



Långsiktig analys av en skogsfastighets kolbalans

Betydelse av olika sätt att bruka skogen och ta hänsyn till trädprodukter och substitutionen

Joel Alstergren & Linus Johansson

Kandidatarbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Jägmästarprogrammet

Kandidatarbeten i skogsvetenskap • Nr 2022:03

Umeå 2022



Långsiktig analys av en skogsfastighets kolbalans

Betydelse av olika sätt att bruka skogen och ta hänsyn till trädprodukter och substitutionen

Joel Alstergren & Linus Johansson

Handledare: Torgny Lind, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning

Examinator: Nils Henriksson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX911

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2022

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Kandidatarbeten i skogsvetenskap

Delnummer i serien: 2022:03

Nyckelord: Koldioxidinbindning, Substitution, Skogsskötsel, Skötselsystem, CO₂, PlanVis, Skogsbruksmetoder, Kolbalans.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

För att hantera den ökande mängden atmosfärisk CO₂ behöver skogen användas så att dess förmåga att binda CO₂ på ett effektivt sätt utnyttjas. I och med EU:s nya taxonomi 2020 behöver markägare redovisa en klimatnyttoanalys för att påvisa inbindningen av CO₂ på fastigheten. Detta arbete har tagit fram tre olika skötselscenarier för en fastighet i norra Sverige. Dessa skötselscenarier består av ett intensivt scenario, ett scenario med fri utveckling och ett scenario baserat på dagens skötsel med nuvarande FSC:s krav. Dessa simuleras i Heureka PlanVis för en tidshorisont på 100 år. Arbetet redogör för hur scenariernas CO₂ inbindning och förråd för skogen ser ut över 100 år samt betydelsen av lagring i träprodukter och substitutionseffekten för avverkad trädbiomassa. Att lämna skogen för fri utveckling gav den högsta mängden bunden CO₂ efter 100 år, även med substitutionseffekten samt CO₂-förrådet i träprodukter inräknad för de två andra scenarierna. Dock är tillväxten som högst i det intensiva brukande scenariot. Skogsfastigheten i fråga består av en stor andel skog i låga åldersklasser (16–30 år) vilket kan vara en bidragande faktor till att CO₂-inbindningen och CO₂-lagringen är som högst om den lämnas för fri utveckling under de första 100 åren.

Nyckelord: Koldioxidinbindning, Substitution, Skogsskötsel, Skötselsystem, CO₂, PlanVis, Skogsbruksmetoder, Kolbalans, Kolbudget.

Abstract

To manage the increasing amount of atmospheric CO₂, forests need to be managed to promote CO₂-sequestration. With the EU's new taxonomy 2020, landowners need to present a climate benefit analysis to demonstrate the sequestration of CO₂ on their property. This study has developed three different management scenarios for a property in northern Sweden, which is based on an intensive scenario, a scenario with free development and a scenario based on current management strategies with FSC's requirements. This was simulated via PlanWise for a period of 100 years. This study describes how the scenarios' CO₂ storage and sequestration develops, how it is affected for a period of 100 years, and how wood products and the substitution effect affect the CO₂ balance. Leaving the forest for free development yielded the highest amount of sequestered CO₂ after 100 years, with the substitution effect included for the other two scenarios. However, growth is at its highest in the intensive use scenario. The forest property in question consists of a large proportion of forest in low age groups (16–30 years), which can be a contributing factor to CO₂ sequestration and CO₂ storage being at their highest if left for free development during the first 100 years.

Keywords: Carbon sequestration, Substitution, Forest management, Harvest Wood Products, Heureka PlanWise, CO₂, Forest management systems, Carbon balance, Silviculture.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
Förkortningar	9
1. Inledning	10
1.1 EU:s taxonomi	10
1.2 Skogens roll i klimatarbetet	11
1.2.1 Träprodukter	11
1.2.2 Substitutionseffekt	12
1.3 Kolbalasen i ett bestånd för olika skogsskötselsystem	12
1.4 Produktionshöjande åtgärder	13
1.5 Syfte och frågeställningar	14
2. Material och metod	15
2.1 Program	15
2.2 Skogsfastigheten	15
2.3 Skötselscenarier	17
2.4 PlanVis	17
2.4.1 Kontrollkategorier	18
2.4.2 Analys i PlanVis	19
2.5 Trädprodukter och substitutionseffekt	19
3. Resultat	22
3.1 Skötselscenariernas utveckling	22
3.2 CO ₂ -inbinding och substitution	23
3.2.1 Dagens	24
3.2.2 Intensiv	26
3.2.3 Fri	27
3.2.4 Substitution samt koldioxidekvivalenter	27
3.2.5 Känslighetsanalys	29
4. Diskussion	31
4.1 Känslighetsanalys	32
4.2 Tidsaspekten	33
4.3 Skötselscenariernas trovärdighet	33

4.4	Felkällor.....	33
4.5	Andra studier.....	34
4.6	Slutsats	35
	Referenser.....	36

Tack 38

Tabellförteckning

Tabell 1. Ingångsdata för skogsfastigheten.	15
Tabell 2. Domäner kopplat till kontrollkategori och skotselscenario.	18
Tabell 3. Kontrollkategorier och specifikation av skogsskötsel.	19
Tabell 4. Halveringstid för olika träprodukter (Lundmark et al. 2014).	20

Figurförteckning

Figur 1. Kolbalansen fördelat över tid i ett trakthyggesbruksbestånd (Bergh et al. 2020:15)	13
Figur 2. Fastighetens träslagsfördelning på volym.	16
Figur 3. Fastighetens åldersfördelning på volym i m ³ sk.	16
Figur 4. Virkesförråd per hektar och år i m ³ sk.	22
Figur 5. Avverkade volymer per period i m ³ sk.	23
Figur 6. Nettotillväxt per period.	23
Figur 7. Netto CO ₂ -inbindning i skogen för de olika scenarierna i ton CO ₂ .	24
Figur 8. Totalt bundet CO ₂ i skogen, inklusive markkol omvandlat till CO ₂ , i ton CO ₂ .	24
Figur 9. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter från fastigheten med skötselscenario Dagens i ton CO ₂ .	25
Figur 10. CO ₂ inlagrat i träprodukter från fastigheten med Dagens skötselscenario i ton CO ₂ .	26
Figur 11. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter med skötselscenariot intensiv i ton CO ₂ .	26
Figur 12. CO ₂ inlagrat i träprodukter från fastigheten med scenariot Intensiv, i ton CO ₂ .	27
Figur 13. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter med skötselscenariot Fri i ton CO ₂ .	27
Figur 14. Substituerad CO ₂ under 100 år, i ton CO ₂ .	28
Figur 15. Ton CO ₂ i träprodukter från fastigheten under en tidsperiod på 100 år. Varje period motsvarar en 5-årsperiod.	28
Figur 16. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter från fastigheten för de olika skötselscenariorna i ton CO ₂ .	29
Figur 17. Totala koldioxidekvivalenter från fastigheten men där skogens CO ₂ -förråd enbart avser den CO ₂ som finns lagrat i levande träd i ton CO ₂ .	29
Figur 18. Substituerad CO ₂ under 100 år från två olika vetenskapliga studier, i ton CO ₂ .	30

Förkortningar

CO ₂	Koldioxid
M ³ sk	Skogskubikmeter
M ³ pb	Kubikmeter på bark
M ³ fub	Kubikmeter under bark
Ha	Hektar
Koldioxidekvivalenter	Andra ämnens (ex metan) påverkan på klimatet omräknat till samma påverkan som för CO ₂ .
Ståndortsindex, SI	Den höjd de 100 grövsta träden per ha har vid 100 års ålder. Exempelvis SI 16, då är träden 16 m efter 100 år.
Klimatnytta	En positiv effekt på klimatet, främst via att minska den atmosfäriska CO ₂ -halten.

1. Inledning

Ökad mängd CO₂ i atmosfären leder till ett varmare klimat (Shukla et al. 2019). Skogen som binder in CO₂ när den växer kan då vara ett viktigt verktyg för att minska ökningen av CO₂ i atmosfären (Evert & Eichhorn 1970). Detta gör att det finns ett intresse från EU och andra att skogsägare ska kunna redovisa kolmängd och kolinbindning för sin skog. För att skog ska kunna klassas som grön enligt EU:s nya taxonomi (EU 2020) kan skogsägare behöva göra en klimatnyttoanalys, som visar på att skogen binder in mer CO₂ än vad den avger. En viktig datakälla för enskilda skogsägare är att kunna göra en CO₂-budget är skogsbruksplanen.

Näst efter Finland är Sverige det land i Europa som består av mest skogsmark sett till andelen skogsmark av den totala landarealen (Statistiska centralbyrån 2021a). Andelen skogsmark i Sverige är 69%, varav 48% ägs av enskilda skogsägare (Statistiska centralbyrån 2019). Sveriges enskilda skogsägare står för ca 60 % av virkesproduktionen (Lind 2021). Således står även de enskilda skogsägarna för stora delar av Sveriges kolinbindning och kolförråd.

1.1 EU:s taxonomi

I juni 2020 antogs EU:s gröna taxonomiförordning (EU 2020). Taxonomiförordningen klassificerar olika verksamheter utefter deras miljöpåverkan. Taxonomiförordningen är till för att styra investerare till miljömässigt hållbara investeringar (Regeringskansliet 2020). Finansdepartementet anser att EU:s taxonomi har en stor roll att fylla för att nå EU:s klimatmål. Därför är det således viktigt att uppmuntra företagare att bidra till den positiva klimatnyttan och minska den globala uppvärmningen.

För att skogsbruket ska kunna klassas som grön och hållbar i EU:s taxonomiförordning kommer skogsägare med ett skogsinnehav på större än 13 ha behöva göra en klimatnyttoanalys för sin fastighet (Europeiska kommissionen 2021). I en klimatnyttoanalys krävs det av skogsägaren att denne påvisar att skogsbruket med de aktuella skötselmetoderna binder CO₂. I skrivningen anses

skogsbruksplanen vara ett mycket viktigt verktyg för att bidra till begränsningen av klimatförändringarna. Skogsbruksplanen ska även uppdateras vart tionde år.

1.2 Skogens roll i klimatarbetet

Koldioxidhalten i atmosfären har ökat sedan den industriella revolutionen via människors direkta påverkan, främst via bränningen av fossila bränslen (Shukla et al. 2019). Denna ökning av CO₂ leder till ett varmare globalt klimat som kan ha stora konsekvenser på miljön (Shukla et al. 2019). När skogen växer binds CO₂ in från atmosfären via fotosyntes (Malhi et al. 1999). Den levande skogen agerar då som en kolsänka, där kol lagras och förhindras från att återgå till atmosfären som CO₂. CO₂ avges från skogarna via respiration från träden men mängden som binds in är generellt högre än vad som avges, då träden använder kolet för att bygga biomassa. Däremot när dött material från skogarna bryts ned avges CO₂ tillbaka till atmosfären (Malhi et al. 1999). Dock så lagrar även död ved CO₂ innan det bryts ned. Kolinbindningen är således störst för växande skog.

Inbindningen av CO₂ i skogen kan antingen vara positiv eller negativ, men generellt binder bestånden in mer CO₂ än vad som avges (Nabuurs et al. 2007). För att effektivt binda in CO₂ är brukande av skogen centralt. Då en ökning av virkesförrådet leder till större mängd kol som är bundet i bestånden (Bergh et al. 2020). Den metod som används för att bruka skogen har således en direkt påverkan på hur effektivt kolinbindningen är. Viktigt att notera är att orörda skogar kommer binda in CO₂ medan den växer men andelen död ved kommer att öka desto äldre skogen blir (Bergh et al. 2020). Detta leder till att den äldre orörda skogen kommer avge mer och mer CO₂ då andelen död ved ökar samtidigt som tillväxten avtar på grund av skogens ålder. Dessa två faktorer, tillväxt och avgång från död ved, leder till att den gamla orörda skogen kommer över tid närma sig en balans i mängden avgivet och inbundet CO₂ (Bergh et al. 2020).

1.2.1 Träprodukter

Ett annat sätt som innebär lagring av kol i träd är i produkter från skogen. Genom att använda skogsprodukter i långlivade material kan det inbundna kolet bevaras och förhindras till att avges tillbaka till atmosfären (Lundmark et al. 2014). Det finns en uppsjö av olika typer av träprodukter. Allt från olika sorter av konstruktionsvirke till pappersförpackningar och bioenergi från skogen. Konstruktionsvirke som används för husbyggnationer har en lång livslängd och

träprodukter som används till exempelvis bioenergi har en kortare livslängd (Lundmark et al. 2014). Genom att använda träprodukter kan fossila utsläpp undvikas (Skogsstyrelsen 2021). Träprodukterna avger koldioxid när de förbrukas samtidigt som skogen binder koldioxid när den växer. Det här gör att det alltid finns ett koldioxidlager i skogsprodukter som är i omlopp.

1.2.2 Substitutionseffekt

Substitutionseffekten innebär att fossila produkter ersätts med förnyelsebara produkter (Stora Enso u.å.). Den genomsnittliga substitutionseffekten är 1,2 kg kol för varje kilo förnyelsebart kol (Leskinen et al. 2018). Det innebär att varje kilo kol i träprodukter i genomsnitt substituerar 1,2 kg kol från andra produkter. En studie från 2014 visar att om Sverige fortsätter med sitt skogsbruk innebär det att skogsbruket substituerar eller reducerar koldioxidutsläppen med över 60 miljoner ton CO₂ varje år (Lundmark et al. 2014). 2018 var Sveriges utsläpp i form av koldioxidekvivalenter 51,8 miljoner ton (Statistiska centralbyrån 2021b).

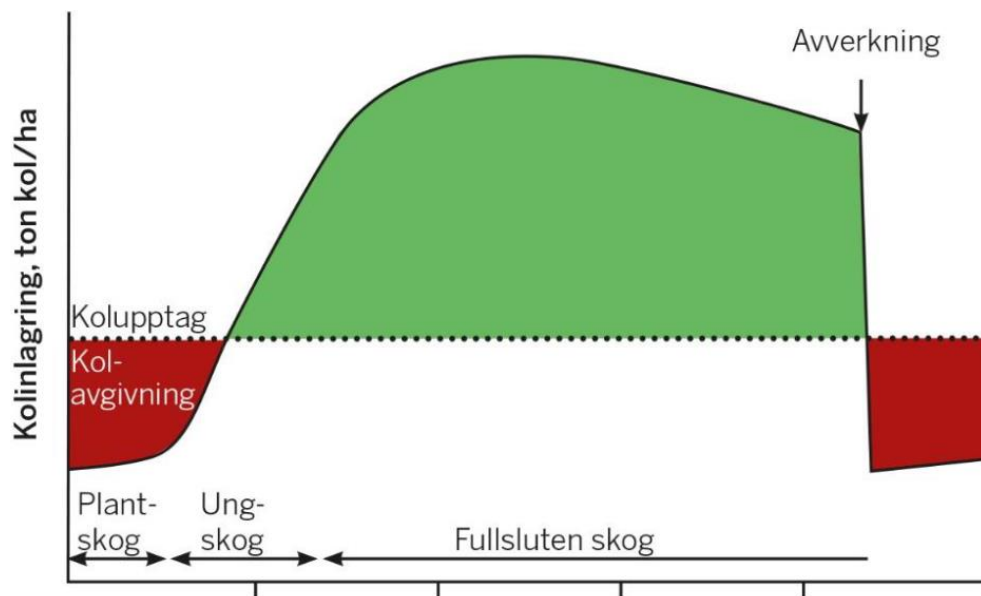
Detta kan innebära två olika strategier för att kunna maximera kolinbindningen, antingen så brukas skogen så effektivt som möjligt och man utnyttjar substitutionseffekten och lagring i träprodukter så mycket som möjligt, eller så får skogen agera som en ”koldioxidbank” där CO₂ ska förvaras under en lång tid.

1.3 Kolbalansen i ett bestånd för olika skogsskötselsystem

Trakthyggesbruket grundar sig i att beståndet har en jämn åldersfördelning som påbörjas med slutavverkning följt av en föryngringsfas (Albrektson et al. 2012). Normalt utförs röjning när beståndet har en höjd mellan 1,3–7 m. Vanligtvis gallras skogen 1–2 gånger innan beståndet är slutavverkningsmoget, och cykeln börjar om igen (Albrektson et al. 2012).

Detta ger två faser, när beståndet har ett nettoutsläpp av CO₂ respektive ett nettoupptag av CO₂ (Lundmark et al. 2016)(figur 1). Då beståndet är avverkat och föryngrat kommer beståndet att avge mer CO₂ än vad som binds in. Detta eftersom de trärester som blivit kvar efter avverkningen bryts ned. Samtidigt som de unga plantornas tillväxt inte har kommit till den punkt där de binder in mer än vad omgivningen avger. Beroende på bonitet så varierar tiden det tar för beståndet att binda in mer än vad som avges (Lundmark et al. 2016). Innan slutavverkningen

kommer den ackumulerade CO₂-inbindningen vara större än de totala CO₂ utsläppen från skogen (Lundmark et al. 2016).



Figur 1. Kolbalansen fördelat över tid i ett trakthyggesbruksbestånd (Bergh et al. 2020:15)

1.4 Produktionshöjande åtgärder

För att ytterligare öka CO₂ inbindningen är en möjlighet att föryngra med contortatall (*Pinus Contorta*) (Elfving et al. 2001). Detta eftersom *Pinus Contorta* producerar ca 36% mer volym på samma marker som den inhemska tallen (*Pinus Sylvestris*) (Elfving et al. 2001). Då tillväxten är högre kommer mer CO₂ bindas in över samma tidsperiod på samma mark. Effektiviteten bland de träslag som används blir således en direkt påverkan på CO₂-balansen. Dock är användningen av contortatall i Sverige reglerad i skogsbrukslagen, *Pinus Contorta* får ej planteras på marker med ståndortsindex SI24 eller högre (Skogsstyrelsen 2020).

Utöver byte av träslag så är kvävegödsling av bestånd en annan metod som kan öka tillväxten med ca 100% (Jacobson 2020). Detta brukar göras ca 10 år innan slutavverkning för att öka volymen hos träden. Men i ett CO₂-inbindnings syfte kan

gödsling tillämpas tidigare och flera gånger under omloppstiden. Däremot måste gödsling ske inom ståndortsindex på SI16 till SI30 (Ståhl & Bergh 2013).

1.5 Syfte och frågeställningar

Syftet med uppsatsen är att räkna på CO₂-lagring för en skogsfastighet med olika antaganden om hur skogsbruket bedrivs och hur CO₂ redovisas. Detta genom att utvärdera både lager av CO₂ och inbindning av CO₂ i skogen, inlagrade mängden CO₂ i träprodukter samt substitutionseffekten. Uppsatsens försöker svara på dessa frågor;

- Hur påverkas CO₂-lagringen av de olika skötselmetoderna?
- Vilken påverkan har tidsaspekten på 100 år för CO₂-lager?
- Vad innebär det om träprodukter och substitutionseffekter tas med eller ej?

2. Material och metod

För detta arbete har kol omvandlats till CO₂. Detta via ett omräkningstal baserat på kolet och koldioxidens atomvikt, 44/12. Syftet är för att lättare kunna jämföra substitutionseffekten och inbindningen av kol.

2.1 Program

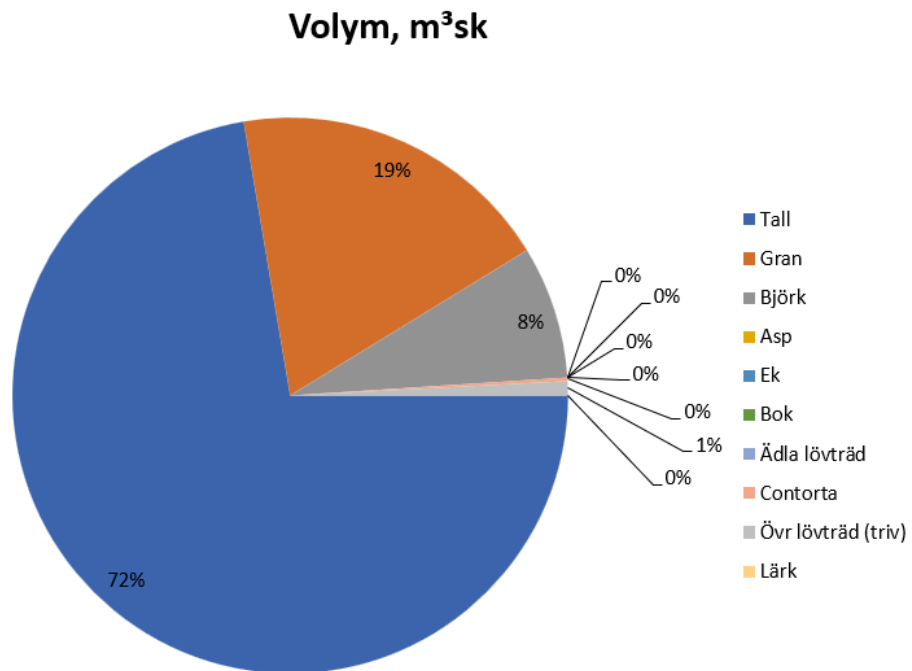
För att kunna utföra analyser och simulationer i denna uppsats har Heureka-systemet PlanVis använts (Wikström et al. 2011). Hantering och bearbetning av data har skett med Microsoft Excel.

2.2 Skogsfastigheten

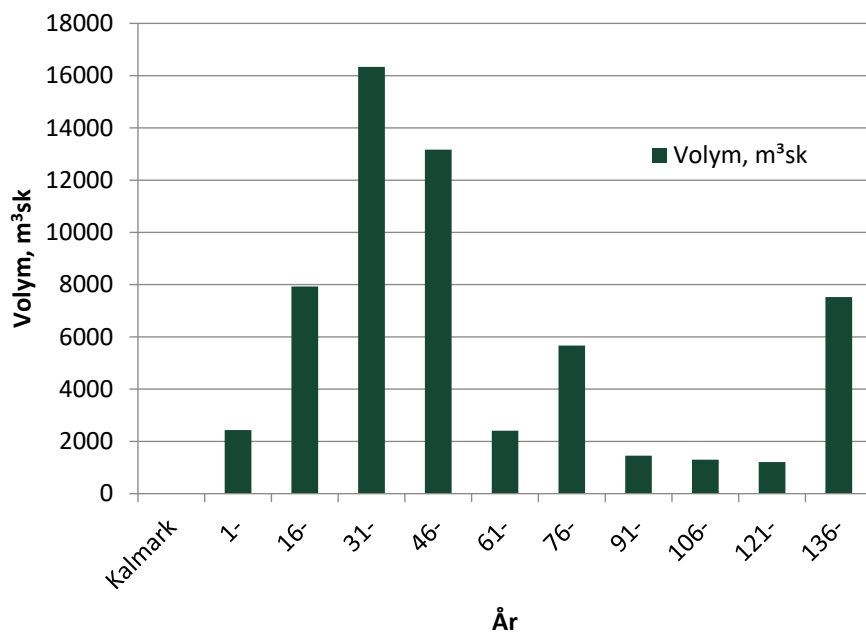
Som underlag till analyserna har en skogsfastighet med 761,3 ha produktiv skogsmark använts (tabell 1). Fastigheten är belägen i Storuman, Västerbotten. År 2020 upprättades en skogsbruksplan för fastigheten som ligger som grund för våra analyser samt beräkningar. Simuleringarna startas därefter vid planperiodens början. Skogsfastigheten är i dagsläget talldominerad (figur 2). Fastigheten klarar i dagsläget inte FSC kraven för andelen lövträd och lövdominerade bestånd (Forest Stewardship Council 2020). Fastigheten består till stor del yngre skog (figur 3). Det här gör att det finns goda möjligheter att öka andelen lövträd i skogen i framtiden för att uppnå FSC kraven.

Tabell 1. Ingångsdata för skogsfastigheten.

Variabel	Värde
Antal bestånd	164
Produktiv skog (ha)	761
Medelvolym (prod. skogsm., m ³ sk/ha)	78
Medelålder (år)	46
Medelbonitet (m ³ sk/ha)	3,3
Volym >= Min slutavverkningssålder (m ³ sk)	18 177



Figur 2. Fastighetens träslagsfördelning på volym.



Figur 3. Fastighetens åldersfördelning på volym i m³sk.

2.3 Skötselscenarier

Tre skötselscenarier skapades, *Dagens*, *Intensiv* och *Fri*, för att jämföra inverkan på CO₂-balanser och för att utgöra beslutsunderlag. Detta ska simuleras över 100 år. Dessa scenarier innehåller tre olika sätt att sköta skogen på. För varje skötselscenario kalkyleras mängden inlagrad CO₂ i den stående skogen. För skötselscenario *Dagens* och *Intensiv* beräknas även substitutionseffekten samt CO₂-lagret i trädprodukter.

Dagens - Fastigheten brukas som den görs i dagsläget enligt en skogsbruksplan de första 10 åren. Därefter används Heureka PlanVis för att skriva fram skogen med åtgärder enligt antagande om ett fortsatt skogsbruk i linje med de första 10 åren. Via lövinriktad skogsskötsel skapas lövdominerande bestånd samt lövandelen vid slutavverkning ökas för att nå kraven för FSC. Det genom att spara mer löv i röjning och gallring. Föryngringarna sker genom plantering, men föryngring med fröträd tillåts på magra marker med tall på SI18. Ingen gödsling utförs.

Intensiv - Fastigheten sköts likt dagens skötsel men med plantering med *Pinus Contorta* i skog med SI mellan 14 och 18. Här tillåts även gödsling med 150 kg kväve per hektar vart tionde år efter att plantorna nått 7 m höjd förutom på blöta marker. Detta scenario är inte anpassat efter FSC:s krav.

Fri - Alla bestånd lämnas för fri utveckling utan några skötselåtgärder.

2.4 PlanVis

I PlanVis simuleras skogens utveckling på fastigheten för scenarierna. Skogsinnehavet har delats in i olika s.k. domäner (grupp av bestånd som uppfyller vissa villkor). Ett exempel på domän är alla bestånd med målklass NO i skogsbruksplanen.

Varje domän har egna inställningar som beskriver hur skogen ska skötas, dessa inställningar görs i s.k. kontrollkategorier. Kontrollkategorierna kan exempelvis ange att skogen ska gödslas eller planteras med *Pinus Contorta*. En domän innehåller alltså vilka bestånd som ska kopplas till en eller flera kontrollkategorier som specificerar vilken skogsskötsel som simuleras.

PlanVis simulerar upp till 20 olika skötselalternativ i den s.k. Treatment Program Generator (TPG) för varje bestånd. Detta innebär att varje bestånd kan skötas på upp till 20 olika sätt. Ett exempel på två skötselalternativ för en medelålders skog

är ett första alternativ som gallras om 5 år och slutavverkas om 20 år respektive ett alternativ som ej gallras och slutavverkas om 15 år.

I ett sista steg använder PlanVis en optimeringsmodell för att välja ut bästa skötselalternativet, i detta fall det som ger högst ekonomiska avkastning (nuvärde) och som uppfyller uppställda restriktioner. Alla simulationer görs på en tidshorisont på 100 år med framskrivning och rapportering av resultat för varje period där en period är 5 år.

Flera domäner skapades för att koppla olika skötselmetoder till olika bestånd, där bland annat bestånd med målklassning NO krävde helt andra åtgärder jämfört med produktionsbestånden. För *Dagens* tillämpades domänerna NO, NS, PF, och PG. För *Intensiv* skapades två domäner, Intensiv samt PG för de avdelningar som inte uppfyllde kraven för domän Intensiv (tabell 2). I scenario *Fri* lämnades all skog för fri utveckling.

De domänerna som definierats är följande (tabell 2):

Tabell 2. Domäner kopplat till kontrollkategori och skötselscenario.

Domän	Beskrivning	Kontrollkategori	Scenario
NO	Skog med målklass NO	Fri utveckling	<i>Dagens</i>
NS	Skog med målklass NS	NS	<i>Dagens</i>
PF	Skog med målklass PF	PF	<i>Dagens</i>
PG	Skog med målklass PG	PG	<i>Dagens</i> och <i>Intensiv</i>
Intensiv	Skog mellan ståndortsindex 14 och 30	Intensiv	<i>Intensiv</i>
Fri utveckling	Skog med en areal över 0 ha. Således all skog.	Fri utveckling	<i>Fri</i>

2.4.1 Kontrollkategorier

I PlanVis styrs skogsskötsel via kontrollkategorier, där exempelvis blädningsbruk eller trakthyggesbruk kan ställas in. För att styra hur de olika domänerna ska skötas kopplas de olika kontrollkategorier efter de sätt som domänerna ska skötas på enligt tabell 3.

Tabell 3. Kontrollkategorier och specifikation av skogsskötsel.

Kontrollkategori	Beskrivning
Fri Utveckling	Bestånden lämnas för fri utveckling
NS	Skogsskötseln gynnar lövträdens tillväxt med ett blädningsliknande skogsbruk där uttag av enbart i huvudsak barrträd görs vid gallringar.
PF	Hög andel löv sparas efter röjning och gallring. Detta för att bevara mer av de lövträd och naturvärden som finns i dessa bestånd. Även omloppstiden ökas jämfört med normala omloppstider.
PG	Trakthyggesbruk med slutavverkning, markberedning, plantering, röjning och gallring med generella hänsyn med lämnande av naturvårdsträd och högstubbar.
Intensiv	Gödsling med 150kg kväve per 10 år efter träden nått 7m höjd på bestånd med ståndortsindex 16 till 30, <i>Pinus Contorta</i> planterad på marker med ståndortsindex 14 till 18. Även generell hänsyn med lämnande av naturvårdsträd och högstubbar.

2.4.2 Analys i PlanVis

Efter simulering av skötselalternativ kunde en optimeringsmodell tillämpas på resultaten från PlanVis. Optimeringsmodellen maximerar nuvärdet (ekonomiska avkastningen) med restriktioner för skogsskötseln enligt FSC standard. FSC-certifieringen tar hänsyn till många aspekter såsom exempelvis; rennärningen och urbefolkningen, biologisk mångfald, fågellivet och lövskog (Forest Stewardship Council 2020). FSC-standarden uppdaterades 2020 och en nyhet i nya FSC-certifieringen är att ytterligare 5% av den produktiva maken behöver skötas med anpassade metoder i form av en naturvårdsanpassad skötsel eller för sociala värden. Med de nya kraven blir således ett totalt krav på minst 10% naturvård, varav minst 5% måste vara helt avsatt för naturvård (Forest Stewardship Council 2020).

2.5 Trädprodukter och substitutionseffekt

För att kunna beräkna det totala CO₂-lagret från skogsfastigheten behövs både CO₂-förrådet i skogen samt det inlagrade CO₂ i träprodukter summeras. För att beräkna CO₂-förrådet i träprodukter som kommer från skogsfastigheten användes följande ekvation från IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) (Pingoud et al. 2006):

$$C(i + 1) = e^{-k} \times C(i) + \left[\left(\frac{1 - e^{-k}}{k} \right) \right] \times inflow(i)$$

där

C står för kolförrådet i träprodukter från skogsfastigheten i början av år i,

e är den naturliga logaritmen,

K=ln(2)/HL där HL är halveringstiden för kolmängden i träprodukten.

Inflow är kolinflödet till den totala kolpoolen från skogsprodukter.

För att räkna om resultatet från kolets vikt till den inbundna CO₂ har ett omräkningstal på 44/12 använts. Det omräkningstalet kommer från kolets atomvikt av koldioxidmolekylen.

Halveringstiden är den tid där hälften av kolet i produkterna är nedbrutna och därmed återgår till atmosfären (tabell 4). För att underlätta beräkningarna utfördes dessa separat för respektive träprodukt i Excel för att sedan summeras ihop till den totala kolpoolen. Vi har antagit att 50% av timmervolymen under bark blir konstruktionsvirke, 40% går till övriga träprodukter samt 10% blir bioenergi. Barken från timmerstockarna antas bli bioenergi. För massaveden har vi gjort antaganden om att 15% av volymen blir bioenergi och resterande blir övriga träprodukter.

Tabell 4. Halveringstid för olika träprodukter (Lundmark et al. 2014).

Träprodukt	Halveringstid (år)
Konstruktionsvirke	80
Bioenergi	2
Övriga träprodukter	10

Substitutionseffekten ger i genomsnitt en netto klimatnytta på 470 kg CO₂ per avverkad kubikmeter efter att avdrag för drivningen har gjorts enligt beräkningar (Lundmark et al. 2014). En finsk studie påvisar att för varje kilo kol i träprodukter substitueras 1,2kg kol (Leskinen et al. 2018). En skogskubikmeter motsvarar 210 kg kol (Bergh et al. 2020). Det här skulle enligt Leskinens siffror ge en substitutionseffekt på 210*1,2*(44/12)= 924 kg CO₂. Vi har gjort antagandet att kolandelen för en m³pb är den samma som för en m³sk. För att beräkna m³pb från m³fub har ett omräkningstal på 1,14 använts (SkogsSverige 2020). Vi har valt att använda oss av den genomsnittliga substitutionseffekten efter drivning på 470 kg CO₂ per avverkad kubikmeter i våra analyser. En känslighetsanalys har även utförts där substitutionseffekten för de olika studierna har jämförts. I känslighetsanalysen

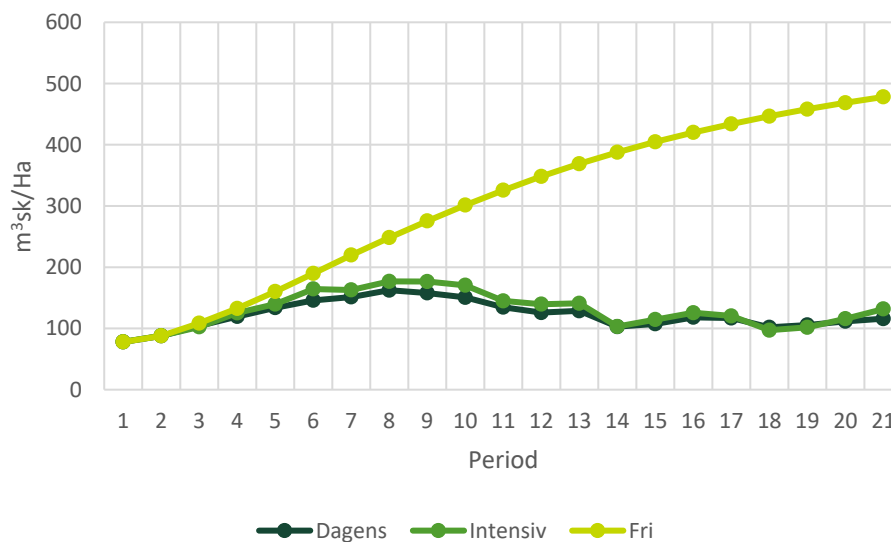
benämns Lundmark et al. (2014) som Lundmark samt Leskinen et al. (2018) som Leskinen.

3. Resultat

För resultatet redovisas allt kol som omräknat till CO₂. Således kommer även markkolet vara omvandlat till den mängd CO₂ som markkolet representerar.

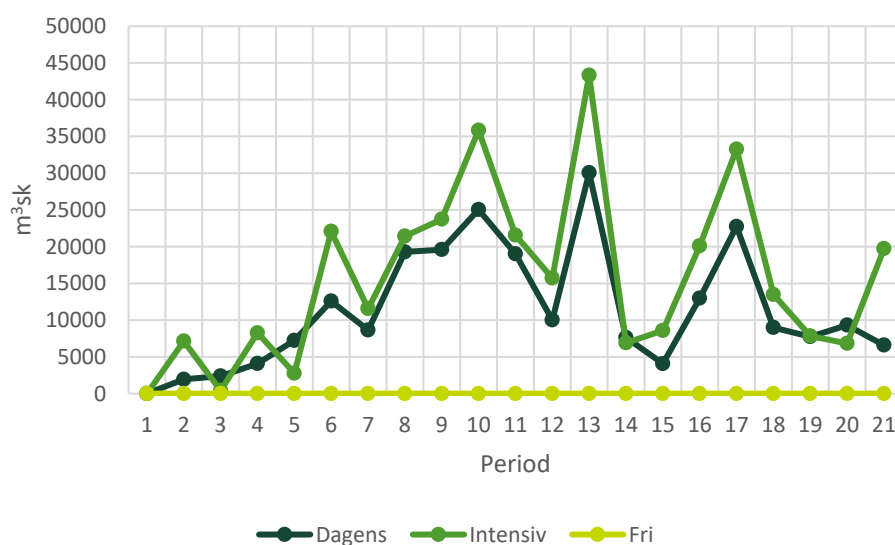
3.1 Skötselscenariernas utveckling

De olika skötselscenariernas utveckling redovisas för variablerna; virkesförråd, avverkade volymer och tillväxt. I resultatet framgår hur virkesförrådet per hektar utvecklas över tid för skötselscenarierna *Dagens*, *Intensivt* och *Fri* (figur 4). Scenario *Fri* ger högst virkesförråd per hektar, medan *Intensiv* har marginellt högre virkesförråd jämfört med *Dagens*. *Dagens* ligger lägst i genomsnitt förutom under period 18 och 19 då den är näst högst.



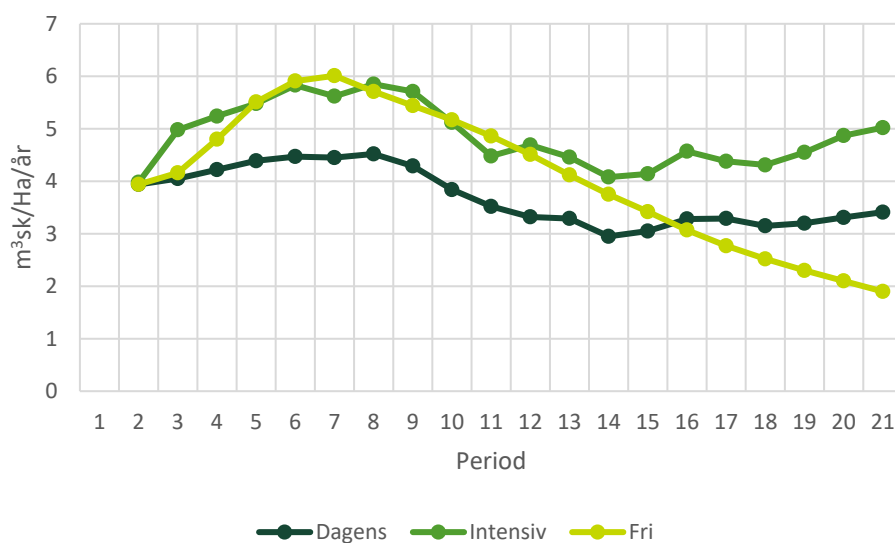
Figur 4. Virkesförråd per hektar och år i m³sk.

De avverkade volymerna skiljer sig även mellan scenarierna (figur 5). I *Fri* avverkas inget. Högst avverkningsvolym har scenario *Intensiv*.



Figur 5. Avverkade volymer per period i m³sk.

Tillväxten skiljer även sig i de olika scenarierna där *Intensiv* i genomsnitt har högst tillväxt över under de 100 åren (figur 6). *Fri* har hög tillväxt i början men avtagande över tid. *Dagens* ligger lägst i tillväxt fram till 80 år från idag.

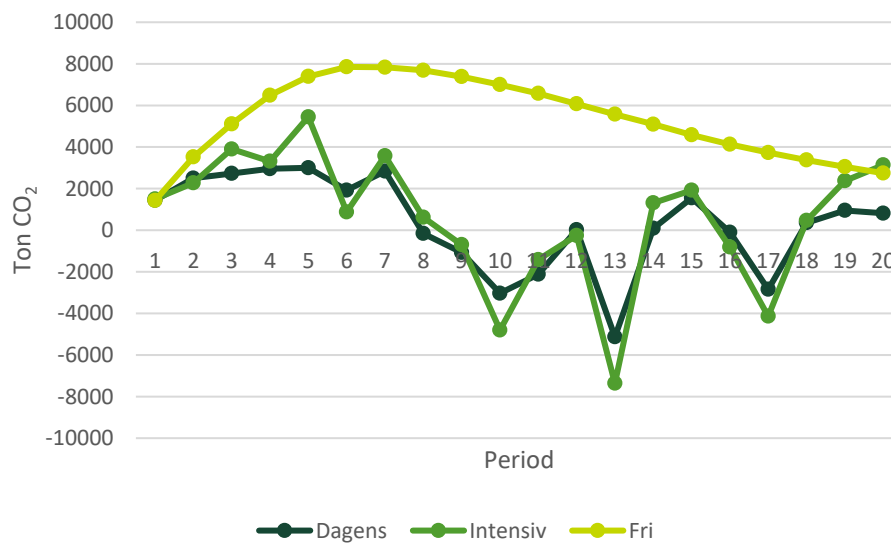


Figur 6. Nettotillväxt per period.

3.2 CO₂-inbinding och substitution

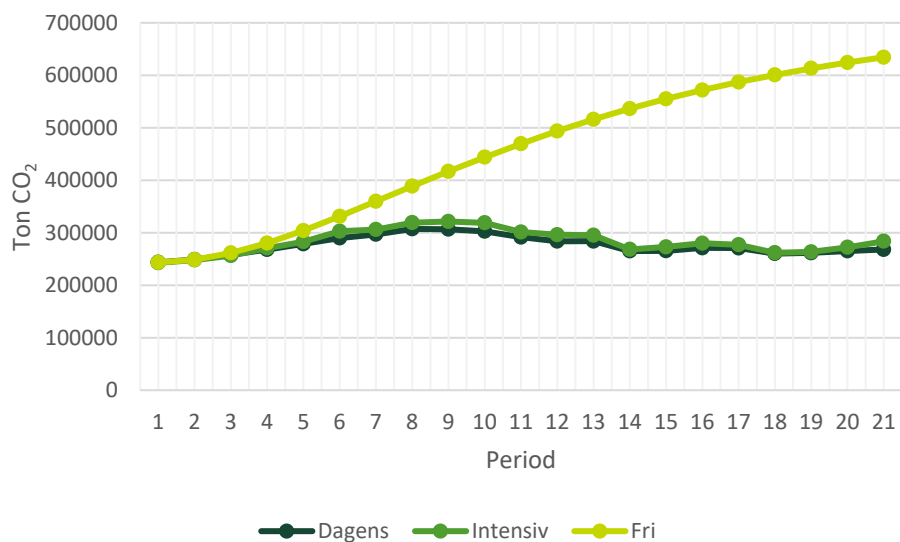
Skötselscenariot med generellt högst nettoinbinding av CO₂ i skogen under 100 år där tillväxt, nedbrytning samt avverkningar har tagits med i beräkningarna är *Fri*

(figur 7). Detta utan att hänsyn tagits till substitutionseffekten samt lagrat CO₂ i träprodukter.



Figur 7. Netto CO₂-inbindning i skogen för de olika scenarierna i ton CO₂.

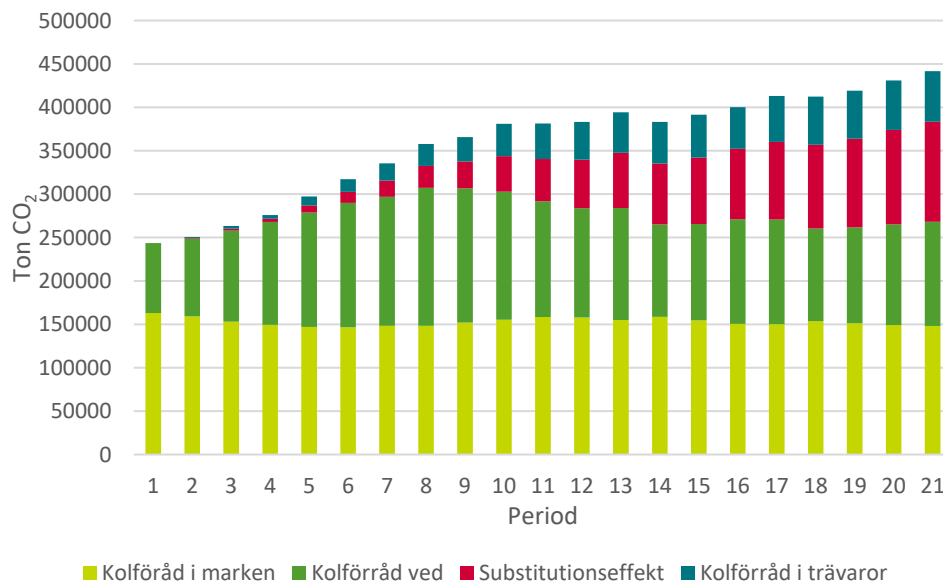
Totalt bundet CO₂ är högst för *Fri* över hela planperioden och skillnaden mellan *Intensiv* som näst högst ökar mer och mer över perioden (figur 8). *Intensiv* och *Dagens* skiljer sig mindre åt men *Intensiv* är högre än *Dagens* över hela perioden.



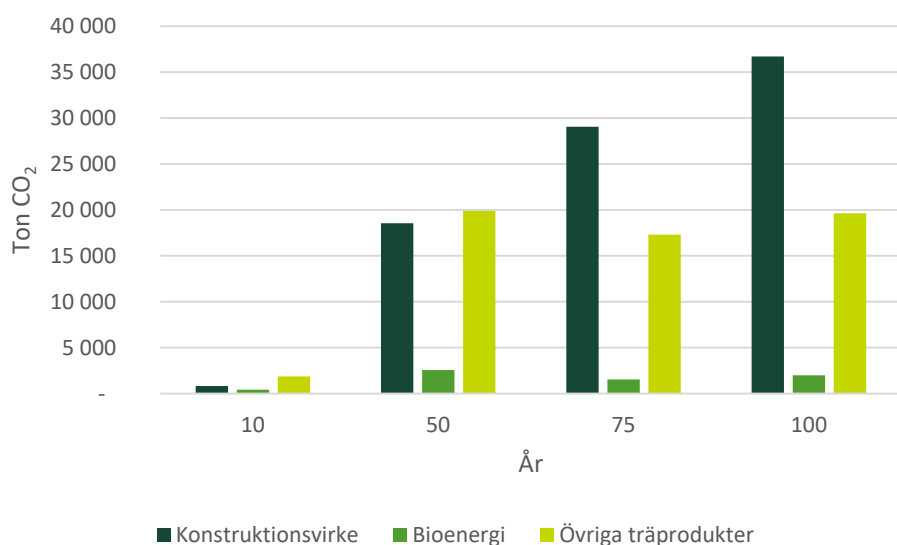
Figur 8. Totalt bundet CO₂ i skogen, inklusive markkol omvandlat till CO₂, i ton CO₂.

3.2.1 Dagens

När all klimatnytta från skogsfastigheten summeras är den största andelen lagrad CO₂ för *Dagens* den inbundna CO₂ som återfinns i marken när beräkningarna avser all CO₂ från skogsfastigheten (figur 9). Substitutionseffekten ökar med tiden som följd av ökade avverkningar. Det lagrade CO₂ i träprodukter är fördelat i tre olika typer av produkterna (figur 10). Där övriga träprodukter har störst lager CO₂ i början av perioden. Konstruktionsvirke blir därefter mot slutet av tidsperioden den trävara som lagrar mest CO₂.



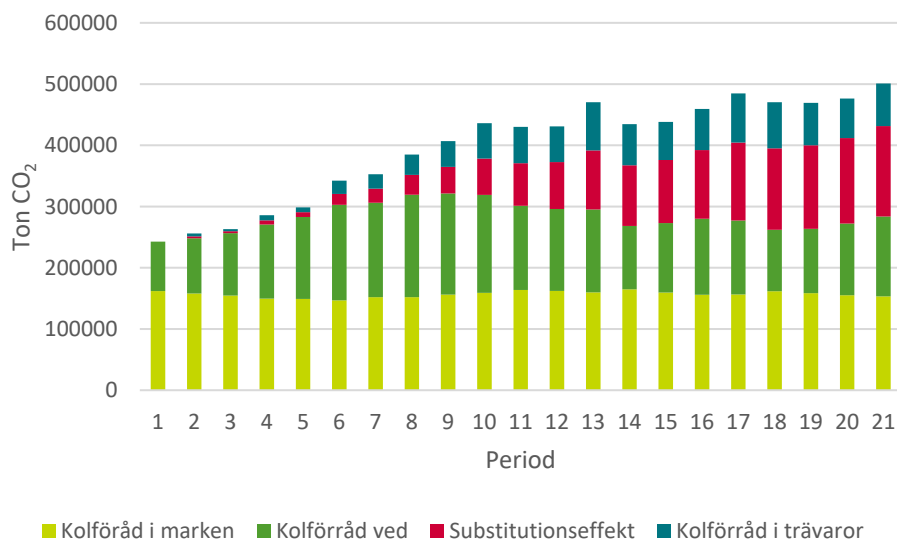
Figur 9. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter från fastigheten med skötselscenario *Dagens* i ton CO₂.



Figur 10. CO₂ inlagrat i träprodukter från fastigheten med Dagens skötselscenario i ton CO₂.

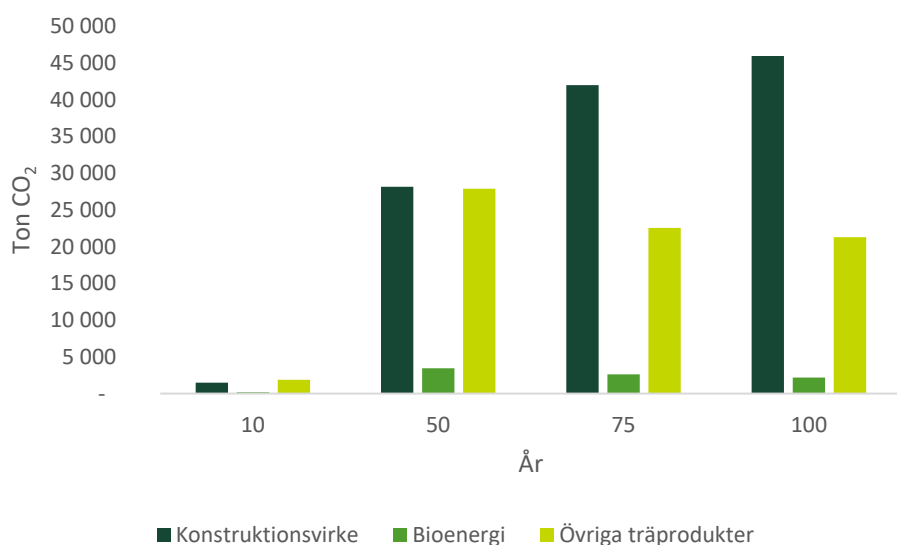
3.2.2 Intensiv

I detta skötselscenario visas antalet koldioxidekvivalenter från skogsfastigheten med skötselscenario *Intensiv* och hur stora de är i förhållande till varandra. Effekten av substitutionseffekten blir större och större längs med planperioden (figur 11).



Figur 11. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter med skötselscenariot intensiv i ton CO₂.

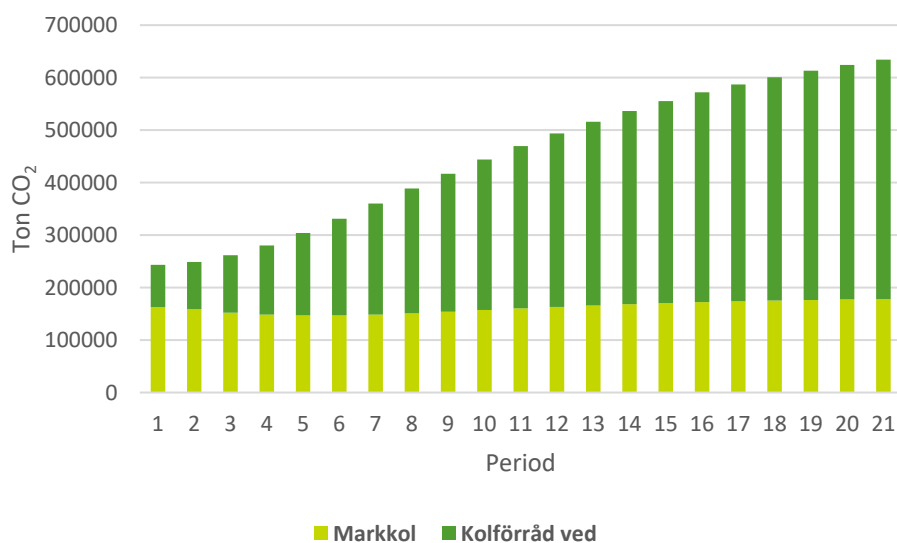
Fördelningen av CO₂ lagrat i skogsprodukter är som högst i konstruktionsvirket (figur 12).



Figur 12. CO₂ inlagrat i träprodukter från fastigheten med scenariot Intensiv, i ton CO₂.

3.2.3 Fri

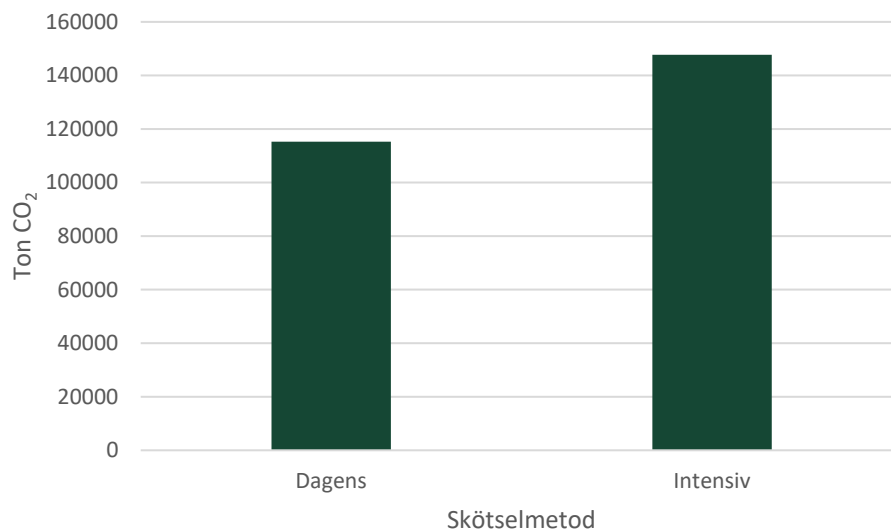
Fördelningen av koldioxidekvivalenter för *Fri* är endast i stående CO₂ i skogen, där markkolet ligger relativt oförändrat över planperioden (figur 13). CO₂ bundet i ved, med död ved inkluderat, ökar längst med perioden.



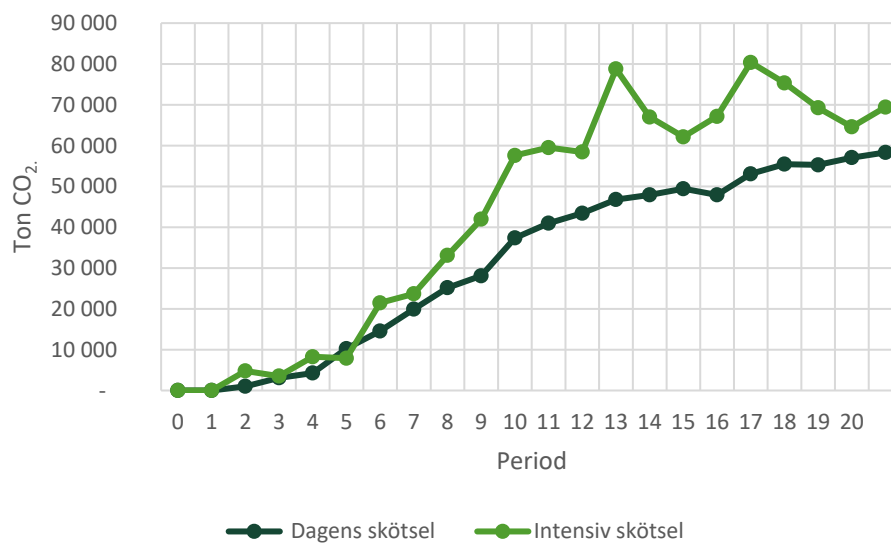
Figur 13. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter med skötselscenariot *Fri* i ton CO₂.

3.2.4 Substitution samt koldioxidekvivalenter

Total substituerad CO₂ för hela planperioden är större för *Intensiv* jämfört med *Dagens* (figur 14). Mängden ton CO₂ i träprodukter är också större för *Intensiv* jämfört med *Dagens* (figur 15).

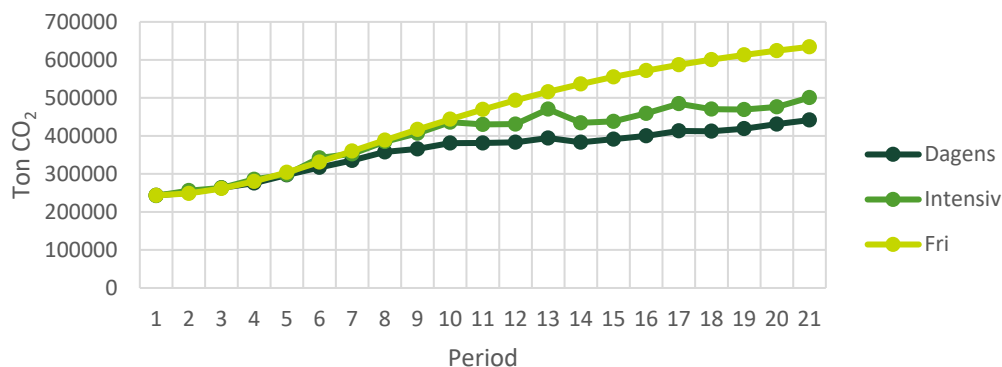


Figur 14. Substituerad CO₂ under 100 år, i ton CO₂.

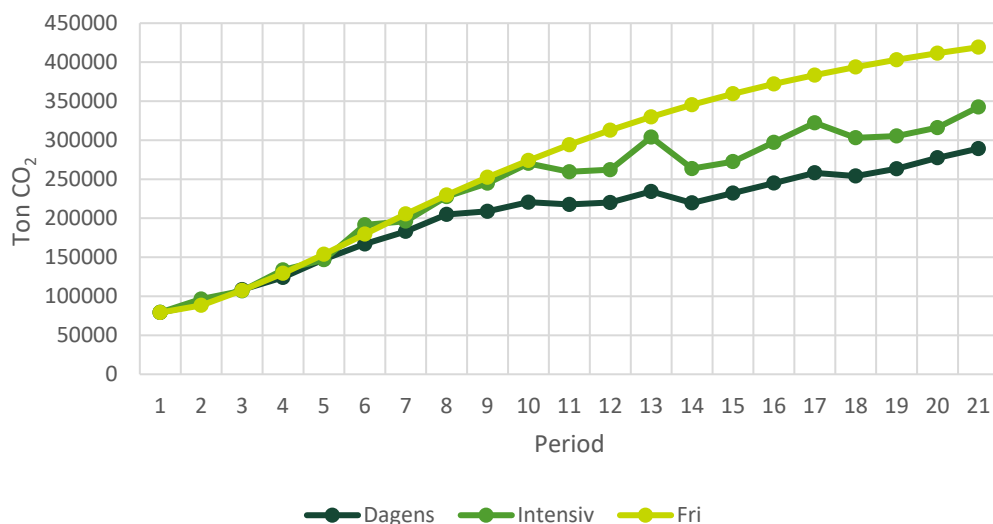


Figur 15. Ton CO₂ i träprodukter från fastigheten under en tidsperiod på 100 år. Varje period motsvarar en 5-årsperiod.

Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter för alla tre skötselscenarier resulterar i att *Fri* är det skötselscenariot som bundit in totalt sett mest CO₂ (figur 16). *Intensiv* med substitutionseffekten inräknad binder in mer CO₂ än *Dagens* som totalt bundit in lägst mängd CO₂ med substitutionseffekten inräknad. Fördelningen av resultatet är det samma med lägre total då enbart CO₂ lagrat i stammar tas i beräkning (figur 17).



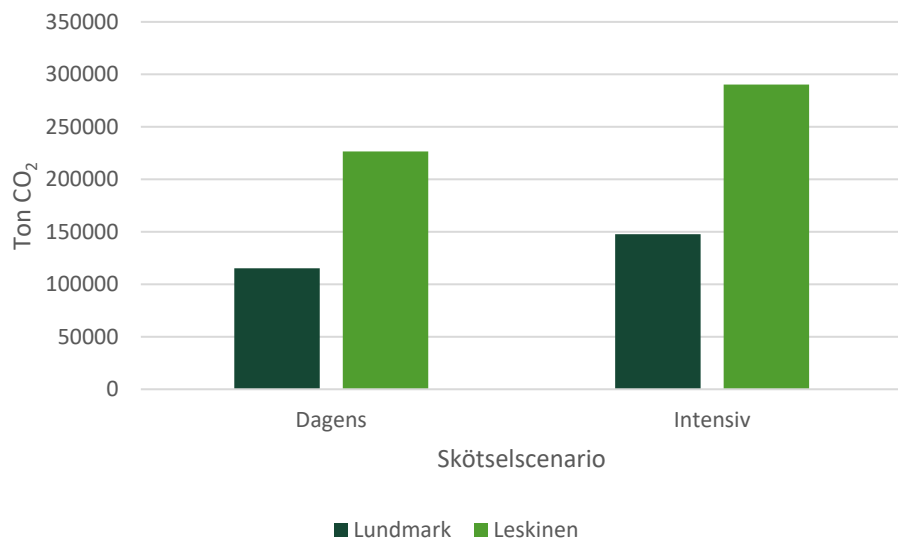
Figur 16. Totala fördelningen av koldioxidekvivalenter från fastigheten för de olika skötselscenariorna i ton CO₂.



Figur 17. Totala koldioxidekvivalenter från fastigheten men där skogens CO₂-förråd enbart avser den CO₂ som finns lagrat i levande träd i ton CO₂.

3.2.5 Känslighetsanalys

Substitutionseffekten för olika typer av ingångsvärden. Lundmark avser nettot av substitutionseffekten när drivningen är borträknad samtidigt som Leskinen avser bruttot av den totala substitutionseffekten (figur 18). Om Leskinens antagande används så skulle *Intensiv* ge en högre klimatnytta än *Fri* samt *Dagens* skulle nästan vara i nivå med *Fri* (figur 16).



Figur 18. Substituerad CO₂ under 100 år från två olika vetenskapliga studier, i ton CO₂.

4. Diskussion

Utifrån resultatet visas det att *Fri* är det skötselsystem som ger högst CO₂-inbindning och lagring av CO₂. Därefter kommer *Intensiv* och slutligen *Dagens*. När substitutionseffekten är inräknad är ordningen den samma med antagandet om klimatnytta på 470 kg CO₂ per avverkad kubikmeter. Virkesförrådet ökar kraftigt för *Fri* medan *Intensiv* och *Dagens* ligger på en jämn nivå under hela perioden. Virkesförrådet ökar något i början för *Dagens* samt *Intensiv* för att sedan sjuka ner till ett genomsnittligt virkesförråd runt 100 m³sk per ha. Detta skiljer sig från *Fri* som ökar i virkesförråd under hela perioden. Dock så minskar nettotillväxten för *Fri* från en hög nivå redan efter ca 35 år. Det kan förklaras av fastighetens åldersfördelning där skogen är mest mellan 16–40 år. Fastigheten har stora arealer ungskog, vilket bidrar till hög tillväxt och det ökande virkesförrådet i början av perioden. Mot slutet av planperioden har *Fri* börjat självgallra. Generellt så har *Intensiv* högst tillväxt vilket gödslingen bidrar stort till. Med 150 kg kväve per 10 år är tillväxteffekten stor vilket stämmer bra med det som redovisas i studien av Jakobsson (2020). Användningen av *Pinus Contorta* är också en bidragande faktor till den högre tillväxten.

Fri har mycket utrymme att växa innan det når en topp där självgallring börjar. Det syns dock i resultatet för *Fri* att när tidshorisonten börjar närma sig 100 år minskar inbindningshastigheten och tillväxten avtar. Samtidigt så fortsätter *Intensiv* att öka. Arbetet tar inte hänsyn till hur tillståndet ser ut efter 100 år men med detta resultat kan det anas att *Intensiv* kommer att gå om *Fri*, framför allt på grund av den ackumulerade substitutionseffekten som kommer fortsätta att öka. Detta är tydligare när endast CO₂ i levande träd tas i beräkning, då är skillnaden mellan *Fri* och *Intensiv* betydligt mindre. Resultatet tar inte hänsyn till några större stormar eller andra större skador som kan uppstå vilket är viktigt att ta i beaktning då resultatet av stående skog kan ändras avsevärt. Det är även intressant att fundera på huruvida det är rimligt att virkesförrådet för mestadels mager tallmark i Västerbottens inland går från att vara under 100 m³sk per ha i genomsnitt till att närma sig 500 m³sk per ha under en 100 års period. Med fastighetens åldersklassfördelning samt framför allt förekomsten större störningar är det mycket tveksamt huruvida detta är möjligt. Det är därför rimligt att resultatet för *Fri* kan

överskatta nyttan av CO₂-bindning och börja fundera på om det skötselscenariot verkligen är bäst i avseende till mängden bunden CO₂ som resultatet visar.

Resultatet för *Dagens* samt *Intensiv* visar att substitutionseffekten samt CO₂-förrådet i träprodukter har en väldigt stor inverkan på kolbalansen. Det är väldigt svårt att uppskatta markkolet från fastigheten och marktypen framgår inte i skogsbruksplanen. På resultatet för *Dagens* samt *Intensiv* så står substitutionseffekten tillsammans med CO₂-förrådet i träprodukter för en större andel av kolbalansen än CO₂ i levande träd. Det är därför av yttersta vikt att dessa faktorer är så exakta som möjligt för att resultatet ska bli trovärdigt och tillförlitligt.

4.1 Känslighetsanalys

Utan substitutionseffekten hade *Fri* haft ett ännu större övertag över de andra skötselscenarierna. Dock gällande substitutionseffekten finns olika studier som tyder på olika stor effekt av substitutionseffekten. Enligt resultatet uppgår skillnaden av två olika studier om substitutionseffekten till att Leskinens värden blir nästan dubbelt så höga som Lundmarks värden. Resultatets säkerhet påverkas således av skillnaden i värdena av den substituerade CO₂. Detta arbete utgick ifrån siffror från Lundmark et al. (2014). Det är möjligt att substitutionseffekten därav borde varit något högre än i våra försök än det faktiska resultatet. Leskinen et al. (2018) utgick från 51 olika studier om substitutionseffekten. Hur relevanta dessa studier är för det svenska skogsbruket är lite oklart. Där togs även ingen hänsyn till utsläppen kopplat till avverkningen vilket Lundmark et al. (2014) tog i beaktning.

För detta arbete gjordes analysen av klimatnyttan från träprodukterna med utgångsläget att substitutionseffekten samt CO₂-förrådet i träprodukter utgår från noll. Däremot så finns det redan produkter som produceras från tidigare avverkningar från fastigheten. Detta antagande tar således inte med den kulminerande substitutionen som redan finns idag. Det finns redan vid år 0 i simuleringen ett lager av CO₂ inlagrat i träprodukter för alla skötselscenarion som avger CO₂ när de bryts ner. Det här innebär att det enbart finns ett utsläpp av CO₂ för *Fri*, men för *Dagens* samt *Intensiv* fortsätter den här CO₂ poolen att underhållas/byggas på. Det är osäkert om vi vid slutet av försökets tidshorisont har nått den teoretiskt maximala mängden CO₂ som kan lagras i träprodukter. För *Intensiv* är det även möjligt att vi efter att ha nått den maximala lagrade mängden CO₂ i träprodukter att förrådet CO₂ i träprodukter minskar. Då *Intensiv* tillåts att planteras med *Pinus Contorta* kan detta leda till mindre volymer långlivade träprodukter i form av konstruktionsvirke. Däremot så kan mängden träprodukter med kortare livslängd komma att öka med den högre tillväxten. Det här i

kombination med potentiellt större avverkningsvolym och en högre substitutionseffekt är det inte säkert att den totala klimatnyttan minskar.

4.2 Tidsaspekten

Resultat kopplat till klimatförändringarna visar att på kort sikt är det bättre att låta skogen stå och binda in så mycket CO₂ som möjligt och att lagra det. Det kan dock vara så att skogsinnehavets låga ålder och därmed även förhållandevis höga tillväxt bidrar till att förstärka effekten av att låta skogen stå orörd. På längre sikt kan det vara bättre att bruka skogen intensivt för att maximera substitutionseffekten och lagringen i träprodukter, men det ligger utanför simuleringens tidshorisont. Då markkolet är relativt konstant över hela tidsperioden så skulle även resultatet ha blivit annorlunda om den högre substitutionseffekten har använts. Detta på grund av substitutionseffekten hade substituerat mer än 1 CO₂-molekyl för varje CO₂-molekyl träråvara. Den högre substitutionseffekten hade lett till att skötselscenariot *Intensiv* levererat den största klimatnyttan. Utsläppen för drivningen från skogsbruket är då inte inräknat vilket kan vara viktigt att ha i beaktning.

4.3 Skötselscenarionas trovärdighet

En annan viktig punkt att notera i detta arbete är exkluderingen av ekonomi. Det har inte gjorts några ekonomiska analyser av de olika scenarierna. Den ekonomiska faktorn i skogsbruket är oerhört viktig och är det som möjliggör de olika skötselmetoderna. Därav kan det vara svårt att motivera skötselscenariona *Fri* men även *Intensiv* då gödsling vart tionde år eventuellt inte är ekonomiskt lönsamt. *Fri* levererar inte några virkesinkomster från fastigheten då all skog lämnas för fri utveckling. Det är inte säkert att alla skogsägare har den ekonomiska möjligheten att lämna skogen för fri utveckling.

En genomgående analys av CO₂-utsläpp från skogsskötselåtgärder samt industrins vidareförädling har inte inkluderats i arbetet. Således är CO₂-balansen avgränsad till skogen och nyttan produkterna uppfyller. Ett utökat fördjupat arbete hade kunnat visat mer om den totala balansen mellan utsläpp och inbindning.

4.4 Felkällor

Vi kan även se att tidsaspekten är en oerhört viktig faktor. Med långa omloppstider hade det varit intressant att se hur de olika skötselscenariona utvecklas under en längre tid. Då vi inte har räknat med hur träprodukter samt substitutionseffekten

från fastighetens tidigare avverkningar påverkar de olika skötselscenariona hade det varit intressant att se hur resultatet förändras över några rotationsperioder. Med resultatet vi fått fram ser vi att klimatnyttan och mängden koldioxidekvivalenter från fastigheten ökar under hela tidsperioden oavsett skötselscenario. Störst klimatnytta under de första 100 åren gav skötselscenariot *Fri*. En tidsperiod på 100 år hade i det här fallet ingen påverkan på skötselscenarionas rangordning i förhållande till varandra.

Ytterligare en viktig aspekt i sammanhanget är konsumtionen av skogsprodukter. Om konsumtionen av träprodukter är densamma eller till och med ökar så spelar det mindre roll varifrån skogsråvaran kommer ifrån. Det är möjligt att skogsråvara från olika delar av världen med olika skötselsystem har olika stor miljöpåverkan, men här antar vi för enkelhetens skull att all skogsråvara har samma miljöpåverkan. Så länge som vi fortsätter samma konsumtion av skogliga produkter så spelar det mindre roll för klimatet om en del skog avsätts för fri utveckling. Då måste avverkningarna öka i någon annan del utav världen för att täcka upp för den minskade produktionen av skogsråvara till industrin. Detta innebär att all skog inte kan brukas som fri utveckling för att gynna klimatet. Det skulle dock eventuellt vara möjligt att kombinera olika skötselscenarion för att nå den maximala klimatnyttan. Områden med fri utveckling skulle kunna kombineras med områden som har ett extremt produktionsinriktat skötselprogram om mer skog ska kunna avsättas samtidigt som konsumtionen är kvar på samma nivåer.

4.5 Andra studier

I Lind (2021) analyseras en fastighets kolbudget med hjälp av en skogsbruksplan likt vår studie. Lind kommer fram till ett liknande resultat. Rapporten grundar sig mycket i samma källor som behandlar substitution. Fastigheten studerades dock bara under planperioden för en skogsbruksplan (10 år) med sköselförslagen som angavs i planen. För den brukade skogen så återfanns den största klimatnyttan i substitutionseffekten (Lind 2021). Vi får inte samma resultat efter de 10 första åren vilket kan förklaras av den låga åldersfördelningen och de låga avverkningsvolymerna. I slutet av simuleringshorisonten får vi liknande resultat där substitutionseffekten har den största nettoklimatnyttan i den brukade skogen.

4.6 Slutsats

Arbetet resulterar i att *Fri* ger den högsta klimatnyttan i form av högst bunden CO₂ under tidsperioden. *Intensiv* har näst högst bunden CO₂ och slutligen har *Dagens* lägst mängd bunden CO₂.

CO₂-lagringen över tid varierar stort mellan *Fri* och *Intensiv & Dagens*. Då både *Intensiv* och *Dagens* brukar skogen följer CO₂-lagringen ett liknande mönster men med skillnaden att *Intensiv* är mer effektiv i mängden bunden CO₂.

På de 100 år som analyserades så minskar tillväxten hos *Fri* medan substitutionseffekten ökar hos *Intensiv* och *Dagens*. Detta ger ett relativt abrupt slut då endast en omloppstid har passerat och då åldersklasserna var så låga når aldrig något scenario någon topp.

Med substitutionseffekten inräknad ger det en markant ökning av klimatnyttan för *Dagens* och *Intensiv*. Däremot att lämna den unga skogen för fri utveckling gav högst klimatnytta, även med substitutionseffekten inräknad för *Intensiv* och *Dagens*. Dock kan inkluderingen av substitutionseffekten ha en större betydelse om en längre tidsperiod än 100 år analyseras.

Referenser

- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselserien, kapitel 1, Skogsskötselns grunder och samband*
- Bergh, J., Egnell, G. & Lundmark, T. (2020). *Skogsskötselserien, kapitel 21, Skogens kolbalans och klimatet*. Skogsstyrelsen. [2022-03-04]
- Elfving, B., Ericsson, T. & Rosvall, O. (2001). The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. *Forest Ecology and Management*, 15
- EU (2020). *Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 (Text with EEA relevance)*. OJ L. <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj/eng> [2022-03-04]
- Europeiska kommissionen (2021). *Komplettering av Europaparlamentets och rådets förordning*. EU. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=PI_COM%3AC%282021%292800 [2022-03-04]
- Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. (1970). *Raven Biology of plants*. Eighth Edition. New York, USA: W. H. Freeman and Company Publisher.
- Forest Stewardship Council (2020). *Skogsbruksstandard 2020*. <https://se.fsc.org:443/se-se/standarder/skogsbruksstandard-2020> [2022-03-03]
- Jacobson, S. (2020). Tillväxteffekter efter skogsgödsling med kväve. *Skogforsk*, 16
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., Verkerk, P.J., & European Forest Institute (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation*. (From Science to Policy). European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>
- Lind, T. (2021). *Skogsbruksplan med kolbudget*. SLU. <https://www.slu.se/institutioner/skoglig-resurshushallning/omraden/Landskapsstudier/rikare-skog/rikare-skog-swe/CO2-FMP/> [2022-03-04]
- Lind, T. (n.d.). *Skogsbruksplan med kolbudget*. 26
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, 5 (4), 557–578. <https://doi.org/10.3390/f5040557>
- Lundmark, T., Bergh, J., Nordin, A., Fahlvik, N. & Poudel, B.C. (2016). Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio*, 45 (S2), 203–213. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0756-3>
- Malhi, Y., Baldocchi, D.D. & Jarvis, P.G. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment*, 22 (6), 715–740. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00453.x>
- Nabuurs, G.J., Masera, O., Andrasko, K., Benitez-Ponce, P., Boer, R., Dutschke, M., Elsdig, E., Ford-Robertson, J., Frumhoff, P., Karjalainen, T.,

- Krankina, O., Kurz, W.A., Matsumoto, M., Oyhantcabal, W., Ravindranath, N.H., Sanz Sanchez, M.J. & Zhang, X. (2007). *Forestry. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Pingoud, K., Skog, K.E., Martino, D.L., Tonosaki, M., Xiaoquan, Z. & Ford-Robertson, J. (2006). *Harvested wood products*. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_12_Ch12_HWP.pdf [2022-03-02]
- Regeringskansliet, R. och (2020). *En taxonomi för hållbara investeringar. Regeringskansliet*. [Text]. <https://www.regeringen.se/regeringspolitik/finansmarknad/taxonomi-ska-gora-det-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/> [2022-03-04]
- resource.pdf (n.d.). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d84ec73c-c773-11eb-a925-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF [2022-03-04]
- Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., van Diemen, R., Haughey, E., Malley, J., Pathak, M. & Portugal Pereira, J. (2019). *Technical Summary, 2019. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*
- Skogsstyrelsen (2020). Skogsvårdslagstiftningen gällande regler 1 april 2020. 95
- SkogsSverige (2020). *Omföringstabell för kubikmetermått*. SkogsSverige. <https://www.skogssverige.se/omvandlare> [2022-03-09]
- Ståhl, P.H. & Bergh, J. (2013). *Skogsskotselserien, kapitel 16, Produktionshojande åtgärder*
- Statistiska centralbyrån (2019). Markanvändningen i Sverige. SCB, *Statistiska centralbyrån*, Sjunde utgåvan, 187
- Statistiska centralbyrån (2021a). *Marken i Sverige*. Statistiska Centralbyrån. <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/marken-i-sverige/> [2022-03-04]
- Statistiska centralbyrån (2021b). *Utsläpp av växthusgaser*. Statistiska Centralbyrån. <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/utslass-av-vaxthusgaser/> [2022-03-08]
- Stora Enso (u.å.). *Substitutionseffekten*. <https://forest.storaenso.com/sv-se/hallbarhet-i-skogen/skogen-och-klimatet/substitutionseffekten> [2022-03-08]
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. (2011). *The Heureka forestry decision support system: an overview*. [Tidskriftsartikel]. <http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/MCFNS.3-87> [2022-03-02]

Tack

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Torgny Lind, Institutionen för skoglig resurshushållning SLU, som har stöttat oss genom hela arbetet med både stöd i Heureka och gett synpunkter på rapportskrivandet.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.