



Kandidatarbeten
i Skogsvetenskap
Fakulteten för Skogsvetenskap

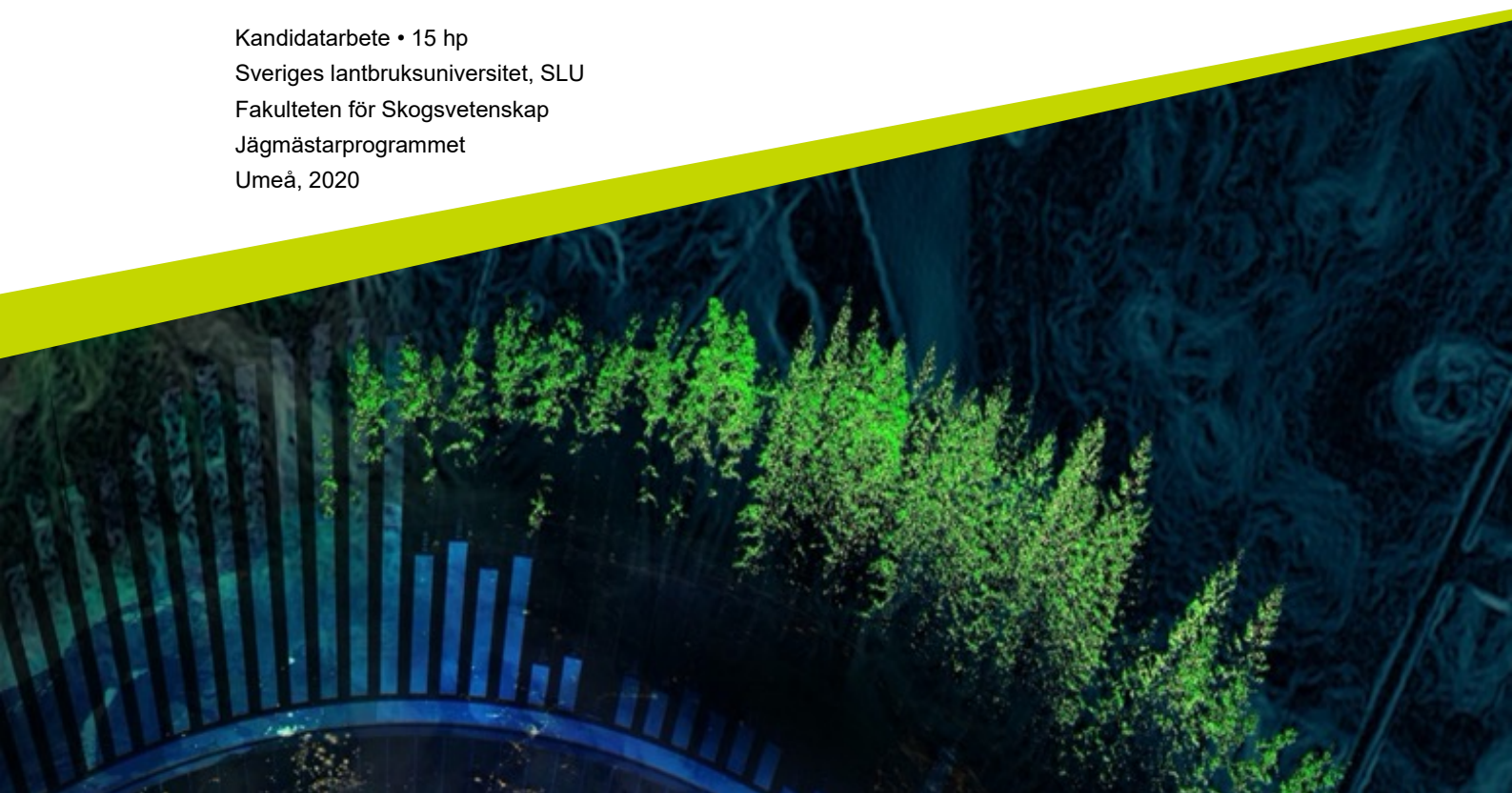
2020:21

Kolbalansen i Umeå kommuns skogar
– en analys av tre brukningsstrategier

*Carbon balance in Umeå Municipality's Forests
- an analysis of three management strategies*

Erik Lundmark & Simon Mattsson

Kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för Skogsvetenskap
Jägmästarprogrammet
Umeå, 2020



Erik Lundmark & Simon Mattsson

Handledare: Torgny Lind, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig Resurshushållning
Examinator: Tommy Mörling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod: EX0911
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap
Delnummer i serien: 2020:21
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2020

Nyckelord: kolbalans, kolförråd, kolbindning, kolsänka, kolkälla, klimatförändring, fotosyntes, kontinuitetsskogsbruk, trakthyggesbruk, optimering, flermålsanalys, beslutsstödssystem, PlanVis, Umeå kommuns skog

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för Skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Publicering och arkivering

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.

Sammanfattning

För att se hur kolförråd förändras och hur kolbindning Umeå kommuns skogar varierar över tid simuleras tre långsiktiga strategier. Den första strategin bygger på skötsel enligt Umeå kommuns skogsbruksplan. I den andra simuleringen sköts skogsinnehavet med kontinuitetsskogsbruk och i den tredje implementeras ett mer intensivt trakthyggesbruk.

Det primära syftet är att undersöka hur brukningsstrategierna påverkar kolförråd och kolbindning. Därtill analyseras även ekologiska och ekonomiska utfall av strategierna då även utvecklingen av dessa värden ligger i kommunens intresse. Sett till Umeå kommuns mål för skogen visar uppsatsen att det är lämpligt att låta en större del av skogsinnehavet skötas med kontinuitetsskogsbruk.

Nyckelord: kolbalans, kolförråd, kolbindning, kolsänka, kolkälla, klimatförändring, fotosyntes, kontinuitetsskogsbruk, trakthyggesbruk, optimering, flermålsanalys, beslutsstödssystem, PlanVis, Umeå kommuns skog

Abstract

In order to analyse the change of carbon storage and variation of carbon sequestration, three long term strategies are simulated upon the forests owned by Umeå municipality. The first strategy is managed according to the current forest management plan. The second strategy is a managed with continuous cover forestry. The third strategy is managed with intense clear-cut forestry.

The primary purpose is to examine if, and how carbon storage and carbon sequestration in forest owned by Umeå municipality vary when the forest is managed with different strategies. Since the municipality has several other interests, like economic and ecological values, the outcome of these variables is also analysed. According to the goals of Umeå municipality, this thesis show that a larger part of the forest owned by the municipality could be managed with continuous cover forestry.

Keywords: carbon balance, carbon storage, carbon sequestration, carbon sink, carbon source, climate change, photosynthesis, continuous cover forestry, clear cut forestry, optimization, multi target analysis, decision support system, PlanWise, Umeå municipality forests

Förord

Uppsatsen har skrivits på förfrågan av Umeå kommun. Utfallet av tre långsiktiga bruksstrategier analyseras för att se mängden koldioxid som binds in och mängden lagrad kol i kommunens skogar. Resultatet av uppsatsen är tänkt att fungera som beslutsstöd vid framtida långsiktig planering av skogsinnehavet. Vi är glada att ha fått möjlighet att genomföra arbetet till Umeå kommun, vilket har varit en lärorik process för oss.

Vi vill tacka vår handledare Torgny Lind på Institutionen för Skoglig Resurshushållning för hjälp och guidning i skrivprocessen. Därtill vill vi tacka Hampus Holmström, Karin Öhman och Pär Wilhelmsson för råd vid utformning av simulering och optimering i Heureka-systemet PlanVis.

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	7
Förkortningar och viktiga begrepp.....	1
1. INLEDNING	2
1.1 Skogens roll i kolets kretslopp	2
1.2 Planering av skog	3
1.3 Brukningsstrategi	4
1.4 Kommunens skogar.....	5
1.5 Syfte och frågeställningar	5
1.6 Hypotes	5
2. MATERIAL OCH METOD	7
2.1 Program	7
2.2 Umeå Kommuns skog.....	7
2.3 Brukningsstrategier.....	8
2.4 Analyser i PlanVis	9
3. RESULTAT	13
3.1 Ekonomiska värden	13
3.2 Skogens utveckling.....	14
3.3 Kolbindning och kolförråd	19
4. DISKUSSION	24
4.1 Andra studier.....	24
4.2 Uppsatsens styrkor och svagheter	25
4.3 Val av brukningsstrategi	26
4.4 Slutsats.....	27
5. REFERENSER	28

Förkortningar och viktiga begrepp

DSS	Beslutstödssystem
NO	Naturvårdsskogar som lämnas orörda
NS	Naturvårdsskogar med någon form av skötsel i naturvårdssyfte
PF	Produktionsskogar med förstärkt hänsyn
PG	Produktionsskogar med generell hänsyn
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
TPG	Treatment Program Generator

Kopplat till skogsbruket och dess skogsskötsel finns det ett antal viktiga begrepp som är viktiga att känna till och som används i denna uppsats.

Trakthyggesbruk - Utgör den absolut största delen av de skogsbruksmetoder som används i Sverige idag. Efter en slutavverkning sker ofta en markberedning och föryngring med plantering. I takt med att skogen växer genomförs röjningar och gallringar innan skogen är redo att slutavverkas igen.

Kontinuitetsskogsbruk - Begreppet kontinuitetsskogsbruk är brett. Alla typer av skogsbruk som uppfyller kriterierna för att klassas som skog samtidigt som det inte lämnas hyggen efter en avverkning hör till begreppet. Avverkning i kontinuitetsskogsbruk är i praktiken selektiva, återkommande gallringar och hit hör bland annat skogsbruksmetoder som blädning, skärmställning, luckhuggning och kanthuggning (Skogsstyrelsen 2019b).

Gallring - Gallring är en avverkning i skogen där träd selektivt väljs ut till avverkning för att gynna kvarvarande träd. Även om totala volymen och tillväxten i en avdelning minskar så gynnas tillväxt och kvalitéer hos kvarvarande träd (Skogsstyrelsen 2019a).

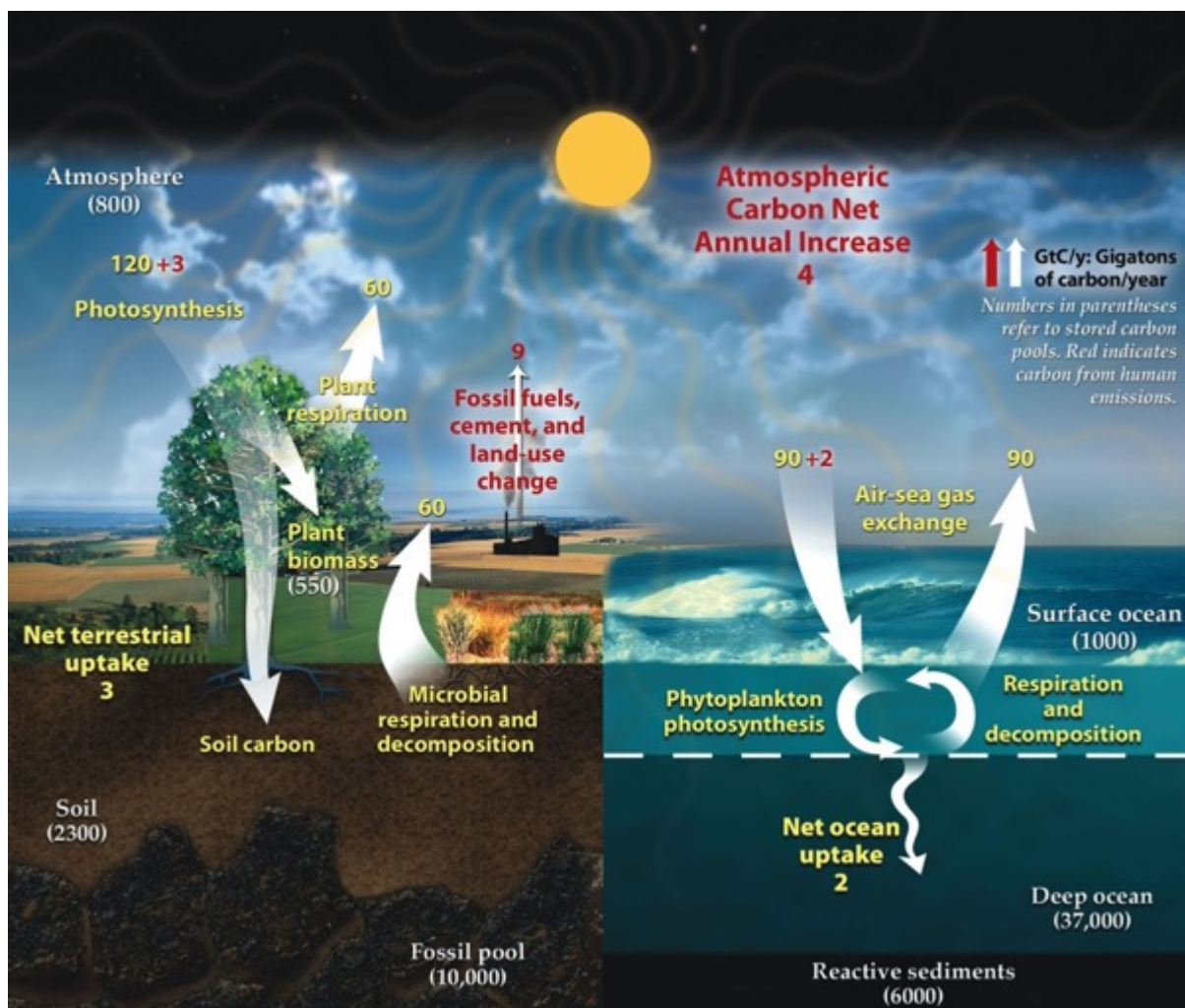
Gödsling – Vid gödsling tillsätts näringsämnen till marken för att gynna tillväxten. Kvävegödsling är en av många metoder för att öka produktionen, men det enda alternativet för att öka produktionen på kort sikt då kväve normalt sett begränsar tillväxten (Ståhl 2013).

1. INLEDNING

1.1 Skogens roll i kolets kretslopp

Av jordens alla terrestra ekosystem står skogen för 90% av kolflödet till och från atmosfär (Winjum *et al.* 1993) genom att kol binds in och lagras i biomassa. Detta kol lagras i träd men framförallt i organiskt material i marken (Malhi *et al.* 1999). I nuläget fungerar den boreala skogen som en kolsänka, vilket innebär att mer kol binds in än vad som avges till atmosfären. Om mer kol istället avges fungerar skogen som en kolkälla. Klimatförändringar med ökande temperaturer, framförallt i de boreala regionerna (Solomon *et al.* 2007), har gjort att skogens roll som kolsänka har minskat (Hayes *et al.* 2011). Att atmosfärisk koldioxid har ökat beror i första hand på en markant ökning i utvinningen av lagrad olja. Tillförseln av dessa lagrade oljereserver förändrar kolets kretslopp som varit betydligt mer cirkulärt än vad det är idag. Det cirkulära kretsloppet för kol innebär att kol under vissa perioder är bundet i organiskt material medan det under andra perioder rör sig fritt i gasform (fig. 1). Trädens funktion i kolets kretslopp är att träd genom fotosyntesen binder koldioxid till vatten med hjälp av solens energi och bildar glukos. Fotosyntesen sker i kloroplasterna vilka finns i trädens blad och barr. Skogens roll i kolbalansen styrs av kolbindning. Kolbindningen styr i sin tur mängden kol i kolförrådet. *Kolbindning*, är den mängd kol från atmosfären som tas upp av växten vid fotosyntesen medan *kolförrådet*, är den mängd kol som finns lagrad i organiskt material samt i marken och inte frigörs till atmosfären.

Koldioxid är en växthusgas som är starkt bidragande till den globala uppvärmningen. När gasen ansamlas i atmosfären reflekteras ljus av en viss våglängd, vilket gör att energi från solen bibehålls i atmosfären under en längre tid. Den ökade mängden energi leder till en temperaturökning i en takt som många ekosystem och arter inte är anpassade till. Studier har visat att en ökning av temperatur upp till 3°C leder till en ökad bindning av kol, men samtidigt en ökad respirationen från marken, vilket i sin tur skulle resultera i att marken övergår till en kolkälla (Bernes 2017). Det är viktigt att komma ihåg att klimatet inte tar hänsyn till om en molekyl CO₂ kommer från skogen eller från fossila bränslen då molekylerna oavsett ursprung genererar samma åverkan när den tillförs atmosfären (Sterman *et al.* 2018). Detta sätter press på omvärlden att drastiskt minska sina utsläpp för att inte tillföra ytterligare koldioxid till kretsloppet, samtidigt som det sätter press på skogsbruket att om möjligt öka skogens kolbindning och kolförrådet.



Figur 1. Komponenter i kolets kretslopp. (Graber et al. 2008)
Figure 1. Components of the carbon cycle. (Graber et al. 2008)

1.2 Planering av skog

För enskilda skogsägare är det idag standard att planering för ett skogsinnehav görs med hjälp av en skogsbruksplan. En vanlig skogsbruksplan täcker en period över 10 år. Vid framtagandet av en skogsbruksplan används skötselmallar som beslutsstöd. Det kan till exempel vara en gallringsmall, där åtgärdsförslag kan tas fram baserat på skogens utveckling. Åtgärdsförslagen i en skogsbruksplan visar behovet av åtgärder som behöver göras omedelbart, inom en femårsperiod och följande femårsperiod. För varje avdelning samlas information om trädslagsfördelning, volym, ålder, ståndortsindex, huggningsklass och målklass (Skogsstyrelsen 2017). Utifrån detta lämnas åtgärdsförslag samt vid vilken tidpunkt åtgärdsförslagen ska genomföras för fastighetens alla avdelningar.

Det finns vissa problem med en klassisk skogsbruksplan. Skogsbruksplanen tas nästan alltid fram av en enskild handläggare, vilket kan göra skogsbruksplanen mer eller mindre subjektiv. Värden i skogen tar lång tid att utveckla och med en skogsbruksplan kan det vara svårt att följa hur skogens värden på längre sikt än planeringsperioden utvecklas. Ett exempel på detta är äldre lövskog som gynnar biologisk mångfald. För att omvandla en normalt brukad skog till en skog med mycket, gammal lövskog krävs en anpassning över lång tid. För att undvika långsiktig problematik bör därför skogsbruksplaner kompletteras med en mer strategisk, långsiktig planering. Idag finns det mycket bra verktyg där det är möjligt att studera utvecklingen och värden i skog över längre tid för flera olika variabler. Dessa värden kan till exempel utgöras av ekonomi, ekologi, skoglig utveckling och kollagring. Lämpligtvis genomförs denna flervariabelanalys över en längre period, i detta fall 100 år, för att komplettera skogsbruksplanens kortsiktighet (Eriksson *et al.* 2016). En långsiktig planering på landskapsnivå tar ofta bättre hänsyn till spatiala samband än vad en skogsbruksplan gör, vilket resulterar i en mer objektiv planering som är anpassad efter hela innehavet.

För en långsiktig brukningsstrategi finns det en mycket stor mängd möjliga skötselalternativ (Eriksson *et al.* 2016). Till hjälp idag finns det flera olika typer av skogliga beslutstödssystem (DSS). Ett DSS är ett system som innehåller fyra olika delar designade för att kommunicera med användaren och lösa bestämda problem. De fyra delarna är meddelandesystemet, presentationssystemet, kunskapssystemet och det problembearbetande systemet. Meddelandesystemet skickar meddelanden från användaren till systemet medan presentationssystemet går åt motsatt håll. Kunskapssystemet innehåller de modeller och data som systemet behöver för att lösa problemet. Det problembearbetande systemets uppgift är, kort sagt, att lösa själva problemet genom att stödja användaren. Ett exempel på ett DSS-system är Heureka (Wikström *et al.* 2011). Heureka-systemet är framtaget på Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) i samarbete med Skogforsk. Med hjälp av Heureka PlanVis, ett verktyg för långsiktig planering på landskapsnivå, är det möjligt att ta fram skötselalternativ och att välja det som uppfyller uppsatta mål och krav (Eggers & Öhman 2020).

1.3 Brukningsstrategi

Vid långsiktig planering kan olika brukningsstrategier simuleras för att visa skogens potentiella utveckling på lång sikt. Det som avgör hur brukningsstrategin utformas är mål och restriktioner för skogsbruket som strategen eller planeraren sätter upp, samt krav för att uppfylla certifieringar och lagar (Wikström *et al.* 2011). Dessa baseras oftast och enklast på långsiktiga mål för ett skogsinnehav. En brukningsstrategi motsvarar således ett möjligt scenario. Det finns flera olika variabler som påverkar skogens utveckling. Därför kan det ofta vara klokt att ha flera brukningsstrategier om förutsättningarna för skogsinnehavet förändras.

1.4 Kommunens skogar

Umeå kommuns skogar planeras utifrån Umeå Kommuns lokala miljömål (Radloff *et al.* 2020), vilka är baserade på de nationella miljömålen (Naturvårdsverket 2018). De lokala miljömålen beskriver att skogen ska utveckla sociala värden, naturvärden och ekonomiska värden samtidigt som den ska nyttjas till sin roll som kolsänka. Enligt flera studier (Jonsson *et al.* 2005; Fagerberg 2010) gynnar skoglig kontinuitet många arter.

Umeå kommun har idag miljö- och inriktningsmål kopplat till sitt skogsinnehav. Ett av Umeå kommuns fokusområden är biologisk mångfald (Radloff *et al.* 2020) vilket ger en tydlig signal om att skogen bör skötas på ett sätt som gynnar biologiska mångfalden. Enligt inriktningsmålen för Umeå kommuns markreserv (2017) ska skogen skötas på ett sätt där biologisk mångfald gynnas samtidigt som naturvärden skapas och tillvaratas. Genom planering och skötsel av skogsinnehavet ska skogens värden utvecklas och vårdas.

Idag saknar Umeå kommun data på hur mycket kol som binds in och lagras i deras skogar med nuvarande inriktning på skogsskötsel. Med tanke på skogens förmåga att agera kolsänka är det därför viktigt att ta fram data som visar kolflödenas utveckling med olika brukningsstrategier. Eftersom kommunens koldioxidbudget påverkas kan förhoppningsvis uppsatsen vara en del i framtida beslutsunderlag rörande skogens roll för koldioxidbudgeten i Umeå kommun.

1.5 Syfte och frågeställningar

Syftet med uppsatsen är att visa hur kolbindning och kollagring varierar beroende på brukningsstrategi av Umeå kommuns skogar på både kort och lång sikt. Detta genom att utvärdera långsiktiga effekter av tre från varandra skilda brukningsstrategier. Effekter av strategierna har tagits fram med hjälp av Heureka-systemet PlanVis. Varje brukningsstrategi sträcker sig över en 100-årsperiod.

Vilken brukningsstrategi binder mest kol?

- Vilken brukningsstrategi gör att kolförrådet ökar mest?
- Vilken brukningsstrategi är mest lämpat att använda sig av för att uppfylla Umeå kommuns miljö- och inriktningsmål?

1.6 Hypotes

Av de tre strategierna som ska tas fram är en trolig hypotes att intensivare trakthyggesbruk genererar en högre tillväxt och därmed en större kolbindning sett över längre tid (Lundmark

et al. 2014; Eriksson *et al.* 2016; Gustavsson *et al.* 2017). På kort sikt är hypotesen att kontinuitetskogsbruk ger högsta stående volym och därmed det största kolförrådet kort sikt (Serman *et al.* 2018; EASAC 2019).

2. MATERIAL OCH METOD

2.1 Program

Till den här uppsatsen används planerings- och analysprogrammet Heureka PlanVis för att göra beräkningar och simuleringar över Umeå Kommuns skogsinnehav, QGIS för karthantering och Microsoft Excel för databearbetning.

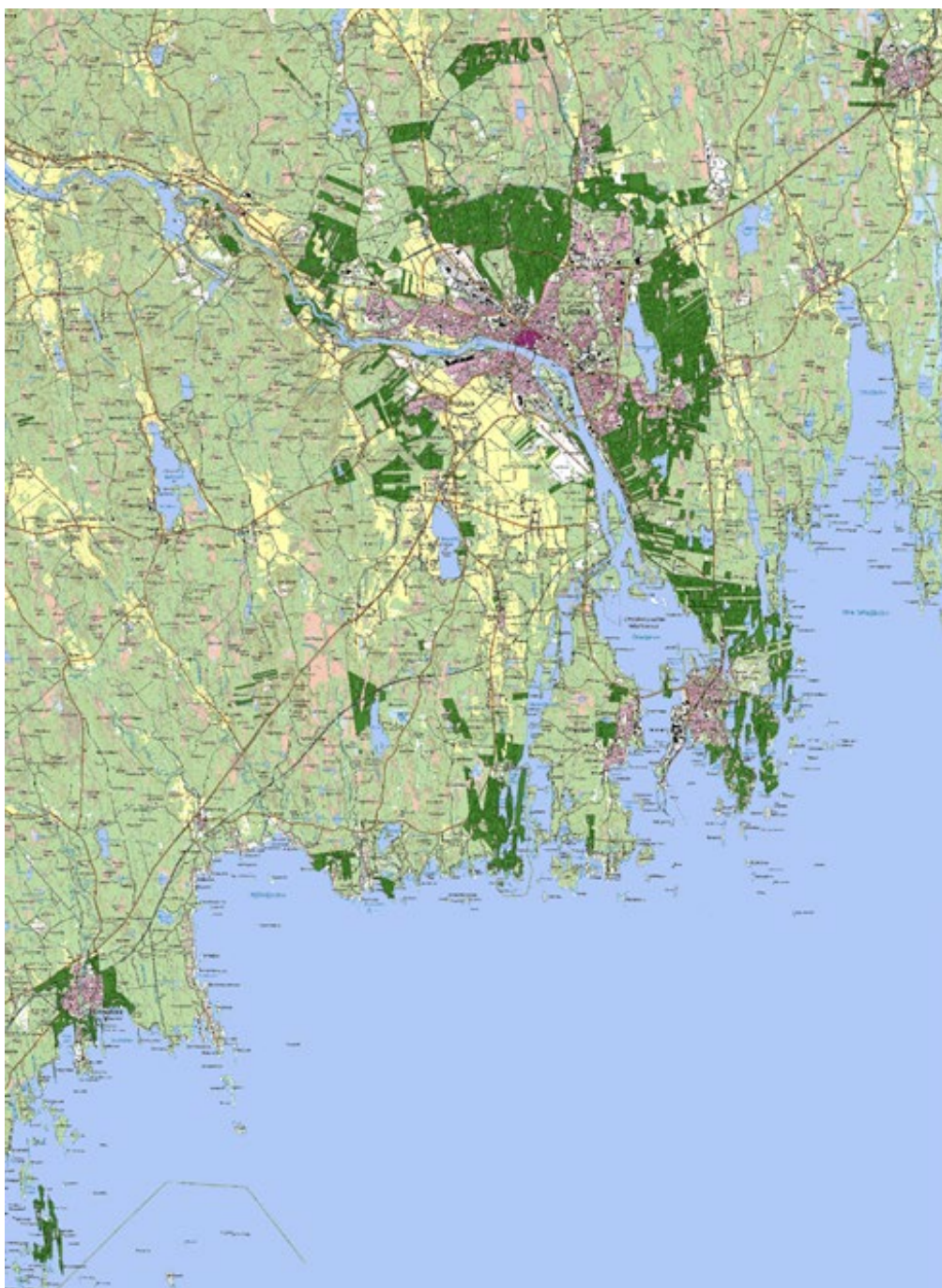
2.2 Umeå Kommuns skog

Data över skogsinnehavet baseras på Umeå kommuns skogsbruksplan som har erhållits från Umeå kommun. Grunddata om Umeå kommuns skogsinnehav framgår av tabell 1 och belägenhet av figur 2. Dessa data är en sammanställning från Heureka som bygger på importerat data från Umeå kommuns nuvarande skogsbruksplan.

Tabell 1. Skogliga variabler för Umeå kommuns skogsinnehav.

Table 1. Values for Umeå municipality's forest property.

Avdelningar (antal)	2 424
Total areal (ha)	6 625
Produktiv areal (ha)	6 565
Impediment areal (ha)	60
Medelvolym (prod. skogsm., m ³ sk/ha)	151
Medelvolym (totalareal, m ³ sk/ha)	149
Medelålder (år)	69
Areal ≤ 20 år (ha)	650
Areal ≥ Lägsta slutavverkningsålder (ha)	2 552
Volym ≥ Lägsta slutavverkningsålder (m ³ sk)	532 737
Medelbonitet (m ³ sk/ha)	4



Figur 2. Överblick på Umeå kommuns skogsinnehav.
Figure 2. Overview of Umeå municipality's forest property

2.3 Brukningsstrategier

För var och en av de tre olika brukningsstrategierna görs en ekonomisk optimering med specifika mål och restriktioner för varje strategi. Samtliga har ett avkastningskrav på 1 miljon kronor per år och en diskonteringsränta på 2%. De olika strategiernas förmåga att lagra och binda kol jämförs för en planeringsperiod på 100 år. Alla resultat redovisas för 5-årsperioder, vilket motsvarar 20 perioder. De tre strategierna skiljer sig åt och har olika mål.

Brukningstrategi 1 - Dagens skötsel - Följer inriktningsmålen som Umeå kommun har för sitt brukande och skogsskötsel på skogsinnehavet idag. Lövandelen ska öka i framtiden och 10% av skogsarealen sköts på ett sätt som främjar naturvärden. Avverkningsnivån ska utgöra ungefär 80% av tillväxten samtidigt som andelen kontinuitetsskogsbruk ska öka. På ett par procent av den totala arealen bedrivs ett trakthyggesbruk med längre omloppstider för att gynna renbete.

Brukningstrategi 2 - Hyggesfri skötsel - Hela skogsinnehavet sköts med kontinuitetsskogsbruk. Målsättningen är en mindre intensiv och hyggesfri brukningsstrategi. Andel kontinuitetsskogsbruk ska maximeras utan att avverkningsprofilen varierar alltför mycket mellan perioderna. Andelen NO-skog som finns idag ska inte minska och nuvarande lagar och certifieringskrav ska uppfyllas. Även i denna strategin anpassas skötseln i vissa avdelningar för att gynna renbete.

Brukningstrategi 3 - Intensiv skötsel - Domineras av intensivt trakthyggesbruk. Hög tillväxt och ekonomiska värden prioriteras genom ett omfattande trakthyggesbruk. Omloppstiderna förlängs ej utan avverkning tillåts vid Skogsvårdslagens minimiålder på ungefär 80 år med återkommande gödsling vart tionde år på lämpliga marker. Detta utan att sänka dagens andel av NO-skog och utan att frångå lagar och certifieringskrav.

2.4 Analyser i PlanVis

Umeå kommuns skogsbruksplan innehåller information om avdelningar och skötsel, vilket utgör dataunderlaget som importerats till PlanVis. De skötselprogram som kan simuleras baseras på skogens nuvarande tillstånd. Den optimala lösningen nås genom att;

1. Simulera skogsskötselprogram
2. Optimera valet av skogsskötselprogram

I det första steget simuleras ett antal skötselprogram per avdelning. Ett skötselprogram innehåller ett antal skötselåtgärder över tid för specifika avdelningar från aktuell tidpunkt till

planeringsperiodens slut. Simuleringen ger möjliga utfall utifrån dagens tillstånd och framtida utveckling. Simuleringen av skötselprogram utförs i Heureka PlanVis Treatment Program Generator (TPG) där inställningar först hur skogsskötselprogram genereras. Det gäller bland annat gallringsstyrka, föryngringsträdslag och den generella hänsynens utformning. Priset på virke följer aktuella priser i Västerbotten (Sveaskog 2020) och varje avdelning tilldelas ett s.k. domän. Avdelningar i samma domän tilldelas samma skötselregler. En domän kopplas till en eller flera kontrollkategorier. Inställningarna för varje kontrollkategori justeras i olika kontrolltabeller (fig. 3).

Domäner

För simuleringarna skapas sex skogsdomäner. Varje avdelning kopplas till en av dessa domäner. Domänerna som skapades var:

1. **NO** - Avdelningar som lämnas helt orörda för fri utveckling.
2. **NS/PF** - Avdelningar som brukas med ett hyggesfritt skogsbruk. I skogsbruksplanen är dessa klassade som NS eller PF.
3. **PG** - Avdelningar som brukas med trakthyggesbruk med generell hänsyn. I skogsbruksplanen är dessa klassade som PG.
4. **Renanpassad skog** – Bedrivs på i förväg utvalda avdelningar med hög andel lav och lingonris i vegetationen. Majoriteten ligger också i nära anslutning till NO eller NS bestånd.
5. **Övergångsavdelningar** - Avdelningar brukade med trakthyggesbruk för produktion, men som efter avverkning tillåts övergå till ett hyggesfritt skötselssystem. Dessa tillåts alltså byta kontrollkategori vid avverkning, från trakthyggesbruk till kontinuitetsskogsbruk. Dessa är utvalda i förväg, huvudsakligen i stadsnära områden. I skogsbruksplanen är dessa klassade som PG.
6. **Intensivt brukande** - Intensivt brukade avdelningar med gödsling och plantering av contorta på lämpade ståndorter. I skogsbruksplanen är dessa klassade som PG.

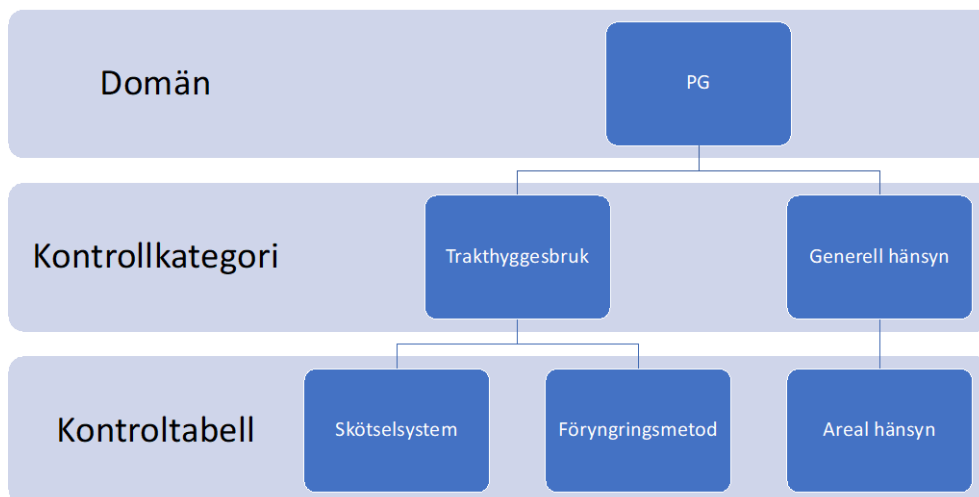
Kontrollkategorier

Inställningarna för vilken typ av skogsskötsel som domänerna tilldelas ställs in i olika kontrollkategorier. Varje kontrollkategori är i sin tur tilldelad en eller flera kontrolltabeller, där inställningar för bl.a. skötselssystem och föryngringsmetod bestäms.

- **Fri utveckling:** Alla avdelningar tas undan från allt brukande och lämnas helt orört. Kopplas till domänen NO.

- **Hyggesfritt:** Alla avdelningar brukas med kontinuitetsskogsbruk. De volymer som plockas ut görs med selektiv huggning i form av återkommande gallringar. Löv gynnas vid avverkning. Kopplas till domänen NS/PF och Övergångsavdelningar.
- **Trakthyggesbruk:** Efterliknar det dominerande skogsbrukssättet i Sverige med trakthyggesbruk med generell hänsyn. Kopplas till skogsdomänen PG.
- **Rensköttsel:** Anpassat för rennäringen med en förlängd omloppstid med dubbelt så hög lägsta slutavverkningsålder (Fries *et al.* 2015). Vid avverkning lämnas skärträd och plantering utförs utan markberedning för att gynna lavförekomst (Carlsson & Boström 2014). Kopplas till domänen Renanpassad skog.
- **Intensivproduktion:** Röjning främjar det planterade trädslaget som efter utförd åtgärd ska utgöra 100% av den totala volymen. Gödsling utförs vart 10 år när träden nått 7 meters höjd med 150 kg kväve. Uttag av biobränsle görs både vid gallring och slutavverkning. Vid föryngring tillåts ståndorter mellan T18 och T22 att planteras med contorta. Kopplas till domänen Intensivt Brukande. Inkluderar generell hänsyn.

I det andra steget väljer PlanVis ut bästa möjliga alternativ utifrån de skötselprogram som genererats vid simuleringen i första steget. Detta görs med en optimeringsmodell som maximerar nuvärdet med hänsyn till uppställda restriktioner. Om mål och restriktioner inte strider mot varandra, kan programmet efter optimering leverera bästa möjliga skötselprogram för varje avdelning. Ofta kan det vara svårt för systemet att hitta en lösning som stämmer överens med villkoren för varje period under hela planeringsperioden och vissa kompromisser kan behöva göras. Samtliga brukningsstrategier är optimerade för att maximera nuvärdet med en diskonteringsränta på 2,0%. Diskonteringsräntan styr när åtgärder ska göras. En högre ränta skulle generera kortare omloppstider med intäkter närmare i tiden. För att få en relativt jämn avverkningsnivå över tid har restriktioner på jämnhet i avverkning ställts in.



Figur 3. Grundläggande systematik mellan domän, kontrollkategori och kontrolltabell.
Figure 3. Basic schematics over domain, control category and control table.

3. RESULTAT

Resultat av analyserna presenteras i tre delar där bruksstrategiernas utfall av olika värden och nyttigheter ställs i relation till varandra. I den första delen analyseras utfallet av olika ekonomiska värden. I den andra delen analyseras utfallet av olika variabler med stor inverkan på skogens utveckling. I den tredje delen bearbetas utfallet av kolbindning och kolförråd.

Skogens utveckling för de tre bruksstrategierna skiljer sig åt över planeringsperioden, vilket genererar olika värden och mönster för de olika variablerna. Det ekonomiska utfallet framgår av tabell 2 och areal för de olika skötselsystemen i tabell 3. De övriga variablerna illustreras i figur 4–16. Resultatet redovisar följande variabler:

- Nuvärde
- Avkastning
- Skötselsystem idag / 100 år
- Tillväxt
- Avverkningsvolym
- Areal kalmark
- Virkesförråd
- Areal äldre skog
- Areal äldre lövskog
- Volym löv
- Död ved
- Kolbindning
- Kolförråd i levande träd
- Kolförråd i mark
- Totalt kolförråd
- Virkesförråd/Kolförråd Trade-off

3.1 Ekonomiska värden

De högsta ekonomiska värdena erhålls i strategin *Intensiv skötsel* (tabell 2). Det ger högst nuvärde och medelavkastning men leder också till störst arealer kalmark, högst andel ungskog och lägst medelålder. Trots stor skillnad i skötsel mellan strategierna *Dagens skötsel* och *Hyggesfri skötsel* är skillnaden i nuvärde relativt liten.

Oavsett bruksstrategi och skötselsystem ligger avkastningen över kommunens mål på en miljon kronor per år. Viktigt att nämna är att avkastningen exkluderar många administrativa kostnader vilket gör att den faktiska avkastningen i verkligheten är lägre. Medelvärdet av förräntningen på avverkningarna ligger på strax under 2% för alla bruksstrategier. Det beräknades genom att dividera den årliga avkastningen med nuvärdet per hektar.

Tabell 2. Nuvärde per hektar, medelvärden för avkastning samt medelvärdet för avkastning jämfört med räntan.
Table 2. Present value per hectare, mean income and mean income per year compared to the interest rate.

	<i>Dagens skötsel</i>	<i>Hyggesfri skötsel</i>	<i>Intensiv skötsel</i>
Nuvärde (ha)	34 340	31 922	40 443
Avkastning (kr/år)	4 408 300	3 80 8845	5 132 946
Avkastning (kr/ha/år)	665	575	775
Avkastning jämfört med räntan (%)	1,9	1,8	1,9

3.2 Skogens utveckling

Utfallet av skogens utveckling beror till stor del på vilket skötselsystem som används (tabell 3). För de avdelningar som har ett hyggesfritt skötselsystem tas ingen generell hänsyn, vilket görs för de avdelningar som brukas med trakthyggesbruk. Därför förblir arealerna av skötselsystemen i strategin *Hyggesfri skötsel* oförändrade genom hela planeringsperioden. I strategierna *Dagens skötsel* och *Intensiv skötsel* går dock 5 % av arealen från trakthyggesbruk till fri utveckling när generell hänsyn tas. I strategin *Dagens skötsel* övergår dessutom en viss areal från trakthyggesbruk till kontinuitetsskogsbruk till följd av kommunens mål.

Skötselsystem påverkar även faktorer som nettotillväxt (fig. 4) och avverkningsvolym (fig. 5). Valet av skötselsystem och slutavverkad areal avgör arealen kalmark (fig. 6). Ett intensivt trakthyggesbruk resulterar i kortare omloppstider och större kalmarksandel. Strategin *Hyggesfri skötsel* innebär på sikt att det inte finns några hyggen alls då skogen brukas med ett kontinuitetsskogsbruk. I ett par perioder framöver kommer det dock att finnas ytor med ungskog då skogen brukats med trakthyggesbruk fram till 2020 och dessa kommer att kunna upplevas som hyggen ett par perioder. Oavsett areal kalmark kommer totala virkesförrådet, som även påverkas av nettotillväxt och avverkningsvolym, att öka på sikt för alla brukningsstrategier (fig. 7).

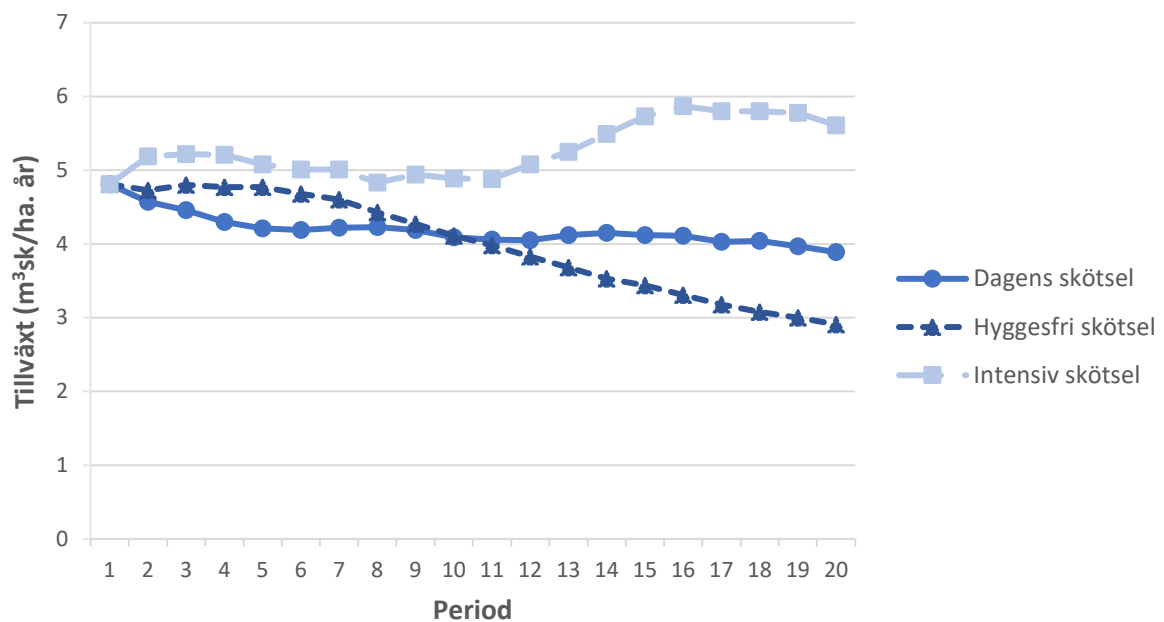
Areal äldre skog sett över alla trädslag (fig. 8) bibehålls med strategin *Dagens skötsel*. För strategin *Intensiv skötsel* sjunker arealen med äldre skog. Ökningen av äldre lövskog (fig. 9) beror dels på att lövträd sparas vid avverkning samt att generell hänsyn tas. I strategin *Hyggesfri skötsel* gynnas lövträd vid avverkning, vilket resulterar i den största ökningen. Det sker en ökning av äldre lövskog i strategin *Dagens skötsel* eftersom stående lövträd sparas och generell hänsyn tas. I strategin *Intensiv skötsel* ökar arealen äldre lövskog samtidigt som den totala volymen lövskog minskar (fig. 10). Minskningen av den totala volymen löv kan bero på att ekonomiska värden prioriteras högre än att bibehålla en viss lövandel.

För alla brukningsstrategier ökar mängden död ved (fig. 11). Det är naturligt eftersom död ved ackumuleras när skog dör eller avverkas. En mindre intensivt brukad skog med mindre avverkningar ger större naturlig avgång vilket skapar en större mängd död ved.

Tabell 3. Areal för varje skötselsystem den första respektive sista perioden.

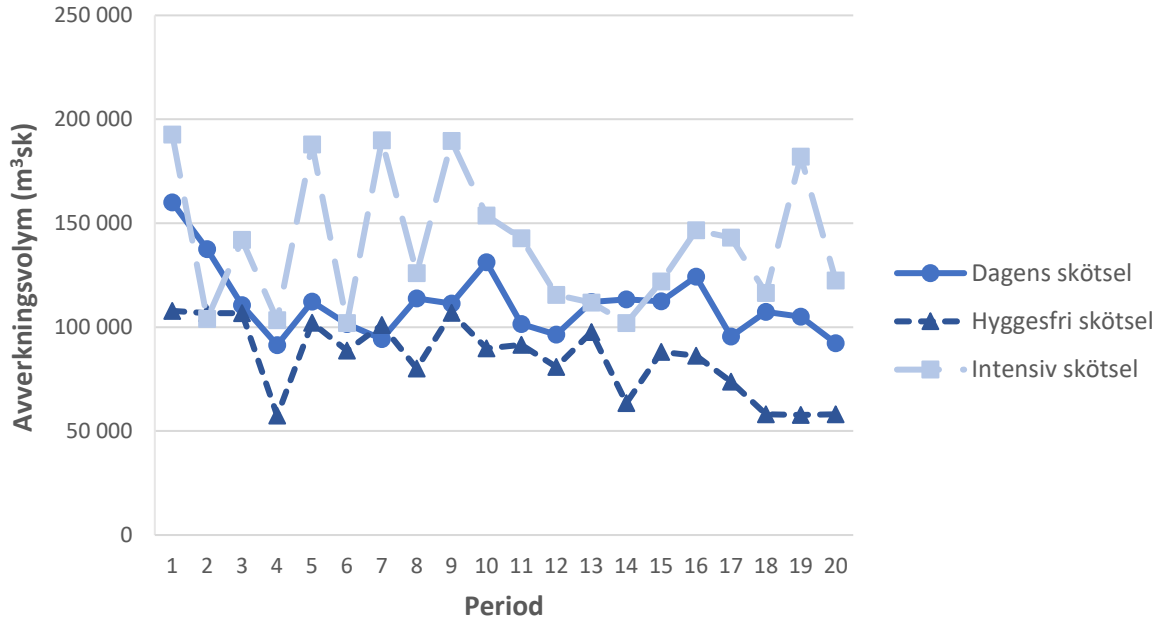
Table 3. Area for each management system in both the first and the last period.

Skötsel år 0 / år 100	<i>Dagens skötsel</i>	<i>Hyggesfri skötsel</i>	<i>Intensiv skötsel</i>
Fri utveckling (ha)	645 / 909	645 / 645	645 / 941
Hyggesfritt (ha)	637 / 892	5 920 / 5 920	0 / 0
Trakthyggesbruk (ha)	5 284 / 4 764	0 / 0	5 920 / 5 624

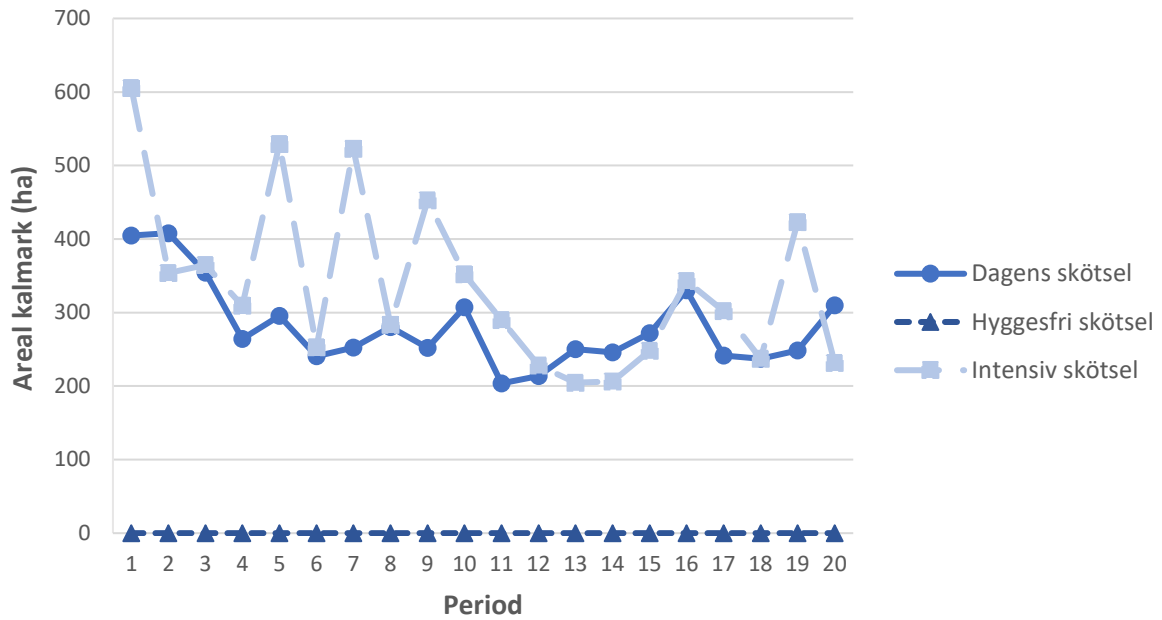


Figur 4. Löpande nettotillväxt för samtliga brukningsstrategier.

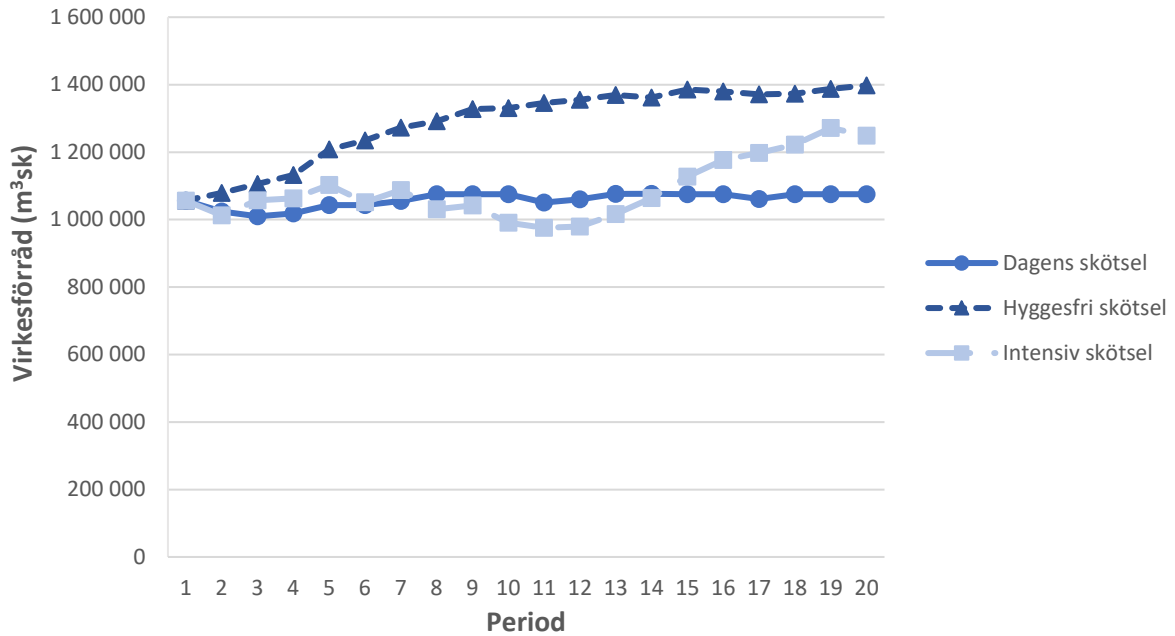
Figure 4. Current annual increment for for all management strategies.



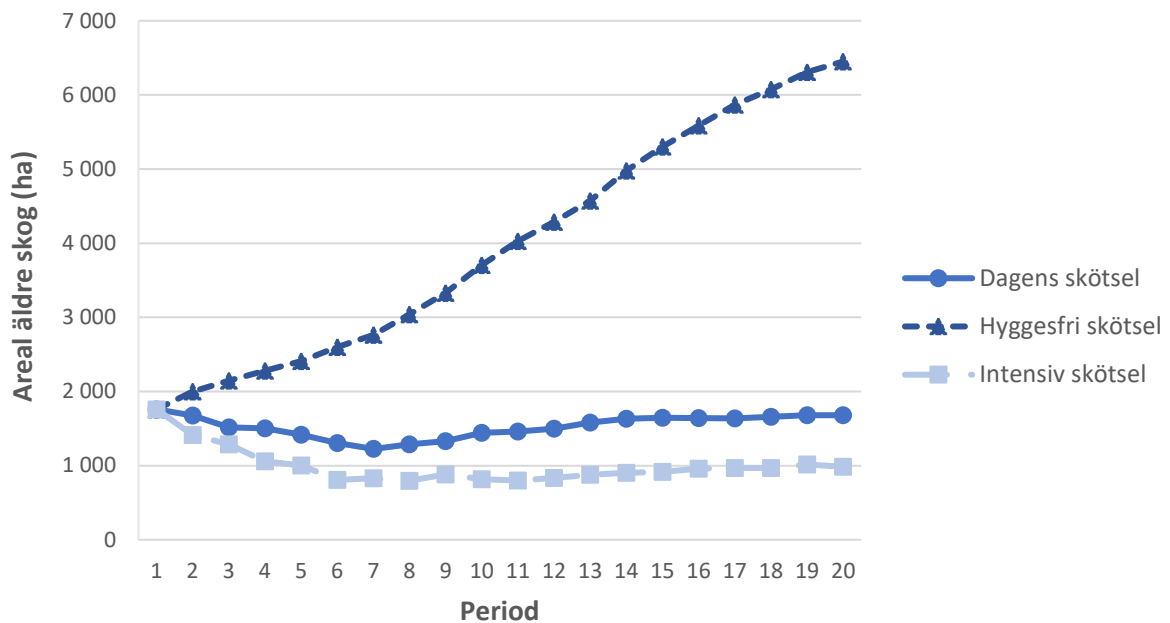
Figur 5. Total avverkningsvolym för samtliga brukningsstrategier.
Figure 5. Total volume harvested for all management strategies.



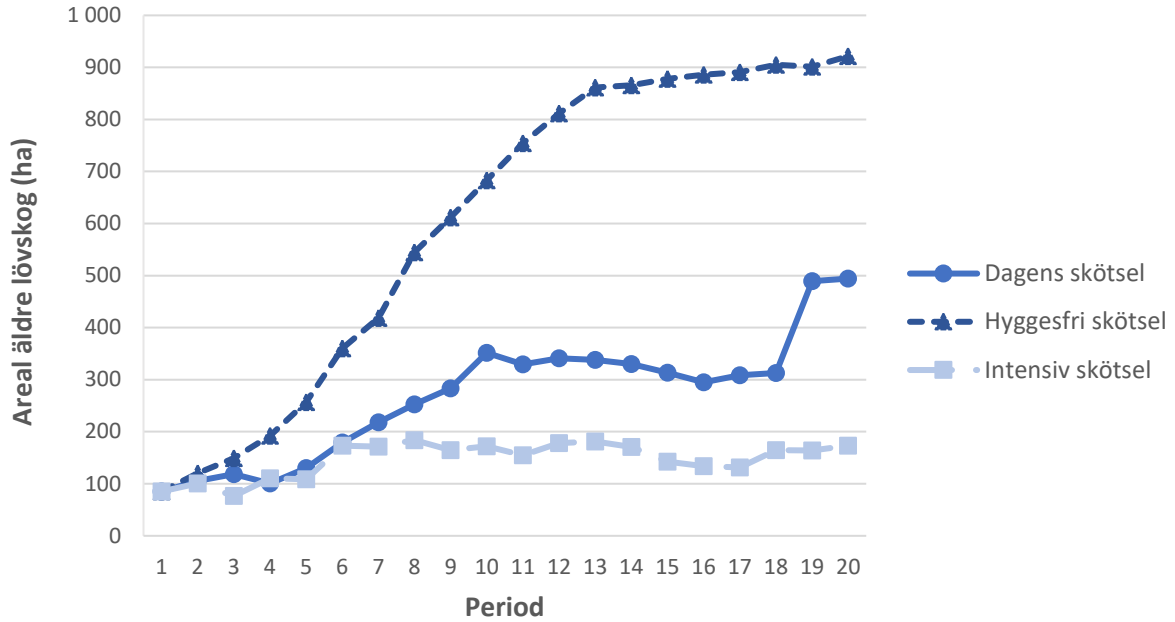
Figur 6. Areal kalmare/hyggen för samtliga brukningsstrategier.
Figure 6. Clear cut area for all management strategies.



Figur 7. Virkesförråd för samtliga brukningsstrategier.
Figure 7. Standing volume for all management strategies.

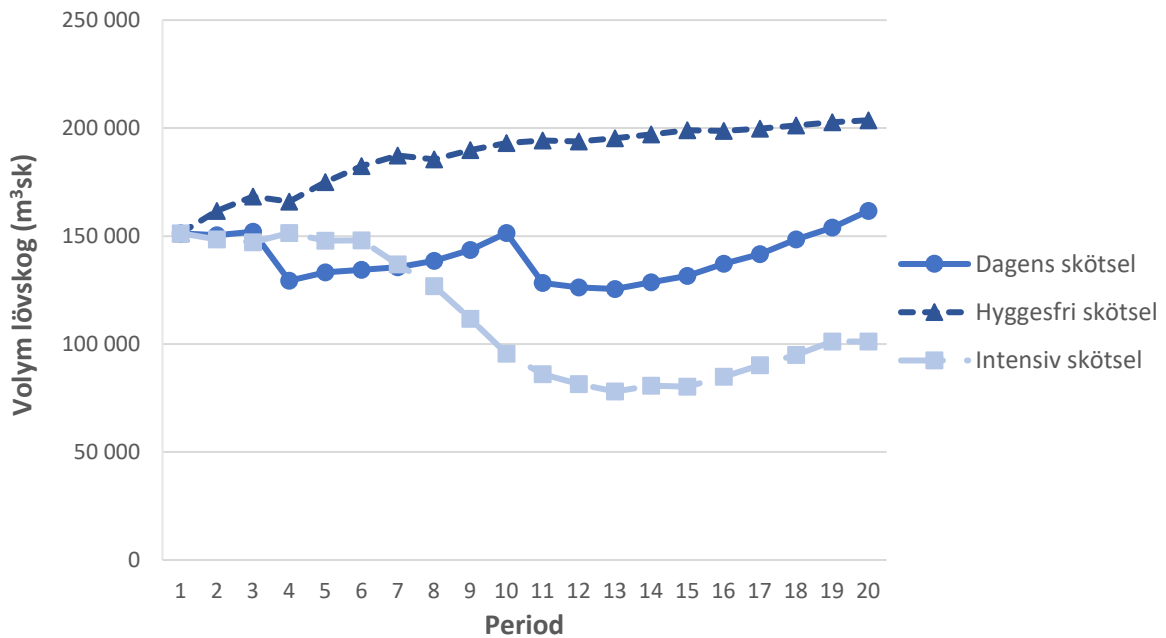


Figur 8. Areal skog med medelålder över 100 år för samtliga brukningsstrategier. Samtliga trädslag är inräknade.
Figure 8. Area forest with mean age older than 100 years, for all management strategies. All species included.



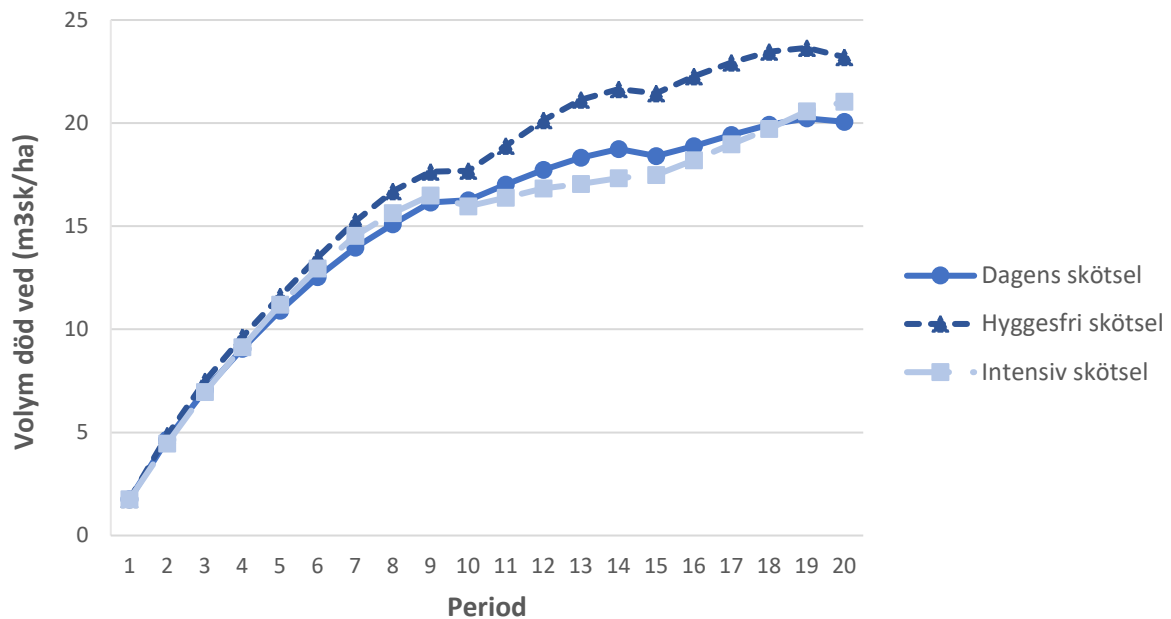
Figur 9. Areal skog med lövträd över 80 år för samtliga brukningsstrategier. För att klassas som lövskog ska 30% av volymen i en avdelning bestå av lövträd.

Figure 9. Area broadleaf forest older than 80 years for all management strategies. In order to classify as old broadleaf forest 30% of the volume in a compartment must be broadleaves.



Figur 10. Total volym lövskog för samtliga brukningsstrategier.

Figure 10. Total volume broadleaves for all management strategies.



Figur 11. Volym död ved per hektar för samtliga brukningsstrategier.
Figure 11. Volume dead wood per hectare for all management strategies.

3.3 Kolbindning och kolförråd

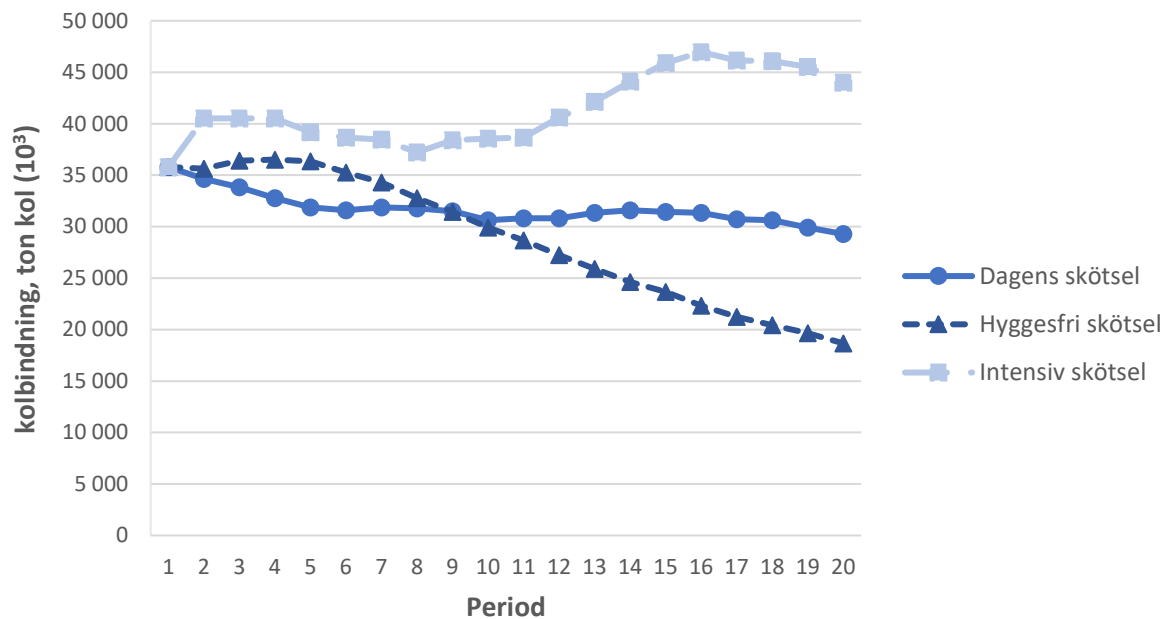
Tillväxt driver kolinbindning. Det innebär att kolförrådet byggs upp snabbare när tillväxten är hög. Strategin *Intensiv skötsel* med intensivt trakthyggesbruk, bl.a. med contorta som trädslag vid förnygring, genererar den högsta nettotillväxten (fig. 12) men har också de högsta avverkningsnivåerna (fig. 5). Detta medför att kolförrådet under flera perioder inte ökar på grund av de stora uttagen av virke och biomassa. Strategin *Hyggesfri skötsel*, med en stor volym i dagsläget, resulterar i större mängd äldre skog där tillväxten är avtagande över tiden. I äldre avdelningar väger tillväxten och avgången upp varandra vilket leder till att kolförrådet förblir mer eller mindre oförändrat (Eriksson *et al.* 2016).

Träd är till stor del uppbyggda av kol och om virkesförrådet i skogen ökar så ökar även mängden kol i levande träd (fig. 13). Ett stort virkesförråd innebär alltså att mer kol lagras i träden än vid ett lägre virkesförråd. Förnedfall, avverkningsrester och rotsystem gör även att kolförrådet i marken byggs upp (fig. 14) när skogen brukas. Det totala kolförrådet (fig. 15) är således beroende av nettotillväxt, stående volym och markens kolförråd.

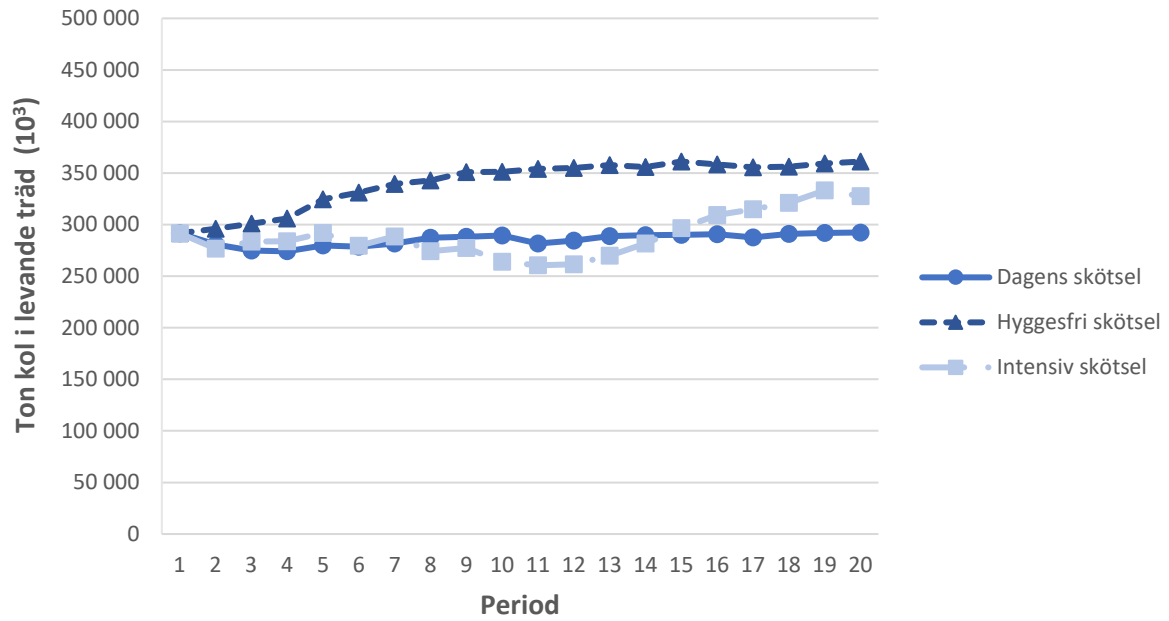
Oavsett brukningsstrategi är skogens förmåga att agera kolsänka stor. Jämfört med idag ökar mängden lagrad kol i alla strategier även om kollagret kan sjunka periodvis. Det finns flera

anledningar till att mängden lagrad kol ökar i alla strategier. Det tydligaste sambandet är att ett ökat virkesförråd innebär mer bunden kol i levande träd. Det är också en ökning av kol i marken (fig. 10), vilket förklarar den totala ökningen lagrat kol i strategin *Dagens skötsel* där virkesförrådets ökning inte är speciellt stor. Att den största ökningen av kolförråd sker med strategin *Hyggesfri skötsel* även när tillväxten sjunker mycket (fig. 4) kan förklaras med att avverkningsnivåerna är låga (fig. 5), vilket leder till ett högt virkesförråd (fig. 7).

Skillnaden mellan de två extrema brukningsstrategierna minskar med tiden. Efter 100 år är det ingen stor skillnad i kolförrådet mellan strategierna *Hyggesfri skötsel* och *Intensiv skötsel*, även om helt olika skötsel utförts under planeringsperioden. Med en längre planeringsperiod är det möjligt att strategin *Intensiv skötsel* är det optimala valet för ett maximalt kolförråd.

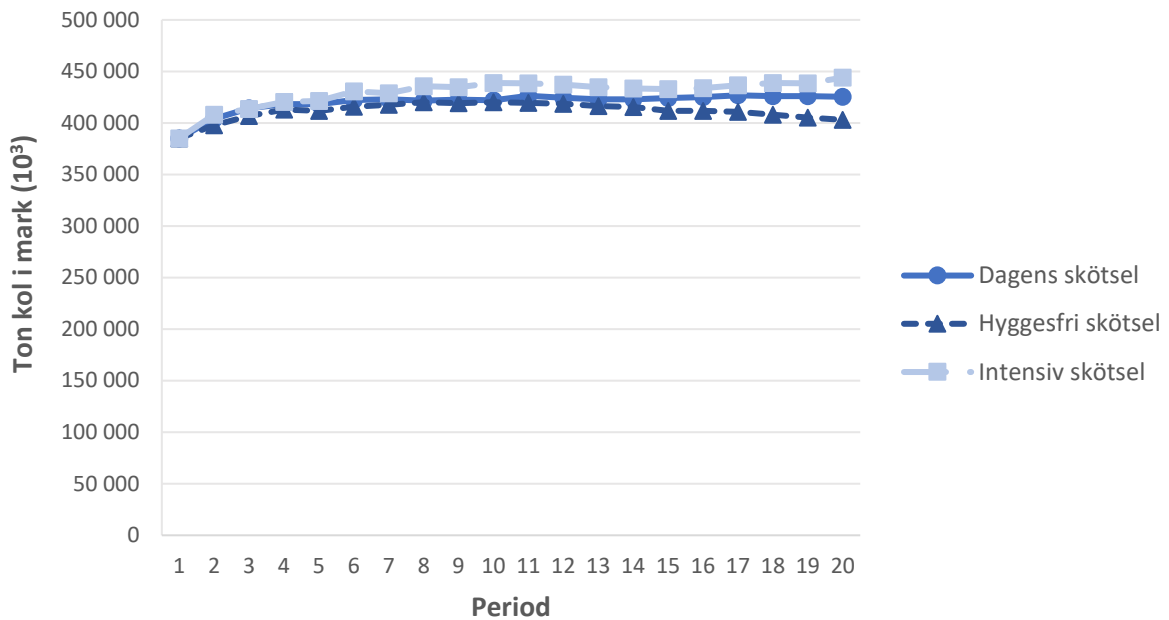


Figur 12. Mängd kol som binds in i levande träd för samtliga brukningsstrategier.
Figure 12. Amount of sequestered carbon by living trees for all management strategies.



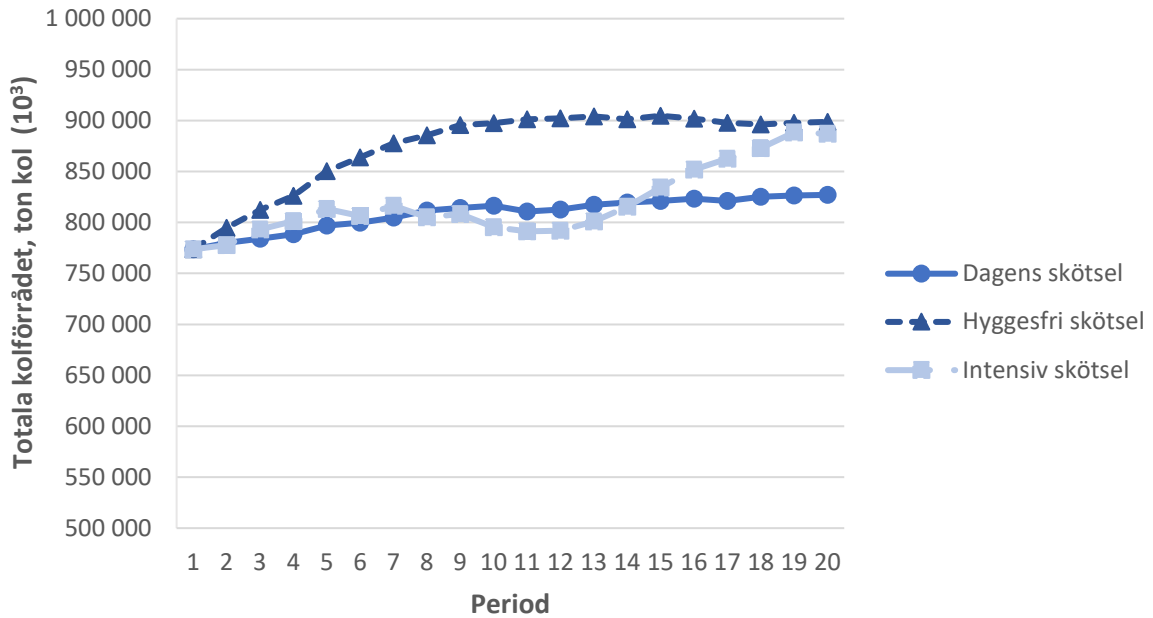
Figur 13. Totala kolförrådet i levande träd för samtliga brukningsstrategier.

Figure 13. Total carbon storage in living trees for all strategies.

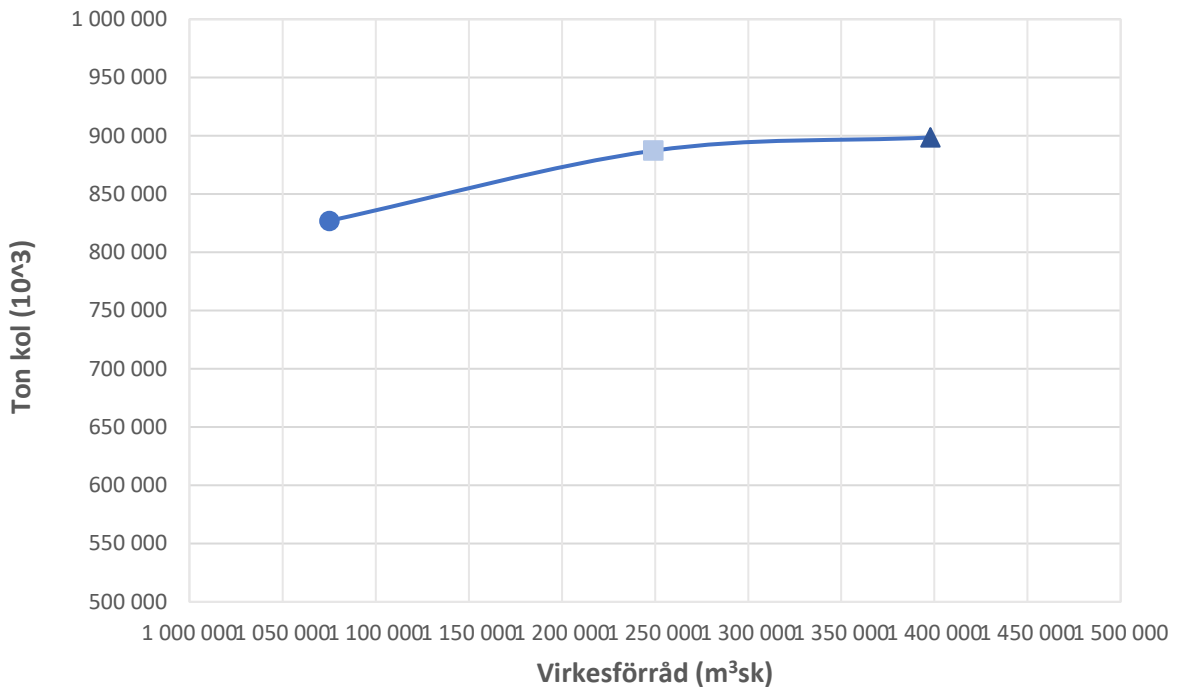


Figur 14. Totala kolförrådet i marken för samtliga brukningsstrategier.

Figure 14. Total soil carbon storage for all management strategies.



Figur 15. Totala kolförrådet för samtliga brukningsstrategier.
Figure 15. Total carbon storage for all management strategies.



Figur 16. Trade-off mellan det totala kolförrådet och det totala virkesförrådet baserat på de tre olika brukningsstrategierna.
Figure 16. Trade-off between total carbon storage and total standing volume based on the three management strategies.

4. DISKUSSION

Resultatet visar tydligt att val av bruksstrategi har en inverkan på mängden kol som binds in och lagras i biomassa. Resultatet skiljer sig dessutom på kort och lång sikt, vilket är relevant att ta med i beslutfattandet för val av framtida bruksstrategi. Utifrån resultatet går det att se att olika värden utvecklas i varierande hastighet och vid olika tidpunkter beroende på bruksstrategi. En kortsiktig planeringsperiod på ungefär 10 år kan därför vara missvisande när olika värden kan utvecklas långt senare. För att nå uppsatta mål i en långsiktig planering är det viktigt att de värden man vill utveckla sätts i perspektiv till varandra och värderas för att lyckas i sin flermålsanalys.

4.1 Andra studier

Enligt Eriksson et al. (2016) finns det två viktiga faktorer som påverkar skogens roll som kolsänka, mängden biomassa och användning av råvaran. Resultatet i denna uppsats inkluderar inte substitutionseffekten. Substitutionseffekten är den effekt i klimatnytta som erhålls genom att ersätta ej förnybara energikrävande material som betong, stål och fossila bränslen, med cellulosebaserade material från skogen. Den största effekten erhålls genom att ersätta material med långlivade produkter som konstruktionsvirke (Lundmark *et al.* 2014). Lundmark hävdar att för varje avverkad kubikmeter minskar utsläppen av CO₂ med 470 kg, vilket skulle kunna resultera i att utsläppen minskar med 40 000 ton CO₂ varje år i Sverige med en intensiv skötsel. Med dessa argument skulle strategin *Intensiv skötsel* vara det alternativ som är mest aktuellt om skogens roll som kolsänka ska maximeras på lång sikt.

Precis som att Lundmark et al. förespråkar intensiv skogsskötsel, finns det även många som förespråkar att skogen ska brukas mindre intensivt. Detta för att uppnå nuvarande klimatmål då frågan är akut (Solomon *et al.* 2007). Efter avverkning kan det ta flera årtionden innan skogen bundit in motsvarande mängd koldioxid som frigjordes till atmosfären vid avverkning (Pingoud *et al.* 2016). Trots en substitutionseffekt tar det lång tid att väga upp för utsläppen från flera produkter, bland annat biobränsle (Sterman *et al.* 2018). Dels för att utvinning, produktion och transport av biobränsle genererar ett utsläpp av CO₂, men också för att effektiviteten vid förbränning av biobränsle är lägre än vid förbränning av fossila bränslen. Även om användning av biobränsle i längden kommer generera lägre halter CO₂ kommer alla utsläpp de närmsta årtiondena förvärra klimatläget oberoende av utsläppets ursprung.

I uppsatsen är bruksstrategin med kontinuitetsskogsbruk den med minst påverkan på skogens struktur. En studie av Pukkala (2014) visar att vid kontinuitetsskogsbruk går en större andel av råvaran till sågtimmer, och en lägre andel till massaved jämfört med ett trakthyggesbruk. Det genererar mer långlivade produkter där kolet bibehålls en längre period

innan det bryts ner och når atmosfären. Detta behöver dock inte spela någon roll om efterfrågan förblir densamma. Även om arealen med kontinuitetsskogsbruk ökar betyder det inte att efterfrågan på massaved minskar och efterfrågan på sågtimmer ökar. En annan studie av Lundmark et al. (2016) visar att skötselsystemet i sig inte är avgörande för kolbalansen på längre sikt utan att framförallt produktanvändning och tillväxt har stor betydelse för klimatnyttan.

4.2 Uppsatsens styrkor och svagheter

Att översätta intentionerna för skogens brukande baserat på en skogsbruksplan med 10 års planeringshorisont till en 100-årsperiod har varit en utmaning i denna uppsats. Vid tolkning av skogsbruksplan och andra måldokument för skogen, kontaktades kommunens representant Johan Sandberg. Ett problem är att tätortsnära avdelningar inte är fördefinierade i skogsbruksplanen. Det gör att inte några avdelningar anpassas i PlanVis efter om de är tätortsnära eller inte. Därmed blir utfallet av strategin *Dagens skötsel* något avvikande från skötseln enligt nuvarande måldokument där tätortsnära skog är inkluderat. Oavsett hur noga utförandet och optimeringen i PlanVis är så ger programmet inte en exakt bild av hur det kommer se ut om 100 år även om PlanVis är avsett för långsiktiga prognoser av skogens utveckling. Alla framskrivningar bygger på modeller av hur verkligheten kan utvecklas, men det är omöjligt att ta hänsyn till svårbestämda föränderliga faktorer som kan påverka skogens utveckling. Det kan till exempel vara insektsangrepp eller stormar med stor inverkan på skogens utveckling. Att ett visst skötselsystem exempelvis skapar mer stormskador har egentligen med kunskap om lämpliga skötselåtgärder att göra och går att undvika med specifikt anpassad skötsel för avdelningar med olika skötselsystem. Specifik skötsel för enstaka avdelningar är dock problematiskt att skapa i PlanVis. Trots detta, ger PlanVis ett bra ramverk att jobba utifrån och ta fram beslutsunderlag för att ta beslut som på lång sikt ger en måluppfyllelse.

Vissa avdelningar valdes ut för att skötas med renanpassad skötsel. Avdelningarna valdes ut där vegetationen bestod av områden med lav och lingon, utan någon rumslig hänsyn. Ifall områdena faktiskt har en lämplig placering togs inte med vid valet av avdelningar. Detta beror framförallt på att vi inte har tillgång till någon renbruksplan över området. Andra avdelningar övergår från trakthyggesbruk till kontinuitetsskogsbruk efter en generation. För övergångsavdelningarna är det dock tvärtom, då läget på avdelningarna fick avgöra om det tillåts övergå från trakthyggesbruk till kontinuitetsskogsbruk utan att ta hänsyn till om det är de avdelningar som är mest lämpade för detta ur produktions- eller naturhänsynsändamål. Avdelningar för kontinuitetsskogsbruk och renanpassat skogsbruk har valts ut utan kommunikation med Umeå kommun. Skillnaden i effekt på kolbalansen jämfört med om

kommunen valt ut avdelningar bör ändå vara försumbar, då den påverkade arealen blir densamma oavsett placering.

Fokus i den här uppsatsen har inte varit att ta fram tre specifika strategier för att optimera bindning och lagring av kol. Istället har tre bruksstrategier tagits fram för att visa på hur dessa olika strategier påverkar dessa faktorer, vilket förmodligen ger ett sämre resultat än om bruksstrategierna tagits fram för att maximera kollagring och kolbindning. Men eftersom syftet är att se hur den nuvarande skötseln påverkar kolbalansen i jämförelse med två mer extrema skötselmetoder, uppfyller resultatet syftet med uppsatsen.

4.3 Val av bruksstrategi

Vid val av bruksstrategi måste skogens alla värden tas i beaktning. Värden som nämns i Umeå Kommuns måldokument (2017) rör sociala värden, ekonomi, naturvärden och skogens roll som kolsänka. Det är därför viktigt för Umeå kommun att ta reda på vikten av dessa olika värden, värdera dessa mot varandra och bestämma vilken typ av bruksstrategi som är mest lämpad för att nå dessa mål. I studier utförda åt Linköpings kommun (Öhman *et al.* 2013) fick personer på kommunen med olika bakgrund värdera för och nackdelar med de olika delmålen relativa betydelse. Tydliga värden skapar mycket bättre förutsättningar för analytiker att ta fram realistiska modeller där rätt värden prioriteras. Liknande värden skulle kunna tas fram inom Umeå kommun. Ett exempel kan vara att låta allmänheten tycka till om skogsinnehavet, ett annat att låta biologer, samhällsplanerare och jägmästare värdera vad de anser är viktigt.

Kommunen lägger stor vikt vid naturvärden, till exempel död ved och lövskog, för att skapa biologisk mångfald. För att uppnå klimatmålen snabbare är en mindre intensiv skötsel med kontinuitetsskogsbruk ett lämpligt alternativ. Strategin *Hyggesfri skötsel* ger högst kolförråd och är det bästa alternativet på både kort och lång sikt, om substitutionseffekter inte tas med i beräkningen. Eftersom resultatet även visar en ökning av variablerna äldre lövskog, äldre skog och död ved, talar det för att utöka de hyggesfria metoderna. Med ett lågt avkastningskrav på en miljon kronor per år har kommunen en stor möjlighet att använda pengar från avverkningar för att fokusera på utveckling av naturvärden på specifika platser inom skogsinnehavet. Det bör inte vara några problem för kommunen att utveckla de andra värdena i skogen och låta dem ta mer plats utan att inverka på avkastningskravet.

Sammantaget går det att konstatera att strategin *Hyggesfri skötsel* kan vara det mest lämpliga alternativet ur fler aspekter än skogens roll som kolsänka. En sådan aspekt är att det i tätortsnära skogar är värt att bevara och gynna sociala värden vilket givetvis bevaras bättre med hyggesfri skötsel jämfört med trakthyggesbruk (Rosell & Naturskyddsföreningen 2009).

Det är iallafall helt klart värt för kommunen att överväga att låta en stor del av skogen övergå till någon form av kontinuitetsskogsbruk.

Skulle målet för skogsinnehavet förändras genererar trakthyggesbruk högre ekonomisk avkastning och skulle därför vara att föredra, men på bekostnad av andra värden i skogen. Det är också viktigt att återigen betona att resultaten bygger helt på simuleringar och att dessa simuleringar kan ändras, anpassas och justeras för att bättre passa de värden som ska uppnås.

4.4 Slutsats

Kontinuitetsskogsbruk genererar det största kolförrådet i skogen både på kort och lång sikt. Ett intensivt trakthyggesbruk binder mest kol under planeringsperioden tack vare dess höga tillväxt. Detta överensstämmer väl med den hypotes vi hade om kolbindning och kollagring. På lång sikt minskar skillnaden i det totala kolförrådet mellan dessa två strategier. Från ett kolperspektiv är *Dagens skötsel* den minst lämpade då kolförrådet är lägst samtidigt som tillväxten avtar.

Baserat på resultatet kan Umeå kommun använda sig mer av kontinuitetsskogsbruk eftersom det genererar större kollagring och samtidigt uppfyller ekonomiska mål. Därtill gynnas även miljövärden och skapar de bästa förutsättningarna för biologisk mångfald utifrån de tre simulerade strategierna.

5. REFERENSER

- Bernes, C. (2017). *En varmare värld: Växthuseffekten och klimatets förändringar - Tredje upplagan*. (Monitor, 23). Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1072793/FULLTEXT01.pdf> [2020-04-16]
- Carlsson, L. & Boström, M. (2014). *Skog och Ren*. Projektet Kompetensutveckling Skogsbruk och Rennäring. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/rennaring/skog-och-ren-2014.pdf> [2020-03-24]
- EASAC (2019). *Forestry bioenergy, carbon capture and storage, and carbon dioxide removal: an update*. (Forest Bioenergy, CCS and Co2 removal). Bryssel: European Academies Science Advisory Council. Tillgänglig: <https://easac.eu/publications/details/forest-bioenergy-carbon-capture-and-storage-and-carbon-dioxide-removal-an-update/> [2020-03-20]
- Eggers, J. & Öhman, K. (2020). Overview of the PlanWise application and examples of its use. [2020-04-17]
- Eriksson, L.-O., Lundström, A., Lundström, J., Lämås, T., Nordström, E.-M., Wilhelmsson, E. & Öhman, K. (2016). *Skoglig planering*. (Ljungbergsfondskompendium). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet. [2020-01-20]
- Fagerberg, N. (2010). Kontinuitetsskogsbruk. *Åter*, (4), ss. 14–15
- Fries, C., Bergquist, J. & Wikström, P. (2015). *Lägsta ålder för förnygringsavverkning (LÅF) - en analys av följder av att sänka åldrarna i norra Sverige till samma nivå som i södra Sverige*. (6). Jönköping: Skogsstyrelsen. Tillgänglig: https://shopcdn2.textalk.se/shop/9098/art13/28129213-4caf1a-Foryngringsavverkning_webb.pdf [2020-04-17]
- Graber, J., Amthor, J., Dahlman, R., Drell, D. & Weatherwax, S. (2008). *Carbon Cycling and Biosequestration Integrating Biology and Climate Through Systems Science Report from the March 2008 Workshop*. (DOE/SC-108). DOESC (USDOE Office of Science (SC)). DOI: <https://doi.org/10.2172/948438>
- Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundström, A., Ortiz, C.A., Sathre, R., Truong, N.L. & Wikberg, P.-E. (2017). Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, ss. 612–624
- Hayes, D.J., McGuire, A.D., Kicklighter, D.W., Gurney, K.R., Burnside, T.J. & Melillo, J.M. (2011). Is the northern high-latitude land-based CO₂ sink weakening? *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 25 (3). DOI: <https://doi.org/10.1029/2010GB003813>

- Jonsson, B., Kruys, N. & Ranius, T. (2005). Ecology of species living on dead wood – lessons for dead wood management. *Silva Fennica*, vol. 39 (2). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.390>
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B.C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, vol. 5 (4), ss. 557–578 Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- 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*, vol. 45 (S2), ss. 203–213
- Malhi, Y., Baldocchi, D.D. & Jarvis, P.G. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell & Environment*, vol. 22 (6), ss. 715–740
- Naturvårdsverket (2018). De svenska miljömålen - en introduktion. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8821-7.pdf?pid=23428> [2020-04-17]
- Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. & Helin, T. (2016). Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *GCB Bioenergy*, vol. 8 (1), ss. 171–182
- Pukkala, T. (2014). Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics*, vol. 43, ss. 41–50
- Pukkala, T., Laiho, O. & Lähde, E. (2016). Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management*, vol. 372, ss. 120–127
- Radloff, K., Myrén, A., Jonsson, H., Hänström, P., Olsson, M. & Iseklint, A.-M. (2020). Umeås lokala miljömål 2020. Umeå Kommun. Tillgänglig: <https://www.umea.se/miljomal> [2020-04-17]
- Rosell, S. & Naturskyddsföreningen (2009). *Skogsbruk utan hyggen: rapport*. Stockholm: Naturskyddsföreningen.
- Skogsstyrelsen (2017). *Skogsbruksplanen – ett viktigt verktyg*. Tillgänglig: [/aga-skog/du-och-din-skog/skogsbruksplanen/](#) [2020-04-17]
- Skogsstyrelsen (2019a). *Gallring*. Tillgänglig: [/bruka-skog/gallring/](#) [2020-04-17]
- Skogsstyrelsen (2019b). *Hyggesfritt skogsbruk*. Tillgänglig: [/bruka-skog/olika-satt-att-skota-din-skog/hyggesfritt-skogsbruk/](#) [2020-04-17]
- Solomon, S., Intergovernmental Panel on Climate Change & Intergovernmental Panel on Climate Change (red.) (2007). *Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

- Sterman, J.D., Siegel, L. & Rooney-Varga, J.N. (2018). Does replacing coal with wood lower CO₂ emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy. *Environmental Research Letters*, vol. 13 (1), s. 015007 IOP Publishing.
- Ståhl, P.H. (2013). *Skogsskötselserien 16, Produktionshöjande åtgärder. 2., omarb. uppl.* Jönköping: Skogsstyrelsen. (Skogsskötselserien; 16)
- Sveaskog (2020). Virkesprislista nr 133VB. Sveaskog. Tillgänglig: <https://www.sveaskog.se/globalassets/skogsagare/2020/virkesprislista-vasterbotten-133vb.pdf> [2020-04-17]
- Umeå kommun (2017). Inriktningsmål för Umeå kommuns markreserv. Umeå Kommun.
- 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. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, vol. 3 (2), s. 8
- Winjum, J.K., Dixon, R.K. & Schroeder, P.E. (1993). Forest management and carbon storage: An analysis of 12 key forest nations. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 70 (1), ss. 239–257
- Öhman, K., Holmström, H. & Nordström, E.-M. (2013). *Utvärdering av kontinuitetsskogsbruk för Linköpings kommunskogar.* (385). Umeå. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/9492/> [2020-04-16]