



Odlar kol

En jämförelse av fem trädslags kolförråd på tidigare jordbruksmark

Jenny Hansson & Lisa Persdotter Rehn

Kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakultet för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2025:10
Umeå 2025



Odla kol - Ekosystemkolförråd hos fem trädslag på tidigare jordbruksmark

Jenny Hansson & Lisa Persdotter Rehn

Handledare:	Monika Strömgren, SLU, institutionen för mark och miljö och Skogforsk
Bitr. handledare:	Nils Fahlvik, SLU, institutionen för sydsvensk skogsvetenskap och Skogforsk
Examinator:	Marcus Klaus, SLU, institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning:	15hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i skogsbruksvetenskap & biologi
Kurskod:	EX1015 & EX1014
Program/utbildning:	Skogsvetarprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2025
Omslagsbild:	Jenny Svennås-Gillner, SLU
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Kandidatarbeten i skogsvetenskap
Delnummer i serien:	2025:10

Nyckelord:	Kolinlagring, kolsänka, organiskt kol, SOC, förna, biomassa, beskogning, åkermark, Sverige.
-------------------	---

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

Stora arealer obrukad åkermark i Sverige utgör en möjlig resurs för ökad kolinlagring genom återbeskogning och genom detta bidra till minskad klimatpåverkan. Denna studie undersökte kolförråd i mark, förna och biomassa av fem trädslag planterade på två försökslokaler i norra Sverige. Lokalerna anlades av Skogforsk och SLU år 2009 och etableringen finansierades av Energimyndigheten och E.ON. Hybridasp (*Populus tremula* × *P. tremuloides*), poppel (*Populus spp.*) och lärk (*Larix sukaczewii*) visade högre kolförråd 15 år efter plantering jämfört med vårtbjörk (*Betula pendula*) och gran (*Picea abies*).

Studien visar att beskogning av nedlagd åkermark signifikant ökade ekosystemets kolförråd 15 år efter plantering, där ökningen främst drevs av den växande trädbiomassan. Kolförrådet i marken varierade signifikant mellan lokalerna, medan skillnaderna mellan trädslag inte var signifikanta. Detta tyder på att abiotiska faktorer såsom jordmån, klimat och tidigare markanvändning har större påverkan än val av trädslag på kolförrådet i marken under de första 15 åren. Kolförrådet i förnan varierade däremot signifikant mellan trädslagen, vilket indikerar att trädslaget påverkar mängden förna. Marken (<30 cm) var den komponent som innehöll störst andel av det totala kolförrådet 15 år efter plantering, följt av den totala biomassan. Den totala kolinlagringen i ekosystemet uppgick i genomsnitt till 3,4 ton C per hektar och år för alla trädslag sammanslaget, där hybridasp visade högst kolinlagring (4,6 ton C/ha och år) och gran visade lägst (1,1 ton C/ha och år).

Nyckelord: Kolinlagring, kolsänka, organiskt kol, SOC, förna, biomassa, beskogning, åkermark, Sverige.

Abstract

Large areas of unused farmland in Sweden could be a potential resource for increased carbon storage through reforestation and thereby contribute to reduced climate impact. This study investigated carbon stored in the soil, litter, and biomass of five different tree species planted at two sites in northern Sweden. The sites were set up by Skogforsk and SLU in 2009, and the establishment was funded by Energimyndigheten. Hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*), poplar (*Populus spp.*) and Siberian larch (*Larix sukaczewii*) had higher carbon stocks 15 years since planting, compared to silver birch (*Betula pendula*) and spruce (*Picea abies*).

Reforestation of abandoned farmland significantly increased ecosystem carbon stocks over the 15-year period, primarily driven by the growing tree biomass. Carbon stocks in the soil varied significantly between sites, while differences between tree species were not significant, suggesting that abiotic factors such as soil properties, climate, and previous land use had a greater influence on soil carbon during the first 15 years than tree species choice. However, the carbon stocks in the litter varied significantly between tree species, indicating that tree species influence the amount of litter produced. The soil (<30 cm) was the largest carbon pool 15 years after planting, followed by total biomass. The average total carbon storage of the ecosystem was 3.4 t C per hectare per year across all tree species combined, with hybrid aspen showing the highest carbon storage (4.6 t C/ha per year) and spruce the lowest (1.1 t C/ha per year).

Keywords: Carbon storage, carbon stock, soil organic carbon, SOC, litter, tree biomass, afforestation, farmland, Sweden.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
1. Inledning	8
2. Bakgrund	9
3. Metod.....	11
3.1 Lokal & försöksdesign	11
3.2 Trädslag & behandling	14
3.3 Markprover	15
3.4 Förmånsamling och markvegetation	16
3.5 Ovanjordisk och underjordisk biomassa	17
3.5.1 Ovanjordisk biomassa utifrån höjd och diameter.....	17
3.5.2 Rotbiomassa	18
3.6 Dataanalys	18
3.7 Kolinlagring	19
4. Resultat & analys	20
4.1 Kolförråd i mark.....	20
4.2 Kolförråd i förna.....	21
4.3 Kolförråd i biomassa	22
4.4 Ekosystemets kolförråd.....	24
5. Diskussion	27
5.1 Trädslagseffekter på kolförråd	27
5.2 Metod och begränsningar	28
5.3 Framtiden och klimatnytta	29
5.4 Sammanfattning	31
Referenser.....	32
Bilaga.....	35
Tack	37

Tabellförteckning

Tabell 1: Planteringsförband och stamantal vid plantering för respektive trädslag i försöket.	15
Tabell 2: Totalt kolförråd (ton C / ha) med medelfel för respektive trädslag och lokal vid mätning 2024. G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.....	25
Tabell 3: Genomsnittlig kolinlagring per ytenhet (ton C / ha och år) för respektive lokal och trädslag under perioderna från start till varje mätning i försöket. Negativt värde visar på minskning av kolförråd (kolkälla). Positivt värde visar ökning av kolförråd (kolsänka). G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.	26
Tabell 4: Kolförråd per ytenhet (ton C / ha) i olika fraktioner för respektive lokal och provtagningstillfälle. Värden av kolförråd från 2008, 2013 och 2017 hämtades från Rytter & Rytter (2020:7). Biomassa inkluderar biomassa ovan jord och rotbiomassa och Mark representerar båda djupnivåerna ned till 30cm djup. G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk, Löv=Lövhäger, Bjä=Bjästa, F=förna, M=mark.	35

Figurförteckning

Figur 1: Lokalerna för försöket är Lövånger (I) i Västerbotten och Bjästa (II) i Ångermanland (Rytter 2012).	12
Figur 2: Försöksdesign för Lövånger (Rytter & Lundmark 2010:14). G = gran, Ha = hybridasp, L = lärk, S = salix (utgått), P = poppel och Vb = vårtbjörk.	13
Figur 3: Försöksdesign för Bjästa (Rytter & Lundmark 2010:15). G = gran, Ha = hybridasp, L = lärk, S = salix (utgått), P = poppel och Vb = vårtbjörk.	14
Figur 4: Kolförråd i mark för respektive trädslag i försöket uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövånger) och djupnivå (0-10 cm och 10-30 cm). Övre och nedre gräns i varje box visar interkvartilavståndet vilket är spridningen för de 50% mittersta observationerna medan de vertikala linjerna ovan och under boxarna visar hela spridningen av observationerna.....	20
Figur 5: Kolförråd i förna för respektive trädslag i försöket uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövånger).	21
Figur 6: Kolförråd i biomassa ovan jord och rotbiomassa för respektive trädslag uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövånger).....	22
Figur 7: Överlevnad i procent fördelat på trädslag och lokal vid mätning efter tillväxtsång 2024, 15 år efter plantering.	23
Figur 8: Kolförråd i total biomassa (ton C/ha) mot andel överlevande träd (%) i samtliga parceller. Blå cirkel är parceller i Bjästa och orange diamant är parceller i Lövånger.	23
Figur 9: Totalt kolförråd (ton C / ha) för komponenterna rotbiomassa, mark (0-30 cm), förna och ovanjordisk biomassa för respektive trädslag i Bjästa och Lövånger. G=gran, Ha=hybridasp, L= lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.....	24
Figur 10: Totalt kolförråd (ton C / ha) per trädslag för respektive lokal och provtagningstillfälle. Värden av kolförråd från 2008, 2013 och 2017 hämtades från Rytter & Rytter (2020).....	25

1. Inledning

Enligt IPCC (2007) är det avgörande att öka kolinlagringen i mark och vegetation för att uppnå Parisavtalets mål om att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen till under 2 grader. I Sverige är ett av de långsiktiga klimatmålen att uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser senast år 2045 (Naturvårdsverket 2024). Återbeskogning av nedlagd åkermark kan bidra till att uppnå Parisavtalet och Sveriges klimatmål. Enligt Lutter (2021) har beskogning av åkermark en potential att öka kolsänkan med 5,5 miljoner ton kol per år i biomassan och 0,2 miljoner ton i marken under ca 20 år om 400 000 hektar åkermark beskogas med snabbväxande trädslag.

Det finns 400 000 ha areal obrukad åkermark i Sverige (Larsson et al. 2009). Obrukad åkermark utgör en outnyttjad resurs, vilket genom återbeskogning skulle kunna öka kolinlagringen och bidra till att mildra climateffekten (IPCC 2007). Även om beskogning kan bidra till att uppnå Sveriges klimatmål, finns det potentiella konflikter med andra miljömål. Till exempel kan beskogning begränsa jordbruksmarkens tillgänglighet för livsmedelsproduktion (Mål 2 Ingen hunger).

Syftet med studien är att undersöka hur trädslagsvalet påverkar kolförrådet 15 år efter beskogning av nedlagd åkermark. Hypotesen är att kolförrådet skiljer sig åt mellan olika trädslag. Frågeställningarna som undersöks är:

- Hur påverkar de olika trädslagen kolförrådet i trädbiomassa, förna, mark samt hela ekosystemet?
- Hur kan återbeskogning av tidigare jordbruksmark bidra till ökad kolinlagring?

2. Bakgrund

Under första decenniet av 2000-talet övergavs drygt 400 000 ha jordbruksmark i EU (Kuemmerle et al. 2016). Samtidigt har den totala arealen av åkermark i EU minskat mellan åren 1990 till 2006, varvid betesmarker och skogsareal ökat. Att plantera skog på övergiven åkermark kan både stärka kolbindningen och minska de totala utsläppen av växthusgaser (Larsson et al. 2009). Tidigare jordbruksmark som lämnats övergiven tenderar att behålla ett relativt stabilt kolförråd jämfört med brukad mark, där plöjning och markstörning vanligen leder till förlust av organiskt kol snabbare än den kan återbildas (IPCC 2003).

Även markberedning och planteringsmetoder kan störa marken och göra den till tillfällig kolkälla (Rytter 2016). Självföryngring på tidigare jordbruksmark kan ha positiva effekter på organiskt kol eftersom marken förblir orörd. Enligt försök av Thibault (2022) uppmättes 1,3 gånger högre nivåer av organiskt kol på självföryngrade övergivna jordbruksmarker jämfört med planterade. Samtidigt visade samma studie att trädens tillväxt ovan mark var långsammare i självföryngrade områden, där biomassa ovan jord var ungefär hälften så stor som i planterade områden.

Valet av trädslag har stor betydelse för tillväxt och produktion på en viss ståndort och därmed på möjligheten att lagra kol ovan jord. För att bedöma trädslagets betydelse för det totala kolförrådet måste emellertid även kolförrådet i mark och förna ingå i kalkylen. Exempelvis har lövträd generellt ett högre kolförråd i förnan än barrträd (Vesterdal et al. 2008). Trädarter påverkar även markens struktur och näringsförråd olika, inklusive kolinnehåll (Rytter 2016). Snabbväxande trädarter ger betydande potential att öka kolförrådet på tidigare jordbruksmark, både i biomassa och organiskt kol i marken (Rytter et al. 2015). Om träden avverkas finns möjlighet till långsiktig lagring i träprodukter eller som substitut till fossila bränslen genom att omvandling till förnybar energi.

Ett trädslagsförsök på tidigare jordbruksmark anlades 2009 på fem försökslokaler från Skåne till Västerbotten. De två nordligaste försöken studerades i denna uppsats. Försöket anlades gemensamt av Skogforsk och SLU, med finansiering av Energimyndigheten och E.ON (Rytter & Lundmark 2014). I studien undersöktes

hur olika trädslag påverkar kolförrådet i mark, förna och biomassa. Resultaten jämfördes med tidigare studier av beskogning av åkermark.

3. Metod

En empirisk studie med kvantitativ ansats och design har utförts där provtagningsresultat sammanställts, beräknats och analyserats. Studien bygger på mätning gjord 15 tillväxtsåonger efter planteringen. Provtagning av mark, förnainsamling, mätning av trädens höjd och diameter samt analys för kolhalt utfördes av Skogforsk vinterhalvåret efter tillväxtsåong 2024. Vi har därefter beräknat och analyserat följande:

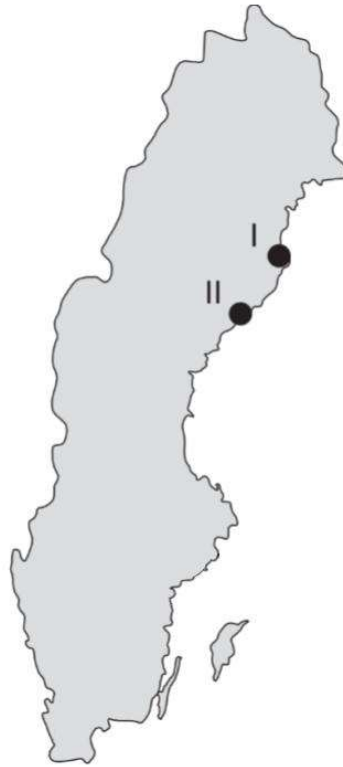
1. Markens kolförråd genom markprovernans kolhalt tillsammans med tidigare inmätt mängd finjord för respektive lokal.
2. Förnans kolförråd genom förnans kolhalt med torrsvikt av insamlad förna.
3. Biomassans kolförråd genom att diameter på samtliga träd och höjd på provträd beräknades till biomassa ovan jord och i rötter.

Dessa data (1-3) sammanslaget låg till grund för uppskattningen av det totala kolförrådet för ekosystemet per hektar och kolinlagringen per hektar, specificerat per trädslag och lokal.

3.1 Lokal & försöksdesign

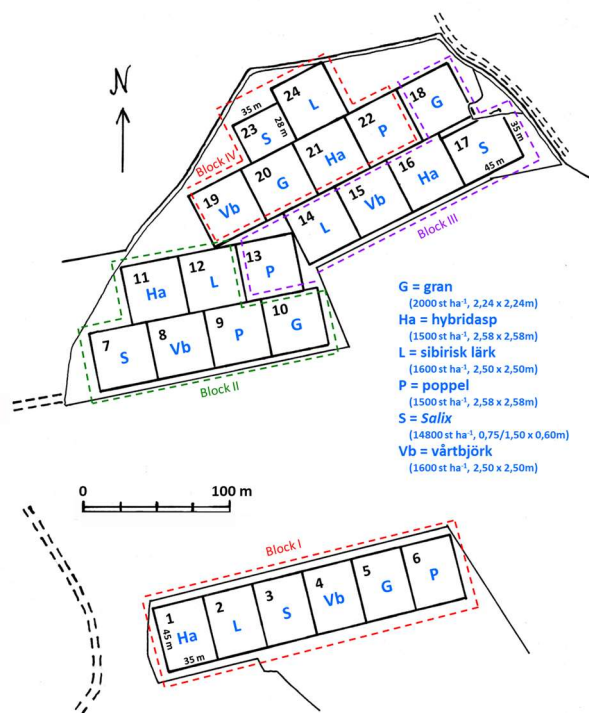
De två lokalerna består av tidigare åkermark i norra delen av Sverige, i boreal zon. Lokalerna är belägna i Lövsånger, Västanbyn (lat. 64°20'N; long. 21°14'Ö, alt. 20 m.ö.h.) i Västerbotten och Bjästa, Norrsvedje (lat. 63°12'N; long. 18°29'Ö, alt. 15 m.ö.h.) i Ångermanland (figur 1). Nederbörd i medel under månaderna januari respektive juli var 45 / 56 mm för den nordligaste lokalen i Lövsånger och 49 / 70 mm för lokalen i Bjästa (Rytter & Rytter 2020). Vegetationsperioden för platserna ligger mellan 155-160 dagar per år. Marken bestod av mjällera och mojordar på båda lokalerna och hade en låg grushalt i matjorden (Rytter & Högbom 2010).

Båda lokalerna användes för spannmål fram till omkring år 2000 (Rytter & Högbom 2010). Därefter anlades på markerna i Lövsånger vall, som fram till försökets start skördades årligen i block 1 och var i träda i övriga block. Markerna i Bjästa var helt obrukade i sex år innan försöket startade.



Figur 1: Lokalerna för försöket är Lövånger (I) i Västerbotten och Bjästa (II) i Ångermanland (Rytter 2012).

Designen av försöket är randomiserade blockförsök med fyra upprepningar av varje trädslag per lokal (Rytter & Lundmark 2014). En försöksyta av varje trädslag finns representerad inom respektive block. På varje lokal fanns ursprungligen sex olika trädslag representerade, varav *Salix* utgått på grund av omfattande avgång. Figur 2–3 visar försöksdesignen per lokal. Trädslagen följs inom kvadratiska parceller om 40x40 meter (0,16 ha), där varje trädslag representeras i en parcell i respektive block. Mätningar gjordes inom en buffertzona på två trädrader runt ytorna vilket gav arean för nettoparcellen 0,09 ha (30x30 meter). Några parceller hade avvikande form för att optimera lokalernas tillgängliga areal.



Figur 2: Försöksdesign för Lövånger (Rytter & Lundmark 2010:14). G = gran, Ha = hybridasp, L = lärk, S = salix (utgått), P = poppel och Vb = vartbjörk.



Figur 3: Försöksdesign för Bjästa (Rytter & Lundmark 2010:15). G = gran, Ha = hybridasp, L = lärk, S = salix (utgått), P = poppel och Vb = vårtbjörk.

3.2 Trädslag & behandling

Trädslagen i försöket är gran (*Picea abies*), hybridasp (*Populus tremula* × *P. tremuloides*), sibirisk lärk (*Larix sukaczewii*), poppel (*Populus spp.*, arter och hybrider från främst avdelningen balsampopplar) och vårtbjörk (*Betula pendula*) (Rytter & Lundmark 2014). Salix (klonen Gudrun) uteslöts från försöket från båda lokalerna på grund av ett angrepp av bladrost (troligtvis *Melampsora spp.*) varvid dessa planteringar inte kunde användas vidare i försöket (Rytter & Lutter 2019).

Bästa möjliga plantmaterial valdes för lokalerna. Plantmaterial för hybridasp och poppel var från de 7 bästa klonerna från arkivet på Skogforsk forskningsstation Sävar, norr om Umeå (Rytter & Lutter 2019). Lärk klonades från arkivträd i Sävar med ursprung från Ryssland (Raviola och Archangelsk). Vårtbjörk kom från fröplantage i Finland medan gran kom från fröplantage i Sverige. Granfrö till lokalen Bjästa kom från Saleby i Västra Götaland och granfrö till lokalen Lövånger kom från Hissjö i Västerbotten.

Före plantering förbereddes lokalerna genom plöjning, harvning och sprutning av främst ogräsmedlet Roundup (Rytter & Lundmark 2014). På grund av konkurrens med ogräs samt tork- och sorkskador utfördes stödplantering samt ogräsbekämpning under 2010 och 2011. Trots detta hade vissa parceller hög avgång, som exempelvis gran i Block II i Lövånger där 20% av plantorna hade överlevt till år 2024. Vid hjälpplantering användes plantmaterial med samma ursprung som vid etableringen av försöket (Rytter & Lundmark 2014).

Utredning om stamtäthet för respektive trädslag gjordes inför plantering (Rytter & Lundmark 2010). Omloppstiden beräknades så kort som möjligt för respektive trädslag med fokus på en hög biomassaproduktion. Målsättningen var att ha en gagnvirkesandel på minst 65% av den genomsnittliga stamvolymen när träden når självgallringsstadiet. Utifrån detta togs stamtätheten fram för varje trädslag enligt tabell 1.

Tabell 1: Planteringsförband och stamantal vid plantering för respektive trädslag i försöket.

<i>Trädslag</i>	<i>Stamantal (st/ha)</i>	<i>Förband (m)</i>
<i>Gran</i>	2 000	2,24
<i>Hybridasp</i>	1 500	2,58
<i>Poppel</i>	1 500	2,58
<i>Vårtbjörk</i>	1 600	2,50
<i>Lärk</i>	1 600	2,50

3.3 Markprover

För att bestämma kolförråd i marken togs jordprover i Skogforsk regi under hösten 2024. Proverna togs på 20 systematiskt slumpmässigt utvalda punkter per parcell. Punkterna hade 5-6 meters avstånd mellan varandra. Provpunkterna placerades mellan trädraderna och togs innanför en bufferzon på 5 m från parcellens ytterkant. Viss anpassning utfördes i parceller vars plantetablering var delvis begränsad eller avvikande. Fler prover togs på del av parcell med hög överlevnad än på låg överlevnad.

En jordborr användes för att erhålla jordproven. Borren hade en yttre diameter på 25 mm, inre diameter på 20 mm. Provet togs ned till borren träffade plogsulan, annars ned till ett djup på 30 cm. Profilen av provet delades upp i två djupnivåer; övre 0-10 cm och nedre 10-30 cm. Genom att dela upp i två djupnivåer kan förändring i det övre matjordsskiktet upptäckas tidigt i yngre trädbestånd (Rytter & Högbom 2010).

Jordproverna sammanslogs till ett generalprov per parcell uppdelat i 0-10 cm och 10-30 cm djup. Proverna torkades sedan i 30-40 °C till konstant vikt innan de siktades i såll med 2x2 mm hål. Den homogeniserade och torra finjorden analyserades med avseende på kolkoncentrationen i laboratorium. Kolförrådet för respektive djupnivå (Nf) beräknades genom funktion 1.

$$(1) Nf = \rho \times (1 - \sigma_{2-20mm} - \sigma_{\geq 20mm}) \times d \times C$$

Nf = näringsförråd per yta (g/cm² eller Mg/ha)

ρ = volymvikt för finjordfraktionen < 2 mm (g/cm³)

σ_{2-20mm} = den relativa volymen av grus 2–20 mm

$\sigma_{\geq 20mm}$ = den relativa stenvolymen 20 mm

d = provtagningsdjupet i cm

C = koncentrationen av näringsämnet (g/g)

För volymvikt av finjordsfraktionen samt relativ volym av grus och sten användes tidigare publicerade resultat från respektive lokal (se Rytter 2012).

3.4 Förnainsamling och markvegetation

För att kvantifiera mängden kol i förnan genomfördes provtagning i varje parcell. Proven samlades in med hjälp av en kvadratisk provtagningsram med en yta av (20x20 cm). Åtta prover togs från slumpmässigt valda punkter inom varje parcells nettoyta. Exakt provpunkt bestämdes genom att kasta ramen bakom ryggen eller blunda och kasta. En viss anpassning av området för provtagningen gjordes för de parceller vars plantetablering var begränsad.

Proven separerades i fraktionerna förna, vegetation och kvistar. Förnan bestod av låg vegetation, mossor, blad och barr (allt som låg på markytan förutom kvistar och grenar). Fraktionen vegetation bestod av eventuell hög vegetation som exempelvis brännässlor, vilket förekom i Lövånger, men sällan i Bjästa. Kvist, som bestod av kvistar och grenar, och kapades inom ramen till max 20 cm.

Proverna torkades, fortsatt separerade, i ugn 70-85 °C till konstant vikt och vägdes för att bestämma torrsvikt (g). Kolkoncentrationen bestämdes på respektive prov. För att beräkna kolförrådet i förna och vegetation analyserades torrsvikten från insamlade förnaprover. Torrsvikten (g) från dessa åtta prov summerades och omräknades till gram per kvadratmeter (g/m²) enligt funktion 2. Därefter beräknades kolinnehållet i ton C/ha med analysresultatet av C-halten av torrmassan från ett laboratorium.

$$(2) \text{ Torrsvikt per area (g/m}^2\text{)} = \text{Summa torrsvikt(g)} / (8 \times (0,2^2))$$

3.5 Ovanjordisk och underjordisk biomassa

En trädinventering utfördes med mätning av diameter i brösthöjd på samtliga träd och höjd på slumpvis utvalda provträd. Utifrån denna data kunde biomassa ovan jord och rotbiomassa beräknas.

3.5.1 Ovanjordisk biomassa utifrån höjd och diameter

På samtliga träd inom nettoparcellerna mättes diameter i brösthöjd från två riktningar, vinkelrätt mot varandra, och medeltal för dessa beräknades. Även döda stående träd med barken kvar inkluderades i mätningarna. Döda träd utan bark inkluderades däremot inte. Höjd mättes på levande provträd vilket var ungefär var 5:e träd. För resterande träd beräknades höjden genom att ta fram funktioner som beskrev sambandet mellan diameter och höjd för provträden.

För att ta fram funktioner för sambandet mellan brösthöjdsdiameter och trädhöjd för provträden testades både icke-linjära och linjära modeller (funktion nls och lm i R). En jämförelse av medelkvadratfel RMSE och förklaringsgrad R^2 användes för att rangordna funktionerna, varefter den funktion som uppvisade bäst prediktionsförmåga valdes för att skatta höjd på samtliga träd.

För beräkning av biomassa ovan jord för gran och björk användes Marklunds funktioner (1988) för stam inklusive bark, levande grenar och döda grenar vilka sedan summerades för total ovanjordisk biomassa per trädslag (Marklund 1988).

Vid beräkning av biomassa ovan jord för lärk användes ekvation 3, vilken var framtagen för hybridlärk (Johansson 2013). För poppel användes funktion 4 av Johansson & Karacic (2011), vilken var framtagen för hybridpoppel. Biomassa ovan jord för hybridasp togs fram genom funktion 5 av Johansson (2013).

$$(3) M(\text{lärk } *) = 0,3601 \times D + 0,0022 \times (D^2)$$

$$(4) M(\text{poppel } **) = 0,00028 \times (D^{2,45930})$$

$$(5) M(\text{hybridasp}) = 0,00666 \times (D^{1,90220})$$

M = torrmasa per träd (kg)

D = diameter, mätt i brösthöjd (mm)

*framtagen funktion för hybridlärk

**framtagen funktion för hybridpoppel

Omvandling av mängd ovanjordisk biomassa till kolförråd utfördes med faktorerna 0,51 och 0,48 för barr- respektive lövträd, likt tidigare mätning i försöket (Rytter & Lutter 2019).

3.5.2 Rotbiomassa

Biomassa i trädens stubbar och rötter oavsett trädslag beräknades utifrån samband mellan rotbiomassa och biomassa ovan jord för den boreala klimatzonen etablerade av Cairns et al. (1997), vilken även användes i tidigare studier inom försöken (Rytter & Rytter 2020).

$$(6) Y = -1,0587 + 0,8836 \ln(A) + 0,1874$$

Y = rotbiomassa (Mg/ha)

A = biomassa ovan jord (Mg/ha)

Sammanställningen bestod av data från tempererade (44%), boreala (32%) och tropiska zonen (24%). Trädens ålder var 2-350 år, genomsnittliga nederbörden per år var 269-4000 mm och medeltemperaturen per år låg på -3,4-28 °C. Hälften av materialet hade jordstruktur angiven vilket delades in i de tre texturklasserna grov, medelgrov och fin. Studien fann linjärt samband med biomassatäthet ovan mark, ålder på träden och latitudzon. De tre faktorerna tillsammans förklarade 84% av variationen, varav latitudzon användes i denna studie vid beräkning av rotbiomassan i torrsvikt (funktion 6).

3.6 Dataanalys

För att analysera vilka variabler som påverkar de olika kolförråden genomfördes en tvåvägs variansanalys ANOVA (funktion aov) i R studio med signifikansnivå $p < 0,05$. Även interaktioner mellan trädslag och block samt mellan trädslag och lokal testades. Genom histogram och qqplot kunde normalfördelning för residualerna kontrolleras och bekräftas i samtliga analyser. För visualisering av kolförråd skapades boxplot och stapeldiagram med hjälp av R studio och Excel.

Ett antagande för ANOVA är att skillnad i varians mellan de ingående grupperna ska vara låg. Kolförrådet för förnan hade stor skillnad i varians mellan de olika trädslagen. Därför gjordes en envägs variansanalys Welch-ANOVA mot interaktionstermerna trädslag och lokal (funktion oneway.test i R).

Parvisa jämförelser (funktion PostHocTest) mellan trädslagen utfördes i de fall där tidigare ANOVA-test visat att signifikanta skillnader i kolförråd fanns mellan

trädslagen. Tukey-Kramer (metod hsd) valdes som metod, med signifikansnivå $p < 0,05$, då detta använts tidigare inom försöket (Rytter & Rytter 2020). Eftersom kolförrådet i förnan uppvisade en stor skillnad i varians mellan trädslagen utfördes ett dubbelsidigt test anpassad för grupper med olika varians (funktion `games_howell_test` i R).

Kolförrådet för respektive trädslog och lokal analyserades separat för komponenterna mark 0-10 cm, mark 10-30 cm, förna, biomassa ovan jord och rotbiomassa. I analyserna ingick även det totala kolförrådet, beräknat som summan av de olika komponenterna.

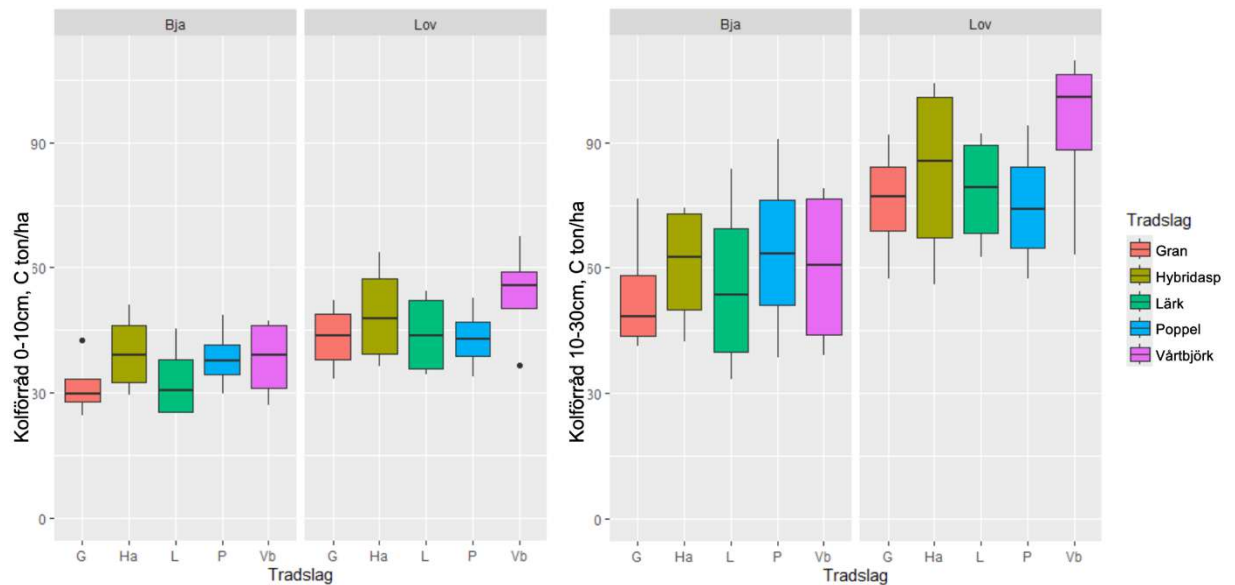
3.7 Kolinlagring

Kolinlagring sedan plantering (ton C/ha och år) beräknades genom att dividera förändringen av kolförråd sedan studiens start med antal år sedan försökets start. Kolförråden vid försökets start hämtades från Rytter & Rytter (2020).

4. Resultat & analys

4.1 Kolförråd i mark

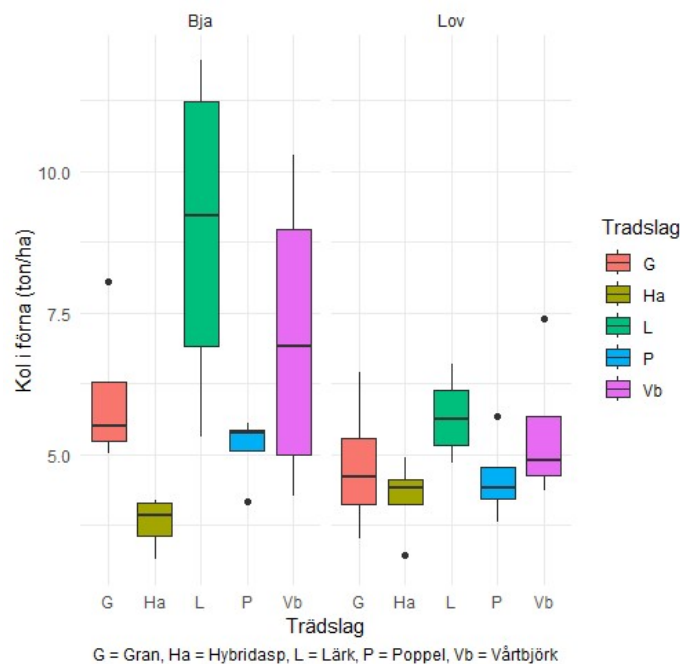
Det fanns inte någon signifikant skillnad i kolförrådet i marken mellan de olika trädslagen på någon av de två djupnivåerna 0-10 cm ($p=0,405$) och 10-30 cm ($p=0,762$). Däremot fanns en signifikant skillnad i kolförrådet i mark mellan de två olika lokalerna Bjästa och Lövvånger ($p=0,003$ respektive $p=0,001$). Figur 4 visar spridningen av observationerna för de fem trädslagen på respektive lokal, med möjlighet att jämföra markprofilens kolförråd mellan lokalerna. Ingen signifikant interaktion observerades mellan lokal och block, eller mellan trädslag och lokal.



Figur 4: Kolförråd i mark för respektive trädslag i försöket uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövvånger) och djupnivå (0-10 cm och 10-30 cm). Övre och nedre gräns i varje box visar interkvartilavståndet vilket är spridningen för de 50% mittersta observationerna medan de vertikala linjerna ovan och under boxarna visar hela spridningen av observationerna.

4.2 Kolförråd i förna

Kolförrådet i förnan varierade signifikant mellan de olika trädslagen ($p = 0,007$), vilket tyder på att trädslag påverkar mängden kol i förnan (figur 5). Lokalernas kolförråd uppvisade en tendens till skillnad, även om resultatet inte var statistiskt signifikant ($p = 0,051$). Inga signifikanta interaktioner mellan trädslag och block eller mellan trädslag och lokal identifierades. Inga parvisa skillnader i förnans kolförråd mellan trädslag var signifikanta. Däremot fanns en tendens att förnans kolförråd för hybridasp var lägre än lärk ($p=0,062$).

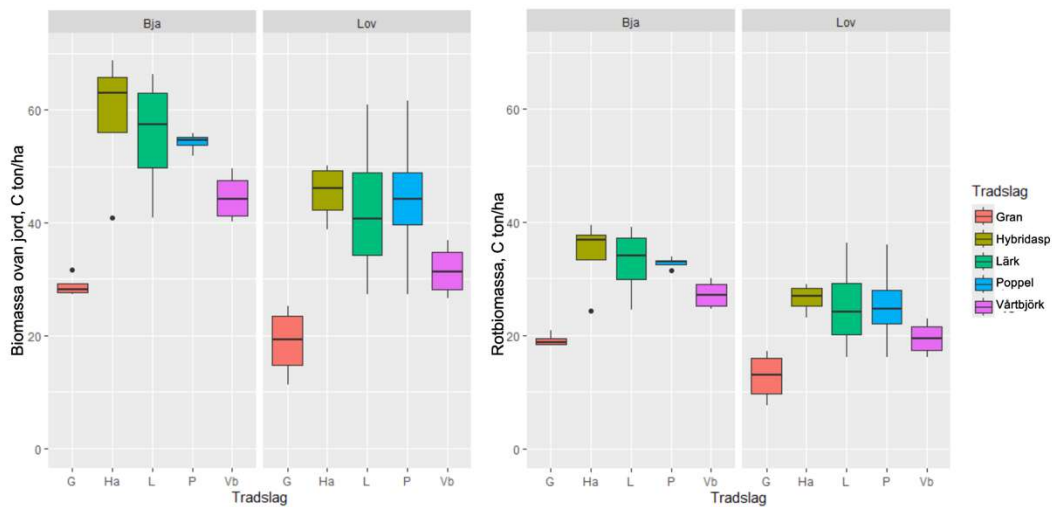


Figur 5: Kolförråd i förna för respektive trädslag i försöket uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövånger).

På grund av hög avgång i Lövånger (figur 7-8) utfördes ytterligare analys där parceller med hög andel döda träd ($>40\%$) exkluderades vilket resulterade i att 12 parceller togs bort i den separata mätningen. Kvarvarande parceller var två för trädslagen gran, lärk och vårtbjörk samt en för hybridasp och poppel i Lövånger och samtliga 20 parceller i Bjästa. Detta test visade också att kolförrådet i förnan varierade signifikant mellan de olika trädslagen ($p = 0,002$) medan kolförrådet för lokalerna inte skilde sig signifikant. Hybridasp uppvisade signifikant lägre kolförråd i förnan än poppel ($p=0,015$) och tendens till signifikant skillnad med lärk ($p=0,055$) vid mätningen efter tillväxtsäsong 2024.

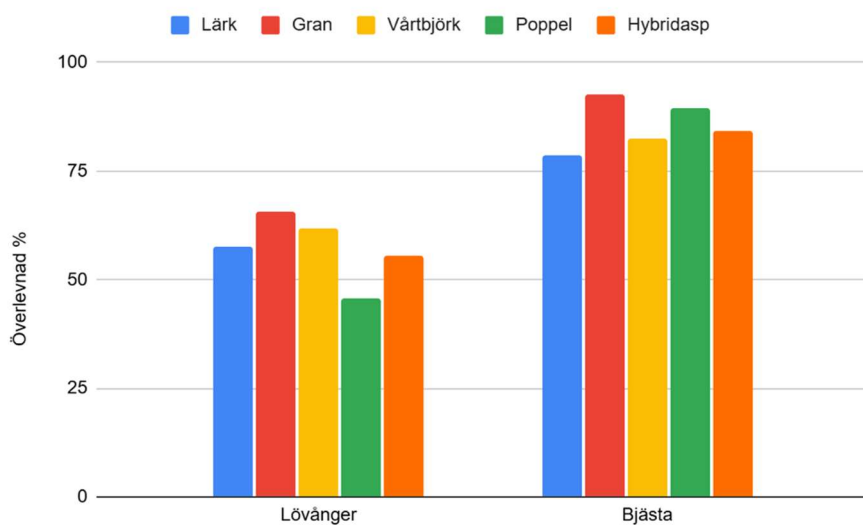
4.3 Kolförråd i biomassa

Kolförrådet i trädbiomassa ovan jord varierade signifikant mellan de olika trädslagen ($p < 0,001$) samt mellan lokalerna ($p < 0,001$) (figur 6). Däremot fanns ingen signifikant skillnad mellan blocken, och inga signifikanta interaktioner mellan trädslag och block eller mellan trädslag och lokal kunde observeras. Även kolförrådet av den totala biomassan varierade signifikant mellan de olika trädslagen och mellan lokalerna (båda med $p < 0,001$). Kolförrådet i biomassan var generellt lägre i Lövånger än i Bjästa.



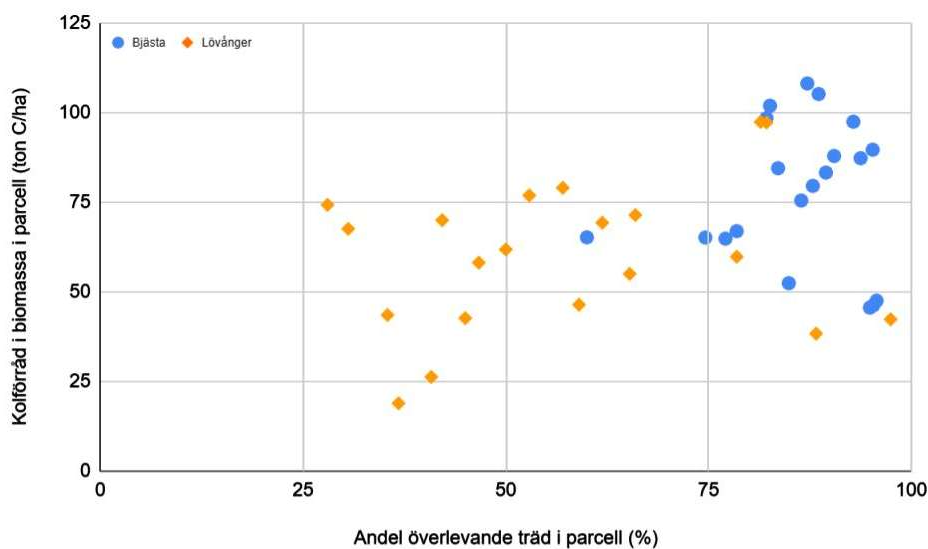
Figur 6: Kolförråd i biomassa ovan jord och rotbiomassa för respektive trädslag uppdelat på lokal (Bja=Bjästa, Lov=Lövånger).

Parvisa skillnader återfanns i kolförrådet i biomassa ovan jord och i total biomassa. Gran uppvisade signifikant lägre kolförråd i biomassa ovan jord än övriga trädslag vid mätningen efter tillväxtsäsong 2024 (hybridasp, lärk och poppel ($p < 0,001$) samt vårtbjörk ($p = 0,027$)). Kolförrådet i biomassa ovan jord för vårtbjörk var även signifikant lägre än för hybridasp ($p = 0,029$). Kolförrådet i den totala biomassan hos gran skilde sig signifikant från hybridasp, lärk och poppel ($p < 0,001$) och vårtbjörk ($p = 0,035$). Skillnaden i kolförråd i biomassan mellan vårtbjörk och hybridasp var också signifikant ($p = 0,041$). Inga andra skillnader mellan trädslag visades för den totala biomassan.



Figur 7: Överlevnad i procent fördelat på trädslag och lokal vid mätning efter tillväxtsäsong 2024, 15 år efter plantering.

Överlevnaden skilde sig mellan de olika lokalerna (figur 7). Vid inmätning efter tillväxtsäsong 2024 var den procentuella överlevnaden fördelat per trädslag i Lövånger 46-66% medan överlevnaden i Bjästa uppgick till 79-93%.



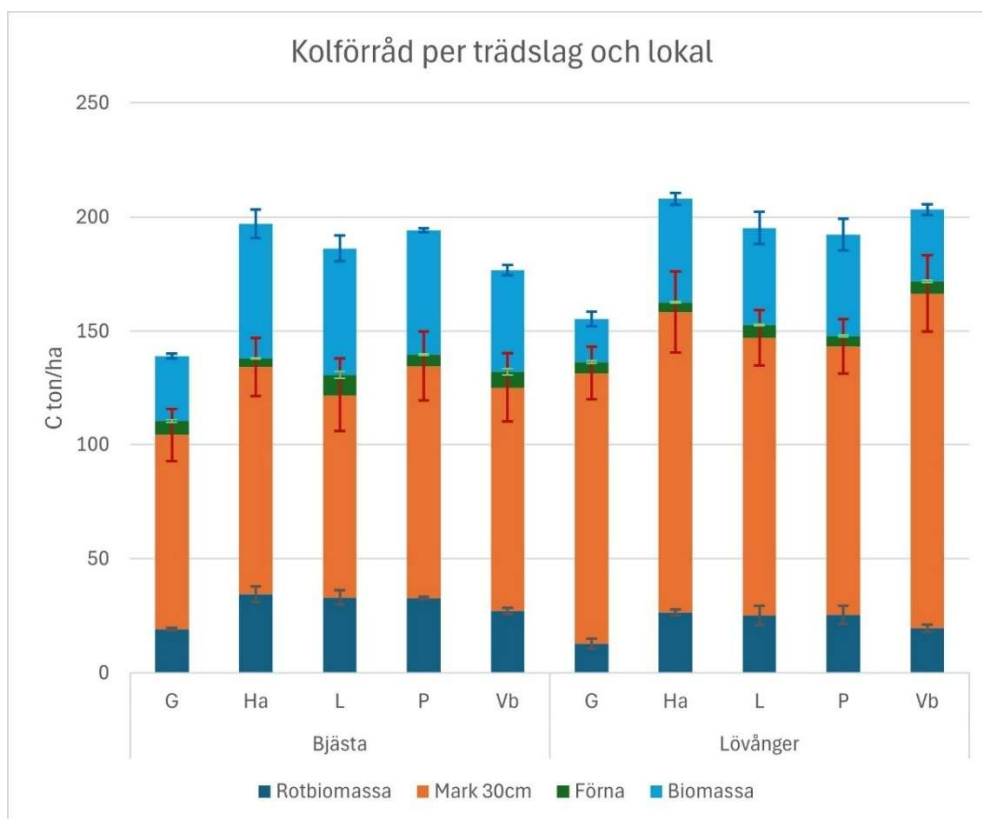
Figur 8: Kolförråd i total biomassa (ton C/ha) mot andel överlevande träd (%) i samtliga parceller. Blå cirkel är parceller i Bjästa och orange diamant är parceller i Lövånger.

Både trädens överlevnad och det totala kolförrådet i biomassan var högre i Bjästa än i Lövånger, medan en större spridning av överlevnad återfanns i Lövånger (figur 8). På grund av hög avgång i Lövånger utfördes ytterligare analys där parceller med hög andel döda träd (>40%) exkluderades vilket resulterade i att 12 parceller

uteslöts i den separata mätningen. Kvarvarande parceller var två för trädslagen gran, lärk och vårtbjörk samt en för hybridasp och poppel i Lövsånger och samtliga 20 parceller i Bjästa. Testet visade att kolförrådet i biomassan ovan jord varierade signifikant mellan de olika trädslagen ($p < 0,001$). Parvisa skillnader återfanns i kolförrådet i biomassa ovan jord där gran uppvisade signifikant lägre kolförråd än hybridasp, lärk och poppel ($p < 0,001$) vid mätningen efter tillväxtsång 2024. Ingen signifikant skillnad uppvisades mellan lokalerna.

4.4 Ekosystemets kolförråd

Ekosystemets totala kolförråd i mark, förna, rot- och ovanjordisk biomassa varierade signifikant mellan de olika trädslagen ($p = 0,011$, figur 9, tabell 2), samtidigt uppvisades ingen signifikant variation mellan lokalerna. Gran uppvisade ett signifikant lägre totalt kolförråd än hybridasp ($p = 0,010$) och poppel ($p = 0,039$) samt tenderade att ha lägre totalt kolförråd än lärk ($p = 0,055$) och vårtbjörk ($p = 0,061$). Analys där parceller med hög andel döda träd ($> 40\%$) uteslöts visade en tendens till skillnad i ekosystemets totala kolförråd mellan träslag ($p = 0,076$) och lokal ($p = 0,073$).

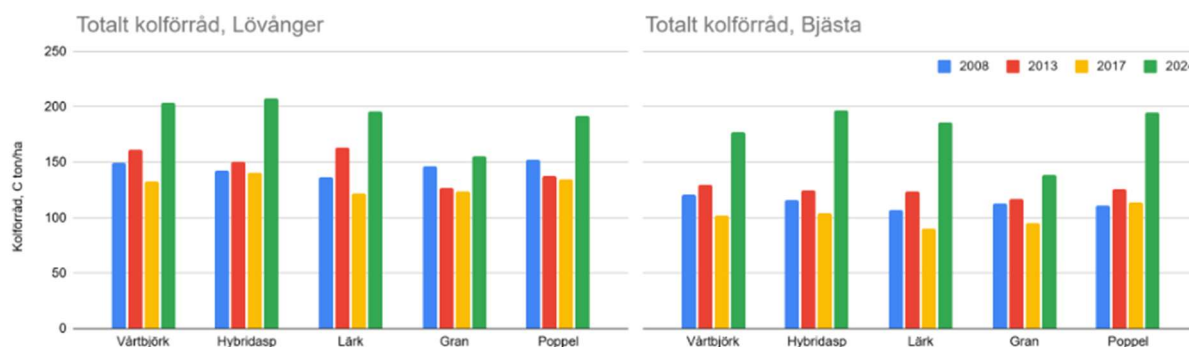


Figur 9: Totalt kolförråd (ton C / ha) för komponenterna rotbiomassa, mark (0-30 cm), förna och ovanjordisk biomassa för respektive träslag i Bjästa och Lövsånger. G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.

Markprofilen hade högst kolförråd jämfört med övriga observerade komponenter (Tabell 2). Även total trädbiomassa hade ett betydande kolförråd där Bjästa hade högre totalt kolförråd för biomassan ovan och under jord. Kolförrådet i förnan var lågt i jämförelse med övriga komponenter.

Tabell 2: Totalt kolförråd (ton C / ha) med medelfel för respektive trädslag och lokal vid mätning 2024. G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.

Lokal	Trädslag	Rotbiomassa	Mark 30cm	Förna	Biomassa ovan jord	Totalt kolförråd
Bjästa	G	19,2 ± 0,557	85,2 ± 11,7	6,01 ± 0,691	28,8 ± 0,993	139 ± 12,8
	Ha	34,4 ± 3,39	100 ± 12,7	3,79 ± 0,245	58,9 ± 6,21	197 ± 19,9
	L	33 ± 3,22	89 ± 16,1	8,92 ± 1,55	55,4 ± 5,62	186 ± 11,6
	P	32,8 ± 0,508	102 ± 15	5,11 ± 0,318	54,3 ± 0,844	195 ± 15,5
	Vb	27,2 ± 1,31	98 ± 15,2	7,08 ± 1,41	44,5 ± 2,18	177 ± 14,5
Lövsånger	G	12,7 ± 2,23	119 ± 11,5	4,79 ± 0,617	18,8 ± 3,18	155 ± 14,9
	Ha	26,5 ± 1,31	132 ± 17,8	4,24 ± 0,363	45,3 ± 2,6	208 ± 19,3
	L	25,2 ± 4,29	122 ± 12,2	5,67 ± 0,385	42,4 ± 7,12	196 ± 16,7
	P	25,4 ± 4,06	118 ± 11,9	4,57 ± 0,394	44,3 ± 6,98	192 ± 4,56
	Vb	19,5 ± 1,56	147 ± 16,7	5,38 ± 0,682	31,5 ± 2,36	204 ± 13,0



Figur 10: Totalt kolförråd (ton C / ha) per trädslag för respektive lokal och provtagningsstillfälle. Värden av kolförråd från 2008, 2013 och 2017 hämtades från Rytter & Rytter (2020).

Figur 10 visar en tydlig ökning av det totala kolförrådet 2024 jämfört med tidigare års mätningar. Tidsintervallen mellan mätningarna varierar: fem år mellan 2008 och 2013, fyra år mellan 2013 och 2017, samt sju år mellan 2017 och 2024. Under de tre första mätningarna låg kolförrådet mellan 90 och 163 ton C/ha, medan den senaste mätningen 2024 visade en ökning för samtliga trädslag till 139–208 ton C/ha.

Tabell 3: Genomsnittlig kolinlagring per ytenhet (ton C / ha och år) för respektive lokal och trädslag under perioderna från start till varje mätning i försöket. Negativt värde visar på minskning av kolförråd (kolkälla). Positivt värde visar ökning av kolförråd (kolsänka). G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk.

Lokal	Lövånger					Bjästa				
Trädslag	Vb	Ha	L	G	P	Vb	Ha	L	G	P
2008–2013	2,2	1,6	5,2	-4,0	-3,0	1,8	1,8	3,4	0,8	3,0
2008–2017	-1,9	-0,2	-1,7	-2,6	-2,0	-2,1	-1,3	-1,9	-2,0	0,3
2008–2024	3,4	4,1	3,7	0,5	2,4	3,5	5,1	4,9	1,6	5,3

Kolinlagring beräknades för hela ekosystemet (mark, förna, biomassa) sedan studiens start (tabell 3). Över 15 års studie har poppel, hybridasp och lärk i Bjästa högst kolinlagring följt av hybridasp och lärk i Lövånger (tabell 3). Sammantaget för båda lokalerna hade hybridasp den högsta kolinlagringen (4,6 ton C/ha och år), följt av lärk (4,3 ton C/ha och år), poppel (3,8 ton C/ha och år) och vårtbjörk (3,4 ton C/ha och år). Lägst kolinlagring för båda lokalerna hade gran (1,1 ton C/ha och år).

Den beräknade kolinlagringen var högre vid senaste mätningen (2024) än efter mätning 2013, med undantag för lärk i Lövånger (se tabell 3). Däremot syns en svacka av minskad kolinlagring för samtliga trädslag vid mätning 2017, med första beräknade kolförråd (2008) som startvärde och utgångspunkt. Medelvärde av kolinlagringen för hela försöksperioden var 3,4 ton C/ha och år för båda lokalerna.

5. Diskussion

5.1 Trädslagseffekter på kolförråd

Studiens resultat stödjer hypotesen att val av trädslag har en signifikant inverkan på det totala kolförrådet femton år efter beskogning av jordbruksmark. Gran uppvisade lägre kolförråd i total biomassa än hybridasp, lärk, poppel och vårtbjörk. Studien visade även att markens kolförråd skiljer sig åt mellan lokalerna vilket kan bero på abiotiska faktorer så som markegenskaper och tidigare markanvändning. Enligt tidigare studier visades grundvärdena för kolförråd i marken högre för Lövånger än Bjästa vid start 2008 (se tabell 4 i bilaga). Lokalen i Lövånger hade varit obrukad i 9 år innan försöket med undantag för viss vallskörd, och lokalen i Bjästa var obrukad i 6 år innan försöket.

Granens låga kolförråd i biomassan kan bero på att den hade delvis hög trädagång. Avgången var särskilt stor i Lövånger. Orsaken till den höga avgången är dock ej fastställd men då granplantor är särskilt känsliga för frost finns risk för skador och avgång hos plantor under vegetationsperioden. En annan möjlig orsak kan vara otillräcklig dränering. En förklaring till lågt kolförråd för gran kan vara att gran har initialt lägre tillväxt, då granen klassas som sekundärt trädslag (Engelmark & Hytteborn 1999). Skillnader i biomassans kolförråd kan förändras över tid då tillväxten skiljer sig mellan trädslagen vid olika åldrar. Granen har en uthållig tillväxt som kan förväntas kulminera senare jämfört med mer snabbväxande pionjärträdslag som tall, poppel och björk (Engelmark & Hytteborn 1999). Utvecklingen av kolförrådet i biomassa kan därför se olika ut, sett till en hel omloppstid. Kolförrådet i biomassan är generellt lägre i Lövånger än i Bjästa vilket kan bero på geografiskt läge och lokalernas abiotiska faktorer.

Det totala kolförrådet för ekosystemet ökar drastiskt för samtliga trädslag från år 2017 till 2024 (figur 10) vilket beror på att tillväxten tagit fart då trädbiomassan ökat. Samtidigt har kolförrådet i marken minskat sedan mätningen inför plantering 2008 (se tabell 4 i bilaga). En möjlig förklaring till minskat kolförråd i marken kan vara att markens sammansättning förändrats i och med att träden blir äldre. Kolförrådet i marken beror av volymvikten vilken påverkas av markpackning,

rotutbredning, halterna organiskt material samt markorganismernas aktiviteter (Rytter 2016). Vid återbeskogning är en minskning av volymvikten i de översta 0–30 cm sannolikt. Kolförrådets minskning ligger i linje med tidigare studier, bland annat studie av Vesterdal (2002) där man kunde se att det inte skedde någon nettoinlagring av kol i marken inom 30 år. En anledning till det misstänks vara att unga skogsbestånd ger för låg koltillförsel för att kompensera för nedbrytningen av det gamla jordbrukskolet i marken. Däremot visar Vesterdal (2002) resultat från äldre bestånd >200 år att ökad kolinlagring kan ske på längre sikt. Eftersom detta försök i Bjästa och Lövhånger endast är 15 år bör resultaten följas upp över en längre tidsperiod.

Trädslagen hade inte någon signifikant påverkan på kolförrådet i marken, komponenten med högst kolförråd. Variationen kan i stället förklaras av lokala faktorer. Geografisk plats och tidigare markanvändning kan ha bidragit till de observerade skillnaderna i kolförråd i marken mellan lokalerna (Rytter 2020), vilket tyder på att jordmån och klimat har haft en större påverkan på markens kolförråd än trädslag.

5.2 Metod och begränsningar

För att bestämma trädens höjd valdes lokala höjdmodeller utifrån provträd som är lämpade för att beskriva sambandet mellan trädens diameter och höjd. Utöver det gjordes en litteraturundersökning för att hitta de funktioner för biomassa som var bäst anpassade till de olika trädslagen och lokala förhållandena. Beräkningar av rotbiomassa däremot gjordes med en generell modell som inte var artspecifik vilket innebar att den inte tog hänsyn till trädslagets egenskaper och de lokala förhållandena, därför kan det finnas en viss osäkerhet i resultaten av rotbiomassans kolförråd. Modell valdes utifrån att den tidigare använts i studien för beräkning av rotbiomassa (Rytter 2020). En generell modell för rotbiomassa kan ge för högt eller för lågt värde, vilket påverkar det totala kolförrådet per trädslag. Skillnaderna mellan trädslagen kan därför vara större eller mindre än vad resultatet i denna studie visar.

Överlevnaden av trädplantorna 15 år efter plantering skilde sig tydligt mellan de två olika lokalerna. I Lövhånger låg den procentuella överlevnaden fördelat per trädslag mellan 46-66% medan i Bjästa låg den mellan 79-93%. Den högre andel överlevande i Bjästa bekräftas även av tidigare mätningar (Rytter & Lutter 2019). Skillnaderna i överlevnad mellan lokalerna kan bero på lokalens tidigare markanvändning vilket kan påverka vegetationens konkurrens mot träden samt de skilda latituderna som kan ha givit skillnad i eventuella frostsador.

Kolförrådet i förnan varierade mellan trädslagen vilket tyder på att trädslag påverkar mängden kol. Vesterdal et al. (2008) påvisade ett generellt högre kolförråd i förnan hos lövträd än hos barrträd vilket inte kunde uppvisas i denna studie. Hybridasp visade däremot tendens till lägre kolförråd än poppel och signifikant lägre vid analysen av parcellerna utan hög avgång. Sett till enskilda parceller noterades att den parcellen med lägst kolförråd i förna (lärk) också hade den högsta andelen döda träd. Färre levande träd som kan bidra med årliga nedfallet, kan vara en möjlig förklaring till den lägre kolmängden. Liknande samband sågs i parceller gällande vårtbjörk. I dessa fall hade en högre andel levande träd mätts in jämfört med lärk.

I det totala kolförrådet av ekosystemet uteslöts viss död ved. Stående döda träd utan bark kvar inkluderades inte i mätningarna. Däremot innefattades stående döda träd med bark kvar samt kvistar i förnan. Då endast 40% av Lövångers parceller hade 60% eller mer överlevnad innebär det att en del död ved kan finnas kvar på lokalen, utan att ingå i det totala kolförrådet. Det är en möjlig komponent som kan påverka resultatet i viss utsträckning. Vår bedömning är dock att uteslutande av viss död ved inte påverkar resultatet nämnvärt, eftersom träden som uteslutits dött som unga. Däremot bedöms en högre överlevnad ha kunnat påverka resultatet genom att bidra med en högre total biomassa i Lövånger.

Mätningarna i studien är utförd under en relativt kort tidsperiod under trädslagens möjliga omloppstid. Därför är det skäligt att tro att framtida mätningar, där allt kolförråd över en hel omloppstid vägs in, kan skilja sig från de resultat som observerats i denna studie. Ett trädslagsförsök på 15 tillväxtsånger representerar ett ungt bestånd, särskilt sett till det geografiska området av Sverige. Olika trädslag, marktyper och abiotiska faktorer kan påverka mätresultaten mellan olika arter och över tid.

Studien saknar kontrolltytor i form av obrukad jordbruksmark som inte planterats, vilket gör det svårt att fastslå hur mycket av kolinlagringen som beror på återplantering av åkermark. Djupare markskikt har inte analyserats vilket innebär att delar av det totala kolförrådet har utelämnats, något som kan påverka helhetsbedömningen av resultaten. Med fler provtytor (inklusive kontrolltytor), större arealer, större utbredning över landet och fler trädslag kan studiens resultat kompletteras.

5.3 Framtiden och klimatnytta

Återplantering av tidigare jordbruksmark har som denna studie visar, potential att bidra till ökat kolförråd på den obrukade arealen. Detta kan bli en viktig del för att

uppnå EU:s klimatmål för 2030. Med tanke på möjlig omloppstid för träd kan målen för 2030 ses som kortsiktiga i jämförelse. Ett långsiktigt perspektiv kan behövas för att undvika negativa konsekvenser i framtiden. Tidigare politiska åtgärder, så som utdikning av våtmarker under 18- och 1900-talet, visar hur viktigt det är med ett långsiktigt perspektiv. Negativa effekter kan uppträda långt efter beslut har fattats. Att använda åkermarken till att återplantera skog innebär också en minskad flexibilitet och risk för intressekonflikt då samma mark i framtiden potentiellt skulle kunna behövas för djurfoders- eller livsmedelsproduktion.

I återbeskogning kan tall vara ett relevant trädslag, särskilt i norra Sverige då tall är mer frostsålig än gran. För att dra slutsatser om tallens potential av kolförråd krävs dock ytterligare data om det. Enligt Berg (2005) varierar kolinlagringen över landet, därför bör trädslag väljas utifrån lokala förhållanden så som jordmån, nederbörd och temperatur samt ta hänsyn till klimatrelaterade risker som frost, torka och sjukdomar. Med föränderligt klimat kan en anpassning vara att plantera olika arter, kloner och hybrider, vilket kan sprida riskerna och bidra till en mer resilient skog (Jensen 2025). Enligt Jensen (2025) är ett alternativ till skogar med endast ett trädslag, skogar med blandade trädslag. Skogar med blandade trädslag kan kombinera högt kolförråd med ökad motståndskraft mot skador och stressfaktorer, samtidigt som den har positiva effekter på biologisk mångfald. Blandskogar har också visats lagra mer kol i ytjorden än monokulturer speciellt i kallare och mindre bördiga zoner (Jensen 2025). Plantering av lövträd kan samtidigt bidra till klimatmålen och andra mål som bevarande av biologisk mångfald.

Det bör inte förbises att en öppen jordbruksmark också kan ha höga naturvärden (Sandström et al. 2015) som tex pollinatörer och hotade arter vilket kan göra det viktigt att bedöma den biologiska mångfalden utifrån flera perspektiv. Det finns många intressen, mål och konflikter att ta hänsyn till när man väljer att beskoga åkermark. Det är svårt att i förväg bedöma hur den biologiska mångfalden kommer att påverkas på längre sikt. Enligt SLU har igenväxning av naturbeten och andra gräsmarker en stor negativ påverkan på ca 1300 arter och inkluderar man viss negativ påverkan omfattas drygt 2000 arter (Sandström et al. 2015). Biologisk mångfald är även viktig för att stödja andra ekosystemtjänster som ges av jordbruk och skogsbruk. Samtidigt som återbeskogning av åkermark i Sverige kan bidra till ökad kolinlagring så kan det även minska den inhemska livsmedelsproduktionen. Detta riskerar att öka importbehovet från andra länder, vilket i sin tur kan leda till avskogning utanför Sverige. På så sätt kan den lokala klimatnyttan delvis motverkas av ökade utsläpp i andra länder. Både jordbruket och skogsbruket tillför med viktiga ekosystemtjänster som bör tas i beaktning vid beslut om markanvändning.

Återbeskogning av obrukad åkermark lyfts ibland fram som ett verktyg för att minska klimatpåverkan, men det finns ännu begränsad kunskap om hur olika trädslag och lokala förhållanden påverkar kolinlagringen på tidigare jordbruksmark. Om det trädslag som visade högst kolinlagring i denna studie, hybridasp med i genomsnitt 4,6 ton C/ha och år, skulle användas vid återbeskogning av de 400 000 hektar obrukad åkermark som finns i Sverige (Larsson et al. 2009), kan detta resultera i en årlig inbindning av cirka 1,84 miljoner ton kol. I detta påstående antas att våra resultat är representativa för all Sveriges obrukade åkermark. 1,84 miljoner ton C motsvarar 6,75 miljoner ton CO₂ per år, beräknat med omvandlingsfaktor 3,67 (IPCC 2007), vilket är nära 13% av Sveriges antropogena utsläpp av växthusgaser årligen (Naturvårdsverket 2024). Detta understryker den stora klimatpotentialen som återbeskogning kan ha för Sveriges och EU:s klimatmål.

5.4 Sammanfattning

- Studien visar att beskogning av nedlagd åkermark signifikant ökade ekosystemets kolförråd 15 år efter plantering. Det var framför allt tillväxten hos de planterade träden som bidrog till det ökade förrådet.
- Kolförrådet i marken varierade signifikant mellan lokalerna, samtidigt fanns inga trädslagsvisa skillnader på markens kolförråd 15 år efter plantering.
- Kolförrådet i förnan varierade signifikant mellan trädslagen, vilket tyder på att trädslaget påverkar mängden förna.
- Trädslag påverkade kolförrådets storlek i total biomassa. Av de fem undersökta trädslagen visade poppel (*Populus spp*), hybridasp (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) och lärk (*Larix sukaczewii*) generellt högst kolförråd i biomassa medan gran (*Picea abies*) visade det lägsta kolförrådet. Gran uppvisade signifikant lägre kolförråd i biomassa än övriga trädslag på grund av lägre tillväxt under mätperioden.
- Marken (0-30 cm djup) var den komponent som innehöll störst andel av det totala kolförrådet 15 år efter plantering, följt av den totala biomassan.
- Den totala kolinlagringen i ekosystemet under 15-årsperioden uppgår i genomsnitt till 3,4 ton C per hektar och år för alla trädslag sammanslaget, där hybridasp visade högst kolinlagring (4,6 ton C/ha och år), och gran visade lägst kolinlagring (1,1 ton C/ha och år).

Referenser

- Berg, B. (2005). 'Kolfastläggning uppskalad till svensk skogsmark'. Faktaskog nr 6/2005, SLU.
- Cairns, M.A., Brown S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. (1997). 'Root biomass allocation in the world's upland forests', *Oecologia*, 111(1), pp. 1–11.
<https://doi.org/10.1007/s004420050201>.
- Engelmark, O. & Hytteborn, H. (1999). Swedish plant geography, Coniferous forests. *Acta Phytogeographica Suecica* 84, pp. 55-74. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:565333/FULLTEXT01.pdf#page=57>
- Grigal & Berguson (1998). 'Soil carbon changes associated with short-rotation systems'. *Biomass and Bioenergy* 500, p. 371-377. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10073-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10073-3)
- Högbom L. & Rytter R.-M. (2015). 'Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag' Skogforsk, Arbetsrapport 883.
https://www.skogforsk.se/cd_20190114161529/contentassets/81840a3ad4aa44b28fcfb6c4161ffd2a/markkemi-och-fastlaggning-av-c-och-n-i-bestand-med-snabbvaxande-tradslag-etapp-2-arbetsrapport-883-2015.pdf
- IPCC (2003). 'Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry '.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf
- IPCC (2007). 'CLIMATE CHANGE 2007 The physical science basis'.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf
- Jensen, J. (2025). 'Linking tree species diversity, productivity, and carbon sequestration in mixed-species forest plantations Joel Jensen From patterns to mechani' (no date). Doctoral Thesis No. 2025, SLU. <https://doi.org/10.54612/a.2kmifmq5mk>.
- Johansson, T. (2013). 'Biomass equations for hybrid larch growing on farmland', *Biomass and Bioenergy*, 49, pp. 152–159.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.020>.
- Johansson, T. and Karačić, A. (2011). 'Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications', *Biomass and Bioenergy*, 35(5), pp. 1925–1934.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.040>

- Kuemmerle, T., Levers C., Erb K., Estel S., Jepsen M.R., Müller D., Plutzer C., Stürck J., Verkerk P.J. & Verburg P.H. (2016). 'Hotspots of land use change in Europe', *Environmental Research Letters*, 11(6), p. 064020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/064020>
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). 'Möjligheter till intensivodling av skog'. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), 2009, pp 28.
- Lutter, R., Henriksson, N., Lim, H., Blaško, R., Magh, R-K., Näsholm, T., Nordin, A., Lundmark, T. & Marshall J.D. (2021). 'Belowground resource utilization in monocultures and mixtures of Scots pine and Norway spruce', *Forest Ecology and Management*, 500, p. 119647. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119647>
- Marklund, L.G. (1988). 'Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige'. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Rapport 45.
- Naturvårdsverket (2024). 'Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser'. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> (Access: 15 maj 2025)
- Rytter, L. & Lutter, R. (2019). 'Early growth of different tree species on agricultural land along a latitudinal transect in Sweden', *Forestry*, 93(3). <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz064>
- Rytter, R.-M. (2012). 'Stone and gravel contents of arable soils influence estimates of C and N stocks', *CATENA*, 95, pp. 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.015>
- Rytter, R.-M. (2016). 'Afforestation of former agricultural land with Salicaceae species – Initial effects on soil organic carbon, mineral nutrients, C:N and pH', *Forest Ecology and Management*, 363, pp. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.026>
- Rytter, R.-M. & Högbom, L. (2010). 'Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsriktade bestånd med snabbväxande träslag - Slutrapport för energimyndighetens projekt 30659', Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut (Skogforsk).
- Rytter, R.-M., Rytter, L. & Högbom, L. (2015). 'Carbon sequestration in willow (*Salix* spp.) plantations on former arable land estimated by repeated field sampling and C budget calculation', *Biomass and Bioenergy*, 83, pp. 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.10.009>

- Rytter, R.-M. & Rytter, L. (2020). 'Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land', *Forest Ecology and Management*, 466, p. 118129.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118129>
- Sandström, J., Bjelke, U., Carlberg, T. & Sundberg, S. (2015). Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer – rödlistade arter i Sverige 2015. ArtDatabanken Rapport 17. ArtDatabanken, SLU. Uppsala.
https://www.slu.se/globalassets/ew/subw/artd/6-publikationer/21.-tillstand-och-trender/rapport_tillstand_och_trender.pdf
- Thibault, M., Thiffault, E., Bergeron, Y., Ouimet, R. & Tremblay, S. (2022). 'Afforestation of abandoned agricultural lands for carbon sequestration: how does it compare with natural succession?', *Plant and Soil*, 475(1), pp. 605–621.
<https://doi.org/10.1007/s11104-022-05396-3>
- UNDP Sverige (2025). 'Om globala målen'. <https://globalamalen.se/om-globala-malen/> (Access: 15 maj 2025)
- Vesterdal, L., Ritter, E. & Gundersen, P. (2002). 'Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land', *Forest Ecology and Management*, 169(1), pp. 137–147. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00304-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00304-3)
- Vesterdal, L. Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O. & Gundersen, P. (2008). 'Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species', *Forest Ecology and Management*, 255(1), pp. 35–48.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.015>

Bilaga

Tabell 4: Kolförråd per ytenhet (ton C / ha) i olika fraktioner för respektive lokal och provtagningstillfälle. Värden av kolförråd från 2008, 2013 och 2017 hämtades från Rytter & Rytter (2020:7). Biomassa inkluderar biomassa ovan jord och rotbiomassa och Mark representerar båda djupnivåerna ned till 30cm djup. G=gran, Ha=hybridasp, L=lärk, P=poppel, Vb=vårtbjörk, Löv=Lövhäger, Bjä=Bjälsta, F=förna, M=mark.

ton C /ha										
Lokal	Löv					Bjä				
Trädslag	Vb	Ha	L	G	P	Vb	Ha	L	G	P
2008										
Biomassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Förna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mark	150	143	137	147	153	121	116	107	113	111
F + M	150	143	137	147	153	121	116	107	113	111
Totalt	150	143	137	147	153	121	116	107	113	111
2013	Vb	Ha	L	G	P	Vb	Ha	L	G	P
Biomassa	0,8	1,6	0,2	0,0	0,7	0,5	0,4	0,1	0,1	0,6
Förna	1,9	2,2	2,4	2,3	1,7	2,1	2,1	1,8	1,9	1,9
Mark	158	148	160	125	135	128	123	122	115	123
F + M	160	150	163	127	137	130	125	124	117	125
Totalt	161	151	163	127	138	130	125	124	117	126
2017	Vb	Ha	L	G	P	Vb	Ha	L	G	P
Biomassa	5,8	14,1	2,2	1,5	9,6	8,6	11,1	2,5	3,7	14,7
Förna	2,9	2,7	3,2	3,3	2,2	3,0	2,0	2,6	2,5	2,7
Mark	124	125	117	119	123	90	91	85	89	97
F + M	127	127	120	123	125	93	93	87	91	100
Totalt	133	141	122	124	135	102	104	90	95	114

2024	<i>Vb</i>	<i>Ha</i>	<i>L</i>	<i>G</i>	<i>P</i>	<i>Vb</i>	<i>Ha</i>	<i>L</i>	<i>G</i>	<i>P</i>
Biomassa	51.0	71.8	67.6	31.5	69.7	71.7	93.2	88.4	48.0	87.1
Förna	5.4	4.2	5.7	4.8	4.6	7.1	3.8	8.9	6.0	5.1
Mark	147	132	122	119	118	98	100	89	85	102
F + M	152	136	128	124	123	105	104	98	91	107
Totalt	204	208	196	155	192	177	197	186	139	195

Tack

Studien är finansierad av Energimyndigheten (P2023-01030: Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion – Tillväxt, kolinlagring och biodiversitet).

Under tiden vi arbetat med kandidatuppsatsen har vi haft kontakt med flera medarbetare från SLU som bidragit till vår ökade kunskap inom området och väglett oss i arbetet framåt. Ett varmt tack till vår handledare Monika Strömgren, forskare vid institutionen för mark och miljö och biträdande handledare Nils Fahlvik, forskare vid institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, båda projektansvariga vid Skogforsk. Vidare arbete med uppsatsen gjordes även efter kursens slut med fortsatt arbete utifrån handledarnas önskemål.

Tack även till Felix Kreske Ecker, universitetsadjunkt vid avdelningen för skoglig resursanalys och Maria Wiklund, språkkordinator vid avdelningen pedagogiskt stöd och lärandemiljöer för support.

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. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

☒ 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.