



Beräkning av drivningsekonomiska konsekvenser efter olika gödslingsbehandlingar

Linus Johansson

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogsbruksvetenskap

Jägmästare

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2024:7

Umeå 2024



Beräkning av drivningsekonomiska konsekvenser efter olika gödslingsbehandlingar

Linus Johansson

Handledare: Ola Lindroos, Sverige lantbruksuniversitet, skogens biomaterial och teknologi
Examinator: Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Mastersarbete i skogsbruksvetenskap
Kurskod: **EX095610277**
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Skogens biomaterial och teknologi
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2024:7

Nyckelord: Gödning, tall, norra Sverige, bionäring, avloppsslam, drivningsnetto, investering

Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsbruksvetenskap
Skogens biomaterial och teknologi (SBT)

Förord

Denna studie är ett examensarbete utfört vid institutionen för Skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Arbetet ingår i Jägmästarexamen och motsvarar 30 högskolepoäng.

Jag vill först rikta ett stort tack till min handledare Ola Lindroos som bidragit med mycket kunskap, råd och stöttning med skrivandet under arbetets gång. Jag vill också rikta ett tack till värdföretaget Sveaskog för all hjälp och då särskilt till Johan Lundbäck och Jonas Gustafsson som gjorde den här studien möjlig.

Linus Johansson

Umeå, 2024-05-01

Sammanfattning

Skogsgödsling gör att träden växer mer på en given tid. Tillväxtökningen leder till att drivningskostnaderna minskar per skördad volymenhet till följd av en grövre medelstamsvolym samt en högre virkestäthet. Den grövre medelstammen bidrar även till högre timmerandel och genererar en värdeökning för trädet.

Det ekonomiska resultatet för avverkningen påverkas av gödslingskostnaden, drivningskostnaden samt virkesintäkten. Det ekonomiska resultatet benämns i den här studien som drivningsnetto där dessa tre faktorer har inkluderats.

Syftet med det här examensarbetet var att undersöka hur gödsling med olika gödslingsmedel påverkar drivningsnettot. I studien har tre olika behandlingar studerats, två olika gödslingsmedel samt en kontroll. De två gödslingsmedel som undersöktes var bionäring (granulerad och hygieniserad rötrest av avloppsslam) och mineralgödsel.

Studien baserades på data från Sveaskogs storskaliga gödslingsförsök som anlades 2006–2008, genom att 22 olika bestånd i närheten av Kalix/Överkalix gödslats med bionäring och mineralgödsel. I den här studien studerades gödslingsens ekonomiska effekt vid ett av dessa bestånd. Denna försökslokal delades upp i 7 olika delområden där 2 gödslades med mineralgödsling, 2 med bionäring och de 3 resterande delområdena lämnades som kontroll. Ytorna med mineralgödsling gödslades med 308 kg N/ha, ytorna med bionäringen gödslades med 507 kg N/ha och kontrollen gödslades inte alls. Beståndet avverkades vintern 2017–2018. Baserat på medelstamsvolym, virkesförråd samt stamantal från avverkningen analyserades de olika behandlingarna med programmet hprAnalys för att beräkna gödslingseffekten och drivningskostnaden.

Resultatet visade att båda gödslingsbehandlingarna gav högre tillväxt jämfört med kontrollen. För mineralgödslingen var tillväxten 26 m³fub högre per ha, och för bionäringen var tillväxten 30 m³fub per ha högre. Behandlingen med bionäringen resulterade även i grövst medelstamsvolym och även högst virkesintäkt per avverkad m³fub. Resultatet visade att drivningsnettot för kontrollen var högre jämfört med de olika gödslingsbehandlingarna. Mineralgödslingen visade sig generera lägst drivningsnetto jämfört med både kontrollen och bionäringen. Vid anläggningen av gödslingsförsöket var beståndet inte helt homogent där bland annat kontrollytan hade lägre stamantal vilket skapar viss osäkerhet i resultatet. Vidare studier bör därför läggas på att analysera drivningsnetton från ytterligare bestånd i gödslingsförsöket för att komplettera resultatet med underlag från fler bestånd.

Ingen av gödslingsbehandlingarna visade sig ekonomiskt lönsamma utan påverkades stort av gödslingskostnaden. Resultatet visar därmed att det inte är ekonomiskt lönsamt att gödsla tall på svaga boniteter med de kvävegivorna som studerats.

Nyckelord: Gödsling, tall, norra Sverige, bionäring, avloppsslam, drivningsnetto, investering

Abstract

Fertilization makes the trees grow more in a given time. The growth increase occurs mainly through larger diameter growth and lasts for about 10 years after the fertilization. The growth increase leads to a reduction in harvesting costs per harvested m³ due to a larger average stem volume and a higher total volume. The larger stems also contribute to a higher proportion of timber and generates an increase in the value of the tree.

The economic result from the harvest is affected by the fertilization cost, the harvesting cost and the timber income. The economic result is in this study referred to the net income, where these three factors have been included.

The purpose of this thesis was to investigate how fertilization with different fertilizers affects the net income. In the study, three different treatments were studied, two different fertilizers and a control. The two fertilizers studied were biofertilizer (sewage sludge) and mineral fertilizer.

The study is based on Sveaskog's large-scale fertilization trials that were established in 2006-2008, where 22 different stands near Kalix/Överkalix were fertilized with biofertilizer and mineral fertilizer. In this work, the fertilization effect at the Mörttjärn experimental site outside Överkalix was studied. The site was fertilized in 2006, with a dosage of 308 kg N/ha for the mineral fertilization, 507 kg N/ha for the biofertilization and the control was not fertilized at all. The stand with the three different treatments (mineral fertilization, biofertilization and control) covered a total of 55.8 ha and was harvest in 2017-2018. Based on the data from the harvest and fertilization, the revenues, fertilization costs and harvesting costs of the different treatments were analysed with hpsAnalys.

The results showed that both fertilization treatments gave higher growth than the control. For the mineral fertilization the growth was 26 solid cubic meter of wood under bark (m³sub) per ha higher, and for the biofertilization the growth was 30 m³sub per ha higher. For mineral fertilization, the timber income was 508 SEK/ m³sub, for biofertilizer the timber income was 510 SEK/ m³sub, and for the control the timber income was 505 SEK/ m³sub. The results showed that the net revenue for the control was higher both per harvested m³sub and per ha compared to the different fertilization treatments. Mineral fertilization turned out to generate a lower income on both revenue per ha and per harvested m³sub compared to the control and the biofertilizer. In the beginning of the study stand was not completely homogeneous where, among other things, the control area had lower stem numbers, which creates some uncertainty in the result. Further studies should therefore be conducted to analyse the net revenue from additional stands in the fertilization trial to complement the results with data from more stands.

None of the fertilized treatments proved to be economically viable, they were strongly influenced by the cost of fertilization. The results thus show that it is not economically viable to fertilize pine on poor soils with the nitrogen rates studied.

Keywords: Fertilization, pine, Northern Sweden, bio-nutrition sewage sludge, harvest, investment

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning.....	8
Inledning	9
1.1 Produktionshöjande skogsskötselåtgärder	9
1.2 Gödsling	10
1.3 Gödslingskostnad.....	12
1.4 Tidigare studier och kunskapslucka.....	13
Syfte 14	
1.5 Syfte	14
1.6 Hypotes	14
Material och metod.....	15
2.1 Sveaskogs gödslingsförsök	15
2.2 StanForD-data.....	18
2.3 Datainsamling	19
2.4 Beräkning av drivningsnetto.....	19
2.5 Statistiska analyser	23
Resultat	24
3.1 Sortimentutfall och beståndsegenskaper	24
3.2 Kostnader och intäkter	26
3.3 Känslighetsanalys	28
Diskussion	33
4.1 Utvärdering av resultat.....	34
4.2 Användningsområde	36
4.3 Tillämpbarhet	36
4.4 Styrkor och svagheter	37
4.5 Framtida studier	38
4.6 Slutsatser	39
Referenser.....	40

Tabellförteckning

Tabell 1. Försöksdesignen vid Mörtjärns försökslokal..	18
Tabell 2. Virkespriser från Sveaskogs prislista nr 136 för Norrbotten och Västerbottens inland..	23
Tabell 3. Beståndsegenskaper vid avverkningen 2017–2018..	25
Tabell 4. Skillnader i beståndsegenskaper mellan inventeringen 2007 och slutavverkningen 2021-2022.....	25
Tabell 5. Sortimentsutfallet från de olika behandlingarna.	26
Tabell 6. Kostnads- och intäktsfördelning i kr/m ³ fub vid Mörtjärns försökslokal vid slutavverkning, inkluderat gödslingskostnaden.	26

Figurförteckning

Figur 1. Översiktskarta över gödslingen vid Mörttjärn. Beståndet är uppdelat i 7 olika delområden fördelat på 3 olika behandlingar där delområdena markerade med A är avverkade och delområdena markerade med B lämnades orörda.	17
Figur 2. Schematisk bild över arbetsflödets faser.	20
Figur 3. Översiktsskild över de ingående faktorerna som påverkar drivningsnettot, när gödslingskostnaden inkluderas. Röda boxar symboliserar en kostnad och grön en intäkt.	22
Figur 4. Drivningens inkomst- och kostnadsfördelning, där staplarnas höjd visar den totala virkesintäkten och färgerna visar de olika ekonomiska posternas storlekar för de olika behandlingarna.....	27
Figur 5. Drivningsnetto per hektar för de olika behandlingarna, med gödslingskostnaden inkluderad.	28
Figur 6. Kalkylräntans påverkan på drivningsnettot.	29
Figur 7. Drivningsnetto i de olika behandlingarna när virkespriset varierar med $\pm 20\%$	30
Figur 8. Drivningsnettot i kr/ha hos de olika behandlingarna vid variationer på $\pm 20\%$ i virkespris när kalkylräntan sätts till 5%.	30
Figur 9. Gödslingskostnadens påverkan drivningsnettot vid försökslokalen Mörttjärn när gödslingskostnaden inkluderas i nettot och varierar med $\pm 30\%$ där 100% motsvarar 9 kr/kgN för bionäringen samt 20 kr/kgN för mineralgödslingen vid 3 % kalkylränta.....	31
Figur 10. Variation i drivningskostnadens påverkan på drivningsnettot vid försökslokalen Mörttjärn när drivningskostnaden varierar med $\pm 30\%$ där 100% motsvarar drivningens faktiska kostnad.....	32

Inledning

För att försörja en växande befolkning och bidra till den gröna omställningen så kommer det behövas mer skoglig råvara (Lundmark 2020; SCB 2021). På senare tid har vi sett stora satsningar och investeringar hos den svenska skogssektorn med att bygga ut industrierna, vilket säkerställer att det även i framtiden kommer att finnas hög efterfrågan på skoglig råvara (Skogsindustrierna 2018). Även den finska skogsägarföreningen Metsä investerar och bygger nu norra halvklotets största massafabrik i Kemi, vid den svensk/finska gränsen (Mattias 2021). Investeringen i Kemi kommer resultera i mer än en fördubbling av produktionen och råvaruåtgången. Det finns därmed tydliga indikationer på att virkesmarknaden i Norden kommer att öka i framtiden, och därmed också råvarubehovet. Skogsmarksareal i världen har minskat med ca 3,3 miljoner ha per år under 2010-2015, jämfört med den tidigare siffran på ca 5 miljoner ha per år (Persson 2017). Trots att avskogningstakten sjunker förväntas arealen skogsmark att fortsätta att minska även i framtiden. Så då behöver tillväxten på tillgänglig skogsmark öka för att tillgodose det ökade råvarubehovet. Tillväxten har redan ökats genom skogsskötsel och under perioden 1950-1990 ökade tillväxten med 30%, men det går att göra mer t.ex. genom att gödsla (Elfving & Tegnhammar 1995; Skogsstyrelsen 2023a).

1.1 Produktionshöjande skogsskötselåtgärder

Beståndsutglesning, eller mer känt som röjning och gallring, är två av Sveriges främsta skogsskötselåtgärder (Föreningen Skogen u.å.). Gallring är ett sätt att främja beståndsegenskaperna, genom att kvarvarande träd får ökad diametertillväxt och timmerandelen vid en framtida slutavverkning (Skogsstyrelsen 2022a). Utglesningen minskar beståndets totala tillväxt men träden som lämnas kvar ökar i tillväxt då grönkronan blir större och främjar tillväxten genom ökad fotosyntes (Nord 2018). Röjning är en form av utglesning för att öka stammarnas diameter, och sker oftast när träden är mellan 2-6 m höga (Skogsstyrelsen 2012). Gallring görs senare, och ofta från det att träden når ca 12 m. En annan produktionshöjande åtgärd är att tillföra näring, det vill säga gödsla (Skogsstyrelsen 2023a). Till skillnad från gödsla så sker röjning och gallring främst för att främja

beståndsegenskaperna, medan gödsling utförs senare i rotationscykeln för att öka biomassatillväxten inför slutavverkning.

1.2 Gödsling

Gödsling används som skötselåtgärd för att växter ska växa snabbare och på så sätt kan produktionen ökas (Lund & Doss 1980; Bergh 1999). Inom jordbruket användes naturgödsel innan 1840 i form av stallgödsel, vilket ofta inte var tillräckligt för att tillgodose all odlingsmark med gödsel (Sheridan 1979). När människan uppfann konstgödsel runt 1840 möjliggjorde det att en betydligt större areal odlingsmark kunde tillföras tillräcklig mängd näring. Mer volym per areal är viktigt, dels för att kunna ersätta fossila produkter genom ökad produktion av hållbara alternativ och för att behöva använda mindre mark för att producera samma volym. Högre tillväxt och kolinbindning bidrar även till att uppnå Sveriges klimatmål nettonoll, vilket innebär att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av koldioxid senast år 2045 (Sveriges miljömål u.å.).

Kvävegödsling av skogsmark är ett sätt att öka biomassatillväxten i skogen (Bergsten 2005), eftersom det i de allra flesta fall är kväve som är det tillväxtbegränsande ämnet i svensk skogsmark (Magnusson 2015). Kvävebegränsningen är störst i de tempererade och boreala skogarna (Huettl & Zoettl 1992; From et al. 2015). Kvävegödsling är därför en kostnadseffektiv skogsskötselåtgärd i det boreala barrskogsbältet för att öka tillväxten och avverkningsvolymen (Nohrstedt 2001). Skogsgödsling blev vanligt i länder som Sverige, Finland, USA och Kanada i mitten på 1900-talet (From et al. 2015). Under 1900-talet gödslades ca 10% av Sveriges produktiva skogsmark (Nohrstedt 2001). I slutet av 1970-talet var gödslingen som intensivast i Sverige och 200 000 ha gödslades varje år vilket motsvarade 0,85% av den produktiva skogsmarken, medan det år 2021 hade sjunkit till ca 42 000 ha eller 0,17% av den produktiva skogsmarken (Lindkvist et al. 2011; SCB 2023; Skogsstyrelsen u.å.).

Det finns olika typer av gödsel för skogsmark som används för att förbättra tillväxten. I Sverige används idag ett mineralgödsel som består av kalciumammoniumnitrat (CAN) även kallat Skog-CAN för skogsmarksgödsling (Skogskunskap 2020). Gödselmedlet produceras oftast i form av granulat, vilket är små korn av gödsel som även är lätta att sprida (Melin & Appelgren 2018). Torkat och granulerat avloppsslam även kallat bionäring är en kväverik produkt som även den kan användas till skogsmarksgödsling (Sahlén et al. 2011; Henriksson et al. 2012). Bionäringen tillverkas av biprodukter från reningsverk, stål- och fiskindustrin (Sahlén et al. 2011)

Den normala gödslingsmängden för skogsmarksgödsling är 150 kg kväve per ha (Skogsstyrelsen 2023a). Bestånden som passar bäst för gödsling är väl slutna granbestånd, men de bördigaste markerna lämpar sig inte för gödsling (Skogsstyrelsen 2023a). Vid gödsling blir tillväxthastigheten för de enskilda träden högre och stammarna blir grövre snabbare (Bergsten 2005). Gödslingen kan ge en total tillväxtvinst på 15-20 m³ per ha under en 10 års period efter gödslingen (Bergsten 2005; Yara 2018). Efter det kulminerar tillväxtökningen och tillväxten återgår till nivåer för liknande ogödslade bestånd (Miller 1981; Pukkala 2017; Valinger et al. 2019). En grövre medelstamsvolym innebär även att timmerandelen ökar (Jonsson & Hägglund 2017). Prissättningen för timmer ökar med diametern och stockarna prissätts i olika diameterklasser där grövre stockar genererar en högre intäkt per m³fub (Sveaskog 2022). Riktigt grova stockar kan även i vissa fall säljas som välbetalda specialsortiment som tex svarvtimmer. Minimidiametern för svarvtimmer kan variera, men svarvtimmer av tall kan plockas ut från en toppdiameter på 23 cm och uppåt (Föreningen och tidningen skogen u.å.). Grövre träd genererar även en lägre drivningskostnad per avverkad m³ (Eriksson & Lindroos 2014; Jacobson 2019). Utöver trädens diameter så påverkar även exempelvis skotningsavståndet drivningskostnaderna (Eriksson & Lindroos 2014: SCA u.å.) Korta skotningsavstånd ger en lägre avverkningskostnad jämfört med längre avstånd vid samma medelstamsvolym.

Gödslingskostnaden och intäkterna från slutavverkningen infaller vid olika tidpunkter. Förväntningarna på gödslingsinvesteringen är att värdeökningen ska vara större än gödslingskostnaden. Förhoppningarna är då även att gödslingen ska resultera i en lägre drivningskostnad per avverkad volymenhet. Intäktsökningen från gödslingen behöver vara högre än kostnaden för gödslingen för att gödslingen ska vara lönsam. Utöver investeringskostnaden tillkommer en kalkylränta för att täcka företagets kostnader för inflation, vinstskatt och för att uppnå företagets avkastningskrav (Simonsen et al. 2008).

För att kunna jämföra inkomsten vid slutavverkningen med gödslingskostnaden behöver därför gödslingskostnaden räknas upp med kalkylräntan till det år avverkningsintäkterna inträffar. Gödslingskostnaden kan därefter jämföras med det mervärde som tillväxtökningen skapat. Detta innebär att gödslingskalkylen påverkas av både räntenivån och tiden mellan gödslingen och avverkningen (UC 2017). För att gödslingen ska vara lönsam behöver de gödslade bestånden avverkas ca 10 år efter utförd gödsling när tillväxthastigheten återgår till normala nivåer (Bergsten 2005; Skogskunskap 2023).

Vid gödsling påverkas även vedens fiberegenskaper (Lundgren 2004). Trädens tillväxten sker i kambiet som befinner sig mellan barken och veden (Svenskt trä 2021a). Kambiet producerar barkceller utåt och vedceller inåt mot stammen. Gödsling har en positiv effekt på tillväxthastigheten, men samtidigt så minskar barrträdet densitet i de nybildade cellerna till följd av den ökade tillväxten (Lundgren 2004). Trädets yttersta del blir inte till sågade produkter utan blir till sågverksflis, vilket innebär att merparten av det som blir till sågade produkter kommer från de delar av stammen som har högst densitet (Svenskt trä 2021b). Gödslingen kan ha viss påverkan på fibersammansättningen i de sågade varorna om tillväxten är tillräckligt stor. Trä av låg densitet till följd av gödslingen används då i massabruken för tillverkning av pappersmassa. Fibrer av låg densitet skapar god kvalitet i tryckpapper men lämpar sig mindre för säckpapper som behöver styrka (Lundgren 2004).

1.3 Gödslingskostnad

Gödslingskostnaden kan delas upp i två olika kostnadskomponenter, den initiala kostnaden och räntekostnaden (Miller & Fight 1979). Den initiala kostnaden består av kostnaden för inköp av gödsel men även transport till beståndet och spridning. Räntekostnaden är en rörlig kostnad som ökar varje år och påverkas av räntan/avkastningskravet på investeringen (Miller & Fight 1979; UC 2017).

Den initiala gödslingskostnaden påverkas till störst del av kostnaden för inköp av gödsel (Pukkala 2017). Priset för spridning av gödsel kan variera och det finns två olika spridningsmetoder, med helikopter eller med traktor (Hanssen & Bergsaker 2017). Traktorspridning är generellt det kostnadseffektivaste alternativet (Väätäinen et al. 2011). Effektiviteten och kostnaden för att sprida ut gödsel påverkas både av objektets storlek, gödslingsgivans storlek och transportavståndet in i skogen till det område som ska gödslas (Väätäinen et al. 2011). Gödslingskostnaden per ytenhet minskar när den gödslade arealen ökar, på grund av att flyttkostnaden och uppstartkostnaden slås ut på större yta (Miller & Fight 1979). Idag är kostnadsskillnaden mellan små och stora objekt relativt liten. Enligt Skogens Gödslings ABs gödslingskalkyl kostar det 3625 kr/ha att gödsla ett 2 ha stort område med 150 kg N/ha medan kostnaden för att gödsla en areal på 24 ha eller större är 3100 kr/ha (Skogens Gödslings AB u.å.).

Kostnaden för skogsmarksgödsling har under åren 2010–2021 haft en väldigt liten prisvariation mellan åren, med en genomsnittliga gödslingskostnad på 2444 kr/ha (Skogsstyrelsen 2023b). 2022 ökade dock priset på skogsmarksgödsling med 44% till följd av kriget i Ukraina (Skogsstyrelsen 2023b; Skogsstyrelsen u.å.).

För gödsling med slamgranuler (bionäring) är inköpspriset av gödslingsmedlet lågt då slamgranulerna tillverkas av biprodukter från reningsverk, stål- och fiskindustrin (Sahlén et al. 2011). Kostnaden för att tillverka och sprida bionäring i Sveaskogs gödslingsförsök 2006–2009 visade sig vara hälften så stor (9 kr/kgN) som gödslingskostnaden för mineralgödsling (20 kr/kgN) för samma mängd kväve.

1.4 Tidigare studier och kunskapslucka

Det är idag känt att traditionell mineralgödsel bidrar till en positiv tillväxtökning vid skogsmarksgödsling (Turkington et al. 1998; Nilsen 2001; Pettersson & Högbom 2004; Valinger et al. 2019). Effekten av gödsling med bionäring är dock mindre känd. År 2006–2009 startade Sveaskog därför ett gödslingsförsök med syfte att jämföra effekterna av traditionell mineralgödsling och gödsling med bionäring. Försökets tillväxtökning och ökad koldioxidinlagring är väl kartlagda, både under de första åren efter gödslingen och upp till 15 år efter gödslingen. Alla studier har påvisat att tillväxten och därmed även koldioxidinlagringen är högre för både gödsling med mineralgödsel och bionäring, jämfört med ogödslade kontrolltytor (Lundbäck 2011; Sahlén 2012; Berglund 2023). För den långtidsverkande effekten av gödslingen gick det inte att urskilja någon signifikant skillnad mellan de olika typerna av gödslingsmedel (Berglund 2023). För tillväxten under de första två åren var däremot tillväxten högre för mineralgödslingen än gödslingen med bionäring (Lundbäck 2011).

I de tidigare studierna har det dock inte utvärderats vilket ekonomiskt resultat de olika behandlingarna ger. Det är med andra ord oklart vilken ekonomisk påverkan gödsling med bionäring har på drivningsnettot. Gödslingskostnad, virkespriser, tillväxtökning, kalkylränta, men även den faktiska drivningskostnaden för de olika gödslingsförsöken är faktorer som påverkar nettot. För att skapa en trovärdig bedömning över vilken av dessa behandlingar som genererar det största ekonomiska nettot behöver därmed alla dessa faktorer vävas samman.

Det saknas därmed empiriska data på hur gödsling med bionäring påverkar drivningsnettot. Den här studien kan därför bidra till en bättre förståelse över vilken sammantagen ekonomisk påverkan som gödslingen har för markägarens kostnader och intäkter. Det är ur investeringssynpunkt intressant att utreda vilket av gödslingsbehandlingarna som genererar det största ekonomiska nettot, och om det är högre än den ogödslade kontrollen. Analyserna som tas fram i det här arbetet kan därmed komma att användas som skötselunderlag för liknande bestånd.

Syfte

1.5 Syfte

Syftet med detta arbete var att undersöka hur gödsling med olika gödslingsmedel påverkar drivningsnettot vid föryngringsavverkning. Detta gjordes genom analys av utfallen från ett gödslingsförsök i norra Sverige, genom att sammanväga drivnings- och gödslingskostnaderna samt gödslingens effekt på tillväxt och virkesvärde för beståndets olika gödslingsbehandlingar.

1.6 Hypotes

Min hypotes var att de olika gödslingsbehandlingarna ger ett större drivningsnetto jämfört med den ogödslade kontrollen. Av de olika gödslingsbehandlingarna var det bioneringen som hade den största mängden tillsatt kväve och borde således även resultera i den högsta tillväxtökningen och största medelstamsvolymen. Utöver tillväxtökningen borde gödslingarna generera en lägre drivningskostnad och högre intäkt per volymenhet.

Material och metod

2.1 Sveaskogs gödslingsförsök

Under 2006–2008 etablerade Sveaskog ett gödslingsförsök i närheten av Kalix/Överkalix, och det omfattade sammanlagt 22 olika bestånd. Varje bestånd delades upp i 3 olika behandlingar; kontroll, mineralgödsling och gödsling med bionäring (avloppsslam). 2006 startade Sveaskog upp försöket genom att gödsla 4 bestånd. 2007 gödslades 7 ytterligare bestånd medan de sista 11 bestånden gödslades 2008. Varje bestånd ansågs vara homogent, med likartade växtförhållanden i hela beståndet. De 22 bestånden valdes för att få en stor åldersspridning, så att försöket skulle omfatta skog i olika utvecklingsfaser.

Spridningen av gödsel skedde under barmarksperioden, med hjälp av skotare med ett gödslingsaggregat av tallriksmodell (Sahlén 2012). Mineralgödsel spreds från varannan stickväg medan bionäringen spreds från varje stickväg. All gödsling utfördes av Brunos skogstjänster AB. Tre olika typer av gödsel användes där mineralgödslingsbehandlingen gödslades med SkogCan. Bionäringsbehandlingen gödslades med två olika typer av bionäring, UMEVA och SYVAB. SYVAB är en granulerad rötrest från biogasanläggningen Himmerfjärdsverket i Botkyrka. UMEVA är samma typ av rötrest fast från Umeå reningsverk som torkats och pelleterats.

Behandlingen som gödslades med bionäring gödslades vid ett enda tillfälle, och då med en mängd som motsvarade 500–600 kg N/ha. För behandlingen som gödslades med mineralgödsel var gödslingen uppdelad på två tillfällen, där den andra gödslingen genomfördes 3 år efter den första gödslingen. Gödslingsdosen för mineralgödslingen var ca 150 kg N/ha per gödslingstillfälle, dvs totalt ca 300 kg N/ha.

Ett av de slutavverkningsmogna bestånden i försöket var Mörttjärn. Mörttjärn dominerades av tall men enstaka granar och lövträd förekom. Mörttjärn gödslades 2006 och den andra mineralgödslingen genomfördes 2009. Delar av Mörttjärn

avverkades under 2017–2018 med hjälp av en och samma skördare. Figur 1 visar gödslingsförsökets design vid lokalen Mörtjärn där delområdena markerade med A är avverkade medan delområden markerade med B lämnades orörda. Totalt var den avverkade arealen 55,8 ha och information om försöket och de olika behandlingarna går att utläsa i tabell 1. År 2007 inventerades provytorna i beståndet (Figur 1). Brösthöjdsdiametern för behandlingen med mineralgödsling var signifikant lägre än brösthöjdsdiametern för de övriga behandlingarna 2007 (Tabell 1). År 2007 hade kontrollytans träd den högst medelhöjden av alla behandlingar (Tabell 1).



Figur 1. Översiktskarta över gödslingen vid Mörtjärn. Beståndet är uppdelat i 7 olika delområden fördelat på 3 olika behandlingar där delområdena markerade med A är avverkade och delområdena markerade med B lämnades orörda.

Figure 1. Overview map over the different treatments at Mörtjärn field trail. In total 7 different parcels. Only 1 parcel of each treatment have been harvested and included in this study. The parcels marked with A is harvested and B was left untouched.

Tabell 1. Försöksdesignen vid Mörttjärns försökslokal. Olika bokstäver visar en signifikant skillnad mellan de olika behandlingarna i början av gödslingsförsöket 2007. $n > 280$ för varje behandling. Standardavvikelsen visas inom parentes. Bionäring avser gödsling med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel och kontrollen är ogödslad.

Table 1. The trial design at the field trail at Mörttjärn. Different letters indicate on that the treatments are significant from each other. $n > 280$ for each treatment. Standard deviation is shown in parentheses. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.

Mörttjärn	Mineral	Bionäring	Kontroll
Ståndortsindex, H^{100} m	T18	T18	T18
Beståndsålder hösten 2006	77	77	77
Stammar per ha 2007	743	694	634
Areal (ha)	20,5	20,3	15,0
Dosering Kg N/ha 2006	158	507	0
Dosering Kg N/ha 2009	150	0	0
Medeldiameter dbh ¹ 2007 (cm)	13,7 ^A (5,83)	15,4 ^B (4,93)	15,6 ^B (6,54)
Höjd 2007 (m)	15,1	15,3	16,0
Volym 2007 (m ³ fub)	77	84	90
Medelstamsvolym 2007 (m ³ fub)	0,104	0,121	0,142

¹ dbh=Diameter i brösthöjd

2.2 StanForD-data

StandForD (Standford Forest Database) är den inofficiella standarden för att övervaka och styra skogsmaskiner (Skogforsk u.å.). Standarden används för att förbättra skogsmaskinernas mätnoggrannhet och effektivitet (Arlinger et al. 2020). Skogsmaskinernas arbete loggas, lagras och kan därefter användas för en rad olika uppföljningar och analyser. Genom StanForD registreras skogsmaskinernas data och exporteras därefter som en så kallad hpr-fil (Skogforsk u.å.). Varje stock som avverkas lagras individuellt i hpr-filen och därefter kan data för avverkningen sättas samman och analyseras.

I hpr-filerna lagras information om bland annat avverkad volym, sortimentsutfall, medelstamsvolym och trädslag. Trädets egenskaper tillsammans med GPS koordinaterna för varje enskilt träd sparas, vilket gjorde det möjligt att fördela varje träd till respektive behandling trots att det vid avverkningen inte togs hänsyn till behandlingsuppdelningen i beståndet. All bearbetning och uppdelning av data gjordes i programmet hprAnalys.

2.3 Datainsamling

Under avverkningsperioden 15 december 2017 till sista januari 2018 avverkades drygt 24 000 träd, och varje behandling innehöll minst 4 800 stammar. I samband med skördarens arbete genererades 113 hpr-filer. Varje enskild hpr-fil innehöll data för de träd som skördats sedan föregående nedladdning. Efter ett dagsarbete skapades ofta minst ett par nya hpr-filer med dagens avverkning. Virket inrapporterades på två olika virkesordernummer utan att hålla isär virket från de olika försöken, vilket gjorde det omöjligt att veta det inmätta utfallet från respektive behandling. I hpr-filerna från avverkningarna saknades det tidsangivelser för arbetet. Således gick det inte att beräkna produktiviteten och inte heller den faktiska avverkningskostnaden baserat på maskinernas timkostnad.

2.4 Beräkning av drivningsnetto

Arbetet delades upp i tre olika faser (figur 2). Första fasen var bearbetning och beräkningar av redan insamlade data, i form av statistiska analyser och jämförande av de olika gödslingsbehandlingarna. I denna fas låg tyngdpunkten på att identifiera och lokalisera vilka träd i hpr-filerna som hörde till respektive behandling. De enskilda hpr-filerna behövdes därefter aggregeras och grupperas så att stammarna som hörde till respektive behandling sattes samman och analyseras som en enskild enhet. Detta gjordes i programmet hprAnalys. För omräkningar från m^3sk till m^3fub användes ett omräkningstal på $1,188 \text{ m}^3\text{sk}/\text{m}^3\text{fub}$ (Skogsstyrelsen 2022b).



Figur 2. Schematisk bild över arbetsflödets faser.

Figure 2. Workflow of the work process.

Arbetets andra fas var att beräkna det ekonomiska drivningsnettot för avverkningen. I drivningsnettot inkluderades även gödslingskostnaden. Drivningskostnaden beräknades baserat på beståndsegenskaperna, med hjälp av Sveaskogs bortsättningsunderlag för slutavverkning. I figur 3 visualiseras de huvudsakliga påverkande faktorer som har en påverkan på drivningsnettot. I det här resultatet togs ett huvudscenario fram där drivningsnettot för de olika behandlingarna beräknas med det marknadspris som Sveaskog betalade virkesköp i Norrbotten 2018 (Åkerman 2018). Virkespriserna som användes redovisas i tabell 2. Virkesintäkten per m³fub beräknades genom att alla intäkterna från virket i varje behandling summerades och dividerades därefter med den totala virkesvolymen för respektive behandling. Den totala virkesintäkten per ha för varje behandling beräknades genom att varje behandlings intäkter summerades och därefter dividerades med behandlingens areal (ha). För att kunna jämföra den faktiska gödslingskostnaden från år 2006 med kostnader och intäkter från år 2018, så prolongerades gödslingskostnaden till ett nuvärde med en kalkylränta på 3%. Prolongeringen för bionäringen b gjordes enligt ekvation 1, där den totala kostnaden K räknades fram genom att investeringskostnaden i multiplicerades med kalkylräntan r (här=0,03) upphöjt med antalet år t från gödslingsförsökets startår fram till slutavverkningen.

$$K_b = i_b \times (1+r)^t \quad (1)$$

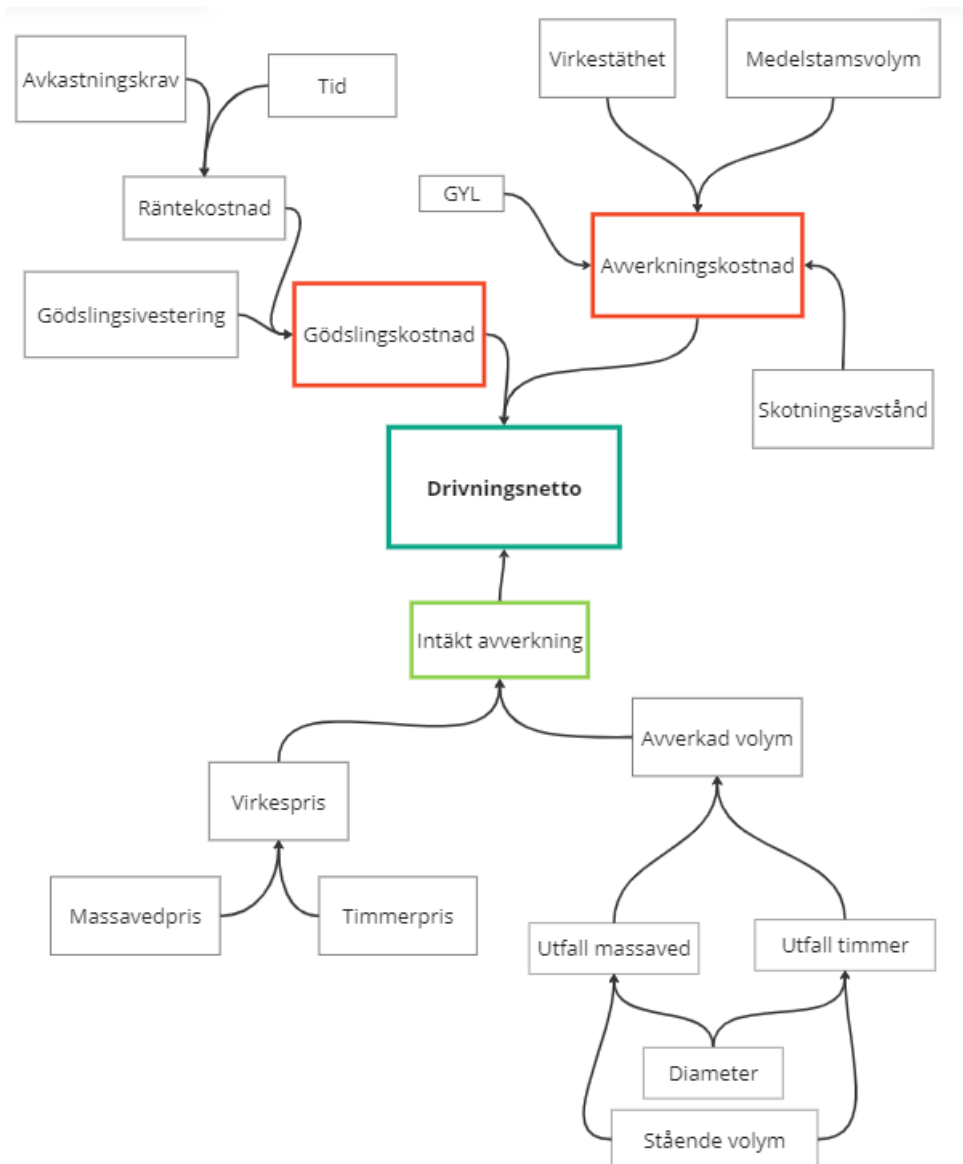
Då mineralgödslingen skedde vid två tillfällen räknades den totala gödslingskostnaden för mineralgödslingen m ut enligt ekvation 2, där i_{m1} är investeringskostnaden vid den första gödslingen och i_{m2} är investeringskostnaden vid den andra gödslingen.

$$K_m = i_{m1} \times (1+r)^t + i_{m2} \times (1+r)^{(t-3)} \quad (2)$$

Priset för dessa gödslingsinvesteringar var 20 kr/kg N för mineralgödslingen och 9 kr/kg N för biogödslingen. Priset är beräknat på hela Sveaskogs storskaliga gödslingsförsök som gödslades 2006-2009, där beståndet Mörttjärn ingår (Sahlén et al. 2011). I gödslingskostnaden ingår alla kostnadsfaktorer såsom; transport, inköp av gödsel och traktorspridning. Totalt spreds 308 kg N/ha av mineralgödsel och 507 kg kg N/ha av bionäringen. Vidare information om gödslingen går att utläsa i tabell 1. Kostnaden för inköp och spridning av mineralgödslingen var 20 kr/kgN respektive 9 kr/kgN för bionäringen (Sahlén et al. 2011). Kostnaderna för respektive investering blev då 6160 kr/ha för mineralgödslingen och 4563 kr/ha för

bionäringen. Efter prolongeringen blev den totala gödslingskostnaden 8420 kr för mineralgödslingen och 6506 kr för gödslingen med bionäring i 2018 års penningvärde.

Sveaskogs bortsättningsunderlag användes för att beräkna drivningskostnaderna. Som utgångspris innan tillägg och avdrag i bortsättningsmallen för drivningskostnaderna användes ett utgångspris på 101 kr/m³fub, vilket var norra Sveriges genomsnittliga drivningskostnad för föryngringsavverkning under 2018 där medelstamsvolymen var 0,23 m³fub (Skogforsk 2019). Grundförhållanden, ytstruktur, lutning (GYL) i behandlingarna var samma som grundutförandet i bortsättningsunderlaget (dvs 222) och därmed gjordes inga tillägg/avdrag för GYL. Skotningsavståndet sattes till 200 m för samtliga behandlingar. Stamantalet skiljde sig åt i de olika behandlingarna (Tabell 3) och därför har avverkningen av kontrollen räknats upp med 60 stammar/ha för att skapa ett jämförbart underlag. Utöver stamantal/ha och skotningsavståndet påverkade även medelstamsvolymen samt virkesuttaget (m³fub/ha) de respektive behandlingarnas drivningskostnader. Drivningskostnaden efter tillägg och avdrag från utgångspriset för mineralgödslingen blev 96 kr/m³fub, 90 kr/m³fub för bionäringen och 94 kr/m³fub för kontrollen.



Figur 3. Översiktsbild över de ingående faktorerna som påverkar drivningsnettot, när gödslingskostnaden inkluderas. Röda boxar symboliserar en kostnad och grön en intäkt.

Figure 3. Map of the factors that have an impact on the economic result. Red boxes symbolise a cost and green an income.

Tabell 2. Sveaskogs genomsnittliga pris vid virkesköp 2018 i Norrbotten. Priset avser fast pris per m³fub oberoende av kvalitetsklass inom respektive sortiment.

Table 2. Fixed price from Sveaskog's timber price for the area in Norrbotten regardless of quality class.

Sortiment	Pris (kr/m ³ fub)
Talltimmer	501
Grantimmer	416
Barrmassaved	320
Lövmassaved	300

I arbetets sista fas analyserades hur känsliga de ekonomiska utfallen i de olika behandlingarna var för förändringar i de ingående faktorerna. I dessa känslighetsanalyser justerades de ingående faktorerna, för att analysera vilken eller vilka av de bakomliggande faktorerna som har störst påverkan på resultaten. De faktorer som varierades var prolongeringsräntan, drivningskostnaden, gödslingskostnaden samt virkespriset. Känslighetsanalysens mål var att utreda systemets ekonomiska känslighet mot naturliga svängningar i konjunkturcykeln och variationer i ingångsfaktorerna.

2.5 Statistiska analyser

Från hpr-filerna kategoriserades data för varje avverkad stam där diameter, höjd och medelstamsvolym analyserades för att identifiera skillnader mellan de olika behandlingarna. Precis efter gödslingen 2007 stickprovsinventerades behandlingarna genom att 20x26 m stora provytorna inventerades. Provytorna var utplacerade med en täthet på ca en provyta per ha. Provytornas utplacering visualiseras i figur 1. Data från 2007 användes med hjälp av statistiska analyser för att se om det fanns någon skillnad mellan behandlingarna i början av gödslingsförsöket.

Minitab användes som verktyg för att genomföra de statistiska analyserna på både drivningsdatat och datat från provytorna. Antalet observationer (stammarna i respektive behandling) gjorde att en normalfördelning av medelvärdena kunde antas. För att påvisa eventuella skillnader mellan behandlingarnas medeldiameter, medelstamsvolym samt höjd användes en-vägsanovor och Tukey-test. En-vägsanovan användes för att identifiera om det fanns signifikanta skillnader mellan medelvärdena för de olika grupperna med data. Tukey-testet visade om urvalet bestod av grupper som skiljer sig åt från varandra. Signifikansnivån sattes till 5%.

Resultat

3.1 Sortimentutfall och beståndsegenskaper

Resultatet visar att brösthöjdsdiametern för behandlingen med bionäring var signifikant större än övriga behandlingar (Tabell 3). De olika gödslingsbehandlingarna presterade bättre och genererade en högre tillväxt jämfört med kontrollen efter gödslingarna (Tabell 4). Den totala tillväxten för gödslingsbehandlingarna blev 61 respektive 65 m³fub för mineralgödslingen respektive bionäringen (Tabell 4). Båda gödslingsbehandlingarna resulterade i en högre diametertillväxt jämfört med kontrollen (Tabell 4). Kontrollen hade fortfarande grövre träd jämfört med mineralgödslingen.

Resultatet från analysen av hpr-filerna visade att timmerandelen var något högre i båda gödslingsbehandlingarna jämfört med kontrollytan (Tabell 5). Bionäringen hade det lägsta utfallet av massaved och kontrollen det högsta utfallet av massaved. Trädhöjden var signifikant högre i de båda gödslingsbehandlingarna jämfört med kontrollen (Tabell 3). I behandlingen med bionäring återfanns den grövsta medelstamsvolymen och den minsta medelstamsvolymen återfanns i behandlingen med mineralgödslingen (Tabell 3).

Tabell 3. Beståndsegenskaper vid avverkningen 2017–2018. $n > 4800$ för varje behandling. Standardavvikelsen visas inom parentes. Bionäring avser gödsling med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

Table 3. Showing stand properties from the final felling in 2017-2018. Different letters indicate on that the treatments are significant from each other. $n > 4800$ for each treatment. Standard deviation is shown in parentheses. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.

Variabel	Behandling		
	Mineral	Bionäring	Kontroll
Avverkade stammar per ha	638	626	572
Medeldiameter dbh (cm)	18,6 ^A (4,7)	19,5 ^B (4,0)	19,0 ^C (4,4)
Medelstamsvolym (m ³ fub)	0,213 ^A (0,13)	0,238 ^B (0,12)	0,218 ^C (0,13)
Volym (m ³ fub/ha)	138	149	138 ¹
Höjd (m)	17,6 ^A (2,4)	18,1 ^B (2,2)	17,4 ^C (2,2)

¹ Volymen är uppräknad med 60 stammar som baserades på medelstamsvolymen av de stammar som avverkades i kontrollen.

Tabell 4. Skillnader i beståndsegenskaper mellan inventeringen 2007 och slutavverkningen 2017–2018 vid Mörttjärns försökslokal för de olika gödslingsbehandlingarna: mineralgödsling (mineral), bionäring (slamgranuler) samt den ogödslade kontrollen.

Table 4. Showing stand development from 2007 until the final felling 2017-2018 with the 3 different fertilization types at the Mörttjärn experimental site. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.

Variabel	Behandling		
	Mineral	Bionäring	Kontroll
Diameterökning (cm)	4,9	4,1	3,4
Ökning medelstamsvolym (m ³ fub)	0,109	0,117	0,076
Volym (m ³ fub/ha)	61	65	35
Höjd (m)	2,5	2,8	1,4

Tabell 5. Det relativa sortimentsutfallet från de olika behandlingarna vid Mörttjärns försökslokal vid slutavverkningen 2017–2018, där bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

Table 5. Logging results from Mörttjärn from the final felling 2017-2018 showing the different assortments from each treatment. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.

Behandling	Timmer (%)	Massaved (%)	Oklassat (%)
Mineral	70,4	29,0	0,6
Bionäring	71,4	28,5	0,1
Kontroll	68,2	31,4	0,4

3.2 Kostnader och intäkter

Tillväxten för kontrolllytan från den senaste mätningen 2007 fram till slutavverkningen 2022 var 35 m³fub/ha (Tabell 4). Mineralgödslingen och bionäringen hade totalt en högre tillväxt om 26 respektive 30 m³fub/ha jämfört med kontrolllytan. Om gödslingskostnaden läggs på den ökade tillväxten innebär det att varje extra m³fub kostade 324 samt 217 kr/m³fub för mineralgödslingen respektive bionäringen. I tabell 6 visas kostnads- och inkomstfördelningen vid slutavverkningen av de olika behandlingarna 2017–2018. Jämfört med kontrollbehandlingen så var drivningskostnaden 2,1% högre per avverkad m³fub för mineralgödslingen och 4,3% lägre för behandlingen med bionäring.

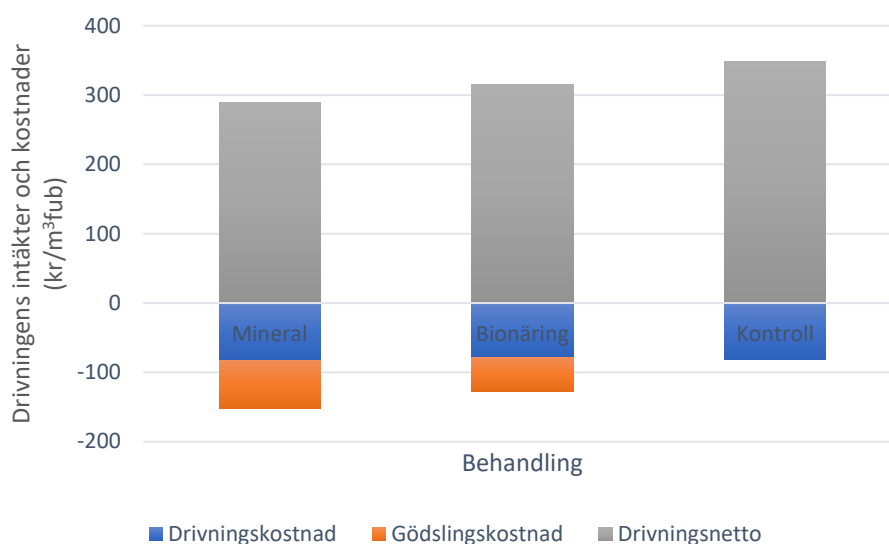
Den lägsta drivningskostnaden per avverkad m³fub återfanns i behandlingen med bionäring (Tabell 6) där även den största avverkade volymen per ha skördades (Tabell 3). Kontrollen hade den lägsta virkesintäkten per avverkad m³fub medan bionäringen hade den högsta (Tabell 6).

Mineralgödslingen resulterade i ett lägre drivningsnetto både per m³fub och per ha jämfört med bionäringen (Figur 4 och 5). Drivningsnettot för bionäringen resulterade i ett lägre netto både per avverkad m³fub och per ha jämfört med kontrollen (Figur 4 och 5 och Tabell 6). Med det aktuella utfallet av sortiment (Tabell 5) och rådande avverkningskostnad (Tabell 6) blev drivningsnettot 1641 kr/ha lägre för gödslingen med bionäringen och 10 125 kr/ha lägre för mineralgödslingen jämfört med kontrollbehandlingen (Figur 5).

Tabell 6. Kostnads- och intäktsfördelning i kr/m³fub vid Mörttjärns försökslokal vid slutavverkning, inkluderat gödslingskostnaden. Bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

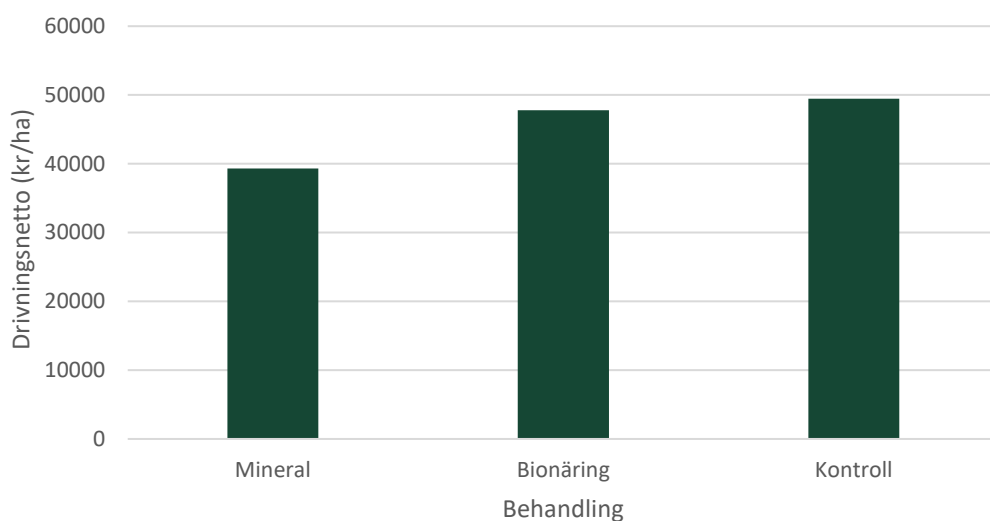
Table 6. Costs and revenues in kr/m³fub from the final felling including the cost for fertilization for the 3 different types of fertilizations at Mörtjärns experimental site 2017-2018. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the kontroll is unfertilized.

Ekonomiska poster	Behandling		
	Mineral	Bionäring	Kontroll
Gödslingskostnad	-61	-44	0
Drivningskostnad	-96	-90	-94
Virkesintäkt	446	449	443
Drivningsnetto	289	315	349



Figur 4. Drivningens inkomst- och kostnadsfördelning, där staplarnas höjd visar den totala virkesintäkten och färgerna visar de olika ekonomiska posternas storlekar för de olika behandlingarna, där bionäring avser gödsling med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

Figure 4. Income and costs from the harvest showed per m³fub. The height of the bars shows the total timber income, and the colours show the sizes of the different costs for the different treatments, where biofertilization refers to fertilization with sewage sludge, mineral refers to mineral fertilizer and the kontroll is unfertilized.



Figur 5. Drivningsnetto per hektar för de olika behandlingarna, med gödslingskostnaden inkluderad. Bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

Figure 5. Showing net revenue from the final harvest of the different treatments when the fertilization cost and harvest cost are included at Mörttjärn experimental site 2017-2018. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the kontroll is unfertilized.

3.3 Känslighetsanalys

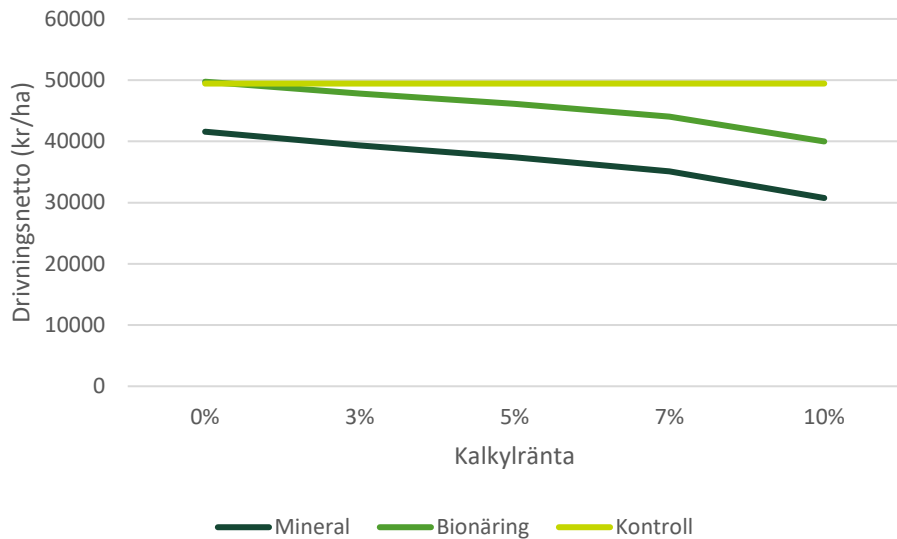
Även med 0% kalkylränta skulle behandlingen med mineralgödslingen varit den minst lönsamma behandlingen sett till drivningsnettot per ha (Figur 6). Bionäringen var ungefär likvärdig med kontrollen vid en kalkylränta på 0%. Bionäringen blev mindre lönsam jämfört med kontrollen med högre kalkylränta (Figur 6).

Det ekonomiska utfallet av gödslingen påverkades av virkespriset, men kontrollen var fortsatt den lönsammaste behandlingen när priset varierar med $\pm 20\%$ (Figur 7). Behandlingen med mineralgödsel genererade det lägsta drivningsnetto oavsett om virkespriset varierades med $\pm 20\%$.

När kalkylräntan och virkespriset ändrades tillsammans genom att kalkylräntan sattes till 5% återfanns det högsta drivningsnettot i kontrollen oavsett om virkespriset varierades med $\pm 20\%$ (Figur 8).

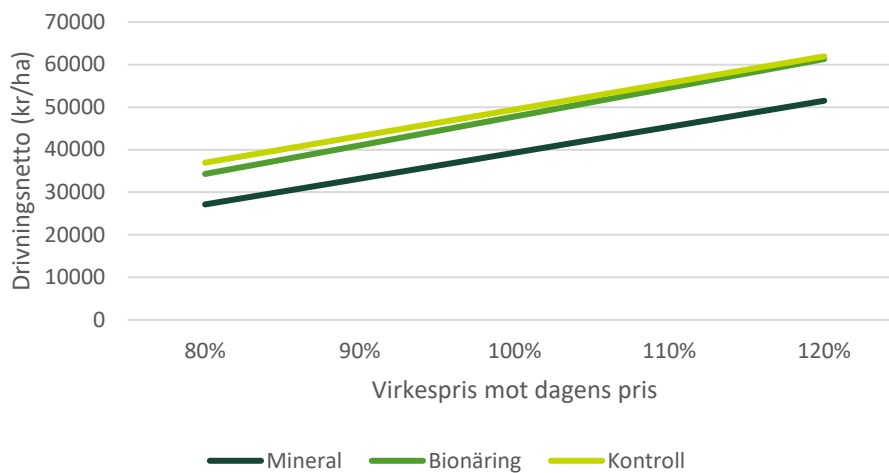
Det ekonomiska utfallet påverkades av investeringskostnaden för gödslingen där bionäringen visade sig vara den lönsammaste behandlingen vid en lägre

gödslingskostnad (Figur 9). Vid varierande drivningskostnad påverkades enbart respektive behandlings drivningsnetto men kontrollen förblev det mest lönsamma alternativet (Figur 10).



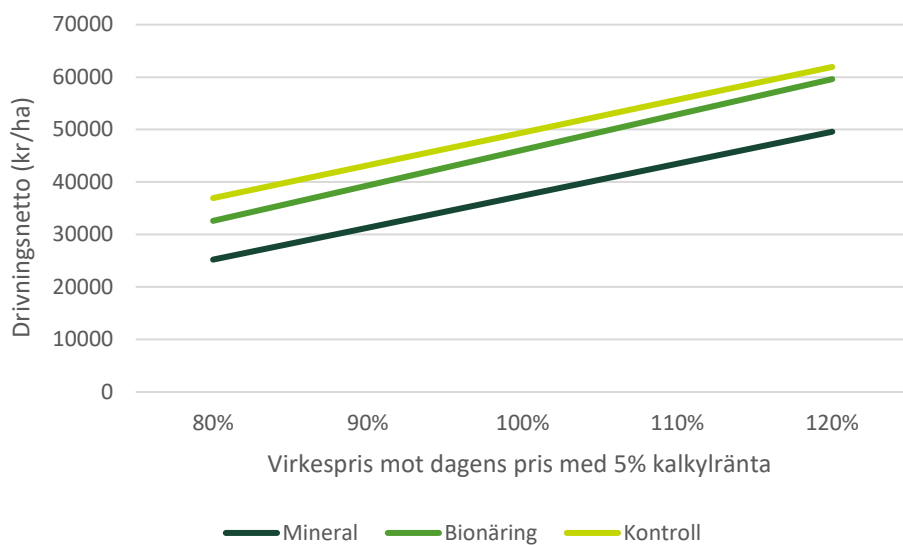
Figur 6. Kalkylräntans påverkan på drivningsnettot vid Mörttjärns försökslokal vid slutavverkningen 2017–2018. Där bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad.

Figure 6. Different interest effects on the net revenue on each treatment from the final felling 2017-2018 at Mörttjärns experimental site. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.



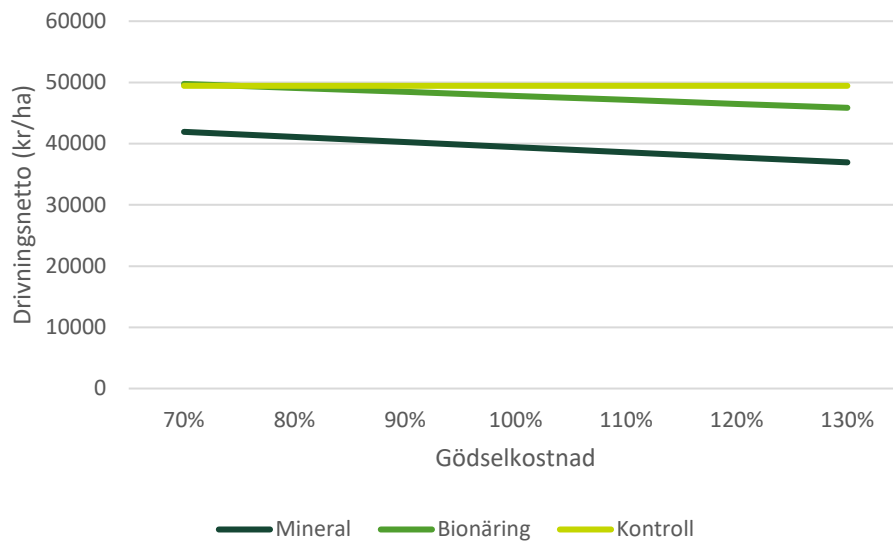
Figur 7. Drivningsnetto i de olika behandlingarna när virkespriset varierar med $\pm 20\%$ och med 3% kalkylränta med sortimentsutfallet- och volymutfallet vid Mörtjärns försökslokal vid slutavverkningen 2017–2018. Där bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad. 100% motsvarar Sveaskogs virkespris 2018 för Norrbottens och Västerbottens inland.

Figure 7. Net income from the different treatments when timber price varies by $\pm 20\%$ from the final felling with 3% interest rate. The pris respond to the wood harvested at Mörtjärns experimental site 2017-2018 and Sveaskogs pricelist 2018 in the area in question. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the control is unfertilized.



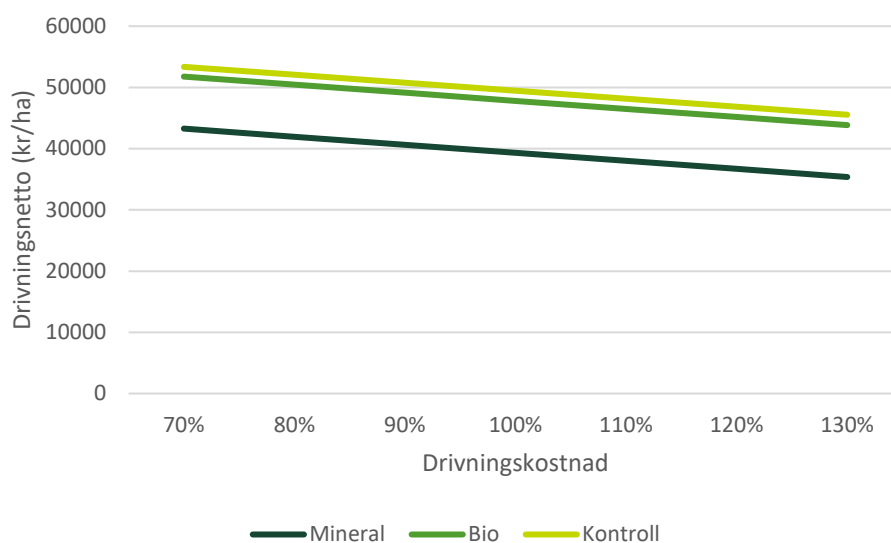
Figur 8. Drivningsnettot i kr/ha hos de olika behandlingarna vid variationer på $\pm 20\%$ i virkespris när kalkylräntan sätts till 5% med sortimentsutfallet- och volymutfallet vid Mörtjärns försökslokal vid slutavverkningen 2017–2018. Där bionäring avser gödning med bionäring (slamgranuler), mineral avser mineralgödsel samt kontrollen är ogödslad. 100% motsvarar Sveaskogs virkespris 2018 för Norrbottens och Västerbottens inland.

Figure 8. Net income in kr/ha from the different treatments with 5% interest rate when timber price varies by $\pm 20\%$. The pris respond to the wood harvested at Mörtjärns experimental site 2017-2018 and Sveaskogs pricelist in the area in question. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the kontroll is unfertilized.



Figur 9. Gödslingskostnadens påverkan på drivningsnettot vid försökslokalen Mörttjärn när gödslingskostnaden inkluderas i nettot och varierar med $\pm 30\%$ där 100% motsvarar 9 kr/kgN för bionäringen samt 20 kr/kgN för mineralgödslingen vid 3 % kalkylränta.

Figure 9. Impact of fertilization cost on net revenue at Mörttjärn experimental site when the fertilization cost is included in the net income and varies by $\pm 30\%$, where 100% corresponds to 9 kr/kgN for biofertilization (bionäring) and 20 kr/kgN for mineral fertilization at a 3% discount rate.



Figur 10. Variation i drivningskostnadens påverkan på drivningsnettot vid försökslokalen Mörttjärn när drivningskostnaden varierar med $\pm 30\%$ där 100% motsvarar drivningens faktiska kostnad för de olika gödslingsbehandlingarna mineralgödsling (mineral), bionäring (bio) samt den ogödslade kontrollen.

Figure 10. Variation in the impact of the harvest cost on the net revenue from 3 different fertilization types at the Mörttjärn experimental site when the harvest cost varies by $\pm 30\%$ where 100% corresponds to the actual cost of the harvest. Bionäring refers to fertilization with biofertilizer (sludge granules), mineral refers to mineral fertilizer and the kontroll is unfertilized.

Diskussion

Resultatet visar att gödsling vid den här lokalen med rådande skötselprogram inte varit lönsamt (Figur 5 och Tabell 6). Hypotesen att båda gödslingarna skulle generera ett större netto än kontrollen bekräftades därmed inte. Intäkterna från produktionsökningen har inte varit tillräckligt höga för att täcka omkostnaderna. Behandlingen med mineralgödsling hade dock lägst volym 2007 och hade signifikant lägre brösthöjdsdiameter än övriga behandlingar vid försökets inledning (Tabell 1). Det går därför inte att utesluta att mineralgödslingen skulle ha visats sig lönsam om den behandlingen hade haft samma initiala förutsättningar som övriga behandlingar. Resultatet visar dock att mineralgödslingen inte var lönsam med det genomförda gödslingsprogrammet.

Om prissättningen för mineralgödsling istället hade satts till 2128 kr/ha för 150 kgN/ha, vilket var det lägsta genomsnittligapriset för gödsling i Sverige under perioden 2005-2022 (Skogsstyrelsen 2023b), hade det inneburit en kostnadsbesparing på 2936 kr/ha. Kostnadsbesparingen är dock inte tillräckligt stor för att mineralgödslingen skulle ha blivit lönsam. Om en liknande prispressning av gödslingskostnaden för bionäring hade kunnat genomföras hade bionäringen resulterat i ett marginellt högre drivningsnetto jämfört med kontrollen (Figur 5). Gödslingsgivan i gödslingsförsöket vid Mörttjärn var minst dubbelt så stor som den rekommenderade mängden kväve (Skogsstyrelsen 2023a). Det resulterar i att gödslingskostnaden blev dubbelt så dyr för mineralgödslingen då den är utförd vid två fristående tillfällen där varje tillfälle omfattade den normala gödslingsgivan på ca 150 kg/ha. Gödsling med mineralgödsling med 150 kg N/ha i stället för ca 300 kg N/ha hade inneburit en kostnadsbesparing på ca 4700 kr/ha för mineralgödslingen. Tidigare studier har visat att sambandet mellan tillsatt kväve och tillväxtökning inte är ett linjärt samband, 300 kg N/ha ger alltså inte en dubbelt så stor tillväxtökning som gödsling med 150 kg N/ha (Pukkala 2017). Trots att den tillsatta mängden kväve var minst dubbelt så stor som rekommenderat blev därmed inte tillväxtökningen dubbelt så stor jämfört med en hälften så stor gödselgiva. Gödslingen med bionäring hade ca 200 kg N/ha mer än mineralgödslingen men det fanns inga större skillnader i tillväxtökning mellan mineralgödslingen och bionäringen (Tabell 4). En tidigare studie baserat på andra bestånd i samma gödslingsförsök som Mörttjärn har visat att den långtidsverkande tillväxteffekten

mellan de olika gödslingarna är små, trots olika stora gödselgivor (Berglund 2023). Bionäringen hade något högre tillväxt än mineralgödslingen vilket skulle kunna bero på att skillnader mellan behandlingsytorna, slumpen eller att bionäringen hade en större mängd tillsatt kväve (Tabell 1 och 4). Resultatet från Berglund (2023) visade att bionäringens långsiktiga tillväxtökning var något högre än mineralgödslingens i 3 av 4 studerade bestånd.

Skillnaderna i virkesintäkt och drivningskostnad per m³ fub var små (Tabell 6). Den här studien tar dock inte upp eventuella kvalitetsskillnader och värdeökning från en diameterökning i virkesprissättningen. Allt virke har prissatts schablonmässigt som antingen timmer eller massaved. I praktiken skulle gödslingen kunnat fått större påverkan på virkesvärdet om stockarna mäts in och prissätts efter deras dimension och kvalitetsklass, eftersom en grövre stock generellt betingar ett högre pris per virkesvolym än en klenare stock i samma kvalitetsklass (Sveaskog 2022).

4.1 Utvärdering av resultat

Likt tidigare studier som baserade sig på stickprov i bestånden så visar denna studies totalinventering att bionäringen fungerar som gödslingsmedel (Lundbäck 2011; Sahlén 2012; Berglund 2023). Det fanns ingen signifikant skillnad i brösthöjdsdiameter mellan bionäringen och kontrollen år 2007 (Tabell 1), men vid slutavverkningen 2017–2018 hade bionäringen signifikant störst brösthöjdsdiameter (Tabell 3). Det finns dock viss osäkerhet i resultatet då slutavverkningen 2017–2018 var en totalinventering medan värdena från 2007 baserades på stickprov. Kontrollens brösthöjdsdiameter var signifikant större än mineralgödslingen vid slutavverkningen 2017–2018. Skillnaden i brösthöjdsdiameter mellan mineralgödslingen och kontrollen var dock bara 5 mm (Tabell 3). Behandlingen med mineralgödslingen hade en medelhöjd som var 0,2 m högre vid slutavverkningen jämfört med kontrollen (Tabell 3). Höjden har troligtvis varit en påverkande faktor som gjort att mineralgödslingens timmerutfall blev marginellt högre än kontrollen, även med en mindre medelstamsvolym (Tabell 3 och 5). 12 år efter gödslingen gick det att se en signifikant skillnad i brösthöjdsdiameter mellan alla behandlingar (Tabell 3). Skillnaderna i diameter mellan de olika behandlingarna har minskat efter 12 år och skillnaden vid slutavverkningen var under 1 cm mellan de olika behandlingarna (Tabell 1 och 3). Medelstamsvolymen för mineralgödslingen vid slutavverkningen var lägre än kontrollen och det kan förklaras av heterogeniteten mellan de olika behandlingarna vid försökets anläggning (Tabell 1). Bionäringens högre tillväxt resulterade i den grövsta medelstamsvolymen, lägst avverkningskostnad, största virkesuttaget, högst virkespris och högst timmerandel (Tabell 3, 5 och 6). Hypotesen om

drivningskostnad, tillväxtökning, medelstamsvolym och virkesintäkter bekräftades därmed för gödslingen med bionäring.

Tidigare studier visar att tillväxten för bionäring initialt var något högre än mineralnäringen vid Mörttjärns försökslokal (Sahlén 2012). För både bionäringen och mineralgödslingen var tillväxten över dubbelt så stor som kontrolllytan 2 år efter gödslingen. Avverkningsresultaten bekräftar att det har skett en tillväxtökning under en tid (Tabell 4) men det är osäkert hur länge den tillväxtökningen varade. Volymtillväxten för båda gödslingsbehandlingarna 2007–2018 var 74% högre för mineralgödslingen och 86% högre för bionäringen jämfört med kontrollen (Tabell 4). Tillväxttakten för gödslingsbehandlingarna har därmed sjunkit över tid. Resultatet går i linje med tidigare forskning där tillväxttakten för träd i gödslade bestånd jämfört med ogödslade var högre 5 år efter gödslingen, men efter 12 år fanns det ingen skillnad i tillväxt mellan gödslade och ogödslade bestånd (Valinger et al. 2019).

Möjligheten att analysera skördarens och skotarens faktiska produktivitet saknas då hpr-filerna saknar tidsangivelser för de olika arbetsmomenten. Därav gick det inte att genomföra en produktivitetsanalys mellan de olika gödslingsbehandlingarna. En sådan detaljerad produktivitetsanalys hade varit intressant för att kunna bekräfta studiens prissättning av drivningen.

Känslighetsanalyserna är intressanta, då de bekräftar att drivningsnettot från kontrollen var den behandling som presterade bäst när virkespriset och drivningskostnaden varierade (Figur 7, 8 och 10). Skillnaderna mellan behandlingarna vid variation i virkespris är liten och känslighetsanalysen visar att val av behandling inte påverkas nämnvärt av variationer i virkespriset. Gödslingarna var dock väldigt känsliga för variation av kalkylräntan och gödslingskostnad (Figur 6 och 9). När kalkylräntan översteg 0% blev kontrollen lönsammast. En lägre gödslingskostnad i kombination med en lägre kalkylränta indikerar därmed ett förbättrat drivningsnetto för gödslingsbehandlingarna. Gödslingarna klarar en högre kalkylränta något bättre när virkespriserna ökar, men kalkylräntan har större påverkan på resultatet än det vanligtvis förekommande variationerna i virkespriset.

Bionäringen var bara tillverkad i liten skala för det här gödslingsförsöket. Tillverkningen utgick från att det inte fanns någon kostnad för inköp av insatsvarorna för att producera bionäringen. Om liknande bionäring för skogsgödsling ska börja produceras kommersiellt är det sannolikt att reningsverken samt stål- och fiskindustrin börjar ta betalt för sina restprodukter då det blir en ökad efterfrågan på deras restprodukter. Vid storskalig produktion finns det dock även

en möjlighet att produktiviteten effektiviseras och att tillverkningskostnaderna minskas. Kostnaderna för skogsägarna att gödsla med bionäring är därmed inte helt fastställda. Sahlén mfl (2011) har dock gett en indikation på en ungefärlig prisnivå på ca 9 kr/kg N för att kväveberika och sprida slamgranulerna (bionäring).

4.2 Användningsområde

Studiens resultat kan innebära att helt nya marknader öppnas då produktionen av slamgranuler bara skedde för det här försöket. Det är positivt att det nu finns empiriska data över bionäringens tillväxtpotential där tillväxtpotentialen var större jämfört med traditionell mineralgödning (Tabell 4). Gödning med mineralgödsel har i tidigare studier visat sig varit en lönsam investering (Bergsten 2005). Det skulle kunna innebära att det finns en marknad för bionäringen även om ingen av gödningarna var lönsam vid den här lokalen (Figur 5).

Eftersom slamgranuler är tillverkade från restprodukter innebär produktionen ingen ytterligare miljöbelastning utan ett förbättrat resursutnyttjande (Henriksson et al. 2012). Tillväxtpotentialen för bionäring tillverkat av avloppsslam är stor då det varje år produceras 214 000 ton torrsubstans avloppsslam i Sveriges reningsverk (Henriksson et al. 2012).

Priset för skogsmarksgödning steg 2022 med 44% jämfört med föregående år (Skogsstyrelsen 2023b). Prisökningen för mineralgödsel beror på kriget i Ukraina och resulterade i att gödningen av skogsmark i Sverige minskade med 77% år 2022 (Skogsstyrelsen 2023c). En nationell produktion av bionäring producerat från avloppsslam skulle således kunna bidra till att stabilisera tillgången och priset på kväve för skogsmarksgödning i Sverige.

4.3 Tillämpbarhet

Försökslokalen anses enligt Sveaskog vara representativ för området i avseende bonitet och virkesförråd. Resultatet bör därför kunna appliceras på tallbestånd med liknande förutsättningar. Det innebär dock en snäv applicerbarhet, dvs på bestånd med enbart tall och med ståndortsindex på runt T18. Resultatet säger därmed ingenting hur utfallet skulle blivit för bestånd med andra ståndortsindex, blandbestånd, eller grandominerande bestånd. Optimala bestånd att gödsla är väl slutna granbestånd (Skogsstyrelsen 2023a). I det här försöket gödslades en mager tallhed med ståndortsindex på T18. Det ekonomiska resultatet för en liknande

gödsling i en väl sluten granskog borde därmed generera ett bättre ekonomiskt resultat. Resultatet visar att det finns en tillväxtvinst för både gödslingen med bionäring och mineralgödsel (Tabell 4). Gödslingskostnaden var dock för stor jämfört med minskningen av drivningskostnaderna samt ökningen i virkesvärde för att inkomstökningen för bionäringen och mineralgödslingen skulle generera ett högre ekonomiskt resultat jämfört med kontrollen (Figur 4). Då sambandet mellan tillsatt kväve och ökad tillväxt inte är linjärt är det möjligt att mindre gödselgivor genererar ett bättre ekonomiskt resultat på svaga ståndorter (Pukkala 2017). I det här försöket tillsattes mer än dubbelt så mycket som den rekommenderade mängden kväve (Skogsstyrelsen 2023a) och det visade sig inte vara ekonomiskt lönsamt på den här typen av bestånd (Figur 4).

4.4 Styrkor och svagheter

Den största styrkan med studien är beståndets storlek. Försökslokalen i Mörttjärn är stor och det finns ett stort dataunderlag som minskar risken för att slumpen har påverkat resultatet (Gutt 2015). Ytterligare en styrka är att det finns flera upprepningar på fler olika bestånd i norra Sverige. Resultaten från denna studie kommer därmed att kunna kompletteras när fler av bestånden avverkas.

En av de viktigaste strategierna vid jämförande studier är att normalisera, dvs att ha samma förutsättningar, för att på så sätt rättvisande fånga effekterna av olika behandlingar (Padron-McCarthy & Risch 2018). Den största svagheten vid Mörttjärns försökslokal var beståndets interna heterogenitet. Behandlingen med mineralgödsling hade signifikant klenare träd vid försökets inledning (Tabell 1). De olika behandlingarna var därmed inte helt homogena vid försökets anläggning. Kontrollytan hade även färre antal träd än övriga behandlingar vilket även är en svaghet då resultatet för kontrollen nu är uppräknat med ytterligare 60 träd. Det finns en osäkerhet i den uppräknningen då det inte är helt säkert att tillväxten för varje enskilt träd hade varit likartad för ett tätare bestånd (Skogskunskap 2023b). Jag anser dock att den här uppräknningen genererar en mindre osäkerhet i resultatet än om den inte hade skett då de initiala förutsättningarna enligt mig var alldeles för olika för att vara jämförbara (Tabell 1). Glesare bestånd genererar en grövre medelsamsdiameter och därmed även en större andel sågtimmer (Skogskunskap 2023b). Det här innebär att kontrollytans medeldiameter och trädens enskilda tillväxt kan ha påverkats positivt av att stå glesare jämfört med gödslingsbehandlingarna. Eftersom en uppräkning av den totala volymen skedde baserat på kontrollens medelstamsvolym är det troligt att den faktiska volymen för kontrollen hade varit något lägre om stamantalet hade varit liknande som de gödslade behandlingarna (Tabell 3) (Skogskunskap 2023b). Den här osäkerheten påverkar drivningskostnaden, virkesvärdet samt volymtillväxten positivt för

kontrollen och innebär att resultatet för kontrollen därmed troligtvis är något överskattat. Försöket borde ha utformats så att de olika behandlingsytorna var mer homogena och likvärdiga för att ge ett säkrare resultat.

En annan stor svaghet med studien är att det just nu inte finns några upprepningar, utan bygger på ett enda bestånd. Detta ligger tyvärr också utanför detta arbetes kontroll, då endast ett av de totalt 22 olika bestånden i Sveaskogs gödslingsförsök är avverkat. Resultatet blir därför specifikt för den här lokalen. När fler av bestånden i gödslingsförsöket avverkas kommer däremot dessa att kunna läggas till i undersökningen för att bidra till en bättre bild över gödslingsförsökets ekonomiska resultat.

För att mer precist kunna bedöma virkesintäkterna hade det varit fördelaktigt om virket från de tre olika behandlingarna hade särhållits, för att kunna urskilja skillnader i virkeskvalité och tillhandahålla ett exakt virkesvärde för de olika behandlingarna.

Avverkningen resulterade i en totalinventering av 55,8 ha. Den inventerade datan från 2007 innefattar enbart stickprov i form av provytor, medan avverkningen innebar en totalinventering av beståndet. Kvarlämnad virkesvolym är inte medtaget i beräkningarna. Hänsynsytor, evighetsträd och högstubbar antogs vara likvärdigt fördelade på de olika behandlingarna, då de var och en omfattade en stor areal i beståndet.

4.5 Framtida studier

Vid framtida studier hade det varit av intresse att undersöka hur resultatet förändras med ett vidare spektrum av ståndortsindex för både tall och gran. Med ett vidare spektrum av ståndortsindex för att kunna avgöra om det finns bestånd som är lönsamma att gödsla, samt med vilken typ av gödslingsbehandling. När fler av de gödslade bestånden avverkas skulle även de drivningsnettona behöva analyseras. Det hade även varit intressant att genomföra en studie där beståndet mäts in och prissätts efter rådande prislista, i stället för en schablonmässig prissättning som i det här arbetet. Olika mängd tillsatt kväve hade även varit intressant att undersöka, vilken kvävegiva som ger det bästa ekonomiska resultatet.

Prisökningen 2021-2022 på gödslings har påverkat den gödslade arealen negativt (Skogsstyrelsen 2023c). Om det högre priset på skogsmarksgödsel består alternativt att prisökningen fortsätter behövs fler nya empiriska studier på hur prisläget påverkar gödslingskalkylen och om gödslings fortsatt kan ses som en lönsam investering på rätt marker. För att minska gödslingskostnaden finns även ett behov

av att med empiriska data studera hur spridningen av skogsmarksgödsling kan göras så kostnadseffektivt som möjligt och därmed bidra positivt till gödslingskalkylen.

Att framställa mineralgödsel tar mycket energi men bidrar ändå till en positiv klimatnytta då den ökade tillväxten innebär att koldioxid byggs in i trädet (Skogsstyrelsen 2023a). För att bionäring från reningsverken ska kunna användas som gödslingsmedel krävs det att bionäringen stabiliseras för att inte urlakning av tungmetaller och svårnedbrytbara kemikalier ska ske (Henriksson et al. 2012). Det vore relevant med mer forskning om gödsling och då särskilt kring användandet av bionäring och dess effekter på miljön. Biotopen förändras när kväve tillsätts till ekosystemet, markvegetationen minskar till följd av tätare trädkronor samtidigt som gräs och örter ökar medan bärris och lavar minskar (Skogsstyrelsen 2023a). Följs de rekommendationer som finns gällande gödsling ska det inte påverka rödlista arter negativt då hänsyn till biotoper som dessa arter finns i har tagits hänsyn till i rekommendationerna (Jacobson et al. 2005). För att inte kvävet ska riskera att lakas ut till sjöar och vattendrag efter avverkning är det viktigt att vänta 10 år efter gödsling innan slutavverkning för att träden ska hinna absorbera det tillsatta kvävet (Skogsstyrelsen 2023a). För att kunna säkerställa att dagens rekommendationer är tillämpbara även på bionäring krävs mer forskning kring bionäringens utlakning och effekt på miljön.

4.6 Slutsatser

Studien har visat att det fanns en skillnad mellan behandlingarna redan vid uppstarten av gödslingsförsöket vid Mörttjärn (Tabell 1). Båda gödslingsbehandlingarna resulterade en högre tillväxt jämfört med kontrollen 12 år efter gödslingen (Tabell 4). Bionäringen genererade signifikant grövst brösthöjdsdiameter (Tabell 3), men båda gödslingsbehandlingarna visade en ungefärlig likvärdig tillväxtökning (Tabell 4). Tillväxtökningen resulterade i att virkesintäkten var högst och drivningskostnaden lägst per m^3fub för bionäringen (Tabell 6). Båda gödslingsbehandlingarna resulterade i ett lägre drivningsnetto jämfört med kontrollen, både per m^3fub och per ha (Figur 5 och Tabell 6). Att gödsla låga ståndorter av tall med stor kvävegiva är enligt denna studie inte att rekommendera, då resultaten visade att det inte är ekonomiskt försvarbart (Figur 5). Skillnader i beståndets egenskaper redan vid gödslingstillfället (Tabell 1) kan ha påverkat resultaten och därför behöver studien kompletteras med data från resterande bestånd i gödslingsförsöket för att säkerställa resultatet.

Referenser

- Arlinger, J., Möller, J.J., Sorsa, J.-A. & Räsänen, T. (2020). *Introduction to StanForD* 2010. <https://www.skogforsk.se:443/english/projects/stanford/stanford-2010/> [2023-09-14]
- Bergh, J. (1999). Fiberskog- Temaforskning om intensivt skogsbruk. *Fakta Skog*, 1999 (Nr 1)
- Berglund, D. (2023). *Biomassatillväxt och koldioxidinlagring med mineralnäring och bionäring i norra Sverige*. [Grundnivå, G2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/18912/> [2023-10-19]
- Bergsten, M. (2005). *Skogsmarksgödsling- en ekonomisk analys av olika gödslingsstrategier för ett skogsinnehav i norra Sverige*. Institutionen för skoglig resurshushållning. <https://stud.epsilon.slu.se/12362/> [2023-09-01]
- Elfving, B. & Tegnhammar, L. (1995). Varför ökar tillväxten? *Fakta Skog*, 1995 (18)
- Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in Northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25. <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- 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 (4), 1145–1156. <https://doi.org/10.3390/f6041145>
- Föreningen och tidningen skogen (u.å.). *svarvtimmer*. *Skogen*. <https://www.skogen.se/glossary/svarvtimmer/> [2024-03-30]
- Föreningen Skogen (u.å.). *skogsskötselåtgärd*. *Skogen*. <https://www.skogen.se/glossary/skogsskotselatgard/> [2023-12-08]
- Gutt, A. (2015). *100 procent finns inte*. Fri tanke förlag.
- Hanssen, K.H. & Bergsaker, E. (2017). *Gjødsling av skog*. 22 Norsk institutt for bioøkonomi. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2478830> [2024-03-31]
- Henriksson, G., Palm, O., Davidsson, K., Ljung, E. & Seger, A. (2012). *Rätt slam på rätt plats*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. https://wasterefinery.se/media/2016/02/WR41_slutrapport_120508.pdf
- Huettl, R.F. & Zoettl, H.W. (1992). Forest fertilization: Its potential to increase the CO2 storage capacity and to alleviate the decline of the global forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, 64 (1), 229–249. <https://doi.org/10.1007/BF00477104>
- Jacobson, S. (2019). *Tillväxteffekter av kvävegödsling i sydsvenska tallbestånd*. (ARBETSRAPPORT 1022-2019). <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2019/tillvaxteffekter-av-kvavegodsling-i-sydsvenska-tallbestand/> [2023-10-01]
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. (2005). *Skogsgödsling- en handledning från skogforsk*. Skogforsk.
- Jonsson, S.H. & Häggglund, J. (2017). *Skördarföräres och den skogliga variationens betydelse för sortimentsutbyte, längdfördelning och framtida*

- utbytesprognoser*. [Grundnivå, G2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/9952/> [2023-11-22]
- Lindkvist, A., Kardell, Ö. & Nordlund, C. (2011). Intensive Forestry as Progress or Decay? An Analysis of the Debate about Forest Fertilization in Sweden, 1960–2010. *Forests*, 2 (1), 112–146. <https://doi.org/10.3390/f2010112>
- Lund, Z.F. & Doss, B.D. (1980). Residual Effects of Dairy Cattle Manure on Plant Growth and Soil Properties. *Agronomy Journal*, 72 (1), 123–130. <https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200010025x>
- Lundbäck, J. (2011). *Stamtillväxt, biomassaproduktion och koldioxidbindning i Norrbotten efter gödsling med mineralnäring och bionäring i tallskog*. SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel. <https://stud.epsilon.slu.se/2241/> [2023-09-29]
- Lundgren, C. (2004). Intensivodling av gran. *Fakta skog*, 2004 (6)
- Lundmark, T. (2020). *Skogen räcker inte - hur ska vi prioritera?* <https://www.slu.se/ew-nyheter/2020/6/skogen-racker-inte---hur-ska-vi-prioritera/> [2023-09-01]
- Magnusson, T. (2015). *Skogsbruk- mark och vatten*. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogsskotselserien/> [2023-09-15]
- Mattias, S. (2021). *Här byggs norra halvklotets största massabruk*. <https://www.papperochmassa.se/20210504/3673/har-byggs-norra-halvklotets-storsta-massabruk> [2023-09-19]
- Melin, S. & Appelgren, V. (2018). *Utveckling av spridarmekanism för drönbaserad skogsvård: Från idé till färdigt koncept*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-355015> [2024-06-16]
- Miller, H.G. (1981). Forest Fertilization: Some Guiding Concepts. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 54 (2), 157–167. <https://doi.org/10.1093/forestry/54.2.157>
- Miller, R.E. & Fight, R.D. (1979). *Analyzing 'forest fertilization: study evaluates costs, benefits*. U.S. Department of Agriculture.
- Nilsen, P. (2001). Fertilization Experiments on Forest Mineral Soils: A Review of the Norwegian Results. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (6), 541–554. <https://doi.org/10.1080/02827580152699376>
- Nohrstedt, H.-Ö. (2001). Response of Coniferous Forest Ecosystems on Mineral Soils to Nutrient Additions: A Review of Swedish Experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (6), 555–573. <https://doi.org/10.1080/02827580152699385>
- Nord, G. (2018). *Tillväxteffekter för tall 33 år efter konventionell gallring och gödsling*. [Avancerad nivå, A2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/13218/> [2023-10-17]
- Padron-McCarthy, T. & Risch, T. (2018). *Databasteknik*. 2:1. Författarna och studentlitteratur.
- Persson, R. (2017). *Den globala avskogningen I går, i dag och i morgon*. (24). Institutionen för skogens produkter.
- 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>
- Pukkala, T. (2017). Optimal nitrogen fertilization of boreal conifer forest. *Forest Ecosystems*, 4 (1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0090-2>
- Sahlén, K. (2012). *Kolsänkor Norrbotten*. <https://docplayer.se/40199385-Kolsankor-norrboten.html> [2023-09-29]
- Sahlén, K., Söderström, M. & Mård, T. (2011). *Kväveberikning och skogsgödsling med torkat granulerat avloppsslam*. (2011–09). <https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/produkt/kvaveberikning-och->

skogsgodsling-med-torkat-granulerat-avloppsslam/?_t_id=vTQN2G14Js7tQtNVBI-8Ww%3d%3d&_t_uid=ZYEOGcPyT9CT3-VW0KRYNg&_t_q=Kv%3%a4veberikning+och++skogsg%3%b6dslin g+med+torkat++granulerat+avloppsslam&_t_tags=language%3asv%2csit eid%3ab47c99cb-a914-4f1b-8fba-9e4836a984f6%2candquerymatch&_t_hit.id=SvensktVatten_Web_Busine ss_Vattenbokhandeln_Core_VbhItem/Vattenbokhandeln_1355&_t_hit.pos =1

- SCA (u.å.). *Sälja virke*. SCA. <https://www.sca.com/skog/salja-virke> [2024-03-30]
- SCB (2021). *Så väntas Sveriges befolkning växa till 2070*. Statistiska Centralbyrån. <https://www.scb.se/pressmeddelande/sa-vantas-sveriges-befolkning-vaxa-till-2070/> [2023-09-01]
- Sheridan, R.C. (1979). Chemical Fertilizers in Southern Agriculture. *Agricultural History*, 53 (1), 308–318
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong, P. (2008). *Redogörelse- Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder hos Holmen Skog AB*. Skogforsk. (Redogörelse från skogforsk; Nr 2)
- Skogens Gödslings AB (u.å.). *Skogsgödsling för lönsamt skogsbruk*. SG Systemet. <https://sg-systemet.com/> [2023-11-04]
- Skogforsk (2019). *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2018 – ett utmaningarnas år*. <https://www.skogforsk.se:443/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2019/skogsbrukets-kostnader-och-intakter-2018--ett-utmaningarnas-ar/> [2024-08-03]
- Skogforsk (u.å.). *StanForD*. <https://www.skogforsk.se:443/english/projects/stanford/> [2023-08-30]
- Skogsindustrierna (2018). *Skogsindustrin investerar mest | Skogsindustrierna*. <https://via.tt.se/pressmeddelande/2333275/skogsindustrin-investerar-mest?publisherId=2236201> [2023-09-19]
- Skogskunskap (2020). *Skogsgödsling*. <https://www.skogskunskap.se:443/hansyn/vatten-och-mark/praktiska-rad-for-hansyn-till-vatten/skogsgodsling/> [2024-06-16]
- Skogskunskap (2023a). *Gödsling av skogen*. <https://www.skogskunskap.se:443/skota-barrskog/slutavverka/godsling/> [2023-09-15]
- Skogskunskap (2023b). *Hur påverkas skogen av gallring?* <https://www.skogskunskap.se:443/skota-barrskog/gallra/gallringens-grunder/hur-paverkas-bestandet-av-gallring/> [2024-05-01]
- Skogsstyrelsen (2012). Røjning. *Skogsskötselserien*, 2012 (6), 75
- Skogsstyrelsen (2022a). *Gallring*. <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/gallring/> [2023-10-17]
- Skogsstyrelsen (2022b). *Nytt omräkningstal från m3 fub till m3 sk för avverkningsberäkningar*. (2022/335)
- Skogsstyrelsen (2023a). *Att gödsla*. <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/godsling/att-godsla/> [2023-09-15]
- Skogsstyrelsen (2023b). *Kostnader i det storskaliga skogsbruket*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket/> [2023-11-02]
- Skogsstyrelsen (2023c). *Kraftig nedgång i skogsgödslingen 2022*. <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/kraftig-nedgang-i-skogsgodslingen-2022/> [2024-05-01]
- Skogsstyrelsen (u.å.). *Åtgärdsstatistik i skogsbruket*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/atgarder-i-skogsbruket/> [2024-03-30]

- Sveaskog (2022). Virkesprislista NORRBOTTEN OCH VÄSTERBOTTEN NR 136 INLAND (fast pris). Sveaskog. [2023-12-01]
- Svenskt trä (2021a). *Stammens uppbyggnad - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/stammens-uppbyggnad/> [2023-10-17]
- Svenskt trä (2021b). *Typer av sågverk - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/typer-av-sagverk/> [2023-10-17]
- Sveriges miljömål (u.å.). *Utsläpp av växthusgaser till år 2045 - Sveriges miljömål*. <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2045/> [2023-12-12]
- Turkington, R., John, E., Krebs, C. j., Dale, M. r. t., Nams, V. o., Boonstra, R., Boutin, S., Martin, K., Sinclair, A. r. e. & Smith, J. n. m. (1998). The effects of NPK fertilization for nine years on boreal forest vegetation in northwestern Canada. *Journal of Vegetation Science*, 9 (3), 333–346. <https://doi.org/10.2307/3237098>
- UC (2017). *Kalkylränta, diskonteringsränta eller avkastningskrav*. <https://www.uc.se/hjalp--kontakt/foretagsvardering/vad-betyder-avkastningskrav/> [2023-10-12]
- 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>
- Väätäinen, K., Sirparanta, E., Räisänen, M. & Tahvanainen, T. (2011). The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass and Bioenergy*, 35 (8), 3335–3341. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.09.006>
- Yara (2018). *Gödsling av skog*. <https://www.yara.se/vaxtnaring/skog/> [2023-10-11]
- Åkerman, L. (2018). *Jämförpriser september 2018. Skogen*. <https://www.skogen.se/nyheter/september-2018/> [2024-04-03]

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

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

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

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