

Skogens förmåga att fungera som kolsänka

En dataanalys av skogsmetoder och dess kolinlagring

Kåre Bergengren

2024



LUNDS
UNIVERSITET

Kåre Bergengren
MVEK12 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet
Huvudhandledare: Nils Droste, Statsvetenskapliga institutionen, Lunds
universitet
Externa/biträdande handledare: Hanna Ekström, Statsvetenskapliga
institutionen
CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2023

Abstract

Mitigation of climate change as the main goal of the Paris Agreement aims to keep the global mean temperature at 1.5 °C. As of now daily global temperature are surpassing this threshold which indicates the urgency to reenact more work in limiting green house gas emissions and at the same time optimize sequestration of carbon dioxide already in the atmosphere. One key instrument to sequester carbon dioxide is the use forests. Numerous studies have been conducted on optimal harvest scenarios for providing climate benefits and the conclusions of these are contrasting. This study aims to further the analysis and to expand the knowledge of optimal harvest methods as a mean of sequester carbon dioxide in order to provide climate benefits. The study is composed of an analysis of two different forestry practices and how they compare in their carbon sequestration on a temporal scale. The two forestry practices compared are clear cutting and continuous cover forestry. This study shows that continuous cover forestry provides more climate benefits on a shorter time scale while clear cutting shows a larger net carbon sequestration in a longer timeframe. The results of the analysis also show that clear cutting may be a more efficient strategy later in the future, but this relies on that harvested wood material is being used in a way that does not release the carbon that has been sequestered. The overall conclusions are that continuous cover forestry provides greater climate benefits on a short timescale and that clear cutting provides marginal benefits on a longer timescale.

Populärvetenskaplig sammanfattning

När vi tänker på skog som till exempel Amazonas har vi en förståelse av att de är jordens lungor. Just det uttrycket är något som man fått höra många gånger. Skog är växtlighet som omvandlar koldioxid till syre. Med denna bild av vad skog är kommer det för sig att anta att just skog skulle fungera som ett perfekt instrument för att samla in koldioxid vi släpper ut i atmosfären. För att vi ska kunna motverka klimatförändringar de kommande åren behövs det arbete för att lista ut hur vi ska kunna minska koldioxidkoncentrationen. Det som är gynnsamt med skog är att nya teknologiska lösningar inte behövs, vi har ju redan ett naturligt instrument för att binda koldioxid för att minska koncentrationen.

För att vi ska kunna motverka klimatförändringar snabbt är det viktigt att vi studerar lösningar som på ett effektivt sätt minskar koldioxidkoncentrationen i luften. Denna studie har därmed som mål att analysera olika skogsbruksmetoder för att ta reda på vilken som är mest lämpad att tackla detta problem. För att vi ska kunna motverka de konsekvenser som klimatförändringar bidrar till behövs det ökad förståelse om våra naturliga kolsänkor.

Innehållsförteckning

Abstract 3

Populärvetenskaplig sammanfattning 5

Innehållsförteckning 7

Inledning 9

Tidigare forskning 9

Syfte och frågeställning 11

Frågeställning 12

Metod 13

Forskningssystemet 13

Dataanalys 14

Inställningar analys av trakthyggesbruk 15

Inställningar analys av hyggesfritt skogsbruk 15

Angränsningar 16

Etisk reflektion 16

Resultat 17

Diskussion 23

Slutsats 26

Tack 28

Referenser 30

Inledning

Ifall världen ska hinna möta klimatmålen uppsatta under Förenta nationernas 21 klimatkonferens i Paris krävs det skyndsamma och effektiva åtgärder för minskning av växthusgaser för att hålla den globala medeltemperaturen under 1.5 grader Celsius, samt att förebygga och ställa om samhällen för att möta konsekvenserna av global uppvärmning (United Nations, 2015). En del av arbetet är att minska koncentrationen av koldioxid i atmosfären. För detta finns det naturliga mekanismer som kan binda koldioxid till organiskt material. Ett sådant exempel är skogen.

För att motarbeta klimatförändringar diskuteras det ofta om hur skogen och skogsindustrin kan vara en koldioxidkälla för att minska koldioxidutsläppen (Liu & Han, 2009). Det är därav av intresse att kolla hur olika typer av skogar och skogsbruksmetoder fungerar som kolsänkor. Skog ägs av olika aktörer, ofta för att tjäna pengar på biomassan som växer där, men för att kolsänkan, som skogen kan vara, ska fungera är det viktigt att ta reda på optimala skogsbruksmetoder för att höja kapaciteten för kolsänkan utan att hindra de ekonomiska intressena väsentligt.

Det är av ytterst intresse att vidare studera konsekvenser av skyddsåtgärder för att säkerställa validiteten av dessa för att få ökad förståelse av de ekonomiska konsekvenserna för ökat skydd av miljö och klimat inom skogsvirkesproduktion.

Tidigare forskning

Skogar ses bland många som en resurs för klimatstrategier/resurs för att bemöta klimatförändringarna (Lundmark et al., 2014; Gustavsson et al., 2017; Liu & Han, 2009; Seppälä et al., 2019; Skytt et al., 2021). Det finns ett stort intresse av hur skogsresurser kan användas på ett effektivt sätt för att hantera klimatförändringarna (Lundmark et al., 2014; Gustavsson et al., 2017). Flera studier indikerar att skogar binder stora mängder koldioxid från atmosfären och kan erbjuda ett alternativ till fossilbaserade bränslen och material genom dess biomassa, för att i längden minska utsläppet av växthusgaser (Gustavsson et al., 2017; Seppälä et al., 2019; Werner et al., 2009).

En stor del av diskussionen om hur skog kan utnyttjas som ett instrument för att motverka klimatförändringar från fossila utsläpp handlar om metoder för skogsbruk, ofta om vilka som är bäst lämpade för att klara av klimatmål. Tidigare studier för fram kontrasterande resultat gällande optimala brukningsmetoder och avverkningsgrad (Gustavsson et al., 2017; Skytt et al., 2021; Werner et al., 2009). En viktig men omstridd faktor för optimal bindning av koldioxid är tidsaspekten. Skogsbruk i boreala (nordliga) regioner utgår ofta ifrån ett långsiktigt perspektiv, vilket vanligtvis innebär omkring 50-150 år fram i tiden. Kortsiktiga perspektiv ser istället till de kommande 30-50 åren (Skytt et al., 2021).

Skytt et al. (2021) understryker vikten av att utvärdera den kortsiktiga klimatpåverkan/klimatnytta av olika sorters skogsbruk. Medan studier som fokuserar på långsiktiga effekter tenderar att premiera skogsbruksscenario med hög avverkningsgrad, menar Skytt et al. (2021) att höga avverkningsnivåer resulterar i minskad klimatnytta både kort- och långsiktigt. Deras resultat visar att minskade avverkningsnivåer leder till ökad skogsproduktivitet kortsiktigt med betydande klimatnytta. Denna kortsiktiga klimatnytta, till följd av minskade avverkningsnivåer, är särskilt stor i mycket produktiva skogar ("highly productive forests"). Minskad avverkning av mindre produktiva skogar leder istället till färre men mer långsiktiga (positiva) effekter (Skytt et al., 2021).

Gustavsson et al. (2017), å andra sidan, menar att klimatnytta är mer relevant att se utifrån ett långsiktigt perspektiv. Med ett långsiktigt perspektiv kan skog binda koldioxid i högre grad vid hög nivå av skogsavverkning. För att den kumulativa luftburna koldioxiden ska minska och därmed motverka klimatförändringar i ett scenario med hög skogsavverkning så krävs det att biomassan från skogen substituerar fossilbaserade produkter i stor omfattning. Ett sådant exempel är produktion av byggnader. I stället för att producera byggnader av material som tillverkas med hjälp av fossila bränslen, som påskyndar klimatförändringar, kan dessa bytas ut mot trämassa. Gustavsson et al. menar att ökad produktion och skogsavverkning kan bidra till att minska den kumulativa koldioxidnivån genom att binda utsläppen i byggmaterial, till skillnad från att producera utsläpp i samband med produktion av byggmaterial, såsom cement (Gustavsson et al., 2017). Werner et al. (2009) menar också att ökad avverkning av skog bidrar till ökad koldioxidbindning i form av att binda koldioxiden till byggnader. Substitution av fossila bränslen för utvinning av energi skulle också kunna substitueras av bränslen producerade från trämassa för att minska den ackumulerande koldioxiden till atmosfären (Gustavsson et al., 2017).

Även om denna uppsats inte syftar till att utvärdera substitutionseffekten är det relevant att nämna några motargument. Enligt LeTurcq (2020) är effekterna av substitution (att ersätta fossilbaserade produkter med träprodukter) väldigt överskattade -- det kan till och med vara kontraproduktivt. Till att börja med menar han att utsläppsfaktorn av trä är högre än för något annat bränsle. Vidare överskattas ofta effekterna av material-substitution. Dessutom är de tidshorisonter som fastställts för att uppnå målen om minskade koldioxidutsläpp i de flesta fall kortare än det

potentiellt skulle ta för substitutionen att ge effekt. Även om det är möjligt att hitta gynnsamma substitutioner, exempelvis inom byggsektorn, blir utsläppsminskningarna marginella. Nyttjande av skogsvirke bör därför inte motiveras med hänsyn till klimatförändringarna (LeTurcq, 2020). Vidare räcker det inte att ersätta fossilbaserade produkter för att bemöta klimatförändringarna. Det är också essentiellt att reducera den koldioxid som redan finns i atmosfären, vilket skog kan bidra till genom dess koldioxidlagring (Moodaw et al., 2020).

Tidigare forskning som analyserat skogsbruk med hjälp av Heureka har fokuserat på många olika faktorer inom skogsplanering och validiteten i resultaten från programmen. Flera studier har haft ett huvudsakligt fokus på det ekonomiska värdet av produktionsskog i relation till hållbara anpassningar för skogsindustrin (Bakx et al., 2023; Gustavsson et al., 2017; Kroon et al., 2019; Nilsson et al., 2016).

Sammanfattningsvis råder kontrasterande perspektiv vad gäller vikten av tidsaspekten (kortsiktigt respektive långsiktigt perspektiv). Medan flera förespråkare för fokus på den långsiktiga aspekten har lyft betydelsen av substitution så har andra studier visat att substitution som klimatstrategi är opålitlig och i värsta fall kontraproduktiv. Det som är av relevans att fortsätta undersöka är skillnaderna mellan de temporala skillnaderna av olika skogsbruksmetoder. Tidigare forskning har inte studerat skillnader mellan skogsbruksmetoder som används i nuläget till samma utsträckning som skillnader i koldioxidbindning mellan olika grader av avverkning för samma sorts skogsbruksmetod.

Syfte och frågeställning

Som tidigare nämnt har skogen potential att spela en viktig roll i att lindra klimatförändringarna. Skogen reducerar koldioxidkoncentrationen i atmosfären genom att binda den i sin biomassa. Det är därför av stor relevans att fortsatt utveckla förståelsen för hur skog kan hanteras för att optimera dess koldioxidbindning, med målet att kunna nyttja skogens fulla kapacitet till att minska koldioxidnivån i luften och därmed lindra klimatförändringarna.

Syftet med studien är att jämföra och analysera olika skogsbruksmetoder för skogsbruk/produktionsskog för att ta reda på hur koldioxidupptag påverkas under olika metoder av skogsbrukning. I linje med den tidigare forskningen kommer denna studie undersöka hur bindningen av koldioxid påverkas under olika metoder av skogsbruk på kort sikt respektive lång sikt. Frågeställningarna är utformade med detta i åtanke. De två metoder som jämförs är trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk. Trakthyggesbruk skördar en stor areal av skog, ofta hela beståndet, vid samma tillfälle medan det hyggesfria skogsbruket enbart avverkar en mindre del av beståndet i taget.

Arbetet har utöver detta ett syfte att utöka kunskap som skogsbruk vilket kan bidra till mer informerat policyarbete och fördjupa förståelsen mellan olika typer av skogsbruk för skogsägare.

Frågeställning

- (1) Hur förhåller sig hyggesfritt skogsbruk i bindning av koldioxid jämfört med trakthyggesbruk i kort skit?
- (2) Hur förhåller sig hyggesfritt skogsbruk i bindning av koldioxid jämfört med trakthyggesbruk i lång skit?

Metod

Inledningsvis är det av intresse att definiera de två skogsbruksmetoder som används här: trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk. Trakthyggesbruk är det vanligaste skogsskötselsystemet i Sverige. I dessa är skogen enskiktad och består av träd i ungefär samma ålder och storlek. Vid slutavverkning skördas hela, eller nästintill hela, skogsbeståndet. Därefter planteras skogen om och under dess tillväxtfas genomförs gallringar (Enström, 1996). Hyggesfritt skogsbruk, i kontrast till trakthyggesbruk, definieras som en hanteringsmetod av skogsmark som innebär att bevara naturliga skikt på skogsmarker (Skogsstyrelsen, 2021). Begreppet är brett och innefattar ett flertal olika strategier för att bevara skogarnas naturliga aspekter, men är i det stora hela en metod för att motverka kalhuggning. Generellt sett behålls biologisk mångfald bättre med användandet av trakthyggesbruk (Hannerz, Saksa & Lundmark, 2017).

För att analysera och jämföra klimatnyttan mellan olika skogsbruksmetoder så kommer studien att genomföra simuleringar genom mjukvaruprogrammet Heureka. Detta är ett program för skogsanalys utformat för skogsplanering (se SLU, 2024). I denna del förklaras och motiveras studiens forskningsmetod.

Forskningssystemet

För att kunna analysera framtida utfall, såsom klimatnytta, är simuleringar ett bra verktyg. Simulering av skogsmodeller gör det möjligt att förutse framtida utfall beroende på hur skogen brukas och simplificerar analysprocesser för skogsbruk. Eftersom skog växer väldigt långsamt är det svårt att avgöra resultat från åtgärder för studier som görs på stående skog. Denna studie bygger på simuleringar genomförda i mjukvaruprogrammet *Heureka*, som är utformat för just skogsplanering. Heureka har använts i många tidigare studier för analys av skog i Sverige och ses som ett särskilt bra verktyg för just analys av skogsbestånd i Sverige (Lämås et al., 2023).

Heureka är ett mjukvaruprogram bestående av en programserie av fyra program för skogsanalys, producerat och underhållet av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Dess stora fördel är att det är fritt tillgängligt för den som vill genomföra simuleringar på skogsbestånd. Dessutom kan prognoser göras för ett stort antal variabler, såsom skogstillväxt och ålder, trädslagsfördelning, biomassa, kolhalt i trä och jord, och avkastning.

I denna studie används programmet *Heureka StandWise* som är en interaktiv simulator för analys av enskilda bestånd (SLU, 2024), och baseras på små skogsområden. Den inmatade datan som analyseras kan komma från programmet själv eller från insamlade, fält-mätta beståndsdata. I Heureka StandWise projekteras den simulerade skogen under femårsperioder med ett tak på 20 sådana perioder, motsvarande 100 år. Det innebär att användaren kan utföra kontinuerlig eller sporadisk skogshantering under simuleringens gång, såsom slutavverkning, gödsling och/eller gallring genom tidsserien. I denna studie gjordes dock en analys på samtliga perioder samtidigt, med automatisk skogshantering enligt mina förhandsinställningar (se *Dataanalys*). Under varje period kvantifieras data från beståndet, exempelvis hur mycket koldioxid som kunnat bindas i biomassan, och presenteras i form av tabeller eller som två- eller tredimensionella modeller (Lämås et al., 2023). Här kommer resultatet presenteras i tabeller.

Vidare erbjuder Heureka StandWise en relativt enkel struktur samtidigt som det är ett effektivt verktyg för att producera pålitliga resultat. Det är användarvänligt och kräver ingen tidigare kunskap om/erfarenhet av andra program för skogsanalys. Den enkla strukturen av programvaran har emellertid brister för analys av naturliga störningar såsom skador på skogsbestånd av granbarkborre och stormar. I takt med klimatförändring ökar riskerna relaterade till skador av skog (Mistra, 2022). Detta påverkar analyser av framtidsscenario eftersom klimatförändringar skapar osäkerheter om hur skogsbestånd påverkas vilket kan bidra till att resultatet av analysen blir osäker.

Dataanalys

Dataanalysen genomfördes med syfte att jämföra och analysera vad trakthyggesbruk respektive hyggesfritt skogsbruk leder till för koldioxidupptag, både på kort sikt och på lång sikt. Från Heurekas programserie har StandWise använts för att analysera skogsbeståndets koldioxidbindning under två olika skogshanteringsscenarion: trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk. Trakthyggesbruk bygger på att man skördar en stor areal av skog, ofta hela skogsbeståndet, som sedan planteras om. Det resulterar i att i princip hela skogsytan har samma ålder. Det hyggesfria skogsbruket, å andra sidan, avverkar enbart en liten del av beståndet genom så kallad blädning. Det avverkar skogen under kortare intervaller än trakthyggesbruket. Det leder till att skogens beståndsålder har träd av varierande åldrar och bildar succession, vilket innebär en lägre mängd ungskog och en större andel äldre skog än det för trakthyggesbruk. En hektar av skog har simulerats med en beståndsålder på 74 år, vilket innebär att den i startperioden är redo för avverkning, och med en majoritet av gran som trädslag. Den utförda analysen av de olika skogsbruksmetoderna gjordes med de förinställda inställningarna för att standardisera resultatet till maximal

utsträckning och motverka stora skillnader mellan dessa. Hela tidsperioden på 100 år (20 perioder) simulerades från start. Anledningen till att analysen görs på en tidsperiod på 100 år beror på, som beskrivs under *Avgränsningar*, att det är den maximala analysperioden i Heureka. Däremot förhindrar inte 100 årsgränsen i stor bemärkelse studiens syfte att undersöka skötselmetoderna trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk under både ett kort- och långsiktigt perspektiv. Skillnader bör kunna avläsas under den studerade tidsperioden.

Inställningar analys av trakthyggesbruk

I Heureka låter simuleringen av trakthyggesbruk användaren bestämma gallringsinställningar, typ av slutavverkning och föryngringsinställningar. Med gallring innebär det att under tidiga stadier efter föryngring tas träd bort för att öka kvarvarande trädens tillväxsförmåga. Gallringsstyrkan lades på 35%, ungskogsgallring och övriga gallringar var noll för lövskog och barrskog, med inställningarna för gallring ovan/nedan -0.2 och näst minst/minst och störst/näst störst -0.1. Inställningarna för bortsedd gallring beroende på höjd av träd låg på 7 centimeter och maximal gallringsstyrka låg på 40%. För slutavverkningsinställningarna var minsta diameter i slutavverkning 8 cm och typ av slutavverkning kalavverkning. Slutavverkning är avverkningsprocessen under trakthyggesbruk som innebär att ytan som avverkas skövlar hela skogsbeståndet. Efter inställningar om slutavverkning bestäms föryngringsinställningar. Föryngring är det som sker efter avverkning i form av plantering av nya träd på ytan för att återplantera det avverkade skogsbeståndet. Som i föregående inställningar används de förinställda inställningarna, vilket innebar föryngringsmodellen "*Simulation*", föryngringsår 2, plantering som metod, 1 år som markberedningsår, plantantal per hektar 1700, trädslag som gran och planttyp som täckrotsplanta.

Inställningar analys av hyggesfritt skogsbruk

Simulationen av hyggesfritt skogsbruk låter användaren justera inställningar för blädning. Blädning innebär att skapa och behålla en skogsyta i skikt för åldern på beståndet. Gallringsstyrkan lades på 35% med blädning inställningar för lövskog och granskog på 0, över och under blädning på 0.1, näst minst/minst på 0 och störst/näst störst på 0.2. Utöver detta var inställningarna för bortsedd gallring beroende på höjd på 8.0 cm och maximal gallringsstyrka på 40%.

Avgränsningar

Avgränsningar har gjorts med studiens begränsade omfattning och tidsspann i åtanke. Arbetet har begränsats till en analys av två metoder för skogsbruk, snarare än ett flertal olika metoder, för att kunna producera resultat och analys inom en kort tidsram. Dessa är trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk (vilka beskrivs mer utförligt under *Dataanalys*). Användning av en större mängd metoder för skogsbruk hade emellertid varit fördelaktigt då det potentiellt kunnat ge ett mer nyanserat resultat.

En andra avgränsning har gjorts utifrån programvaran. Eftersom att Heureka bara kan analysera skogsbestånd under upp till 100 år så går det inte att få en riktigt långsiktig projicering, för att verkligen pröva den tidigare forskningen. Även om det hade varit optimalt att undersöka upp till 150 år så är Heureka ett användarvänligt program vilket har underlättat för att följa denna studies tidsbegränsning. Å andra sidan behövs en snabb och effektiv klimatomställning, vilket kan argumentera för att en tidsperiod på 150 år är alldeles för lång tid. Programvaran Heureka StandWise är ett av de simplaste programmen i Heureka.

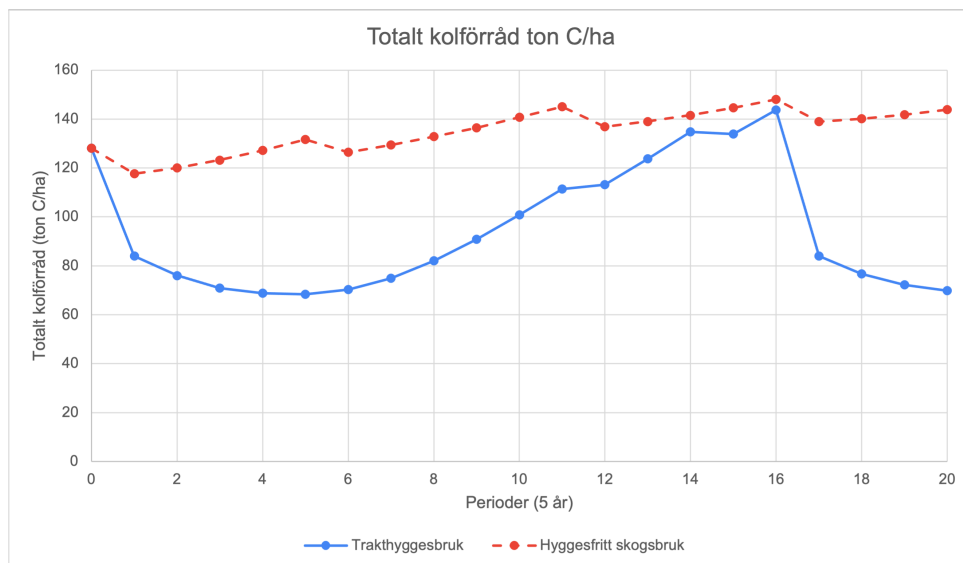
Etisk reflektion

Under studiens gång har etiska riktlinjer tagits i beaktande. Eftersom att det är fränkopplat interaktioner med människor så är sådana etiska riktlinjer mindre relevanta. Arbetet kommer främst att ske i dataprogrammet Heureka och dess frågeställningar baseras på tidigare forskning. Vad som blir än viktigare är därför att tydligt redogöra var informationen kommer ifrån. Studien strävar efter att presenteras så tydligt som möjligt, med metoder och resultat öppet redovisade, i syfte att stärka dess transparens och reproducerbarhet. Ett sådant exempel är att tydliggöra att resultaten är baserade på en simulation och inte på analyser genomförda i fält.

Resultat

Denna studie ämnar att jämföra och analysera trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk för att ta reda på hur koldioxidupptag påverkas under olika metoder av skogsbrukning. Detta har gjorts genom simuleringar i programmet Heureka under 20 femårsintervall, vilket motsvarar 100 simulerade år. Dessa perioder benämns i nummerordning noll till 20 där noll motsvarar år noll och 20 motsvarar år 100. I analysen användes ett simulerat skogsbestånd med beståndsåldern 74 år. Skogsbeståndet var därmed redo för avverkning direkt under första femårsperioden.

Inledningsvis analyserades det totala kolförrådet per hektar för varje femårsperiod på undersökningsytan, se graf 1. Alltså visar graf 1 hela simuleringsperioden på 100 år. Mellan period noll och ett observeras en minskning av kolförrådet till följd av avverkning av skogsbeståndet. Tillväxt av skogsbeståndet observeras sedan som en ökning av kolförrådet. Skillnaderna mellan trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk i minskat kolförråd mellan dessa perioder beror på att trakthyggesbruket avverkar hela skogsbeståndet medan det hyggesfria skogsbruket enbart avverkar en liten del av beståndet. Det hyggesfria skogsbruket avverkar skogen under kortare intervall än trakthyggesbruket i form av blädning i stället för kalhuggning vilket kan observeras i minskningen av kolförrådet mellan period fem och sex, elva och tolv och slutligen 16 och 17 för det hyggesfria skogsbrukningsscenario. Gällande scenario för trakthyggesbruk så minskar kolförrådet drastiskt under två tillfällen, mellan period noll och ett och sedan mellan period 16 och 17 till följd av kalhuggning. De två dipparna av tillväxt mellan period 11 och 12 respektive 14 och 15 för trakthyggesbruk är ett resultat från gallring.

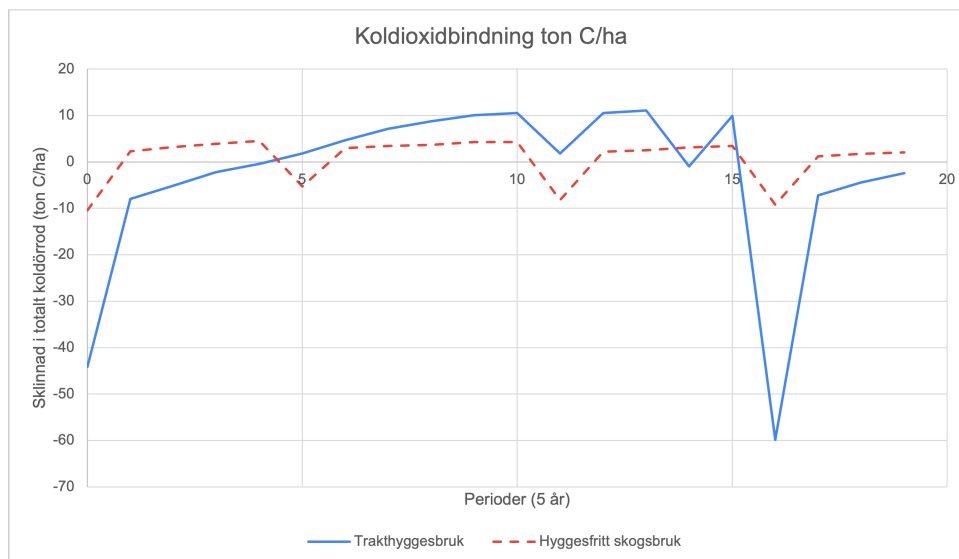


Graf 1

Grafen beskriver det totala kolförrådet per hektar för varje femårsperiod på undersökningsytan. Avverkningsåren visar data för kolförrådet innan skörd, vilket resulterar i ett lägre kolförråd perioden efter avverkning. Den blåa heldragna linjen beskriver kolförrådet för skogsbrukningsmetoden trakthyggesbruk och den röda streckade linjen beskriver kolförrådet för skogsbrukningsmetoden hyggesfritt skogsbruk.

Vidare analyseras beståndets koldioxidbindning under trakthyggesbruk respektive hyggesfritt skogsbruk. I graf 2 presenteras förändringen mellan två femårsperioder för det totala kolförrådet på det simulerade skogsbeståndet. Eftersom ingen förändring kan avläsas innan simulationsstarten som börjar i period 0 så representerar period 0 i graf 2 förändringen i kolförråd mellan period 0 och period 1. Eftersom avverkning sker efter period 0 i båda skogsbrukningsscenarioerna blir den första data punkten negativ då kolförrådet minskar. Positiva värden för koldioxidbindning betyder att skogen binder koldioxid från atmosfären och växer, medan de negativa värdena innebär en förlust av träd på ytan, till följd av exempelvis naturliga störningar eller avverkning. Eftersom negativa värden av koldioxidbindning förhåller sig till tillfällena för avverkning så tyder det på att resultatet representerar just detta.

Det som kan urskiljas från graf 2 är att tillväxten för skogsbeståndet under hyggesfritt skogsbruk sker mer konsekvent och under en totalt längre tid än för trakthyggesbruket. Scenariot för trakthyggesbruk tar lång tid efter avverkning att producera mer skog än vad som försvinner för beståndet på fyra stycken femårsperioder, motsvarande 20 år. Däremot är kolbindningen mer intensiv för trakthyggesbruk än för hyggesfritt skogsbruk, vilket tyder på att skogen växer snabbare för trakthyggesbruk.



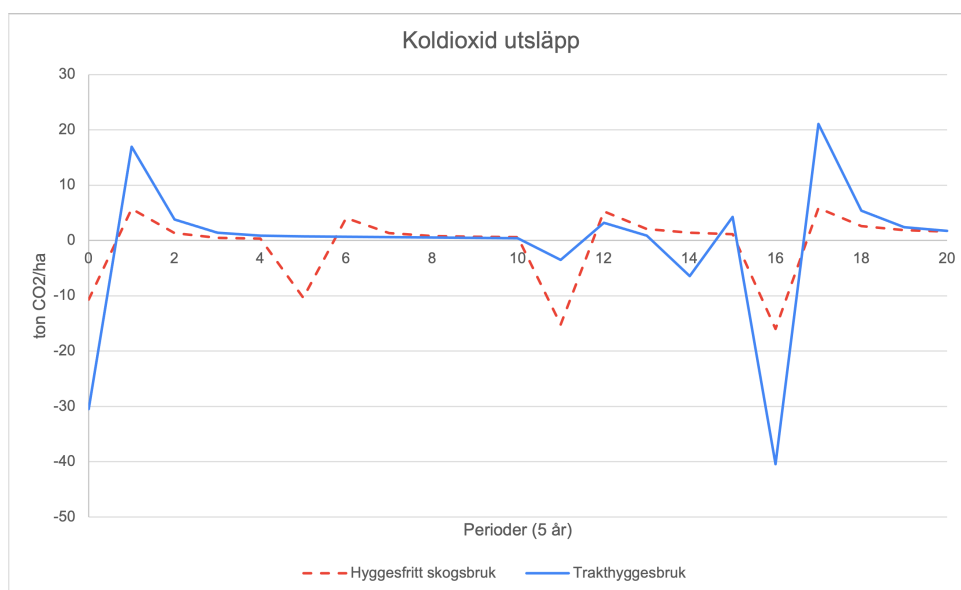
Graf 2

Grafen beskriver skillnaden i totalt kolförråd mellan en period och den föregående, e.g. kolförrådet för period 2, minus kolförrådet för period 1. Den blåa heldragna linjen beskriver kolförrådet för skogsbruksmetoden trakthyggesbruk och den röda streckade linjen beskriver kolförrådet för skogsbruksmetoden hyggesfritt skogsbruk. Eftersom ingen skillnad kan mätas för period 0 är den första mätningen (period 0 i graf 2) skillnaden för det totala kolförrådet mellan period 0 och 1. Minusvärden betyder förlorad biomassa i form av avverkning eller utsläpp av koldioxid mellan perioderna.

Fortsättningsvis kan koldioxidutsläppen för det simulerade skogsbeståndet förankra sig i de produkter som produceras av det avverkade trädslaget på analysområdet, se graf 3. Materialet som producerats var andelen 0,49 såg trä, 0,017 träpaneler och 0,44 trämassa. Halveringstiden för förbrukning av materialet var för såg trä 35 år, träpaneler 25 år och trämassa 2 år. I graf 3 representerar negativa värden det ansamlade koldioxiden i form av koldioxidbindning till skogsbeståndet, som sedan avverkas och omvandlas till olika produkter. När dessa produkter senare förbrukas och bränns upp så omvandlas de till koldioxidutsläpp och tilldelas beståndets koldioxidutsläpp i simulationen. De positiva värdena på graf 3 betyder därmed att trädslaget från avverkning av beståndet har förbrukats och producerat koldioxidutsläpp. Skogen binder konsekvent under tillväxtperioden koldioxid men den uppsamlade koldioxiden presenteras enbart i graf 3 då avverkning sker då uträkningen är kopplad till produkterna producerat av skogsbeståndet.

Slutligen skiljer sig koldioxidbindningen temporalt. I tabell 1 presenteras det ackumulerade koldioxidutsläpp och upptag under den simulerade tidsperioden. Resultatet är baserat på data som sammanställts i graf 3, därmed på samma principer med uträkningar från de produkter som producerats från den simulerade skogen.

Under de första 50 åren efter första avverkningen har hyggesfritt skogsbruk större koldioxidbindning än för trakthyggesbruk. Senare under den simulerade tiden ökar koldioxidbindningen för båda skogsbrukningsscenariona där trakthyggesbruk har större nivå av koldioxidbindning än hyggesfritt skogsbruk. Skillnaderna mellan de två brukningsmetoderna under hela tidsperioden på 100 år är mindre än skillnaderna för de uppdelade korta tidsperioderna, men även där så har trakthyggesbruk bundit mer koldioxid än hyggesfritt skogsbruk.



Graf 3

Grafen beskriver koldioxidutsläppet av produkter producerade av det avverkade träden på den undersökta ytan. Negativa värden på grafen är det bundna koldioxidutsläppen i det skörda träden av det analyserade beståndet och positiva värden på grafen är utsläppen av produkterna efter användning. Den blåa heldragna linjen beskriver kolförrådet för skogsbrukningsmetoden trakthyggesbruk och den röda streckade linjen beskriver kolförrådet för skogsbrukningsmetoden hyggesfritt skogsbruk.

Tabell 1

Tabellen visar koldioxidutsläppen och upptaget av produkter producerat av trä till följd av skörden av det simulerade skogsbeståndet. Kategorierna är uppdelade mellan de första 50 åren, de efterkommande 50 åren och sedan hela analysperioden på 100 år för trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk.

| Femårsperioder | Koldioxidutsläpp Trakthyggesbruk (ton CO ₂ /ha) | Koldioxidutsläpp Hyggesfritt skogsbruk (ton CO ₂ /ha) |
|----------------------------|--|---|
| Perioder 0–10 (År 0–50) | -4,01 | -5,60 |
| Perioder 11–20 (År 60–100) | -11,40 | -9,37 |
| Hela tidsperioden (100 år) | -15,42 | -14,97 |

Diskussion

Syftet med studien har varit att jämföra två olika skogsbruksmetoder: trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk, och deras klimatnytta när det kommer till att binda koldioxid från atmosfären. Genom att analysera det totala kolförrådet för ett skogsbestånd och sedan jämfört förändring mellan perioder har kolbinding kunnat analyserats. Utöver detta så har utsläppen för beståndet i form av det material som producerats av avverkning analyserats. Resultatet av analysen visar att scenariot för hyggesfritt skogsbruk har högre koldioxidbindning än trakthyggesbruk på kort sikt. Liknande slutsatser har gjorts i tidigare studier, där lägre avverkningsnivå har större klimatnytta på kortare sikt, men att ökad avverkning bidrar till större klimatnytta med ett längre tidsperspektiv (Lundmark et al., 2014; Skytt et al., 2021). De skogsbruksmetoder som har analyserats här kan jämföras med låga och höga avverkningsnivåer eftersom hyggesfritt skogsbruk innebär att mindre mängder av ytan skördas än vid trakthyggesbruk under samma tidsperioder.

Vidare indikerar resultatet för trakthyggesbruk att det binder koldioxid mer effektivt under sin tillväxtperiod än vad hyggesfritt skogsbruk gör. Eftersom en ung skog växer snabbare än en äldre skog ger det upphov till just detta. Som tidigare nämnt bygger trakthyggesbruk på att man skördar en stor areal av skog som sedan planteras om och växer upp med ett bestånd av träd som besitter samma ålder. Trakthyggesbruk som skötselmetod resulterar i stora mängder av ung skog efter slutavverkning, medan hyggesfritt skogsbruk leder till att skogens beståndsålder bildar succession vilket leder till lägre mängd ungskog och större andel av äldre träd. Då yngre skog binder koldioxid mer effektivt än vad äldre skog gör är det mer effektivt att ha en yngre beståndsålder i stället för att behålla äldre träd som inte binder koldioxid i samma grad som ett yngre skogsbestånd. Vid första anblick indikerar detta att trakthyggesbruk kan fånga upp mer koldioxid från atmosfären på ett effektivt sätt och i längden större mängd koldioxid. Detta bygger däremot på att materialet används och bevaras utan att släppa ut det uppsamlade koldioxiden.

Det som är viktigt för att skogen ska kunna fungera som kolsänka är att materialet som blir uttaget av skogsbestånd senare inte släpper ut koldioxid tillbaka i atmosfären i följd av uppbränning eller nedbrytning. Ett skogsbestånd som får stå och växa sig större utan avverkning skulle binda mer kol än avverkad skog som senare inte kommer till användning och skulle i så fall brytas ner och släppa ut den koldioxid den bundit. Ett hyggesfritt skogsbruk låter en större mängd av beståndet att stå kvar i stället för att avverkas för att sedan förbrukas och bidra till koldioxidutsläpp.

Hyggesfritt skogsbruk bidrar till större koldioxidupptag än trakthyggesbruk under de första 50 åren i de simulerade scenarierna när man studerar vad materialet används till. Detta kan bero på att två avverkningsstillfällen har skett under den tidsperioden i simulationen till skillnad från trakthyggesbruket som enbart genomgått ett tillfälle av avverkning. Det som tyder på att hyggesfritt skogsbruk binder mer koldioxid under ett kortare tidsperspektiv för analysen till skillnad från trakthyggesbruk är att beståndet behåller en stor andel av skogen som fortsätter växa kontinuerligt medan trakthyggesbruket avverkar hela skogsarealen. Efter avverkning tar det sedan 20 år förens koldioxidbindningen är större än utsläppen för trakthyggesbruk. Skillnaderna för det ackumulerade koldioxid utsläpp för trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk efter 100 år är marginella jämfört med resultatet efter 50 år. Det kortsiktigt ökade upptaget av koldioxid för hyggesfritt skogsbruk jämfört med trakthyggesbruk stämmer överens med studien utförd av Skytt et al. (2021), som menar att reduktion av koldioxid i atmosfären görs mest effektivt ifall avverkning av skog minskar från dagens nivå.

Skogen i ett naturligt tillstånd är ett kretslopp av koldioxidutsläpp och upptag. Kol som har bundits till växtlighet släpps ut igen när organismen bryts ner efter att den dött. För att koncentrationen av koldioxid i atmosfären ska minska med hjälp av skog krävs det att det avverkade eller döda trädet inte bryts ner igen och i stället binds i en expanderande skog eller alternativt till produkter som kan bevaras under lång tid (Lundmark et al., 2014; Leturq, 2020).

Det ska påpekas att programvaran *StandWise*, har sina brister när det kommer till framtidsanalyser. Klimatförändringar i sig kan ha konsekvenser på skog vi inte kan förutspå, vilket skulle kunna ändra de förutsättningar för tillväxt som skogen har idag. Mer intensiva stormar, granbarkborres angrepp och skogsbränder har potential att bli mer frekventa under kommande framtid vilket skulle ha stora konsekvenser på skogsbruk och dess förmåga att fungera som kolsänka. Heureka är även bristande att väga in dessa konsekvenser (Mistra, 2022; Skytt et al., 2021), vilket har lett till att antaganden för förutsättningarna under hela analysen har varit i linje med nuläget normalväxt. Det råder mycket osäkerhet ifall framtiden kommer se ut så i verkligheten, så där med ska det understrykas att analysen har gjorts på en teoretiskt simulerad skogsbestånd.

Ytterligare har analysen enbart gjorts enligt standardparametrarna för programmet *StandWise*. Detta leder till att resultatets trovärdighet kan vara svagt. Begränsningar som valdes under arbetet ledde till att enbart förinställda värden användes under analysen. För att få ett större perspektiv på koldioxidupptag av skogen under olika skogsbruksmetoder skulle det vara fördelaktigt att analysera skogsbeståndet med olika värden i parametrarna för att få större insyn i vilka faktorer som har störst påverkan mellan skogsbruksmetoderna.

Andra faktorer som inte analyserats i studien är ekologiska faktorer som kunnat bidra till koldioxidbindning och utsläpp. Få studier ha gjorts på hur hyggesfritt skogsbruk förhåller sig till trakthyggesbruk när det kommer till biologisk mångfald,

men diskussionen lutar åt att hyggesfritt skogsbruk ger upphov till bättre förhållanden för ekosystems biologiska mångfald, vilket hade kunnat öka skogens motståndskraft mot klimatförändringar (Hannerz, Saks, & Lundmark 2017), som hade kunnat påverka förmågan att binda koldioxid under förändrade klimatscenarion.

Slutsats

Syftet med denna studie har varit att jämföra och analysera olika skogsbruksmetoder för att undersöka hur skogens koldioxidupptag påverkas över tid beroende på metod. Mer specifikt har studien kollat på trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk. Genom simuleringar utförda genom programmet Heureka StandWise har en tidsperiod på totalt 100 år undersökts, uppdelat i 20 stycken femårsperioder. Resultatet indikerar att hyggesfritt skogsbruk har högre koldioxidbindning än vad trakthyggesbruk har på kort sikt. På lång sikt binder trakthyggesbruk mer koldioxid än vad hyggesfritt skogsbruk gör, men skillnaderna mellan det ackumulerade koldioxidutsläppen är mindre efter 100 år jämfört med vid 50 år.

Resultat i denna studie bidrar till ökad förståelse kring hur skogshantering kan vara ett instrument för att binda koldioxid från atmosfären och vilka strategier som implementeras idag av skogsindustrier kan fungerar mest optimalt med olika tidsperspektiv.

Som tidigare nämnt har skogen potential att spela en viktig roll i att lindra klimatförändringarna. Skogen reducerar koldioxidkoncentrationen i atmosfären genom att binda den i sin biomassa. Det är därför av stor relevans att vi fortsatt utvecklar vår förståelse för hur skog kan hanteras för att optimera dess koldioxidbindning, med målet att kunna nyttja skogens fulla kapacitet till att minska koldioxidnivån i luften och därmed lindra klimatförändringarna. För vidare studier av olika skogsbruksmetoder hade det varit intressant att även studera flera olika typer av hyggesfritt skogsbruk tillsammans med olika nivåer av avverkning med trakthyggesbruk för att få en bredare och djupare förståelse för de mest optimala metoderna för öka skogens klimatnytta. Det är också av intresse att inkludera miljöfrågor som biologisk mångfald och dess roll för skogen som kolsänka samt att analysera skogsutveckling under konsekvenser av klimatförändringar.

Tack

Jag vill börja med att tacka Nils Droste för att du fick mig att tro på mitt arbete och handledde mig i rätt riktning samtidigt som du blev pappa. Stort grattis till att du blivit pappa. Stort tack ska också riktas till Hanna Ekström som hjälpte till ända fram till inlämning.

Johanna som suttit och stötta mig under hela processen över telefon trots att du själv hade mycket för dig vill jag tacka enormt mycket. Med dig har arbetet känts mycket lättare.

Referenser

- Bakx, T. R. M., Trubins, R., Eggers, J., Akselsson, C. (2023). The effect of spatial and temporal planning scale on the trade-off between the financial value and carbon storage in production forests. *Land Use Policy*, 127, Article 106583. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106583>
- Enström, J. (1996). Grundbok för skogsbrukare. Jönköping: Skogsstyrelsen
- Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundström, A., Ortiz, C.A., Sathre, R., Truong, N.L., Wikberg, P. (2017). Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, s. 612-624. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.056>
- Hannerz, M., Saksa T., & Lundmark, T. (2017). "Hyggesfritt skogsbruk i Sverige och Finland - metoder, omfattning och regelverk" i Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (red.), Hyggesfritt skogsbruk: Erfarenheter från Sverige och Finland. *Future Forests Rapportserie*, 2017:1. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, 74 sidor.
- Kroon, J., Bergsten, U., & Sonesson, J. (2019). Increasing production value in Scots pine plantation through mixing with lodgepole pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(8), 689–698. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1695909>
- LeTurcq, P. (2020). GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. *Scientific Reports*, 10:20752. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77527-8>.
- Liu & Han, (2009).
- Lundmark, T. et al. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, vol. 5(4), s. 557-578. <https://doi.org/10.3390/f5040557>.
- Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E., Wikberg, P., Wikström, P., Eggers, J. (2023). The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1163105>
- Mistra (2022). Heureka systemet uppdateras för ett förändrat klimat. Mistra Digital Forests hemsida. Publicerad 25 mars 2022. Tillgänglig: <https://www.mistradigitalforest.se/nyheter/heureka-systemet-uppdaterat-for-ett-forandrat-klimat/>

Moodaw, W., Law, B.E., Goetz, S. (2020). Focus on the role of forests and soils in meeting climate change mitigation goals: Summary. *Environmental Research Letters*, vol. 15(4). DOI: [10.1088/1748-9326/ab6b38](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6b38).

Nilsson, U., Berglund, M., Bergquist, J., Holmström, H., & Wallgren, M. (2016). Simulated effects of browsing on the production and economic values of Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(3), 279–285. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1099728>

Sveriges lantbruksuniversitet [SLU] (2024). The Heureka System. Uppdaterad 10 april 2024. Tillgänglig: <https://www.slu.se/en/research/research-excellence/research-infrastructure/instrument/the-heureka-system/>.

Skogsstyrelsen (2021). Hyggesfritt skogsbruk: Skogsstyrelsens definition. Rapport 2021/8. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2021-8-hyggesfritt-skogsbruk---skogsstyrelsens-definition.pdf>.

Skytt, T., Englund, G., Johnsson, B. (2021). Climate mitigation forestry — temporal trade-offs. *Environmental Research Letters*, vol. 16(11). DOI: 10.1088/1748-9326/ac30fa.

United Nations (2015). Paris Agreement. Reference: C.N.63.2016.TREATIES-XXVII.7.D. United Nations, Paris.

Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E., Kaufmann, E. (2009). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy*, vol. 13, s. 72-85. DOI: 10.1016/j.envsci.2009.10.004.