade avsättningarna gav liten effekt så länge som den begärda avverkningsnivån kunde upprätthållas. Den lägre tillväxten resulterade i ett något lägre nettoupptag (Figur 7, 8). Inte förrän efter 50 års framskrivningar minskade avverkningen nämnvärt i scenario *Ökade avsättningar* jämfört med *Medeltillväxt*.

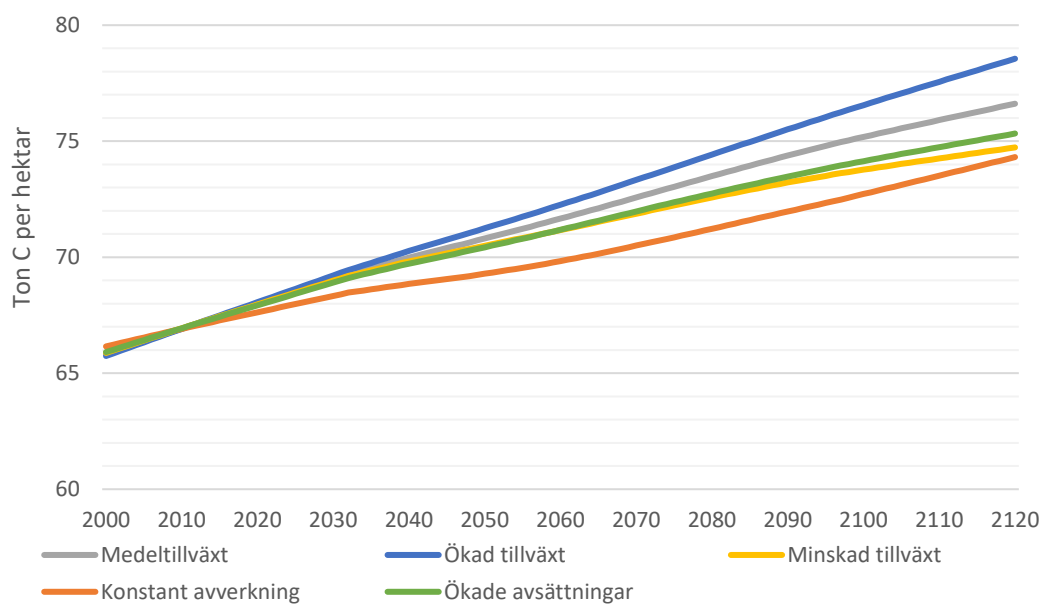
Nettoupptaget för scenario *Konstant avverkning* ökade snabbt eftersom avverkningen var betydligt lägre än tillväxten. Redan vid 2030 var nettoinlagringen nästan 10 M ton CO<sub>2</sub> per år större jämfört med scenario *Medeltillväxt*. År 2032 var avverkningen 7 miljoner m<sup>3</sup>sk lägre per år och tillväxten nästan 1 miljon m<sup>3</sup>sk högre per år (på grund av ett ökande förråd) jämfört med *Medeltillväxt* (Figur 8).



Figur 8. Simulerat nettoupptag för kolpoolen levande biomassa (träd) på skogsmark per scenario samt rapporterat historiskt nettoupptag enligt Sveriges klimatrapportering till FN (minus avser ett nettoupptag).

### 3.1.4. Markkol

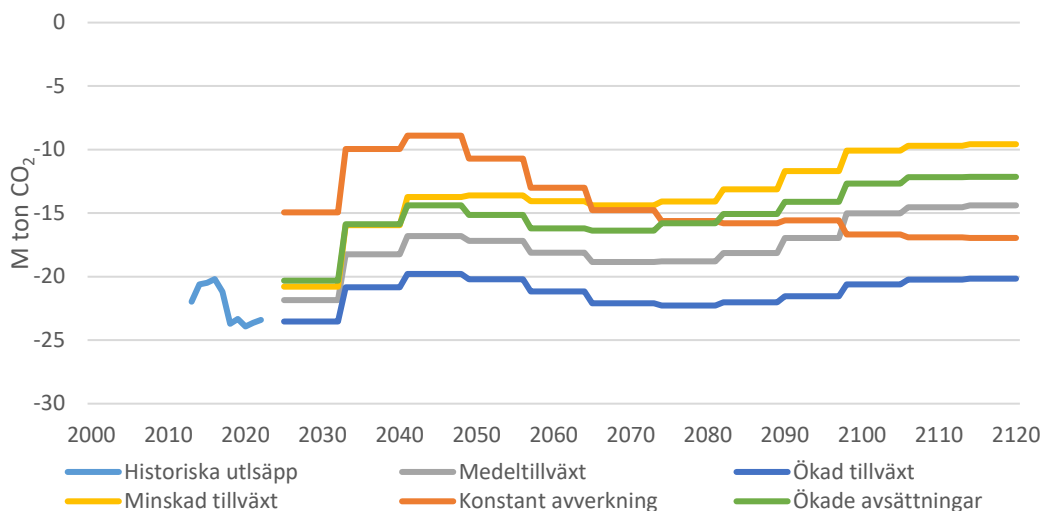
Samtliga simulerade scenarier resulterar i en uppbyggnad av markkolsförrådet (Figur 9). För scenariot *Medeltillväxt* hamnar förrådet på 68,5 ton C (251 ton CO<sub>2</sub>) per hektar 2025 och slutar på 76,6 ton C (281 ton CO<sub>2</sub>) per hektar 2120, vilket motsvarar en ökning på 8,1 ton C (30 ton CO<sub>2</sub>) och 0,09 ton C (0,3 ton CO<sub>2</sub>) per hektar och år (2025–2120). Den årliga ökningen motsvarar 1,2 promille av förrådet. Scenariot *Ökad tillväxt* ökade mest (10,0 ton C (37 ton CO<sub>2</sub>) per hektar), *Konstant avverkning* och *Minskad tillväxt* minst med (6,3 ton C (23 ton CO<sub>2</sub>) per hektar). Scenariot *Ökade avsättningar* ökade med 6,9 ton C (25 ton CO<sub>2</sub>) per hektar. Orsaken varför scenario *Ökad tillväxt* ökar mest beror främst på en ökad produktion av förna till marken jämfört med scenarierna *Medeltillväxt* och *Minskad tillväxt*. Att scenariot *Ökade avsättningar* minskar mindre än *Minskad tillväxt* beror på att avverkningen (som var satt lika relativt tillväxten) inte nåddes helt.



Figur 9. Simulerat markkolsförråd på skogsmark för de olika scenarierna. Observera att y-skalan börjar vid 60 ton C per hektar.

Inlagringen av kol i marken varierar desto mer mellan scenarierna (Figur 10). *Ökad tillväxt* är det scenario som resulterar i högsta simulerade inlagring av kol i marken, motsvarande ett nettoupptag på mellan -20 och -23,5 M ton CO<sub>2</sub> per år. Därefter följer scenariot *Medeltillväxt*. Scenariot *Konstant avverkning* har den lägsta inlagringen motsvarande ett nettoupptag på mellan -15 och -8 M ton CO<sub>2</sub> per år under perioden 2025–2065, men därefter inlagringen för att i slutet vara det scenario som efter scenario *Ökad tillväxt* lagrar in mest kol årligen. Simulera kolinlagring i marken är i början liknande för scenarierna *Minskad tillväxt* och *Ökade avsättningar*. Båda visar ett nettoupptag på motsvarande -20 M ton CO<sub>2</sub> per år vid simuleringens start 2025. Runt 2040 avviker dessa då *Minskad tillväxt* fortsätter lagra in kol på samma nivå fram till 2120, medan scenariot med *Ökade avsättningar* börjar lagra in mer.

Spannet på upptaget mellan scenarierna varierar mellan 8 och 11 M ton CO<sub>2</sub> per år mellan 2025 och 2120.



Figur 10. Simulerat nettoupptag (inlagring av kol) i mineraljord för skogsmark.

Det GROT<sup>37</sup>-uttag som använts i scenarierna utgår från det aktuella uttaget (2016–2020). Enligt SKA-22<sup>38</sup> finns potential till ett större uttag, men en eventuell effekt av ett varierat GROT-uttag har inte studerats i scenarierna. Det är dock inte omöjligt att GROT-uttaget kommer att öka vilket leder till att det tillförs mindre organiskt material till marken<sup>39</sup>. Tidigare studier har visat att ett ökat GROT-uttag initialt leder till minskat inlagring av kol i marken, effekten på inlagringen klingar dock av över tid<sup>40</sup>.

Simuleringarna av markens utsläpp av CO<sub>2</sub> (förlust av kol genom nedbrytning) är gjorda med en version av Q-modellen som inte tar hänsyn till mellanårsvariationer av variabeln temperatur. Temperatur ingår indirekt genom en funktion som beskriver temperatur utifrån latitud och altitud<sup>41</sup> på de permanenta provytorna. Denna funktion är baserad på normalårstemperaturer mellan 1960 och 1990. SMHI har tagit fram nya årsmedelvärden baserat på senare perioder som bättre beskriver den aktuella temperaturen, då temperaturerna skiljer sig tydligt mellan olika normalperioder<sup>42</sup>. En lägre temperatur påverkar simuleringarna genom att nedbrytningen går långsammare vilket leder till en underskattning av utsläppen från marken. Detta kan förklara en del av skillnaden mellan simulerad och uppmätt förändring och kompenseras sannolikt av den efterkalibrering som gjorts (se avsnitt 2.1.3). Temperaturen i simuleringarna är inte justerad för klimatförändringar, vilket ytterligare kan påverka resultaten i framförallt scenariot *Ökad tillväxt*, då det scenariot skulle kunna illustrera ett utfall då skogen växer bättre pga. klimatförändringar. Det är kombinationen av ökat inflöde av färsk förna och hur

<sup>37</sup> GROT, grenar och toppar som lämnas vid avverkning.

<sup>38</sup> Skogsstyrelsen, 2022.

<sup>39</sup> Skogsstyrelsen, 2022.

<sup>40</sup> Ortiz et al., 2014.

<sup>41</sup> Göran I. Ågren and Riitta Hyvönen. 2003.

<sup>42</sup> Erik Kjellström, Felicitas Hansen and Danijel Belušić. 2021.

nedbrytningen påverkas av det nya klimatet som påverkar om inlagringen av kol ökar eller minskar och gör att det är svårt att uttala sig om inlagringen kommer att minska eller öka med ökad temperatur. Enligt Hyvönen et al.<sup>43</sup> skattades en temperaturgradient på 5–9 kg kol per kvadratmeter vid en temperaturökning mellan 0 och 7 °C, i tre olika typer av skog (örtdominerad, lavdominerad och risdominerad skog). Detta skulle kunna motsvara effekten av ökad temperatur och detta skulle kunna jämföras med en ökning mellan 0,5 och 0,8 M ton CO<sub>2</sub> för hela landet.

Det är inte självklart hur nedbrytningen i lövskog skiljer sig från den i barrskog<sup>44</sup>. Resultaten kan visa på en överskattad eller underskattad inlagring. Dock består den svenska skogen av mestadels av barrskog (80% av virkesförrådet)<sup>45</sup>, och därför bör inte denna underskattning påverka slutsatserna från simuleringarna.

I markkolssimuleringarna har inga modellosäkerheter inkluderats. Markkolsmodeller (Q-modellen, Yasso mfl.) har visat sig simulera resultat av förråd och förändringar med osäkerheter i samma magnituder som Markinventeringen och där förnaperproduktionen visats vara en av de osäkerheter som påverkar resultatet mest<sup>46</sup>. I detta uppdrag har vi varierat tillväxten främst och avverkning (i scenariot *Konstant avverkning*), vilket kan belysa hur liten påverkan varierad tillväxt och därmed även förnaperproduktionen och avverkningsrester in till marken. Variationen i scenarierna är mycket liten (0,1 ton C per hektar och år, motsvarar 8–11 M ton CO<sub>2</sub>) jämfört med tidigare studier där variationen i förnaperproduktionen resulterat i en variation på ca 10 ton C per hektar. Nettoupptaget historiskt och i början på simuleringarna på ca -20 M ton CO<sub>2</sub> är relativt den totala poolen mycket små och motsvarar ca 0,12% av den totala poolen (20 M ton CO<sub>2</sub> motsvarar 0,086 ton C per hektar och år och jämförs med totala förrådet på 69 ton C per hektar för scenariot *Medeltillväxt*).

Sammanfattningsvis är inlagringen av kol i marken och dess variation mellan scenarierna små både ur ett osäkerhetsperspektiv och ur ett förrådsperspektiv. Men då poolen är så pass stor kan små faktiska förändringar eller modellfel leda till stor variation för simulerade förändringar.

### 3.1.5. Nettoupptag för skogsmark

Det totala nettoupptaget för skogsmark (alla kolpooler och övriga utsläpp) har minskat på senare år och är idag lägre än genomsnittet för basperioden 2016–2018 (Figur 11). Om träprodukter inkluderas har nettoupptaget minskat med drygt 4 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år till 2022 jämfört med genomsnittet för basperioden 2016–2018.

---

<sup>43</sup> Hyvönen et al., 2002.

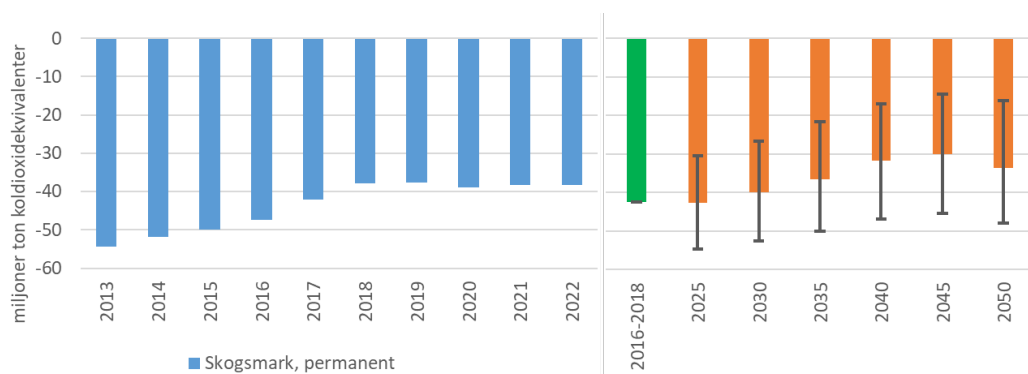
<sup>44</sup> Mäkipää et al. 2022.

<sup>45</sup> Skogsdata, 2023.

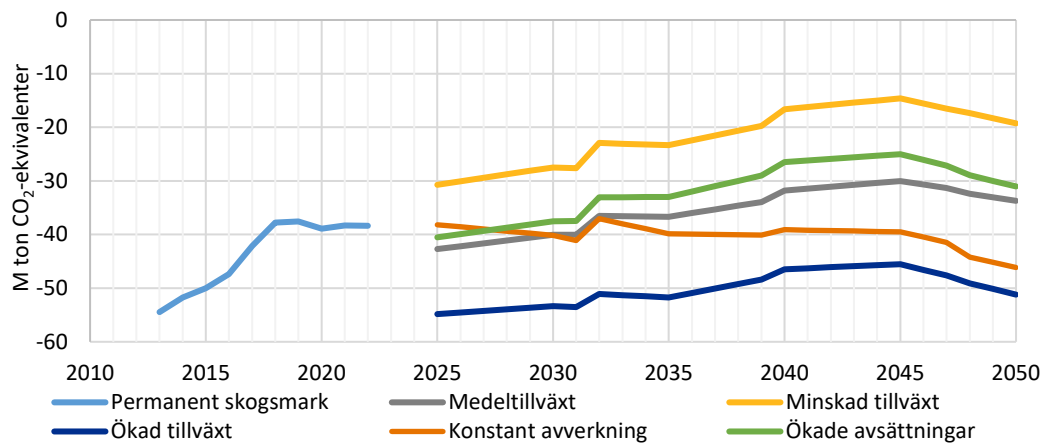
<sup>46</sup> Ortiz et al., 2013.

Givet de scenarier som beskrivits ovan för permanent skogsmark kommer nettoupptaget kunna fortsätta minska de närmsta årtiondena. Nettoupptaget för scenariot med *Medeltillväxt* var 2,42 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre 2030 än för basperioden. Simuleringarna är dock behäftade med osäkerheter och slutsatser om framtida nettoupptag bör dras med stor försiktighet. Fokus bör ligga på skillnaderna mellan scenarierna. Med den variation som scenarierna *Minskad* respektive *Ökad tillväxt* innebär kan skillnaden jämfört med basperioden bli mycket stor och antingen utgöra ett minskat nettoupptag med 15 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år eller ett ökat nettoupptag med 10,9 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år till 2030. För tillfället är trenden nedåtgående och rapporterat nettoupptag ligger nu i närheten av den lägre nivån på det simulerade nettoupptaget

För alla scenarier utom för *Ökad tillväxt* är nettoupptaget lägre än för basperioden under lång tid men mot slutet av århundradet är det scenariot *Konstant avverkning* som har högre nettoupptag än för basperioden (Figur 12). Det är framförallt utvecklingen av kolpoolen Levande biomassa som bidrar till skillnaden mellan de olika scenarierna. Scenariot *Konstant avverkning* ger mot slutet av seklet en betydligt högre nettoinlagring i Levande biomassa än övriga scenarier. Samtidigt resulterar detta scenario i en betydligt lägre leverans av skogsråvara till samhället motsvarande 25 M m<sup>3</sup>sk per år mindre än för scenariot *Medeltillväxt* med avverkningsutveckling enligt Skogsstyrelsens bedömning.



Figur 11. Nettoupptag för skogsmark. Blå staplar är redovisade nettoupptag 2013–2022 enligt Sveriges rapportering till FN, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orangea staplar avser scenariot *Medeltillväxt*. Felstaplar illustrerar möjligt spann för utfallet med ökad respektive minskad tillväxt.



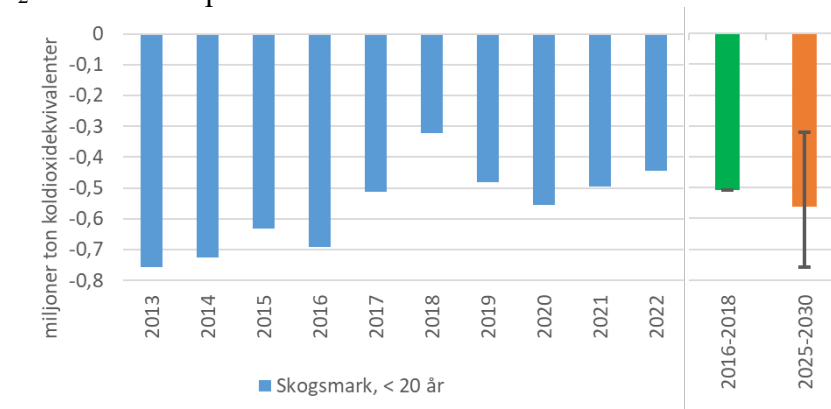
Figur 12. Nettoupptag för alla scenarier på permanent skogsmark.

Tabell 3. Nettoupptag för permanent skogsmark och träprodukter för de olika skogliga scenarierna uppdelat i kolpooler och övriga utsläpp för basperioden 2016–2018, 2030, 2045 och 2100.

M ton CO <sub>2</sub> -ekv	Medel 2016– 2018	2030					2045					2100				
		Medel- tillväxt	Minskad tillväxt	Ökad tillväxt	Konstant avv	Ökade avs	Medel- tillväxt	Minskad tillväxt	Ökad tillväxt	Konstant avv	Ökade avs	Medel- tillväxt	Minskad tillväxt	Ökad tillväxt	Konstant avv	Ökade avs
Levande biomassa	-23,3	-21,7	-10,4	-33,1	-28,5	-20,5	-20,8	-10,4	-34,8	-39,2	-20,1	-14,1	-14,5	-28,2	-42,1	-20,2
Död ved Markkol/Förna/ Stubbar	-3,5	-2,5	-2,3	-2,8	-2,7	-2,7	-1,8	-1,3	-2,2	-2,3	-1,8	-1,7	-1,5	-2,5	-3,7	-2,0
Organogen mark	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Övrigt	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
<b>Summa</b>	<b>-42,4</b>	<b>-40,0</b>	<b>-27,5</b>	<b>-53,4</b>	<b>-40,2</b>	<b>-37,5</b>	<b>-33,7</b>	<b>-19,3</b>	<b>-51,2</b>	<b>-46,2</b>	<b>-31,1</b>	<b>-24,8</b>	<b>-20,0</b>	<b>-45,3</b>	<b>-56,4</b>	<b>-28,9</b>
Träprodukter	-7,3	-6,8	-6,7	-6,9	-5,4	-6,7	-5,2	-4,4	-5,5	-3,0	-4,8	-3,5	-1,3	-4,3	-1,3	-2,7
Skogsmark+ träprodukter	-49,7	-46,8	-34,2	-60,3	-45,6	-44,3	-38,9	-23,7	-56,7	-49,2	-35,8	-28,4	-21,3	-49,5	-57,6	-31,6
<b>Skillnad mot 2016–2018</b>		<b>2,9</b>	<b>15,5</b>	<b>-10,5</b>	<b>4,1</b>	<b>5,4</b>	<b>10,8</b>	<b>26,0</b>	<b>-7,0</b>	<b>0,5</b>	<b>13,9</b>	<b>21,3</b>	<b>28,4</b>	<b>0,2</b>	<b>-7,9</b>	<b>18,1</b>



Mark som konverteras till skogsmark (beskogning) varierar en del över tid vilket till stor del beror på att mark förs från denna kategori till permanent skogsmark efter 20 år (Figur 13). Mark som konverteras till skogsmark står för ett nettoupptag som varierar mycket mellan år. Genomsnittet för senaste 10-årsperioden (0,56 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) är något högre än genomsnittet för basperioden 2016–2018 (0,51 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) men variationen i utfall är stort och kategorin skulle kunna bidra med ett minskat nettoupptag på närmare 0,2 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år.

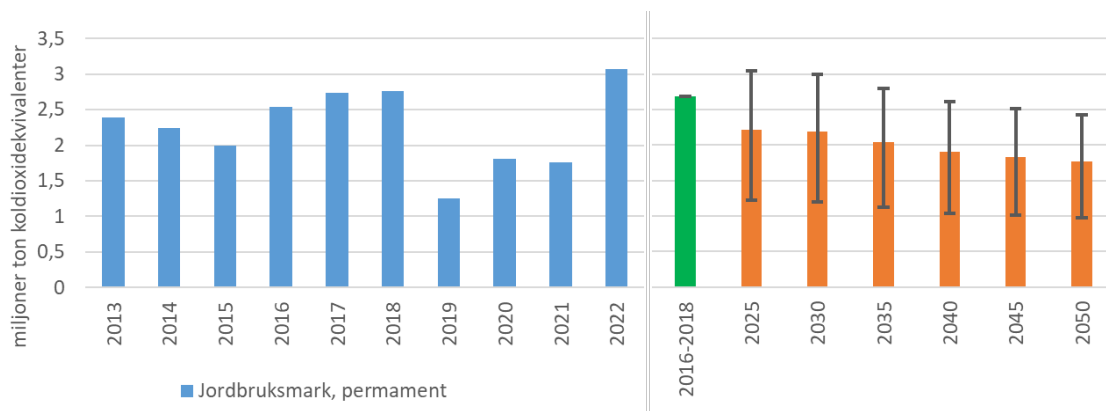


Figur 13. Nettoupptag för mark som konverterats till skogsmark. Blå staplar är redovisade nettoupptag 2013–2022 enligt Sveriges rapportering till FN, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstapel som illustrerar möjligt spann för utfallet.

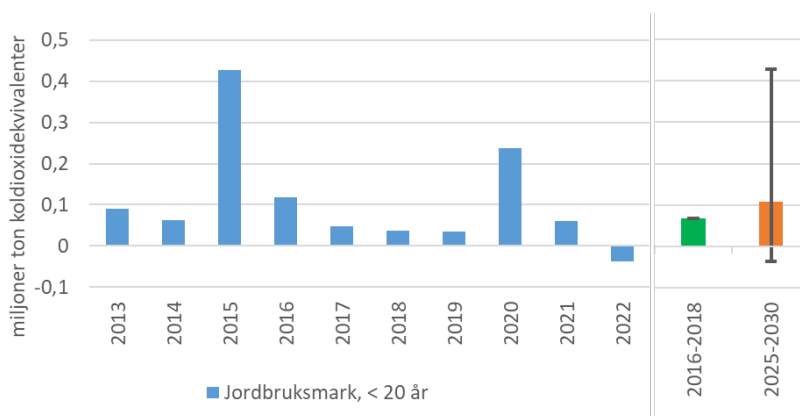
### 3.2. Jordbruksmark

Jordbruksmark (alla kolpooler och övriga utsläpp) står för ett nettoutsläpp som för basperioden 2016–2018 var 2,7 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Variationen mellan år beror på kolförrådsförändringar i mineraljord och avgörs av skördarnas storlek (tillförsel av kol till marken) och väderförutsättningar (avgör nedbrytningen av kol i marken). Eftersom arealen bedöms minska kommer också nettoupptaget för denna kategori att minska. Dessutom var genomsnittet för basperioden 2016–2018 relativt högt jämfört med genomsnittet för den senaste 10-årsperioden. Eftersom arealen bedöms minska kommer också nettoutsläppet för denna kategori att minska, till 2030 kan minskningen bidra med ett minskat nettoutsläpp på närmare 0,5 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Men mellanårsvariationerna är stora och resultatet kan även bli ett ökat nettoutsläpp (Figur 14).

Mark som konverteras till jordbruksmark står för ett nettoutsläpp som varierar mycket mellan år. Genomsnittet för senaste 10-årsperioden (0,11 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) är något högre än genomsnittet för basperioden 2016–2018 (0,07 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) men variationen i utfall är stort och kategorin skulle kunna bidra med ett ökat nettoutsläpp på närmare 0,4 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år (Figur 15).



Figur 14. Nettoutsläpp för permanent jordbruksmark. Blå staplar är redovisade nettoutsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.



Figur 15. Nettoupptag/utsläpp för mark som konverterats till jordbruksmark. Blå staplar är redovisade nettoupptag/utsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.

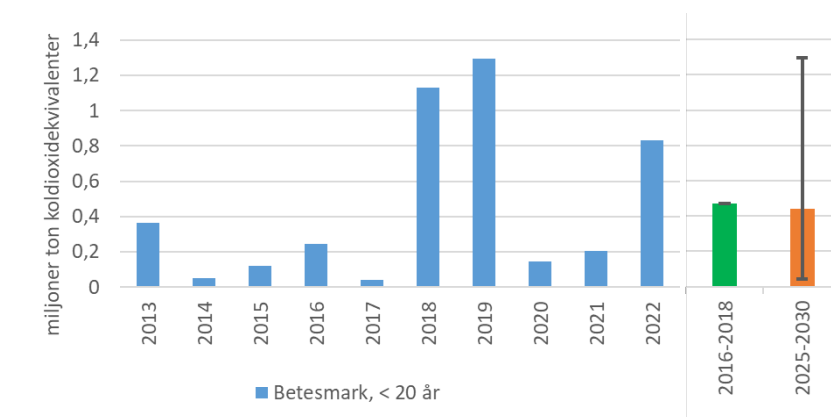
### 3.3. Betesmark

Betesmark (alla kolpooler och övriga utsläpp) står för ett relativt stabilt nettoupptag som för basperioden 2016–2018 var 0,54 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Eftersom arealen bedöms minska kommer också nettoupptaget för denna kategori att minska, till 2030 kan minskningen bidra med ett minskat nettoupptag på 0,05 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år (Figur 16).

Mark som konverteras till betesmark står för ett nettoutsläpp som varierar mycket mellan år. Till stor del beror det på att skogsmark konverteras till betesmark och biomassa försvinner. Genomsnittet för senaste 10-årsperioden (0,44 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) är något lägre än genomsnittet för basperioden 2016–2018 (0,47 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) men variationen i utfall är stort och kategorin skulle kunna bidra med ett ökat nettoutsläpp på närmare drygt 0,8 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år (Figur 17).



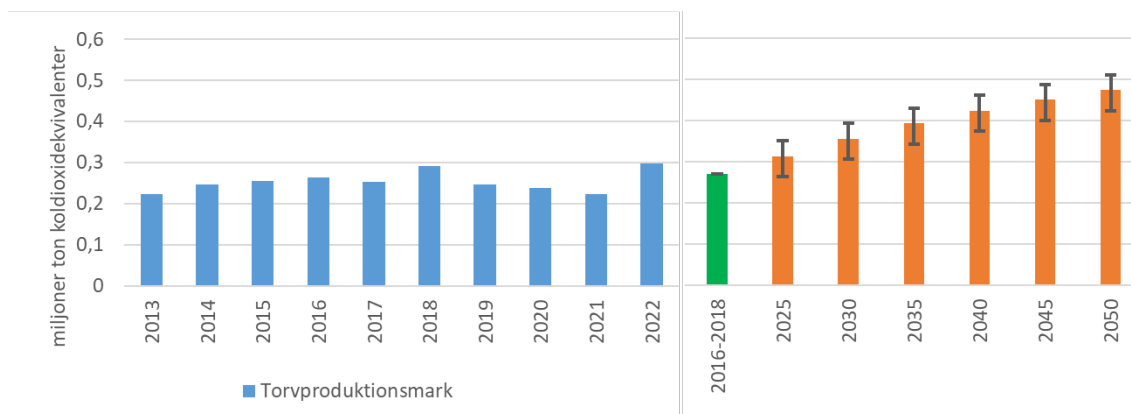
Figur 16. Nettoppdrag för permanent betesmark. Blå staplar är redovisade nettoppdrag 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.



Figur 17. Nettoutsläpp för mark som konverterats till skogsmark. Blå staplar är redovisade nettoutsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange stapel ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.

### 3.4. Våtmark

Under kategorin våtmark redovisas utsläpp från torvproduktion. Torvproduktionsmark (utsläpp från mark och odlingstorv) var ett nettoutsläpp på 0,27 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år basperioden 2016–2018. Utsläppen har legat ganska stabilt under många år men eftersom produktionen på senare år har gått från att vara koncentrerad på energitorv till odlingstorv så har utsläppen ökat från denna kategori. Eftersom vi antar att produktionen av odlingstorv ligger kvar på samma nivå kommer mängden torv som finns i användning öka och avge koldioxid, det är därför det sker en ökning över den redovisade perioden för scenariot. Denna kategori kommer därför kunna bidra med ett ökat utsläpp på 0,09 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år till 2030 under förutsättning att produktionen ligger kvar på samma nivå som idag (Figur 18).

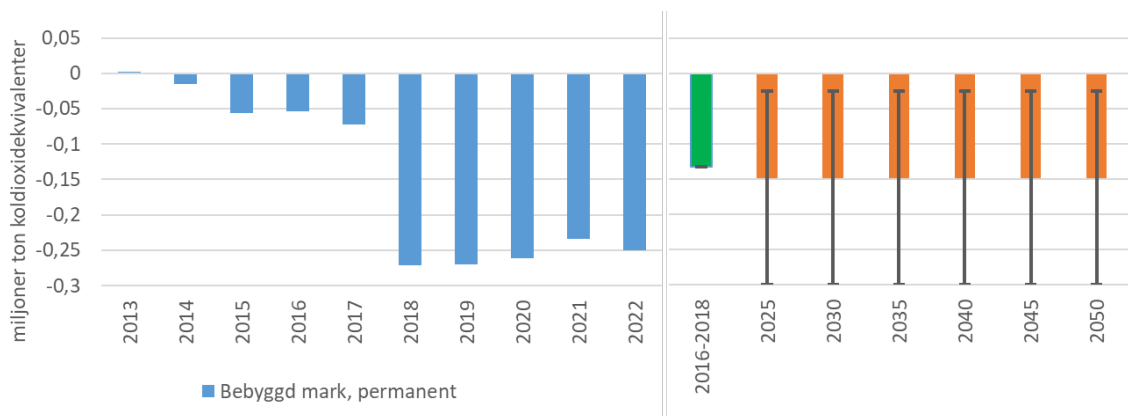


Figur 18. Nettoutsläpp för torvproduktionsmark. Blå staplar är redovisade utsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.

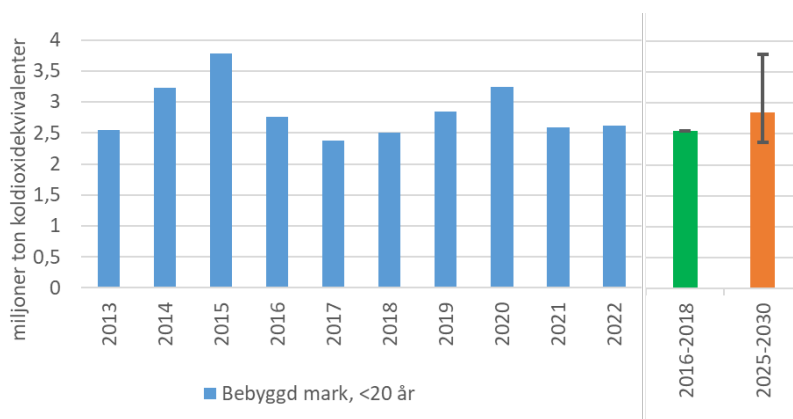
### 3.5. Bebyggd mark

För bebyggd mark ingår permanent mark och mark som konverterats till bebyggd mark. Permanent bebyggd mark (alla kolpooler och övriga utsläpp) utgjorde i genomsnitt 2016–2018 ett nettoupptag på 0,13 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Det är i sammanhanget väldigt lite men variationerna är relativt stora för senaste 10-årsperioden. Mark som tidigare konverterats kan utgöra relativt betydande sänkor och när dessa övergår i permanent mark efter 20 år kan nettoupptaget ändras mycket, det är det som händer 2018 (Figur 19).

Mark som konverterats till bebyggd mark bidrar däremot med ett större nettoutsläpp genom att förlust av kol sker från biomassa och mark när mark konverteras från framförallt från skogsmark men även från jordbruksmark och betesmark. Det genomsnittliga nettoutsläppet 2016–2018 för denna kategori var 2,55 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år och medelvärdet för perioden 2013–2022 något högre vilket innebär att kategorin bidrar med ett ökat nettoutsläpp som dessutom kan bli betydligt större (närmare 4 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år) om större arealer mark konverteras eller om den mark som konverteras håller stora mängder kol (framförallt mogen skog) (Figur 20).



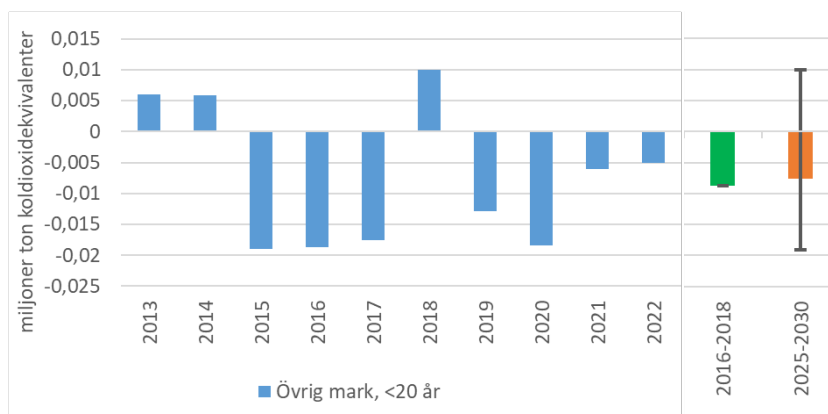
Figur 19. Nettoupptag för permanent bebyggd mark. Blå staplar är redovisade nettoupptag 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange staplar ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.



Figur 20. Nettoutsläpp för mark som konverterats till bebyggd mark. Blå staplar är redovisade nettoutsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange stapel ett scenario med felstaplar som illustrerar möjligt spann för utfallet.

### 3.6. Övrig mark

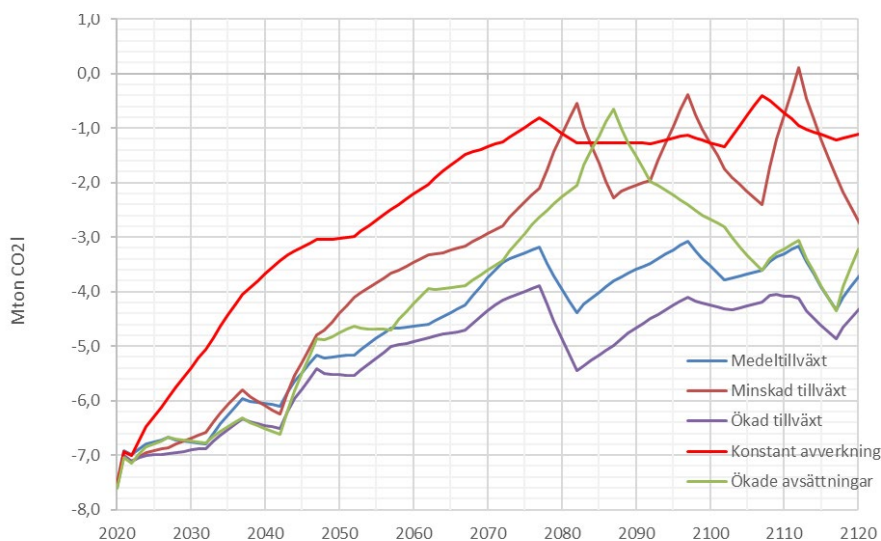
För övrig mark ingår bara mark som konverterats. Övrig mark som konverterats (alla kolpooler) utgjorde i genomsnitt 2016–2018 ett nettoupptag på 0,08 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Det är i sammanhanget väldigt lite och även om variationerna är relativt stora för senaste 10-årsperioden är övrig mark ingen kategori som kommer ha någon avgörande betydelse för Sveriges möjligheter att nå målen till 2030 (Figur 21).



Figur 21. Nettoupptag/utsläpp för mark som konverterats till övrig mark. Blå staplar är redovisade nettoupptag/utsläpp 2013–2022, grön stapel genomsnitt för basperioden 2016–2018 och orange stapel ett scenario med felstapel som illustrerar möjligt spann för utfallet.

### 3.7. Träprodukter

En minskad avverkning ger en högre nettoinlagring i levande biomassa men å andra sidan en lägre nettoinlagring i produkter, och vice versa. Träprodukter utgör ett nettoupptag för hela den simulerade perioden. Eftersom avverkningen ökar långsammare för alla scenarier jämfört med den avverkningsökning som varit senaste 20–30 årsperioden blir inlagringen något lägre i alla scenarier jämfört med dagens nivå och jämfört med basperioden 2016–2018. Därefter ökar avverkningen långsammare vilket gör att nettoinlagringen minskar och mot slutet av seklet är inlagringen ungefär hälften av dagens nivå (Tabell 3). Nettoinlagringen skiljer som väntat lite mellan scenarierna där avverkningen hölls på samma nivå. För scenario *Konstant avverkning* var skillnaden desto större, år 2032 var inlagringen 1,7 M ton CO<sub>2</sub> per år lägre jämfört med scenario *Medeltillväxt*. På längre sikt ökade skillnaderna för scenarierna *Minskad tillväxt* och *Ökade avsättningar* jämfört med *Medeltillväxt* eftersom avverkningen inte kunde bibehållas på samma nivå som i *Medeltillväxt* (Figur 22).



Figur 22. Nettoinlagring i kolpoolen skogsprodukter.

### 3.8. Totalt för LULUCF

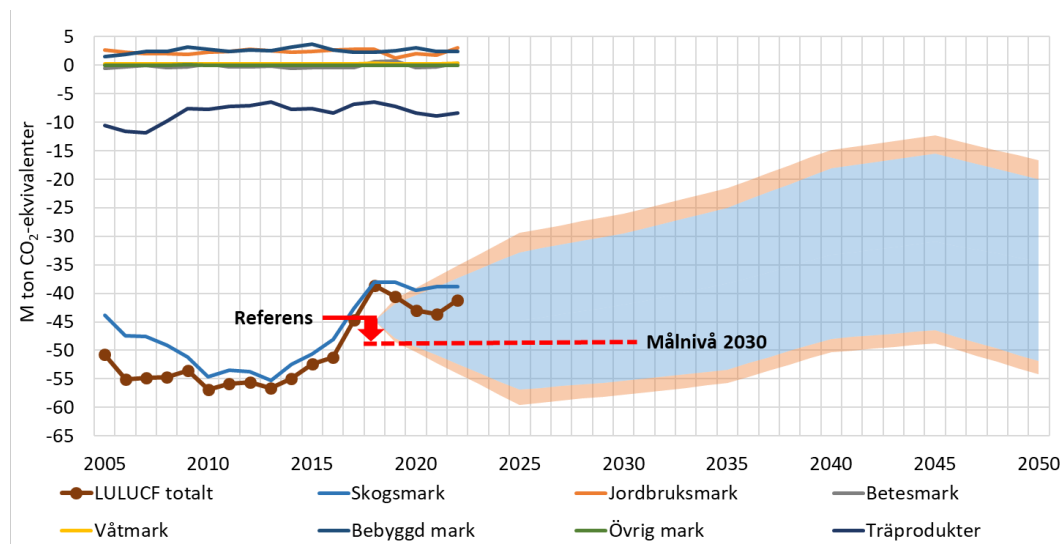
Det totala nettoupptaget för LULUCF har minskat på senare år och 2022 var nettoupptaget 3,6 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre än basperioden 2016–2018. Resultatet för 2030 hamnar som ett medelvärde 0,7 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre än nettoupptaget för basperioden för 2016–2018 om scenariot *Medeltillväxt* för permanent skogsmark kombineras med medelutfallet för övriga kategorier (Tabell 4). Om variationen för de olika tänkbara utfallen beaktas kan genomsnittet bli närmare 17 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år lägre respektive drygt 15 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år högre än genomsnittet för basperioden. I förhållande till målnivån 2030 där nettoupptaget ska öka med närmare 4 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år kan gapet i det sämsta utfallet bli närmare 21 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år (Figur 23 och Tabell 4).

Utvecklingen av nettoupptaget de senaste åren har gått mot lägre nettoupptag och ligger för närvarande (2022) i den nedre delen av det utfallsrum som presenteras i Figur 23. Till stor del beror nedgången på att nettoupptaget i levande biomassa minskat vilket i sin tur beror på att tillväxten minskat på senare år och att avverkningen är hög. Om denna trend kommer vända de närmsta åren är oklart men utifrån den historiska utvecklingen (Figur 23) bör också noteras att nettoupptaget både kan öka och minska med i storleksordningen 10 M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år över en 5–10 årsperiod, t.ex. var det årliga nettoupptaget fram till 2017 högre än nettoupptaget för målnivån (Figur 23).

I tabell 4 redovisas utfall för skogsmark och spannet för olika utveckling av tillväxt samt totalt för övriga kategorier och det totala spannet för dessa kategorier. Visserligen finns inga mål satta för LULUCF till 2045 och 2100 men dessa årtal redovisas för att visa på utvecklingen på längre sikt. Med de antaganden som gjorts

i denna analys kan det totala nettoupptaget fortsätta minska under flera decennier framöver. En viktig orsak till detta är att förrådsuppbyggnaden på avsatta arealer planar ut.

Det är viktigt att komma ihåg att detta är resultat för scenarier som inte tar någon hänsyn till åtgärder inom LULUCF-sektorn. Men det kan noteras att variationerna i utfall sannolikt är betydligt större än vad som kan åstadkommas med tänkbara åtgärder som kan komma till stånd, åtminstone på kort sikt. Ett centralt budskap här är att nettoupptaget för markanvändningssektorn till stor del avgörs av naturgivna förutsättningar. Det kan resultera i både negativa och positiva konsekvenser när det gäller i vilken utsträckning Sverige ska kunna nå sina mål inom EU.



Figur 23. Nettoupptag för LULUCF 2005–2022 och utfallsrum 2025–2050 baserat på scenarierna för de olika markanvändningskategorierna. Blåskuggad yta representerar totalt nettoupptag i LULUCF med variation enligt scenarier för permanent skogsmark. Orangeskuggad yta representerar variationen för övriga redovisningskategorier. Medeltillväxt (röd linje) representerar medelvärde för 2016–2018 och streckad röd linje målnivån för 2030 enligt EU 839/2023.



Tabell 4. Genomsnittligt nettoupptag 2016–2018 för skogsmark och övriga kategorier samt scenarier för skogsmark och övriga kategorier med utfallsrum inom parentes för 2030, 2045 och 2100 samt skillnad mot basperioden 2016–2018 och målnivån för 2030 med utfallsrummets gränser inom parentes.

<b>M ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter</b>	<b>2016–2018</b>	<b>2030</b>	<b>2045</b>	<b>2100</b>
Skogsmark permanent	-42,4	-40,0 (-27,5 – -53,3)	-30,0 (-14,6 – -45,5)	-24,8 (- 20,0 – -45,3)
Skillnad jämfört med 2016–2018		2,4 (15,0 – -10,9)	12,4 (27,8 – -3,1)	17,6 (22,4 – -2,8)
Övriga kategorier	-2,4	-2,0 (1,4 – -4,4)	-1,0 (2,3 – -3,1)	1,0 (4,3 – -1,0)
Skillnad jämfört med 2016–2018		0,4 (1,4 – -4,4)	1,5 (4,8 – -0,6)	3,4 (6,7 – 3,4)
<b>LULUCF totalt</b>	<b>-44,9</b>	<b>-42,0</b> (-26,1 – -57,8)	<b>-31,0</b> (-12,3 – -48,6)	<b>-23,8</b> (-15,7 – -44,3)
Skillnad jämfört med 2016–2018	-44,9	2,8 (18,8 – -12,9)	13,9 (32,6 – -3,7)	21,0 (29,2 – -0,5)
Skillnad jämfört med målet 2030	-48,8	6,8 (22,7 – -8,9)	17,8 (36,5 – 0,2)	25 (33,1 – 4,5)

### 3.9. Slutsatser

Denna scenarioanalys ska ge en bild av hur nettoupptaget i LULUCF-sektorn kan utvecklas utan extra styrmedel och åtgärder. Särskilt är scenarierna *Medeltillväxt*, *Minskad tillväxt* och *Ökad tillväxt* avsedda att reflektera observerade naturliga variationer i tillväxt och effekten på nettoupptaget.

Variationer i de naturgivna förutsättningarna för tillväxten i levande biomassan och övriga kategorier som avspeglas i utfallet för de olika scenarierna leder till ett mycket stort utfallsrum för nettoupptaget i LULUCF-sektorn.

Analysen visar på utmaningen att bevara och förstärka nettoupptaget för att nå uppsatta mål. Oavsett åtgärder kommer naturliga variationer som är svåra att prediktera i stor utsträckning påverka utfallet. Detta kan resultera i både negativa och positiva konsekvenser när det gäller i vilken utsträckning Sverige ska kunna nå sina mål nationellt och inom EU.

## Referenser

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.

Europaparlamentets och Rådets förordning (EU) 2023/839 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2018/841 vad gäller tillämpningsområdet, förenkling av reglerna för rapportering och efterlevnadskontroll och fastställande av medlemsstaternas mål för 2030 och av förordning (EU) 2018/1999 vad gäller förbättrad övervakning, rapportering, uppföljning av framsteg och översyn.

Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A. H., Ståhl G. 2014. Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica* vol. 48 no. 3 article id 1095. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1095>.

Gardfjell, H. och Hagner, Å. 2019. Instruktion för Habitatinventering i Riksskogstaxeringen, 2019. Version 2019-04-01. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet. URL: [https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/habitatkompndium\\_rt-2019\\_hela.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/faltinst/habitatkompndium_rt-2019_hela.pdf)

Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundström, A., Ortiz, C.A., Sathre, R., Truong, N.L., Wikberg, P.-E. 2017. Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 612-624.

Hyvönen, R., Berg, M.P & Ågren, G. I. 2002. Modelling carbon dynamics in coniferous forest soils in a temperature gradient. *Plant and Soil*. 242: 33-39.

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.

Jonasson, L. 2022. Modellberäkningar av EU:s gemensamma jordbrukspolitik, del 2. PM.

Kjellström, E., Hansen, F., Belušić D. 2021. Betydelsen av storskalig atmosfärisk cirkulation för Sveriges temperatur- och nederbördsklimat En jämförelse av normalperioder. Rapport Klimatologi, 61.

Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E-M., Wikberg, P-E., Wikström, P. and Eggers, J. 2023. The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Front. For. Glob. Change* 6:1163105. doi: 10.3389/ffgc.2023.1163105

Marklund, L.G. 1988. Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden. Report 45. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Survey. Umea.

Mäkipää R., Abramoff R., Adameczyk B., Baldy V., Biryol C., Bosela M., Casals P., Curiel Yuste J., Dondini M., Filipek S., Garcia-Pausas J., Gros R., Gömörýová E., Hashimoto S., Hasegawa M., Immonen P, Laiho R., Li H., Li Q., Luysaert S., Menival C., Mori T., Naudts K., Santonja M., Smolander A., Toriyama J., Tupek B., Ubeda X., Verkerk P. J., Lehtonen A. 2023. How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests? – A review. *Forest Ecology and Management*, Volume 529. ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120637>.

Naturvårdsverket 2023. National Inventory Report Sweden 2023. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2021. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Swedish Environmental Protection Agency.

Ortiz Carina A., Liski Jari, Gärdenäs Annemieke I. , Lehtonen Aleks, Lundblad, Mattias, Johan Stendahl, Göran I. Ågren, Erik Karlton. 2013. Soil organic carbon stock changes in Swedish forest soils — A comparison of uncertainties and their sources through a national inventory and two simulation models. *Ecological Modelling*, Volume 251, Pages 221-231. ISSN 0304-3800. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.12.017>.

Ortiz, C A., Lundblad, M. Lundström, A., Stendahl, J. 2014. The effect of increased extraction of forest harvest residues on soil organic carbon accumulation in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, Volume 70. Pages 230-238. ISSN 0961-9534. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.030>.

Petersson, H., Ståhl, G. 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *B. pubescens* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 21, 84–93

Skogsdata 2023. Gammal skog enligt miljömålsdefinitionen, Umeå.

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

Skogsstyrelsen 2022. Skogliga konsekvensanalyser 2022 – syntesrapport. Regeringsuppdrag. Rapport 2022/11.

Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket 2023. Urskogar och naturskogar – sammanställning av underlag och bedömning av arealer. Kunskapsunderlag till Miljömålsberedningen, Dnr SKS: 2023/3258 Dnr NV-02484-23

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

Ågren, G., and Bosatta, E. 1996. *Theoretical ecosystem ecology*. Cambridge University Press.

Ågren, G. and Hyvönen, R. 2003. Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvest and increased temperatures analysed with a semi-empirical model, *Forest Ecology and Management*, Volume 174, Issues 1–3, Pages 25-37. ISSN 0378-1127. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00025-7).

Ågren, G. Hyvönen, R. and Nilsson, T. 2007. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO<sub>2</sub> - model analyses based on forest inventory data. *Biogeochemistry*, 82, 217-227.