

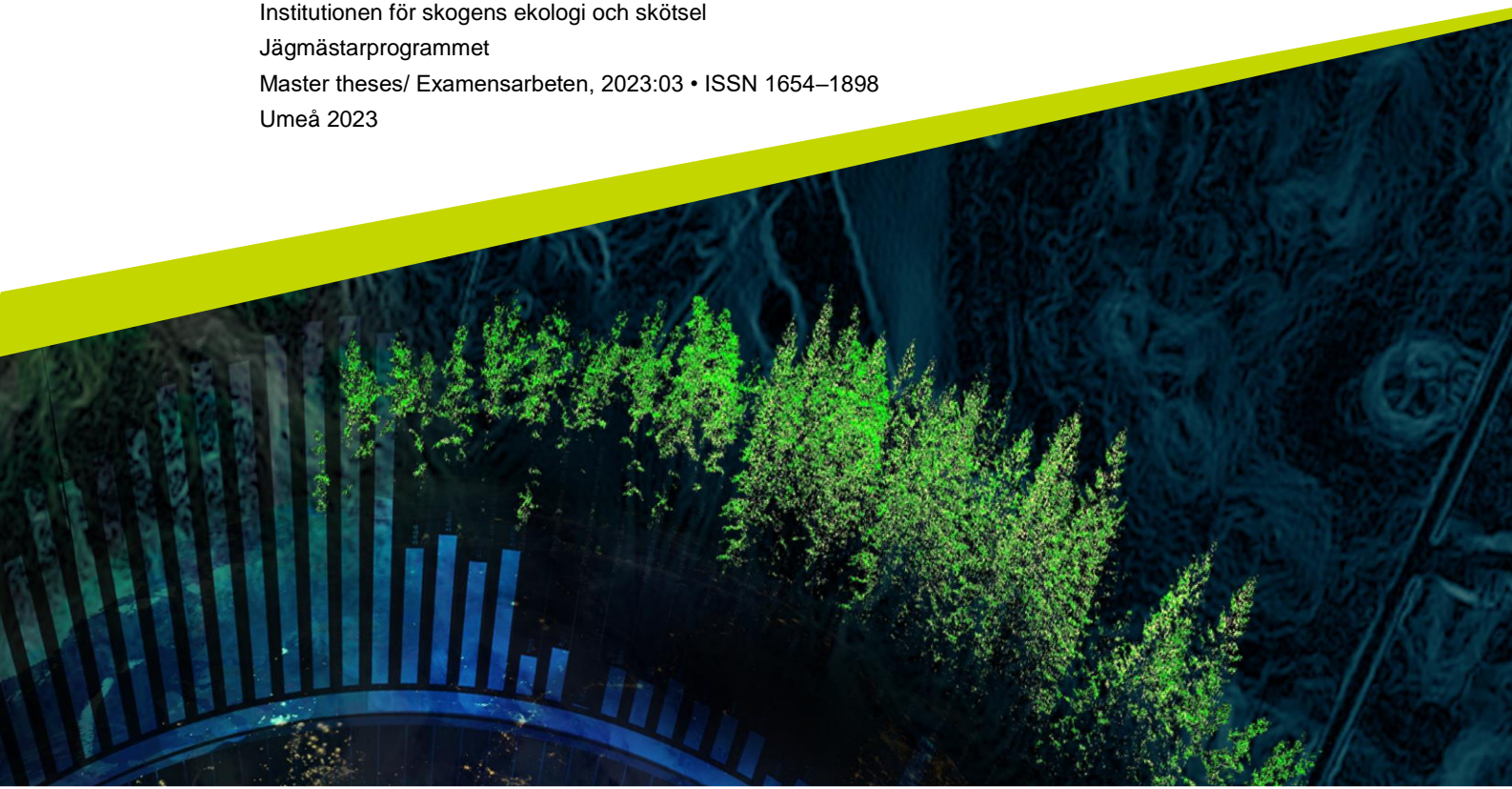


# Kvävegödslingens effekter på bladyta och trädkronor i tallbestånd

---

Carl Åhlund

Examensarbete • 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU,  
Institutionen för skogens ekologi och skötsel  
Jägmästarprogrammet  
Master theses/ Examensarbeten, 2023:03 • ISSN 1654–1898  
Umeå 2023





# Kvävegödslingens effekter på bladyta och trädkronor i tallbestånd

*Effects of nitrogen fertilization on leaf area and tree crowns in pine stands*

Carl Åhlund

**Handledare:** Lars Lundqvist, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Examinator:** Ulrik Ilstedt, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå A2E

**Kurstitel:** Masterarbete i Skogsvetenskap - Skogens ekologi och skötsel

**Kurskod:** EX0959

**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Utgivningsort:** Umeå

**Utgivningsår:** 2023

**Serietitel:** Master theses / Examensarbeten

**Delnummer i serien:** 2023:03

**ISSN:** 1654–1898

**Nyckelord:** Bladyteindex, tall, gödsling, trädkronor, barr/ *Leaf Area Index, Scots Pine, fertilization, tree crowns, needles*

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

## 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. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

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

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

## Sammanfattning

Kvävegödsling är en produktionshöjande åtgärd som varit väl etablerad i Sverige genom åren. På grund av gödslingens miljöpåverkan och allmänt högre kunskap om gödsling så är skötselåtgärden inte lika frekvent utnyttjad som den var runt 70-talet. Men med ett växande behov att ersätta fossila produkter med skogliga produkter kan gödsling börja fylla en viktig roll för att öka årliga avverkningsvolymen. Till följd av Sveriges mål att minska andelen rödlistade arter kan mer skog bli formellt skyddade och då fyller gödsling också en roll att kunna öka produktion på kvarvarande produktionsskogar för att möta samma efterfrågan av råvara.

Syftet med studien är att lära sig mer om hur gödsling påverkar bladyteindex (LAI). Tidigare studier har visat att gödsling kan ha tillväxteffekter på trädvolym på lång sikt medan andra studier visar att effekten avtar efter ca 7 år. Det är därför intressant att se ifall skillnaderna går att urskiljas även i beståndens bladyta. Studien inkluderar olika behandlingar med både kontinuerlig gödsling och en äldre enstaka gödsling på både gallrade och ogallrade ytor.

Resultatet från studien visar inget som tyder på att tillväxtökningen efter kontinuerlig gödsling skulle korrelera med LAI. Inget visade att en kontinuerlig gödsling ger högre totalt LAI, oavsett tillväxt, än den enstaka äldre gödslingen. Däremot har studiens resultat visat att oavsett kontinuerlig eller äldre enstaka gödsling så har LAI generellt ökat. Gödsling i gallrade ytor har visat tydliga skillnader på ökat LAI jämfört med ogödslade gallrade ytor. Medan gödslade och ogallrade bestånd inte kunnat visa tydliga skillnader men att det tenderar till att LAI blivit positivt påverkat. Studien har inte kunnat visa att kronvolymen ökat genom kontinuerlig gödsling. Det finns inga indikationer på att kronvolym och LAI skulle korrelera med varandra. LAI kan i stället visa sig genom högre täthet av barr på grenarna inom den mätta kronvolymen, fler antal grenar inom kronvolymen eller möjligtvis större enstaka barr. LAI-värden skulle också kunna vara olika effektiva i fotosyntes för sin tillväxt.

*Nyckelord:* bladyteindex, tall, gödsling, trädkronor, barr

## Abstract

Nitrogen fertilization is a productivity increasing method that has been well established in Sweden during the past decades. Due to the negative effects on the environment and an overall increase of knowledge around fertilization, the method isn't as frequently used anymore. But with a growing demand of fossil free products this method might be interesting again, to be able to increase annual harvesting volumes. Sweden also has a goal to minimize the red-listed species and with an increase of protected forests, the remaining productive forests need to produce more than before to meet the same demand of raw material.

The purpose of this study is to learn more about how fertilization affects the leaf area index (LAI). Earlier studies have shown that fertilization have increased growth in the long term, while other studies showed that it diminishes after around 7 years. Therefore, it's interesting to see if these differences can be explained by similar differences in the leaf area. The study includes different treatments with both active fertilization and older single fertilizations in both thinned and non-thinned sites.

The result of this study shows nothing that signals that the increase of growth from an active fertilization would correlate with LAI. The result from the study can't show anything that the active fertilization, regardless of tree growth, would generate a higher total LAI compared to an old single fertilization. However, the study showed that fertilized stands, for both active and older single fertilization, got a higher LAI value in general. Thinned stands got a clearly higher LAI value than the non-fertilized thinned stands. Non-thinned stands have not been able to show any clear result on LAI after fertilization, but it tends to have shown positive effects. The study could not show anything that indicate that the crown size increased from active fertilization. LAI can instead show itself in a form of higher density of needles, more branches, or an increase of needle size. LAI-values might also tend to differ in effectiveness in photosynthesis for growth.

*Keywords:* leaf area index, Scots pine, fertilization, tree crowns, needles

# Förord

Examensarbetet har genomförts under hösten 2020 och våren 2021 och omfattas av 30 högskolepoäng. Datainsamlingen har genomförts i Västerbotten och Dalarna.

Jag vill rikta ett speciellt tack till Lars Lundqvist som hjälpt till med rådgivning för tillvägagångsätt för studien. Lars har varit tillgänglig vardagar som helger vilket varit till stor nytta. Jag vill även tacka Gustav Thunström, utbildad statistiker, som varit delaktig i de statistiska analyserna som blivit gjorda i studien.

Carl Åhlund

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>9</b>
<b>Figurförteckning.....</b>	<b>10</b>
<b>Förkortningar .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Inledning.....</b>	<b>13</b>
1.1.    Kvävegödsling .....	13
1.2.    Möjligheter med gödsling för klimat och miljö.....	14
1.3.    Tidigare studier om gödsling och produktion.....	15
1.4.    Leaf Area Index .....	15
1.5.    Syfte.....	16
1.6.    Hypoteser .....	16
<b>2. Material och Metod .....</b>	<b>17</b>
2.1.    Studielokaler .....	17
2.2.    LI-2200C Plant Canopy Analyzer .....	19
2.3.    Datainsamling och genomförande.....	19
<b>3. Resultat.....</b>	<b>23</b>
3.1.    Svartberget .....	23
3.2.    Vänjaurbäck och Stångtjärn .....	28
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>33</b>
4.1.    Tillväxt efter gödsling .....	33
4.2.    Leaf area index .....	33
4.3.    Kronvolym.....	35
4.4.    Osäkerheter med studien .....	36
4.5.    Slutsatser .....	37
<b>Referenser.....</b>	<b>38</b>
<b>Bilaga 1.....</b>	<b>41</b>



# Tabellförteckning

<b>Tabell 1.</b> Medelvärden av diameter, höjd och LAI för varje behandling baserat på 4 block	
<b>Table 1.</b> Mean values of diameter, height and LAI for every block and treatment based on 4 blocks.....	23
<b>Tabell 2.</b> Grundyta, volym och medelvärden på trädegenskaper i varje avdelning och behandling	
<b>Table 2.</b> Basal area, volume and mean values of tree properties for every stand and treatment .....	28
<b>Tabell 3.</b> Grundyta, volym och medelvärden på trädegenskaper i varje avdelning och behandling	
<b>Table 3.</b> Basal area, volume and mean values of tree properties for every stand and treatment .....	28

## Figurförteckning

<b>Figur 1</b> Översikt över försöket på Vänjaurbäck med avdelningsnummer	<b>Figure 1.</b>
Overview of the experiment in Vänjaurbäck with numbers of each section	
.....	18
<b>Figur 2</b> En optisk sensor på mätstaven och dess fem zenith vinklar för ljusmätning (LI-COR, 2016)	<b>Figure 2.</b> An optical sensor at the wands and their five zenith angles used for light measurements (LI-COR, 2016).....
.....	19
<b>Figur 3.</b> En parcell på Svartberget och provytan som användes till datainsamling	<b>Figure 3.</b> A single parcel at Svartberget and the sample plot used for measurements .....
.....	20
<b>Figur 4.</b> Ett block i Vänjaurbäck och Stångtjärn samt provytan som användes till datainsamling	<b>Figure 4.</b> A block in Vänjaurbäck and Stångtjärn with the sample plot used for the measurements.....
.....	21
<b>Figur 5</b> LAI i jämförelse med beståndets grundyta för varje behandling på Svartberget	<b>Figure 5.</b> LAI compared with the stands basal area for the treatments at Svartberget .....
.....	24
<b>Figur 6</b> LAI i jämförelse med beståndets volym för varje behandling på Svartberget	<b>Figure 6.</b> LAI compared with the stands volume for the treatments at Svartberget.....
.....	25
<b>Figur 7</b> LAI i jämförelse med stamantal per hektar för varje behandling på Svartberget	<b>Figure 7.</b> LAI compared with the stem per hectare for the treatments at Svartberget .....
.....	26
<b>Figur 8</b> LAI i jämförelse med kronvolym för varje behandling på Svartberget	<b>Figure 8.</b> LAI compared with the crown volume for the treatments at Svartberget.....
.....	27
<b>Figur 9.</b> LAI i jämförelse med beståndets volym för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn	<b>Figure 9.</b> LAI compared with the volume per hectare for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn.....
.....	29
<b>Figur 10</b> LAI i jämförelse med beståndets grundyta för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn	<b>Figure 10.</b> LAI compared with the basal area for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn .....
.....	30
<b>Figur 11</b> LAI i jämförelse med stamantal per hektar för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn	<b>Figure 11.</b> LAI compared with the stems per hectare for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn.....
.....	31

<b>Figur 12</b> LAI i jämförelse med kronvolym för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn <b>Figure 12.</b> LAI compared with the crown volume for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn.....	32
<b>Figur 13</b> LAI i jämförelse med beståndets volym per hektar för varje behandling på samtliga lokaler <b>Figure 13.</b> LAI compared with the volume per hectare for the treatments for all locals .....	41
<b>Figur 14</b> LAI i jämförelse med beståndets grundyta för varje behandling på samtliga lokaler <b>Figure 14.</b> LAI compared with the basal area for the treatments at all locals .....	42

## Förkortningar

Block	En upprepning av de fyra behandlingarna
LAI	Leaf area index
T0F0	Ogallrad och ogödslad behandling
T0F1	Ogallrad och gödslad behandling
T1F0	Gallrad och ogödslad behandling
T1F1	Gallrad och gödslad behandling
GG	Gödsling och gallring

# 1. Inledning

## 1.1. Kvävegödsling

Kväve är ett av de viktigaste näringsämnena för att ett träd ska växa. Vid låg kvävetillgång reagerar växten med låg tillväxt och i Sveriges skogar är det, på fastmark, oftast kvävet som är begränsningen för en ökad tillväxt. Bladyta på träd är direkt kopplad till kvävemängden och trädens biomassaproduktion är direkt kopplad till bladyta som utför fotosyntesen. Kvävet som behövs för att en svensk normalskog ska kunna växa fem m<sup>3</sup>sk per ha och år är ungefär 20 kg (Albrektson et al., 2012).

Eftersom kväve är så avgörande för tillväxten i skogen är gödsling med kväve en åtgärd som på relativt kort sikt höjer produktionen på många marktyper. Gödsling i Sverige har haft en stor roll i skogsbruket under 1960–1990 talet och omfattningen nådde en topp år 1975 där det gödslades nästan 200 000 ha per år (Ståhl & Bergh, 2013). Anledningen bakom trenden av gödsling var för att kunna öka avverkningsvolymerna och tillgodose industrierna med virke i större utsträckning (Valinger et al., 2019). I dagsläget gödslas det betydligt mindre arealer och 2012 så gödslades det endast 50 000 hektar skog. Orsaken till den minskade gödslade arealen är till stor del att miljön kan påverkas negativt av gödsling. Det finns ett ökat kvävenedfall som följd av stigande luftföroreningar i atmosfären. Därför finns risken för överflöd av kväve i skogen vilket kan leda till urlakning till vattendrag med algbloomning som följd. Därav har begränsningar och restriktioner för gödsling tillkommit i landet. Forskning och kunskap har också bidragit till lägre gödslad areal. Rekommenderat intervall för gödsling har exempelvis ändrats från 5 till 10 år. Vilka bestånd som reagerar bäst på gödsling är också mer undersökt idag vilket leder till att vissa marker helt enkelt inte prioriteras för gödsling längre. Riktlinjer för marker som är lämpliga för lönsam gödsling är att det ska vara fastmark, jordmånen ska vara podsol och ståndortsindex mellan 16–30 meter. Riktlinjer finns också att minst 80 % av grundytan ska vara barrträd, huggningsklassen ska vara minst en första gallring. Ingen avverkning ska ske i beståndet inom 10 år och skogen ska vara frisk och väl sluten (Ståhl & Bergh, 2013).

## 1.2. Möjligheter med gödsling för klimat och miljö

Kvävegödsling kan också vara intressant både ur ett klimat- och miljöperspektiv. Koldioxidhalten i atmosfären är högre än någonsin och år 2013 översteg halten 400 ppm vilket är det högsta insamlade värdet någonsin. Ökning har under åren haft en konstant relation till förbränningen av fossila bränslen (NASA, 2019). Möjligheter med intensivodling av skog har tidigare blivit utrett av SLU som uppdrag från regeringen (Larsson et al., 2009). Vid större årliga avverkningsvolymmer öppnas möjligheter för ersättning av fossila bränslen och utsläppen av koldioxid till atmosfären kan då kraftigt reduceras. Begreppet intensivodling innebar både plantering av skog på nedlagd jordbruksmark och kvävegödsling i lämpliga skogsmarker. Analyserna visade att det fanns goda möjligheter att öka tillväxten i skogen och om 3,5 miljoner hektar skogsmark skulle skötas med intensivodling skulle en potentiell årlig avverkningsvolym kunna öka med 30 miljoner kubikmeter per år. I en studie (Mäkipää et al., 1998) visade sig gödsling ge en 20–44 % ökad nettoprimärproduktion och en ökad kolbindning i både vegetationen och i humuslagret i marken.

Intensivodling av skog innebär möjligheter till kortare omloppstider än ett traditionellt skogsbruk för att uppnå samma volymer. Trots kortare omloppstid så handlar intensivodling om långa perioder innan de ökade årliga volymerna av råvara blir möjlig. De bedöms kunna vara tidsförskjutet med 30 år innan resultatet av en ökad årlig avverkning börjar synas. En viktig slutsats från professorer vid SLU var därav att om möjlighet ska finnas att erbjuda större volymer av förnybara råvaran som skogen ger, är det viktigt att vidta åtgärder för omställningen i god tid (Larsson et al., 2009).

Runt 20 % av de skogslevande arterna i Sverige är rödlistade. Bidragande orsak till detta beskrivs som brist på kontinuitetsskogar (Artdatabanken, 2020). Ungefär 8,7 % av Sveriges totala skogsmarksareal är skyddad, varav 3,6 % är improduktiv skogsmark och 5,2 % är produktiv skogsmark (Naturvårdsverket, 2020). Lågproduktiva skyddade skogar är inte lika artrika som högproduktiva skyddade skogar. Impediment kan därför inte ersätta högproduktiva skyddade områden (Hämäläinen et al., 2018). Om fler produktiva skogsmarksarealer behöver avsättas för att minska andelen rödlistade arter skulle då gödsling kunna bli intressant. Med gödsling kan då produktionen öka på de arealer som bedöms vara lämplig för ett fortsatt intensivt skogsbruk och på så sätt ersätta förlusten av volym på skyddade områden.

### 1.3. Tidigare studier om gödsling och produktion

Erik Valinger, med flera, har undersökt de långsiktiga skillnaderna efter gallring och gödsling på tall på Svartberget i norra Sverige. Försöket gjordes på bestånd som anlades år 1938. Under studien påvisades inga långsiktigt signifikanta skillnader i volymtillväxt mellan gödsling och kontroll. Kortsiktiga skillnader i volym var dock signifikanta. Gödslingen i detta försök har alltså givit negativ effekt på en långsiktig ekonomisk nuvärdesberäkning och gödslingen har inte varit till någon långsiktig fördel. Gödslingen på Svartberget gjordes endast vid ett tillfälle år 1984 (Valinger et al., 2019). Valinger har också gjort en annan studie där de fick ett resultat att 12 år efter en enstaka gödsling hade tillväxten ökat med 20 % (Valinger et al., 2000).

Folke Pettersson och Lars Högbom har också kommit fram till ett liknande resultat. De har inte hittat några långsiktigt signifikanta skillnader i volym efter gödsling. I studien så undersöktes sex tallbestånd och tre granbestånd 14–28 år efter senaste gödsling. Det fanns bestånd som endast blivit gödslad vid ett tillfälle och även bestånd som blivit gödslad vid flera tillfällen. De återstående effekterna på tillväxten efter senaste gödslingen var liten och inte statistiskt signifikant. Slutsatserna med studien var dock att det fanns en tendens till en ökad tillväxt på lång sikt (Pettersson & Höglom, 2011).

Det finns även försök som motsäger resultatet som de tidigare nämnda personerna kommit fram till. Fredrik From, med flera, har kommit fram till ett resultat som visade på signifikanta långsiktiga skillnader efter kvävegödsling. De tittade på vad som händer med tillväxten i nästa generation av skog om gödsling blivit utförd vid 1–2 tillfällen under föregående omloppstid. Gödslingen utfördes 25 respektive 33 år före studien gjordes. I studien fanns en kontrollyta som var ogödslad. Resultatet från studien visade att gödsling lett till ökad tillväxt, barmängd och mängden fritt kväve i marken. Detta trots att tidigare studier ansett att effekten av gödsling på trädutväxt försvinner efter 7–10 år (From et al., 2015). Exempelvis Staffan Jacobson, Skogforsk, som fått ett resultat att gödslingseffekten avtagit efter sju år när de gjort årsringsanalys baserat på tre gödslade tallförsök i södra Sverige (Jacobson, 2019).

### 1.4. Leaf Area Index

Leaf area index (LAI) är ett mått och definieras som den projicerade bladytan ovanför marken per hektar. Det betyder att en enhet av LAI motsvarar en bladyta på 10 000 kvadratmeter. LAI är ett intressant mått då bladyta spelar en stor roll i trädens tillväxt (Warring & Running, 2007). LAI-värdet kan beskrivas som högt om det överstiger 3 (Kozai, 2016). Bladytan motsvarar då ett värde av tre gånger så

stort som markarealen. Kvävegödsling har tidigare visat sig leda till ökad biomassa av barr och även ökad effektivitet hos det enstaka barret. Effektiviteten hos barr var definierat som biomassaproduktion ovanjord per enhet av barr (Valinger, 2011). LAI korrelerar med många processer i skogen såsom nettoprimärproduktion, vatten- och näringsomsättning och kolbalansen. De två metoder som finns för att mäta LAI är genom direkt eller indirekt mätning. En direkt mätning går ut på att barmängd inventeras och samlas in fysiskt för att beräkna värden. En indirekt mätning är betydligt mer tidseffektiv och nyttjar exempelvis relationen mellan ljus och barr. Optiska mätmetoder är exempel på indirekt mätning där transmittans beräknas. Mätningar sker då både inne i skogen och utanför på öppen yta för att på så sätt mäta den inkommande strålningen som passerar trädkronorna (Warring & Running, 2007). Ett exempel på en sådan mätmetod är att använda sig av LI-2200C Plant Canopy Analyzer (LI-COR, 2016).

## 1.5. Syfte

Syftet med studien är att få ökad förståelse för hur kvävegödsling påverkar bladyta och trädkronor i tallbestånd på kort och lång sikt. Intresset för studien bygger på att tidigare studier visat att ogödslade bestånd kan växa ikapp ett gödlat bestånd och att effekten av enstaka gödslingar avtar med tiden, medan en kontinuerlig gödsling kan upprätthålla hög tillväxt över tid. Därav målet att hitta en förklaring till om det beror på fotosyntesen som i sin tur är direkt kopplat till beståndets totala bladyta.

Syftet har undersökts utifrån frågeställningarna:

- Korrelerar skillnaderna i träd tillväxt efter gödsling med ett bestånds totala bladyta (LAI)?
- Hur ser effekterna efter gödsling ut beroende på om bestånden har gallrats eller inte gallrats?
- Om gödsling leder till högre LAI-värde, är det en följd av att trädkronorna blivit större?

## 1.6. Hypoteser

Följande hypoteser testas i studien:

- Kontinuerlig gödsling leder till ökat LAI, kronstorlek och tillväxt.
- Gödsling vid ett tillfälle för 30 år sedan har idag ingen effekt på LAI, kronstorlek och tillväxt.
- Grundyta och volym korrelerar med LAI.



## 2. Material och Metod

### 2.1. Studielokaler

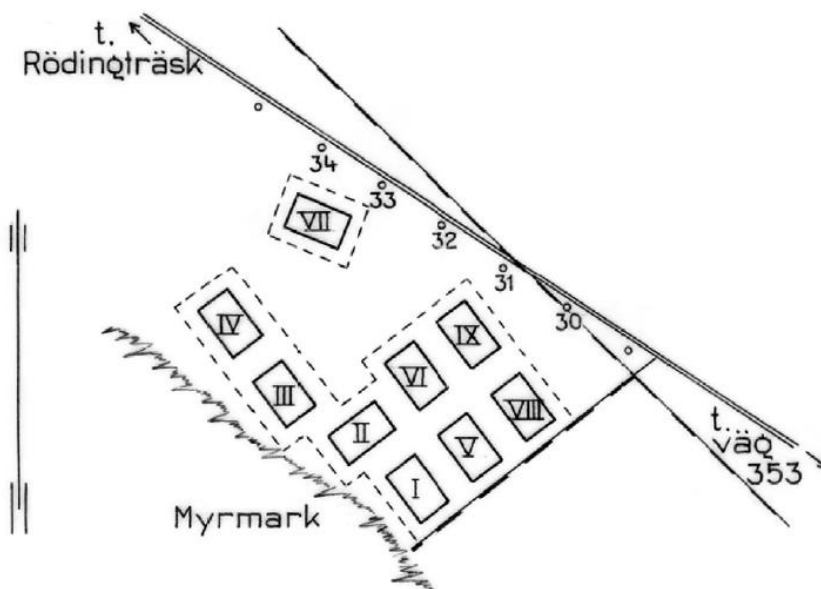
Lokalerna som användes i studien var gödslingsförsök lokaliserade i Svartberget, Vänjaurbäck och Stångtjärn. Svartberget har endast blivit gödslad vid ett tillfälle, medan Vänjaurbäck och Stångtjärn blivit kontinuerligt gödslade under hela perioden med liknande historik av skötsel. All beskrivning, information och historik om lokalerna har hämtats genom Enheten för skoglig fältforskning, SLU, Vindelns försökspark och Siljansfors försökspark.

Svartberget är en lokal där ett gödslingsförsök anlades 1983. Beståndet som användes till försöket var ett jämgammalt och välstrukturerat tallbestånd. Föryngringen skedde 1939 med sådd och naturlig föryngring, där fröträden avverkades 1956. Stamtätheten då försöket anlades var 1350 stammar per hektar men gallrades med 46 % jämnt fördelat på alla diameterklasser. Idag är beståndet 81 år med en bonitet på T23. Jordarten är en moig sandig morän och markvegetationen domineras av lingon- och blåbärsris. Försöket består av en 2 x 2 experimentell design med 12 upprepningar med en upprepning per block. Behandlingarna var kontroll (T0F0), 40 % gallringsstyrka utan gödsling (T1F0), gödsling med 150 kg N/ha utan gallring (T0F1) och gödsling med 150 kg N/ha och 40 % gallring (T1F1). Varje parcell har en bruttostorlek på 0,09 hektar (30x30 meter) och en nettostorlek på 0,04 hektar (20x20 meter). I bruttoytan är en 5 meter bred skyddszon medräknad som omger försöksytan. Behandlingarna slumpades på de olika parcellerna som totalt var 48. År 1984 så gödslades blocken, som skulle ha den behandlingen, med Urea och gödslingen utfördes endast en gång under försöket.

Lokalen i Vänjaurbäck ingår i GG-försöken som är utspridda i landet och ägs av SLU, ESF och Vindelns försökspark (Figur 1). Försöket anlades år 1969 i ett 48-årigt tallbestånd och idag är bestånden 99 år. På försöket finns totalt 9 parceller där varje parcell motsvarar 0,1 hektar och den totala arealen på försöket är 0,9 hektar. I Vänjaurbäck finns endast en upprepning per behandling vilket innebär att det finns 9 olika behandlingar på lokalen varav varje behandling och block tilldelats ett

avdelningsnummer mellan 1–9. Mellan varje parcell finns en skyddszon på 10 m. De parceller som var intressant för studien var nummer 3, 5, 8 och 9. Parcell nummer 3 har haft en behandling där 3 gallringar blivit utförd på 25 % gallringsstyrka, vid första gallringen, och ingen kvävegödsling har gjorts (T1F0). Parcell nummer 5 innebär ogallrad där gödsling gjorts (T0F1). Parcell nummer 8 omfattas av en kontroll (T0F0) och nummer 9 har blivit behandlad med 3 gallringar med en styrka på 30 %, vid första gallringen, och gödsling (T1F1). De behandlingar som omfattas av gödsling så har ett schema använts där det gödslats fem gånger vart femte år med 100 kg N/ha. Därefter har det gödslats vart sjunde år med samma giva. Senaste gallringarna blev utförda vid en beståndsålder på 76 år.

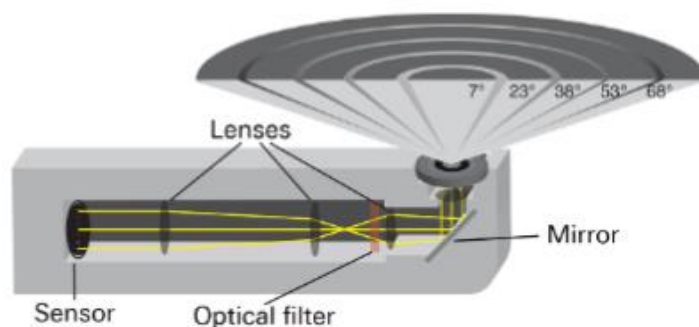
Lokalen Stångtjärn i Falu kommun ingår, precis som Vänjaurbäck, i GG-försöken och är uppställd på liknande sätt. Försöket i Stångtjärn anlades 1970 i ett 47-årigt tallbestånd som idag är 98 år. På ytan finns totalt 10 parceller där varje parcell är 0,1 hektar. Endast en upprepning per behandling finns på försöksytan. De ytor som inventerades i studien var parcell nummer 3, 4, 6 och 8. Nummer 4 är kontroll (T0F0). Nummer 3 är ogallrad och gödslad (T0F1). Nummer 6 är gallrad vid fyra tillfällen med 25 % gallringsstyrka vid första gallringen (T1F0). Parcell nummer 8 är gallrad vid fyra tillfällen med 28 % gallringsstyrka, på första gallringen, och är gödslad (T1F1). Försöket har en skyddszon på 10 meter mellan blocken. Gödslingsschemat som användes i Vänjaurbäck användes också i Stångtjärn, där enda skillnaden var att kvävegivan var på 150 kg/ha. Senast utförda gallring var vid en beståndsålder på 78 år.



**Figur 1** Översikt över försöket på Vänjaurbäck med avdelningsnummer  
**Figure 1.** Overview of the experiment in Vänjaurbäck with numbers of each section

## 2.2. LI-2200C Plant Canopy Analyzer

Datainsamlingen av LAI genomfördes med enheten LI-2200C Plant Canopy Analyzer. Den består av en konsol och två mätstavar som vardera har en optisk "fish-eye" sensor (Figur 2). Konsolen används för att konfigurera inställningar, lagra insamlade data och att beräkna resultat. De två stavarna används till att samla in ljusvärden för att sedan i konsolen kunna beräkna LAI-värden genom en framtagen modell för ljusgenomströmning i trädskronor. Sensorerna på mätstavarna nyttjar fem zenith vinklar och har möjlighet för ljusinsamling upp till 148 graders vinkel. Synviddsbegränsningslock finns att placera på sensorerna för att kunna begränsa områden där ljus ska insamlas (LI-COR, 2016).



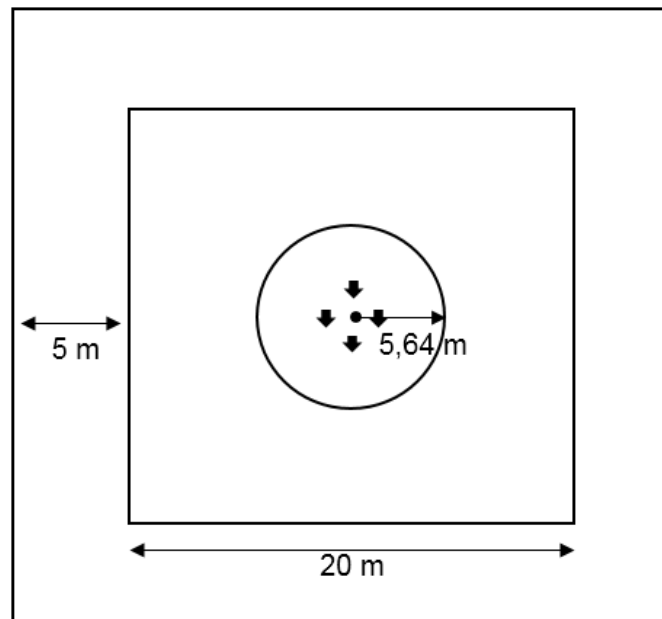
**Figur 2** En optisk sensor på mätstaven och dess fem zenith vinklar för ljusmätning (LI-COR, 2016)

*Figure 2. An optical sensor at the wands and their five zenith angles used for light measurements (LI-COR, 2016)*

## 2.3. Datainsamling och genomförande

Datainsamlingen började på Svartberget den 28/9–2020. På Svartberget användes en cirkelprovyta på 5,64 m i radie (Figur 3). Provytan placerades i parcellens mittpunkt och fångade in en fjärdedel av parcellens totala area. Svartberget har 12 upprepningar per behandling och istället för att mäta samtliga träd i en parcell så nyttjades istället provytor i fyra olika block och parceller, vilket gav totalt 4 provytor per behandling i 4 olika block. Blocken som användes var nummer 1, 3, 6 och 7. Diametern på samtliga träd i provytorna mättes genom klavning i brösthöjd. Trädens höjd med en digital höjdmätare. Storlek på trädskronorna mättes genom att kronans höjd mättes med höjdmätaren och kronans bredd med ett Rickleå-band. Till trädskronan räknades endast de grenar som hade gröna barr. Rickleå-bandet fästes i stammen och därefter mättes bredden på kronan i varje riktning åt de fyra

väderstrecken. Medelvärde räknades ut på kronans bredd genom de insamlade värdena. Kronvolym räknades ut via kronhöjd och kronbredd genom att använda formeln för volymbereknning av en kon. Grundytan beräknades genom de klavade trädens diameter och formeln för cirkelarea. Trädvolym beräknades genom ett fast basformtal på 0,5, vilket är ett lämpligt formtal att använda för medelålders träd (Albrektson et al., 2012). Stamantalet räknades ut genom antalet träd per provyta, för att sedan omvandla till antalet träd per hektar.



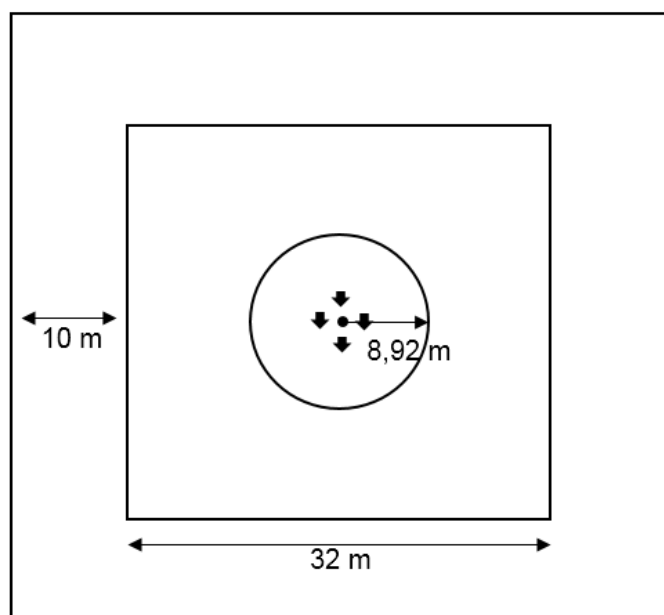
**Figur 3.** En parcel på Svartberget och provytan som användes till datainsamling  
*Figure 3.* A single parcel at Svartberget and the sample plot used for measurements

LAI-mätningarna på Svartberget gjordes en regnfri dag med ett heltäckande molntäcke. Två mätstavar användes och de placerades alltid med en riktning pekande rakt söderut vid mätningarna. På båda stavarna användes ett synviddsbegränsningslock på 270 grader för att blockera felaktiga registreringar från operatören som håller i staven. Den ena mätstaven placerades på en åker 200 meter ifrån försöksytorna (A mätning). Staven samlade in ett ljusvärde automatiskt och ett 30 sekunders intervall användes. Den andra staven registrerade ljus manuellt i varje provyta med en operatör (B mätning). I varje provyta gjordes fem mätningar där den första gjordes i provytans mittpunkt, följt av fyra andra mätningar två meter från mittpunkten i varje väderstreck. Medelvärde beräknades baserat på de fem mätningarna per provyta vilket resulterade i LAI-värdet.

Datainsamlingen i Vänjaurbäck gjordes den 10/10–2020 vilket också var en regnfri dag med heltäckande molntäcke. Parcellerna med nummer 3, 9, 5 och 8 mättes. En större provyta på 8,92 m i radie användes då det endast fanns ett block i Vänjaurbäck (Figur 4). Provytan fångade in en fjärdedel av parcellernas totala area.

Mätningen av diameter, trädhöjd och kronstorlek utfördes på samma sätt som mätningarna på Svartberget. LAI mättes i beståndets mittpunkt med fyra kompletterande mätningar två meter ifrån provytans mittpunkt. Medelvärde av LAI beräknades. Samma synviddsbegränsningslock på 270 grader användes. Den ena staven placerades på ett hygge som gränsade till försöksytan (A mätning). Även i Vänjaurbäck användes automatisk insamling av värden med 30 sekunders intervall. Den andra staven utförde manuella mätningar på samma sätt som på Svartberget (B mätning). Ingen standardavvikelse per parameter beräknades då det endast fanns ett block.

Datainsamlingen i Stångtjärn gjordes den 14/5–2021 vilket också var en regnfri dag med heltäckande molntäcke. I Stångtjärn mättes parcellerna med nummer 3, 4, 6 och 8. Liknande Vänjaurbäck så användes en provyta på 8,92 m i radie då det endast fanns ett block på lokalen (Figur 4). Provytan fångade in en fjärdedel av parcellernas totala area. Mätningen av diameter, trädhöjd och kronstorlek utfördes på samma sätt som tidigare. LAI mättes i beståndets mittpunkt med fyra kompletterande mätningar två meter ifrån provytans mittpunkt. Samma synviddsbegränsningslock på 270 grader användes. Den ena staven placerades i en öppen kraftledningsgata som gränsade till försöksytan (A mätning). En automatisk insamling av värden med 30 sekunders intervall användes. Den andra staven utförde manuella mätningar på samma sätt som tidigare (B mätning). Ingen standardavvikelse per parameter beräknades då det endast fanns ett block.



**Figur 4.** Ett block i Vänjaurbäck och Stångtjärn samt provytan som användes till datainsamling  
*Figure 4.* A block in Vänjaurbäck and Stångtjärn with the sample plot used for the measurements

Data från samtliga lokaler kopierades från mätstavarna till kontrollenheten för att därefter överföra data till LI-COR's programvara File Viewer 2200. I programmet matchades de manuellt insamlade ljusvärdena (B mätning) med det automatiskt insamlade ljusvärdet (A mätning) för att då få ut LAI-värden. Programmet använde automatiskt det klockslag på A-mätningen som var närmast det klockslag då B-mätningen gjordes för att garantera samma ljusförhållande och väder. Under datainsamlingen var alla fem sensorer aktiva på mätstavarna. I File Viewer 2200 stängdes sensorer för att förhindra användning av data utanför parcellen. Två sensorer valdes att ha aktiva på Svartberget vilket mätte ljus 23 grader åt sidorna. Tre sensorer valdes att behålla aktiva i Vänjaurbäck och Stångtjärn vilket insamlade ljus 38 grader åt sidorna. Medelvärdet av de fem mätningarna i respektive block och lokal beräknades, vilket resulterade i behandlingarnas slutliga LAI-värde.

Linjära regressionsanalyser och one-way anovatester utfördes genom programmet RStudio. Testerna genomfördes med signifikansnivån 0,05. Nollhypotesen för regressionstesterna säger att volym per hektar, grundyta, stamantal och kronstorlek inte har betydelse för LAI-värdet. Nollhypotesen för anovatesterna säger att det inte finns någon skillnad mellan behandlingarna. Om p-värdet är mindre än 0,05 kan nollhypotesen förkastas.

## 3. Resultat

### 3.1. Svartberget

Medelvärden av LAI var högre för T0F1 jämfört med T0F0 (Tabell 1). Detta resultat var lika för samtliga block. T0F1 hade LAI-värden som varierade mellan 2,23 och 2,41. T0F0 hade LAI-värden som varierade mellan 1,66 och 2,16. Det resulterade i ett medelvärde på 1,94 för T0F0 och 2,33 för T0F1. Resultatet från de gallrade ytorna blev mer varierat där T1F1 hade ett högre LAI-värde än T1F0 i två av blocken och ett lägre värde i de två andra. Värdena för behandlingen T1F0 varierade mellan 1,59 och 2,32 och värdena för T1F1 varierade mellan 1,81 och 2,1. Det gav T1F0 ett medelvärde på 1,90 och T1F1 ett medelvärde på 1,92. Anova-test på LAI gav inget bevis att någon av behandlingarna skulle skilja sig ifrån de andra (p-värde 0,0685) med signifikansnivå på 5 %.

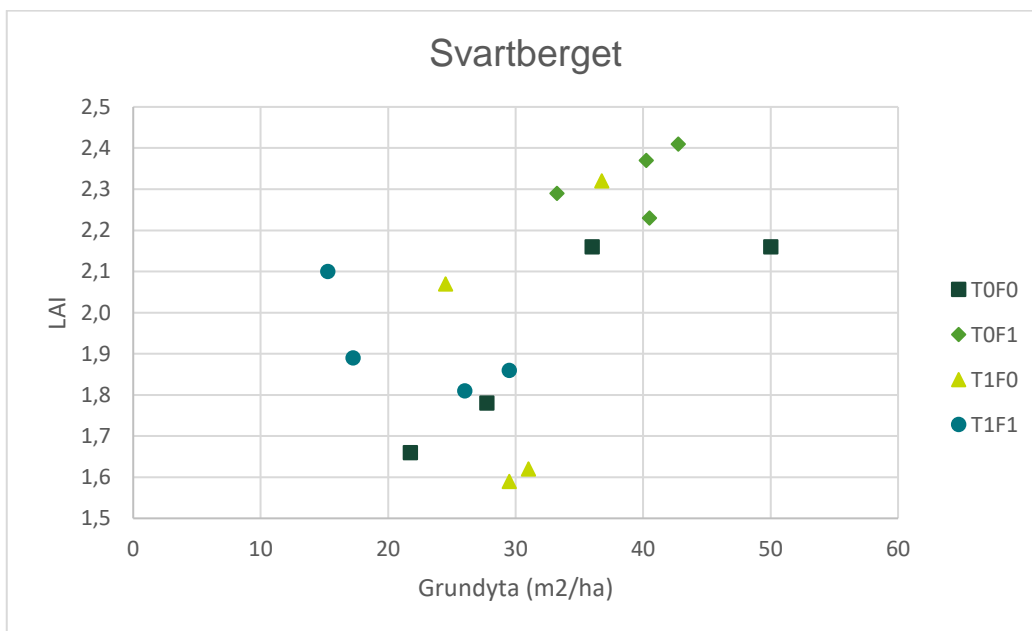
Medeldiametern var större för behandlingen T0F1 jämfört med den ogödslade, T0F0. Detta resultat återfanns i de gallrade behandlingarna där den gödslade T1F1 hade något större medeldiameter. Medelträdhöjden var också högre för de gödslade behandlingarna och följde samma mönster som diametern (Tabell 1).

**Tabell 1.** Medelvärden av diameter, höjd, stamantal och LAI för varje behandling baserat på 4 block. Standardavvikelsen är angiven i parentesen bakom respektive medelvärde

*Table 1. Mean values of diameter, height, stem density and LAI for every treatment based on 4 blocks. The standard deviation is specified behind each mean value*

<i>Svartberget</i>				
Behandling	Diameter (cm)	Höjd (m)	Leaf area index (LA)	Stamantal
T0F0	20,16 (0,62)	19,21 (0,93)	1,94 (0,22)	900 (158)
T0F1	22,28 (0,67)	20,22 (0,66)	2,33 (0,07)	950 (86)
T1F0	25,05 (0,42)	19,90 (0,91)	1,90 (0,30)	600 (70)
T1F1	25,10 (1,39)	19,98 (0,68)	1,92 (0,11)	450 (165)

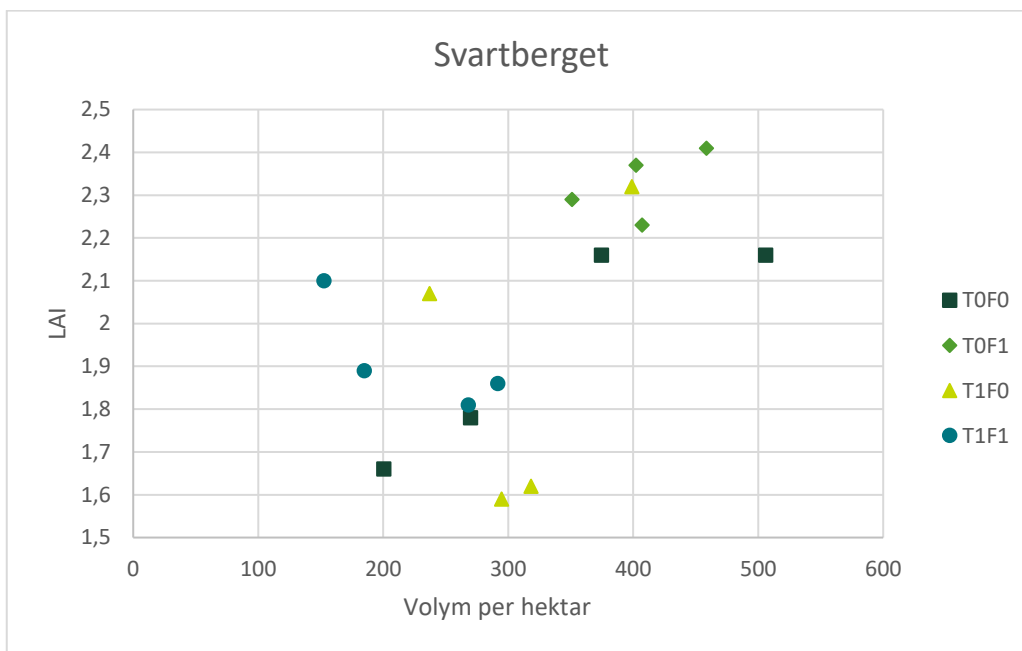
Medelvärdet av grundytan var högre för T0F1 jämfört med T0F0 medan grundytan var lägre hos T1F1 jämfört med T1F0. T0F0 hade ett medelvärde på 33,93 och T0F1 hade 39,22. Standardavvikelsen var 10,60 respektive 3,56. T1F0 hade en grundytan på 30,44 och T1F1 hade 21,96. Standardavvikelsen var 4,37 respektive 5,92. Anova-test där grundytan jämfördes gav inget bevis att behandlingarna skulle skilja sig ifrån varandra (p-värde 0,0502) med signifikansnivå 5 %. LAI och grundytan visar genom plottning att de korrelerar (Figur 5). Regressionstest gav ett resultat att det finns en korrelation mellan LAI och grundytan (p-värde 0.02583).



**Figur 5** LAI i jämförelse med beståndets grundytan för varje behandling på Svartberget  
**Figure 5.** LAI compared with the stands basal area for the treatments at Svartberget

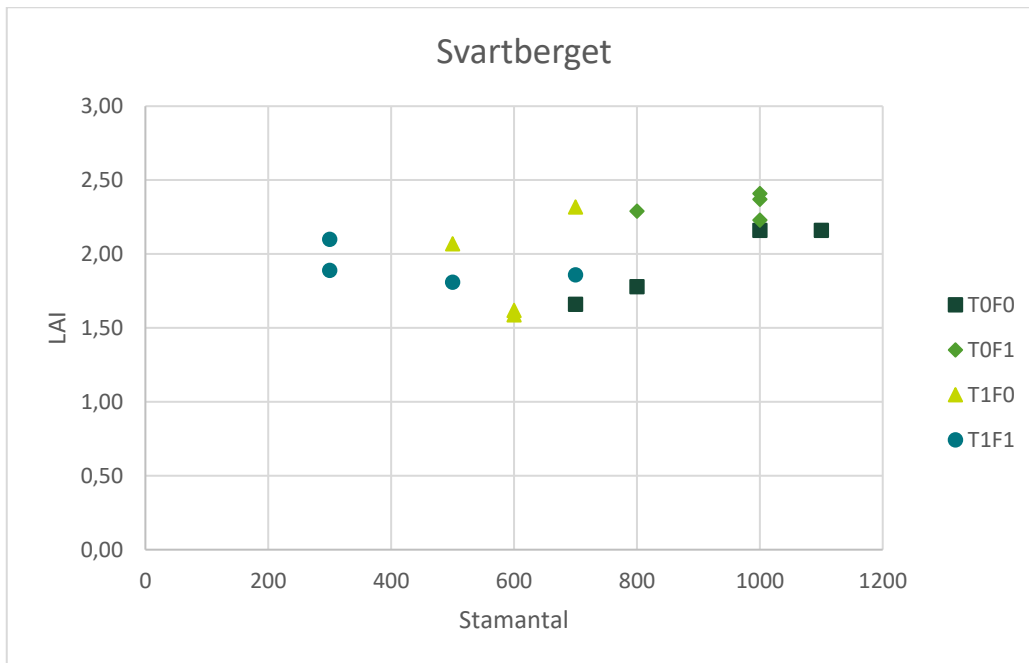


Medelvärdet av volymen var högre för T0F1 jämfört med T0F0 medan det var lägre hos T1F1 jämfört med T1F0. T0F0 hade ett värde på 337,6 och T0F1 hade 404,7. Standardavvikelsen var 115,21 respektive 38,04. T1F0 hade en volym på 312 och T1F1 hade 224,2. Standardavvikelsen var 58,18 respektive 57,37. Plotting av LAI och volym ser ut att följa samma korrelation som grundyta och LAI gjorde (Figur 6). Anova-test gav inget bevis att någon av behandlingarna skulle skilja sig ifrån varandra i volym (p-värde 0,0658) med signifikansnivå 5 %. Regressionstest gav ett resultat att volym och LAI korrelerar med varandra (p-värde 0.01411).



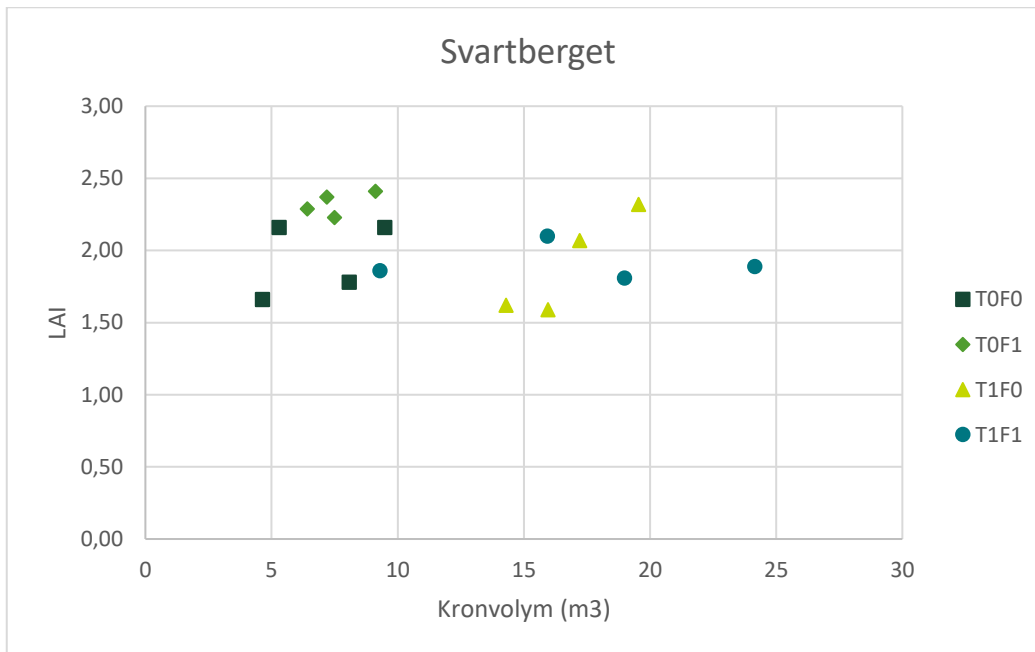
**Figur 6** LAI i jämförelse med beståndets volym för varje behandling på Svartberget  
**Figure 6.** LAI compared with the stands volume for the treatments at Svartberget

LAI och stamantal ser ut att ha en svag korrelation inom detta intervall för stamantal (Figur 7). Regressionsanalys visade att det finns en korrelation med ett p-värde på 0,04921. Medelvärdet för stamantalet per hektar för T0F0 och T0F1 var 900 respektive 950. Medelvärdet för T1F0 och T1F1 var 600 respektive 450. Vid lägre stamantal på 200–600 ligger samtliga LAI-värden mellan ca 1,5 – 2.2 och vid högre stamantal 600–1100 så ligger LAI värdena aningen högre på ca 1,7–2,4.



**Figur 7** LAI i jämförelse med stamantal per hektar för varje behandling på Svartberget  
*Figure 7. LAI compared with the stem per hectare for the treatments at Svartberget*

Medelvärdet av kronvolymen var större för T0F1 jämfört med T0F0 och samma resultat gällde även T1F1 mot T1F0. T0F0 hade ett medelvärde på 6,88 m<sup>3</sup> och T0F1 hade ett värde på 7,55 m<sup>3</sup>. Standardavvikelsen var 1,99 respektive 0,98. T1F0 hade ett medelvärde på 16,76 och T1F1 hade ett värde på 17,09. Standardavvikelsen var 1,92 respektive 5,38. Plottning av LAI mot kronvolym visar ingen tendens att de skulle korrelera med varandra där regressionsanalys gav ett p-värde på 0,4184 (Figur 8). Den visar heller inget tydligt att gödning skulle leda till större kronor.



**Figur 8** LAI i jämförelse med kronvolym för varje behandling på Svartberget  
*Figure 8. LAI compared with the crown volume for the treatments at Svartberget*

## 3.2. Vänjaurbäck och Stångtjärn

I Vänjaurbäck blev LAI-värdet för behandlingen T0F0 1,73 och T0F1 blev 1,44 (Tabell 2). Hos de gallrade behandlingarna blev det motsatt skillnad där T1F0 fick ett LAI-värde på 1,2 och T1F1 fick ett värde på 1,41. I Stångtjärn blev LAI-värdet för behandlingen T0F0 blev 1,58 och T0F1 blev 1,80 (Tabell 3). De gallrade behandlingarna följde samma mönster, där T1F0 blev 1,28 och T1F1 blev 1,36. De gödslade behandlingarna hade därav större LAI-värde än de ogödslade på Stångtjärn.

I Vänjaurbäck var diametern och trädhöjden större för de gödslade ytorna både i de gallrade och de ogallrade avdelningarna. Höjden skiljde sig mer i de ogallrade behandlingarna medan diametern skiljde sig mer i de gallrade behandlingarna. Även i Stångtjärn var diametern och trädhöjden större för de gödslade ytorna både i de gallrade och de ogallrade avdelningarna.

**Tabell 2.** Diameter, höjd, stamantal och LAI för varje behandling baserat på ett block  
*Table 2. Diameter, height, stem density and LAI for every treatment based on one block*

### *Vänjaurbäck*

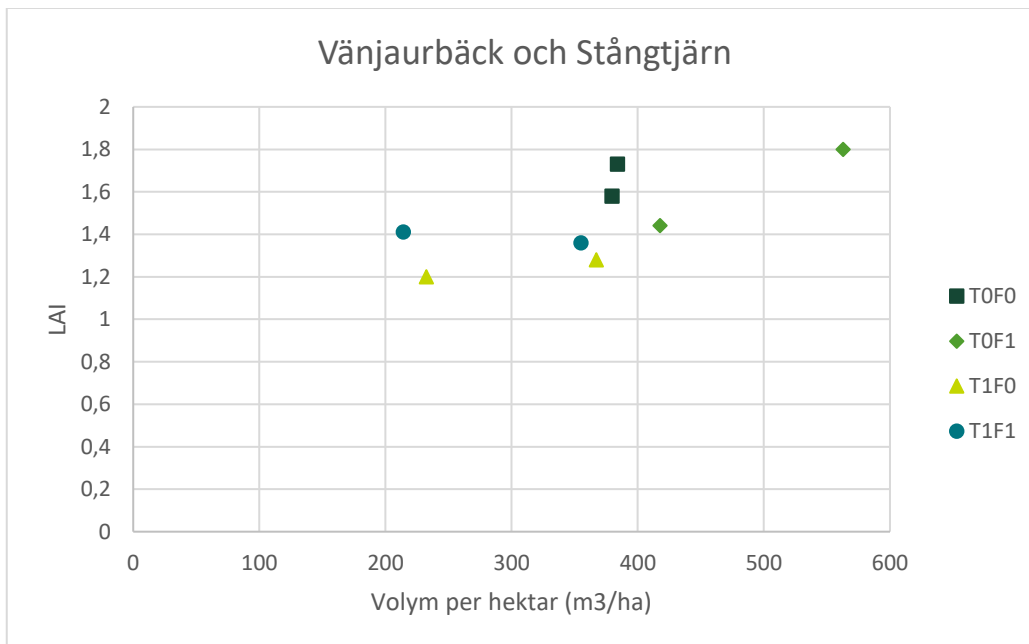
Behandling	Diameter (cm)	Höjd (m)	Leaf area index (LAI)	Stamantal per hektar
T0F0	22,18	19,57	1,73	960
T0F1	23,85	20,58	1,44	880
T1F0	27,84	20,45	1,20	360
T1F1	32,67	20,58	1,44	240

**Tabell 3.** Diameter, höjd, stamantal och LAI för varje behandling baserat på ett block  
*Table 3. Diameter, height, stem density and LAI for every treatment based on one block*

### *Stångtjärn*

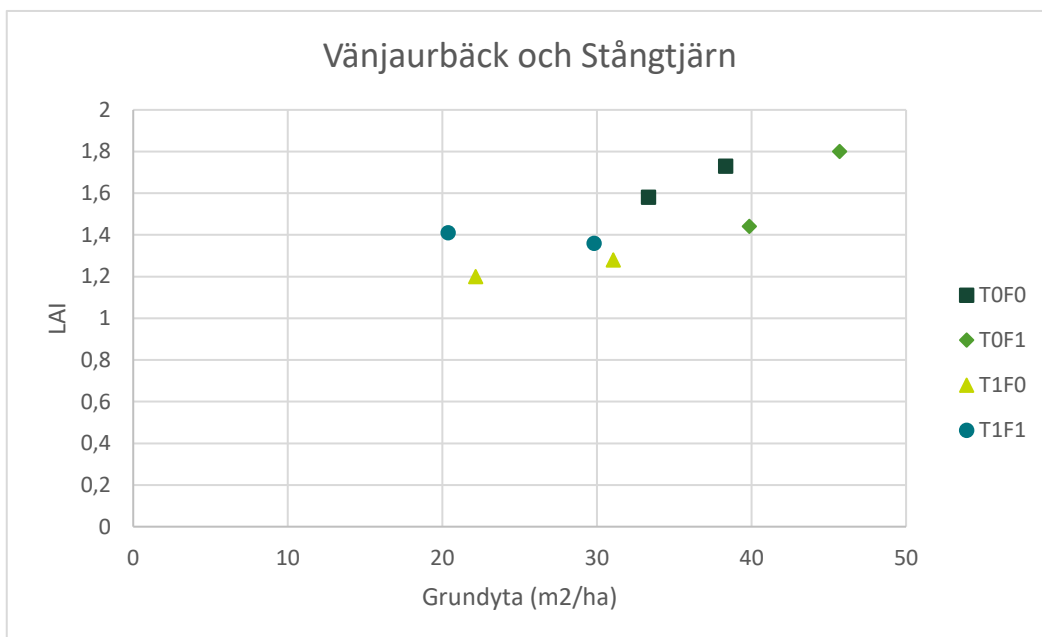
Behandling	Diameter (cm)	Höjd (m)	Leaf area index (LAI)	Stamantal per hektar
T0F0	21,62	22,38	1,58	840
T0F1	25,13	24,83	1,80	880
T1F0	26,44	23,33	1,28	560
T1F1	30,47	23,58	1,36	400

Vänjaurbäcks behandling T0F1 hade en större volym än T0F0. T1F1 hade lägre volym än T1F0. T1F1 hade ett högre LAI-värde trots en lägre volym än T1F0. Resultatet är omvänt för de ogallrade ytorna där T0F1 hade ett lägre LAI-värde än T0F0 trots en högre volym. I Stångtjärn hade T0F1 en betydligt större volym än T0F0 och även högre LAI. Resultatet är omvänt för de gallrade ytorna där T1F1 hade aningen lägre volym än T1F0 men ändå högre LAI. Precis som på Svartberget så ser det ut att volym och LAI korrelerar med varandra (Figur 9). Regressionsanalys visade att korrelation fanns med p-värdet 0,04519.



**Figur 9.** LAI i jämförelse med beståndets volym för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn  
*Figure 9.* LAI compared with the volume per hectare for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn

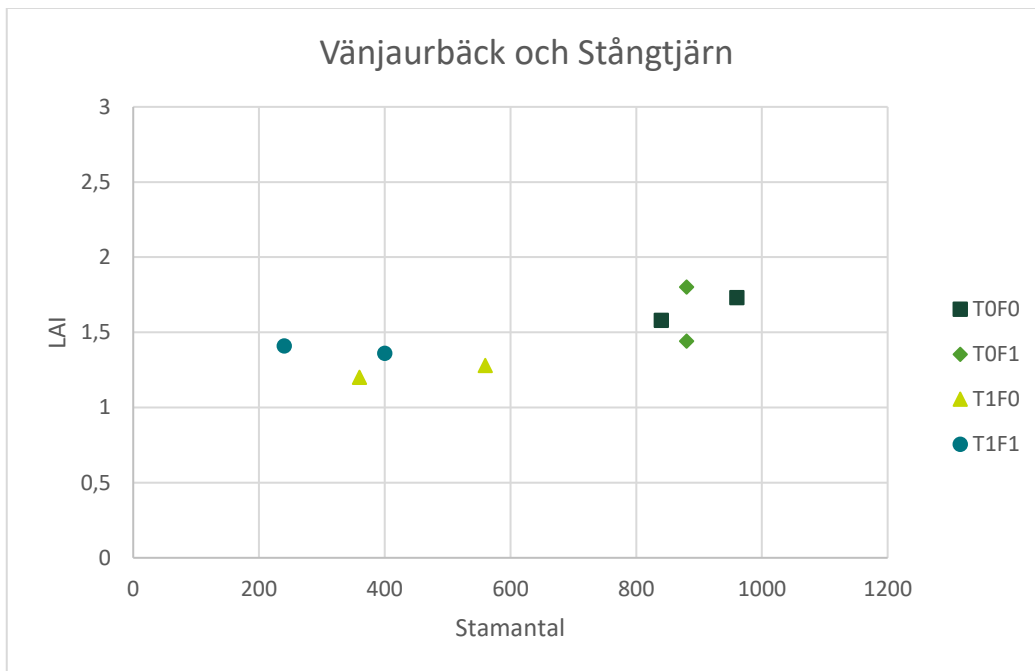
Vänjaurbäcks behandling T0F1 hade en större grundyta än T0F0. T1F1 hade lägre grundyta än T1F0. T1F1 har högre LAI-värde trots en lägre grundyta än T1F0. Resultatet är omvänt för de ogallrade ytorna där T0F1 har ett lägre LAI-värde än T0F0 trots en högre grundyta. I Stångtjärn var grundytan ungefär lika stor i de gallrade ytorna och LAI värdet var större för T0F1. I de ogallrade ytorna skiljde det sig mer, och den gödslade ytan hade ca 11,5 m<sup>2</sup>/ha större grundyta än den ogödslade ytan och den hade också högre LAI. Plottning av LAI och grundyta visar att det ser ut som att de korrelerar med varandra (Figur 10). Regressionsanalys visade att korrelation fanns med p-värdet 0,0271.



**Figur 10** LAI i jämförelse med beståndets grundyta för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn

*Figure 10. LAI compared with the basal area for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn*

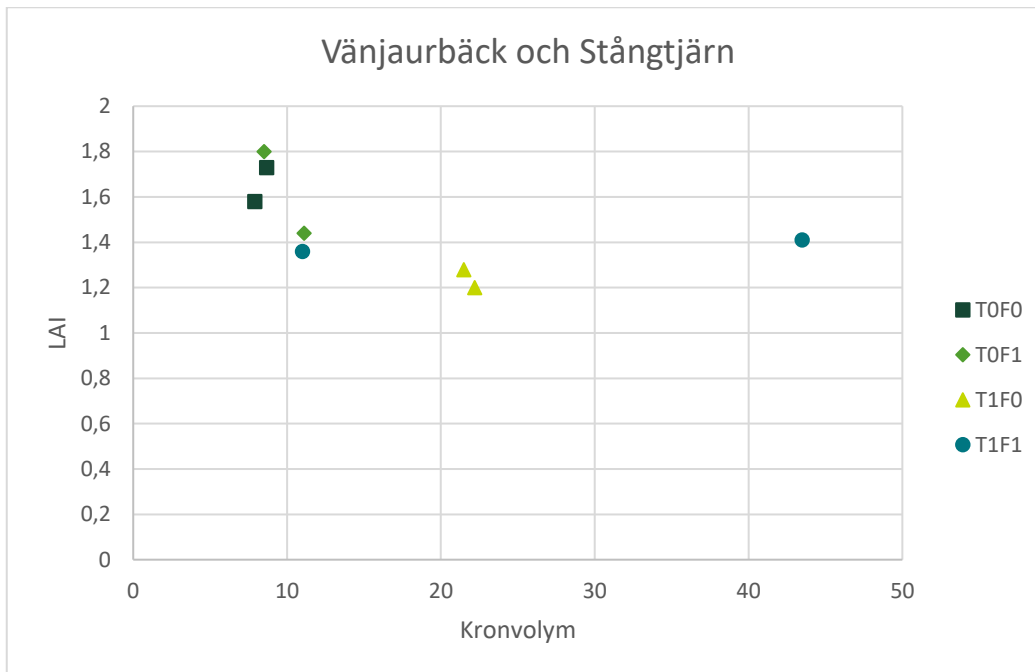
Stamantalet i Vänjaurbäck var 880 och 960 stammar per hektar för T0F0 respektive T0F1. För de gallrade ytorna så var stamantalet 360 och 240 för T1F0 respektive T1F1. I Stångtjärn var stamantalet 840 för T0F0 och 880 för T0F1. De gallrade ytorna hade 560 för T1F0 och 400 stammar per hektar för T1F1. Plottningen ger indikationer på att en svag korrelation finns (Figur 11). Regressionsanalys visade att LAI och stamantal korrelerar med p-värdet 0,02887. Vid lägre stamantal på 200–600 ligger LAI-värdet strax under 1,5 och på högre stamantal mellan 800–1000 ligger LAI-värdet mellan 1,5 och 1,8.



**Figur 11** LAI i jämförelse med stamantal per hektar för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn

*Figure 11.* LAI compared with the stems per hectare for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn

I Vänjaurbäck var kronvolymen större för de gödslade ytorna vare sig de blivit gallrade eller inte. I Stångtjärn däremot var kronvolymen större för gödsling när det var ogallrat, men vid gallring så hade den gödslade ytan hälften så stor kronvolym som den ogödslade. Plottning av kronvolym och LAI visar ingen tendens på korrelation (Figur 12). Den visar heller inget tydligt att kronvolym påverkas av kontinuerlig gödsling. Regressionsanalys visade att det inte finns någon korrelation mellan LAI och kronvolym där p-värdet blev 0,2118.



**Figur 12** LAI i jämförelse med kronvolym för varje behandling i Vänjaurbäck och Stångtjärn  
**Figure 12.** LAI compared with the crown volume for the treatments in Vänjaurbäck and Stångtjärn



## 4. Diskussion

### 4.1. Tillväxt efter gödsling

Samtliga lokaler i denna studie har haft positiva effekter på diametertillväxt och trädhöjd efter gödsling, där medelvärdena alltid varit högre hos de gödslade behandlingarna. Dock så är diameter inte den bästa variabel att använda för att bedöma tillväxt, då den är starkt korrelerad med stamantalet i beståndet (Węgiel et al., 2018). Höjd är en bättre indikation på tillväxt, då de flesta tidigare studier visat att höjdtillväxt inte påverkas av stamantal (Mäkinen et al., 2005). Valinger har också visat att gödsling har en positiv påverkan på trädhöjd (Valinger, 1992). Höjden har haft positiva effekter efter gödsling i de ogallrade ytorna både på Svartberget, Vänjaurbäck och Stångtjärn, där effekten var ungefär lika stor på samtliga lokaler. I de gallrade ytorna fanns ingen ökad medelhöjd oavsett kontinuerlig gödsling eller enstaka gammal gödsling. Den gallrade behandlingen ser ut att ha reagerat bättre på diametertillväxt efter gödsling i både Vänjaurbäck och Stångtjärn men då är också stamantalet betydligt lägre för den gödslade ytan. Svartberget har däremot ingen större diameter efter gallring och gödsling trots att stamantalet också är lägre för den gödslade behandlingen. Att de gallrade gödslade ytorna får högre diameter är i enighet med ett resultat som Valinger fått, att kombinationen av både gallring och gödsling påverkade de enskilda trädens tillväxt mer än att endast ha gallrat eller gödslat i bestånden (Valinger, 2011). Men trots att Valinger hittat detta blir det svårt att med denna studie avgöra gödslingens påverkan på diameter kontra det lägre stamantalets påverkan på diametern. Däremot så har ju de kontinuerligt gödslade ytorna högre diameter vid lägre stamantal, medan Svartberget inte har det. Således indikerar det att kontinuerlig gödsling givit högre volymtillväxt än äldre enstaka gödsling, men inte någon anmärkbar höjdtillväxt.

### 4.2. Leaf area index

Även fast regressionsanalys visat att LAI korrelerar med grundyta och volym på Svartberget respektive den kontinuerliga gödslingen, så visar regressionsanalys att en gemensam korrelation inte finns om samtliga lokaler slås ihop, se bilaga 1 (Figur

13) (Figur 14). Vänjaurbäck och Stångtjärn har alldeles för låga värden vid samma volym och grundyta, jämfört med Svartberget. Den kontinuerliga gödslingen på Vänjaurbäck och Stångtjärn har inte givit högre LAI-värden än vad den enstaka gödslingen uppnådde på Svartberget. Snarare tvärtom. Svartbergets ytor har betydligt högre LAI-värden än Vänjaurbäck och Stångtjärn trots liknande stamantal. Ingen bonitet var angiven för Vänjaurbäck och Stångtjärn i försöksdokumenten som beskrev lokalerna. Men en bonitetsskillnad är inte anledningen bakom det högre LAI-värdet på Svartberget. Vänjaurbäck och Stångtjärn har idag en beståndsålder på 99 år och det går därför genom övre höjd se att boniteten för båda lokalerna bör ligga på ungefär en T24. En annan teori bakom Svartbergets höga LAI-värden är en högre andel döda kvistar som inte blivit grenrensade. Harri Mäkinen har tidigare visat att det tog mer än 40 år innan en död gren lossnade från stammen (Mäkinen, 2011). Svartberget har en beståndsålder som är 20 år yngre än Vänjaurbäck och Stångtjärn, vilket då betyder att de kommit olika långt i grenrensningen. Både grenar och stammar har en påverkan på LAI (Cutini et al., 1998). Men utöver de döda grenarna så borde en kontinuerlig gödsling vanligtvis leda till större LAI då gödsling, som tidigare nämnt, ökar tillväxt på stam och grenar. Stammarnas påverkan på LAI verkar däremot inte vara avgörande eftersom plottningen av LAI mot volym inte korrelerade för samtliga lokaler (Figur 13). Sammanfattningsvis blir det omöjligt att med detta resultat bevisa att kontinuerlig gödsling ger högre LAI än en äldre enstaka gödsling. Däremot ser det ut som att LAI efter gödsling har blivit positivt påverkat oavsett lokal. De gallrade gödslade ytorna har på alla lokaler högre LAI trots att de har betydligt lägre stamantal. Däremot är det svårare att se en påverkan i de ogallrade gödslade ytorna då LAI-värdet är lägre om stamantalet är lägre och LAI-värdet är högre om stamantalet är högre. Dock finns en tendens att LAI-värdet skulle vara högre efter gödsling om stamantalet var lika, då skillnaden i LAI är större än skillnaden i stamantal.

Vänjaurbäck, fick ett resultat där TOF0 hade ett högre LAI-värde än TOF1. Detta trots att diameter, trädhöjd, kronvolym och grundyta var större i den gödslade behandlingen. Däremot så var stamantalet större i TOF0 vilket förmodligen förklarar anledningen att LAI också är högre. Imponerande nog så var volymen större i den gödslade ytan trots att stamantalet är 80 färre per hektar. Det verkar alltså som att en ökad tillväxt efter gödsling kan inträffa utan att den totala barrmassan ökat i hela beståndet. Erik Valingers resultat från 2011 skulle kunna vara en intressant koppling till detta. Han hittade att gödsling kan leda till högre effektivitet hos det enstaka barret för att utföra fotosyntes för trädets tillväxt (Valinger, 2011). Det betyder att ett lägre värde av LAI i ett bestånd ändå skulle kunna innebära effektivare fotosyntes än i ett ogödslat bestånd med högre LAI. Han menar också att en ökad produktion av stamved var ett resultat av en större

biomassa av barr, vilket då inte stämmer överens i Vänjaurbäck med lägre LAI men högre volym. De gallrade ytorna i Vänjaurbäck hade en stor diameterskillnad där T1F1 var betydligt större än T1F0. I detta fall var också LAI värdet större för den gödslade ytan trots att grundytan i beståndet var lägre. Detta resultat stämmer bra överens med vad Valinger kom fram till om stamvedproduktion och LAI. Högre tillväxt i ett bestånd skulle alltså kunna bero både på ett större LAI-värde, där fler barr utför fotosyntes, eller också att barren är effektivare och kan då utföra processen bättre än ett ogödslat bestånd med högre LAI värde. Detta skulle betyda att det är väldigt svårt att använda ett LAI-värde som mått på hur mycket ett tallbestånd kan utföra fotosyntes till sin tillväxt, då olika LAI-värden i så fall är olika effektiva.

Med detta sagt är det därför svårt bevisa att aktiv gödsling skulle ge ett högre totalt LAI-värde än att endast gödsla vid ett tillfälle för länge sedan. LAI-värdena på Svartberget är för höga medan stamantalet är lite för lika de andra lokalerna för att kunna se en skillnad att kontinuerlig gödsling skulle ge högre värden. Resultatet från de gallrade ytorna visade att stamantalet var lägre för alla gödslade ytorna, men alla lokaler hade ändå högre LAI än den ogödslade. Trots att gödslingseffekten hos Svartberget bör ha avtagit så finns fortfarande en tydlig skillnad på högre LAI i behandlingen. Samma analys fast i de ogallrade ytorna visar tydliga likheter mellan Svartberget och Stångtjärn. Både Svartberget och Stångtjärn har aningen fler stammar per hektar i sina gödslade ytor jämfört med de ogödslade, och deras LAI-värden följer ungefär samma procentuella ökning mellan behandlingarna. Trots detta så har Stångtjärn haft en tydligt bättre tillväxt jämfört med Svartberget. Så detta resultat motsäger Valingers resultat att högre stamvedsproduktion skulle vara en följd av större total barrmassa och uppmuntrar snarare hans resultat att barrmassan blivit effektivare.

### 4.3. Kronvolym

Med resultatet från denna studie går det inte att se någon tendens till att gödsling skulle öka kronvolymen. Däremot syns stora resultat av gallringens positiva effekt på trädens kronor. Lars Lundqvist och Björn Elfving har tidigare utrett hur kronstorlek påverkas av stamantal. De hittade att avståndet mellan stammarna hade signifikant påverkan på kronans storlek (Lundqvist & Elfving, 2010). Erik Valinger hittade att gödsling också har positiv inverkan på kronvolym (Valinger, 1993). Effekten efter gödsling kan därför komma att synas tydligare i gallrade ytor då avståndet mellan stammarna blir längre och möjliggör för ökad tillväxt för trädkronorna. Men trots att effekten av gödsling skulle kunna bli större efter gallring så är det något som inte hittades genom denna studie. Kronvolymen var i Vänjaurbäck nästan dubbelt så stor i T1F1 jämfört med T1F0, medan i Stångtjärn

var resultatet det omvända där den ogödslade hade nästan dubbelt så stor kronvolym. Stamantalet var dessutom betydligt lägre i den gödslade ytan i Stångtjärn. Trots detta omvända resultat av kronvolym så hade de väldigt lika LAI-värde. Detta betyder då att LAI och kronvolym, givet samma grundyta och stamantal, inte ser ut att behöva korrelera med varandra.

Detta skulle då betyda att för att uppnå högre LAI, med en betydligt mindre kronvolym, så måste det vara högre täthet av grenar, högre täthet av barr eller att det enstaka barret har större volym. Givetvis kan också kombinationer av alternativen ha inträffat. I en tidigare studie (Ericsson et al., 1985) simulerade forskare vad som händer med tillväxt och barr efter att delar av trädkronan beskärts i fyra olika grader. Resultatet visade signifikanta negativa effekter på radiell tillväxt av stammen, med ökad skillnad för varje grad av beskärning. De såg även att samma korrelation fast positiv syntes för toppskottlängd och barmassa per kvarvarande skott. Efter fyra år hittade de ingen skillnad på tillväxt av trädvolym och inte heller på total barmassa. Träden verkar alltså kunna återhämta sig väldigt snabbt efter förlust av grenar. Detta skulle kunna kopplas till behandlingen på Stångtjärn, att trots en lägre kronvolym så kan varje enskilt träd bygga upp samma mängd barr då tätheten ökar. Seppo Kellomäki har tillsammans med andra forskare kommit fram till att barrstorlek har en positiv korrelation med grad av kvävegödsling (Kellomäki et al., 1982). De hittade även att grenandelen ökade inom kronan. Vilket av alternativen som haft påverkan i denna studie är dock inget som studiens data har kunnat visa, då kronan och barren endast analyserats på längre avstånd.

#### 4.4. Osäkerheter med studien

Resultatet i denna studie har varit svårt att statistiskt bevisa. Detta beror på en väldigt tidskrävande datainsamling vilket resulterat i ett för litet dataset för att kunna utföra testerna på. Svartberget hade många block men endast 4 inventerades. Här gjordes statistiska analyser men för att öka säkerheten hade fler block behövts inkluderas i studien. I Vänjaurbäck och Stångtjärn fanns endast en upprepning vilket innebar att kriterierna för statistisk analys mellan behandlingarna inte uppfylldes.

Enbart äldre bestånd har använts för datainsamling och analys i denna studie vilket är relativt nischat för att svara på studiens breda frågeställningar. Dessutom så har det använts lokaler för kontinuerlig gödsling som är 20 år äldre än lokalen som användes för den enstaka äldre gödslingen. Det hade därför varit intressant för framtida studier att analysera om resultatet skulle skilja sig om bestånden varit likåldrigt, och i det skede där den löpande volymtillväxten är som högst. Eftersom

LAI-mätaren även samlar in grenar så hade det varit bra att använda likåldriga bestånd för att motverka olika grader av grenrensning mellan lokalerna.

Kronvolymen är baserad på en svår metod för datainsamling där resurser inte fanns för att använda någon annan metod. Detta resulterade i en grov uppskattning av kronans volym. Metoden mätte heller inte täthet av grenar i trädkronan, utan endast från nedersta levande barr till trädets topp och i sidled. Med fördel hade data kunnat insamlats från torrkvistarna för att då kunna jämföra lokalerna och lättare se de döda kvistarnas påverkan på LAI.

LAI-värdet som insamlats genom ljusmätaren finns det ingen standardavvikelse på, vilket gör det svårt att avgöra kvalitén på LICOR 2200C. Här hade det behövts flera statistiska mätningar i samma yta för att på så sätt utvärdera det insamlade LAI-värdena i denna studie. LICOR 2200C i helhet har blivit utvärderad av Goude, Nilsson och Holmström som kommit fram till att den sanna barmmassan blir underskattad av ljusmätaren, men att underskattningen är lägre för tall än gran (Goude et al., 2019). De menar att för att få bättre och pålitligt LAI-värde så kan den indirekta mätmetoden med fördel kombineras med en modell som inkluderar höjd, stamantal och grundyta.

## 4.5. Slutsatser

Det gick inte att bevisa att en tillväxtökning efter kontinuerlig gödsling skulle bero på ett högre LAI. Inget tyder på att en kontinuerlig gödsling ger ett högre LAI än den äldre enstaka gödslingen. Studiens resultat har visat att oavsett kontinuerlig eller äldre enstaka gödsling så har LAI ökat. Gallring har givit tydliga skillnader på ökat LAI efter gödsling, medan ogallrat inte kunnat visa tydliga skillnader men att det tenderar till att LAI blivit positivt påverkat. Studien har inte kunnat visa att kronvolymen ökar genom kontinuerlig gödsling. Det finns inga indikationer på att kronvolymen och LAI skulle korrelera med varandra. LAI kan istället visa sig genom högre täthet av barr på grenarna inom den mätta kronvolymen, fler antal grenar inom kronvolymen eller möjligtvis större enstaka barr. LAI-värden tenderar också till att kunna vara olika effektiva då ett lägre LAI-värde i en yta ändå visat att tillväxten varit högre. LAI korrelerar med grundyta och volym inom lokalerna men inte för samtliga lokaler.

## Referenser

- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. 2012. *Skogsskötselns grunder och samband*. Trädet. Skogsskötselserien, del 1. ss. 53–54.
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. 2012. *Skogsskötselns grunder och samband*. Mätning av träd och bestånd. Skogsskötselserien, del 1. s. 33.
- Artdatabanken. 2020. *Sammanfattning Rödlista 2020*. SLU. Tillgänglig: <https://www.artdatabanken.se/var-verksamhet/rodlistning/Sammanfattning-rodlista-2020/>. Hämtad: 5/10–20.
- Cutini, A., Matteucci, G., & Mugnozza, G.S. (1998). Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, (1-3), 55-65.
- Goude, M., Nilsson, U. & Holmström, E. 2019. *Comparing direct and indirect leaf area measurements for Scots pine and Norway spruce plantations in Sweden*. *Eur J Forest Res* 138, 1033–1047 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01221-2>
- Ericsson, A. Hellqvist, C. Långström, B. Larsson, S. Tenow, O. 1985. *Effects, on growth of simulated and induced shoot pruning by Tomicus Piniperda as related to carbohydrate and nitrogen dynamics in Scots Pine*. *Journal of Applied Ecology*, (1985), 22, 105-124.
- From, F. Strengbom, J. Nordin, A. 2015. *Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest*. *Forests* 2015, 6, 1145–1156; doi:10.3390/f6041145. Published: 10 April 2015.
- Hämäläinen, A. Strengbom, J. Ranius, T. 2018. *Conservation value of low-productivity forests measured as the amount and diversity of dead wood and saproxylic beetles*. *Ecological Applications*. Volume 28, Issue 4. <https://doi.org/10.1002/eap.1705>. Published: 01 February 2018.
- Kellomäki, Seppo & Puttonen, Pasi & Tamminen, Heikki & Westman, Carl. (1982). Effect of nitrogen fertilization on photosynthesis and growth in young Scots pine - preliminary results (*Pinus sylvestris*).. *Silva Fennica*. 1982. 16(4): 363-371.. 16. 10.14214/sf.a15084.
- Kozai, T. et al. (2016). *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Amsterdam; Boston: Elsevier/AP, Academic Press.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885.

- LI-COR, (2016). LAI-2200C Plant Canopy Analyzer. Instruction Manual. Publication No. 984-14112. LI-COR, Inc. Lincoln, NE. 07/2016.  
Tillgänglig: <https://licor.app.boxenterprise.net/s/fqjn5mlu8c1a7zir5qel>
- Lundqvist, L. Elfving, B. 2010. *Influence of biomechanics and growing space on tree growth in young Pinus sylvestris stands*. Forest Ecology and Management 260 (2010) 2143–2147. [2010-12-15]
- Mäkinen, H. Hynynen, J. Isomäki, A. 2005. *Intensive management of Scots pine stands in southern Finland: First empirical results and simulated further development*, Forest Ecology and Management, Volume 215, Issues 1–3, Pages 37-50, ISSN 0378-1127,  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.069>.
- Mäkinen, Harri. (2011). Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland. Canadian Journal of Forest Research. 29. 585-594. 10.1139/x99-026.
- R. Mäkipää, T. Karjalainen, A. Pussinen, M. Kukkola. 1998. *Effects of nitrogen fertilization on carbon accumulation in boreal forests: Model computations compared with the results of long-term fertilization experiments*. Chemosphere, Volume 36, Issues 4–5, Pages 1155-1160, ISSN 0045-6535, [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10188-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10188-6).
- NASA (2019). Graphic: The relentless rise of carbon dioxide. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Tillgänglig:  
[https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide](https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide) [2021-01-11]
- Naturvårdsverket. 2020. *Formellt skyddad skog*. Uppdaterad: 25 juni 2020.  
Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Skog-formellt-skyddad/>. Hämtad: 2020-10-08.
- Pettersson, F. Höglblom, L. 2011. *Long-term Growth Effects Following Forest Nitrogen Fertilization in Pinus sylvestris and Picea abies Stands in Sweden*. Scandinavian Journal of Forest Research, 19:4, 339–347, DOI: 10.1080/02827580410030136.
- Jacobson, S. 2019. *Tillväxteffekter av kvävegödsling i sydsvenska tallbestånd*. Arbetsrapport 1022–2019. Skogforsk.
- Ståhl, P-H. Bergh, J. 2013. *Produktionshöjande åtgärder*. Skogsskötselserien nr 16. ss. 47–50. Tillgänglig:  
<https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-16-produktionshojande-atgarder.pdf>
- Valinger, E. 1992. *Effects of thinning and nitrogen fertilization on stem growth and stem form of Pinus sylvestris trees*, Scandinavian Journal of Forest Research, 7:1-4, 219-228, DOI: 10.1080/02827589209382714
- Valinger, Erik. (1993). Crown development of Scots pine trees following thinning and nitrogen fertilization. Studia Forestalia Suecica. 188.
- Valinger, E. Sjögren, H. Nord, G. Cedergren, J. 2019. *Tallens produktion i norra Sverige – 33 år efter gallring och/eller gödsling*. Rön från Sveriges

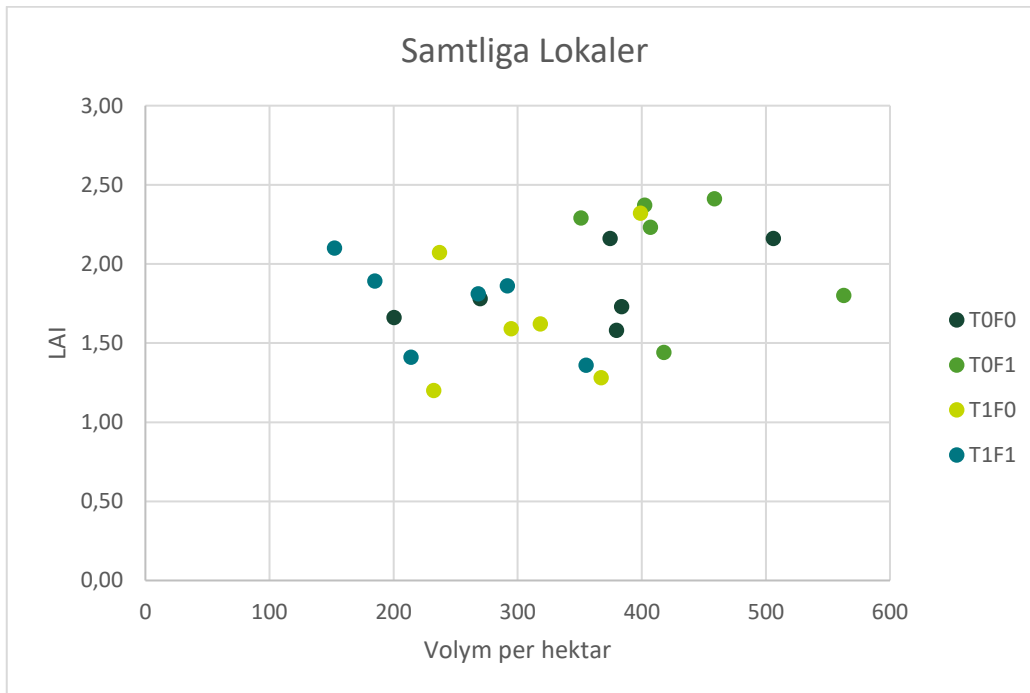
lantbruksuniversitet Nr 1. Fakta Skog. Tillgänglig:

[https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog19/faktaskog\\_01\\_2019.pdf?fbclid=IwAR3GM1E AHgeS0CBkji9FjdjxBaHdyZFKduWliV1yQDVNwJrw\\_KX6YEBcCOC8](https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog19/faktaskog_01_2019.pdf?fbclid=IwAR3GM1E AHgeS0CBkji9FjdjxBaHdyZFKduWliV1yQDVNwJrw_KX6YEBcCOC8)

- Valinger, Erik. (2011). *Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Scots pine trees: total annual biomass increment, needle efficiency, and aboveground allocation of biomass increment*. Canadian Journal of Forest Research. 23. 1639-1644. 10.1139/x93-204.
- Valinger, Erik & Elfving, Björn & Mörling, Tommy. (2000). Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation. Forest Ecology and Management. 134. 45-53. 10.1016/S0378-1127(99)00244-3.
- Waring, R. H. & Running, S. W. 2007. *CHAPTER 2 - Water Cycle*, Editor(s): Richard H. Waring, Steven W. Running, Forest Ecosystems (Third Edition), Academic Press, 2007, Pages 19-57, ISBN 9780123706058, <https://doi.org/10.1016/B978-012370605-8.50007-4>.
- Węgiel, A., Bembenek, M., Łacka, A. Mederski, P. 2018. *Relationship between stand density and value of timber assortments: a case study for Scots pine stands in north-western Poland*. N.Z. j. of For. Sci. 48, 12 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40490-018-0117-7>



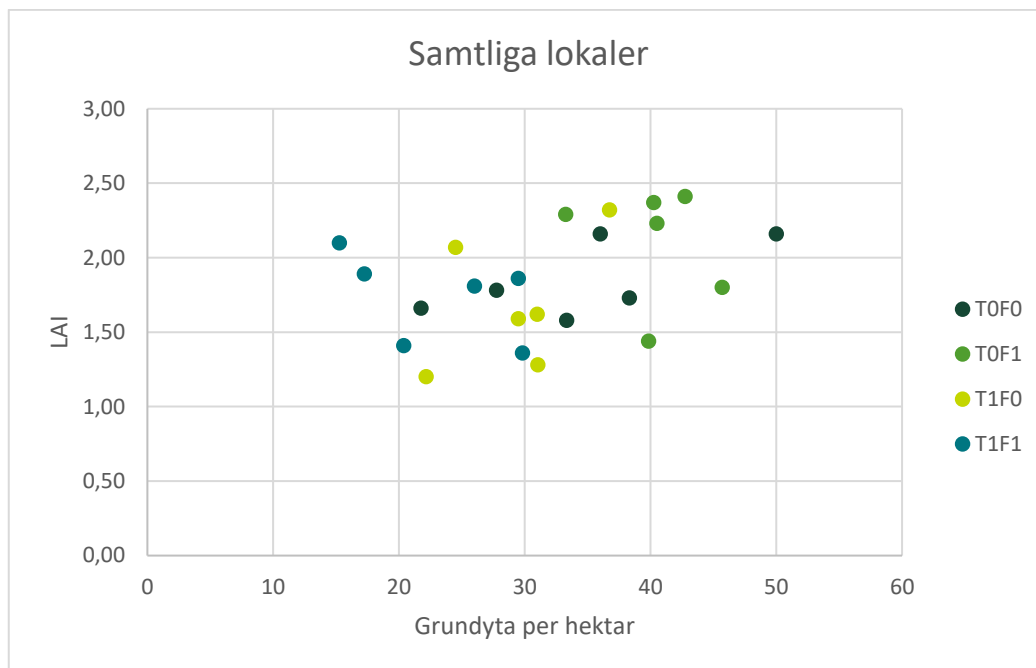
## Bilaga 1



**Figur 13** LAI i jämförelse med beståndets volym per hektar för varje behandling på samtliga lokaler

*Figure 13. LAI compared with the volume per hectare for the treatments for all locals*

Regressionsanalys visar att det inte finns någon korrelation med ett p-värde på 0,1978.



**Figur 14** LAI i jämförelse med beståndets grunddyta för varje behandling på samtliga lokaler  
*Figure 14. LAI compared with the basal area for the treatments at all locals*

Regressionsanalys visar att det inte finns någon korrelation med ett p-värde på 0,07335.

## SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2022:03 Författare: Julia Nygårdh  
Mosippans (*Pulsatilla vernalis* L.) reaktion på brandstörning  
– En populationsstudie på en av Sveriges rikaste mosippslokaler
- 2022:04 Författare: Oskar Karlsson  
Effects on natural seed regenerated Silver birch (*Betula pendula* Roth) and Downey birch (*Betula pubescens* Ehrh) by mechanical soil scarification and environmental factors
- 2022:05 Författare: Eric Lundqvist  
Riparian forests – a comparison of tree diversity, deadwood and canopy cover between primary and production riparian forests along headwaters
- 2022:06 Författare: Louise Nordström  
Growth and development of *Eucalyptus grandis* seedlings in response to arginine phosphate application
- 2022:07 Författare: Alice Falk  
Towards climate optimised riparian buffer zones in boreal forests. Investigation of clearcutting effects on soil temperature, soil moisture and greenhouse gas fluxes in riparian buffer zones with different widths
- 2022:08 Författare: Pelle Kronborg  
Biogeochemistry and Peat Properties of Restored Peatlands
- 2022:09 Författare: Andreas Souropetis  
Influence of forest mires on wildfire  
A landscape analysis of the 2014 Västmanland forest fire
- 2022:10 Författare: Leon Hauenschild  
Alteration of the forest structure in historically impacted *Nothofagus* spp. forests on the Brunswick peninsula.  
Recommendations for their protection and management.
- 2022:11 Författare: Axel Strömberg  
The evaluation of novelty kilns: drying msasa wood at a small scale sawmill in Mozambique
- 2022:12 Författare: Andreas Karlstrand  
Samband mellan föryngringsresultatet år 5 och kvalitetsklassning av markberedning och planteringsåtgärder på SCA:s fasta provytor i norra Sverige.
- 2023:01 Författare: Tyra Tornberg  
Forest regeneration and edge effects – An ecophysiological analysis after gap-cutting
- 2023:02 Författare: Erik Wickberg  
Effekten av växtnäring på överlevnad, tillväxt och vitalitet på planterade tall- och granplantor - En studie gjord på ett kontrollerat försök på en lokal i Västerbotten
- 2023:03 Författare: Carl Åhlund  
Kvävegödslingens effekter på bladyta och trädkronor i tallbestånd