



Olika skötselalternativs påverkan på kolinlagringen i boreala skogar

Jämförelse mellan fyra olika skötselalternativ som används i svenskt skogsbruk

Cornelia Samuelsson och Johan Andersson

Kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Jägmästarprogrammet
Kandidatarbete I Skogsvetenskap • 2023:19
Umeå 2023



Olika skötselalternativs påverkan på kolinlagringen i boreala skogar. Jämförelse mellan fyra olika skötselalternativ som används i svenskt skogsbruk

The effects of different management systems on carbon sequestration in boreal forests.

Cornelia Samuelsson och Johan Andersson

Handledare: Karl-Erik Johansson, Sveriges Lantbruksuniversitet
Bitr. handledare: Back Tomas Ersson, Sveriges Lantbruksuniversitet
Examinator: Examinatorns namn, universitet, institution

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod: EX0911
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2023
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Kandidatarbeten i skogsvetenskap
Delnummer i serien: 2023:19

Nyckelord: kolbalans, klimatmål, hyggesfritt, trakthyggesbruk, Heureka

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

Politiken är tydlig i vad som måste hända för att motverka en global klimatkris; utsläppen måste minska och inlagringen måste öka. De antagna målen är satta i etapper där det sista innebär ett netto-nollutsläpp till 2045, och efter det ska Sverige vara en kolsänka. Skogen är enormt viktig för denna utveckling, och inlagringen kommer att ge tid åt att anpassa beteenden för att bruka skogen hållbart och vara mindre fossilberoende. Då skogen har långa omloppstider talar vi ofta långsiktigt när vi diskuterar dess klimatnytta, men hur maximerar vi nyttan av den kortsiktigt?

Syftet med denna studie var att sammanställa olika skötselsystems effekt på kolförrådet i gran (*Picea abies*) och tallskog (*Pinus sylvestris*) efter 20 år. Indatat hämtades ur två bestånd i Västmanland för att skapa beslutsunderlag åt fastighetsförvaltaren. De olika skötselstrategierna simulerades i Heureka PlanVis. Studien tar inte substitutionseffekten i hänsyn, på grund av dess komplexitet.

Efter 20 år är kolförrådet som störst i de bestånd som gödslats och därefter lämnats orört. Det vore orealistiskt att sköta all skog på detta sätt så därför läggs fokus på de system vilka genererar ett uttag; trakthygges- och hyggesfri skötsel. För både gran och tall har hyggesfritt ett större kolförråd, ävenså är gran mer lämplig för hyggesfri skötsel. Först efter 20 år börjar kolförrådet återigen växa i trakthyggesbrukad skog. Detta ger en fingervisning till hur viktigt val av skötselsystem är, trots att ett storskaligt beslutsfattande kräver mer omfattande undersökning av främst substitutionseffekten.

Abstract

The policy is clear in what needs to be done to counteract a global climate crisis; the emissions must decrease, and the sequestration must increase. The goals are set in phases, where the last one implies a net zero emissions in 2045, after which Sweden will become a carbon sink. The forest is of critical importance for this to happen. Due to its long rotation periods, we tend to look at forests long term climate benefits, but how do we maximize the benefits in a short time?

The purpose of this study was to compile the effects on carbon sequestration made by different forest management systems in pine (*Pinus sylvestris*) and spruce (*Picea abies*) forests after 20 years. Two stands in Västmanland were selected, to get empirical data for the study. The different management strategies were simulated in Heureka PlanWise. The study does not account for substitution effect, due to it being too complex.

The carbon stock after 20 years was largest in the stand that had been fertilized and thereafter left for free development. It would be unrealistic to manage all forests this way, so our focus was on the systems which grants a harvesting yield; clear cutting and continuous cover forestry. For both pine and spruce the CCF granted a larger carbon stock, as well as spruce being more suited for CCF. After 20 years, the carbon stock begins to increase again in CC forests. This is an indicator of how important choice of management system is, albeit large-scale decision making demands a more thorough investigation of mainly substitution effect.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1 Hållbart skogsbruk	6
1.2 Kolinlagring	7
1.2.1 Kolkällor och kolsänkor	7
1.2.2 Markens kol	9
1.2.3 Kol i levande biomassa	9
1.2.4 Sätt att beräkna kol	10
1.2.5 Enheter i denna studie	11
1.3 Problembakgrund	11
1.4 Syfte och frågeställning	12
2. Metod	13
2.1 Dataunderlag	13
2.2 Heureka	14
2.2.1 Högst nuvärde	15
2.3 Avgränsningar	15
3. Resultat	17
4. Diskussion	19
4.1 Tidigare studier inom ämnet	19
4.2 Lärdomar ur vårt resultat	20
4.3 Styrkor och svagheter med studien	20
4.4 Behov av vidare forskning	21
4.5 Slutsatser	22
Referenser	23
Tack 27	
Bilaga 1 – studiens indata	28
Bilaga 2 – studiens skötselalternativ	29
Bilaga 3 – 990s utveckling över 100 år	30
Bilaga 4 – Trekantens utveckling över 100 år	31

1. Inledning

Lite mer än 70% av Sveriges yta är skogsmark vilket gör landet till Europas näst mest skogbeväxade land efter Finland (Skogsindustrierna 2019). Idag förknippas oftast det svenska skogsbruket med trakthyggesbruk (Sveaskog 2020), men på grund av flera olika nackdelar, som den negativa påverkan på den biologiska mångfalden, på friluftsliv och andra sociala aspekter, rennärings och mark och vatten, varför skogsbruket allt mer börjat använda sig av hyggesfritt skogsbruk (Appelqvist et al. 2021). Begreppet hyggesfritt skogsbruk beskriver flera olika skötselsystem (Skogsstyrelsen 2022) och dessa system kan vara ett komplement till trakthyggesbruket på en viss del av skogsmarken och bör öka i omfattning där det kan motiveras ur en social-, miljö-, kulturmiljö- eller skötselsynpunkt.

1.1 Hållbart skogsbruk

Hållbart skogsbruk innebär att flera olika värden i ett skogslandskap måste tas i beaktning samtidigt. Idag utgår ett hållbart skogsbruk från tre olika aspekter: ekonomisk, social och ekologisk (Asplund et al. 2022). Skogsbolagen jämställer numera målet om en hög och värdefull virkesproduktion med målet att bevara den biologiska mångfalden (Johansson 2018; Skogsindustrierna 2019; Eriksson & Strömberg 2022). Det krävs både kunskap om hur ett mer variationsrikt skogsbruk kan bedrivas och en förändrad syn på skogsbruket i stort för att tillfredsställa förutom rent ekonomiska värden, såsom biologisk mångfald (Sténs 2016).

De varor och tjänster som ett hållbart skogsbruk ska leverera är bland annat fiberråvara för träprodukter, massa, papper och energi, biologisk mångfald, lagring av kol från atmosfären och skogens sociala och kulturella värden (Angelstam et al. 2010). De senaste 100 åren har kolförrådet ökat avsevärt tack vare att Sveriges virkesförråd har ökat (Skogsstyrelsen 2021b). Med ett långsiktigt och hållbart skogsbruk kan kolförråden fortsätta öka i framtiden och positivt motverka klimatkrisen.

1.2 Kolinlagring

När kolet binds i skogen bidrar det inte längre till växthuseffekten i atmosfären. Kolet lagras i trädens stam, grenar, barr, löv och rötter, men det går även att hitta lagrat kol i dött organiskt material och i jordmånen (Skogsstyrelsen 2021a). Mängden bundet kol i skogen beror till störst del på tillväxten (Bergh et al. 2020). Alltså spelar det stor roll hur vi sköter skogen beroende på om den ska kunna lagra maximalt med kol i både mark och levande biomassa.

En del av det inlagrade kolet i träden lagras fortsatt i byggnader och andra konstruktioner efter avverkning (Skogsstyrelsen 2021b). Denna process brukar kallas för substitutionseffekt. Det innebär att virke som avverkat ersätter andra klimatpåverkande produkter som fossila bränslen, betong, metaller och plast (Lundmark 2017). Fossila bränslen är nämligen den största källan till utsläpp av växthusgaser som bidrar negativt till klimatförändringen, de består av organiska kol- och väte föreningar i sediment eller sedimenterad berggrund. Det gör att ett stort fokus ligger på att främst ersätta de fossila bränslena. Exempel på fossila bränslen är kol, bensin, diesel och fossilgas (Naturvårdsverket 2023).

1.2.1 Kolkällor och kolsänkor

Skogen kan vara antingen en kolkälla eller en kolsänka beroende på hur den sköts (Jandl et al. 2007). En optimal kolinlagring skulle bland annat skjuta upp gallringar och förlänga omloppstiden, vilket ger ökade beståndsvolymer (Assmuth & Tahvonen 2017). En kolkälla är ett system som avger mer koldioxid än vad den lagrar medan en kolsänka uppstår när mer koldioxid tas upp från atmosfären och lagras i mark och levande biomassa än vad som släpps ut. Inlagringen av kol bidrar till minskade utsläpp och är bra för klimatet (Gong et al. 2022).

En studie av Peichl m.fl. (2022) baseras på en undersökning av 50 olika skogsbestånd i norra Sverige, vilken visade att ett kalhygge blir en kolsänka redan 10 år efter slutavverkning, dvs att det tar 10 år innan utsläppen av kol efterkalavverkning övergår till en nettoinlagring. Dock beror inte hyggens nettoutsläpp de första 10 åren på att markens koldioxidutsläpp ökar, utan på att trädens kolbindning uteblir. En annan upptäckt som gjordes var att markens avgivning av koldioxid genom nedbrytning av biomassa är mer eller mindre konstant oavsett ålder på beståndet. Det gick även att utläsa från studien att det är trädens tillväxt som styr kolinlagringen (Peichl et al. 2022). Detta betyder att gammal skog är koldioxidneutrala, skogen blir alltså till slut mättad på kol och tar inte upp mer. Dock finns det en studie där resultatet visar att skogar mellan 15-800 år har en positiv nettokolbalans, inklusive markens kol. De gamla skogarna ackumulerar kol i århundraden, dock förväntas mycket av kolet återgå till atmosfären om dessa skogar störs (Luyssaert et al. 2008).

På grund av århundranden av beståndsminskning och avskogning har europeiska skogar börjat återhämtat sig i både areal och växande bestånd sedan 1950-talet. En studie av Nabuurs m.fl. (2013) visar att dessa återväxande skogar är en ihållande kolsänka som förväntas fortsätta i årtionden. Dock finns tidiga tecken på mättnad, vilket gör att skogspolitiken och förvaltningsstrategier bör ses över om vi vill bibehålla kolsänkan. Ytterligare en studie som gjorts i Kina visar att kolsänkors intensitet minskar med skogens ålder (Liu et al. 2012).

Framöver finns ett behov av ökade kolsänkor inom skogssektorn för att kompensera för utsläpp i andra sektorer som är svårare att reducera, som till exempel ersätta fossila bränslen och andra produkter genom användning av skoglig biomassa (Gong et al. 2022). För att lyckas med detta finns en rad åtgärder som kan öka kolupptaget dels genom att öka kollagret i skog och mark och dels genom ökat kollager i produkter från skogsråvara (Risinger et al. 2022). Nedan tas en del av åtgärderna upp.

Beskogning

När nedlagd jordbruksmark återbeskogas ökar kolupptaget (FAO 2016). I början sker endast ett måttligt kolupptag men med ökad tillväxt ökar upptaget av kol (Risinger et al. 2022).

Bibehålla eller öka trädens tillväxt

Att öka trädens tillväxt kan göras på flera olika sätt. Bland annat genom att välja rätt trädslag till rätt plats, använda sig av förädlat plantmaterial och utföra rätt skötselåtgärd vid rätt tidpunkt (Risinger et al. 2022).

Minska skogsskador

Skogsskador leder ofta till förluster i kolupptag. Dessa skador uppstår oftast vid olika störningar som torka, storm, skogsbrand, svamp- och insektsangrepp. Förlusterna orsakas av tillväxtförlust eller att träd dör. För att förebygga detta krävs variation i skogslandskapet såsom blandskogar, anpassade föryngringsmetoder och varierande skötselsystem. Då fördelas riskerna och skogsskadorna kan minimeras (Eriksson et al. 2016; Kårén et al. 2018; Risinger et al. 2022). En annan viktig aspekt som bidrar till minskade skogsskador är val av rätt trädslag för rätt ståndort och skogsmark (Jönsson 2013).

Främmande trädslag

Idag är contortatallen det vanligaste främmande trädslaget i Sverige och ger 30-35% bättre tillväxt än vanlig tall (Risinger et al. 2022). Andra främmande trädslag som kan användas är hybridasp, douglasgran och hybridlärk. Fördelen med främmande trädslag är den ökade tillväxten som ger ett ökat kolförråd. Dock finns

målkonflikter med till exempel renskötseln som inte ser dessa trädslag som ett alternativ (Horstkotte & Djupström 2020; Risinger et al. 2022).

Konventionell gödsling med kväve

Åtgärden innebär att kväve tillförs vid ett eller flera tillfällen i medelålders eller äldre skog. Vid utförande av åtgärd ökar skogsbeståndets tillväxt och därmed inlagringen av kol, fram för allt i marken (Wennman 2009; Nordin et al. 2014; Risinger et al. 2022).

Hyggesfritt

Skogen sköts på ett sätt där marken alltid är trädbevuxen utan några större kalytor. Vid hyggesfritt skogsbruk undviker man hyggesfasen som har en nettoavgång av växthusgaser i ca 10 år efter avverkning. Dock är tillväxten lägre beräknat över en omloppstid, vilket ger ett långsammare koluttag och inte lika stor möjlighet till substitution (Goude et al. 2022; Risinger et al. 2022). Ett ojämnåldrat granbestånd, vilket representerar en blädningsskog, har vid cirka 80 år något högre kolförråd i marken jämfört med ett likåldrat granbestånd, som representerar ett bestånd som sköts med trakthyggesbruk. Dock är kolbindningen ovan jord högre i det likåldriga beståndet (Nilsen & Strand 2013).

1.2.2 Markens kol

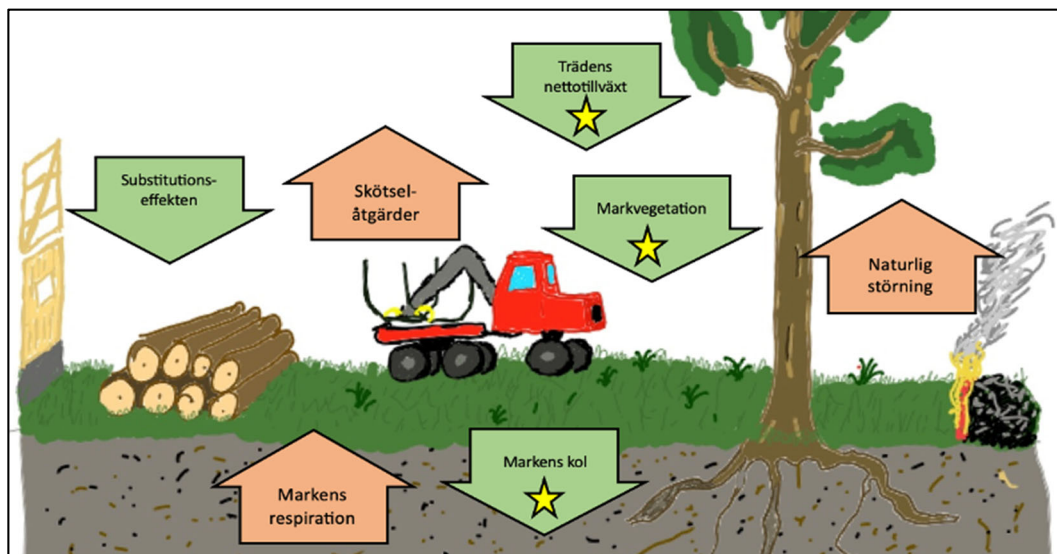
Huvuddelen av skogens kol finns i marken (Bergh et al. 2020). Kolet finns där sedan levande biomassa dött och fallit till marken. Markförhållandena styr hur länge kolet förblir bundet i marken, då till exempel nedbrytningen är långsam i våta marker. Historiskt ser man stora variationer i den årliga tillförseln av kol i marken, men det är tydligt att inlagringen ökar vid stigande tillväxt och fred från brand; två följer av dagens skogsbruk (Wennman 2009; Skogsindustrierna 2020). Totalt i den produktiva skogsmarken lagras det ungefär 82 ton kol per hektar (Brunzell 2022).

Genom skogsskötsel kan mängden kol som lagras i marken öka. Åtgärder som markberedning, återplantering, gödsling och val av rätt trädslag bidrar till en ökad inlagring av kol i skogsmarken (Lal 2005). Avverkning av skog minskar markens kolförråd tillfälligt (Lal 2005). Men en tidigare studie visar att intensivt brukande av skogen förr i tiden har markant utarmat markens kolförråd tills idag jämfört med den ursprungliga urskogen (Prietzl & Christophel 2014).

1.2.3 Kol i levande biomassa

När vi talar om skogens förmåga att binda koldioxid tänker vi främst på träden. Även om träden inte står för det största kolförrådet, är det här den största inbindningen sker. I en skogskubikmeter trädbiomassa (inklusive grenar, barr,

stubbar och rötter) binds 1,36 ton koldioxid (Bergh et al. 2020) vilket ger oss en årlig inbindning av 34 miljoner ton koldioxid i medeltal mellan åren 1980-2018.



Figur 1 Olika faktorer i skogen och dess effekt på kolförråd. Gröna pilar är inlagringseffekt och orangea pilar är utsläpp. Pilar märkta med stjärna tas helt i hänsyn i denna studie, övriga berörs till viss del eller inte alls.

1.2.4 Sätt att beräkna kol

Det finns ett antal olika tillvägagångssätt för att uppskatta kolinlagring och utsläpp i skogsmark. Till denna studie har vi valt en metod ur två huvudkategorier; att fysiskt samla in mätvärden, eller att beräkna med hjälp av modeller. Vilken metod som är lämplig beror på vilka forskningsresultat man väljer som utgångspunkt, skogens dynamik och vilka åtgärder man vill beakta. Finns det mycket tidigare forskning inom det man vill beakta kan man också förvänta sig att det finns sätt att simulera inlagring och utsläpp. Talar man om ett mindre utforskat område eller om åtgärderna inte kan beskrivas måste man mäta.

För fysisk insamling av koldioxidflöden finns instrument för gas-analys (Grelle et al. 2012). Med avancerad teknik kan man samla in värden för markens respiration och flödet genom luften.

Vid beräkning genom modellering tar man vara på tidigare forskning (Brassel & Lischke 2001; Liski et al. 2005; Werner et al. 2010). För att bedöma om modeller skulle kunna vara användbara i svenska skogar måste man jämföra förhållandena för platserna, och växtmaterialet ur de empiriska modellerna.

Heureka

Vid SLU har man tagit fram Heureka, en rad olika programvaror för beslutsstöd i skogens skötsel. Programvaran är ett program som simulerar effekten av olika skötselåtgärder och kan användas från bestånds- till regional planering, där man

kan titta på flertalet variabler såsom tillväxt, trädslagsfördelning, kolhalt i träd och mark osv (HeurekaWiki 2010; Fahlvik et al. 2014). För beräkningar på beståndsnivå används främst Elfvings modeller. Med Heureka kan man enkelt se effekterna av vald skötselmetod och man kan själv förskjuta åtgärder i tid. Programvaran ställer krav på att indatan är så detaljerad som möjligt, för att ge ett rättvisande resultat, och för att det ska kunna vara användbart överallt i landet.

1.2.5 Enheter i denna studie

För att kvantifiera kolinlagring beräknas denna oftast i ton C per enhet/enheter, vilket i skogliga fall blir ton C/ha/år. Alla faktorer i figur 1 kan uttryckas på detta sätt, men med varierande svårighet att beräkna. För att tydligt se utvecklingen över en viss tidsperiod kan kolförrådet beskrivas genom ton C per ha.

1.3 Problembakgrund

United Nations Environment Programme (2022) prognostiserar att den globala uppvärmningen kommer att vara 2,8 °C under detta århundrade, förutsatt att man fortsätter följa nuvarande strategier. Skulle man däremot implementera strategier med bland annat netto-nollutsläpp till mitten av århundradet förväntas ökningen vara 1,8°C, eller lägre. Med strategier menar man att nationer ska ha gemensamma policyer och tillvägagångssätt. Några av förslagen på åtgärder är att undvika fossilberoende infrastruktur, stötta hållbart företagande, och att främja en beteendeförändring till strävan efter noll-utsläpp. Att inte utföra åtgärder i tid är mycket kostsamt, och om man inte vidtar åtgärder i tid kommer effekterna av åtgärderna vara mindre (World Bank Group 2010; Sanderson & O'Neill 2020). Detta kan liknas med att försöka stoppa en bil i en nedförsbacke, låter vi den accelerera krävs det större motmedel för att få stopp på den och en eventuell kollision blir mer omfattande.

Till 2045 är målsättningen att Sverige ska ha nettonollutsläpp, vilket innebär att alla utsläpp kompenseras av inlagring inom det egna landet (Lövin 2018; Energimyndigheten 2020). Bland annat vidtas åtgärder för att fasa ut fossila bränslen, såsom energi- och koldioxidskatt, investeringsstöd i hållbara åtgärder. Det finns dock inga styrmedel med direkt syfte att minska utsläpp eller öka inlagring i skog och skogsmark. Eget initiativtagande är således avgörande för att utvinna maximal klimatnytta från skogen kopplat till klimatmålen.

Att använda skogens råvaror har sedan länge förknippats med hållbarhet, och många skogsägare skulle själva säga att de bidrar till kolbindningen. Vad som dock inte är lika självklart, är vilken skötselmetod som är bäst lämpad i rådande läge. Lundmark & Hannerz (2017) menar att på kort sikt är det mest gynnsamma att låta

skogen stå fri för egen utveckling, men efter ett antal år kommer den skötta och avverkade skogen bidra mer till kolinbindningen. Var i tiden denna skärningspunkt ligger är en fråga på beståndsnivå, då olika skötselmetoder och förutsättningar ger olika utfall kopplat till kolutsläpp och –inlagring.

Tydligt är att skogsskötseln måste agera högeffektivt de närmsta åren för att nationen ska kunna uppnå netto-nollutsläpp innan mitten av århundradet. Skogsmark är den markanvändning som ger absolut störst nettoupptag men de senaste två decennierna har man sett en minskande trend av upptag (Naturvårdsverket 2022). Den negativa trenden tros ligga till följd av minskning i tillväxt, ökning i avverkning och avgång på grund av skador.

Kravet att effektivisera skogsskötseln ställs i slutändan till de skogsägare som fattar beslut om sin mark, och för att de ska kunna ta väl underbyggda beslut i rätt riktning krävs att alla tänkbara metoder vägs och mäts noggrant. För att dra slutsatser om det ens är möjligt att styra om negativa trender måste man hitta sätt att simulera resultat av de olika metoderna. Det finns ingen anledning att förändra beteenden eller skapa policys om beslutsunderlaget inte tillräckligt. Därför bör man på så grundläggande nivå som möjligt samla in beståndsdata och sätta olika metoder på test.

1.4 Syfte och frågeställning

Syftet med kandidatarbetet är att jämföra den modellerade kolinbindningsförmågan under 20 år för fyra olika skötselalternativ i svensk borealskog. Kolinlagringen ska studeras för de kommande 20 åren med 2021 som år 0. Skötselssystemen som ska användas är trakthygge, hyggesfritt, gödsling och orört. Detta görs för att öka kunskapen om kolinlagring och för att skogsägare ska få en bättre bild av vilket skötselalternativ som borde användas för att maximera den kortsiktiga kolinlagringen i skogen. Kandidatarbetet kommer att utgå från två olika frågeställningar för att begränsa arbetet:

- Vilket av de fyra skötselssystemen binder mest kol de kommande 20 åren?
- Vilket trädslag av tall eller gran har störst kolförråd?

2. Metod

Studien innefattar en jämförelse av kolförråd i två bestånd över en 20 års-period. Valet av tidsperioden gjordes på grund av Sveriges långsiktiga klimatmål, som ska nås till 2045 (Lövin 2018). Målet innebär att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp fram 2045 och efter ska negativa nettoutsläpp uppnås (Lövin 2018). Förhoppningsvis ger detta tid åt att anpassa beteenden för att bruka skogen hållbart och vara mindre fossilberoende till de fem sista åren i målsättningen. Detta kräver modellering då 20-årsperioden just påbörjats (År 0 inträffade 2021). För att modellera bestånden användes Heureka.

2.1 Dataunderlag

Dataunderlaget som används i studien har till del tagits från ett tidigare arbete där en inventering av bestånd "Trekanten" gjorts (Pershagen & Westerlund 2020). "Trekanten" är i den studien en del av bestånd 1:15. Det andra beståndet har noggrant inventerats år 2019, vilket gav oss en del av studiens indata till bestånd "990".



Figur 2 Karta över Sverige med beståndens läge markerade med röd kartnål. © Lantmäteriet

Under arbetets gång upptäcktes att vissa data saknades i både studentarbetet och inventeringen 2019. Data hämtades istället från tre olika karttjänster, (Lantmäteriet 2023a; b; Sveriges geologiska undersökning 2023). Karttjänsterna antogs vara tillräckligt pålitliga då dessa används dagligen av både forskare och studenter.

2.2 Heureka

Dataunderlaget importerades till PlanWise för hantering. Respektive bestånd simulerades med definierat skogsskötselsystem tillsammans med vissa styrningar ur tabell 1. Detta då programmet annars kan föreslå att åtgärderna sker med förskjutningar i tid. I den mån det var möjligt behölls default-inställningar för att förenkla nya simuleringar eller ändringar i efterhand.

Skötselprogrammen genererades med uträkningar av kolförråd. Ur resultatet kunde periodvisa data hämtas för önskade variabler, vilka sammanställdes i Excel för analys och grafisk produktion.

2.2.1 Högst nuvärde

Då Heureka simulerar ett skötselsystem ges flera olika alternativ på när och i vilken omfattning skötselåtgärder ska genomföras under en tidsperiod. I denna studie valdes alltid den variant som gav högst nuvärde även ifall andra varianter hade bättre kolinlagring. Anledningen till detta är att den ekonomiska aspekten togs i hänsyn för att hålla arbetet realistiskt.

2.3 Avgränsningar

Studien genomförs i två olika bestånd, ”Trekanten” och ”990”. Bestånden ligger i Vätteskogen, en tätortsnära skog direkt öster om Skinnskattebergs tätort. Trekanten är främst grandominerad och 990 främst talldominerad. Bestånden har tidigare brukats genom trakthyggesbruk men efter en satsning har man genomfört åtgärder för att ställa om till hyggesfri skötsel. Båda bestånden har genomgått selektiva uttag om ca 15 %, trekanten i augusti 2022 och 990 i januari 2021.

I studien har fyra olika skötselsystem valts ut, se tabell 1. Systemen som valts är ”trakthygge”, ”hyggesfritt”, ”gödslat och orört” och ”orört”, vilka benämns TH, HF, GO och O respektive. Varje system har sedan olika skötselåtgärder vid olika tidpunkter som till exempel markberedning eller gödsling. Systemen är valda efter vad som är tänkbart i dagens situation.

Vid studiens genomförande tas inte hänsyn till substitutionseffekten för att förenkla vid modelleringen.

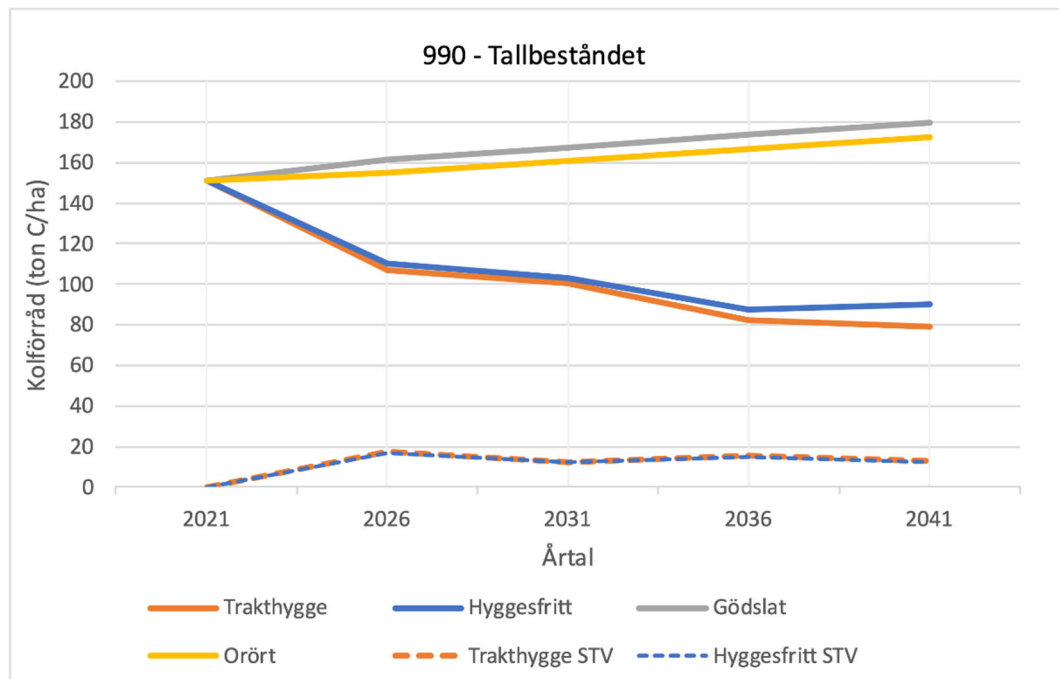
Tabell 1. De fyra olika skötselsystemen som valts att användas vid modellering av kolinlagring, det vill säga ”trakthygge” (TH), ”hyggesfritt” (HF), ”gödslat och orört” (GO) och ”orört” (O). Vid varje skötselsystem visas vilka skötselåtgärder som ska göras vid varje fem års period fram till år 20.

System	Åtgärd år 0	Åtgärd år 5	Åtgärd år 10	Åtgärd år 15	Åtgärd år 20
Trakthygge	Slutavverkning	Markberedning och föryngring	-	-	Ungskogsröjning
Hyggesfritt (Trekanten)	-	Blädning	-	-	-
Hyggesfritt (990)	Överhållen skärm	-	-	Delvis avveckla skärm	-
Gödslat och orört	Gödsla	-	-	-	-
Orört	-	-	-	-	-

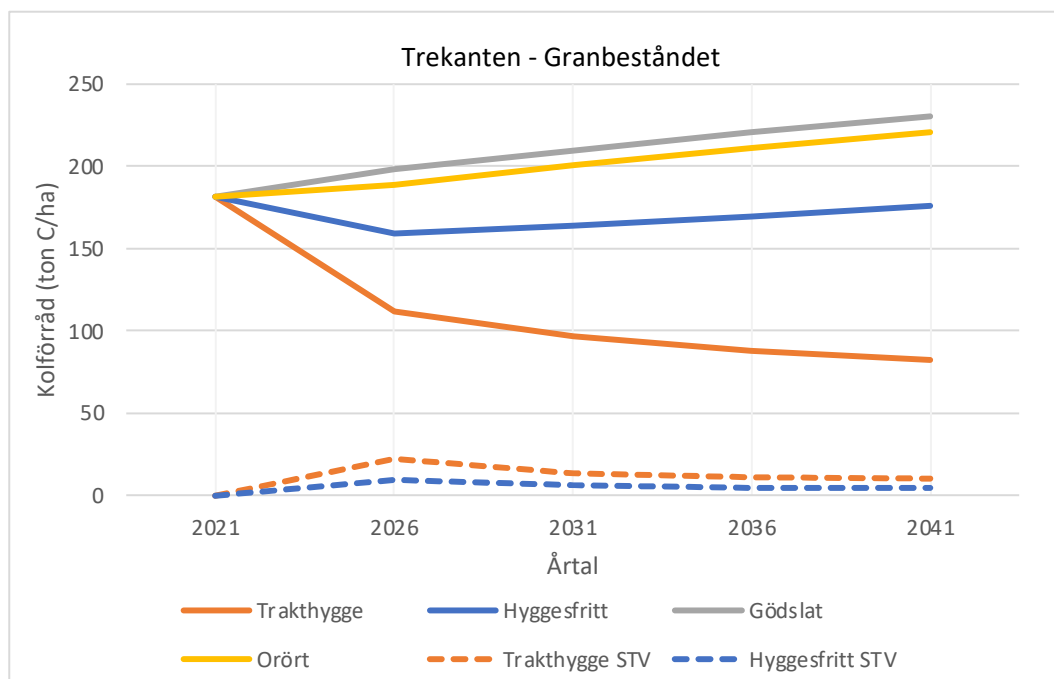
I tabell 1 finns två olika hyggesfria skogsbruk som ska genomföras. Detta beror på att tallen är ett pionjärträd som inte klarar av att föryngra sig i en blädningsskog som granen. I stället används överhållen skärm i det talldominerade beståndet.

3. Resultat

Efter 20 år var det totala kolförrådet högst i de orörda gödslade bestånden, och därefter i de orörda. Trakthyggesbruket resulterade i lägst kolförråd, endast 40 % av gödslade beståndsbeståndens (medeltal). Över lag ter sig de båda bestånden lika men med två huvudsakliga skillnader; ett större kolförråd i granbeståndet, och ett mer linjärt samband för den hyggesfria skötseln i granbeståndet än i tallbeståndet. Bilaga 3 och 4 visar utvecklingen upp till 100 år för respektive bestånd.



Figur 3 Totala kolförrådet i det talldominerade beståndet av olika skötselmetoder. Streckade linjer visar kolförråd av skördade trävaror (STV).



Figur 4 Totala kolförrådet i det grandominerade beståndet av olika skötselmetoder. Streckade linjer visar kolförråd av skördade trävaror (STV).

Den hyggesfria skötseln i tallbeståndet består i stort av en förnygring under skärmställning, vilket innebär ett tillvägagångssätt snarlikt rent trakthyggesbruk. Därav ser kolförråden för båda metoderna liknande ut i figur 3, ur bilaga 3 ser man dock att den hyggesfria metoden genererar ett större kolförråd mot slutet av omloppstiden. För hyggesfritt granbestånd tillämpas ett rent blädningsbruk vilket skiljer kolförrådet markant från trakthygge (figur 2), därtill minskar det totala kolförrådet i träprodukter.

4. Diskussion

Efter en tidsperiod på 20 år är det skötselsystemet GO om har högst kolförråd i både tall- och granbeståndet, tätt följt av skötselsystemet O. TH hade lägst kolförråd i de båda bestånden men i tallbeståndet såg kolförrådet för TH och HF liknande ut. Över lag beter sig gran- och tallbeståndet sig likt även fast granbeståndet alltid har ett totalt högre kolförråd. Dock skiljer sig det hyggesfria alternativet i granbeståndet mer markant jämfört med tallbeståndet och den hyggesfria skötseln har ett mer linjärt samband i granbeståndet.

4.1 Tidigare studier inom ämnet

Tidigare forskning har visat att biomassans tillväxt spelar större roll än skötselmetod för kolförrådet i granbestånd (Lundmark et al. 2016). Resultatet i denna studie talar inte emot detta, men det måste framgå tydligt vilken tidshorisont man har i beaktande. Under flera omloppstider kommer både hyggesfritt och trakthyggeskötsel ge en likvärdig utveckling av det totala kolförrådet, men inom 20 år hinner tillväxten hos det kalavverkade beståndet inte åtgärda förlusten vid avverkningen.

Vårt resultat för de två gödslade alternativen stämmer inte överens med andra studier som gjorts innan. På grund av att gödningen ökar produktionen av barr, blad och kvistar ökar produktionen av fallföra vilket leder till en ökad kolinlagring i marken (Nordin et al. 2014). Enligt tidigare studier påverkar trädens tillväxt kolinlagringen i stor omfattning (Lundmark et al. 2016), därför bör gödning som ökar trädens tillväxt få ett större kolförråd än vad ett orört bestånd har (Jacobson et al. 2005). Vårt resultat för de gödslade bestånden och de orörda bestånden bör alltså inte visa likadana kolförråd.

I studiens resultat går det att avläsa att det grandominerade beståndet (figur 4) har totalt sett ett högre kolförråd än det talldominerade beståndet (figur 3). Stendahl (2010) har genomfört en studie där de jämfört kolförrådet i marken hos ett gran- och tallbestånd, där resultatet visade att granbeståndet hade ett större kolförråd i marken. En annan studie som Jandl (2006) gjort visar att valet av trädslag spelar stor roll för vilket kolförråd beståndet får. I studien går det även att läsa att granbestånd lagrar mer kol än tallbestånd i både mark och träd.

4.2 Lärdomar ur vårt resultat

Substitutionseffekten är när skogen skördas och kolet fortsätter lagras när virket ersätter bland annat fossila bränslen eller byggmaterial som betong. Produkterna som skapas av virket kan endera bli kortlivade, som papper eller biobränsle, eller långlivade, som när träet används i byggnader. Till sist återgår alltid kolet ut till atmosfären igen (Örlander et al. 2020). Detta har endast delvis tagits i beaktning i denna studie. I figur 3 och 4 visas det summerade kolförrådet i produkter från avverkningarna som gjorts vid skötselsystem TH och HF. Att det finns med i figurerna är främst för att påvisa att kolet inte helt frigörs direkt vid avverkning, utan att det fortfarande finns ett förråd i de produkter som tillverkats. Studien har inte fördjupat sig i huruvida stor substitutionseffekten är vid de aktuella fallen, utan endast konstaterat att skötselsystemen möjliggör en substitutionseffekt då avverkning inträffar.

Tidsaspekten som valts på 20 år valdes på grund av Sveriges långsiktiga klimatmål som ska nås till 2045, så att skogsägare idag ska kunna välja vilket skötselalternativ som bidrar mest till att målen nås. Dock är tidsperioden lite för kort för att ge alla skötselsystem en rättvis bild. I bilaga 3 & 4 syns det att trakthyggesbruket har sin mest negativa fas de 20 första åren innan kolförrådet börjar växa igen. Alltså under den tid som denna studie fokuserar sitt resultat på. Värt att påpeka är att studiens resultat visar att kalhygget blir en kolsänka efter 20 år, alltså 10 år senare än vad studien som Peichl (2022) gjort. Hade studien gjorts i slutet av trakthyggesbrukets omloppstid hade ett annat resultat inträffat. Enligt bilaga 4 hade trakthyggesbruket haft ett större kolförråd än vad det hyggesfria alternativet hade haft i granbeståndet 20 år innan nästa slutavverkning. Samtidigt som bilaga 3 visar att kolförrådet vid skötselsystemen HF och TH följer varandra ganska likt. En annan aspekt som hade kunnat förändra resultatet innan slutavverkning är omloppstidens längd. I denna studie valdes de sköselförslag med högst nuvärde i Heureka, vilket innebär att andra förslag med längre omloppstid hade gett större kolförråd i skötselsystemen TH (Lundmark et al. 2018).

4.3 Styrkor och svagheter med studien

En styrka med denna studie är det korta tidsperspektivet, många tidigare studier om kolinlagring studerar längre tidsperioder på minst 100 år. Det är många gånger en nackdel att studera någonting under en så kort tidsperiod som 20 år. Men i detta fall kan det vara en fördel för skogsägare att redan idag kunna bestämma hur deras skog bör skötas för att Sveriges långsiktiga klimatmål ska nås. Det ger även en tydlig bild att olika skogsskötselsystem ger väldigt olika resultat redan efter 20 år.

Vid början av detta arbete var avsaknaden av källor stor och kunskapsnivån låg. Detta har gjort att vi varit väldigt källkritisk och endast använt källor som varit tillförlitliga. Det är helt enkelt en styrka med denna studie. Dock är forskningsbehovet fortfarande väldigt stort för just kolinlagring i skogsbruket. Vilket är en svaghet då vårt resultat inte alltid kan stärkas med flera andra studier som endera visar samma eller ett helt annat resultat.

Vid simuleringarna har, som tidigare nämnts, Heureka använts. En styrka med denna studie då det är ett standardprogram som ofta används av skogsägare eller större bolag för att bland annat planera framtida skogsskötsel (Wikström et al. 2011; Fahlvik et al. 2014). Dock kan detta system inte göra tillförlitliga analyser för det hyggesfria skogsbruket ännu (SLU 2021), vilket är en svaghet med studien. Det finns alltså ett behov av förbättrade modeller och verktyg för att göra de analyser som genomförts. Resultatet kan vara missvisande, men utifrån de förutsättningar och den tidsperiod som denna studie hade kan inte ett mer trovärdigt resultat tas fram inom detta område.

Dataunderlaget som har skapats för att kunna göra simuleringarna i Heureka har fått värden från flera olika källor, bland annat karttjänster, tidigare inventeringar och från dokumenterade skötselåtgärder som utförts av Sveaskog. Karttjänsterna som använts är hemsidor som SLU rekommenderar studenterna att använda vid behov av information om bland annat jordarter och markvatten. Det gör att informationen från dessa karttjänster känns tillräckligt trovärdig för att kunna användas vid denna studie. Tidigare inventeringar som gjorts av bland annat studenter har gjort för att användas vid kandidatarbeten och forskning i Vätteskogen. Därför bör inventeringarna genomförts tillräckligt bra för att resultatet ska vara trovärdigt. Det gör att dessa inventeringar känns som en trovärdig källa till denna studie. Sveaskog som gjort uttag ur båda bestånden har dokumenterat uttagens storlek och vad som tagits ut vilket gör att värdena kan användas för att justera beståndens virkesförråd. Detta behövde göras då inventeringarna gjordes innan uttagen.

4.4 Behov av vidare forskning

Idag finns det få modeller och simuleringsprogram som på ett bra sätt kan få med markens kolinlagring. Det är många olika parametrar som påverkar hur mycket kol en mark lagrar, några exempel är marktyp, jordtyp, trädslag, täthet i beståndet (Bergh et al. 2020). Det gör att modellen och simuleringsprogrammet måste vara väldigt flexibelt och ta många parametrar i hänsyn för att få ett tillförlitligt resultat. Men det är inte bara kolinlagring i marken som kräver mer forskning, kolinlagring över lag och hur det ska beräknas behöver mer forskning för att ge säkrare och smidigare resultat i olika typer av skog.

Utsläpp genererade av maskinåtgärder tillkommer vid skötselåtgärder, dock är det inget som vi tagit i beaktning då det inte fanns med i simuleringsprogrammet. För framtiden är detta någonting som borde utvecklas och finnas med i modeller och simuleringsprogram eftersom det påverkar resultatet.

Hur ger skogen egentligen bäst klimatnytta? En fråga som kommer ligga i stort fokus i många år framöver (B. Bonan 2008). Inte bara i Sveriges boreala skogar utan i stora delar av världen i olika typer av skogar (Locatelli et al. 2008). Vilket sorts skogsbruk bör bedrivas för bäst klimatnytta och vad borde skogens produkter användas till? Vart ska dessa prioriteras i just Sverige för att vi ska kunna nå de långsiktiga klimatmålen. Utmaningen kommer vara att producera så mycket råvara som möjligt ur skogen samtidigt som hänsyn tas till andra aspekter så som biologisk mångfald, kolinlagring, sociala värden, rekreationsvärden och naturhänsyn.

4.5 Slutsatser

Följande slutsatser går att hämta ur resultatet,

- Att gödsla och därefter låta bestånden stå orörda för fri utveckling ger klart störst kolförråd efter 20 år.
- Efter 20 år har kolförrådet börjat växa för HF hos båda trädslagen, men ännu inte för TH.
- Gran har störst kolförråd.
- Gran lämpar sig bättre för HF skötsel.

Att kalavverka nu ger absolut minst klimatnytta inom vårt tidsspann. Här tåls återigen att upprepa inom vilka tidshorisonter nyttan sker. Förutsatt vi dels nyttjar fossilfria produkter, dels minskar konsumtion till att inte nyttja mer än vad vi hållbart kan ta ut förväntas avverkningsystem ge netto nytta genom substitutionseffekt och fossilfria kolcykler i längden, men inom 20 år och med fokus på kolförråd är kalavverkning inte optimalt. Substitutionseffekten är ej hållbar om förbränningen av fossilfria kolförråd överstiger kolinlagringen.

För att ge helt rättvisande resultat bör man beakta koldioxidutsläpp vid de olika skötselåtgärderna, vilket är exkluderat i denna studie. Dessa utsläpp kan antas minska klimatnyttan för alla system vilka kräver maskinella åtgärder, där till exempel bläddad skog och trakthyggesbruk kräver maskinella insatser med jämna mellanrum. Man skulle också på så sätt kunna räkna om den extra tillväxten i det gödslade beståndet kan täcka utsläppen som tillverkning, transport och spridning av gödseln orsakar.

Referenser

- Angelstam, P., Roberge, J.-M., Jonsson, B.-G. & Törnblom, J. (2010). Hur mycket är nog för att bevara arterna? (12). <https://res.slu.se/id/publ/32112> [2023-03-24]
- Appelqvist, C., Sollander, E., Norman, J., Forsberg, O. & Lundmark, T. (2021). *Hyggesfritt skogsbruk*. <https://www.skogsstyrelsen.se/> [2023-03-15]
- Asplund, B., Karlberg, L., Petersson, L., Sahlin, M., Stighäll, K. & Widman, M. (2022). *Låt skogen leva*. [2023-03-15]
- Assmuth, A. & Tahvonen, O. (2017). *Optimal carbon storage in even- and uneven-aged forestry*. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.09.004> [2023-04-14]
- B. Bonan, G. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. <https://doi.org/10.1126/science.1155121> [2023-04-14]
- Bergh, J., Egnell, G. & Lundmark, T. (2020). *Skogens kolbalans och klimatet*. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/>
- Brassel, E.P. & Lischke, H. (2001). *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment*. Swiss Federal Research Institute WSL.
- Brunzell, A. (2022). *Kolinlagringar i Sveriges skogar- En jämförelse mellan produktionsskog och urskog*. Linköping: Institution för fysik, kemi och biologi. [2023-03-27]
- Energimyndigheten (2020). *Sveriges energi- och klimatmål*. <https://www.energimyndigheten.se/> [2023-04-11]
- Eriksson, D. & Strömberg, W. (2022). *Framtidens pengar tycks växa på träd i hållbara skogar*. [2023-03-24]
- Eriksson, H., Jonas Bergqvist, Per Hazell, Gunnar Isacsson, Anja Lomander, & Sanna Black-Samuelsson (2016). *Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket*. (2016/2). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se>
- Fahlvik, N., Elfving, B. & Wikström, P. (2014). *Evaluation of growth models used in the Swedish Forest Planning System Heureka*. (48 nr 2). <https://doi.org/10.14214/sf.1013> [2023-03-27]
- FAO (red.) (2016). *Global forest resources assessment 2015: how are the world's forests changing?* Second edition. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gong, P., Knutsson, A. & Elofsson, K. (2022). *Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn*. <https://www.naturvardsverket.se/> [2023-02-27]
- Goude, M., Erefur, C., Johansson, U. & Nilsson, U. (2022). Hyggesfria skogliga fältförsök i Sverige : en sammanställning av tillgängliga långtidsförsök. *Rapport*

- (Sveriges lantbruksuniversitet, Enheten för skoglig fältforskning), (22).
<https://res.slu.se/id/publ/119239> [2023-04-17]
- Grelle, A., Strömberg, M. & Hyvönen, R. (2012). Carbon balance of a forest ecosystem after stump harvest. *Scandinavian journal of forest research*, 27 (8), 762–773.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2012.726371>
- HeurekaWiki (2010). *About heureka*. [Wiki]. <https://www.heurekaslu.se/> [2023-03-20]
- Horstkotte, T. & Djupström, L. (2020). *Rennäring och skogsnäring i Sverige - delad kunskap för delad markanvändning*. (Future forests rapportserie, 2021:2). Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/futureforests>
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. (2005). *Skogsgödsling- en handledning*. Gävle: Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/> [2023-03-28]
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., W. Johnson, D., Minkinen, K. & A. Byrne, K. (2006). *How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?*
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003> [2023-03-31]
- Jandl, R., Vesterdal, L., Olsson, M., Bens, O., Badeck, F. & Rock, J. (2007). *Carbon sequestration and forest management*.
<https://doi.org/10.1079/PAVSNR20072017> [2023-04-14]
- Johansson, A. (2018). *En jämlik policyprocess?* Luleå: Institutionen för ekonomi, teknik och samhälle. [2023-03-24]
- Jönsson, A.M. (2013). Klimatanpassad skogsskötsel. *BECC policy brief*, (02)
- Kårén, O., Ulf Eriksson, Bo Jansson, Magnus Petersson, Anders Pettersson, Jonas Bergqvist, & Anna Marntell (2018). *Åtgärder för att minska skador på skog*. (2018/4). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/>
- Lal, R. (2005). *Forest soils and carbon sequestration*.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015> [2023-04-14]
- Lantmäteriet (2023a). Skinnskatteberg Topografisk, Lantmäteriet. minkarta.lantmateriet.se [2023-03-21]
- Lantmäteriet (2023b). Skinnskatteberg Skogliga grunddata, Skogsstyrelsen. <https://kartor.skogsstyrelsen.se/> [2023-03-21]
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M. & Sievänen, R. (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189 (1), 168–182.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005>
- Liu, S., Zhou, T., Wei, L. & Shu, Y. (2012). The spatial distribution of forest carbon sinks and sources in China. *Chinese Science Bulletin*, 57 (14), 1699–1707.
<https://doi.org/10.1007/s11434-012-4998-1>
- Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., J. Pierce Colfer, C., Murdiyarsso, D. & Santoso, H. (2008). *Facing an uncertain future- How forests and people can adapt to climate change*. (5). <https://doi.org/10.17528/cifor/002600> [2023-04-14]
- Lundmark, T. (2017). *Hyggesfritt skogsbruk*. (2017:1). Umeå. [2023-03-20]
- 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 (2), 203–213. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0756-3>

- Lundmark, T. & Hannerz, M. (2017). The climate benefits of the Nordic forests. <https://nordicforestresearch.org/> [2023-03-21]
- Lundmark, T., Poudel, B.C., Stål, G., Nordin, A. & Sonesson, J. (2018). Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. *Canadian Journal of Forest Research*, 48 (6), 672–678. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0410>
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. & Grace, J. (2008). *Old-growth forests as global carbon sinks*. <https://doi.org/10.1038/nature07276> [2023-04-14]
- Lövin, I. (2018). *En klimatstrategi för Sverige*. <https://www.regeringen.se/> [2023-03-20]
- Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P.J., Gunia, K., Deda, P., Michalak, R. & Grassi, G. (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change*, 3 (9), 792–796. <https://doi.org/10.1038/nclimate1853>
- Naturvårdsverket (2022). *National Inventory Report Sweden 2022*. <https://unfccc.int/> [2023-03-21]
- Naturvårdsverket (2023). *Fossila bränslen*. <https://www.naturvardsverket.se/> [2023-04-16]
- Nilsen, P. & Strand, L.T. (2013). *Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands*. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1024> [2023-04-14]
- Nordin, A., Bergström, A.-K., Granberg, G., Grip, H., Gustafsson, D., Gärdenäs, A., Hyvönen-Olsson, R., Jansson, P.-E., Laudon, H., Nilsson, M., Svensson, M. & Öquist, M. (2014). *Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapet mark, vatten och växthusgaser*. <https://www.futureforests.se> [2023-03-27]
- Peichl, M., Martínez-García, E., Fransson, J.E.S., Wallerman, J., Laudon, H., Lundmark, T. & Nilsson, M.B. (2022). Landscape-variability of the carbon balance across managed boreal forests. *Global Change Biology*, 29 (4), 1119–1132. <https://doi.org/10.1111/gcb.16534>
- Pershagen, K. & Westerlund, J. (2020). *Hyggesfria skötselmetoder för utveckling av sociala värden inom en tätortsnära skog*. Skinnskatteberg. <https://stud.epsilon.slu.se/> [2023-03-21]
- Prietzl, J. & Christophel, D. (2014). *Organic carbon stocks in forest soils of the German Alps*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.021> [2023-04-14]
- Risinger, B., Sundqvist, H. & Nordin, C. (2022). *Förslag för ökade kolsänkor i skogs- och jordbrukssektorn*. (7059). Stockholm: Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/>
- Sanderson, B.M. & O'Neill, B.C. (2020). Assessing the costs of historical inaction on climate change. *Scientific Reports*, 10 (1), 9173. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66275-4>
- Skogsindustrierna (2019). *Utveckling mot ett hållbart skogsbruk*. <https://www.skogsindustrierna.se/> [2023-03-06]
- Skogsindustrierna (2020). *Hur har bränder i skogen förändrats över tid?* <https://www.skogsindustrierna.se/> [2023-03-13]
- Skogsstyrelsen (2021a). *Skogen lagrar kol*. <https://www.skogsstyrelsen.se/> [2023-02-27]
- Skogsstyrelsen (2021b). *Skogens roll för klimatet*. <https://www.skogsstyrelsen.se/> [2023-02-27]

- Skogsstyrelsen (2022). *Metoder för hyggesfritt skogsbruk*. <https://www.skogsstyrelsen.se/> [2023-02-27]
- SLU (2021). *Det finns hjälpmedel för skogliga målkonflikter | Medarbetarwebben*. <https://internt.slu.se/> [2023-03-28]
- Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å. & Langvall, O. (2010). *Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests- differences in stock levels and regional patterns*. (Silva Fennica 44(1)). <https://doi.org/10.14214/sf.159> [2023-03-30]
- Sténs, A. (2016). *Forskning för ett reflexivt, variationsrikt och hållbart skogsbruk*. Umeå: Institutionen för idé- och samhällsstudier. [2023-03-24]
- Sveaskog (2020). *Allt du behöver veta om hyggen*. <https://www.sveaskog.se/> [2023-03-01]
- Sveriges geologiska undersökning (2023). SGUs kartvisare Jorddjup, Sveriges geologiska undersökning. <https://apps.sgu.se/> [2023-03-31]
- United Nations Environment Programme (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window- Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. <https://www.unep.org/> [2023-03-21]
- Wennman, P. (2009). *Kolförråd och inlagring av kol i skogar och på andra vegetationsytor i Sollentuna kommun- Nuläge och potential för inlagring i vegetation och mark*. Sollentuna. [2023-04-12]
- Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E. & Kaufmann, E. (2010). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy*, 13 (1), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>
- 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*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-800> [2023-04-05]
- World Bank Group (2010). *Economics of adaptation to climate change - Synthesis report (English)*. World Bank. [Text/HTML]. <https://documents.worldbank.org/> [2023-04-24]
- Örlander, G., Egnell, G., Berg, J., Berndes, G., Rydberg, I., Niemi Hjulfors, L., Naumburg, B. & Eckerberg, K. (2020). Klimat och markanvändning mot 2030. 159 (4). <https://www.ksla.se/> [2023-03-30]

Tack

Vi vill rikta ett tack till våra handledare Back Tomas Ersson och Karl-Erik Johansson som hjälpt oss på vägen för att kunna färdigställa uppsatsen. Vi också rikta ett stort tack till Gustaf Egnell som hjälpte oss när vi kört fast i arbetet och till Torgny Lind som hjälpte oss med simuleringarna i Heureka. Hjälpen från Torgny ledde till att vi nu har grundläggande kompetens i Heureka, vilket vi inte hade innan arbetets början.

Bilaga 1 – studiens indata

De tabellvärden som användes för datainmatning i heureka vid respektive cell, utan enheter.

Kolumn	Värde	Värde
Stand ID	Trekanten	990
Total Area	3,4	12
Productive area	3,4	12
County Code	15	15
Altitude	150	150
Latitude	59	59
Distance to coast	140	140
Site index species	G	T
SIS	24	24
Soil moisture code	2	2
Vegetation type	13	13
Soil depth	1	1
Peat	0	0
Inventory year	2020	2019
DG (grundytamedelstammens diameter)	30	30,7
H (medelhöjd)	22	22
Mean age	100	100
N (stamantal)	1300	433
G (grundyta)	35	27
V (volym)	314	327,25
CAI (löpande tillväxt)	6	6
Prop pine	0,3	0,7
Prop spruce	0,7	0,3

Bilaga 2 – studiens skötselalternativ

Beskrivning av de fyra olika skötselalternativen under 20 års perioden som denna studie främst behandlar.

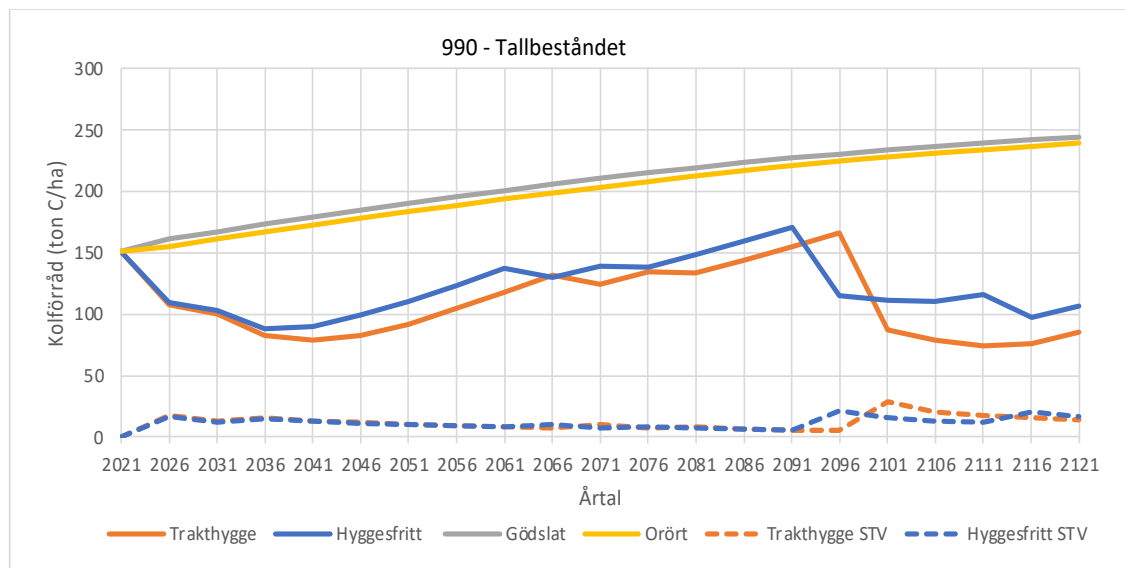
Skötselalternativet trakthygge, TH, genomförs på ett liknande sätt som dagens traditionella trakthyggesbruk. Vid år 0 görs en slutavverkning av beståndet och därefter ska kalhygget befinna sig i hyggesvila. Vid år 5 görs en markberedning och därefter föryngring av beståndet. Nästkommande åtgärd inträffar vid år 20 då en ungskogsröjning genomförs.

Hyggesfritt, HF, kommer bestå av två olika metoder. Detta beror på att tall och gran har olika egenskaper och klarar inte av att föryngra sig under samma förhållanden. Tallen är ett pionjärträd och kräver mer solljus och utrymme än vad granen gör, som är ett sekundärträd. I trekanten, som är grandominerad kommer blädning att vara det hyggesfria alternativet. Under 20 års perioden kommer en blädning att genomföras vid år 5. Det andra beståndet, 990, som är talldominerat kommer i stället använda sig av metoden överhållen skärm. Det innebär att en tätare skärm ställs år 0 som sedan delvis glesas ut vid år 15 för att ge plantorna så bra förutsättningar som möjligt.

Gödsla och orört, GO, innebär att beståndet gödslas vid år 0 och sedan lämnas beståndet orört resterande tid.

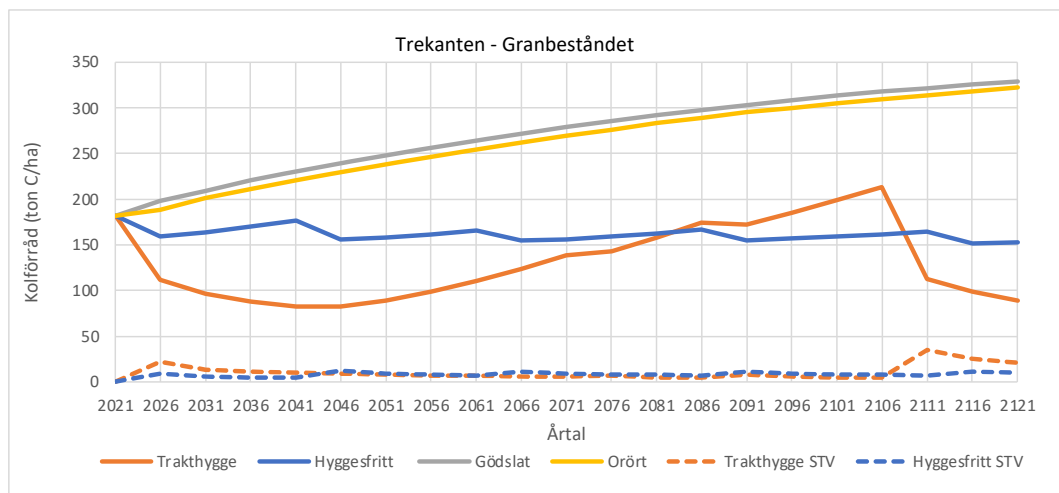
I skötselalternativet orört, O, lämnas beståndet orört under hela tidsperioden.

Bilaga 3 – 990s utveckling över 100 år



Totala kolförrådet (ton C/ha) i det talldominerade beståndet av olika skötselsystem. Streckade linjer illustrerar det summerade kolförrådet i skördade trävaror (STV).

Bilaga 4 – Trekantens utveckling över 100 år



Totala kolförrådet (ton C/ha) i det grandominerade beståndet av olika skötselsystem. Streckade linjer illustrerar det summerade kolförrådet i skördade trävaror (STV).

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.