



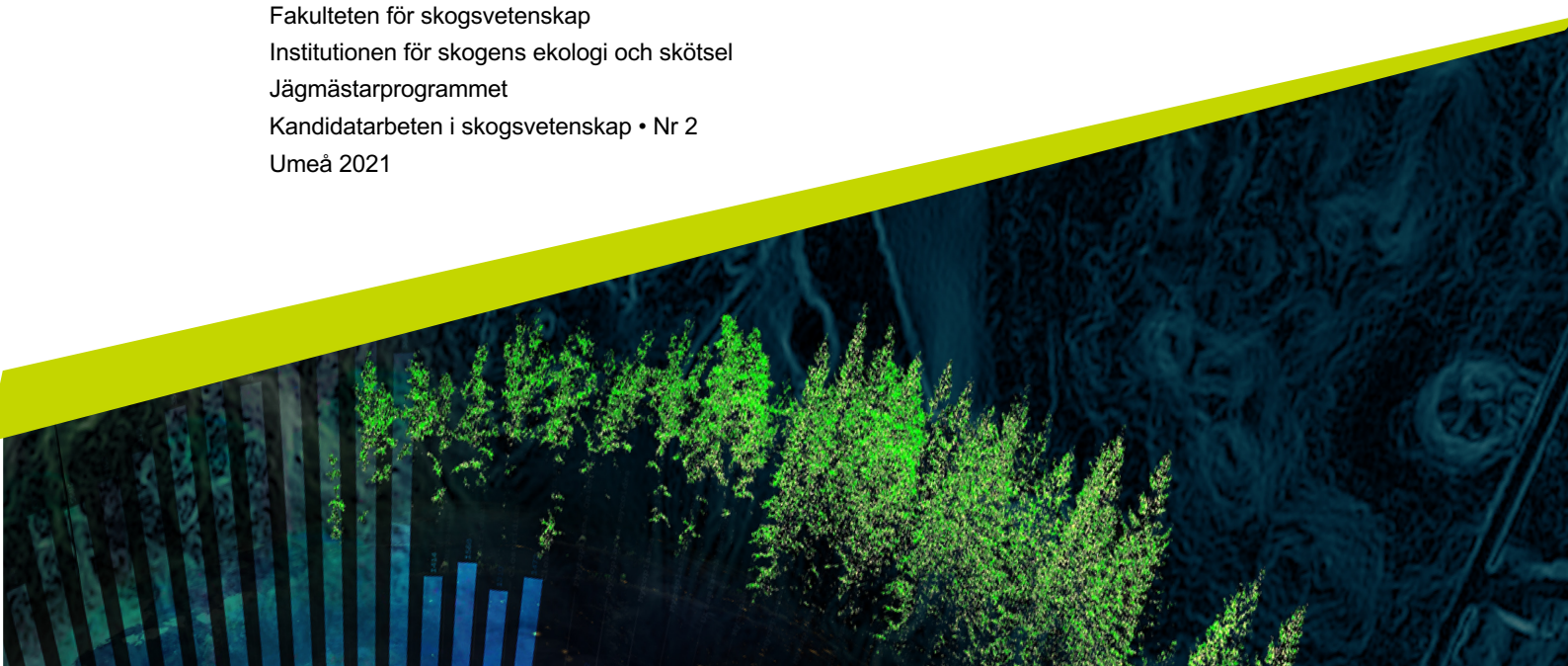
Tillväxteffekter på lång sikt av gödsling i äldre tallbestånd

– Studie som undersöker huruvida gödsling påverkar tillväxten på lång sikt

*Long term growth effects of fertilization in older pine stands
- A study that examines if fertilization affects long term growth*

Hannes Alajärvi & Oskar Engström

Kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Jägmästarprogrammet
Kandidatarbeten i skogsvetenskap • Nr 2
Umeå 2021



Tillväxteffekter på lång sikt av gödsling i äldre tallbestånd – Studie som undersöker huruvida gödsling påverkar tillväxten på lång sikt

*Long term growth effects of fertilization in older stands
- A study that examines if fertilization affects long term growth*

Hannes Alajärvi & Oskar Engström

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

Examinator: Gustaf Egnell, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0911

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2021

Serietitel: Kandidatarbeten i skogsvetenskap

Delnummer i serien: 2

Nyckelord: Gödsling, tall, tillväxteffekter, tid, försök

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

Denna studie syftade till att undersöka tillväxteffekter av gödsling på lång sikt i tallbestånd på mager mark. Detta gjordes genom att använda data från fältförsök för att jämföra gödslade ytor mot kontrolltytor och på så vis få fram resultat om hur tillväxten har förändrats över tid samt hur övre höjd och totalproduktion förhåller sig till varandra för respektive behandling. Bestånden i fältförsöken var gödslade två eller tre gånger under 1960 och 1970 talet, och långtidseffekter undersöktes på 40 – 50 års sikt. Genom att analysera resultaten kunde effekter på lång och kort sikt tydas. De tillväxtfaktorer som undersöktes var totalproduktion, volymtillväxt och övre höjd. Den främsta effekten som kunde tydas i denna studie var att den övre höjden hade ökat på grund av gödslingen vilket gjorde att alla andra tillväxtfaktorer som undersöktes också ökade. Resultaten testades även statistiskt för att se om det var skillnad mellan sista och första revision för gödslade ytor och kontrolltytor, samt om det var skillnad mellan försöken. En slutsats av denna studie var att övre höjd är centralt för huruvida tillväxteffekter från gödsling ska ha en kvarstående effekt på längre sikt. Effekten på lång sikt av gödslingen var att den höjde ståndsindex för de gödslade ytorna jämfört med kontrolltytorna. Långtidseffekter av gödsling kunde påvisas i dessa försök. Resultaten har jämförts med andra studier men där kunde ingen långsiktig effekt tydas, de studierna kunde dock inte påvisa någon förhöjning i övre höjd, vilket denna studie gjorde.

Nyckelord: Gödsling, tall, tillväxteffekter, tid, försök

Abstract

The purpose of this study was to determine if fertilization had an impact on the long-term growth effects of pine forest on less fertile ground. It was done by using data from field trials to compare fertilized plots with control plots, and with that get results whether fertilization influences growth or not in a longer period, but also how production and height development acted together. The stands in the two fields trials were fertilized during the 1960 and 1970s, and the long-term effects was investigated in a period of 40 – 50 years after the fertilization was done. The growth aspects that were examined was total production, volume increment and upper height. The results showed an increase in growth both in a short time and over a long time. The results from the study were also tested statistically to determine if there were any difference between the first and last revision for fertilized and control plots, and to see if there were any difference between the field trials. What could be seen was that height development was central in this study, a greater height makes all other growth factors increase over time. If the height increases rapidly and stays higher over time, then fertilization has a long-term effect on growth. The main results of this study were that long-term effects on growth from fertilization could be observed. The plots treated with fertilization got higher site index than the plots with no treatment. Other studies that were investigated did not show an increase in height development from fertilization, and those studies could not prove any long-term effects either.

Keywords: Fertilization, scots pine, growth effects, time, trials

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Lars Lundqvist som har varit till stor hjälp under hela skrivprocessen, utan hans hjälp hade detta arbete inte varit möjligt.

Innehållsförteckning

1. Inledning	10
1.1. Bakgrund.....	10
1.1.1. Tidigare studier av gödslings effekter på lång sikt	11
1.2. Syfte och mål	12
1.3. Frågeställning och hypotes	12
2. Material och metod	13
2.1. Provytor.....	13
2.2. Metod och beräkningar	14
3. Resultat.....	16
3.1. Totalproduktionens utveckling över tid.....	16
3.2. Volymtillväxtens utveckling över tid.....	17
3.3. Övre höjdens utveckling över tid	19
3.4. Eichhorns lag	20
4. Diskussion och slutsats	22
4.1. Gödslings effekter	22
4.2. Gödselmedel	23
4.3. Volymtillväxt	23
4.4. Övre höjd.....	23
4.5. Eichhorns lag	24
4.6. Styrkor och svagheter	24
4.7. Framtida forskning	24
4.8. Slutsatser	25

Tabellförteckning

Tabell 1. Avdelningar från försök 9084	14
Tabell 2. Avdelningar från försök 9103	14
Tabell 3. Fördelning av gödslingsmedel försök 9084 avdelning 1	29
Tabell 4. Fördelning av gödslingsmedel försök 9084 avdelning 2	29
Tabell 5. Fördelning av gödslingsmedel försök 9103 avdelning 3	29
Tabell 6. Fördelning av gödslingsmedel försök 9103 avdelning 6	29

Figurförteckning

Figur 1. Totalproduktion utveckling över tid försök 9084	17
Figur 2. Totalproduktion utveckling över tid försök 9103	17
Figur 3. Volymtillväxt utveckling över tid försök 9084.....	18
Figur 4. Volymtillväxt utveckling över tid försök 9103.....	19
Figur 5. Övre höjd utveckling över tid försök 9084.....	20
Figur 6. Övre höjd utveckling över tid försök 9103	20
Figur 7. Eichhorns lag försök 9084	21
Figur 8. Eichhorns lag försök 9103	21

1. Inledning

Sverige har under lång tid haft en stark tradition med brukande av skogsmark. Denna tradition har bidragit starkt till att Sverige idag är världsledande inom skoglig forskning och kunskapsbasen inom området är mycket stor och utvecklas hela tiden (Glynn et al. 2018). Trots detta finns kunskapsluckor inom flertalet områden som ytterligare försvåras genom differentierade synpunkter på hur skogsbruk bör bedrivas utifrån olika aspekter. Den kunskapslucka som identifierats och ska behandlas i denna studie rör de långsiktiga effekterna av gödsling på skogens utveckling.

1.1. Bakgrund

En av förutsättningarna för att skog ska växa är tillgången på näringsämnen. Kväve är det näringsämne som primärt begränsar tillväxten i de boreala skogarna, detta kom forskare fram till tidigt vilket ännu ej motbevisats (Hesselman et al. 1937). Fosfor, kalium och andra näringsämnen är även de viktiga för skogens tillväxt men i de flesta fall är inte dessa ämnen begränsande för tillväxten (Magnusson 2009). Att tillföra näringsämnen i de boreala skogarna genom gödsling blir allt vanligare. Gödsling ökar den totala biomassatillväxten i skogsmark. Kväve är det absolut vanligaste ämnet som tillsätts med gödsling. Tidigare studier har visat att gödsling ökade det enskilda trädets tillväxt samt även den totala tillväxten i beståndet (Valinger et al. 2000; Wertz et al. 2012)

Genom åren har olika typer av skogsgödsel använts. I skogsgödslepokens begynnelse var Urea ett vanligt gödslingsmedel men det ersattes i stor utsträckning av ammoniumnitrat under 1970-talet. Detta visade sig däremot ha vissa negativa bieffekter vid sidan om tillväxten. Det fanns en risk att mark och vatten skulle påverkas negativt bland annat i form av försurning, därför började kalkammoniumsalmeter användas under 1980-talet. Kvävehalten är det som främst skiljer de olika gödslingsmedlen åt men även andra ämnessammansättningar differerar dem (Magnusson 2009). Vid gödsling ökar tillväxten hos träden bland

annat eftersom att barrmassan blir större av de extra näringsämnena som tillsätts (Jokela & Martin 2000; Sampson et al. 2006)

Det fanns länge en tro att virkesförrådet skulle minska kraftigt i Sverige och gödsling sågs av vissa som en potentiell lösning för detta och under 1960-talet började gödsling användas i stor utsträckning. Det fanns även en tro om att efterfrågan på virke skulle komma att öka, vilket idag är en problematisk diskussion där det även finns sidor som anser att skogsbruket ska inrikta sig mot naturvårdshänsyn i större utsträckning än vad det görs idag. Det kan leda till problemet att efterfrågan ökar men arealen brukad skog minskar, och en av lösningarna på det problemet kan vara gödsling (Jacobson & Pettersson 2010). Den normala mängden gödsel som tillfördes under 1960-talet var omkring 150 kg kväve per hektar, vilket uppges ge cirka 30–55 % ökning i tillväxten över en period om sju till elva år (Pettersson 1994). Fram till år 2010 hade cirka 10 % av den svenska skogsarealen någon gång behandlats med gödsling som tillväxtökande medel. Gödsling genomfördes i störst utsträckning i Sverige under 1970-talet, men intensiteten av gödsling har varierat under åren och ökad efterfrågan på skogsråvara under vissa perioder har återigen lett till ökad areal gödslad skogsmark (Jacobson & Pettersson 2010).

Gödsling kan vara kostsamt, och för att gödsling ska vara ekonomiskt hållbart så måste den bli lyckad. Ur ekonomiskt synsätt beror allt på hur resultatet blir, det är flera faktorer som spelar in där bland annat vilken typ av mark som gödslas, samt även hur mycket gödsel som måste användas. På vissa marker krävs det så stor mängd gödsel att det inte är hållbart ur ekonomiskt synvinkel (Hedwall et al. 2014).

1.1.1. Tidigare studier av gödslingseffekter på lång sikt

Forskningen är överens om att gödsling ger en ökad tillväxt på kort sikt men huruvida det ger en effekt över längre tid råder viss tveksamhet kring. Valinger et al. (2000) kom fram till att gödsling i ett tallbestånd inte visade någon signifikant ökning av tillväxten efter 12 år. De kunde påvisa att gödningen gav en stor grönkronetillväxt under de första åren efter att gödningen hade genomförts. Vallinger et al. (2019) och Nord (2018) kom fram till att gödsling inte hade någon signifikant påverkan på tillväxten på 33 år. From et al. (2015) undersökte tillväxteffekter 25 och 33 år efter att gödsling hade gjorts och kom fram till att gödningen efter 25 år inte visade på större diametertillväxt än kontrollytorna, men kvävekoncentrationen i barrmassan var högre än i barrmassan på kontrollytorna. Pettersson & Högbom (2004) undersökte långtidseffekter av gödsling i tall- och granbestånd och de kunde i sin studie visa att det inte fanns någon signifikant ökning av den totala tillväxten hos gödslade ytor jämfört med kontrollitor på lång

sikt. Samtliga studier visar att gödsling har en kortsiktig effekt men att någon kvarvarande tillväxtökning är svår att bevisa.

1.2. Syfte och mål

Syftet med denna studie är att undersöka om gödsling av tallskog har någon effekt på olika tillväxtsaspekter lång tid efter att gödslingen utförts om ingen övrig åtgärd har vidtagits. Detta ska genomföras genom att studera två fältexperiment som har gödslats under 1960- och 1970-talet och sedan lämnats utan åtgärd.

1.3. Frågeställning och hypotes

- i. Hur påverkas tillväxten av tallskog 40 - 50 år efter att gödsling genomförts om ingen annan åtgärd har vidtagits?
- ii. Ger gödsling någon långsiktig effekt på höjdtillväxt, totalproduktion och volymtillväxt, eller påverkar den endast tillväxten under de närmsta åren från att gödslingen har utförts?
- iii. Är det någon signifikant skillnad i tillväxt mellan första och sista revision och är det någon skillnad mellan lokalerna?

Hypotesen var att gödslingen inte kommer ha någon märkbar effekt på tillväxten 40 – 50 år efter att den är gjord.

2. Material och metod

2.1. Provytor

Data användes från försök 9084 och 9103 vid Sveriges lantbruksuniversitets (SLU) försökspark i Siljansfors, Dalarnas län (Latitud: 60° 52' Longitud: 14° 23'). Försök 9084 anlades 1959 och 9103 anlades 1967.

Beståndet i försök 9084 uppkom år 1907 och har dikats två gånger i sin yngre fas och dessa diken har därefter underhållits. Ståndortsindex varierade mellan T14 och T19 för enskilda parceller (Tabell 1). Det började med ca 800 stammar per hektar, och gödsling utfördes 1960, 1962 och 1970. Från försök 9084 togs avdelning 1 och 2 med som gödslingsytor medan avdelning 3 och 8 togs med som kontrolltytor där ingen åtgärd hade gjorts. Försök 9084 inventerades sju gånger under åren 1959, 1964, 1969, 1974, 1979, 1984 och 2000, det vill säga under totalt 40 år.

Beståndet i försök 9103 uppkom år 1870 ett antal år efter en skogsbrand. Det avverkades när beståndet var ungt och det var främst överlevande träd från branden som togs ut. Ståndortsindex var mellan T12 och T13 (Tabell 2). Innan försöket anlades 1962 röjdes beståndet. Beståndet gödslades år 1967 och 1970 för att sedan inte gödslas något mer. I början av försöket fanns det omkring 850 stammar per hektar. Från försök 9103 var avdelning 3 och 6 gödslingsytor och avdelning 2 samt 4 var kontrolltytor där ingen åtgärd vidtagits. Försök 9103 inventerades på samma sätt, även där sju gånger och det gjordes under åren 1967, 1972, 1977, 1982, 1987, 2012 och 2017, det vill säga under totalt 50 år.

Tabell 1. Avdelningar från försök 9084, ståndortsindex vid 93 års ålder

Avdelning	Ståndortsindex	Behandling
1	T19	Gödslat
2	T18	Gödslat
3	T14	Kontroll
8	T15	Kontroll

Tabell 2. Avdelningar från försök 9103, ståndortsindex vid 103 års ålder

Avdelning	Ståndortsindex	Behandling
2	T13	Kontroll
3	T13	Gödsling
4	T12	Kontroll
6	T12	Gödsling

De gödslade ytorna hade behandlats med kalkammoniumsalpeter, ”kalisuper” (blandning av superfosfat och vanligt kaliumgödslingsmedel), thomasfosfat, kalkstensmjöl och kaliumssulfat antingen två eller tre gånger, åren 1960, 1962, 1967 och 1970 (Bilaga 1).

2.2. Metod och beräkningar

De data som fanns att tillgå från fältförsöken var insamlat av personalen på Siljansfors försökspark, enheten för skoglig fältforskning vid SLU, och sammanställdes i statistikkort. Exempel på hur ett statistikkort ser ut ses i Bilaga 2. Inventering av försöken gjordes enligt enhetens normala rutiner (Karlsson et al. 2012). Beräkningar gjordes för medeldiameter, stamantal, grundyta, gallringsuttag i procent och totalproduktion. Skattningar gjordes för medelhöjd, stamvolym per ha, löpande tillväxt, övre höjd, ståndortsindex och höjdkurvans ekvation. För att beräkna volym användes Brandels volymfunktion (Brandel 1990) utom i den första revisionen där Näslunds volymfunktion användes (Näslund 1950).

Enligt den tidigare forskaren Fritz Eichhorn finns ett samband mellan totalproduktion och höjdtillväxt i skogen. Totalproduktionen kan förklaras genom att tillämpa en funktion av övre höjden i kvadrat, det kallas Eichhorns lag (Eichhorn 1902; Lundqvist et al. 2014) och det undersöktes om det gick att påvisa sambandet i försöken.

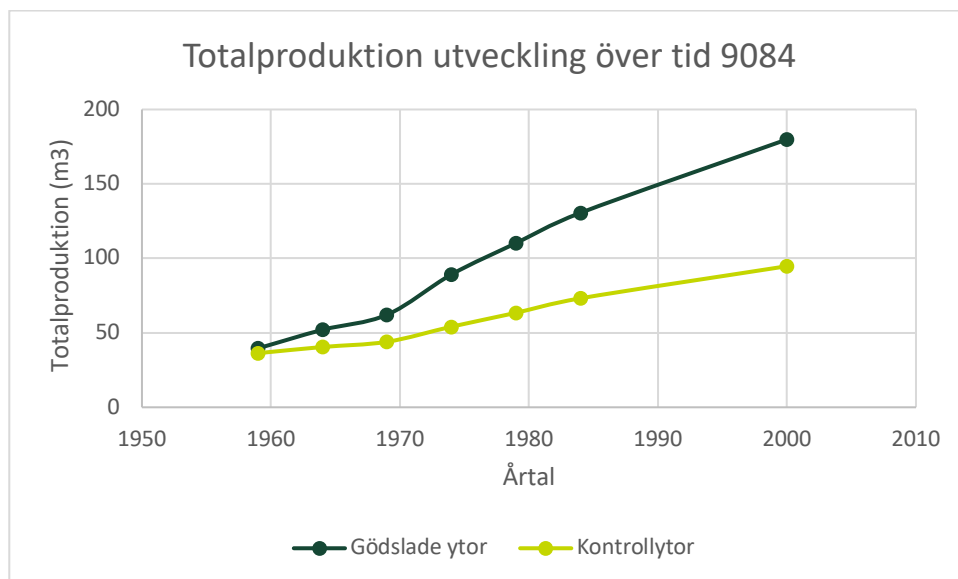
För att statistiskt säkerställa om gödslingen hade någon effekt på lång sikt gjordes analyser med en signifikansnivå $\alpha=0,05$. Det gjordes en variansanalys för att dels se om gödslingen påverkade utfallet, dels för att se om det var någon signifikant skillnad mellan försök 9084 och 9103. Det gjordes genom att ha med en interaktionsterm mellan försöken. De statistiska analyserna utfördes i MINITAB.

3. Resultat

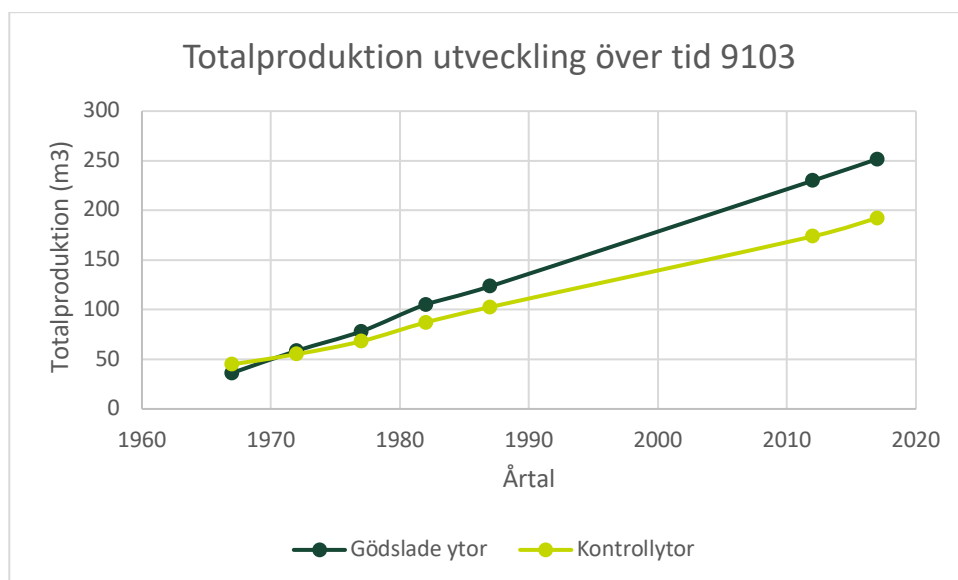
3.1. Totalproduktionens utveckling över tid

Totalproduktionen är högre på lång sikt hos de gödslade ytorna i jämförelse med kontrollytorna i båda försöken och utvecklingen ökar hela tiden för de gödslade ytorna. Från 1970-talet och framåt syns en kraftig ökning av totalproduktionen i försök 9084 (Figur 1), medan i försök 9103 sker ingen lika drastisk ökning hos de gödslade ytorna. I försök 9103 började de gödslade ytorna med en mindre totalproduktion men redan efter andra revisionen passerar de gödslade ytorna kontrollytorna i totalproduktion. Noterbart är att under de första åren stiger totalproduktionen i en lägre takt än under de senare åren i båda försöken. Det kan dock tydas en tydlig ökning i utvecklingen under slutet av 1980-talet (Figur 2). Resultatet visar att totalproduktionen är högre på både kort och lång sikt på de gödslade ytorna i jämförelse med kontrollerna.

Observationerna i båda försöken påvisar en signifikant skillnad i totalproduktionen mellan behandlingarna från revision ett till sju ($p=0,007$). Det testades även hur försöken skiljdes åt och ingen signifikant skillnad mellan försöken kunde påvisas ($p=0,005$). Det kan med 95 % säkerhet sägas att det inte är slumpen som avgör om det är skillnad mellan försöken.



Figur 1. Totalproduktion utveckling över tid försök 9084



Figur 2. Totalproduktion utveckling över tid försök 9103

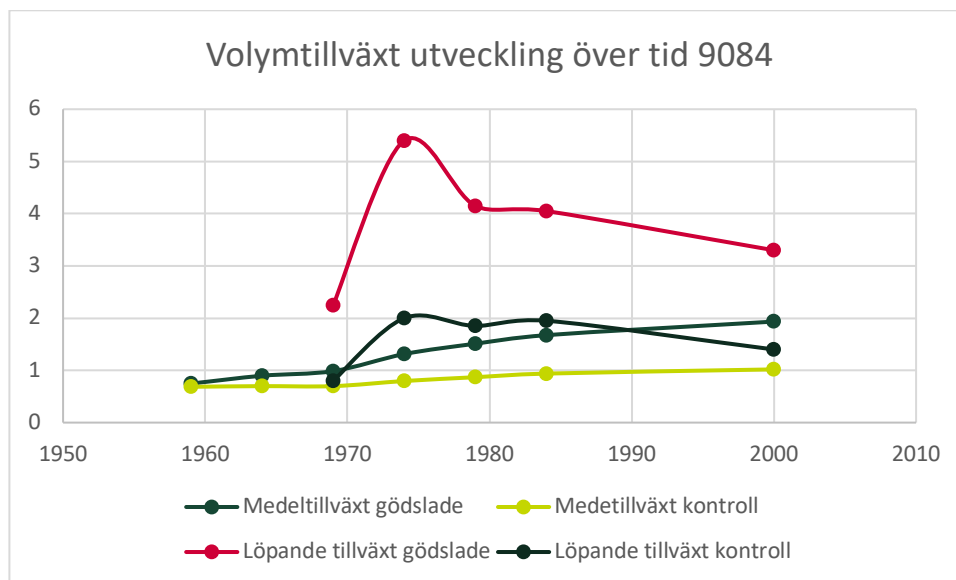
3.2. Volymtillväxtens utveckling över tid

Den löpande tillväxten har nått maximum för båda försöken och för båda behandlingarna, och tycks vara avtagande. I försök 9084 ser kontrollytorna ut att snart mötas med medeltillväxt och löpande tillväxt, medan hos gödningen ser det ut att vara längre fram i tiden. En liknande observation kan ses i försök 9103 men i

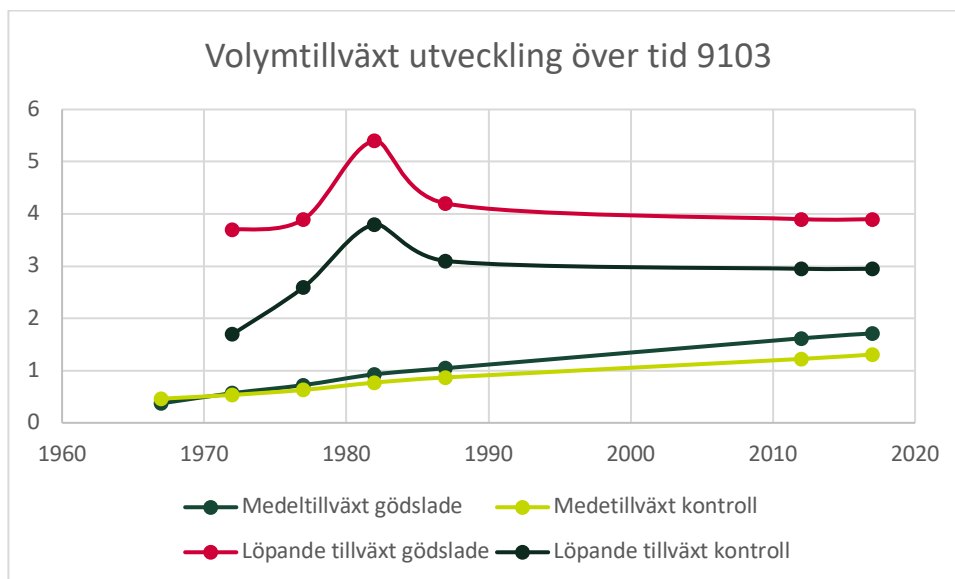
det fallet ser det ut att dröja längre till de möts. I båda försöken är den löpande tillväxten högre för gödslade ytor.

De båda behandlingarna har liknande utveckling men resultatet från de gödslade ytorna påvisar en förhöjd medeltillväxt över en längre tidsperiod. I båda försöken är medeltillväxten högre hos de gödslade ytorna än hos kontrollytorna vid den sista revisionen. Det är dock noterbart att medeltillväxten avtar för båda behandlingarna. Gödslingen visar en intensiv ökning från mitten på 1970-talet till mitten på 1980-talet, som sedan avtar. Medeltillväxten i de gödslade ytorna hos försök 9084 påvisar en liknande utveckling under de första tio åren mellan de gödslade ytorna och kontrollytorna men där de gödslade ytorna efter den första 10-årsperioden sedan får en tydlig ökning i tillväxten som sedan avtar efter ytterligare en 10-årsperiod (Figur 3). I försök 9103 har också medeltillväxten en utveckling över tid där de gödslade ytorna har högre tillväxt än kontrollytorna. Vid första revisionen har försök 9103 lägre medeltillväxt på den gödslade ytan än på kontrollytan, men redan vid andra revisionen så ökar medeltillväxten mer för de gödslade ytorna än hos kontrollytorna (Figur 4).

Medeltillväxten har genom variansanalys testats och det visade att det var signifikant skillnad mellan behandlingarna från revision ett till sju ($p=0,0011$), vid test av skillnad mellan försöken gick det inte att bevisa om det var skillnad eller inte ($p=0,094$).



Figur 3. Volymtillväxt utveckling över tid försök 9084

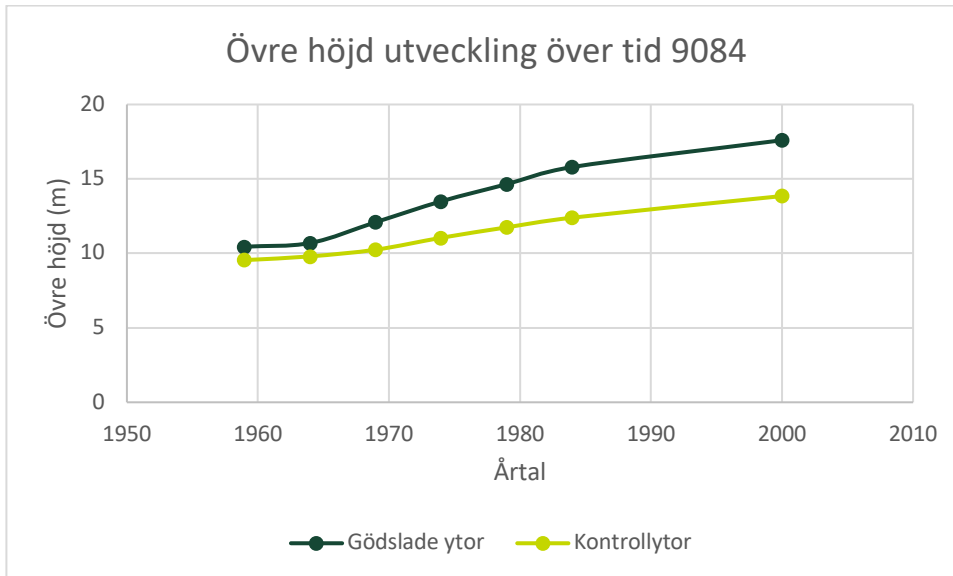


Figur 4. Volymtillväxt utveckling över tid försök 9103

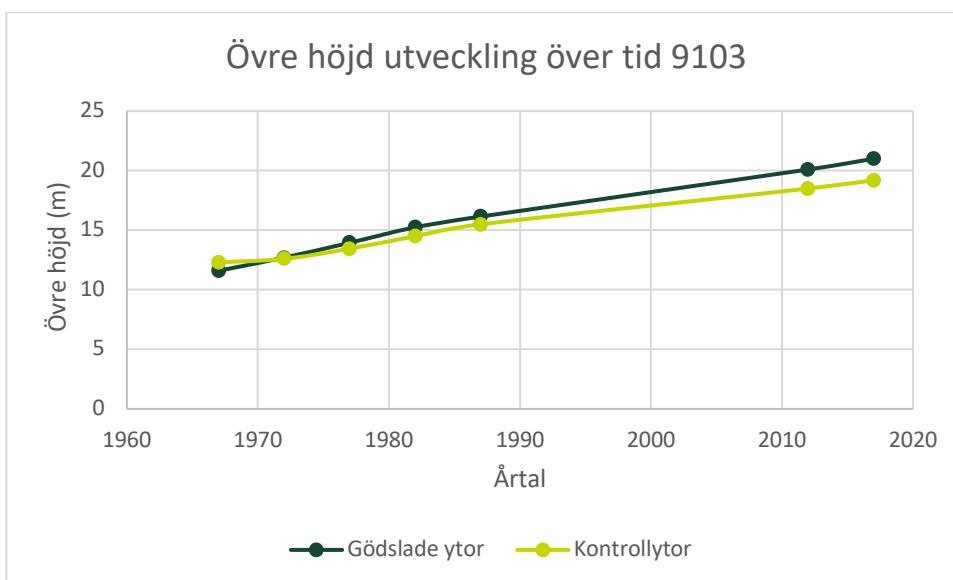
3.3. Övre höjdens utveckling över tid

Gemensamt vid båda försöken är att övre höjden ökar mer vid de gödslade ytorna, samt att den är högre efter lång tid. Det kan noteras att ytorna ifrån försök 9084 börjar på en höjd omkring tio meter. Redan under de första tio åren syns en utveckling av övre höjden i de gödslade bestånden som får en snabbare höjdutveckling (Figur 5). I mitten av 1980-talet, då beståndet är omkring 80 år, stannar den kraftigare höjdutvecklingen av, men de gödslade ytorna ligger så pass mycket före i höjd vid det laget så att även om utvecklingen framåt går i samma takt, så är den övre höjden på de gödslade ytorna signifikant högre än vad höjden är hos kontrollytorna vid samma tidpunkt. Något som skiljer försöken åt är att i 9103 var övre höjden lägre för de gödslade ytorna vid första revisionen men redan vid andra revisionen så har de gödslade ytorna en högre övre höjd och den trenden håller i sig (Figur 6).

Variationsanalysen visade att det fanns en signifikant skillnad i övre höjd mellan behandlingarna ($p=0,008$). En signifikant skillnad mellan försöken kunde inte påvisas ($p=0,011$).



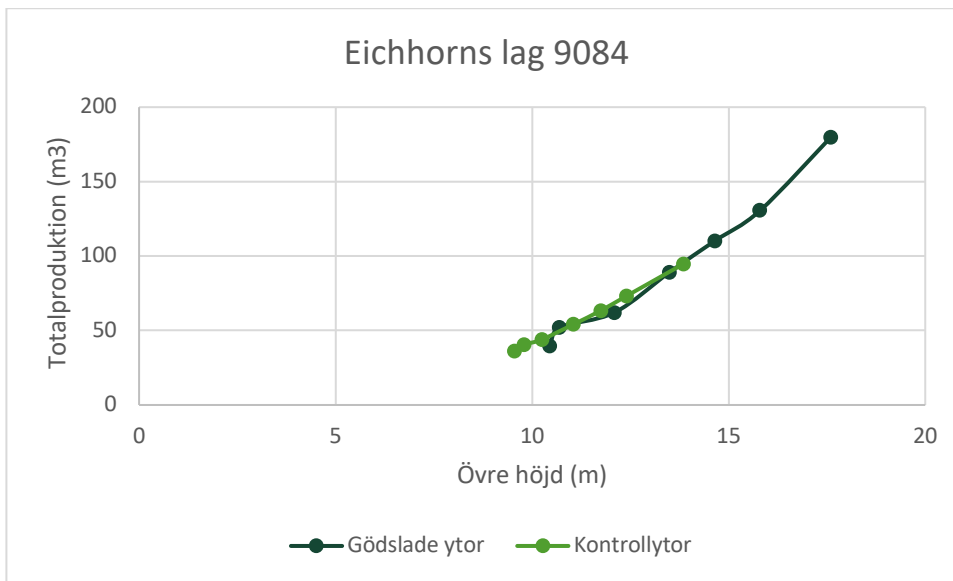
Figur 5. Övre höjd utveckling över tid försök 9084



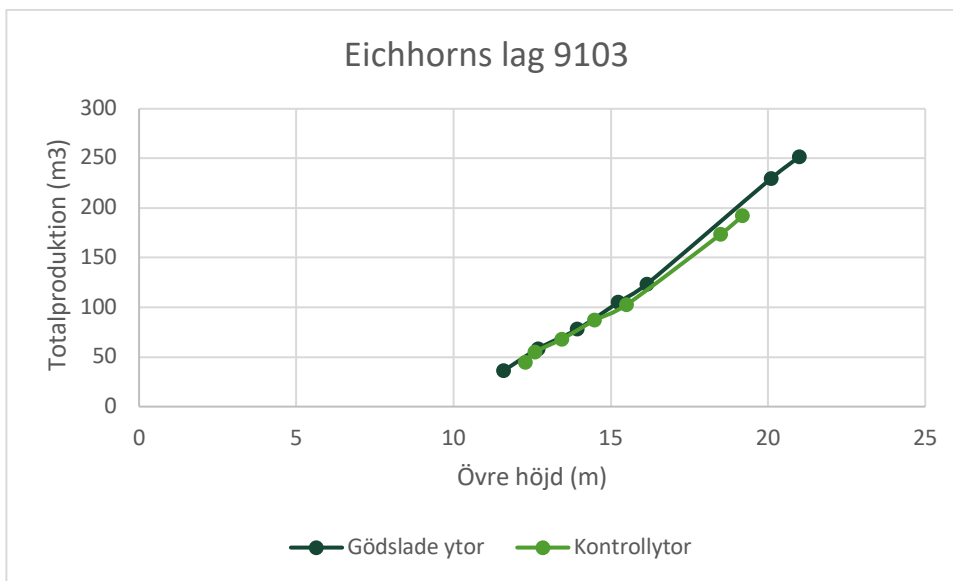
Figur 6. Övre höjd utveckling över tid försök 9103

3.4. Eichhorns lag

Totalproduktionen följer den övre höjden enligt Eichhorn (1902). Resultaten tyder på en exponentiell ökning i båda de gödslade ytorna och kontrollytorna för båda försöken, vilket säger att Eichhorns lag fungerar. I de gödslade ytorna uppnås en högre övre höjd och därför även högre totalproduktion (Figur 7 & 8).



Figur 7. Eichhorns lag försök 9084



Figur 8. Eichhorns lag försök 9103

4. Diskussion och slutsats

4.1. Gödslingseffekter

Resultaten visade att gödslingen har effekt även över en tidsperiod på 40 - 50 år. Försöken låg på mark med förhållandevis låg bonitet vilket kan ha en betydelse för resultatet.

En stor ökning av tillväxt från gödsling var väntad (Pettersson 1994; Valinger et al. 2000) vilken även denna studie påvisade. En kort tidsperiod efter att gödslingen hade utförts ökade tillväxten betydligt för de gödslade ytorna. I vårt försök påvisade gödslingen också en tillväxteffekt på längre tid som Sampson et al. (2006) och Jokela & Martin (2000) också kunnat visa.

Gödsling anses som en relativt dyr behandling (Hedwall et al. 2014), det bör ge bra resultat för att det ska vara ekonomiskt försvarbart. I detta fall har det dock inte undersökts vilka ekonomiska konsekvenser eller effekter det gav.

I tidigare studier som nämnts i bakgrunden har inga signifikanta skillnader påvisats på längre sikt av gödsling. De studierna har dock även tittat på gallringseffekter. I materialet till denna studie är inget av bestånden gallrade. En annan skillnad med denna studie jämfört med andra är att bestånden är äldre. Ett av bestånden var 147 år gammalt vid sista revisionen och det andra beståndet var 93 år vid sista revisionen.

I studierna där de även analyserade gallring kunde en större tillväxteffekt bevisas med gallrade ytor än med gödslade ytor. Ingen av de studier som nämnts i bakgrunden kunde bevisa en signifikant långtidseffekt av gödsling, medan samtliga kunde göra det för gallring (Valinger et al. 2000; From et al. 2015; Nord 2018; Valinger et al. 2019).

4.2. Gödselmedel

De fyra avdelningarna som studerades var alla gödslade med varierande mängd kalkammoniumsalpeter, med undantag för avdelning 1 i försök 9084 som år 1960 även fick en behandling med kaliumsulfat, thomasfosfat, samt stora mängder kalkstensmjöl (Bilaga 1), utöver den kalkammoniumsalpeter som tillförts. Den annorlunda gödslingen i avdelningen tycktes inte påverka utfallet. Det är betydligt större skillnad mellan gödsling och kontroll än vad det är mellan olika typer av gödselmedel. Kalkammoniumsalpeter är ett betydligt vanligare gödslingsmedel och de tillsätts generellt cirka 150 kg per hektar, i detta fall tillsattes mellan 100 och 150 kg per hektar vilket anses om en vanlig gödslingsmängd (Jacobsson & Pettersson 2010; Pettersson 1994).

4.3. Volymtillväxt

Noterbart var att den löpande tillväxten nådde sitt maximum ungefär samtidigt för de båda behandlingarna, men det var betydligt högre hos de gödslade. Den löpande tillväxten ökar drastiskt en kort tid efter gödslingen och kulminerar fort. Kulmineringen är betydligt högre hos de gödslade ytorna och även fast den löpande tillväxten börjar avta ungefär samtidigt för båda behandlingarna så kvarstår en högre löpande tillväxt för gödslade ytorna över tid, den stora volymtillväxtökningen av gödslingen gjorde att de blev ett så stort försprång så att de kunde hålla i sig länge. Samma effekt ses hos medeltillväxten, ökningen kvarstår över tid för att gödslingen gav ett sådant stort försprång.

4.4. Övre höjd

Det som kan sägas om övre höjden är att den följer en liknande utveckling som de andra tillväxtaspekterna som har undersökts i denna studie, en signifikant skillnad mellan gödsling och kontrolltytor kunde påvisas, där den övre höjden är större vid sista revisionen för gödslade ytor än vad den är vid senaste revisionen för kontrolltytorna. Övre höjden är väldigt central i denna studie. Valinger et al. (2019), Nord (2018), Valinger et al. (2000) och From et al. (2015) kunde inte visa att övre

höjden var signifikant högre på lång sikt, vilket vi kunde i denna studie, eftersom höjden fick ett sådant försprång av gödslingen. Höjdtillväxten avtar efter 10–20 år efter gödslingen men försprånget är ändå ett faktum och det är avgörande för hur de andra tillväxtfaktorerna ska utveckla sig. Den större höjdtutvecklingen hos de gödslade ytorna är en effekt av behandlingen, som leder till att ståndsindex har höjts.

4.5. Eichhorns lag

I resultatet där totalproduktionen jämfördes med övre höjden kunde en exponentiell ökning ses vilket tyder på att Eichhorns lag stämmer (Eichhorn 1902; Lundqvist et al. 2014). Den snabba höjdtutvecklingen av de gödslade ytorna förklarar alla resultat, i och med att de gödslade ytorna fick ett försprång i höjd så fick de en fördel under hela tidsförloppet. Gödslingen har gjort så att bestånden fått ett högre ståndsindex, en höjdskillnad mellan kontroll och gödslade ytor och en högre totalproduktion. En högre övre höjd har en stark effekt över längre tid som också håller i sig.

4.6. Styrkor och svagheter

Försöken skiljde sig åt på olika sätt och därför valde vi att särredovisa dem i denna undersökning. Försök 9084 var yngre och revisionerna var genomförda vid olika tillfällen, med olika tidsintervall, de kom från olika bestånd och hade gödslats olika. I försöken fanns fler ytor än vad vi presenterat här men anledningen till att inte alla ytor valdes ut var för att flera ytor också var gallrade och i denna studie låg fokus på att jämföra ytor som endast gödslats mot ytor som inte fått någon behandling alls.

4.7. Framtida forskning

Om en djupare analys av detta ämne skall göras så bör nog datasetet vara betydligt större och på flera olika geografiska platser. Att testa flera olika typer av gödsel och gödselmängder är också något som skulle kunna undersökas mer. Ekonomiska effekter och miljöeffekter är också något som skulle kunna undersökas mer i framtiden.

4.8. Slutsatser

I vår studie har vi kunnat visa att gödsling har en positiv tillväxteffekt på tallbestånd på kort och även på lång sikt. De tre aspekterna totalproduktion, volymtillväxt samt övre höjd kunde alla påvisa en positiv tillväxteffekt av gödslingen. Det här är en följd av att gödslingen gav en sådan stor effekt de första tio åren efter att den hade gjorts, att kontrolltyterna helt enkelt aldrig växte ikapp. Själva effekten från gödslingen avtog ett tag efter att den hade gjorts, för att farten på tillväxten är väldigt lik mot slutet. Det som var tydligt var att gödslingen höjde ståndsindex. Övre höjden var det som påverkade allt i denna studie, i och med att den fick ett sådant försprång som också kunde hålla i sig över tid så påverkade den alla andra tillväxtfaktorer som vi undersökt. Vår hypotes var att gödslingen inte skulle ha någon märkbar effekt efter 40 – 50 år eftersom det var det som vi läst att andra studier hade kommit fram till, men i detta fall då övre höjden hade en sådan utveckling så hade vi fel. Gödslingseffekterna på lång tid var en förhöjning av ståndsindex, större totalproduktion, större volymtillväxt och högre övre höjd.

Referenser

- Brandel, G. 1990. Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk. SLU, Inst. f. skogsproduktion, Rapport 26, 72 s., Garpenberg
- Eichhorn, F. 1902. Ertragstabeln für die Weißtanne. Verlag Julius Springer.
- Glynn, C., Nordquist, N., Åström, B., Onegård, T. 2018. *Evaluation of Quality and Impact at SLU*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. https://internt.slu.se/globalassets/mw/org-styr/kon2018/kon_2018_webb.pdf
- From, F., Strengbom, J. & Nordin, A. (2015). Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests*, 6 (12), 1145–1156. <https://doi.org/10.3390/f6041145>
- Hedwall, P.-O., Gong, P., Ingerslev, M. & Bergh, J. (2014). Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (4), 301–311. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.926096>
- Hesselman, H. 1937. Om humustäckets beroende av beståndets ålder och sammansättning i den nordiska granskogen av blåbärsrik *Vaccinium*typ och dess inverkan på skogens förnyring och tillväxt. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 30: 529–716. (In Swedish with German summary.)
- Jacobson, S. & Pettersson, F. (2010). An assessment of different fertilization regimes in three boreal coniferous stands. *Silva Fennica*, 44 (5). <https://doi.org/10.14214/sf.123>
- Jokela, E.J. & Martin, T.A. (2000). Effects of ontogeny and soil nutrient supply on production, allocation, and leaf area efficiency in loblolly and slash pine stands. 30, 14

Karlsson, K. Mossberg, M. & Ulvcrona, T. Enheten för skoglig fältforskning (2012). *Fältdatasystem för skogliga fältförsök*. (Rapport 5, 2012). Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

Lundqvist, L. Lindroos, O. Hallsby, G. Fries, C. 2014. Slutavverkning. Skogsskötselserien, kapitel 20. Andra upplagan. Tillgänglig på: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (2021-03-18)

Magnusson, T. 2009. Skogsbruk- mark och vatten. Skogsskötselserien, kapitel 13. Andra upplagan. Tillgänglig på: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (2021-03-18)

Nord, G. (2018). *Tillväxteffekter för tall 33 år efter konventionell gallring och gödning*. (Examensarbete 2018) Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet.

Näslund, M. & Hagberg, E. 1950. Skogsforskningsinstitutets större tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige. Statens Skogsforskningsinstitut, Experimentalfältet, 200 s., Stockholm

Pettersson, F. 1994a. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. The Forestry Research Institute of Sweden, Report 4. 34 p

Pettersson, F. & Högbom, L. (2004). 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. <https://doi.org/10.1080/02827580410030136>

Sampson, D.A., Waring, R.H., Maier, C.A., Gough, C.M., Ducey, M.J. & Johnsen, K.H. (2006). Fertilization effects on forest carbon storage and exchange, and net primary production: A new hybrid process model for stand management. *Forest Ecology and Management*, 221 (1–3), 91–109. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.010>

Valinger, E., Elfving, B. & Mörling, T. (2000). Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 134 (1–3), 45–53. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00244-3)

Valinger, E., Sjögren, H., Nord, G. & Cedergren, J. (2019). Effects on stem growth of Scots pine 33 years after thinning and/or fertilization in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34 (1), 33–38. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1545920>

Wertz, S., Leigh, A.K.K. & Grayston, S.J. (2012). Effects of long-term fertilization of forest soils on potential nitrification and on the abundance and community structure of ammonia oxidizers and nitrite oxidizers. *FEMS Microbiology Ecology*, 79 (1), 142–154. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01204.x>

Bilaga 1

Tabell 3. Fördelning av gödslingsmedel försök 9084 avdelning 1

År	Kalkstensmjöl (kg/ha)	Kaliumsulfat (kg/ha)	Thomasfosfat (kg/ha)	Kalkammoniumsalpeter (kg/ha)	Kalisuper (kg/ha)
1960	10 000	240	680	250	0
1962	0	0	0	250	0
1970	0	0	0	460	510

Tabell 4. Fördelning av gödslingsmedel försök 9084 avdelning 2

År	Kalkammoniumsalpeter (kg/ha)
1960	250
1962	250
1970	460

Tabell 5. Fördelning av gödslingsmedel försök 9103 avdelning 3

År	Kalkammoniumsalpeter (kg/ha)
1967	100
1970	100

Tabell 6. Fördelning av gödslingsmedel försök 9103 avdelning 6

År	Kalkammoniumsalpeter (kg/ha)
1967	100
1970	100

Bilaga 2



Försöksyta 9103 Avdelning 2

STATISTIKKORT

Ägare eller förvaltning: Siljansfors försökspark, Box 74, 792 22 Mora

Fastighet:

SÖDER
ÄJSJÖN

Socken: MORA

Höjd över havet: 240 m

Topografisk
karta: 14ESV

Latitud: 60° 53' 40"

Longitud: 14° 19' 55"

Huvudträds-
slag:
TALL

Ståndortsindex: 13 (vid 103 år)

Beståndets födelseår: 1870

Uppkomstsätt:
Självsädd

Behandlingar vid revision nr: 1 Uppskattning. 2 Uppskattning. 3
Uppskattning. 4 Uppskattning. 5 Uppskattning. 6 Uppskattning. 7
Uppskattning.

Ingen gödsling.

Byte av volymfunktion vid revision 2, från Näslunds till Brandels

Revision	Trädslag	Alder	Kvarvarande beståndet					Utgallrat virke				Total produktion		Årlig löpande tillväxt							
			Medel-Övre-		Stam-Grund-		Stam-Grund-		%		Grund-		Grundyta		Volym						
			Diam	höjd	höjd	antal	yta	Volym	Diam	antal	yta	Volym	antal	volym	yta	Volym	Diam	m ²	%	m ³	%
Revision 1	Tall	97	Datum 1967-05-19					Areal 0,20000				Primärbearbetad									
	Tall		12,1	11,4	12,9	770	8,8	51,7	0,0	0	0,0	0,0	0	0	8,8	51,7					
Revision 2	Tall	103	Datum 1972-09-19					Areal 0,20000													
	Tall		13,4	11,7	13,3	745	10,4	63,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0							
	TORR							8,7	15	0,1	0,4										
	SA		13,4	11,7		745	10,4	63,2	8,7	15	0,1	0,4	2	1	10,5	63,6	2,0	0,28	3,0	2,0	3,5
	Gran		11,3	10,1	0,0	10	0,1	0,5	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,5	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
	SA	Tot	13,3			755	10,5	63,7	8,7	15	0,1	0,4	2	1	10,6	64,1	0,28	0,0	2,0	0,0	0,0
Revision 3	Tall	108	Datum 1977-08-04					Areal 0,20000													
	Tall		14,6	12,6	14,0	745	12,4	78,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	12,5	78,4	2,4	0,40	3,5	3,0	4,3
	Gran		11,9	9,5	0,0	10	0,1	0,6	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,6	1,4	0,00	2,4	0,0	1,5
	SA	Tot	14,5			755	12,5	78,6	0,0	0	0,0	0,0	0	0	12,6	79,0	0,40	3,5	3,0	4,3	
Revision 4	Tall	113	Datum 1982-09-29					Areal 0,20000													
	Tall		15,7	13,8	14,9	745	14,4	98,9	0,0	0	0,0	0,0	0	0	14,5	99,3	2,2	0,39	3,0	4,2	4,9
	Tall		2,7	5,7		75	0,0	0,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,2					
(inkl on)	SA		15,0	13,7		820	14,4	99,1	0,0	0	0,0	0,0	0	0	14,5	99,5	2,2	0,39	3,0	4,2	4,9
	Gran		12,6	10,4	0,0	10	0,1	0,7	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,7	1,3	0,00	2,1	0,0	3,8
	ON		2,2	2,6		15	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0					
(inkl on)	SA		8,1	10,1		25	0,1	0,7	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,7	1,3	0,00	2,1	0,0	3,8
	ON	Vårtbjörk	2,3	4,0		165	0,1	0,3	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,3					
	ON	Övriga lövträd	1,0	1,9		15	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0					
	SA	Tot	13,5			1025	14,6	100,1	0,0	0	0,0	0,0	0	0	14,7	100,5	0,40	3,1	4,2	5,0	
Revision 5	Tall	118	Datum 1987-08-21					Areal 0,20000													
	Tall		16,6	14,8	16,0	745	16,1	115,9	0,0	0	0,0	0,0	0	0	16,2	116,3	1,8	0,33	2,2	3,4	3,2
	Tall		3,2	6,5		80	0,1	0,3	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,3					
(inkl on)	SA		15,8	14,8		825	16,1	116,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0	16,2	116,6	1,8	0,33	2,2	3,4	3,2
	Gran		13,4	11,8	0,0	10	0,1	0,8	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,8	1,6	0,00	2,5	0,0	4,7
	ON	Gran	1,8	3,4		50	0,0	0,1	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,1					

