



Lönsamhet i skogsmarksgödsling för privata markägare i norra Sverige

– En jämförelse av lönsamheten i två olika
gödslingsstrategier

*Profitability in forest fertilization for forest owners in Sweden –
A comparison of two different forest fertilization regimes*

Carl Sköld

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

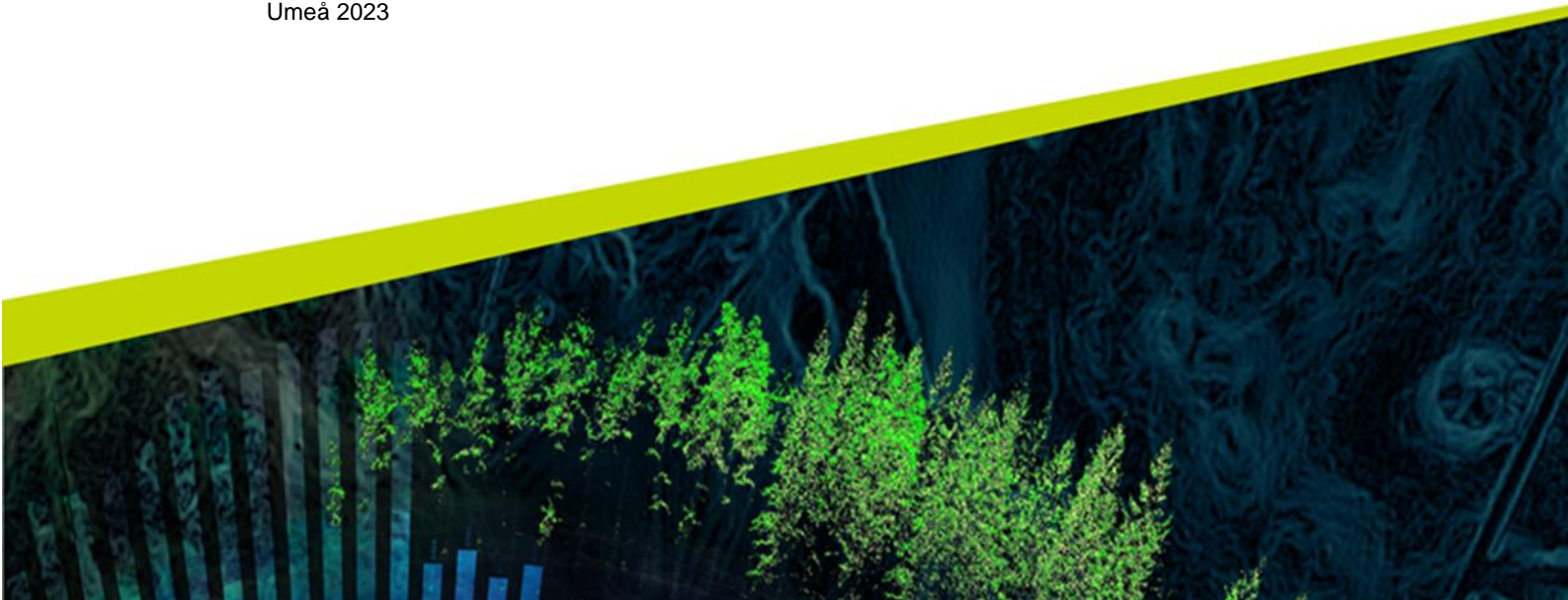
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogsekonomi

Examensarbeten • Nr 43

Umeå 2023



Lönsamhet i skogsmarksgödsling för privata markägare i norra Sverige – En jämförelse av lönsamheten i två olika gödslingsstrategier

Carl Sköld

Handledare: Peichen Gong, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsekonomi
Examinator: Camilla Widmark, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsekonomi
Extern handledare: Olof Falkeström, Norra Skog

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: A2E
Kurstitel: Examensarbete i företagsekonomi
Kurskod: EX0976
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogsekonomi

Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2023
Serietitel: Examensarbeten
Delnummer i serien: 43

Nyckelord/Keywords: annuitet, gödsling, internränta, klimatnytta, koldioxid, miljö, nettonuvärde, privat skogsägare, skogsbruk, växthusgas

annuity, carbon dioxide, climate benefit, environment, fertilization, forestry, greenhouse gas, internal rate of return, net present value, private forest owner

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogsekonomi

Sammanfattning

Idag involveras åtskilliga sektorer inom bioekonomin med skogsråvaran som bas, bland annat sektorer inom textilier, konstruktion, biopharma och kemikalier. Den globala efterfrågan på skogsråvaran är hög. Efterfrågan bemöts av minskat utbud av skogsråvaran med anledning av att skogsmark konverteras till jordbruksmark alternativt urbana områden. Det krävs därav att mer träråvara produceras på mindre areal och detta kan göras med produktionshöjande åtgärder. I denna studie läggs fokus på den produktionshöjande åtgärden skogsmarksgödsling, dels då åtgärden i tidigare forskning ansetts lönsam, dels då åtgärden kan anses positiv för klimatnyttan.

I Sverige förekommer stora arealer gödslingsbar skogsmark, men mer än hälften av denna gödslas ej. Privata markägare erhåller för lite kunskap gällande gödslingens lönsamhet samt miljöpåverkan. Målet med studien är således att konkretisera och förenkla rådgivningen, med privata markägare som uppdragsgivare, gällande lönsamheten i gödslingsåtgärden i olikbördiga beståndstyper. Syftet med studien är undersöka och kalkylera den traditionella skogsmarksgödslingens lönsamhet, men även att undersöka de ekonomiska konsekvenserna av en gödslingsstrategi där klimatnyttan prissätts. Definitionen av traditionell gödsling i denna studie är följande: gödsling sker tio år innan föryngringsavverkning, en intäkt sker följt av åtgärden, virkesintakten vid föryngringsavverkning. Gödslingen där klimatnyttan prissätts definieras i studien som klimatgödsling där gödsling sker två år efter första gallringen i en omloppstid. Två intäkter följs av åtgärden, en där den inbundna mängden koldioxid prissätts, tio år efter gödsling och en då virkesintakten realiserar vid föryngringsavverkning.

Studiens resultat är baserat på estimeringar av gödslingens påverkan på volymtillväxten med hjälp av prognosfunktioner, vilka i sin tur skapade basen för att utföra lönsamhetsbedömningar för de gödslingsstrategier som studien ämnade undersöka. Estimeringarna av volymtillväxten baseras på de ståndortsspecifika faktorerna ståndortsindex, altitud, latitud, gödselgiva och löpande tillväxt. Lönsamheten i gödslingsstrategierna bedömdes med nettonuvärdesmetoden, annuitetsmetoden och internräntemetoden. Känslighetsanalyser utfördes på faktorerna kalkylränta, virkespris och gödslingskostnad, med nyckeltalet nettonuvärde. Samtliga beräkningar utfördes i Microsoft Excel.

Lönsamhetsbedömningarna i studien visar att båda gödslingsstrategierna är lönsamma enligt samtliga metoder. Gödslingsstrategin där klimatnyttan prissätts är mer lönsam vid en jämförelse med den traditionella gödslingsstrategin i samtliga undersökta beståndstyper enligt nettonuvärdesmetoden och annuitetsmetoden. Lönsamheten för de båda gödslingsstrategierna enligt internräntemetoden är mer varierat gällande vilken gödslingsstrategi som är mest lönsam. Gödslingsstrategin där klimatnyttan prissätts visar sig vara mer känslig till förändringar i omvärldsfaktorer enligt känslighetsanalysen.

Resultatet i studien bidrar till en konkretisering av lönsamheten i skogsmarksgödsling då lönsamhet beskrivs i lättförståeliga termer som kan förstås

av gemene man, vilket i sin tur förenklar rådgivningen. De ekonomiska konsekvenserna av en gödslingsstrategi där klimatnyttan prissätts visar en högre lönsamhet men även en högre risk jämfört med traditionell gödsling. Det förekommer därav positiva ekonomiska incitament gällande skogsmarksgödsling där klimatnyttan prissätts vilket i sin tur motiverar utökandet och utvecklingen av en fungerande marknad för klimatkompensation där skogsgödslingens klimatnytta kompenseras.

Nyckelord: annuitet, gödsling, internränta, koldioxid, klimatnytta, miljö, nettonuvärde, privat markägare, produktionshöjande, skogsbruk, växthusgas

Summary

Today, several sectors are involved in the bioeconomy with tree-based products as a foundation, including sectors within textile, construction, biopharma and chemicals. The global demand for tree-based products is high. The demand is encountered by a decreasing supply of tree-based products with cause of forest land being converted to agricultural land alternatively urban areas. More raw tree material is therefore required to be produced on smaller area, this is possible due to production-enhancing activity. This study will focus on the production-enhancing activity forest fertilization, firstly since the activity have been proven profitable and secondly since the activity is considered positive for the climate benefits.

There are major fertilizable forest areas in Sweden, and more than half of the area isn't fertilized. Private forest owners obtain vague knowledge considering the profitability and environmental impact of forest fertilization. The goal of the study is therefore to concretize and simplify the counselling of the forest fertilization measure, with private forest owners as clients, concerning the profitability in forest fertilization different forest stands (i.e., fertility and tree species). The purpose of the study is to investigate and calculate the traditional forest fertilization regime, but also to investigate the economic consequences of a forest fertilization regime where the climate benefit is priced. In this study, the definition of a traditional forest fertilization regime is following: forest fertilization is performed ten years before final felling, one revenue takes place after the measure, the timber revenue at the final felling. The forest fertilization whereas the climate benefit is priced is defined as climate forest fertilization where forest fertilization is performed two years after the first thinning in a forest life cycle. Two revenues are followed by the measures, one where the carbon sequestration is priced, ten years after forest fertilization, and one where the timber revenue is realized at the final felling.

The result of the study is based on estimates with forecast functions of the forest fertilization's influence on volume growth, which in turn generated the base to perform the profitability assessment for the different forest fertilization regimes the study intended to investigate. The estimates of volume growth are based on the stand specific factors stand index, altitude, latitude, fertilizer quantity and current annual increment. The profitability of the two different forest fertilization regimes was assessed with net present value, annuity, and internal rate of return. Sensitivity analyses was conducted on the factors interest rate, timber price and the cost of fertilization, with the key figure net present value. All calculations were carried out in Microsoft Excel.

The profitability assessments in the study shows that both forest fertilization regimes are profitable according to all profitability assessment methods. Climate forest fertilization is more profitable when comparing to the traditional forest fertilization regime in all investigated stands according to the net present value and annuity method. The profitability according to internal rate of return is more varied. Climate fertilization turns out to be more sensitive to changes in external factors according to the sensitivity analysis that was carried out in the study.

The results of the study contribute to a concretization of the profitability of forest fertilization as profitability is described in easy-to-understand terms that can be understood by the common man or woman, which in turn simplifies the counselling. The economic consequences of a fertilization strategy where climate benefits are priced show a higher profitability but also a higher risk compared to traditional fertilization. There are therefore positive economic incentives regarding forest fertilization where the climate benefit is priced, which in turn justifies the expansion and development of a functioning market for climate compensation where the climate benefits of forest fertilization are compensated.

Keywords: *annuity, carbon dioxide, climate benefit, environment, fertilization, forestry, greenhouse gas, internal rate of return, net present value, private forest owner*

Förord

Examensarbetet har utförts tillsammans med Norra Skog och syftar främst till att förenkla rådgivningen för den skogliga åtgärden skogsmarksgödsling. Idén utvecklades i samråd med skogsskötselspecialist Olof Falkeström på Norra Skog. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts höstterminen 2022/2023 vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå för Institutionen för skogsekonomi.

Jag vill rikta ett varmt stort tack till min handledare Peichen Gong vid institutionen för skogsekonomi på SLU för allt stöd, alla möten och all feedback under arbetets gång. Jag vill även tacka min externa handledare Olof Falkeström på Norra Skog för idén och all data som har lett till att studien kunde genomföras. Till sist vill jag även tacka VD Erik Nillius på The Forest Solution som har ställt upp på möte och inspirerat mig gällande marknaden för klimatkompensation.

Umeå, onsdag den 18 januari 2023

Carl Sköld

Innehållsförteckning

1	Inledning	12
1.1	Bakgrund	12
1.2	Problem	13
1.3	Syfte och forskningsfrågor	13
1.4	Avgränsningar och antaganden	14
1.5	Struktur för examensarbetet	15
2	Bakgrund	16
2.1	Skogsmarksgödsling av fastmark.....	16
2.1.1	Gödslingens påverkan på det enskilda trädet.....	16
2.1.2	Miljöaspekter	17
2.1.3	Ekonomiska aspekter	18
2.1.4	Klimataspekter.....	19
2.1.5	Krav och rekommendationer vid skogsmarksgödsling i Sverige	22
2.1.6	Skogsmarksgödsling och certifiering	24
2.2	Klimatkompensation och additionalitet	25
2.3	Prognosfunktioner för gödslingens volympåverkan	27
3	Teori	28
3.1	Investeringskalkylering	28
3.2	Nettonuvärdesmetoden	29
3.3	Internräntemetoden	31
3.4	Benefit/cost-ratio.....	32
3.5	Paybackmetoden	32
3.6	Metodval för lönsamhetsbedömningar inom skogsbruket.....	33
4	Metod.....	36
4.1	Forskningsansats	36
4.2	Undersökningsenhet.....	36
4.3	Beskrivning och antaganden till gödslingsstrategierna	37
4.4	Data	38

4.4.1	Bakgrund till prognosfunktionen för estimering av gödslingseffekt på tillväxten efter fem år	42
4.4.2	Bakgrund till prognosfunktioner för estimering av total gödslingseffekt på volymtillväxt och dess varaktighet	44
4.4.3	Validitet och tillämpning av prognosfunktionerna.....	46
4.5	Arbetsprocess.....	47
4.5.1	Beräkning av uppskattad volympåverkan vid gödsling	47
4.5.2	Beräkning av uppskattad varaktighet av gödslingseffekten	48
4.5.3	Förberedande arbete till lönsamhetsberäkning.....	48
4.5.4	Beräkning av nettonuvärde och annuitet	49
4.5.5	Beräkning av internränta	50
4.6	Ekonomiska känslighetsanalyser	50
5	Resultat	51
5.1	Estimerad volympåverkan	51
5.2	Lönsamhet.....	52
5.3	Känslighetsanalyser	55
6	Diskussion	58
6.1	Volymtillväxt.....	58
6.2	Lönsamhet i gödslingsmetoderna	58
6.3	Klimatgödsling i praktiken.....	61
6.4	Känslighetsanalyser	63
6.5	Metod och Data	64
7	Slutsatser.....	66
7.1	Fortsatt forskning.....	67
	Referenser.....	68

Tabellförteckning

Tabell 1 Antal hektar certifierad produktiv skogsmark i Sverige mellan åren 2016 och 2021 (Skogsstyrelsen 2022c)	25
Tabell 2 Bedömningsregel för acceptans samt fördelar och nackdelar för olika metoder att bedöma lönsamheten med vid accept/reject-analyser enligt Klemperer (1996) och Bullard och Straka (2011)	34
Tabell 3 Funktion för att estimerar tillväxteffekten av skogsgödsling efter fem år (E_5). Beroende variabel, log gödslingsrespons ($m^3sk. ha^{-1} 5 \text{ år}^{-1}$) (Pettersson 1994b)	39
Tabell 4 Funktion för att estimerar gödslingens totala påverkan på skogstillväxten (E). Beroende variabel (E), log gödslingsrespons ($m^3sk. ha^{-1}$) (Pettersson, 1994a)	40
Tabell 5 Funktion för att estimerar varaktigheten av gödslingseffekten i ett bestånd efter en skogsmarksgödsling. Beroende variabel, log varaktighet (år) (Pettersson, 1994a)	41
Tabell 6 Relativ förändring av totalt virkesförråd i ett gödlat och ogödlat bestånd för respektive ståndortsindex	51
Tabell 7 Jämförelse av intäkter av virkesvärdet och för inbunden koldioxid under en omloppstid på 96 år vid på ståndort T20, med nuvärde vid år 0 och odiskonterat värde. Virkesvärdet diskonteras under hela omloppstiden (96 år) och intäkten för koldioxid diskonteras 58 år. Virkesvärdet är lika för båda gödslingsstrategierna då virkesvärdet är diskonterat till samma tidpunkt (år 0), således beskrivs virkesvärdet för båda gödslingsstrategierna och intäkten för koldioxid för klimatgödsling	59

Figurförteckning

Figur 1 Disposition av examensarbetet	15
Figur 2 Växthusgasbalansen och de processer som påverkar flödet av växthusgaser i ett ekosystem vid tillförsel av kväve (N). Den röda linjen i figuren illustrerar marknivån. Figuren är producerad i studien och inspirerad av Shrestha et al (2015).....	19
Figur 3 Områdesindelning för olika begränsning av skogsgödsling (Skogsstyrelsen 2022b).	23
Figur 4 Översiktlig illustration av arbetsgången	47
Figur 5 Totalt virkesförråd vid slutavverkningstidpunkten för respektive ståndort, med gödsling och utan gödsling. Skillnaden mellan ett bestånd med gödsling och utan gödsling redovisas även i figuren. Volympåverkan vid klimatgödsling och traditionell gödsling var identiska med en decimal, därav redovisas endast en gödsling ”Gödslad”, vilket motsvarar båda gödslingsmetoderna.	51
Figur 6 Nettonuvärde för traditionell gödsling och klimatgödsling vid respektive ståndort där nuvärdena (kostnader och intäkter) är diskonterade till år 0, början av omloppstiden.	52
Figur 7 Annuitet (EAI) för traditionell gödsling och klimatgödsling för respektive ståndort .	53
Figur 8 Internränta för traditionell gödsling och klimatgödsling vid respektive ståndort	54
Figur 9 Annuitet för investeringar i traditionell gödsling och klimatgödsling på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika kalkylräntor (1,5%, 2,0%, 2,5% (referens), 3,0% och 3,5%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien (2,5%). TG = Traditionell Gödsling, KG = Klimatgödsling	55
Figur 10 Nettonuvärde för investeringar i traditionell gödsling och klimatgödsling på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika virkespriser (-30%, -15%. 0% (referens), 15% och 30%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien. Virkesprisförändringarna omfattar timmer och massaved och exkluderar förändringar i eventuella premier. TG = Traditionell Gödsling, KG = Klimatgödsling	56
Figur 11 Nettonuvärde för investeringar i traditionell gödsling och klimatgödsling på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika kostnader för total gödslingskostnad (-50%. -25%, 0% (referens), 25% och 50%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien. TG = Traditionell Gödsling, KG = Klimatgödsling	57

1 Inledning

Följande kapitel avser att ge läsaren en introduktion i form av problembakgrund, problemförklaring, syfte, forskningsfrågor och avgränsningar. Läsaren ges även en översiktlig bild av strukturen för studien.

1.1 Bakgrund

Bioekonomi definieras, enligt Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2019), som “the production, utilization and conservation of biological resources, including related knowledge, science, technology and innovation, to provide information, products, processes and services across all economic sectors aiming towards a sustainable economy”. I takt med en ökad mänsklig population i kombination med en målbild om ett klimatanpassat samhälle ställs högre krav på produktionen från skogen och bioekonomin (Winkel 2017). Till skillnad från de traditionella sektorerna inom bioekonomin där skogsbruk, papper och träprodukter var i fokus är det idag åtskilliga inblandade sektorer (*Ibid.*). Bioekonomin har drivit utökandet av inblandade sektorer då vetenskapen om skogen, samt nyttjande och förädling av dess råvara har ökat under senare tid. Winkel (2017) menar att på grund av skogsråvaran är sektorer som konstruktion, textilier, kemikalier och biopharma en del av den växande bioekonomin. Resultatet av en utökad bioekonomi innebär en ökad global efterfrågan på skogsråvaran (*Ibid.*).

Den ökande globala efterfrågan på skogsråvara blir bemött av ett minskat råvaruutbud med anledning av att skogsmark konverteras till jordbruksmark, alternativt urbana områden (Foley *et al.* 2005). Den globala minskningen av arealen skogsmark innebär att skogsbranschen behöver vidta produktionshöjande åtgärder på skogsmarken i syfte att producera mer biomassa på mindre areal för att möta den ökade efterfrågan. Det förekommer flertalet alternativa produktionshöjande åtgärder inom skogsbruket. Nyttjande av främmande trädslag, trädslagsförädling, dikesrensning, skyddsdikning och skogsgödsling är exempel på skogliga åtgärder som används i Sverige för att höja produktionen av biomassa på skogsmark (Falkeström *et al.*, 2018).

Skogsgödsling är den produktionshöjande åtgärd som ökar volymen biomassa snabbast på kort sikt (Falkeström *et al.*, 2018; Jacobsson & Pettersson, 2010). Skogsgödsling kan därmed bli en ekonomiskt lönsam affär för markägare om den sker i rätt typ av bestånd, i rätt tid och på rätt sätt (Larsson *et al.*, 2009). Skogsgödsling med rätt mängd gödsel och beståndsegenskaper öka beståndsvolymen per hektar med 10-20 m³sk inom tio år (Hedwall *et al.* 2014; Thuresson 2002). Gödselinvesteringens förräntning kan således ligga inom intervallet 10–20 %, per år, vilket jämfört med andra skogliga produktionshöjande investeringar är svårslaget (Hedwall *et al.* 2014). En annan effekt av gödsling är dess inverkan på klimatet då kolbindningen i träden kan öka i samband med att biomassan i träden ökar (Sathre *et al.* 2010). Skogsgödsling är däremot kopplat till risker och oro för den lokala miljön med hänsyn till kväveläckage i grundvatten (Binkley *et al.* 1998). Gödslingens påverkan på biodiversiteten med avseende gödslingens influens på artkompositionen i den framtida markvegetationen är även en risk enligt forskare (Strengbom & Nordin 2008). Jacobson (2005) menar dock att skogsgödslingens miljö- och biodiversitetspåverkan är minimal om den utförs på ett korrekt sätt samt följer Skogsstyrelsens råd. År 2022 beslutade regeringen att Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) skall få i uppdrag att studera möjligheterna till en miljöanpassad skogsgödsling. Fokus skall

ligga på åtgärder vilka syftar till att minska skogsgödslingens påverkan på miljön samt den biologiska mångfalden, i syfte att öka arealen gödslingsbar skogsmark (Näringsdepartementet 2022a).

1.2 Problem

I Sverige gödslas det idag för lite i förhållande till arealen gödslingsbar skogsmark (Falkeström *et al.*, 2018). År 2021 gödslades ca 43 000 hektar skogsmark i Sverige enligt Skogsstyrelsen (2022c). Falkeström *et al.*, (2018) bedömde år 2018 att den uppskattade gödslingsbara arealen skogsmark uppgår till 100 000 hektar i Sverige.

Flertalet intressenter kan vara intresserade av att öka skogsmarksgödslingens omfattning i Sverige, beroende på deras mål med skogen. Privata skogsägares intresse till skogsbruket har genom tiderna legat i personliga och ekonomiska värden (Westoby 1989). Skogssektorns intresse ligger i att öka omsättningen av träbaserade råvaror för att uppnå den prognostiserade ökade efterfrågan av biomassa (Skånberg *et al.* 2016). Svenska staten har ett intresse av att stärka bioekonomin och Sveriges roll i den globala klimatomställningen (Näringsdepartementet 2022a). Skogsmarksgödsling kan således spela en stor roll för de privata skogsägarna, skogssektorn samt svenska staten då gödslingen kan bidra till respektives intressents mål, både klimatmål och de ekonomiska målen. Intresset för ökad användning av skogsgödsling bör därför vara stor, vilket gör att denna studie blir högst aktuell.

Denna studie riktas mot ett privat markägarperspektiv och dess ekonomiska mål. I en enkätstudie utförd av Carlgren (2014) framkom det att nästan nio av tio privata markägare som tidigare tillämpat skogsgödsling betraktade gödslingen som en lönsam investering. För de privata markägarna som inte tillämpat skogsgödsling tidigare var de största anledningarna till att inte gödsla skogen generell kunskapsbrist om gödslingen, dess lönsamhet och miljöeffekter. Carlgrens (2014) studie avgränsades geografiskt till Västerbotten och erhöll 252 respondenter, vilket gör att resultatet från studien inte går att generalisera för Sveriges samtliga skogsägare. Däremot ger resultatet en indikation att privata skogsägare innehar en kunskapsbrist gällande skogsmarksgödsling, vilket leder oss till studiens syfte.

Då den gödslingsbara arealen skogsmark är mer än dubbelt så stor som den skogsmark som faktiskt gödslas idag finns det således potential att öka den gödslade arealen i Sverige. De privata markägarna erhåller för lite kunskap om skogsmarksgödsling för att vilja gödsla. Det förekommer indikationer om ett kunskapsglapp hos privata markägare gällande skogsgödslingens ekonomiska påverkan och en rädsla med hänsyn till gödslingens potentiella miljöeffekter.

1.3 Syfte och forskningsfrågor

Studien syftar till att identifiera och kalkylera lönsamheten för en privat markägare vid investering i en standardiserad gödslingsstrategi (traditionell gödsling). Studien undersöker även de ekonomiska konsekvenserna av en alternativ gödslingsstrategi vilken ämnar bidra till klimatnyttan av skogsmarksgödsling (klimatgödsling), nämligen genom klimatkompensation till en privat markägare. Lönsamheten i de båda gödslingsstrategierna kommer jämföras.

Lönsamhetsbedömningen sker med givna virkespriser och produktionsdata, på olika ståndorter med hänsyn till beståndsdata.

Målet med studien ämnar bidra till konkretisering av rådgivningen gällande skogsmarksgödslingens ekonomiska perspektiv mellan en privat markägare som uppdragsgivare och en skoglig rådgivare inom en skoglig organisation.

För att uppfylla syftet kommer följande forskningsfrågor besvaras:

- Hur är lönsamheten i traditionell gödsling och klimatgödsling?
- Hur skiljer sig lönsamheten mellan traditionell gödsling och klimatgödsling inom respektive ståndort?
- Vilka ekonomiska konsekvenser (möjligheter och risker) medför klimatgödsling för en privat markägare?
- Förekommer det ekonomiska incitament för att motivera klimatgödsling som gödslingsstrategi för en privat markägare?

1.4 Avgränsningar och antaganden

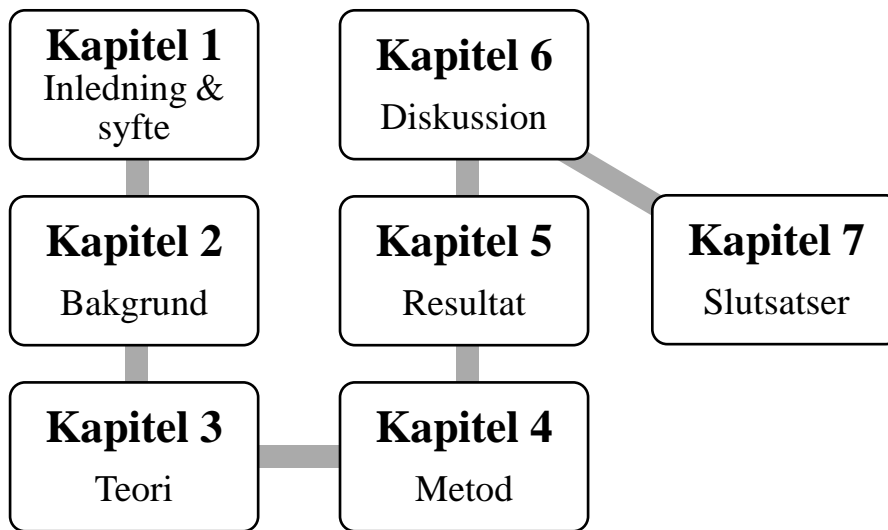
Studien avgränsades till skogsmarksgödsling i norra Sverige, detta då skogsgödsling har olika begränsningar i olika delar av Sverige. Studien avgränsades även till att endast undersöka gödslingens påverkan på tall- och granbestånd på fastmark med anledning av att dessa beståndstyper är de som gödglas i konventionellt skogsbruk i Sverige. Virkespriser, avverkningskostnader och skogsvårdskostnader begränsades till undersökningsenhetens data. Studien fokuserade på två olika gödslingsstrategier, traditionell gödsling och klimatgödsling, vilka beskrivs nedan.

Definition av de två gödslingsstrategierna i studien:

1. ”Traditionell gödsling” – Skogsmarksgödsling sker en gång under ett bestånds omloppstid, tio år innan planerad slutavverkning. Vinsten av gödslingen realiseras vid förnyringsavverkning.
2. ”Klimatgödsling” – Skogsmarksgödsling sker en gång under omloppstiden, två år efter första gallring. För att gödslingen skall vara möjlig krävs att kravet på additionalitet av gödslingsåtgärden uppfylls. Vinsten baseras på två intäktsstillfällen. En intäkt betalas utifrån mängden verifierad inbunden koldioxid då varaktigheten av gödslingseffekten ebbat ut. En annan intäkt betalas ut till markägaren då virkesvärdet realiseras vid förnyringsavverkningen likt traditionell gödsling.

1.5 Struktur för examensarbetet

I *Figur 1* presenteras den disposition examensarbetet följer.



Figur 1 Disposition av examensarbetet.

Kapitel 1 presenterar bakgrunden till det definierade problemet, det syfte och de forskningsfrågor studien ämnar besvara är sedan formulerade. *Kapitel 2* beskriver bakgrunden till det fenomen studien kretsar kring, skogsmarksgödsling. Vad är skogsmarksgödsling och hur påverkar gödslingen klimatet, den biologiska mångfalden, skogsägarnas ekonomi och förekommer det några begränsningar för skogsmarksgödsling? Dessa frågor är relevanta för studiens syfte och besvaras därmed i bakgrundskapitlet. I *kapitel 3* beskrivs det teoretiska ramverket bakom lönsamhetsbedömningar och de metoder som är möjliga att använda vid kalkylering och bedömning av lönsamhet inom skogsbruket. *Kapitel 4* består av en redovisning av den metod som använts i studien. En genomgång av arbetsgången redovisas i kapitlet där läsaren ges möjligheten att förstå hur resultatet producerades. I *kapitel 5* presenteras resultatet. I *kapitel 6* diskuteras och resoneras studiens resultat och metod. Resultatet jämförs även med tidigare studier inom ämnet. I *Kapitel 7* presenteras hur studiens resultat bidrar till att uppfylla syftet men också hur det kan användas i framtiden. Sedan sammanställs även de viktigaste resultaten och förslag på vidare studier presenteras.

2 Bakgrund

I följande kapitel beskrivs bakgrunden till studien i syfte att ge läsaren en inblick i hur skogsmarksgödsling påverkar vissa faktorer men även hur gödslingen regleras.

2.1 Skogsmarksgödsling av fastmark

Redan i början på 1900-talet var det känt att en ståndorts naturgivna produktionsförmåga inte behöver stämma överens med den faktiska produktionen på skogsmarken (Wahlgren 1914). Wahlgren (1914) beskrev flertalet skötselåtgärder som ökar produktionsförmågan i ståndorten. I Skandinavien är det generellt sätt låg kvävetillgänglighet i skogsmark (Binkley & Högberg 1997), vilket är en av de faktorer som begränsar tillväxten i skogen (Jacobson 2005). För att öka kvävehalten och därmed den faktiska produktionsförmågan, är gödsling av skogsmark ett alternativ. Vid skogsmarksgödsling tillförs vanligtvis växttillgängligt kväve i form av ammoniumnitrat (NH_4NO_3) (*Ibid.*), alternativt som aminosyror (Persson 2000). I praktiken utförs skogsmarksgödsling med helikopter eller traktor, valet beror på hur stor areal som skall gödslas (Jacobson 2005). Gödselgivan (mängden gödselmedel) per hektar är beroende av beståndets bördighet, i vanliga fall utgår det konventionella skogsbruket från 150 kg kväve (N) per hektar, mindre på bördiga marker (ståndortsindex över 24) och mer på svaga marker (ståndortsindex 16–24) (*Ibid.*). För att tillgodogöra nyttan av skogsmarksgödslingen är det lämpligt att gödsla minst tio år innan förnygringsavverkning, i syfte att ej avverka under tillväxteffekten av skogsmarksgödslingen (Falkeström *et al.* 2018).

2.1.1 Gödslingens påverkan på det enskilda trädet

Vid skogsmarksgödsling ökar halten kväve i marken. Rent fysiologiskt ger den ökade halten kväve i marken upphov till ökad mängd barrmassa och mer effektiv barrmassa hos träden (Näslund *et al.* 2013). I och med ökad barrmassa ökar fotosyntesen och därmed volymproduktionen (*Ibid.*). Skogsmarksgödsling är vanligtvis associerat med barrskog då de konventionella barrträdens fotosynteserande delar har längre livslängd än lövträdens. Granens (*Picea abies*) barr har en livslängd på 5 till 10 år och tallens (*Pinus sylvestris*) barr har en livslängd på 3 till 5 år, dessa kan jämföras med björkens (*Betula*) löv som har en livslängd på ett år (*Ibid.*). I praktiken innebär det att björkens tillväxtreaktion blir både lägre och mer kortvarig, detta då depån av extrakväve i löven töms årligen vid lövfällning (Möller & Jonsson 1976; Sonesson *et al.* 2021). Då granbarr generellt har en längre livslängd än tallbarr medför det även att tillväxteffekten av gödsling är något mer uthållig för gran, vilket även har bevisats i anlagda försök (Näslund *et al.* 2013).

Den ökade mängden kväve i marken stimulerar till viss del trädens fördelning av resurser mellan ovan – och underjordiska delar (Näslund *et al.* 2013). Näslund *et al.* (2013) studerade proportionerna mellan delarna ovan och under mark efter skogsmarksgödsling. Studien fastställde att en något större del av tillväxten allokeras i delarna ovan mark, d.v.s. grenar, stam och barr. I studien konstaterade även Näslund *et al.* (2013) att skogsmarksgödsling inte har någon inverkan på proportionerna ovan mark hos träden, höjd- och diametertillväxten fördelas på samma sätt som träd vilka ej har gödslats. Skogsbeståndets och trädens reaktion på skogsmarksgödsling är jämförbar med den tillväxteffekt en gallring medför på beståndet (Larsson *et al.* 2009).

Saikku (1975) undersökte gödslingens effekt på diametertillväxten hos träd, gödselgivan varierade mellan 100–200 kg N per ha⁻¹ i försöken. Resultatet visade en årlig medelökning i årsringsbredden mellan 0,3–0,5 mm. Den största årliga ökningen av årsringsbredd ägde rum det tredje eller fjärde året efter gödslingen (Saikku 1975).

Årsringarna i en trädstam är uppbyggda av sommarved och vårved. Sommarveden innehåller celler med tjocka cellväggar vilket ger en högre densitet och vårveden innehåller celler med tunna cellväggar vilket ger en lägre densitet. Det som sker rent biologiskt de första åren efter en gödsling är att proportionerna mellan sommarved och vårved ökar, mer vårved med låg densitet och mindre sommarved med hög densitet (Saikku 1975). Enligt Saikku (1975) sker därav en densitetsminskning på det slutavverkningsbara trädet med 1-4 %, jämfört med ett ogödslat träd.

En vanligt förekommande risk i samband med skogsmarksgödsling är trädens ökade utsatthet för vindskador (Kellomäki 2022). En ökad mängd barr och tillväxt i de övre delarna av trädet resulterar i ett ökat upptag av vind (*Ibid.*). Kellomäki (2022) menar att risken för vindskador kan fördubblas redan efter fem år. Yngre skog i gallringsfas löper större risk för vindskador än äldre skog (*Ibid.*). Risken för toppbrott (snöskador) efter gödsling ökar av samma anledning som för vindskador (Valinger & Fridman 2000).

2.1.2 Miljöaspekter

En miljöaspekt kopplad till skogsgödsling är gödslingens påverkan på biodiversitet och artkompositionen i skogsmarken (Kellner 1993; Strengbom & Nordin 2008). Ekosystemen i norra Sverige är ofta associerade med olika typer av lavar, mossor och ljungväxter och sällan associerade med vaskulära växtarter. Ljungväxterna har en stor roll i skogsekosystemen i Sverige, dels då de omsätter näringsämnen och kol (Nilsson & Wardle 2005) och dels för de är viktiga källor till mat för vissa vilda djur, till exempel tjäder och älg (Selås 2001; Selås *et al.* 2010). Ljungväxter agerar således som nyckelarter i de boreala skogarna, en påverkan på dessa arter kan därav påverka biodiversiteten i hela skogen.

Artfrekvensen är relativt låg i boreala skogar jämfört med andra bördigare, tempererade skogstyper. Skogsmarksgödsling har olika effekt på artfrekvensen i boreala skogar med olika bördighet (Strengbom & Nordin 2012; Hedwall *et al.* 2013). Gödsling orsakar att artfrekvensen generellt minskar i bördigare skogar och i skogar med svagare marker blir artfrekvensen mindre påverkad, i vissa fall kan den till och med öka (*Ibid.*). Däremot ökar antalet vaskulära individer vid gödsling av en mindre bördig skog (Mäkipää 1994). En mindre bördig skog kan således ge intrycket av att den är mer bördig då florans ändras från att främst bestå av ljungväxter till att i större grad bestå av vaskulära växttyper, till exempel örter och olika grästyper (*Ibid.*).

Det råder tvetydigheter gällande varaktigheten av gödslingens effekt på markfloran. Äldre forskning påvisar att florans förändringar direkt efter gödsling är temporär och efter tio år förekommer få vaskulära växter (Nohrstedt 1998). Senare forskning har dock påvisat att markvegetationen i bestånd som har gödslats i yngre ålder och därefter förnygringsavverkats och planterats i senare ålder erhåller lägre andel ljungväxter och högre andel gräs och örter än bestånd som ej gödslats och sedan förnygringsavverkats (Strengbom & Nordin 2008). Gödslingseffekten på markvegetationen kan därav kvarstå längre i de fall beståndet förnygringavverkas efter tio år efter skogsgödsling.

Då renbete är aktuellt i norra Sverige har forskare studerat gödslings påverkan på marklavar (Kivinen *et al.* 2010). Gödslingsåtgärden minskar volymen marklavar i skogen, oberoende storleken på gödselgivan och markens produktionsförmåga (Eriksson & Raunistola 1993; Kellner 1993). Skogsmarksgödslings påverkan på hänglavar och mossor är dessvärre mindre studerad (Jacobson *et al.* 2020).

En annan förekommande miljörisk i samband med skogsgödsling som inte enbart påverkar det enskilda beståndet är kväveläckage i grundvatten och i ekosystem (Binkley *et al.* 1998; Nordin *et al.* 2009). Skogsgödsling kan bidra till att nitrifikationsprocessen i marken blir intensivare vilket leder till en ökad halt av nitrat i marken (Jacobson 2005). Nitrat är en kvävesammansättning som bidrar till övergödning i vattendrag i samband med kväveläckage (Gundersen *et al.* 2006). Kväveläckage sker då gödslingsmedlet överdoseras i skogsmark (Jacobson 2005). En studie av Bergh *et al.* (2008) indikerade att det inte är den ackumulerade mängden gödslingsmedel som påverkar risken för kväveläckage då gödslingsmedel tillförs flera gånger under en rotationsperiod, det är snarare storleken på engångsgivan gödselmedel som kan vara avgörande om läckage sker. Studien visade dock att kväveläckaget var relativt liten i samband med skogsgödsling i förhållande till det som redan sker.

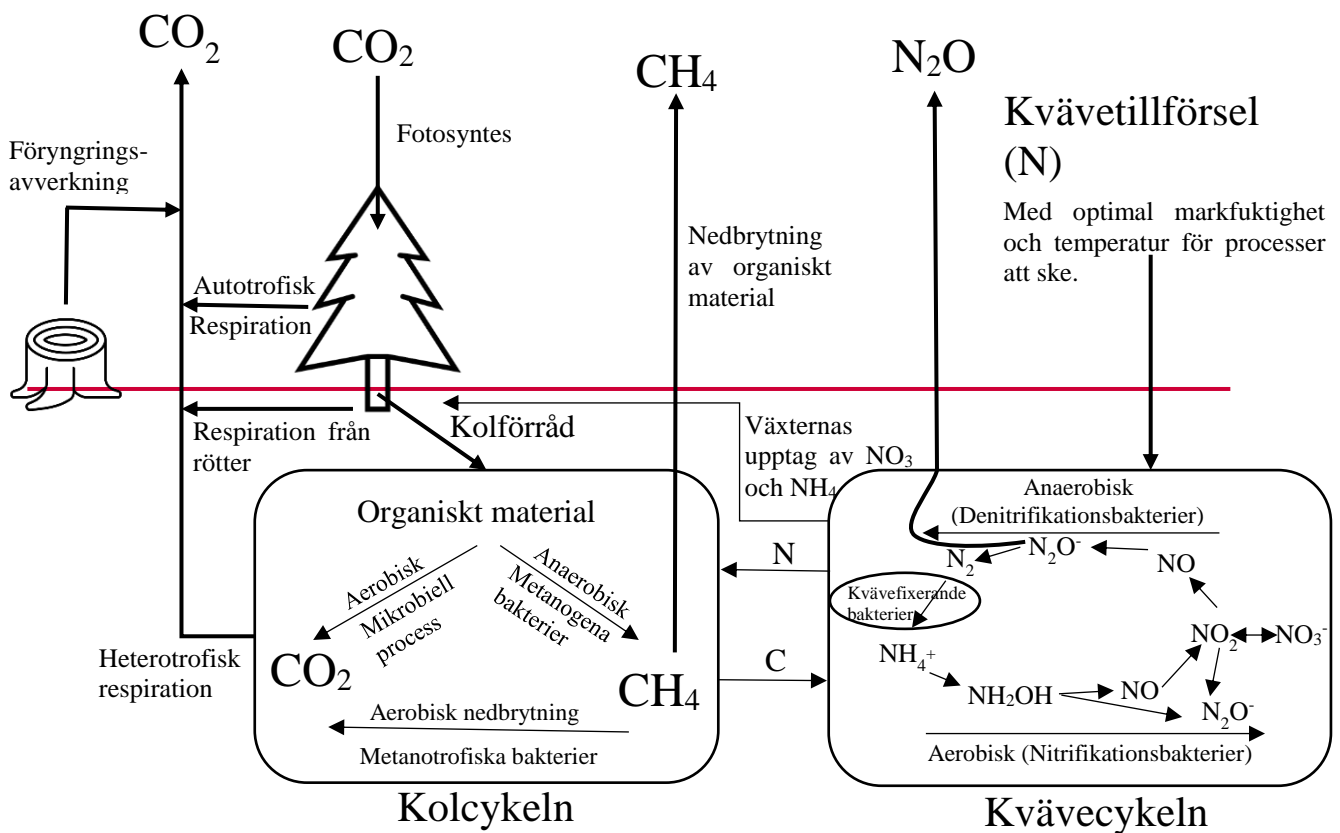
2.1.3 Ekonomiska aspekter

Gödslings ekonomiska aspekter är influerat av en mängd faktorer. Enligt Hedwall *et al.* (2014) är kostnaden för material samt spridning av gödselmedel, virkespriset vid avverkningsstidpunkten, tidpunkt för gödsling, volymökning samt ränta faktorer som påverkar ekonomin i skogsgödsling. Val av gödslingsmetod och ståndort för gödsling influerar också det ekonomiska utfallet (*Ibid.*). Den främst förekommande gödslingsmetoden i det svenska skogsbruket är konventionell gödsling (*Ibid.*). Strategin innebär att gödslingsmedel tillförs en eller flera gånger, med tio års intervall och sista gödslingen sker ca tio år innan slutavverkning (Larsson *et al.* 2009). Den konventionella gödslingsmetoden kan öka ett bestånds volym med 10 till 20 m³sk per hektar, per gödsling (Thureson 2002; Hedwall *et al.* 2014). Då volymökningen sker inom tio år kan internräntan på en enskild gödslingsinvestering uppgå till 15%, vilket gör att konventionell gödsling kan betraktas som den mest lönsamma investeringen i skogliga sammanhang (Jacobsson & Pettersson 2010; Simonsen *et al.* 2010). Skogsgödslingen påverkar också lönsamheten för maskinerna under slutavverkningen i ett bestånd. Då en gödsling sker ökar andelen timmer i beståndet och avverkningskostnaden per m³ minskar (Rummukainen *et al.* 1995).

Pukkala (2017) och Routa *et al.* (2019) har båda undersökt lönsamheten i skogsmarksgödsling och fastställt att åtgärden är lönsam för en skogsägare. Genom simuleringar undersökte Routa *et al.* (2019) hur olika skogsbruksåtgärder påverkar produktionen av virke och hur dess ekonomiska lönsamhet var, baserat på en specifik kalkylränta (2%). Resultatet visade att investeringar i skogsmarksgödsling i medel-boreala (Finland) tall- (*Pinus sylvestris*) och granbestånd (*Picea abies*) gav ett positivt NPV. Jämfört med ett bestånd där gödsling inte utförts ökade gödslingen beståndets NPV med upp till 6% under en rotationsperiod på 70 år (Routa *et al.* 2019). Pukkala (2017) utförde också simuleringar i syfte att analysera lönsamheten i skogsmarksgödsling, fokus låg däremot på kassaflöden och avkastning. Simuleringarna utfördes på 100 "vanliga" tall- och granbestånd. Resultatet visade att gödslingen ökade NPV med en kalkylränta på minst 3% i majoriteten av de simulerade bestånden (Pukkala 2017).

2.1.4 Klimataspekter

Skogen och skogsbruket har under de senaste årtiondena blivit mer omtalat när det kommer till frågan om minskningen av den globala klimatpåverkan (McKinley *et al.* 2011). Den totala skogsmarken täcker 30% av jordens yta samtidigt som den påverkar koncentrationerna av vissa växthusgaser i atmosfären, mer specifikt koldioxid (CO_2), lustgas (N_2O) och metan (CH_4) (Shrestha *et al.* 2015). Skogsmarksgödsling kan ha en positiv påverkan på skogens växthusgascykel beroende på hur och var gödslingen utförs (*Ibid.*). Nedan beskrivs ovannämnda växthusgaser och hur skogen och gödslingen påverkar koncentrationen av dessa i atmosfären. I *Figur 2* illustreras växthusgasbalansen och de biologiska processer som påverkar växthusgasbalansen vid skogsmarksgödsling.



Figur 2 Växthusgasbalansen och de processer som påverkar flödet av växthusgaser i ett ekosystem vid tillförsel av kväve (N). Den röda linjen i figuren illustrerar marknivån. Figuren är producerad i studien och inspirerad av Shrestha *et al.* (2015).

Koldioxid (CO_2) tas upp av träden konstant genom fotosyntes under växtsäsongen, samtidigt avges CO_2 från skogsmarken till atmosfären genom växternas och bakteriernas respiration (*Figur 2*). Skogen kan därav konvertera luftburet kol till organiskt kol (Shrestha *et al.* 2015). Vid applicering av kväve (N) i skogsmark ändras effektiviteten på den respiration som redan sker i skogsmarken, speciellt i skog där kvävehalten i marken redan är låg (*Ibid.*). Mer CO_2 tas upp av träden efter skogsmarksgödsling vilket följs av ökad tillväxt (Fleischer *et al.* 2013). Ökad tillväxt leder därmed till ökad kolinlagring i skogen och kolsänkan i skogsmarken

expanderar. Gödslingen påverkar även skogsekosystemens förmåga att avge CO₂ genom ökad mängd biologisk nedbrytning av blad och barr (Berg 2006), men också genom ökad autotrofisk respiration (Reich *et al.* 2008).

Shrestha *et al.* (2015) utförde en sammanställning av tolv studier vilka undersökte skogsmarksgödslingens påverkan på koldioxidbalansen i produktionsskog. Sex av dessa erhöll ett resultat där gödsling hade en positiv inverkan på det koldioxidbalansen i skogen, där koldioxidutsläppen minskade med 15–46%. Studierna indikerade att i tallskog minskade utsläppen av koldioxid och i lövskogar tenderade utsläppen av koldioxid att öka vid skogsmarksgödsling (Shrestha *et al.* 2015). En annan studie indikerade att marker med sämre produktionsförmåga hade störst inverkan på kolsänkan vid skogsmarksgödsling (Arnebrant 1996). Andra studier visade att skogsmarksgödsling bidrar till en ökning med 6–41% av koldioxidutsläppen (Shrestha *et al.* 2015). Dessa experiment var utförda i de subtropiska och tropiska delarna av jordklotet och gödslingen utfördes främst på yngre skogar (*Ibid.*). Fåtal studier visade att skogsmarksgödsling inte hade någon påverkan på koldioxidutsläppen från skogen (*Ibid.*).

Studier utförda i Norden visar en positiv effekt på kolinbindningen i skogsmark efter gödsling. Två tallbestånd analyserades under 15 års tid i Nohrstedts *et al.* (1989) studie, det bundna markkolet ökade med 10–26% efter en gödsling, vilket resulterade i att kolförrådet i marken ökade med 12–20 ton CO₂ per hektar. Mäkipää (1995) studerade fem tallbestånd (*Pinus sylvestris*) och ett granbestånd (*Picea abies*) i Finland där gödslingen utfördes under en 30-årsperiod. I granbestånden var den absoluta ökningen högst, 70 ton CO₂ per hektar. Procentuellt visade bestånden en ökning av kolinlagring i humuslagret på 14–87% och 15–167% i mineraljorden.

Metan (CH₄) är 21 gånger mer kraftig än koldioxid (CO₂) när de jämförs som växthusgaser (IPCC 2007). Den största källan till metanutsläpp är våtmarker (*Ibid.*). Översvämmade skogsmarker är även en bidragande faktor till de totala utsläppen (Rice *et al.* 2010). Skogsmark agerar källa för metan då metan tas upp av metanotrofiska bakterier vilka förekommer i skogsmark (King 1997). De metanotrofiska bakterierna oxiderar CH₄ till CO₂ i syfte att få ut energi (*Ibid.*). Shrestha *et al.* (2015) jämförde 12 olika studier där tio visade att skogsmarksgödsling påverkar oxidationen hos de metanotrofiska bakterierna på ett negativt sätt i förhållande till växthusgasbalansen, vilket resulterade i att skogen tog upp 5–95% mindre metan. De två resterande studierna visade att oxidationen ej påverkas (Shrestha *et al.* 2015). Försöken var lokaliserade i tropiska och tempererade skogar (*Ibid.*). Studier utförda i Sverige indikerar att oxidationen av CH₄ minskar kortsiktigt efter gödsling (Klemedtsson & Klemedtsson 1997; Börjesson & Nohrstedt 1998). Däremot verkar skogsmarksgödslingens långsiktiga effekt på CH₄-utsläppen vara obefintlig (Börjesson & Nohrstedt 1998).

Lustgas (N₂O) är 310 gånger kraftigare växthusgas än CO₂ (IPCC 2007). Den största källan till lustgasutsläpp globalt är jorden i marken, vilken står för 65 % av de totala utsläppen (Dalal *et al.* 2003; IPCC 2007). Utsläppen sker i samband med ett samspel av mikrobiella processer. Den första är nitrifikation då ammonium (NH₄⁺) oxideras till nitrat (NO₃⁻) och den andra är denitrifikation då NO₃⁻ reduceras till kvävgas (Liao *et al.* 2022). Storleken på utsläppen är beroende av klimatutvecklingen och markens fysiologiska egenskaper (*Ibid.*). Fukthalten i marken anses vara en markegenskap och nyckelfaktor i funktionen för de mikrobiella processerna (Leyrer *et al.* 2022). Brumme *et al.* (1999) utförde en studie där lustgasutsläppen mättes i olika typer av skogar, tempererade skogar, dränerade alskogar med organisk jord och

väl-dränerade tropiska skogar. De flesta tempererade skogarna erhöll låga N₂O-utsläpp och de dränerade alskogarna erhöll de högsta halterna av N₂O-utsläpp.

Flertalet studier har undersökt hur utsläppen av N₂O påverkas av skogsmarksgödsling med kväve. Fåtal studier har indikerat att de totala utsläppen av N₂O ökar i samband med gödsling av skogsmark (Matson *et al.* 1992; Castro *et al.* 1994; Jassal *et al.* 2008). Peng *et al.* (2011) undersökte skogsmarksgödslingens påverkan på skogens utsläpp av N₂O över tid. Resultatet visade att utsläppen av de ökade N₂O-utsläppen varade i 2–3 veckor efter gödslingsåtgärden. En ökning av N₂O-utsläpp kunde även observeras under upptiningsperioden på våren under det första året efter gödsling. Under det andra året efter gödsling var N₂O-utsläppen endast signifikant i de försök gödselgivan var större än 100 kg per ha⁻¹ och år⁻¹ (Peng *et al.* 2011). Det förekommer svenska studier vilka indikerar att utsläppen av N₂O från skogsmarken i samband med skogsgödsling inte är av betydelse (Nohrstedt 1988, 1994; Klemmedtsson *et al.* 1997). Däremot är N₂O-utsläppen från omkringliggande vattendrag i samband med skogsgödsling mindre studerad, vilket kan vara en risk.

Som nämnts tidigare utförde Leyrer *et al.* (2022) en studie där fukthaltens roll i de mikrobiella faktorerna anmärktes. Ökad nederbörd ökar fukthalten i marken, vilket i sin tur, enligt Leyrer *et al.* (2022), ökar de mikrobiella processerna. Vid tillförsel av kväve i skogsmark under perioder med ökad nederbörd kan även utsläppen av N₂O öka (Brown *et al.* 2012). Skogsmark kan även agera N₂O-källa, speciellt där markförhållandena har mycket låg fukthalt och en mycket begränsad kvävetillgång (Goldberg & Gebauer 2009).

Shrestha *et al.* (2015) sammanfattade även flertalet studier gällande gödslingens effekt på N₂O-utsläppen. Generellt indikerar sammanfattningen att N₂O-utsläppen ökar i samband med gödsling, dock med stora variationer. En ökning mellan 20% och mer än 500% av N₂O-utsläpp observerades i gödslade provytor jämfört med ogödslade i de sammanfattade studierna (Shrestha *et al.* 2015). Det förekom dock studier i sammanfattningen vilka ej observerade en signifikant ökning av N₂O-utsläppen efter gödsling. Dessa studier var dock mer begränsade än de studier vilka indikerade en ökning av N₂O-utsläppen efter gödsling. Vattenhalten i marken var långt under den optimala halten för att denitrifikation skall ske. En av studierna i sammanfattningen var lokaliserad i Finland i granskog där 200 kg N per ha⁻¹ och år⁻¹ tillfördes (Maljanen *et al.* 2006). Studien indikerade ingen ökning av N₂O-utsläpp (*Ibid.*). En annan studie var utförd i Norge i tallskog där 90 kg N per ha⁻¹ och år⁻¹ tillfördes (Sitaula *et al.* 1995). Studien indikerade att gödslingen ökade N₂O-utsläppen med 82% jämfört med de ogödslade ytorna (*Ibid.*).

Samtliga studier Shrestha *et al.* (2015) har sammanställt gällande dessa tre växthusgaserna CO₂, CH₄ och N₂O är baserade på en varierad mängd gödselmedel, olika typer av gödselmedel (Urea, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄), olika skogstyper och är utförda i skilda geografiska länder. Gödslingen utfördes även i olikåldriga skogar.

Sammanfattningsvis, när det kommer till skogsmarkens utsläpp av växthusgaser i samband med gödsling är de starkt kopplade till biologiska processer, vilka i sin tur är kopplade till fysiska och kemiska faktorer i atmosfären och i marken. Det kan handla om följande faktorer; temperatur, nederbörd, textur, näringstillgång och pH-värde i marken. Då gödsling planeras krävs information om dessa faktorer i syfte att minska gödslingens påverkan på växthuseffekten. Problematiken med de studier som har utförts inom ämnet skogsmarksgödsling och dess påverkan på växthusgaser är att de oftast är begränsade till

undersökningar av hur enskilda växthusgaser påverkas av gödslingen. Det förekommer för få studier gällande nettopåverkan av gödslingen på växthuseffekten (Shrestha *et al.* 2015).

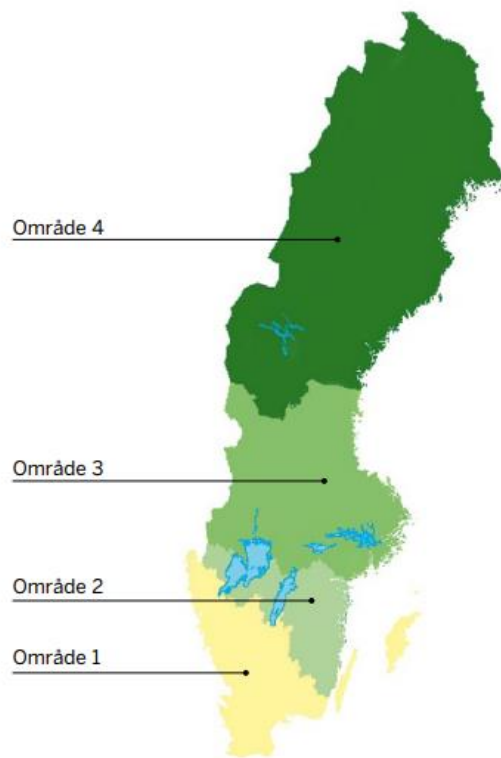
En påverkande faktor till nettopåverkan på växthusgaser av gödsling är även slutprodukten som produceras av träråvaran (Sathre *et al.* 2010). Vid gödsling ökar timmerandelen vilket medför att mer av slutprodukten kan användas till konstruktion och andra långlivade träprodukter, vilket i sin tur medför längre kolinlagring av biomassan. Likaså ökar mängden biobränsle vilket är ett substitut till fossilgas och kol (Sathre *et al.* 2010).

2.1.5 Krav och rekommendationer vid skogsmarksgödsling i Sverige

I syfte att minimera de miljörisker som kan uppstå vid skogsmarksgödsling är åtgärden reglerad. På nationell nivå regleras skogsmarksgödsling i Miljöbalken, Skogsvårdslagen (1979:429), föreskrifter och allmänna råd (Skogsstyrelsen 2022b). I miljöbalkens 12 kapitel 6 § regleras att samråd skall ske då verksamhet utförs som kan ändra naturmiljön väsentligt. Regleringen innebär i praktiken att skogsgödslingsåtgärden skall anmälas till Skogsstyrelsen minst sex veckor innan den skall utföras. Enligt 30 § SVL skall hänsyn tas till naturvårdens och kulturmiljövårdens intressen. Regeringen har givit ansvaret till Skogsstyrelsen att meddela föreskrifter gällande 30 § SVL i samråd med Naturvårdsverket, Riksantikvarieämbetet samt andra förvaltningsmyndigheter vilka kan beröras i den specifika frågan (*Ibid.*). De allmänna rådens syfte är följande enligt Skogsstyrelsen (2022b), att motverka:

- potentiell försurning av vatten och mark,
- risken för kväveutlakning och kraftig förhöjda halter av oorganiskt kväve i grund- och ytvattnet,
- en uppbyggnad av markens kväveförråd som kan vara riskabelt stor,
- störningar alternativt utslagning av känsliga arter
- potentiella skador på forn- och kulturlämningar

Enligt de allmänna råden förekommer även begränsningar av gödsling i en geografisk uppdelning vilket illustreras i *Figur 3*. Inom område 1 och 2 bör inte skogsmarksgödsling ske, område 2 tillåter däremot gödsling på grandominerade fastmarker där uttag av GROT (grenar, rötter och toppar, inklusive barr) är planerat, alternativt har tagits ut i samband med föryngringsavverkning. Under dessa förutsättningar bör gödselgivan under en omloppstid i ett bestånd endast uppgå till 150 kg per hektar. I område 3 och 4 bör skogsmarksgödsling ske under förutsättningarna att gödselgivan max uppgår till 300 respektive 450 kg per hektar under en skogsgeneration (Skogsstyrelsen 2022b).



Figur 3 Områdesindelning för olika begränsning av skogsgödsling (Skogsstyrelsen 2022b).

De allmänna råden beskriver att skogsmarksgödslingen bör ståndortsanpassas och därmed inte utföras på vissa markertyper. I dessa marker ingår bland annat bördiga marker (SI över G30) och mindre bördiga marker (SI under T16). Marker med brunjordar eller med övergångsjordar av skogstyperna högört och lågört. Hällmarker där jorddjupet är grunt och jorden är genomsläpplig. Utströmningsområden, blöta marker och torvmarker. Marker där lavar uppgår till över 25% av bottenskiktet. Hänsynskrävande biotoper och grunda, genomsläppliga jordar (Skogsstyrelsen 2022b).

Vid skogsmarksgödsling skall skyddszoner upprättas mot specifika områden enligt de allmänna råden, spridning av gödselmedel bör ej ske i dessa områden. Enligt råden bör gödselmedlet inte spridas närmre än 25 meter från områden av följande karaktär (Skogsstyrelsen 2022b).

- sjöar och vattendrag som för vatten året runt.
- våtmarker där det förekommer mycket höga eller höga natur- eller kulturvärden
- hänsynskrävande biotoper
- formellt skyddad mark (naturreservat, biotopskydd, områden med naturvårdsavtal och vattenskyddsområde)

Tidpunkten då skogsmarksgödslingen utförs är även en aspekt Skogsstyrelsen (2022b) nämner i de allmänna råden, detta med hänsyn till väderförhållanden som påverkar vattenflödet i skogen. Gödsling bör ej ske då väderförhållandena kan anses påverka mark- och vattenförhållandena. Om gödsling ska ske under dessa väderförhållanden ökar risken för kväveläckage till oönskade platser. Det kan handla om att ej gödsla i samband med stora mängder nederbörd. Enligt Skogsstyrelsen (2022) bör man även avstå att gödsla i samband med snösmältning, tjällossning eller då marken är snötäckt.

Det förekommer kompletterande råd gällande skogsmarksgödsling, det statliga forskningsinstitutet Skogforsk har gått ut med sju baskrav vid val av gödslingsbestånd med hänsyn till både ekonomi och miljö (Jacobson 2005). Jacobson (2005) menar att följande baskrav skall vara uppfyllda för ett gödslingsvärt bestånd:

- det skall lägst vara förstagallringsskog,
- skogen skall vara frisk och välsluten,
- grundytan skall bestå av minst 80 % barrträd,
- ingen slutavverkning får ske inom tio år,
- gödslingen skall ske på fastmark,
- jordmånen skall bestå av podsol, ej brunjord,
- ståndortsindex skall vara inom intervallet 16–30 m.

Jacobson (2005) beskriver vidare anledningarna till dessa baskrav. I *ungskog* (innan förstagallring) blir gödslingseffekten låg och de investerade pengarna avkastas långsamt. En skog som är *gles och innehåller skadade träd* erhåller en låg löpande tillväxt vilket bidrar till begränsad gödslingseffekt. *Lövskog* erhåller en kortvarig och låg gödslingseffekt, därav skall grundytan bestå av en stor del barrträd då de svarar bättre på en skogsmarksgödsling. *Gödslingseffekten* varar vanligtvis i 8–10 år, därav förloras en del av den förväntade mertillväxten om slutavverkning sker inom tio år efter en gödslingsåtgärd. Investeringen nyttjas inte fullt ut vid en tidigare avverkning. *Fastmark* är mark där humustäcket är mindre än 30 cm. Gödsling på mark där humustäcket är mäktigare än 30 cm är kvävebrist inte den tillväxtbegränsande faktorn, utan på dessa marker är tillgången till fosfor och kalium tillväxtbegränsande. Skogsmarker med *låg produktivitet* ($SI < 16 m$) är ej lönsamma att gödsla, tillväxtökningen i kubikmeter är för låg. På *högproduktiva marker* ($SI > 30 m$) kan kvävehalten redan vara hög vilket resulterar i att det tillförda kvävet inte leder till någon tillväxteffekt. Likadant gäller för *brunjordar*.

2.1.6 Skogsmarksgödsling och certifiering

Certifiering av skog utförs i syfte att påvisa ansvar för samhället och marknaden samt att bidra till ett uthålligt skogsbruk (PEFC 2017a). Att certifiera sitt skogsbruk är frivilligt för markägaren. (Skogsstyrelsen 2022a). En certifierad markägare åtar sig att följa särskilda regler vilka påverkar brukandet av skogen. Certifieringen påverkar vilken hänsyn som skall tas till miljön när en skogsåtgärd utförs och vilka villkor som följs av de som utför arbetet (*Ibid.*). En obligatorisk del i certifieringen är att markägaren skall inneha en uppdaterad skogsbruksplan (*Ibid.*). I Sverige förekommer två certifieringssystem, FSC-standard och PEFC-standard (*Ibid.*). I *Tabell 1* redovisas antal hektar produktiv skogsmark som är certifierad i Sverige, areal som är dubbelcertifierad med både FSC och PEFC, areal med enbart PEFC och areal med enbart FSC. Siffrorna kan jämföras med den totala arealen produktiv skogsmark i Sverige vilken uppgår till cirka 23,5 miljoner hektar (SLU 2022). Andelen produktiv skogsmark med någon typ av certifiering uppgår därav till cirka 64 procent i Sverige. Produktiv skogsmark är skogsmark där idealproduktionen är minst 1 m³sk per hektar och år (*Ibid.*).

Tabell 1 Antal hektar certifierad (både PEFC och FSC, enbart PEFC, enbart FSC samt total) produktiv skogsmark i Sverige mellan åren 2016 och 2021 (Skogsstyrelsen 2022c)

	2016	2018	2019	2020	2021
Både PEFC och FSC	7 481 000	11 405 100	11 362 400	11 318 060	11 308 900
Enbart PEFC	2 541 000	2 316 500	2 701 800	2 778 614	2 760 900
Enbart FSC	4 355 000	1 046 200	1 132 500	1 050 647	975 400
Totalt	14 377 000	14 767 800	15 196 600	15 147 300	15 045 100

Certifieringars syfte är att bidra till ett hållbart skogsbruk i förhållande till det sociala, ekonomin samt miljön. Då det förekommer miljörisker med gödslingsåtgärden, vilka nämns i kapitel 2.1.2 Miljöaspekter, omfattas gödslingsåtgärden av begränsningar av skogscertifieringar. FSC (2020) förespråkar att certifikatsinnehavaren skall minimera eller undvika utförandet av en skogsgödslingsåtgärd. I de fall gödselmedel används på certifierade skogsmarker begär FSC (2020) markägaren att påvisa att den ekologiska och ekonomiska nyttan av åtgärden åtminstone jämföras med ett skötselssystem där gödsling inte är nödvändigt, alternativt minska de potentiella miljörisker som kan förekomma i samband med gödslingsåtgärden. FSC (2020) listar även följande krav för certifierade skogsägare gällande skogsmarksgödsling med kväve:

- Skogsstyrelsens allmänna råd och föreskrifter till Skogsvårdslagen (SVL) skall följas,
- större markägare skall avvara minst 20% av den gödslingsbara arealen till att förbli ogödslad,
- vid gödsling skall gödselmedel, gödselgiva och gödslingstidpunkt dokumenteras på beståndsnivå
- gödslingen skall följas upp i syfte att dokumentera eventuella skador, om skador har uppstått skall instruktioner och planer för kommande gödsling revideras i syfte att skadorna inte upprepas.

En certifiering i enlighet med PEFC (2017) kräver liknande hänsyn som FSC. Gödsling ska ske i enlighet med Skogsstyrelsens allmänna råd och föreskrifter (PEFC 2017a). En PEFC-certifiering utgår mer från lagen i jämförelse med en FSC-certifiering. Bland annat får skogsgödsling inte utföras i bestånd av lavtyp, förutsatt att inget annat har överenskommit genom samråd, detta i enlighet med 20 § och 31 § SVL (PEFC 2017c). PEFC (2017b) har även egna krav gällande skogsmarksgödsling och stora markägare med innehav över 5000 hektar produktiv skogsmark. Dessa markägare skall vid en extern förfrågan ha möjlighet att redovisa områden som är planerade att gödslas (PEFC 2017b).

2.2 Klimatkompensation och additionalitet

Klimatkompensation utförs i syfte att hantera och minimera klimatpåverkan från utsläpp av växthusgaser. I praktiska termer innebär en klimatkompensation att en mekanism kompenserar för en produkts klimatavtryck vilket företag och organisationer inte kan undvika. Kompensationen kan ske i form av utsläppsförebyggande åtgärder eller åtgärder vilka avlägsnar växthusgaser från atmosfären (United Nations u.å).

Det förekommer olika typer av klimatkompensationer. På internationell nivå använder de Förenta Nationerna (FN) ett system där klimatkompensation kan utföras av privatpersoner, företag, organisationer och regeringar, även kallat Certified emission reduction (CER) (United Nations u.å.b). Systemet bygger på att projekt i utvecklingsländer minskar utsläpp och tjänar CER-krediter, krediterna säljs sedan till industrialiserande länder i syfte att de skall uppnå Kyotoprotokollets (1997) klimatmål. Dessa projekt kallas Clean development mechanism (CDM) (United Nations u.å.).

En annan typ av klimatkompensation är den som sker på den frivilliga marknaden där privata aktörer och organisationer säljer utsläppsminskningenheter till organisationer, företag och privatpersoner vilka har ett syfte att minska sina utsläpp på frivillig basis (Konsumentverket 2021). Det har utvecklats flertalet certifieringssystem med syfte att verifiera och certifiera dessa utsläppsminskningenheter. Metodiken och kraven skiljer sig åt i de åtskilliga certifieringssystemen. Majoriteten av dessa utsläppsminskningenheter verifieras av en oberoende tredjepart, däremot finns inget krav eller gemensam koordinering av ett överliggande organ, till exempel Europeiska unionen (EU) eller FN.

Konsumentverket (2021) beskriver kritik vilket har riktats mot klimatkompensation gällande dess funktionalitet. Bland annat ifrågasätts effekten, kvalitén och riskerna för ökat utsläpp. Kritiken och riskerna med klimatkompensation är följande enligt Konsumentverket (2021):

- Utsläppsminskningenheter kan baseras på overifierade utsläppsminskningar vilka ej har ägt rum.
- Felaktiga beräkningar gällande ett projekts bidrag till utsläppsreducering.
- Projektet brister i additionalitetskravet. Projektets additionalitet innebär att projektet skapar en additionell utsläppsminskning som inte hade inträffat utan en efterfrågan på kolkrediter. Om en utsläppsreduktion hade ägt rum utan kolkrediterna är projektet inte additionellt.
- Permanenskravet, att det råder bristande permanens gällande den inbundna koldioxiden i projektet. Skog som planteras och sedan avverkas för energibehov eller att den brinner upp av naturliga skäl skapar icke-permanens. Koldioxiden skall fortsätta vara inbunden permanent.
- Hållbarhet gällande ekonomiska, sociala och miljömässiga faktorer. Projektet får inte påverka andra värden, till exempel utbyggnad av vattenkraftsdammar där den biologiska mångfalden potentiellt kan få negativa konsekvenser.

Det förekommer studier angående problematiken med additionaliteten. Trexler (2011) menar att marknader för kolkrediter kan vara bristfälliga gällande kravet för additionalitet, vilket kan leda till att påstådda minskningar av koldioxid enligt marknaden inte är sanningsenliga. Additionalitet är bevisligen svårt att verifiera, även för tredjeparter vilka kan ha i uppdrag att bedöma utsläppsminskningen. Trexler (2011) menar att tredjeparter och verifikationer inte är rätt väg att gå gällande kolkrediter, utan legitimiteten i additionaliteten bör vara skyddad av välutformade policyer och inte genom ökat fokus på verifikationer och tredjeparter.

Gong *et al.* (2022) belyste problemet som uppstår med additionalitet vid utformningen av styrmedel inriktade på fåtalet skogsrelaterade åtgärder, bland annat skogsmarksgödsling. Problematiken ligger i att skogsmarksgödsling kan vara en lönsam åtgärd för vissa skogsägare, utan att ta hänsyn klimatnyttan. Enligt Gong *et al.* (2022) finns därför ett behov av en

identifikation av de omständigheter då gödslingsåtgärden ej är lönsam för skogsägaren, i syfte att öka additionaliteten och därefter kunna ingå i en marknad med kolkrediter.

2.3 Prognosfunktioner för gödslingens volympåverkan

En prognosfunktion används i syfte att förutspå en viss utveckling där en beroende variabel är beroende av en eller flera oberoende variabler. Att förutspå skogsmarksgödslingens påverkan på ett bestånds volymtillväxt har under en längre tid varit möjligt i Sverige med hjälp av prognosfunktioner (Möller 1973; Rosvall 1980; Pettersson 1994a;b). Med vetskapen om gödslingens påverkan på volymtillväxt är det även möjligt att förutspå gödslingens påverkan på beståndets kolinlagring och ekonomiska avkastning. Den första prognosfunktionen för skogsmarksgödslingens påverkan på volymtillväxten presenterades av Möller (1973) och bestod av prognoskurvor. Funktionerna baserades på följande variabler; löpande tillväxt, trädslag, gödselgiva och gödselsort (Möller 1973).

Under sent 50- och tidigt 60-tal intensifierades gödslingsförsöken, både på statlig och privat mark (Hagström 1962; Holmen 1962; Häggström 1963). Gödslingsförsöken bidrog till en mängd studier och data om skogsmarksgödslingens påverkan på volymtillväxten. Under slutet av 1970-talet kunde den funktion Möller (1973) producerade i början av 1970-talet utvärderas med hjälp av nya data.

Det nya datasetet omfattade en mängd varierande variabler för olika typer av ståndorter vilket resulterade i en produktion av nya prognosfunktioner vilka producerades med regressionsanalyser (Rosvall 1980). De nyproducerade funktionerna innehöll dock en övergripande variation på den förväntade tillväxten, standardavvikelsen uppgick till $3,79 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1} 5 \text{ år}^{-1}$ (*Ibid.*). Båda funktionerna, producerade av Möller (1973) och Rosvall (1980), prognostiserade gödslingens påverkan på volymtillväxten de första fem åren efter gödslingsåtgärden. Medelålders och äldre skog innehar en längre responstid än fem år, vilket motiverade en utarbetning av funktionerna för att estimerar total volymrespons och varaktighet av gödslingsåtgärden (Pettersson 1980).

I mitten av 1980-talet initierades ett projekt med flertalet underprojekt där olika institutioner på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) var inblandade. Fokus i ett av delprojekten var att studera hur olika ståndortsfaktorer kunde användas för att bedöma markens naturliga kvävelager och därefter gödslingens respons. Ett annat delprojekt var att producera mer exakta prognosfunktioner för skogsmarksgödsling än tidigare, samtidigt som vädrets inverkan på gödslingsåtgärden studerades. Vid framtagandet av funktionerna exkluderades data från provtytor med specifika ståndortsindex där det förekom hög avvikelse i estimerad volymtillväxt och verklig tillväxt. Funktionerna resulterade i ett estimerat värde där standardavvikelsen uppgick till $3,54 \text{ m}^3\text{sk per ha}^{-1} 5 \text{ år}^{-1}$ (Pettersson 1994b). Pettersson (1994a) utarbetade sedan samma år funktioner som beskrev den totala effekten av volymtillväxt och varaktighet av gödslingsåtgärden. Funktionen för total volymrespons av gödsling ger ett resultat mellan 15 och $20 \text{ m}^3\text{sk}$ i norra Sverige, 13 till $18 \text{ m}^3\text{sk}$ i Mellansverige och $10\text{--}15 \text{ m}^3\text{sk}$ i södra Sverige (Pettersson 1994a). Detta är de senaste, kända prognosfunktionerna för volymtillväxt och varaktighet av en gödslingsåtgärd i skogsmark.

3 Teori

Följande kapitel syftar till att ge läsaren en inblick i den teori studien ämnar grunda sig i.

3.1 Investeringskalkylering

En investering består av en immateriell eller fysisk resurs, vilken en fysisk eller juridisk person planerar att använda eller förvalta över tid (Ljung & Högberg 2004). Investeringen kännetecknas av att det krävs kapital för att genomföra den, samt att investeringen kommer att ge konsekvenser för investeraren (*Ibid.*). För att konstatera att en investering är lönsam krävs att investeringen minst alstrar det satsade kapitalet, inklusive ränta (Persson & Nilsson 1999).

Skogsmark som investering genererar både materiella och immateriella värden (Klemperer 1996). Skog binder koldioxid, bidrar till ett ekonomiskt värde för markägaren samt erhåller sociala värden till exempel jakt, fiske och friluftsliv. En investering i skogsmark är således komplex då det förekommer flertalet olika typer av värden. För en markägare som investerar i skog är storleken på kapitalet och tiden de största insatserna, det arbete man utför i skogen är en liten del i investeringen. Tidsramen för en skoglig investering är oftast lång i förhållande till andra typer av investeringar. Under tidsramen för investeringen utförs vanligtvis ett fåtal åtgärder vilka påverkar slutprodukten av de skogliga tillgångarna. Kapitalet är begränsat, vilket skapar ett ekonomiskt problem för de flesta skogsägare då det krävs god planering för att förvalta de skogliga tillgångarna, monetära- och ickemonetära, för att maximera värdet för egen del men också för samhällets del (*Ibid.*).

Klemperer (1996) beskriver problemet att besluta hur en investerare skall investera sina pengar för att maximera värdet på tillgångarna som "the capital budgeting problem". Inom skogsbruket finns det flertalet sätt att maximera värdet på tillgångarna till exempel genom val av rätt plantor vid återbeskogning, rätt tid för röjning och gallring samt genom skogsmarksgödning. Dessa investeringar ökar produktionen på skogsmarken.

I syfte att avgöra om en investering i skogsbruket är lönsam krävs metoder för att ställa investeringars lönsamhet mot varandra i syfte att sedan avgöra vilken som maximerar värdet på skogen. Metoderna för lönsamhetsbedömning av en investering ger resultat vilka kan tolkas på olika sätt och är lämpade olika bra beroende på vilken investering som skall göras (Klemperer 1996). Nedan beskrivs samtliga metoder som kan användas vid lönsamhetsbedömning av skogliga investeringar.

3.2 Nettonuvärdesmetoden

Begreppet framtida värde är starkt kopplat till kommande beskrivning av nuvärdet. Klemperer (1996) beskriver det framtida värdet av en investering som konceptet av kapitaltillväxt med en specifik ränta, förutsatt att inga uttag görs från investeringen. Det framtida värdet av en investering kan beskrivas med följande ekvation (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011):

$$V_n = V_0(1 + r)^n$$

Där

V_n = framtida värdet vid år "n"

V_0 = den initiala investeringen vid år 0

r = kalkylränta

n = år

Ekvationen är exponentiell vilket medför att det framtida värdet får en "ränta-på-ränta"-effekt då varje års värde är föregående års värde plus räntan.

Nuvärdet av en investering är vad det framtida värdet är idag och kan beskrivas genom att lösa ut V_0 från ovanstående ekvation (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011)

$$V_0 = \frac{V_n}{(1 + r)^n}$$

Där

V_0 = värdet på den initiala investeringen, nuvärde

V_n = framtida värdet vid år "n"

r = kalkylränta

n = antal år

Med ekvationen för nuvärde diskonteras ett framtida värde (V_n) med hjälp av diskonteringsfaktorn i nämnaren. Vid lönsamhetsbedömningar med nuvärdesmetoden krävs ett räntekrav från investeraren, kalkylräntan (r) (Bergstrand 2010). Investeraren får ej spendera mer än V_0 för att tjäna V_n på n år, då kommer räntan understiga r , vilket är den minsta acceptabla kalkylräntan (MAR) investeraren har valt (Klemperer 1996). V_0 beskriver således en investerares maximala betalningsvilja för en tillgång som avkastar en framtida inkomst (*Ibid.*). Beräkning av nuvärde lämpar sig för att estimerar lönsamheten i investeringar vars intäkt inträffar inom en längre framtid (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011)

Nettonuvärdet av en investering är nuvärdet av alla framtida kostnader och intäkter (Klemperer 1996). Vid beräkning av nettonuvärdet diskonteras samtliga framtida intäkter och kostnader till dagens värde, Klemperer (1996) beskriver nettonuvärdet symboliskt sätt med följande ekvation:

$$NPV = R_0 + \frac{R_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \frac{R_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{R_n}{(1+r)^n} \\ - C_0 - \frac{C_1}{(1+r)^1} - \frac{C_2}{(1+r)^2} - \frac{C_3}{(1+r)^3} \dots - \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

Där

R = intäkter

C = kostnader

r = kalkylränta

n = investeringens livstid

I ovanstående ekvation är R_0 och C_0 inte diskonterade, vilket beror att de intäkterna och kostnaderna sker år 0 och behöver därav inte diskonteras bak i tiden. Mer generellt beskrivs ekvationen för nettonuvärde enligt följande (Klemperer 1996; Persson & Nilsson 1999; Bullard & Straka 2011):

$$NPV = PV(benefits) - PV(costs) = \sum_{y=0}^n \frac{R_y - C_y}{(1+r)^y}$$

Där

NPV = Nettonuvärde

PV (benefits) = Nuvärde för intäkterna

PV (costs) = Nuvärde för kostnader

R = intäkter (kr)

C = kostnader (kr)

r = kalkylränta

y = år

n = investeringens livstid

Investerarens betalningsvilja för den specifika tillgången ökar i takt med ökat nuvärde på intäkter och minskar i takt minskat nuvärde på kostnader (Klemperer 1996). En investering är lönsam och acceptabel då nettonuvärdet är lika med eller större än 0 (Persson & Nilsson 1999). I de fall nettonuvärdet är 0, är avkastningen på investeringen lika med kalkylräntan (*Ibid.*).

Bullard & Straka (2011) beskriver även en specialiserad typ av NPV-metoden, EAI-metoden (Equivalent Annual Income). Vid kalkylering av en investering EAI multipliceras investeringens NPV med en annuitetsfaktor i syfte att få fram investeringens årliga avkastning

(annuiteten). Investeringen är lönsam då EAI är större än 0, vilket kräver ett positivt NPV. Annuiteten kan beskrivas med följande formel (Bullard & Straka 2011):

$$EAI = NPV * \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Där

EAI = årligt kapitalflöde, annuitet (kr)

NPV = nettonuvärde (kr)

r = internränta

n = investeringens livstid

Annuiteten beskriver lönsamheten i en investering med hänsyn till NPV och investeringens livstid vilket resulterar i en årlig intäkt. Konceptet av en årlig intäkt kan anses enklare att förstå för en privat skogsägare, jämfört med ett totalt nettonuvärde (Bullard & Straka 2011).

3.3 Internräntemetoden

Internräntan (IRR) är den procentuella avkastningen av insatserna vilket investeraren "tjänar" på investeringen (Bullard & Straka 2011). Vid beräkning av internräntan av en investering sätts nettonuvärdet till noll (Klemperer 1996). Internräntan är således diskonteringsräntan då investeringens nuvärde av kostnader och intäkter är lika med 0 (*Ibid.*). Ekvationen för IRR beskrivs enligt följande (Klemperer 1996; Persson & Nilsson 1999; Bullard & Straka 2011):

$$\sum_{y=0}^n \frac{R_y - C_y}{(1 + IRR)^y} = 0$$

Där

R = intäkter (kr)

C = kostnader (kr)

IRR = internränta

y = år

n = investeringens livstid

Enligt IRR-metoden är ett projekt lönsamt om IRR är lika med eller överstiger investerarens kalkylränta och ej lönsamt och oacceptabelt om IRR understiger kalkylräntan (Klemperer 1996). Värt att förtydliga är att internräntan utgår från varje specifik investerarens värderingar om det är lönsamt eller ej, då investerarens kalkylränta styr. Fördelen med att använda Internräntemetoden vid lönsamhetsbedömning är att investerare med olika MAR kan bedöma lönsamheten med IRR som grund i beslutet (Klemperer 1996).

3.4 Benefit/cost-ratio

Bullard och Straka (2011) beskriver Benefit/cost ratio (BCR) som nuvärdet av intäkterna dividerat med nuvärdet av utgifterna. Klemperer (1996) kallar även BCR för ”lönsamhetsindex”. Ekvationen för lönsamhetsindex är följande (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011):

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{PV \text{ revenues}}{PV \text{ costs}} = \frac{\sum_{y=0}^n \frac{R_y}{(1+r)^y}}{\sum_{y=0}^n \frac{C_y}{(1+r)^y}}$$

Där

B/C Ratio = lönsamhetsindex

PV (revenues) = nuvärde för intäkterna

PV (costs) = nuvärde för kostnader

R = intäkter (kr)

C = kostnader (kr)

r = kalkylränta

y = år

Rent matematisk är lönsamhetsindexet 1 då nuvärdet för kostnader och intäkter är lika, vilket resulterar i att nettonuvärdet blir 0. Om nuvärdet för intäkterna är större än nuvärdet för kostnaderna blir indexet över 1 vilket resulterar i att investeringen är acceptabelt och därav lönsamt. Vice versa blir indexet under 1 om nuvärdet för intäkterna understiger nuvärdet för kostnaderna anses investeringen vara oacceptabel och olönsam för investeraren. Lönsamhetsindexet går att jämföra med nuvärdemetoden då ett negativt nuvärde resulterar i en olönsam investering, enligt metoden (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011). På samma sätt resulterar ett negativt nuvärde i B/C-ratio-metoden en olönsam investering vilket enligt investeraren är oacceptabel (*Ibid.*).

3.5 Paybackmetoden

Paybackmetoden används i syfte att fastställa vilken investering som har kortast återbetalningsperiod, d.v.s. antalet år det tar att få tillbaka det satsade kapitalet (Klemperer 1996). Metoden tar i sin ursprungliga form ingen hänsyn till kalkylränta (Persson & Nilsson 1999), och används inte för att bedöma lönsamheten utan snarare för att jämföra investeringars återbetalningsperiod. Vid beslutsfattande om investeringen är lönsam jämförs den beräknade payback-tiden med en förutbestämd tid, vilken vanligtvis är beslutad på erfarenhetsbaserade grunder gällande liknande investeringar (*Ibid.*). Till exempel är den förutbestämda tiden för

verktyg kort, ca 1 år, vilket blir jämförelseåret för den typen av utrustning, en större maskin kan ha en förutbestämd tid på 3–5 år, vilket i det fallet blir jämförelseåret (*Ibid.*).

Paybackmetoden tar inte hänsyn till räntan och eller kassaflödenas tidpunkt utanför ”payback-perioden” (Bullard & Straka 2011). Vanligtvis används metoden i samband med andra lönsamhetsbedömningsmetoder, till exempel IRR eller nuvärdesmetoden (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011). Paybackmetoden används även för att ”grovsålla” bland olika investeringar, i de fall återbetalningskravet uppfylls, kan man gå vidare och göra mer noggranna lönsamhetskalkyler (Persson & Nilsson 1999). I praktiken kan metoden också användas för att bedöma återbetalningstiden. Den kortsiktige investeraren accepterar inte långa återbetalningstider då långsiktiga investeringar kan anses vara mer osäkra (Klemperer 1996).

3.6 Metodval för lönsamhetsbedömningar inom skogsbruket

Ovan nämns fyra olika grundmetoder, alla fyra används för lönsamhetsbedömning, men beskriver olika nyckeltal. Vilken metod en forskare skall använda i en analys beror på vilken typ av analys studien kräver (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011). Bullard och Straka (2011) samt Klemperer (1996) antyder förekomsten av två typer av analyser vilka används vid lönsamhetsbedömning av skogliga åtgärder. Antingen ställs investeringsalternativ mot varandra (rangordnings-analys) eller accepterar eller avböjer investeraren en specifik investering (accept/reject-analys) (Bullard & Straka 2011).

Bullard & Straka (2011) beskriver att syftet med accept/reject-analyser är att utröna om en specifik investering är acceptabel utifrån investerarens finansiella kriterier. Ett exempel på en analys av denna karaktär kan vara ”Är gödslingsåtgärden värd?”. Dessa typer av analyser kan resultera i att de accepterade investeringarna senare ställs emot varandra i en rangordnings-analys. Vid utförandet av en accept/reject-analys är det möjligt att använda någon av de fyra ovannämnda lönsamhetsbedömningsmetoderna. Vilken av metoderna investeraren bestämmer sig för beror på dess för- och nackdelar. Nedan, i *Tabell 2*, beskrivs en sammanställning av Klemperer (1996) och Bullard och Straka (2011) syn på fördelar och nackdelar för respektive metod vid användandet av accept/reject-analys:

Tabell 2 Bedömningsregel för acceptans samt fördelar och nackdelar för olika metoder att bedöma lönsamheten med vid accept/reject-analyser enligt Klemperer (1996) och Bullard och Straka (2011)

Metod	Bedömningsregel för acceptans	Fördelar	Nackdelar
NPV	$NPV \geq 0$	<ul style="list-style-type: none"> - Beräkningarna är enkla vilket gör dem lämpliga att användas för känslighetsanalyser. - Tar hänsyn till pengars värde i förhållande till tid. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ger ingen relativ bild av investeringen. Resultatet av NPV indikerar endast att investeringen är lönsam/ej lönsam i förhållande till kalkylräntan.
B/C	$B/C \geq 1$	<ul style="list-style-type: none"> - Enkla beräkningar - Lätt att sammanfatta och analysera resultatet 	<ul style="list-style-type: none"> - Ett index är inte lätt att sätta i relation till avkastning, på samma sätt som IRR eller NPV.
IRR	$IRR \geq$ investerarens MAR, kalkylränta	<ul style="list-style-type: none"> - Beräkningarna resulterar i ett lättolkat nyckeltal, avkastningsprocent. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kalkylerna kan vara komplicerade om det förekommer flera värden. - Beskriver inget förhållande, är IRR 5 %, vad är den relativa lönsamheten? 1 kr eller 1000kr?
Payback	Investeringen med den lägsta payback-perioden väljs.	<ul style="list-style-type: none"> - Beskriver hur länge de investerade pengarna kommer vara bundna. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tar ej hänsyn till ränta. - Kostnader och intäkter efter "payback-perioden" ignoreras. - Ignorerar tidpunkten av kassaflödena.

NPV och IRR är de vanligaste metoderna att använda vid accept/reject-analyser inom skogsbranschen enligt Bullard & Straka (2011). Fördelen med IRR inom skogsbruket är att konsultationen mellan organisationer och privata markägare blir tydlig. En procentsats som beskriver årlig avkastning på en investering är lättförståelig för gemene man. Nettonuvärdet tar hänsyn till tidens påverkan på pengarnas värde vilket gör NPV-metoden lämplig för investeringar inom skogsbruket med hänsyn till dess långa investeringsperiod.

Syftet med en rangordningsanalys är att investeraren skall välja mellan olika investeringsalternativ, vilka alla är accepterade enligt investeraren med accept/reject-analysen. En investerare brukar vanligtvis inte ha möjlighet att välja alla accepterade alternativ. I det fall investeraren har accepterat flertalet investeringar har de oftast olika begränsningar, antingen är investeringarna ömsesidigt uteslutande eller oberoende av varandra (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011).

Ömsesidigt uteslutande investeringar är investeringar där endast ett alternativ kan väljas, till exempel om investeraren skall välja vilken gödslingsmetod som passar för ett specifikt bestånd. Valet av ett investeringsalternativ leder till att det ena eller det andra alternativet utesluts, endast ett kan väljas. I de fall investeringar är oberoende av varandra har investeraren möjlighet tillämpa alla investeringar, till exempel om investeraren skall välja mellan att gödsla olika bestånd. I dessa fall påverkar inte investerarens beslut de kassaflöden av den eller de

investeringar som valts bort. Ömsesidigt uteslutande investeringar är vanligt förekommande i skogliga sammanhang (Klemperer 1996).

Det är möjligt att ranka investeringar med hjälp av NPV, EAI och IRR, däremot motiverar Bullard & Straka (2011) att NPV är den bästa metoden att använda i de fall en investerare skall ranka investeringsalternativ med lika lång livstid och EAI då livstiden för investeringarna är olika. Då en investerare väljer alternativet med det högsta NPV säkerställer denne att nuvärdet av de framtida inkomsterna är maximerade vilket skapar en korrelation mellan max NPV och maximalt välstånd (Bullard & Straka 2011). Till skillnad från att ranka NPV eller EAI, skapas inte garanterat maximalt välstånd i de fall investeraren väljer det ömsesidigt uteslutande investeringsalternativet med högst IRR (Klemperer 1996; Bullard & Straka 2011). Bullard & Straka (2011) förtydligar detta i följande exempel:

Natural regeneration of pine stands, for example, often generates a higher rate of return than artificial regeneration. You may, however, earn a high IRR on a relatively small investment, while missing the opportunity to earn more wealth from the land by choosing artificial regeneration.

Då investeraren jämför IRR för ömsesidigt uteslutande investeringar är det alltså viktigt att notera helheten i investeringen. Klemperer (1996) antyder även att detsamma gäller vid jämförande av NPV. Alternativet med högst NPV kan ha en hög investeringskostnad och en låg IRR, samtidigt som en annan alternativinvestering har ett högt IRR med låg investeringskostnad och ett lägre NPV. Det är därav ej möjligt att göra valida jämförelser mellan olika stora investeringar med endast en av metoderna, utan det krävs en sammanvägning av flera metoder i dessa fall (Klemperer 1996).

Studiens syfte är att jämföra lönsamheten i olika gödslingsmetoder för en specifik ståndortstyp, därav kommer analysen bestå av att alternativ rangordnas mot varandra. Studiens resultat är riktat mot rådgivning med privata markägare som uppdragsgivare, därav krävs en redovisning av nyckeltal som är lättförståeligt för gemene man, men som även ger en noggrann bedömning av lönsamheten av gödslingsåtgärderna. De lönsamhetsbedömningsmetoder vilka passar in i denna studie är således IRR, NPV och EAI. Paybackmetoden förkastas då hänsyn ej tas till tid och ränta, vilket är relevant vid lönsamhetsbedömningar inom skogsbruket. B/C-metoden förkastas då metoden främst används vid accept/reject-analyser. Ett index är inte lika enkelt att beskriva jämfört med NPV samt EAI och inte lika lätt att förstå som en avkastningsprocent (IRR). Bullard & Straka (2011) berör även det generella användningsområdet för B/C-metoden vilket främst är inom statliga myndigheter och inte i lika stor utsträckning för skogsinvesteringar i privat sektor.

4 Metod

I följande kapitel beskrivs studiens metod samt den data som har använts. Tillvägagångssätt beskrivs därefter.

4.1 Forskningsansats

Denscombe (2018) beskriver att en fallstudie ger möjligheten för forskaren att beskriva saker i detalj och jämföra olika alternativ. I denna studie jämfördes och förklarades gödslingsstrategiernas lönsamhet, vilket utmärker en fallstudie enligt Denscombe (2018). Fallstudier har nyttjats i huvudsak för att upptäcka information (*Ibid.*), vilket syftet med denna studie krävde, att identifiera och kalkylera olika gödslingsstrategier.

Denscombe (2018) kännetecknar även en fallstudie enligt följande:

- en enhet analyseras	snarare än	många enheter,
- studiens djup	snarare än	studiens bredd,
- det speciella	snarare än	det generella,
- relationer/processer	snarare än	resultat och slutprodukter,
- helhetssyn	snarare än	isolerade faktorer,
- flera datakällor	snarare än	en undersökningsmetod.

Med avseende på ovanstående kännetecken avsåg denna studie att följa vänsterspalten snarare än högerspalten, vilket motiverade strategivalet att använda en fallstudie för att uppfylla studiens syfte.

Forskningsprocessen i denna studie var driven av teorier vilket Robson & McCartan (2016) karaktäriserar som en fixerad studiemetodik. För att besvara studiens syfte krävdes en röd tråd i metodiken. Vetskapen om teorin gällande vilka variabler och procedurer som behövde användas var en central del i början av arbetet då en plan konstruerades. En studie driven av teorier erfordrar hög kvalitet på teorin bakom fenomenet som studeras (*Ibid.*). Därav användes flertalet olika källor i form av vetenskapliga artiklar och rapporter för att generera en tydlig bild av fenomenet.

4.2 Undersökningsenhet

För att besvara syftet krävdes en undersökningsenhet i form av en organisation som utför skogliga uppdrag, allt från rådgivning till slutavverkning. En organisation av denna karaktär erhåller ett lämpligt dataset i form av produktionsdata samt virkesprisdata. Produktionsdata i detta sammanhang innefattar drivningskostnader och avverkningskostnader. Den valda undersökningsenheten är Norra Skog vilka visade ett intresse för studiens syfte och potentiella resultat och ville därmed bistå med handledning, information samt relevant data för att uppfylla studiens syfte.

4.3 Beskrivning och antaganden till gödslingsstrategierna

I syfte att utföra lönsamhetskalkyler för gödslingsstrategierna krävdes fastställande och antaganden om strategierna. Nedan beskrivs gödslingsstrategierna studien ämnar undersöka lönsamheten i, och de antaganden som gjordes för dem.

Vid traditionell gödsling tillförs växttillgängligt kväve i form av ammoniumnitrat (NH_4NO_3) (Jacobson 2005). Gödselgivan i studien baserades på en standardiserad mängd, 150 kg per ha⁻¹ (*Ibid.*). Tidpunkten för gödslingsåtgärden var enligt rekommendation av Falkeström *et al.* (2018), tio år innan förnygringsavverkning. Kostnaden för gödslingsåtgärden baserades på gödselpriser, spridningskostnader och transportkostnader. Intäkten av den traditionella gödslingen realiseras vid tidpunkten för förnygringsavverkningen då gödslingens volymeffekt hade ebbat ut. Gödslingen utförs i enlighet med certifieringarna FSC (2020) och PEFC (2017). Även Skogsstyrelsens och Skogforsks rekommendationer följs vid gödslingsåtgärden (Skogsstyrelsen 2022b; Jacobsson 2005).

I praktiken utförs klimatgödsling på liknande sätt som traditionell gödsling, skillnaden är tidpunkten för gödslingen och kassaflödena under omloppstiden. Tidpunkten för gödslingen är tvungen att dels inträffa när gödslingsåtgärden är additionell, dels så tidigt som möjligt under omloppstiden för att stärka permanensen i gödslingsåtgärden. Enligt Jacobsson (2005) skall gödsling ske tidigast efter förstagallring, därav fastställdes tidpunkten för klimatgödsling till två år efter förstagallring. Två år fastställdes då ett bestånd kan anses ha stabiliserat sig efter gallringsåtgärden. Intäkten av en klimatgödsling baseras på mängden inbunden koldioxid per m³sk och inträffade då varaktigheten av volymeffekten efter gödslingen har ebbat ut, tio år efter gödslingsåtgärden. Intäkten baseras därav på den verifierade inbundna mängden koldioxid och betalas i form av kolkrediter. Vid klimatgödsling är det även möjligt att förnygringsavverka skogen. Klimatgödsling genererar således två ekonomiska intäkter vid olika tillfällen, då markägaren får betalt för inbunden koldioxid tio år efter klimatgödsling och en då förnygringsavverkning utförs och virkesvärdet realiseras. Gödslingsmetoden förutsätter förekommandet av en marknad för klimatkompensation och kolkrediter där företag är villiga att betala för en verifierad mängd inbunden koldioxid. För att motivera att åtgärden skulle kunna existera på en marknad för klimatkompensation har antaganden gjorts med avseende på Konsumentverkets (2021) kritik mot klimatkompensationer:

Overifierade utsläppsminskningar:

Vid klimatgödsling verifieras tillväxten efter att varaktigheten på gödslingseffekten ebbat ut, detta genom återkontroll. Det är först då kolkrediterna kan säljas.

Felaktiga beräkningar:

Beräkningarna utförs med beprövade metoder. I detta fall estimeras tillväxten med Petterssons (1994 a;b) funktioner. Mängden inbunden CO₂ beräknas med en teoretiskt försvarbar formel.

Additionalitet:

Kravet på additionalitet stärks genom det behov Gong *et al.* (2022) beskriver, en identifikation av de omständigheter gödslingsåtgärden ej är lönsam för skogsägaren utan att betrakta klimatnyttan. I denna studie identifierades tidpunkten då gödslingsåtgärden ej är lönsam, med konstanta virkespriser, avverkningskostnader och utgifter i samband med gödsling. För varje

ståndort som skall klimatgödslas utfördes en ekonomisk analys där lönsamheten i gödslingsåtgärder verifierades i syfte att reda ut när en gödslingsåtgärd inte är lönsam. En steg-för-steg-beskrivning av analysen förekommer i kapitel 4.4.3.

Permanens:

Permanenskravet uppfylls dels genom verifikation av utsläppsminskningar då den skog som gödslas utförts på verifieras att den står kvar (ej brunnit ned eller storskaliga skador), dels genom att träråvaran förutsattes förädlas på ett hållbart sätt i förhållande till växthusgasutsläpp.

Hållbarhet i relation till andra faktorer (sociala, ekonomiska och miljömässiga):

Gödslingsåtgärden utförs enligt Skogsstyrelsens (2022b) och Skogforsks (Jacobson 2005) rekommendationer i syfte att utföra åtgärder hållbart i förhållande till sociala och miljömässiga faktorer. Åtgärden skall även följa FSC (2020) och PEFC (2017).

4.4 Data

För att utföra kalkylerna som krävdes för att besvara studiens syfte behövdes sekundärdata i form av tillväxtmodeller, virkesprislistor, avverkningskostnader och skogsvårdskostnader. Norra Skog bistod med denna data. Studiens resultat blev således dels baserat på undersökningsenhetens verkliga kostnader. Norra Skogs tillväxtmodeller var baserad på simuleringar med Skogforsks mjukvara ”INGVAR” och det ingående data som användes i simuleringar var baserat på Norra Skogs egna skötselinstruktioner. Skötselinstruktionerna innefattade även ekonomin i olika skötselåtgärder för olika ståndortstyper. I ekonomin inkluderades en kassaflödesanalys samt nuvärdesberäkningar. Respektive ståndort i skötselprogrammet erhöll olika tidpunkt för skötselåtgärder (röjning, gallring och slutavverkning).

För att uppnå studiens syfte och beräkna lönsamheten i skogsmarksgödslas krävdes primärdata i form av estimeringar på volymeffekt av gödslas i ett särskilt bestånd (*Tabell 3 & 4*). Även en funktion för varaktigheten av gödslingseffekten beräknades för att användas i syfte att verifiera att gödslingarnas tillväxteffekt ebbat ut innan slutavverkning samt inte överlappar varandra i kommande analys gällande additionaliteten (*Tabell 5*). Funktionerna beräknades i kalkylprogrammet Excel.

Tabell 3 Funktion för att estimeras tillväxteffekten av skogsgödsling efter fem år (E_5). Beroende variabel, log gödslingsrespons ($m^3sk. ha^{-1} 5 \text{ år}^{-1}$) (Pettersson 1994b)

Oberoende variabler	Koefficient	Enhet
Konstant	-5,113004 ¹⁾	
log gödslingsdos AN	1,335267	log (kg N ha ⁻¹)
Ståndortsindex²⁾	0,106000	m
Gödslingsdos * ståndortsindex AN	-0,000090	(kg N ha ⁻¹ x m)
Log altitud	1,719173	log (m + 100)
Norra Sverige lat. 61 och över	0,119126	
Latitud x altitud	-0,000030	(grader x m)
log (latitud x altitud)	-0,215528	log (grader x m)
Löpande tillväxt P. sylvestris³⁾	-0,051843	m ³ sk ha ⁻¹ year ⁻¹
log (löpande tillväxt P. sylvestris³⁾	0,781026	log (m ³ sk ha ⁻¹ year ⁻¹)
log (löpande tillväxt P. abies)⁴⁾	0,0306321	log (m ³ sk ha ⁻¹ year ⁻¹)

¹⁾ Konstanten är justerad för logaritmisk bias och 10% minskning av den uppskattade responsen. Konstant innan korrigering = -5,067246.

²⁾ Övre höjd vid 100 års ålder.

³⁾ Koefficienten används i talldominerade bestånd.

⁴⁾ Koefficienten används i grandominerade bestånd.

Tabell 4 Funktion för att estimeras gödslingsens totala påverkan på skogstillväxten (E). Beroende variabel (E), log gödslingsrespons ($m^3sk. ha^{-1}$) (Pettersson, 1994a)

Oberoende variabler	Koefficient	Enhet
Konstant	-0,115848 ¹⁾	
log respons, första fem åren (E_5)	0,973479	log ($m^3sk ha^{-1} 5 \text{ år}^{-1}$)
latitud	0,019539	(grader - 54)
Altitud	0,004166	(m + 100)
log altitud	1,719173	log (m + 100)
Latitud x altitud	-0,000057	(grader x m)
Ståndortsindex²⁾	-0,005493	m
log (latitud x altitud)	-0,215528	log (grader x m)
P. sylvestris³⁾	-0,051843	
log gödslingsdos	0,314026	log (kg N ha^{-1})

¹⁾Konstanten är justerad för logaritmisk bias.

²⁾Övre höjd vid 100 års ålder.

³⁾Koefficienten används i talldominerade bestånd.

Tabell 5 Funktion för att estimerar varaktigheten av gödslingseffekten i ett bestånd efter en skogsmarksgödsling. Beroende variabel, log varaktighet (år) (Pettersson, 1994a)

Oberoende variabler	Koefficient	Enhet
Konstant	0,835350 ¹⁾	
log total respons (E)	0,107194	log (m³sk ha⁻¹ 5 år⁻¹)
Respons, total (E)/första 5 åren (E₅)	-0,192093	(m³sk ha⁻¹ total⁻¹/ m³sk ha⁻¹ 5 år⁻¹)
log respons, total (E)/första 5 åren (E₅)	1,314621	log (m³sk ha⁻¹ total⁻¹/ m³sk ha⁻¹ 5 år⁻¹)
log altitud	0,036374	log (m + 100)
log löpande tillväxt	-0,000057	log (m³sk ha⁻¹ år⁻¹)

¹⁾Konstanten är justerad för logaritmisk bias.

I funktionerna användes flertalet oberoende variabler vilka listas i *Tabell 3 och 4*. De oberoende variablerna som användes i funktionerna baserades på data från olika källor. Val av ståndortsindex som skulle användas i studien utfördes i samråd med undersökningsenheten, de som valdes var följande: T16, G16, T20, G20, T24 och G24. Gödslingsdosen fastställdes till 150 kg per hektar vid en enskild gödsling enligt Skogsstyrelsens rekommendationer (Larsson *et al.* 2009). Variablerna altitud och latitud för respektive ståndort bestämdes också i samråd med Norra Skog och baserades på orter. För T16 och G16 valdes Boden (altitud 46 m, latitud 66°), för T20 och G20 valdes Vännäs (altitud 89 m, latitud 64°) och för T24 och G24 valdes Östersund (altitud 312 m, latitud 63°). Valet av ort kopplat till respektive ståndortsindex baserades på vart i geografiska dessa ståndortsindex ansågs "vanligast". Samtliga orter är lokaliserade inom område fyra enligt Skogsstyrelsens (2022b) (*Figur 3*) områdesindelning, vilket innebär att 450 kg N per ha⁻¹ bör spridas under en omloppstid. Den löpande tillväxten för respektive ståndortsindex baserades på data Norra Skog hade simulerat fram med hjälp av mjukvaran "INGVAR".

För att utföra lönsamhetsbedömningarna krävdes även fastställande kalkylränta, kostnad för gödslingsåtgärden och data i syfte att beräkna kassaflödet för inbunden koldioxid. Dessa variabler fastställdes dels med Norra Skogs råd, dels genom granskning av litteratur och data från internet.

Kalkylräntan som användes vid lönsamhetsberäkningarna i studien var 2,5% och användes då Norra Skog tidigare hade använt räntesatsen i deras modelleringar. Kostnaden för respektive gödsling fastställdes till 3000 kr per ha⁻¹ då det var ett medelvärde enligt Norra Skogs tidigare affärer. Kostnaden inkluderade spridning, transport och pris för gödselmedlet. Gödselpriserna som användes i studien är baserade på priser från 2020 och tidigare, detta för att exkludera de omvärldsfaktorer som har påverkat priset på gödselmedel under år 2021 och 2022.

För att beräkna mängden inbunden CO₂ vid klimatgödning krävdes vetenskapen om torr-rådensiteten för respektive träslag vilka inkluderades i studien. Enligt Svenskt Trä (2022) erhåller Tall (*Pinus sylvestris*) torr-rådensiteten 420 kg per m³ och gran (*Picea abies*) 380 kg per m³. En kubikmeter fast trämassa består till 50% av kol, vilket i sin tur kan omvandlas till en mängd CO₂ genom multiplicering av mängden kol och omvandlingsfaktorn "11/3".

Priset på koldioxid fastställdes baserat på ett ungefärligt medelvärde de senaste fem åren (2017–2022). Det data som användes härstammade från den Europeiska unionens handelsutsläppssystem (EU ETS). Enligt EU ETS statistik fastställdes priset på koldioxid per ton därav till 40 euro. Medelvärdet för växlingskursen för en euro till svensk krona var under den senaste fem-årsperioden (2017-2022) 10,4108 SEK enligt European Central Bank (2022). Priset på CO₂ per ton fastställdes således till 416,43 svenska kronor i studien.

4.4.1 Bakgrund till prognosfunktionen för estimering av gödningseffekt på tillväxten efter fem år

Den första prognosfunktionen (E₅) som användes i studien var baserade på data från totalt 230 gödningsexperiment vilka inkluderade 961 provytor, efter två urval utfört av Pettersson (1994b). Det totala urvalet bestod av experiment som var etablerade av Skogforsk och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Provytorna i experimenten befann sig på mark med mineraljord, marken hade blivit gödslad en gång och data för gödningseffekterna fanns tillgänglig över de första fem åren (*Ibid.*).

Gödningseffekten i experimenten baserades på jämförelser mellan gödslade provytor och ogödslade kontrolltytor. Precisionen i metoden låg därav till stor del på att finna kontrolltytor vars ståndort liknade de ståndorter var gödningsexperimenten utfördes (*Ibid.*). I syfte att säkra kvalitén i precisionen valde Pettersson (1994b) att exkludera alla gödslade provytor vilka skilde sig från kontrolltytorna enligt följande kriterier:

- Ståndorter med över 25% spridning av grundyta vid tidpunkten av gödningen.
- Ståndorter med över 25% spridning av en ökning i grundyta under de första fem åren direkt innan gödningssåtgärden (Endast möjligt på Skogforsks experiment då SLU ej hade detta data).
- Ståndorter med 30% spridning i fråga om antalet stammar per hektar.

Därtill exkluderades även provytor där gödselgivan var större än 250 kgN per hektar. Ståndorter där grundytan för lövträd är större än 20%. Ståndorter med tydliga tillväxtskillnader (ståndorter där tillväxten var högre eller lägre i gödningssprovytan jämfört med kontrollytan omedelbart innan gödningstillfället) och ståndorter där den relativa ökningen av grundyta, året omedelbart innan gödning, låg inom intervallet 90–110%. Efter detta första urval återstod 1166 provytor från Skogforsks 249 experiment och 319 provytor av SLU:s 84 experiment.

I syfte att analysera den tillväxt skogsgödningen tillförde krävdes flertalet variabler från de gödslade och ogödslade provytorna, till exempel grundyta, gödselgiva, gödselsort, trädslagsfördelning, ålder, tidpunkt för gödning och ståndortsindex. Majoriteten av variablerna bestämdes med standardiserade metoder, till exempel beräknades variabeln ståndortsindex med höjdtutvecklingskurvor. SLU och Skogforsk fastställde tillväxtökningen i deras respektive provytor med olika metoder (Pettersson 1994b).

SLU fastställde tillväxtökningen genom att jämföra skillnaderna mellan gödslade och ogödslade provytor, vilket var möjligt då dessa provytor befann sig i samma bestånd. Tillväxten uppskattades inom ett spann på tre till tio år beroende på hur många år det var mellan volymmätningen och gödslingen. Detta medförde att endast 24 av 319 provytor erhöll data för volymtillväxt efter fem år vilket var det data som efterfrågades i syfte att producera tillväxtfunktioner vilka estimerar gödslingens påverkan på tillväxten efter fem år. För att inkludera tillväxtdata från de resterande 295 provytorerna korrigerades data från dessa provytor med hjälp av tillväxtfunktionerna Pettersson (1980) tidigare hade producerat för skogsmarksgödsling. Funktionen beräknade andelen av tillväxtökningen på grund av skogsmarksgödsling som uppstod ett givet år (Pettersson 1994b).

Skogforsk använde olika metoder för att beräkna den löpande tillväxten (CAI) på de gödslade provytorerna. Först, till 1980-talet användes en kalkylmetod där den procentuella ökningen av grundyta under en fem-årsperiod beräknades. I mitten av 1980-talet övergav Skogforsk denna metod och övergick till att använda kovariansanalys. Övergången till kovariansanalys möjliggjorde Skogforsk att öka precisionen i resultatet men det var även lättare att jämföra resultatet. Andelen provytor där den nya metoden användes för att beräkna tillväxten var väldigt liten då de flesta provytorerna redan hade beräknats med den äldre metoden (Pettersson 1994b).

I syfte att producera en ny prognosfunktion för gödslingens påverkan på volymtillväxten krävdes tillväxtmodeller för dessa (*Ibid.*). De prognosfunktioner som producerades tidigare baserades på flertalet tillväxtmodeller. I Petterssons (1994b) prognosfunktion användes i princip samma tillväxtmodeller som Rosvall (1980) använde i sin prognosfunktion.

Skogsmarksgödslingens påverkan på tillväxten är främst beroende av gödselgivan, ståndortsfaktorerna och ståndortsindexet men även beståndets underskott på kväve och dess förmåga att ta upp det extra kväve som tillförs vid gödslingen. En procentuell ändring av dessa faktorer kunde således leda till en procentuell ändring av gödslingseffekten, därav utvecklades en modell som beskrev hur gödslingen påverkades av dessa produktionsfaktorer (Pettersson 1994b).

I följande steg definierade Pettersson (1994b) ännu ett fåtal kriterier för det data vilket prognosfunktionerna var baserade på. Kriterierna tillämpades sedan på det första urvalet av provytor i syfte att göra ett andra urval, där provytor vilka följer kriterierna skapar grunden för prognosfunktionerna. Syftet med kriterierna var att de nya funktionerna skulle vara möjliga att tillämpa i skogsbruket och därav anpassades funktionerna efter skogsbrukets och Skogforsks rekommendationer för ”gödslingsbara” marker. Kriterierna för det andra urvalet av provytor vilka skulle inkluderas var följande:

- Ståndortsindexet begränsas mellan T14 och G32
- Brösthöjdsålder får ej understiga 20 år
- Jordarten får ej vara brunjord
- Humuslagret får ej vara av tjocklagrad torv-karaktär
- Jordlagret får ej innehålla ortsten (sammankittat marklager)
- Metoden som används för att fastställa tillväxtfunktionen måste vara reliabel (det data Skogforsk bistod med från experimenten möter detta krav, däremot krävdes en åtgärd i syfte att öka reliabiliteten för det data SLU hade estimerat med sina kalkylmetoder).

För att öka reliabiliteten på SLU:s data vilken prognosfunktionen baserades på jämfördes data från de provytor där en korrektion krävdes (de provytor där volymtillväxten beräknades det 3, 4 och 6–10 året) med data från de provytor vilka prognosfunktionerna var baserade på. Resultatet indikerade att en stor del av provytorerna från SLU:s data var överestimerade vilket i sin tur ledde till att det data var opålitligt, vilket därefter ledde till detta data blev exkluderat. SLU:s data var även opålitligt i den mån att den årliga tillväxten var beräknad ett eller flera år innan gödslingen utfördes vilket skapade ännu starkare argument att exkludera data från dessa provytor. Pettersson (1994b) ansåg även att det var fel att använda data som har blivit korrigerat med hjälp av tidigare prognosfunktioner i syfte att basera den nya prognosfunktionen på. Efter detta urval återstod endast ett få antal provytor från SLU:s experiment vilka Pettersson (1994b) även de lät exkluderas från basen till den nya prognosfunktionen. Slutligen, efter samtliga urval återstod data från 961 provytor från 230 experiment, allt från Skogforsk (Pettersson 1994b).

Då urvalet av data var färdigt följde endast några få steg för att färdigställa prognosfunktionerna. Först krävdes fastställandet av variabler som skall ingå i prognosfunktionerna. De valda variablerna baserades på de variabler de tidigare prognosfunktionerna hade använt, men de baserades även på studier vilka beskrev relationen mellan vissa variabler och tillväxt gällande skogsmarksgödsling. Sedan framställdes prognosfunktionerna med hjälp av multipel linjär regressionsanalys. Till sist testades variablerna i den nya prognosfunktionen mot slumpfel och varians i syfte att fastställa kvaliteten i modellen (Pettersson 1994b).

4.4.2 Bakgrund till prognosfunktioner för estimering av total gödslingseffekt på volymtillväxt och dess varaktighet

Funktionen för den totala tillväxteffekten av skogsmarksgödsling (E) var baserad på data från totalt 301 provytor från 117 experimentbestånd (Pettersson 1994a). Likt kraven för funktion E₅ var samtliga provytor lokaliserade på mineraljord och marken hade blivit gödslad en gång. Däremot krävdes att data angående gödslingens effekt på tillväxten över en period på minst sju år, till skillnad från funktion E₅ där det endast krävdes beståndsdata över en period på de första fem åren. I syfte att stärka kvalitén från det data vilket härstammade från provytorerna sattes följande kriterier upp av Pettersson (1994a):

- Ståndorter med över 30% spridning av grundyta vid tidpunkten av gödslingen
- Ståndorter med över 30% spridning av en ökning i grundyta under de första fem åren direkt innan gödslingsåtgärden.
- Ståndorter med 30% spridning i fråga om antalet stammar per hektar.

Kriterierna liknar de som användes vid framtagande av funktion E₅, skillnaden var en procentökning med fem procentenheter gällande de två förstnämnda punkterna. För övrigt exkluderades även provytor där gödselgivan var större än 360 kgN per hektar. Ståndorter där gödslingen utfördes mellan april och augusti. Ståndorter där grundytan för lövträd är större än 20%. Ståndorter där gödslingen har skett under flera tillfällen under samma år, alternativt att den har skett under flera år efter varandra. Ståndorter med tydliga tillväxtskillnader (ståndorter där tillväxten var högre eller lägre i gödslingsprovytan jämfört med kontrollytan omedelbart innan gödslingstillfället) och ståndorter där den procentuella ökningen av grundyta, året omedelbart innan gödsling, låg inom intervallet 90-110% Pettersson (1994a).

Funktion E var även menad att användas i praktiskt syfte för skogsbruket, likt funktion E_5 . Därav användes identiska kriterier för de inkluderade provytorna i funktion E utifrån rekommendationer från skogsbruket och Skogforsk (Pettersson 1994a):

- Ståndortsindexet begränsas mellan T14 och G32
- Brösthöjdsålder får ej understiga 20 år
- Jordarten får ej vara brunjord
- Humuslagret får ej vara av tjocklagrad torv-karaktär
- Jordlagret får ej innehålla ortsten (sammankittat marklager)

Efter dessa urval återstod, vilket nämnts tidigare, data från 301 provytor från 117 experimentsbestånd.

Med ett urval av provytor och data var det möjligt att fortgå till nästa steg, fastställande och kalkylering av beståndsvariabler. Exempel på variabler vilka krävdes i syfte att producera funktionen var grundyta, gödselgiva, gödselsort, trädslagsfördelning, ålder, tidpunkt för gödsling, ståndortsindex, den löpande tillväxten och gödslingseffekten. I princip samma variabler användes i funktion E_5 och de framställdes och beräknades på liknande sätt. Skillnaden i variabler mellan de två funktionerna var att följande variabler inkluderades i funktion E och inte i E_5 , årlig procentuell ökning av grundyta och varaktighet av gödslingseffekten. Den årliga ökningen av grundyta beräknades med variablerna tr addediameter och årsringsbredd. Mätningarna utfördes på samtliga träd inom samtliga 301 provytor. Precisionen på mätverktygen var 0,01 mm.

Varaktigheten av gödslingseffekten i provytorna kunde fastställas med hjälp av den procentuella ökningen av grundyta i de gödslade provytorna. Det är den procentuella ökningen av grundyta i en gödslad provyta var lika med den procentuella ökningen av grundytan i en kontrolllyta, var det är gödslingens effekt avstannade, vilket resulterade i gödslingens varaktighet. Den löpande tillväxten i kontrollytorna beräknades med hjälp av höjd och årsringsbredd från träden i dessa ytor. För att estimeras den löpande tillväxten i de gödslade provytorna användes en formel vilken beräknar relationen mellan grundytan i de gödslade och ogödslade provytorna vilket i sin tur resulterade i en procentuell ökning av grundytan i de gödslade provytorna över ett visst antal år. Sedan beräknades volymökningen i femårs-perioden efter gödslingen och över hela gödslingseffekt-perioden i kontrollytan.

Volymtillväxten i den gödslade ytan estimerades därefter med en formel som använde volymtillväxten i kontrollytan som grund. I det sista steget antogs att volymökningen i en gödslad yta var proportionell med ökningen av grundyta vilket är ett reliabelt antagande enligt tidigare studier angående sambandet mellan volym och grundyta. Med antagandet var det möjligt att producera en formel vilken resulterade i gödslingseffekten totala respons samt responsen efter fem år (Pettersson 1994a).

Tillväxtmodellerna Pettersson (1994a) använde för att producera funktion E var identiska med de modeller vilka användes i tidigare prognosfunktioner. Den essentiella skillnaden mellan funktion E och E_5 var att gödslingseffekten efter en fem-årsperiod, E_5 , användes som en förklaringsvariabel i den nya funktionen E. Den totala gödslingseffekten korrelerar starkt med E_5 och påverkar det slutliga resultatet funktion E. Den totala gödslingseffekten är beroende av flertalet faktorer vilka inkluderas i funktion E_5 . Funktionen för gödslingens varaktighet var beroende samma variabler som funktion E vilket i sin tur gjorde att funktionen för varaktighet till stor del berodde på storleken av funktion E. Detta kunde slutligen användas för att producera

modeller vilka förklarade gödslingens totala effekt på volymen, dess varaktighet och när tillväxteffekten kulminerade efter gödsling (Pettersson 1994a).

4.4.3 Validitet och tillämpning av prognosfunktionerna

I syfte att validera funktionernas reliabilitet testades resultatet i funktionerna mot en verklig effekt av gödsling. De tidigare prognosfunktionerna testades mot en observerad gödslingseffekt på 14 provytor där resultatet visade att prognosfunktionerna överestimerade gödslingseffekten med totalt 18%. Med handspridning sprids gödselmedlet mer optimalt än i praktiken, vilket i sin tur leder till att gödslingseffekten blir jämnare och därav högre i hela beståndet, skillnaden är dock inte stor (Pettersson 1994b;a).

Den nya okorrigerade funktionen, E_5 , erhöll i genomsnitt 10% lägre estimat än de okorrigerade tidigare funktionerna. I syfte att använda den nya funktionen i praktiken bör värden funktionen producerar korrigeras ned 10%. I praktiken producerar den nya funktionen i genomsnitt 5% lägre värden än de gamla funktionerna. Värdet varierar beroende vart i den svenska geografiska funktionen tillämpas. Funktionen estimerar högre värden på marker med högre löpande tillväxt, vilket det är i de södra delarna av landet. Den korrigerade gödslingseffekten var väldigt liten i de norra delarna av Sverige, samtidigt var det korrigerade värdet i de centrala delarna av landet mellan 8–9 procent. Den nya funktionen krävde på liknande sätt som de gamla funktionerna en korrigering för det praktiska skogsbruket och handspridningen av gödselmedlet i provytorna funktionen baserades på. En algoritm tillsattes i funktionen i syfte att korrigera den i för att kunna använda funktionen i det praktiska skogsbruket. Algoritmen baserades på antagandet att gödslingsdosen distribueras i olika delar av beståndet efter en ungefärlig standardfördelning (Pettersson 1994b;a). Algoritmen för spridningen som användes baserades på flertalet gödselsdistributionsstudier utförda av Skogforsk (Pettersson 1994b).

Petterssons (1994b) studie kunde även påvisa att historien i ett bestånd inte har någon betydelse för gödslingens effekt på träden. Experimentbestånden kunde vara obrukade och i vissa hade plockhuggning utförts. De bestånd som plockhuggats och de obrukade bestånden svarade för övrigt väldigt bra på gödsling, till och med över medel i vissa fall.

En anledning till att en lägre tillväxteffekt observerades i jämförandet mellan funktionens resultat och det verkliga resultatet kunde bero på att provytorna i experimentet var utlagda där densiteten av antalet stammar var hög. I praktiken förekommer ofta luckor och hänsynsytor i skogen, vilket provytorna i experimentet ej inkluderade. I dessa luckor och hänsynsytor är ofta trädens möjlighet att ta upp kväve lägre. Pettersson (1994b) kunde även se ett samband mellan gödslingens effekt och ett välutvecklat rotsystem. Analyseringen av korrelationen mellan stamtäthet och gödslingseffekt visade att residualerna (varje observations avvikelse från regressionslinjen) i genomsnitt hade ett positivt värde för provytor vilka hade en hög stamtäthet (över 2000 stammar per hektar) och ett negativt värde för provytor med lägre stamtäthet (mindre än 500 stammar per hektar). Detta indikerade således att ett mer välutvecklat rotsystem ger en högre effekt av gödslingsåtgärden Pettersson (1994b).

Mätningarnas precision är en återkommande faktor vilken är återkommande vid skogliga mätningar. Gödslingseffekten var troligtvis både över- och underestimerad i de provytor som användes vid produktion av funktionen. Effekten av gödsling kan således innehålla en viss osäkerhet vid estimering av enskilda bestånd gödslingseffekt. I syfte att funktionen skulle producera ett värde med högre precision och reliabilitet föreslog Pettersson (1994b) att inkludera flertalet olika bestånd i estimeringarna.

Pettersson (1994b) nämnde även att funktionen inte kunde appliceras på bestånd vilka gallring planeras att utföras under varaktigheten av gödslingseffekten. Anledningen grundar sig i att gallringen skulle medföra en minskning av gödslingseffekten då träden tas ut. Gallring bör således ske efter varaktigheten av gödslingseffekten har ebbat ut Pettersson (1994b).

Funktionerna är främst applicerbara för bestånd vilka gödslas för första gången under rotationsperioden. I de fall gödsling flertalet gånger under en rotationsperiod bör nästkommande gödslingstillfälle inte vara innan varaktigheten av den föregående gödslingen är slut. Om detta sker blir gödslingseffekten reducerad (Jacobsson & Nohrstedt 1993). I syfte att få ut maximal gödslingseffekt med en gödslingsmetod där gödsling sker två eller fler gånger bör gödslingarna ske tidigast efter föregående gödslingseffekt ebbat ut (Pettersson 1994a). Pettersson (1994b) rekommenderar även en reduktion av värdet funktionen producerar i de fall en återkommande gödsling appliceras i syfte att minska risken för överestimering.

4.5 Arbetsprocess

Arbetsgången för att uppnå studiens syfte bestod av flertalet steg. För att ge läsaren en översiktlig bild illustreras arbetsgången steg-för-steg i *Figur 4*.



Figur 4 Översiktlig illustration av arbetsgången

Arbetsprocessen beskrivs vidare i 4.5.1- 4.5.5.

4.5.1 Beräkning av uppskattad volympåverkan vid gödsling

Vid estimering av skogsmarksgödslingens volympåverkan på respektive beståndstyp användes två funktioner. Den ena funktionen estimerade gödslingens påverkan på beståndstypens volymtillväxt efter 5 år (E_5) (*Tabell 3*) (Pettersson 1994b). Den andra funktionen estimerade den totala påverkan på beståndstypens volymtillväxt efter gödsling (E) (*Tabell 4*) (Pettersson

1994a). Den sistnämnda funktionen var beroende av den förstnämnda, därav krävdes båda funktionerna för att estimerade gödslingens totala påverkan på beståndets volymtillväxt.

4.5.2 Beräkning av uppskattad varaktighet av gödslingseffekten

För att verifiera att gödslingseffekterna inte skulle överlappa varandra vid analysen av additionalitet (redovisas i kapitel 4.5.3) krävdes en funktion för att estimerade varaktigheten av gödslingseffekten (*Tabell 5*). Funktionen för uppskattning av gödslingseffektens varaktighet (*Tabell 5*) beräknades dels med samma oberoende variabler som de ovannämnda funktionerna (E) och (E₅), dels med resultaten från dessa. Resultatet av funktionen för gödslingens varaktighet avrundades till närmsta hela år i enlighet med Petterssons (1994a) instruktioner för användande av funktionen.

4.5.3 Förberedande arbete till lönsamhetsberäkning

Prognosfunktionerna estimerade gödslingseffekten i m³sk för ett specifikt bestånd med givna värden för ståndortsindex, altitud, latitud, gödselgiva och löpande tillväxt. Resultatet av den estimerade gödslingseffekten var skillnaden i volym mellan ett gödslat och ogödslat bestånd.

Skillnaden i m³sk kunde överföras till en procentuell skillnad mellan ett gödslat kontra ogödslat bestånd vid föryngringsavverkning. Avverkningskostnader och virkespriser var baserade på medelstammen i beståndet. För att fastställa hur medelstammen påverkades av gödslingen applicerades den procentuella skillnaden som uppstod vid identifieringen av skillnaden i volym mellan ett gödslat och ogödslat bestånd med identiska givna tillväxtvärden på medelstammen i det ogödslade beståndet.

Virkespriserna som användes i kalkylerna utgick från pris per m³fub och prognosfunktionerna producerade volym i m³sk vilket krävde ett omvandlingstal från m³sk till m³fub. Norra Skog hade tidigare använt 0,84 som omvandlingstal (från m³sk till m³fub) i tidigare skötselprogram och därav användes samma tal i denna studie vid omräkningen.

Virkespriserna inkluderade ett grundpris per m³fub, premier, timmerandel samt massavedspris. Kostnaden för skotning baserades på ett medelavstånd av Norra Skogs avverkningar. Utifrån ovannämnda information kunde ett nettovärde per m³fub beräknas i ett gödslat bestånd med givna beståndsegenskaper.

För att utföra en lönsamhetsbedömning för en klimatgödsling krävdes att gödslingen skulle vara additionell. I syfte att verifiera gödslingens additionalitet utfördes en lönsamhetsanalys på respektive SI. Nedan beskrivs ett exempel, steg-för-steg, från studien (för SI G16 där föryngringsavverkning skall ske vid 104 års ålder) hur analysen gick till väga.

1. Ta reda på om gödsling (vid 94 års ålder) är lönsamt. Svar: JA, NPV = 1249,9 kr. "Klimatgödsling" kan inte ske vid 94 års ålder då gödslingen ej är additionell.
2. Ta reda på om en gödsling (vid 83 års ålder) är lönsam, förutsatt att en gödsling sker vid 94 års ålder. Totalt sker två gödslingar. Svar: EJ LÖNSAM -> NPV = -531,4 kr. "Klimatgödsling" kan ske vid 83 års ålder då den är additionell (ej lönsam och bör ej genomföras).
3. Ta reda på om en gödsling (vid 72 års ålder) är lönsam två år efter första gallringen. Förutsatt att en till gödsling efter denna gödsling sker (vid 94 års ålder). Totalt sker två gödslingar. Svar: NEJ, NPV = -1242,0 kr. Svar: EJ LÖNSAM -> "Klimatgödsling" kan

ske efter första gallring vid 72 års ålder då den är additionell (ej lönsam och bör ej genomföras).

Resultatet från funktionen för att estimerar varaktigheten av gödslingseffekten användes för att verifiera att gödslingseffekterna ej överlappades i ovanstående analys.

4.5.4 Beräkning av nettonuvärde och annuitet

En investering i klimatgödsling respektive traditionell gödsling genomförs vid olika tidpunkter vilket medförde att de ej kunde jämföras diskonterade till gödslingsstillfället, då en jämförelse av nuvärden kräver att investeringsalternativen utgår från en gemensam tidpunkt. Nuvärdena diskonterades därav till början av omloppstiden, år 0, för respektive gödslingsstrategi.

För att avgöra lönsamheten i respektive gödslingsåtgärd beräknades nettonuvärdet av gödslingsinvesteringarna med hjälp av nettonuvärdesmetoden vars formel är följande enligt Klemperer (1996):

$$NPV = PV(benefits) - PV(costs) = \sum_{y=0}^n \frac{R_y - C_y}{(1+r)^y}$$

Där

NPV = Nettonuvärde

PV (benefits) = Nuvärde för intäkterna

PV (costs) = Nuvärde för kostnader

R = intäkter (kr)

C = kostnader (kr)

r = kalkylränta

y = år

n = omloppstid

För att redovisa lönsamheten för nettonuvärdet i årlig avkastning användes annuitetsmetoden (EAI). Då NPV var diskonterat till år 0 beskrev annuiteten den årliga avkastningen av gödslingsåtgärden under hela omloppstiden. Resultatet från föregående beräkning (NPV) för respektive gödslingsinvestering samt en annuitetsfaktor användes för att beräkna den årliga avkastningen. Följande formel användes (Bullard & Straka 2011):

$$EAI = NPV * \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Där

EAI = årlig avkastning, annuitet (kr)

NPV = nettonuvärde (kr)

r = kalkylränta

n = omloppstid

4.5.5 Beräkning av internränta

Lönsamheten i respektive gödslingsåtgärd beräknades även genom framtagandet av en internränta för respektive gödslingsinvestering. Följande formel användes (Klemperer 1996; Persson & Nilsson 1999; Bullard & Straka 2011):

$$\sum_{y=0}^n \frac{R_y - C_y}{(1 + IRR)^y} = 0$$

Där

R = intäkter (kr)

C = kostnader (kr)

IRR = internränta

y = år

n = omloppstid

4.6 Ekonomiska känslighetsanalyser

Hedwall *et al.* (2014) utmärkte ett fåtal faktorer som påverkar det ekonomiska resultatet av skogsmarksgödsling. Det handlar om kalkylränta, den ökade volymen biomassa som blir avverkad och dess pris, tidpunkten och kostnaden för gödsling. I denna studie estimerades volymökningen genom tidigare användning av funktionerna i *Tabell 3* och *4*. Tidpunkten för gödslingstillfället var fastställd genom rekommendationer av Falkeström *et al.* (2018), att gödsling skall ske tio år innan planerad slutavverkning vid traditionell gödsling. Klimatgödslingens gödslingstidpunkt fastställdes dels baserat på styrkandet av additionalitet, dels med Skogforsks och Jacobssons (2005) rekommendation att gödsling tidigast får ske efter förstagallring. Därav utfördes känslighetsanalyser på resterande faktorer (kalkylräntan, virkespriserna samt totalkostnaden för gödslingsåtgärden) för att undersöka dess påverkan på nettonuvärdet och internräntan av en investering i skogsmarksgödsling. Känslighetsanalyserna utfördes endast på SI T16, T20 och T24 och det nyckeltal som undersöktes i känslighetsanalyserna var NPV. Anledningen grundar sig i Bullard och Strakas (2011) rekommendation att NPV lämpar sig för rangordning av investeringar.

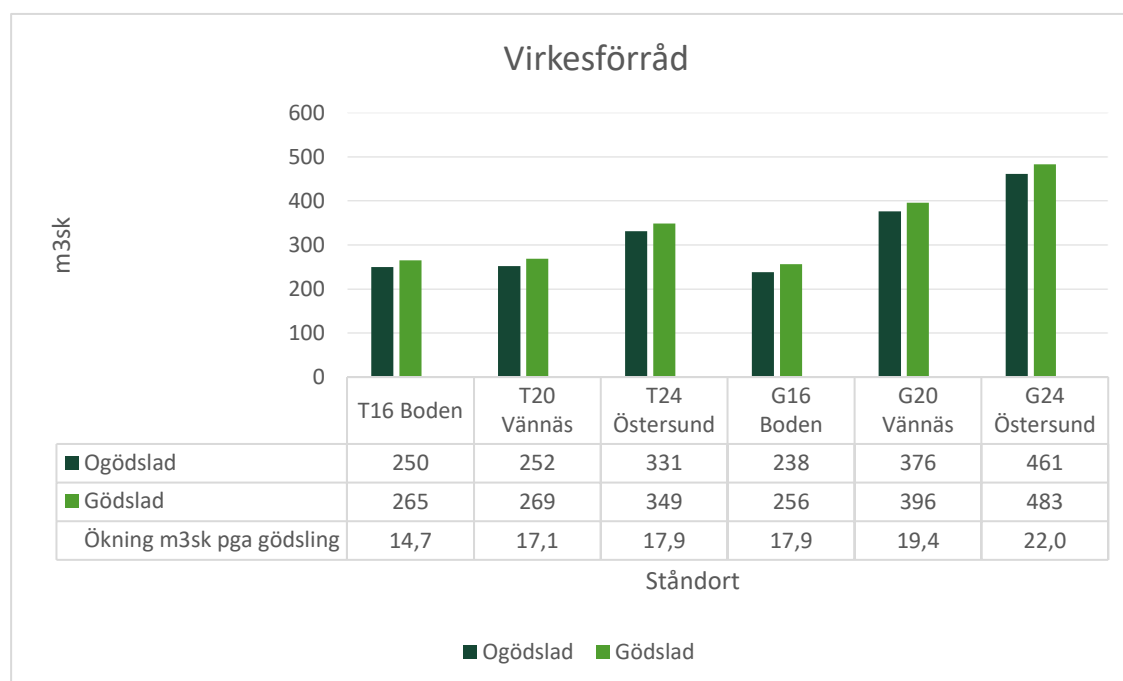
Vid analysen av kalkylränta användes variationerna 1,5%, 2,0%, 2,5% (referens), 3,0% och 3,5%. För virkespris användes ett procentuellt intervall vilket var följande: -30%, -15% 0% (referens), 15% och 30%. För gödslingskostnader användes också ett procentuellt intervall vilket var följande: -50%, -25%, 0% (referens), 25% och 50%. Referensvärdet var det värde som användes vid lönsamhetsbedömningarna i studien, för respektive faktor.

5 Resultat

I följande kapitel redovisas resultaten av estimerad volymökning, lönsamhetsberäkningar samt känslighetsanalyser.

5.1 Estimerad volympåverkan

Volympåverkan vid klimatgödslning och traditionell gödslning var identiska med en decimal, därav redovisas endast "Gödslad" i *Figur 5*, vilket motsvarar båda gödslingsmetoderna.



Figur 5 Totalt virkesförråd vid slutavverkningstidpunkten för respektive ståndort, med gödslning och utan gödslning. Skillnaden mellan ett bestånd med gödslning och utan gödslning redovisas även i figuren. Volympåverkan vid klimatgödslning och traditionell gödslning var identiska med en decimal, därav redovisas endast en gödslning "Gödslad", vilket motsvarar båda gödslingsmetoderna.

Samtliga ståndorter erhöll en positiv volymeffekt av gödslning enligt Petterssons (1994a;b) funktioner. Prognosfunktionerna producerade störst reell ökning i volym (m³sk) för ståndortsindex G24, följt i storleksordning av G20, G16 och T24, T20 och minst reell ökning i m³sk hade T16, som *Figur 5* visar. Den relativa ökningen av volym för respektive ståndortsindex vid gödslning i förhållande till ett ogödslat bestånd beskrivs i *Tabell 6*.

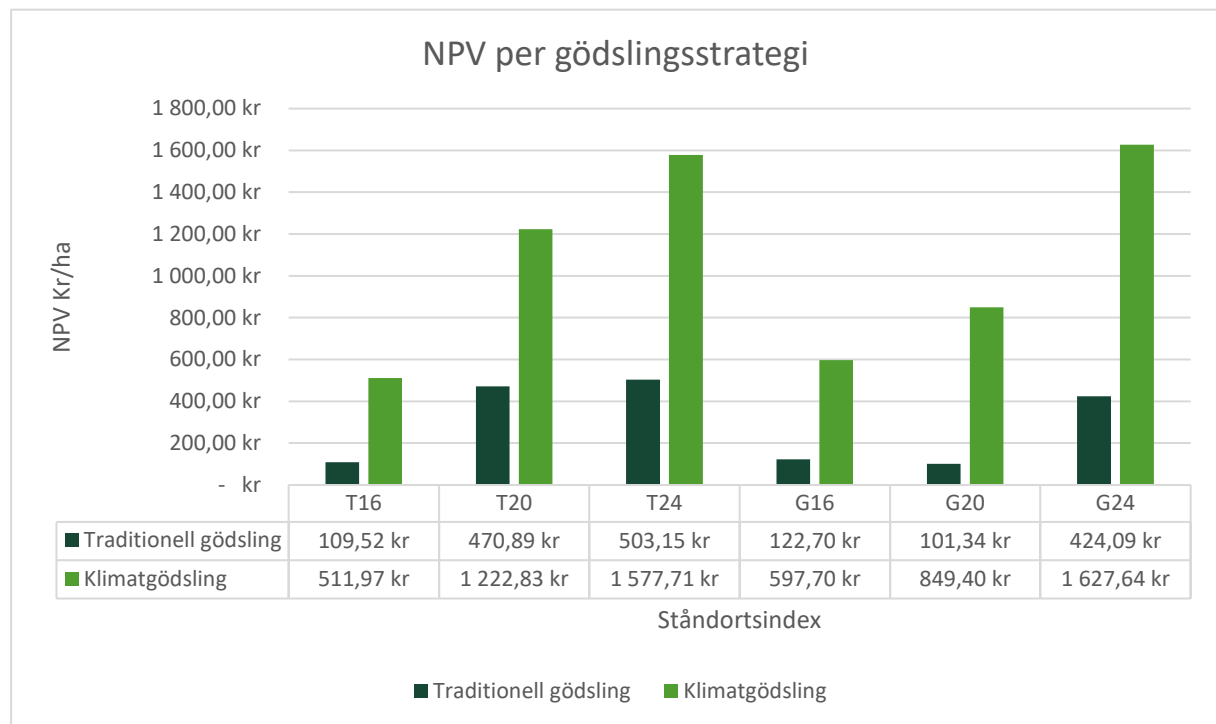
Tabell 6 Relativ förändring av totalt virkesförråd i ett gödslat och ogödslat bestånd för respektive ståndortsindex

SI	T16	T20	T24	G16	G20	G24
%-förändring	6,0%	6,7%	5,4%	7,6%	5,3%	4,8%

Det totala virkesförrådet för G16 erhöll högst relativ volymförändring följt i storleksordning av T20, T16, T24, G20 och minst relativ ökning erhöll en gödsling på en ståndort med SI G24. Granbestånd (G16, G20 och G24) erhöll generellt en högre reell volymökning än tallbestånd (T16, T20 och T24) vilket kan utläsas ur *Figur 5*. Den relativa volymökningen är dock generellt större i ståndorter med tall (T16, T20 och T24) jämfört med ståndorter med gran (G16, G20 och G24).

5.2 Lönsamhet

Nettonuvärdet för gödslingsstrategierna nedan (*Figur 6*) beskriver gödslingsinvesteringens nettonuvärde vid år 0 och annuiteten beskriver den årliga avkastningen över hela omloppstiden.



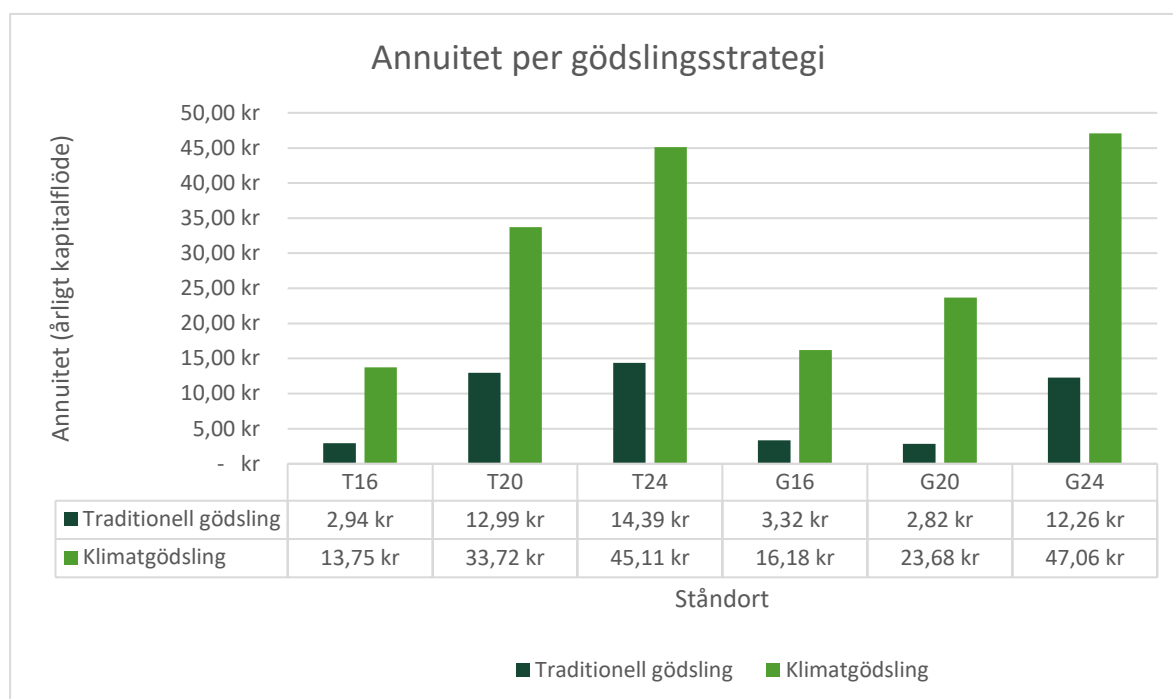
Figur 6 Nettonuvärde för traditionell gödsling och klimatgödsling vid respektive ståndort där nuvärdena (kostnader och intäkter) är diskonterade till år 0, början av omloppstiden.

Enligt resultatet i *Figur 6* är båda gödslingsstrategierna lönsamma på respektive undersökt ståndort enligt nettonuvärdesmetoden då samtliga nettonuvärden är positiva. Det förekommer variationer mellan gödslingsstrategierna inom respektive ståndort. I samtliga ståndorter erhåller klimatgödsling ett högre värde för NPV och är därav mer lönsamt i respektive undersökt scenario enligt nettonuvärdesmetoden.

Den reella skillnaden mellan gödslingsstrategierna inom respektive ståndort är störst vid G24 följt i storleksordning av T24, T20, G20, G16 och minst reell skillnad är det i ståndort T16.

Med de tillväxtmodeller och det data som har använts i studien förekommer det en korrelation mellan bördigare ståndorter och ökat NPV vid klimatgödsling och traditionell gödsling på tallmarker, men även för klimatgödsling på granmarker. Desto bördigare mark desto högre NPV. Vid traditionell gödsling på granmarker kan ingen korrelation mellan NPV och ståndorter utläsas.

I *Figur 7* beskrivs annuiteten för gödslingsstrategierna vid respektive ståndort.



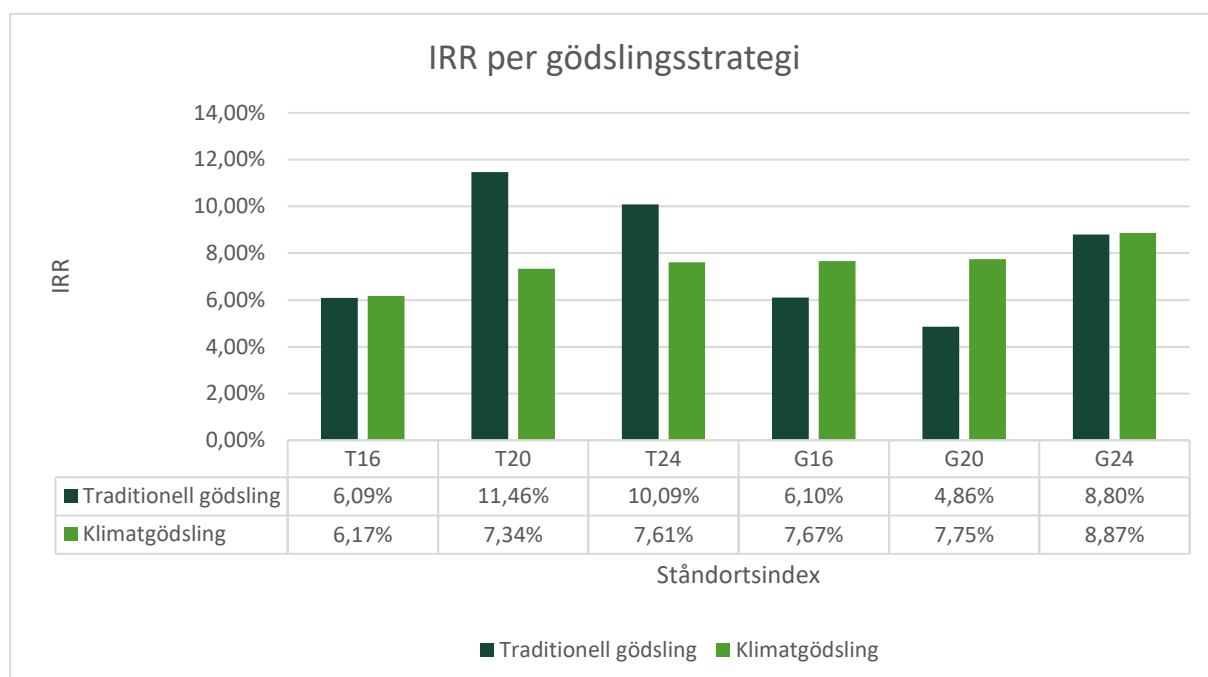
Figur 7 Annuitet (EAI) för traditionell gödsling och klimatgödsling för respektive ståndort

Enligt resultatet i *Figur 7* är båda gödslingsstrategierna lönsamma på respektive undersökt ståndort enligt annuitetsmetoden då samtliga annuiteter är positiva. Annuiteten för klimatgödsling erhåller ett högre värde i samtliga ståndorter jämfört med traditionell gödsling, och är därmed en mer lönsam investering i samtliga scenarier enligt annuitetsmetoden.

Den reella skillnaden mellan gödslingsstrategierna inom respektive ståndort är störst vid G24 följt i storleksordning av T24, G20, T20, G16 och minst reell skillnad är det i ståndort T16.

Med de tillväxtmodeller och det data som har använts i studien förekommer det en korrelation mellan bördigare ståndorter och ökad annuitet vid klimatgödsling och traditionell gödsling på tallmarker, men även för klimatgödsling på granmarker. Desto bördigare mark desto högre annuitet. Vid traditionell gödsling på granmarker kan ingen korrelation mellan annuitet och ståndorter utläsas.

I Figur 8 beskrivs internräntan för gödslingsstrategierna vid respektive ståndort.



Figur 8 Internränta för traditionell gödning och klimatgödning vid respektive ståndort

Internräntan för investeringar i traditionell gödning och klimatgödning var varierande (Figur 8). Gällande investeringar i traditionell gödning erhöll T20 den högsta internräntan följt i storleksordning av T24, G24, T16, G16 och lägst IRR erhöll G20. Vid traditionell gödning förekommer ingen korrelation mellan bördigare marker och högre IRR. Gällande investeringar i klimatgödning på olika ståndorter erhöll ståndorten SI T24 högst IRR, följt i storleksordning av G24, G20, G16, T20 och lägst IRR erhöll klimatgödning på ståndorter med SI T16. Resultatet indikerar även att det förekommer en korrelation mellan ett högre IRR och bördigare ståndorter vid klimatgödning.

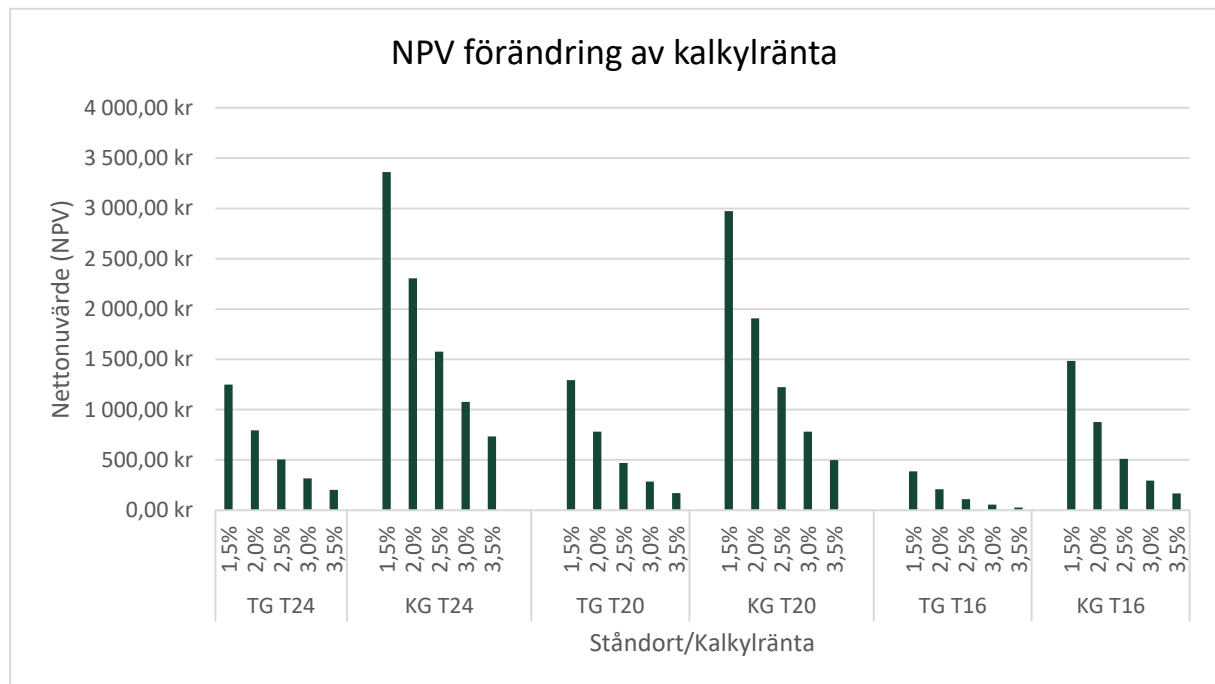
Den största skillnaden i IRR mellan de två olika gödslingsmetoderna är vid ståndorten T20, följt i storleksordning av G20, T24, G16, T16 och minst skillnad i IRR är vid SI G24. Klimatgödning erhöll ett högre värde på IRR än traditionell gödning vid samtliga ståndorter med gran. Gällande ståndorter med tall erhöll T20 och T24 ett högre värde för IRR vid traditionell gödning än vid klimatgödning. Vice versa erhöll klimatgödning på resterande ståndorter ett högre IRR än traditionell gödning.

En korrelation mellan bördigare ståndorter och högre IRR för klimatgödning på tallmarker går att utläsa. Desto högre bördighet desto högre IRR. Gällande klimatgödning på granmarker indikerar resultatet likadant som för tallmarker, en bördigare ståndort ger ett högre värde på IRR, skillnaden är marginell för G16 och G20. En korrelation mellan bördiga ståndorter och IRR vid traditionell gödning är ej möjlig att utläsa.

5.3 Känslighetsanalyser

Nedan presenteras de tre känslighetsanalyserna som utfördes i studien. Analyserna utfördes på nyckeltalet NPV för respektive gödslingsstrategi på de scenarier som bestod av tallmarker (T16, T20 och T24). Varje stapelgrupp i figurerna (*Figur 9–11*) nedan består av fem staplar där varje stapel i gruppen representerar ett scenario med den givna förändringen. Varje stapelgrupp erhåller även ett referensvärde vilket är det värde som användes i studiens resultat.

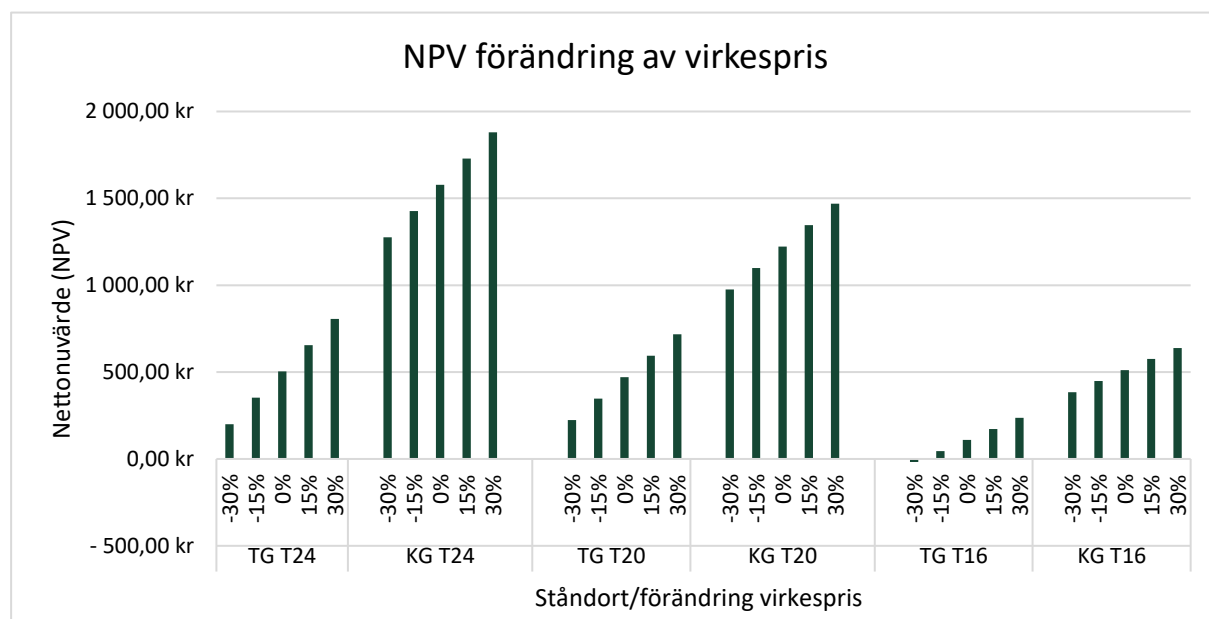
För omvärldsfaktorn kalkylränta användes intervallet 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0% och 3,5% för att beräkna vilket NPV respektive investering erhöll vid varje intervall.



Figur 9 Annuitet för investeringar i traditionell gödning och klimatgödning på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika kalkylräntor (1,5%, 2,0%, 2,5% (referens), 3,0% och 3,5%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien (2,5%). TG = Traditionell Gödning, KG = Klimatgödning

Enligt *Figur 9* är det möjligt att utläsa att en investering i klimatgödning är mer känslig mot en förändring i omvärldsfaktorn "kalkylränta" jämfört med en investering i traditionell gödning. Det förekommer större variationer i annuitet inom stapelgrupperna för klimatgödning än för traditionell gödning vid en jämförelse av samtliga ståndorter. Den största variationen i NPV förekommer vid en investering i klimatgödning på ståndorten T20 och den minsta variationen i NPV förekommer vid en investering i traditionell gödning på ståndorten T16. Samtliga scenarier visar ett positivt NPV och är därmed lönsamma vid beräkningar med en kalkylränta mellan 1,5% och 3,5%. Respektive stapelgrupp erhåller en exponentiell ökning av NPV i samband med sjunkande kalkylränta.

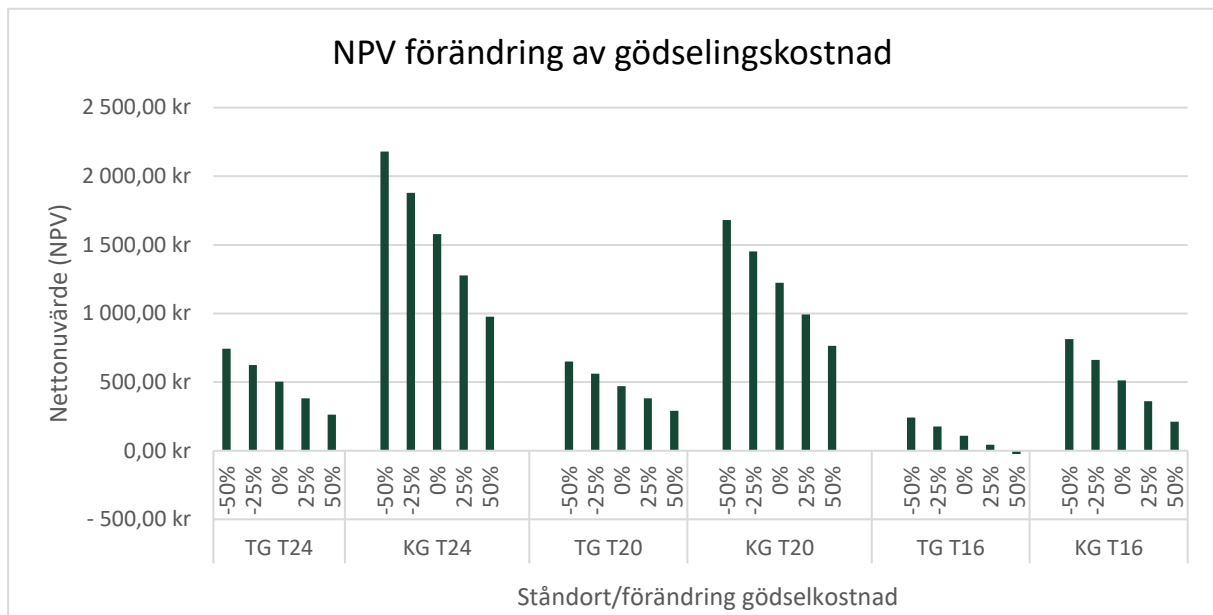
För omvärldsfaktorn användes intervallet -30%, -15%, 0%, +15% och +30% för att beräkna vilken NPV respektive investering erhöll vid varje intervall.



Figur 10 Nettonuvärde för investeringar i traditionell gödsling och klimatgödsling på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika virkespriser (-30%, -15%, 0% (referens), 15% och 30%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien. Virkesprisförändringarna omfattar timmer och massaved och exkluderar förändringar i eventuella premier. TG = Traditionell Gödsling, KG = Klimatgödsling

Enligt Figur 10 har virkespriset lika stor inverkan på NPV vid traditionell gödsling som vid klimatgödsling vid för respektive ståndort, båda investeringarna är således lika känsliga mot omvärldsfaktorn ”virkespriser”. Ett exempel är jämförelsen av stapelgrupperna på ståndorten T24 som visar att differensen mellan -30% och 30% förändring i virkespris resulterar i 604,80 kr för båda gödslingsstrategierna, likaså gäller samma princip för resterande ståndorter (T20 och T16), men med en annan differens. Ett negativt NPV går att utläsa i ett scenario, vid traditionell gödsling på SI T16, då virkespriserna är 30% mindre än referensvärdet. Resterande scenarier visar ett positivt NPV vilket fastställer att scenarierna är lönsamma enligt nettonuvärdesmetoden.

För omvärldsfaktorn gödslingskostnad användes intervallet -50%, -25%, 0%, +25% och +50% för att beräkna vilken NPV respektive investering erhöll vid varje intervall.



Figur 11 Nettonuvärde för investeringar i traditionell gödsling och klimatgödsling på olika beståndstyper (T24, T20 och T16) med olika kostnader för total gödslingskostnad (-50%, -25%, 0% (referens), 25% och 50%). Referensvärdet är det värde som användes i lönsamhetsbedömningarna i studien. TG = Traditionell Gödsling, KG = Klimatgödsling

Enligt Figur 11 har gödslingskostnaden en större inverkan på NPV vid klimatgödsling än vid traditionell gödsling, en investering i klimatgödsling är således mer känslig mot omvärldsfaktorn ”gödslingskostnad” än en investering i traditionell gödsling. Variationerna inom respektive stapelgrupp för klimatgödsling är större än varje stapelgrupp för traditionell gödsling. Den största variationen inom en stapelgrupp är för en investering i klimatgödsling med ståndort T24 och den minsta variationen förekommer vid en investering i traditionell gödsling med ståndort T16. Ett negativt NPV går att utläsa i ett scenario, vid traditionell gödsling på SI T16, då gödslingskostnaderna är 50% större än referensvärdet. Resterande scenarier visar positiva NPV vilket fastställer att scenarierna är lönsamma enligt nettonuvärdesmetoden.

6 Diskussion

Detta kapitel beskriver resultatets relation till tidigare studier, förklarar studiens och den använda metodens styrkor och svagheter samt diskuterar forskningsfrågorna från kapitel 1.3.

6.1 Volymtillväxt

Den estimerade volymtillväxten med Petterssons (1994b;a) funktioner i denna studie låg inom intervallet 15-22 m³sk per hektar. De resultat prognosfunktionerna producerade i denna studie är jämförbara med resultat från studier vilka har studerat volymtillväxten av skogsmarksgödsling. Både Hedwall *et al.* (2014) och Thuresson (2002) menar att skogsmarksgödsling kan öka beståndsvolymen med 10–20 m³sk per hektar på tio år. Resultatet funktionerna producerade i denna studie var även jämförbart resultatet i Jacobssons (2005) rapport, där samma funktioner producerade en förväntad tillväxtökning mellan 15–21 m³sk per hektar i norra Sverige. Generellt erhåller granmarker en högre volymproduktion vid gödsling än tallmarker enligt studien, vilket även bevisats av Näslund *et al.* (2013).

6.2 Lönsamhet i gödslingsmetoderna

Studien visar att en investering i både klimatgödsling och traditionell gödsling kan anses lönsamt för en privat skogsägare enligt nettonuvärdesmetoden, annuitetsmetoden och internräntemetoden. Studiens resultat visade att samtliga beräknade annuiteter samt nettonuvärden var positiva, samtliga testade internräntor översteg den fastställda kalkylräntan, vilket i alla tre fallen indikerar lönsamhet.

Resultatet i denna studie visar att klimatgödsling är en mer lönsam gödslingsstrategi på samtliga undersökta ståndorter vid jämförelse med traditionell gödsling i det fall lönsamhetsbedömningen sker med annuitetsmetoden och nettonuvärdesmetoden. De största variationerna i NPV och annuitet mellan traditionell gödsling och klimatgödsling förekom på granmarker, klimatgödsling erhöll upp till åtta gånger högre NPV och annuitet (G20). Resterande granmarker erhöll ett värde på knappt fem gånger så högt (G16) och mer än 3 gånger så högt (G24) NPV och annuitet för klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling. Gällande tallmarker erhöll endast klimatgödsling på T16 knappt fem gånger så högt värde för annuiteten och NPV jämfört med traditionell gödsling. För T20 var NPV och annuitet 2,5 gånger så högt för klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling och för T24 var NPV och annuitet mer än 3 gånger så högt för klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling.

Anledningen till att en investering i klimatgödslingen erhåller en högre annuitet i samtliga beståndstyper kan förklaras av att NPV för klimatgödsling är flera gånger större än traditionell gödsling i de flesta fallen, vilket är en avgörande faktor av storleken för en investerings annuitet. NPV erhåller ett högre värde i klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling på grund av att det totala kassaflödet, i samband med tidpunkten för kassaflödena, är större i en investering i klimatgödsling. Ett exempel är vid klimatgödsling på ståndort T20, där realiserar och diskonteras den första intäkten år 58 och består av inbetalning för inbunden koldioxid, vid förnygringsavverkningen realiserar och diskonteras sedan virkesvärdet, vilket var år 96. Detta medför att virkesvärdet diskonteras 96 år och intäkten av koldioxid 58 år. Jämförs detta med traditionell gödsling på samma ståndort där intäkten av virkesvärdet diskonteras 96 år. För båda

gödslingsstrategierna på samma ståndort blir således virkesvärdets nuvärde lika, men för klimatgödning diskonteras ännu en intäkt mycket tidigare i omloppstiden, vilket gör att det värde erhåller en större diskonteringsfaktor jämfört med virkesintäkternas nuvärde, vilket i sin tur ger möjligheten att generera ett högre nuvärde. Virkesintäkten utan diskontering kan vara större än den koldioxidintäkten utan diskontering, men ändå generera ett lägre nuvärde. Detta kan illustreras med resultat från beräkningarna i studien i *Tabell 7*.

Tabell 7 Jämförelse av intäkter av virkesvärdet och för inbunden koldioxid under en omloppstid på 96 år vid på ståndort T20, med nuvärde vid år 0 och odiskonterat värde. Virkesvärdet diskonteras under hela omloppstiden (96 år) och intäkten för koldioxid diskonteras 58 år. Virkesvärdet är lika för båda gödslingsstrategierna då virkesvärdet är diskonterat till samma tidpunkt (år 0), således beskrivs virkesvärdet för båda gödslingsstrategierna och intäkten för koldioxid för klimatgödning

Intäkter	Odiskonterat värde	Nuvärde vid år 0
Virkesvärde (år 96)	8880,1 kr	829,7 kr
Koldioxid (år 58)	5487,6 kr	1310,1 kr

Med *Tabell 7* förklaras vikten av tidpunkten för intäkterna och att storleken av intäkten inte enbart spelar roll vid jämförelse av nuvärden. Samma princip kan hänföras till övriga ståndorters ekonomiska påverkan av klimatgödning och traditionell gödning.

Ett SI som sticker ut i resultatet är G20. NPV och annuitet vid traditionell gödning resulterade i 101,34 kr respektive 2,82 kr, med en skillnad i volym jämfört med ett ogödslat bestånd med 19,4 m³sk. Detta kan jämföras med G16 med ett NPV och annuitet på 122,7 kr respektive 3,32 kr och en ökning i volym jämfört med ett ogödslat bestånd på 17,9 m³sk vid traditionell gödning. G20 bör producera ett högre NPV och annuitet än G16 då volymökningen är större och omloppstiden är kortare för G20. Det låga värdet på NPV och annuiteten för G20 beror på att samma virkespris användes för ett ogödslat och gödslat bestånd, den procentuella ökningen i volym efter gödningen var inte tillräckligt stor för att bidra till en ökning i prislistan till skillnad från övriga beståndstyper. Den procentuella volymökningen i övriga ståndorter bidrog till ökad medelstam och därmed kunde en högre prislista tillämpas.

I det fall en lönsamhetsbedömning görs utifrån IRR är resultatet mer varierat enligt studiens resultat. Resultatet visar att IRR låg mellan 4,86% och 11,46% då samtliga lönsamhetsberäkningar inkluderas. Jacobsson och Pettersson (2010) samt Simonsen *et al.* (2010) bedömde att IRR för en traditionell gödning skulle kunna uppgå till 15%. I denna studie förekom inte så höga värden av IRR vid spurtgödning. Anledningen till detta kan bero på att andra priser för gödningen eller virkespriser användes i de andra studierna.

IRR vid traditionell gödning var högre än vid klimatgödning i de ståndorter med bördiga tallmarker (T20 och T24), i resterande ståndorter erhöll klimatgödning ett högre IRR än traditionell gödning. Vid beräkning av IRR utgår studien från investeringens tidpunkt vid gödningstillfället, till skillnad från beräkning av NPV och annuitet där studien utgår från hela omloppstiden vid respektive ståndort. IRR är därav starkare kopplat till gödslingsinvesteringarnas livstid vilket medför att intäkten för virkesvärdet har en större inverkan vid jämförelser av gödslingsstrategierna då tidpunkten för realisering av virkesvärdet i investeringarna inte är lika, som vid NPV- och annuitetsberäkningarna visade. Anledningen

till att T20 och T24 erhöill ett högre IRR för traditionell gödsling än klimatgödsling beror troligtvis på dess höga virkesvärde i förhållande till den korta investeringstiden.

Att klimatgödsling erhöill ett högre IRR för resterande ståndorter (T16, G16, G20 och G24) beror på flertalet faktorer. För det första beror det på att intäkterna för inbunden koldioxid var högre, då gödsling på granmarker resulterade i en större volymtillväxt jämfört med tallmarker. För det andra beror det även på att virkespriserna för gran var lägre jämfört med tall, vilket medför att virkesintäkten generellt blev lägre. I samband med ökade intäkter från inbunden koldioxid och minskade intäkter för virkesvärdet ökar lönsamheten för klimatgödsling samtidigt som lönsamheten för traditionell gödsling minskar vid en jämförelse av dessa två gödslingsstrategier på samma ståndort. För det tredje och sista skilde investeringstidpunkten för klimatgödsling sig åt drastiskt mellan T20 och T24 i jämförelse med resterande ståndorter. Anledningen är att i tillväxtmodellerna för T20 och T24 förekommer två gallringar, vilket den första gallringen (vid klimatgödsling utförs gödslingen 2 år efter första gallringen) utförs generellt i tidigare ålder jämfört med resterande ståndorter där första gallring (den enda gallringen) generellt utförs i senare ålder. Därmed blir investeringstidpunkten längre för klimatgödsling i dessa ståndorter (T20 och T24), jämfört med resterande ståndorter. Detta kan illustreras i följande exempel från studiens data:

I det fall T20 jämförs med G20 är investeringstiden för klimatgödsling 48 respektive 36 år, en skillnad i investeringstid på 12 år, vilket kan vara en bidragande faktor till att klimatgödslingen i T20 får ett lägre IRR än spurtgödslingen i samma ståndort. Om klimatgödslingen i ståndorten T20 hade skett 12 år senare (i.e. liknande investeringstid som G20) hade troligtvis klimatgödsling på T20 erhöill ett högre IRR, vilket hade skapat en mindre skillnad i IRR mellan gödslingsstrategierna.

Resultatet i förhållande till investeringsteori tyder på att en investering i klimatgödsling, i samtliga ståndorter studerade i studien, maximerar välståndet hos investeraren enligt Bullard och Straka (2011). Detta då NPV och annuitet för klimatgödsling är högre på samtliga ståndorter vid jämförelser med traditionell gödsling. Enligt Bullard och Straka (2011) samt Klemperer (1996) skapas inte alltid maximalt välstånd vid val av investeringsalternativet med högst IRR, vilket verifieras i denna studie, med ståndorten T24 som exempel. IRR för en traditionell gödsling i beståndstypen T24 var 10,09% och NPV var 503,15 kr. Detta kan jämföras med klimatgödslingens resultat på samma beståndstyp, där IRR var 7,61% och NPV var 1577,71 kr. Den traditionella gödslingen erhöill 2,48 procentenheter högre IRR än klimatgödslingen på samma ståndort, men ett 1074,56 kr lägre NPV.

Vilken av investeringen en investerare väljer kan bero på flertalet faktorer. Markägarens mål är en faktor. För att maximera välståndet, bör alternativet med högst NPV och annuitet väljas. Om investeraren vill ha maximal förräntning på investeringen skall investeringsalternativet med högst IRR väljas. Ännu en faktor som påverkar valet av gödslingsstrategi är risken. Risken anses högre i klimatgödsling då investeringen har en flera gånger längre investeringsperiod, upp till nästan fem gånger längre (T20). Detta innebär att risken för brand, storm och biotiska skador blir större, vilket kan sänka uttaget av volym i slutet av investeringsperioden och även öka kostnader för åtgärder, till exempel hantering av skadat virke. En traditionell gödsling kan anses säkrare i förhållande till dessa risken då gödslingsåtgärden sker de sista tio åren av skogens omloppstid. Dessa faktorer har dock exkluderats i studien.

I majoriteten av fallen i denna studie erhöill klimatgödsling ett högre IRR än traditionell gödsling. I samtliga fall erhöill en investering i klimatgödsling ett högre NPV och en högre

annuitet. Detta bevisar att klimatgödning skulle vara mer lönsamt i de flesta fallen för en privat markägare, om åtgärden skulle förekomma i verkligheten, med de givna värdena i studien för till exempel pris per ton CO₂ och tidpunkten för åtgärden.

6.3 Klimatgödning i praktiken

Traditionell gödning är den vanligaste metoden en privat markägare använder sig av idag, om gödning sker. Enligt studien är gödningsåtgärden lönsam med de rådande virkespriserna, avverkningskostnaderna och gödningspriserna för en privat markägare. Klimatgödning har enligt studien visat sig mer lönsam, i majoriteten av lönsamhetsbedömningarna. Problemet är att det inte förekommer en etablerad marknad i Sverige för gödning där markägare får betalt för klimatnyttan åtgärden bidrar till. Detta kan bero på två faktorer, den verkliga klimatnyttan och komplexiteten med klimatkompenserad skogsgödning.

Först kan den verkliga klimatnyttan diskuteras. Shrestha *et al.* (2015) menar att nettoutsläppen av växthusgaser i samband med en gödningsåtgärd inte är tillräckligt studerad för att kunna dra slutsatser om dess påverkan. Utsläppen av koldioxid i samband med gödning är beroende av en mängd faktorer men i synnerhet i vilken typ av skog. Studier utförda i Norden av Mäkipää (1995) och Nohrstedts *et al.* (1989) har påvisat att gödningen har en positiv inverkan på koldioxidbalansen i skogsekosystemen i boreala skogar. Utsläppen av metan i skogsekosystemen är också av mindre betydelse enligt studier utförda i boreala skogar (Klemedtsson & Klemedtsson 1997; Börjesson & Nohrstedt 1998). Gödningens påverkan på lustgasutsläppen indikerar stora variationer, både globalt utförda studier men även för studier utförda i boreala skogar (Sitaula *et al.* 1995; Maljanen *et al.* 2006; Shrestha *et al.* 2015). Det skall dock tilläggas att lustgasutsläppen i samband med potentiellt kväveläckage till vattendrag i samband med gödning är ostuderad. En viktig faktor som inte tas upp i studien gällande växthusgaseffekten är den verkliga mängden växthusgaser som släpps ut. I studien beskrivs endast värden för växthusgasutsläpp i procent och inte i reella mängder. För att säga något om hur mycket lustgas och metan som avges till atmosfären i samband med gödning i Sveriges nordligaste skogar krävs en reell mängd utsläpp av dessa växthusgaser i syfte att konvertera till CO₂ekvivalenter.

Den verkliga, precisa klimatpåverkan är därav oviss, men det förekommer positiva indikationer för dess påverkan i boreala skogar. Denna studie utgår dock från mängden bunden CO₂ och förutsätter att gödningens klimatpåverkan är positiv. Studien utgår också endast från den koldioxid som bind i trädets stam och exkluderar övrig biomassa och den koldioxid som binds i marken, vilket också är en del av växthusgasbalansen.

Den andra anledningen till att det inte förekommer en etablerad marknad för klimatnyttan i en gödningsåtgärd kan bero på dess komplexitet i samband med gödning.

Med utgångspunkt i Konsumentverkets (2021) kritik mot klimatkompenserade projekt är permanentkravet svårt att motivera då projektet inte kan garantera att koldioxiden binds in permanent. Även om träet i ett senare skede används som byggnadsmaterial, kan det bara år senare rivas och brännas upp, vilket frigör den inbundna mängden CO₂. I de fall trä används i större, bärande konstruktioner binds koldioxiden under en längre tid, men inte för alltid. Även den ökade risken för vindfällning i skogen ökar i samband med gödning enligt Kellomäki (2022), detta på grund av en ökad mängd allokerad biomassa i delarna av trädet ovan jord, vilket i sin tur leder till ökade koldioxidutsläpp till atmosfären då mer trä bryts ned i skogen.

Med en ökad allokerad mängd biomassa i de övre delarna ökar också risken för snöbrott. I de fall skogen blir påverkad av abiotiska faktorer blir permanenskravet svårt att verifiera.

Kravet på verifikation av inbunden CO₂ är komplicerad men möjlig, det kräves en fysisk uppföljning av de gödslade bestånden, både innan och efter gödsling, med syfte att verifiera beståndets egenskaper. Egenskaperna krävs i syfte att utföra kalkyler på tillväxten. Det krävs både tid och kunskap för att kunna verifiera tillväxten vilket i praktiken kan anses vara svårt att motivera rent ekonomiskt. Verifikationen är också problematisk då beståndet efter gödslingstillfället kan brinna ned vilket direkt frigör den inbundna koldioxiden i atmosfären. Beståndet kan få storskaliga insektsangrepp samt stormskador vilket medför att andelen av produkterna som produceras av virket till större del är kortlivade, vilket i sin tur medför att koldioxiden binds kortare tid än planerat då gödslingsåtgärden utförs. Kravet är således komplext att följa, det skulle krävas att beståndets vitalitet bekräftas vid föryngringsavverkning. Detta innebär i sin tur att markägaren inte kan få betalt för inbunden koldioxid tio år efter gödslingsåtgärden utan intäkten för inbunden koldioxid bör inträffa då beståndet föryngringavverkas och inte tio år efter gödslingsåtgärden. I fallet i denna studie får markägaren betalt tio år efter gödsling, och då betalar ett företag för inbunden koldioxid. Skulle beståndet brinna ned eller få storskaliga insektsangrepp frigörs koldioxiden alternativt blir andelen av slutprodukterna mer kortlivade (då insektsangrepp kan leda till större andel massaved). Därav krävs det att den inbundna koldioxiden utbetalas vid föryngringsavverkningstillfället för att det är det enda tillfället efter gödslingsåtgärden som den inbundna koldioxiden kan verifieras.

Hållbarheten gällande ekonomiska, sociala och miljömässiga faktorer kopplade till gödslingsåtgärden är möjliga att motivera med att den utförs i enlighet med PEFC, FSC, Skogsstyrelsens allmänna råd samt Skogforsks råd, vilka nämnts tidigare i studien. Renbete, kväveläckage, störningar i biologisk mångfald och försurning av mark, forn- och kulturlämningar är faktorer vilka tas hänsyn till i de fall gödsling sker i enlighet med ovannämnda råd och certifieringar. Gällande störningar i biologisk mångfald menar Strengbom och Nordin (2008) att markvegetationen ändras och förändringarna bibehålls under en längre tid efter föryngringsavverkning, i de fall gödsling sker i tidig ålder, innan föryngringsavverkning. Traditionell gödsling kan således ha en negativ inverkan på mångfalden. Klimatgödslingens påverkan på markfloran är mer oklar, Nohrstedt (1998) menar att gödslingsåtgärden bara är temporär och avtar efter cirka tio år. Klimatgödslingen, vilken sker i tidig ålder, kan därav ha en mindre påverkan på den artsammansättningen i skogsmark då den inte föryngringavverkas efter tio år. Kväveläckaget vilken kan ske i samband med gödsling går att reglera till viss mån, genom att ej gödsla i samband med perioder med mycket nederbörd och på rätt marker. Även storleken på gödselgivan har inverkan på kväveläckaget. Bergh (2006) menar dock att skillnaderna i storlekar på gödselgivan fortfarande är av mindre betydelse. Då studien riktas mot privata markägare är samråd med renskötseln vid gödsling ej obligatoriskt (om inte FSC certifierade). Klimatgödsling förutsätter hållbarhet i sociala sammanhang, vilket renskötseln innebär. Samtlig klimatgödsling bör därav alltid kräva samråd med samebyn där åtgärden utförs för att uppfylla kravet om hållbarhet gällande sociala faktorer.

Additionaliteten i klimatgödsling är i studien motiverad genom analyser gällande gödslingens lönsamhet. Studien verifierade att skogsmarksgödsling är olönsam vid det tillfälle klimatgödslingen ”utfördes” i studien. En gödsling vid det tillfället hade således varit olönsam för en privat markägare. Intäkten av inbunden CO₂ tio år efter gödslingen hade dock motiverat en markägare att utföra gödslingen, då hade gödslingen vart lönsam enligt resultatet i studien.

Detta motiverar att additionaliteten i studien är hållbar och skulle kunna tillämpas i verkligheten på bestånd med samma förutsättningar som har studerats i denna studie.

Beräkningarna i studien gällande klimatgödslingsens bidrag till utsläppsreduceringen kan anses vaga då volymtillväxten baseras på teoretiska funktioner. Detta medför att den verkliga utsläppsreduceringen är antingen mer eller mindre än den estimerade. Vilket nämnts tidigare är skogliga estimat väldigt svåra att precisionssäkra då inget bestånd är det andre likt. Idag är dock användandet Petterssons (1994 a;b) den mest precisionssäkra metoden att använda vid estimering av volymtillväxt av en gödslingsåtgärd. Att beräkna den verkliga effekten av gödslingsåtgärden skulle kräva att en viss del av bestånden som skall klimatgödas ej gödas, för att därefter mäta skillnaden i volymtillväxt. Beräkningarna för inbunden koldioxid i studien är väldigt simpel men legitim då den baseras på vetenskapliga fakta.

Det är möjligt att kritisera de antaganden som har gjorts i studien, men med ovan resonemang krävs mer standardiserade metoder och policys i syfte att verifiera, beräkna, redovisa och kvantifiera den kolsänkeökningen som följer av skogsmarksgödsling för att den skall kunna ingå i en klimatkompensationsmarknad, likt Trexlers (2011) förslag att additionaliteten i åtgärderna bör vara skyddad av välutformade policys. Det krävs även mer kunskap om gödslingsens effekt på växthusgasbalansen då det idag förekommer för lite forskning som fokuserar på gödslingsens nettopåverkan på växthusgasbalansen. I Sverige sker skogsmarksgödsling på ett sådant sätt att negativa miljöaspekter är av mindre betydelse. Då certifieringar och aktuella råd följs är troligen gödslingsens påverkan på miljön minimal. Däremot bör gödslingsens påverkan på biodiversitet ses över då senare studier har påvisat att åtgärden kan påverka markvegetationen över en längre tid (Strengbom & Nordin 2008).

Resultatet från den exempelanalys som beskrivs i kapitel 4.5.3 visade att gödslingen mellan klimatgödslingen och traditionell gödsling också var olönsam, likt klimatgödslingen som simulerades i studien. Utifrån den analysen skulle det vara möjligt att införa minst en till klimatgödsling under omloppstiden. Detta skulle innebära att lönsamheten i en metod där klimatgödslingar kan utföras skulle vara ännu mer lönsam än den metod som beskrivs i denna studie. Detta då ännu ett intäktstillfälle skulle inträffa, samt att den totala volymen i beståndet skulle öka ytterligare vilket hade resulterat i att det reella virkesvärdet också hade ökat. Anledningen till att endast en klimatgödsling utfördes i denna studie var att det skulle vara jämförbart med spurgödsling, där också endast en gödsling sker.

6.4 Känslighetsanalyser

I resultatet för känslighetsanalyserna är det möjligt att utläsa hur förändringar i omvärldsfaktorer påverkar nettonuvärdet för gödslingsmetoderna på respektive beståndstyp. Klimatgödslingsens känslighet för kalkylränta är större i reella tal än för traditionell gödsling vilket kan förklaras av att klimatgödslingen erhåller intäkten för inbunden koldioxid, kassaflödet är större vilket medför större fluktuationer i NPV vid förändrad kalkylränta vid klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling. En längre investeringsperiod innebär att en större del av investeringen betalas i ränta jämfört med en kortare investeringsperiod.

Gällande fluktuation i virkespriser är båda gödslingsstrategierna lika känsliga enligt känslighetsanalysen. Detta beror på att nuvärdet av virkesintäkterna är densamma i båda gödslingsstrategierna i respektive ståndort. I båda gödslingsstrategierna erhålls samma virkesvärde samtidigt som virkesvärdet diskonteras till samma år.

Känsligheten för gödslingskostnaden är högre i klimatgödsling jämfört med traditionell gödsling. Detta beror på att gödslingsåtgärden sker tidigare i klimatgödsling, vilket i sin tur leder till att kostnaden diskonteras en längre tid vid klimatgödsling än vid traditionell gödsling. Nuvärdet för gödslingskostnaden vid klimatgödsling blir således lägre jämfört med traditionell gödsling och därmed mer känslig vid fluktuering av gödselkostnaden.

6.5 Metod och Data

Användandet av prognosfunktioner i skogsbrukssammanhang för att förutspå en volymtillväxt är möjligt att kritisera då verkligheten högst troligt visar något annat. Validiteten i funktionerna kan dock anses relativt hög då Pettersson (1994b) jämförde det förutspådda värdet med verkliga värden och därefter korrigerade funktionerna för att de skulle stämma in i praktiken. Likaså korrigerade Pettersson (1994b) ned funktionen med hänsyn till de handspridda experimentbestånden vilka funktionen baserades på, vilket också höjer validiteten. Nedkorrigeringen baserades även på studier utförda av Skogforsk där spridningen av gödselmedlet studerades noggrant.

Pettersson (1994b) föreslog dock en anledning till skillnaden mellan den estimerade volymökningen och den verkliga volymökningen i provytorna. Pettersson (1994b) menade att provytorna funktionen baserades på var utlagda där stamtätheten var förhållandevis hög, vilket det inte är i verkligheten och i de provytorna funktionens värde jämfördes emot. Även luckor och hänsynsytor förekommer i verkligheten vilket sänker gödslingens påverkan på volymen i det totala beståndet, vilket även bevisades i analysen av korrelationen mellan stamtäthet och gödslingseffekt i Petterssons (1994b) studie. Hänsyn tas ej till detta i funktionen vilket kan indikera att funktionen ger ett aningen missvisande resultat i volymökning vilket i sin tur att den estimerade volymökningen i denna studie kan vara missvisande och troligtvis lite lägre i verkligheten.

Petterssons (1994b; a) funktioner var baserade på ett stort dataset, dock bör det idag förekomma ännu mer data vilket skulle kunna användas för att skapa nya prognosfunktioner vilka i sin tur skulle vara baserade på ett ännu större dataset. Detta skulle bidra till mer preciserade funktioner.

En faktor som var av stor vikt i lönsamhetsberäkningarna för klimatgödsling var priset på CO₂ per ton. I studien användes ett medelpris för de senaste fem åren (40 euro). Priset under den senare delen av 2022 låg runt 80 euro per ton CO₂. CO₂ kan prissättas genom skatter och EU ETS (European emission trading system), denna studie baserade priset på EU ETS vilket gör att priserna baseras på vad marknaden faktiskt betalar. Att använda ett medelpris minimerade risken för överestimering av intäkter vid klimatgödsling i detta fall, då priset som användes för CO₂ var cirka hälften av dagens värde (2022). Detta i sin tur leder till att lönsamhetsbedömningarna för klimatgödslingarna i studien är underestimerade i förhållande till dagens värde (2022). Då priset på CO₂ har förändrats drastiskt de senaste fem åren ansågs ett medelvärde vara rimligt att använda i studien då en mindre risk för överestimering skulle förekomma, om priset på koldioxid drastiskt skulle sjunka de kommande åren.

En förekommande brist i metoden är att i de tillväxtmodeller där det sker två gallringar (T20 och T24) tas det ingen hänsyn till hur klimatgödslingen påverkar dessa andragallringar och volymutvecklingen efter det. En gallring efter en gödsling ändrar den uttagna volymen vid slutavverkning. Andragallringens påverkan exkluderades då vetskapen om gödslingens påverkan på gallringens uttag var oviss. Det hade varit möjligt att inkludera gödslingens påverkan på gallringen i det fall studien hade erhållit tillgång till de exakta simuleringar

undersökningsenheten hade simulerat fram med mjukvaran "INGVAR". Ännu ett sätt att lösa problemet hade vart att simulera klimatgödslingen två år efter andragallringen.

7 Slutsatser

I det sista kapitlet redovisas slutsatser som kan göras från studien. Kapitlet återvänder till målen och syftet med studien, vilket följs av studiens konsekvenser. Till sist redovisas förslag på fortsatt forskning.

Målet med studien var att bidra till en konkretisering av rådgivningen gällande skogsmarksgödslingens ekonomiska perspektiv mellan en privat markägare och en skoglig organisation, i syfte att öka den gödslade arealen skogsmark. Studien undersökte även de ekonomiska konsekvenserna av klimatkompensation för en privat markägare.

Studien fokuserade på att beräkna lönsamheten i olika scenarier med en traditionell gödslingsstrategi och en gödslingsstrategi där markägaren erhöll kompensation för inbunden koldioxid. Resultatet visade att båda gödslingsstrategierna genererade lönsamma investeringar vid samtliga undersökta ståndorter. Ur ett ekonomiskt perspektiv var klimatgödsling mer lönsam vid samtliga undersökta ståndorterna, både enligt NPV och EAI. För en lönsamhetsbedömning med IRR var resultatet mer varierat, men i majoriteten av bedömningarna visade att klimatgödsling var mer lönsamt. IRR var högre vid traditionell gödsling jämfört med klimatgödsling på bördigare tallmarker (T20 och T24).

Resultat indikerar att en privat markägare med målet att maximera välståndet bör investera i klimatgödsling. Detta med anledning av att NPV och EAI erhöll ett högre värde vid klimatgödsling än vid traditionell gödsling vid tidigare samtliga ståndorter. I det fall en markägare erhåller målet att bidra till klimatnytta är klimatgödsling alternativet i samtliga fall. Studiens resultat visade att en klimatgödsling är lönsam samtidigt som den bidrar till positiv klimatnytta då den uppfyller de krav vilka krävs för att åtgärden kan klimatkompenseras.

Den privata markägaren som väljer klimatgödsling accepterar högre risktagande, dels då investeringsperioden (i.e. risken för biotiska och abiotiska skador) är längre jämfört med traditionell gödsling, dels då det förekommer en osäkerhet om det finns villiga köpare av inbunden CO₂ tio år efter markägaren utfört investeringen. Efterfrågan på virket från skogen kan anses mer säker då efterfrågan prognostiseras att öka, vilket medför att traditionell gödsling kan anses vara mindre riskfylld än klimatgödsling. Klimatgödsling är även känsligare till förändring i kalkylränta och gödslingskostnader vilket också är en risk.

Med resultatet från studien har undersökningsenheten möjlighet att förenkla rådgivningen då resultatet påvisar lönsamheten i traditionell gödsling på ett konkret sätt, med lättförståeliga nyckeltal (IRR och EAI). Vid utnyttjande av resultatet har undersökningsenheten möjlighet att öka arealen gödslad skogsmark. Denna studie fyller delar av det kunskapsglapp som förekommer mellan markägare och skogsmarksgödslingens lönsamhet vilket Carlgren (2014) undersökte, nästkommande steg är att förmedla kunskapen till privata markägare, främst i samband med rådgivning för att öka den gödslade arealen skogsmark i norra Sverige.

De undersökta ekonomiska konsekvenserna av klimatkompensationen för en privat markägare visar att det förekommer en företagsekonomisk lönsamhet vilket inkluderar klimatnytta. Däremot förekommer som tidigare nämnt ingen etablerad marknad för klimatkompensation än, men studien visar att det förekommer företagsekonomiska incitament för att motivera en utveckling av en marknad för klimatkompensation gällande skogsmarksgödsling. Studien

diskuterar även komplexiteten med marknaden för klimatkompensation och slutsatsen kan dras att det för tillfället krävs utveckling av fungerande metoder för att verifiera, beräkna och bedöma gödslingsåtgärden i syfte att marknaden skall kunna bli verklighet. Den verkliga klimatpåverkan och klimatnyttan från skogsmarksgödsling kräver mer forskning och noggrannare studier.

7.1 Fortsatt forskning

- För att verifiera klimatnyttan krävs mer forskning gällande nettoutsläppen av växthusgaser i samband med skogsmarksgödsling i olika regioner för att kunna dra slutsatser om gödslingens verkliga påverkan på klimatet. Studier där samtliga växthusgaser (koldioxid, metan och lustgas) undersöks och omsätts till koldioxidekvivalenter.
- Det krävs studier för att fastställa metoder för att skapa en fungerande, etablerad marknad för klimatkompenserad skogsgödsling. Att undersöka om denna typ av klimatgödsling skulle vara möjlig i praktiken, då det finns ekonomiska incitament. Även att undersöka hur en fungerande policy gällande klimatkompenserad gödsling kan utvecklas är intressant.
- Att utföra studier där lönsamheten för andra typer av klimatkompensationer sker, med andra förutsättningar. I denna studie tillåts till exempel föryngringsavverkning, men hur hade lönsamheten sett ut i det fall gödsling sker, intäkt från inbunden koldioxid utbetalas men beståndet ej får föryngringavverkas. Alltså om det förekommer andra restriktioner? Detta exempel skulle uppfylla permanenskravet för klimatkompensation som beskrivs i denna studie då skogen skulle stå kvar permanent.
- Vilket nämns i studien bör det förekomma väldigt mycket data gällande skogsmarksgödslingens påverkan på volymtillväxten, därav bör nya prognosfunktioner för volymtillväxt kunna produceras. Nya funktioner skulle baseras på en större mängd data och möjligtvis mer säkert data vilket i sin tur skulle resultera i en högre precision i nya funktioner jämfört med de funktioner som används i denna studie. Prognosfunktionerna i denna studie är även väl beskriva så det förekommer god kunskap för hur de skulle kunna förbättras i syfte att skapa funktioner med högre precision.

Referenser

- Arnebrant, K. (1996). Soil microbial activity in eleven Swedish coniferous forests in relation to site fertility and nitrogen fertilization
- Berg, B. (2006). *Advances in Ecological Research: Litter Decomposition : A Guide to Carbon and Nutrient Turnover*. Place of publication not identified: Elsevier/Academic Press. (Advances in ecological research Litter decomposition v 38C)
- Bergh, J., Nilsson, U., Grip, H., Hedwall, P.-O. & Lundmark, T. (2008). Effects of frequency of fertilisation on production, foliar chemistry and nutrient leaching in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva fennica (Helsinki, Finland: 1967)*, 42 (5). <https://doi.org/10.14214/sf.225>
- Bergstrand, J. (2010). *Ekonomisk analys och styrning*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Binkley, D., Burnhamb, H. & Allenb, H.L. (1998). Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus
- Binkley, D. & Högborg, P. (1997). Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *Forest ecology and management*, 92 (1), 119–152. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03920-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03920-5)
- Börjesson, G. & Nohrstedt, H.O. (1998). Short- and long-term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in three Swedish forest soils. *Biology and fertility of soils*, 27 (2), 113–118. <https://doi.org/10.1007/s003740050408>
- Brown, J.R., Blankinship, J.C., Niboyet, A., van Groenigen, K.J., Dijkstra, P., Le Roux, X., Leadley, P.W. & Hungate, B.A. (2012). Effects of multiple global change treatments on soil N₂O fluxes. *Biogeochemistry*, 109 (1/3), 85–100
- Brumme, R., Borken, W. & Finke, S. (1999). Hierarchical control on nitrous oxide emission in forest ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (4), 1137–1148. <https://doi.org/10.1029/1999GB900017>
- Bullard, S.H. & Straka, T.J. (2011). *Basic Concepts in Forest Valuation and Investment Analysis: Edition 3.0*. 336
- Häggström, B (1963). *Domänverkets gödslingsförsök på skogsmark i övre norrland: resultat av försök utlagda 1957-58*. Kungl. Domänstyrelsen skogsvårdsavdelningen.
- Carlgren, E.N. (u.å.). Enskilda privata skogsägares inställning till skogsgödsling i Västerbottens län. 41
- Castro, M.S., Peterjohn, W.T., Melillo, J.M., Steudler, P.A., Gholz, H.L. & Lewis, D. (1994). Effects of nitrogen fertilization on the fluxes of N₂O, CH₄, and CO₂ from soils in a Florida slash pine plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, 24 (1), 9–13. <https://doi.org/10.1139/x94-002>
- Christensen, L., Engdahl, N., Gräas, C. & Haglund, L. (1998). *Marknadsundersökning : en handbok*. 4. uppl. Studentlitteratur AB.
- Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, G.P. & Parton, W.J. (2003). Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian journal of soil research*, 41 (2), 165–195. <https://doi.org/10.1071/SR02064>
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken - För småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna*. 4:1.
- Eriksson, O. & Raunistola, T. (Swedish U. of A.S. (1993). Impact of forest fertilizers on winter pastures of semi-domesticated reindeer [Rangifer tarandus L.]. *Rangifer*, 13 (4), 203-. <https://doi.org/10.7557/2.13.4.1116>
- European Central Bank (2022). *ECB euro reference exchange rate: Swedish krona (SEK)*.
European Central Bank

- https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-sek.en.html [2022-12-13]
- Falkeström, O., Granqvist, Å., Höijer, T., Prescher, F., Thuresson, T. & Wigert, L.-E. (2018). *Produktionshöjande åtgärder*. (1). Skogsstyrelsen.
- FAO (2019). *Towards Sustainable Bioeconomy Guidelines - Brief*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fleischer, K., Rebel, K.T., van der Molen, M.K., Erisman, J.W., Wassen, M.J., van Loon, E.E., Montagnani, L., Gough, C.M., Herbst, M., Janssens, I.A., Gianelle, D. & Dolman, A.J. (2013). The contribution of nitrogen deposition to the photosynthetic capacity of forests. *Global biogeochemical cycles*, 27 (1), 187–199. <https://doi.org/10.1002/gbc.20026>
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. & Snyder, P.K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309 (5734), 570–574
- FSC (2020). FSC-standard för skogsbruk i Sverige. Forest Stewardship Council. [2022-10-28]
- Goldberg, S.D. & Gebauer, G. (2009). Drought turns a Central European Norway spruce forest soil from an N₂O source to a transient N₂O sink. *Global Change Biology*, 15 (4), 850–860. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01752.x>
- Gong, P., Knutsson, A. & Elofsson, K. (2022). Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn. 57
- Gundersen, P., Schmidt, I.K. & Raulund-Rasmussen, K. (2006). Leaching of nitrate from temperate forests – effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews*, 14 (1), 1–57. <https://doi.org/10.1139/a05-015>
- Hagström, B. (1962). Synpunkter på målsättning för pågående försöksverksamhet med skogsgödsling inom Svenska Cellulosa AB. 1962:3
- 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>
- Hedwall, P.O., Nordin, A., Strengbom, J., Brunet, J. & Olsson, B. (2013). Does background nitrogen deposition affect the response of boreal vegetation to fertilization? *Oecologia*, 173 (2), 615–624
- Holmen, H. (1962). Skogsgödslingförsök vid statens forskningsinstitut. 1962:3
- IPCC (2007). *The physical science basis. Contribution of Working Groups I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jacobson, S. (2005). *Skogsgödsling: en handledning från Skogforsk*. Uppsala: Skogforsk.
- Jacobson, S., Högbom, L. & Ring, E. (2020). Long-term responses of understory vegetation in boreal Scots pine stands after nitrogen fertilization. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35 (3–4), 139–146. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1761996>
- Jacobsson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. (1993). *Effects of repeated nitrogen supply on stem growth and nutrients in needles and soil*. (1). Uppsala.
- Jacobsson, S. & Pettersson, F. (2010). An Assessment of Different Fertilization Regimes in Three Boreal Coniferous Stands. *Silva Fennica*, 2010
- Jassal, R.S., Black, T.A., Chen, B., Roy, R., Nestic, Z., Spittlehouse, D.L. & Trofymow, J.A. (2008). N₂O emissions and carbon sequestration in a nitrogen-fertilized Douglas fir stand. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113 (G4). <https://doi.org/10.1029/2008JG000764>
- Sonesson, J., Hannerz, M., Högbom, L., Jacobsson, S., Liziniewicz, M., Palm, J., Rytter, L., Wallgren, M., Weslien, J.-O., & Fahlvik, N (2021). Björkens möjligheter i ett framtida

klimatepassat brukande av skog - Sammanställning av nuläget och förslag på insatser för framtiden. 80

- Kellner, O. (1993). Effects on Associated Flora of Sylvicultural Nitrogen Fertilization Repeated at Long Intervals. *The Journal of applied ecology*, 30 (3), 563–574. <https://doi.org/10.2307/2404195>
- Kellomäki, S. (2022). *Management of Boreal Forests: Theories and Applications for Ecosystem Services*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-88024-8>
- King, G. (1997). Responses of atmospheric methane consumption by soils to global climate change. *Global change biology*, 3 (4), 351–362. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00090.x>
- Kivinen, S., Moen, J., Berg, A. & Eriksson, Å. (2010). Effects of Modern Forest Management on Winter Grazing Resources for Reindeer in Sweden. *Ambio*, 39 (4), 269–278
- Klemedtsson, L., Kasimir Klemedtsson, A., Moldan, F. & Weslien, P. (1997). Nitrous oxide emission from Swedish forest soils in relation to liming and simulated increased N-deposition. *Biology and fertility of soils*, 25 (3), 290–295. <https://doi.org/10.1007/s003740050317>
- Klemedtsson, Å.K. & Klemedtsson, L. (1997). Methane uptake in Swedish forest soil in relation to liming and extra N-deposition. *Biology and Fertility of Soils*, 25 (3), 296–301. <https://doi.org/10.1007/s003740050318>
- Klemperer, W.D. (1996). *Forest Resource Economics and Finance*. United States of America: McGraw Hill, Inc.
- Konsumentverket (2021). Miljöpåståenden om klimatkompenserade produkter i marknadsföring. 23
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). *Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885*
- Leyrer, V., Patulla, M., Hartung, J., Marhan, S. & Poll, C. (2022). Long-term manipulation of mean climatic conditions alters drought effects on C- and N-cycling in an arable soil. *Global Change Biology*, 28 (12), 3974–3990. <https://doi.org/10.1111/gcb.16173>
- Liao, J., Luo, Q., Hu, A., Wan, W., Tian, D., Ma, J., Ma, T., Luo, H. & Lu, S. (2022). Soil moisture–atmosphere feedback dominates land N₂O nitrification emissions and denitrification reduction. *Global Change Biology*, 28 (21), 6404–6418. <https://doi.org/10.1111/gcb.16365>
- Ljung, B. & Högberg, O. (2004). *Investeringsbedömning. 2:4*. Malmö: Liber Ekonomi.
- Maljanen, M., Jokinen, H., Saari, A., Strömmer, R. & Martikainen, P.J. (2006). Methane and nitrous oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with wood ash and nitrogen. *Soil Use and Management*, 22 (2), 151–157. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00029.x>
- Matson, P.A., Gower, S.T., Volkman, C., Billow, C. & Grier, C.C. (1992). Soil nitrogen cycling and nitrous oxide flux in a Rocky Mountain Douglas-fir forest - Effects of fertilization, irrigation and carbon addition. *Biogeochemistry*, <https://ntrs.nasa.gov/citations/19930062478> [2022-11-18]
- McKinley, D.C., Ryan, M.G., Birdsey, R.A., Giardina, C.P., Harmon, M.E., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jackson, R.B., Morrison, J.F., Murray, B.C., Pataki, D.E. & Skog, K.E. (2011). A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. *Ecological applications*, 21 (6), 1902–1924. <https://doi.org/10.1890/10-0697.1>
- Mäkipää, R. (1995). Effect of nitrogen input on carbon accumulation of boreal forest soils and ground vegetation. *Forest Ecology and Management*, 79 (3), 217–226. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03601-6](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03601-6)

- Mäkipää, R. (Joensuu U. (Finland) F. of F. (1994). Effects of nitrogen fertilization on the humus layer and ground vegetation under closed canopy in boreal coniferous stands. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 28 (2), 81–94. <https://doi.org/10.14214/sf.a9164>
- Möller, G. (1973). *Prognoskurvor för gödslingseffekt i gran och tall*. Institutionen för Skogsförbättring.
- Möller, G. & Jonsson, S. (1976). *Kvävegödsling av björk*. (Information gödsling, 2). Institutet för Skogsförbättring.
- Nilsson, M.-C. & Wardle, D.A. (2005). Understory Vegetation as a Forest Ecosystem Driver: Evidence from the Northern Swedish Boreal Forest. *Frontiers in ecology and the environment*, 3 (8), 421–428. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0421:UVAAFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0421:UVAAFE]2.0.CO;2)
- Nohrstedt, H.Oe. (1994). *Effects on field- and bottom-layer species in an experiment with repeated PK- and NPK-fertilization*. (1103–6648). Sweden.
- Nohrstedt, H.-Ö. (1988). Effect of liming and N-fertilization on denitrification and N₂-fixation in an acid coniferous forest floor. *Forest Ecology and Management*, 24 (1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(88\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(88)90020-5)
- Nohrstedt, H.-Ö. (1998). Residual effects of N fertilization on soil-water chemistry and ground vegetation in a Swedish Scots pine forest. I: *Nitrogen, the Confer-N-s: First International Nitrogen Conference 1998*. Elsevier Ltd. 77–83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-043201-4.50016-2>
- Nohrstedt, H.-Ö., Arnebrant, K., Bååth, E. & Söderström, B. (1989). Changes in carbon content, respiration rate, ATP content, and microbial biomass in nitrogen-fertilized pine forest soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 (3), 323–328. <https://doi.org/10.1139/x89-048>
- Nordin, A., Bergström, A.-K., Granberg, G., Grip, H., Gustafsson, D., Gärdenäs, A., Hyvönen- Olsson, R., Jansson, P.-E., Laudon, H., Nilsson, M.B., Svensson, M. & Öquist, M. 2009. Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen. *SLU, Rapport*. ISBN 978-91-86197-46- 9.
- Näringsdepartementet (2022a). *En nationell bioekonomistrategi - ett verktyg för den gröna industriella omställningen Kommittédirektiv 2022:77 - Riksdagen*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/kommittedirektiv/en-nationell-bioekonomistrategi---ett-verktyg-for_HAB177#Utvecklingen%20av%20den%20svenska%20bioekonomin [2022-11-23]
- Näringsdepartementet (2022b). *Miljöanpassad skogsgödsling för ökad takt i klimatomställningen*. Näringsdepartementet. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/07/miljoanpassad-skogsgodsling-for-okad-takt-i-klimatomstillningen>
- Näslund, B.-Å., Stendahl, J., Samuelsson, H., Karlsson, L., Hansson, K., Svensson, H. & Engvall, C. (2013). *Kvävegödsling på skogsmark*. 48
- Paulsson, U. & Björklund, M. (2003). *Seminarieboken - att skriva, presentera och opponera*. Studentlitteratur AB.
- PEFC (2017a). Svenska PEFC:s certifieringssystem för uthålligt skogsbruk - PEFC SWE 001:4. (Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC). [2022-10-28]
- PEFC (2017b). Svenska PEFC:s krav för direktcertifiering och certifiering i grupp - PEFC SWE 004:4 2017 - 2022. (Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC). [2022-10-28]

- PEFC (2017c). Svenska PEFC:s Skogsstandard - PEFC SWE 002:4. Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC). [2022-10-28]
- Peng, Q., Qi, Y., Dong, Y., Xiao, S. & He, Y. (2011). Soil nitrous oxide emissions from a typical semiarid temperate steppe in inner Mongolia: effects of mineral nitrogen fertilizer levels and forms. *Plant and Soil*, 342 (1/2), 345–357
- Persson, I. & Nilsson, S.-Å. (1999). *Investeringsbedömning*. 6:1. Helsingborg: Liber Ekonomi.
- Persson, J. (2000). *Aminosyror - en ny kvävekälla i skogen!* Uppsala: Sveriges lantbruksuniv. (Fakta. Skog, 2000:14)
- Pettersson, F. (1980). *Gödslingseffektens fördelning över tiden*. Uppsala. (Information / Institutet för skogsförbättring. Gödsling, 1979/80:3)
- Pettersson, F. (1994a). *Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time*. Uppsala: Skogforsk.
- Pettersson, F. (1994b). *Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years*. Uppsala: Skogforsk.
- Pukkala, T. (2017). Optimal nitrogen fertilization of boreal conifer forest. *Forest Ecosystems*, 4 (1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0090-2>
- Reich, P.B., Tjoelker, M.G., Pregitzer, K.S., Wright, I.J., Oleksyn, J. & Machado, J.-L. (2008). Scaling of respiration to nitrogen in leaves, stems and roots of higher land plants. *Ecology letters*, 11 (8), 793–801. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01185.x>
- Rice, A.L., Butenhoff, C.L., Shearer, M.J., Teama, D., Rosenstiel, T.N. & Khalil, M.A.K. (2010). Emissions of anaerobically produced methane by trees. *Geophysical research letters*, 37 (3), np-n/a. <https://doi.org/10.1029/2009GL041565>
- Robson, C. & McCartan, K. (2016). *Real World Research - A Resource for Users of Social Research - Methods in Applied Settings*. 4. uppl. John Wiley & Sons Ltd.
- Rosvall, O. (1980). Prognosfunktioner for beräkning av gödslingseffekter. *Arsbok - Foreningen skogstradsforadling*,. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Prognosfunktioner+for+berakning+a+v+godslingseffekter&author=Rosvall%2C+O.&publication_year=1980 [2022-10-21]
- Routa, J., Kilpeläinen, A., Ikonen, V.-P., Asikainen, A., Venäläinen, A. & Peltola, H. (2019). Effects of intensified silviculture on timber production and its economic profitability in boreal Norway spruce and Scots pine stands under changing climatic conditions. *Forestry (London)*, 92 (5), 648–658. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz043>
- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. (1995). Wood procurement in the pressure of change : resource evaluation model till year 2010. *Acta forestalia Fennica (Finland)*,. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Wood+procurement+in+the+pressure+of+change+%3A+resource+evaluation+model+till+year+2010&author=Rummukainen%2C+A.+%28The+Finnish+Forest+Research+Inst.%2C+Vantaa+%28Finland%29+Vantaa+Research+Centre%29&publication_year=1995 [2022-12-01]
- Saikka, O. (1975). *The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (Pinus silvestris L.): a densitometric study on the X-ray curves of wood = Lannoituksen vaikutuksesta männyn (Pinus silvestris L.) puuaineen tiheyteen : densitometritutkimus puuaineen röntgenkuvista*. Helsinki. (Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja, 85:3)
- Sathre, R., Gustavsson, L. & Bergh, J. (2010). Primary energy and greenhouse gas implications of increasing biomass production through forest fertilization. I: *Biomass & Bioenergy*. (34). 572–581.
- Selås, V. (2001). Autumn Population Size of Capercaillie Tetrao urogallus in Relation to Bilberry Vaccinium myrtillus Production and Weather: An Analysis of Norwegian Game Reports. *Wildlife Biology*, 7 (1), 17–25. <https://doi.org/10.2981/wlb.2001.005>
- Selås, V., Sonerud, G.A., Hjeljord, O., Gangsei, L.E., Pedersen, H.B., Framstad, E., Spidsø, T.K. & Wiig, Ø. (2010). Moose recruitment in relation to bilberry production and bank

- vole numbers along a summer temperature gradient in Norway. *European journal of wildlife research*, 57 (3), 523–535. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0461-2>
- Shrestha, R.K., Strahm, B.D. & Sucre, E.B. (2015). Greenhouse gas emissions in response to nitrogen fertilization in managed forest ecosystems. *New Forests*, 46 (2), 167–193. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9454-4>
- Simonsen, R., Rosvall, O., Gong, P. & Wibe, S. (2010). Profitability of measures to increase forest growth. *Forest Policy and Economics*, 12 (6), 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.03.002>
- Sitaula, B.K., Bakken, L.R. & Abrahamsen, G. (1995). N-fertilization and soil acidification effects on N₂O and CO₂ emission from temperate pine forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 27 (11), 1401–1408. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00078-S](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00078-S)
- Skogsstyrelsen (2022a). *Certifiering av skog*. <https://www.skogsstyrelsen.se/aga-skog/du-och-din-skog/certifiering/> [2022-10-28]
- Skogsstyrelsen (2022b). Skogsvårdslagstiftningen - Gällande regler 1 april 2022. *Skogsstyrelsen*, 98
- Skogsstyrelsen (2022c). Statistik Skogsmarksgödsling. Skogsstyrelsen. [2022-10-11]
- Skånberg, K., Olsson, O. & Hallding, K. (2016). Den svenska bioekonomin: definitioner, nulägesanalys och möjliga framtider. 36
- SLU (2022). *Produktiv skogsmark*. *SLU.SE*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/senaste-statistiken/produktiv-skogsmark/> [2022-10-28]
- Strengbom, J. & Nordin, A. (2008). *Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests*
- Strengbom, J. & Nordin, A. (2012). Physical disturbance determines effects from nitrogen addition on ground vegetation in boreal coniferous forests. *Journal of vegetation science*, 23 (2), 361–371. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01359.x>
- Svenskt Trä (2022). *Egenskaper hos barrträ*. *Svenskt Trä*. <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtra/> [2022-12-13]
- Thuresson, T. (2002). *Skogsmarksgödsling - effekter på skogshushållning, ekonomi, sysselsättning och miljön*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Trading Economics (2022). *EU Carbon Permits - 2022 Data - 2005-2021 Historical - 2023 Forecast - Price - Quote*. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> [2022-12-12]
- Trexler, M.C. (2011). *GHG measurement and management are vital, but always be looking to advance the end game of mitigating climate change*. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/20430779.2011.579353?needAccess=true&role=button> [2022-12-11]
- United Nations (u.å.a). *CDM: CDM-Home*. <https://cdm.unfccc.int/> [2022-12-11]
- United Nations (u.å.b). *United Nations online platform for voluntary cancellation of certified emission reductions (CERs)*. <https://offset.climateutralnow.org/aboutoffseting> [2022-12-11]
- Valinger, E. & Fridman, J. (2000). *Träden avslöjar risken för vind- och snöskador*. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Wahlgren, A. (1914). *Skogsskötsel: handledning vid uppdragande, vård och förnygring av skog*. Stockholm: Norstedt.
- Westoby, J. (1989). Introduction to world forestry: people and their trees. *Introduction to world forestry: people and their trees.*, <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19890636275> [2022-11-23]

Winkel, G. (2017). Towards a Sustainable European Forestbased Bioeconomy – Assessment and the Way Forward. *European Forest Institute*,

Previous reports in this series

1. Lindström, H. 2019. Local Food Markets - consumer perspectives and values
2. Wessmark, N. 2019. Bortsättning av skotningsavstånd på ett svenskt skogsbolag - en granskning av hur väl metodstandarderna för bortsättningsarbetet följts
3. Victorin, P. 2019. Skogsvårdsstöd - växande eller igenväxande skogar?
4. Sjölund, J. 2019. Leveransservice från sågverk till bygghandel
5. Grafström, E. 2019. CSR för delade värderingar - En fallstudie av kundperspektiv hos skogs- och lantbrukare inom banksektorn
6. Skärberg, E. 2019. Outsourcing spare part inventory management in the paper industry - A case study on Edet paper mill
7. Bwimba, E. 2019. Multi-stakeholder collaboration in wind power planning. Intressentsamråd vid vindkraftsetablering
8. Andersson, S. 2019. Kalkylmodell för produkter inom korslimmat trä - Fallstudie inom ett träindustriellt företag. Calculation model for products within cross-laminated timber - A case study within a wood industrial company
9. Berg Rustas, C. & Nagy, E. 2019. Forest-based bioeconomy - to be or not to be? - a socio-technical transition. Skogsbaserad bioekonomi - att vara eller inte vara? - En socio-teknisk övergång
10. Eimannsberger, M. 2019. Transition to a circular economy - the intersection of business and user enablement. Producenters och konsumenters samverkan för cirkulär ekonomi
11. Bernö, H. 2019. Educating for a sustainable future? - Perceptions of bioeconomy among forestry students in Sweden. Utbildning för en hållbar framtid? - Svenska skogsstudenters uppfattningar av bioekonomi
12. Aronsson, A. & Kjellander, P. 2019. Futureshandel av rundvirke - Möjligheter och hinder för en futureshandel av rundvirke. A futures contract on roundwood - Opportunities and barriers for a futures trade on roundwood
13. Winter, S. 2019. Customers' perceptions of self-service quality - A qualitative case study in the Swedish banking sector. Kundernas uppfattning om självbetjäningens kvalitet

14. Magnusson, K. 2020. Riskanalys av hybridlärk (*Larix X marschlinsii*) - Möjligheter och problem. Risk analysis of hybrid larch (*Larix X marchlinsii*) - Opportunities and problems
15. Gyllengahm, K. 2020. Omsättningslager för förädlade träprodukter - en avvägning mellan lagerföring - och orderkostnad. Levels of cycle inventory for processed wood products - a trade-off between inventory - and order cost
16. Olovsson, K. 2020. Ledtider i sågverksindustrin – en analys av flöden och processer. Lead times in the sawmill industry – an analysis of flows and processes
17. Holfve, V. 2020. Hållbart byggande – Kommuners arbete för flerbostadshus i trä. Building in a sustainable way –Municipalities’ work for wooden multistory constructions
18. Essebro, L. 2020. Ensuring legitimacy through CSR communications in the biobased sector. Att säkerställa legitimitet genom CSR kommunikation i den biobaserade sektorn
19. Gyllengahm, K. 2020. Making material management more efficient – reduction of non-value-adding activities at a wood products company. Effektivisering av materialflödet – reducering av icke värdeadderande aktiviteter på ett trävaruföretag
20. Berg, E. 2020. Customer perceptions of equipment rental – Services for a circular economy. Kundens uppfattning av maskinuthyrning – Serviceutbud och cirkulär ekonomi
21. Emerson, O. 2020. Impacts of environmental regulations on firm performance – the development of a new perspective. Påverkan av miljökrav på företags prestanda – utvecklingen av ett nytt perspektiv
22. Essebro, L. 2020. Communicating a climate friendly business model. Att kommunicera en klimatvänlig företagsmodell
23. Halldén, A. 2020. Skogens roll i klimatfrågan – En medieanalys av Dagens Nyheter 2010–2019. The role of forests in the climate discourse – a media analysis of Dagens Nyheter 2010-2019
24. Gebre-Medhin, A. 2020. Swedish FES-related policy: Integration of national objectives and factors affecting local actors’ policy responses
25. Tanse, K. 2020. The Swedish policy framework for Forest Ecosystem Service. A study of integration of objectives, policy instruments and local actor’s knowledge about policies and policy objectives

26. Braunstein, G. 2020. Promoting sustainable market development – A case study of wooden multi-story buildings. Att främja en hållbar marknadsutveckling – En fallstudie om flervåningsbyggande i trä
27. Saati, N. 2021. Corporate social responsibility communication in apparel retail industry. Företagens sociala ansvars kommunikation i textila detaljhandeln
28. Fakhro, I. 2021. Leadership Contribution to Organizations During Pandemic Disruption – A case Study of Private Swedish Organizations. Ledarskapsbidrag till organisationer under pandemisk störning - en fallstudie av privata svenska organisationer
29. von Heideken, F. 2021. Municipal Construction Strategies – The promotion of wooden multi-storey construction. Kommunala byggstrategier – Främjandet av flervåningshus i trä
30. Tiwari, V. 2021. The Challenges in Public Private Partnerships and Sustainable Development. Utmaningar i hållbara utvecklingsprojekt mellan privata och publika aktörer – ej publicerad
31. Söderlund, M. 2021. Att skapa mervärde i en produktlinjeutvidgning. To create added value in a product line extension
32. Eriksson, P. 2021. Wood procurement using harvest measurement. For improved management of forest operations. Virkesanskaffning med hjälp av skördarmätning – För en förbättrad verksamhetsstyrning
33. Olsson, M. & Sparrevik, G. 2021. Commercial forestland investments. A comparative analysis of ownership objectives. Kommersiella skogsmarksinvesteringar -En jämförande studie av ägarmål
34. Dahl, P. 2021. Improving sawmill scheduling through Industry 4.0 A CASE study at VIDA AB. Förbättring av sågverksplanering genom Industry 4.0 – En fallstudie på VIDA AB
35. Leijonhufvud, E. 2022. Råvaruförsörjning av grot - Försörjningskedjan vid Södra Skog Raw material supply of logging residues -The Supply Chain at Södra Skog
36. Nyttell, A. 2022. Young Consumer perceptions of Wooden Multistorey Construction Unga konsumenters uppfattningar om flervåningshus i trä
37. Ljudén, A. & Nyström, A. 2022. Digitaliserings potential Kartläggning och analys av arbetsprocesser. The potential of digitalization – Mapping and analysis of business processes

38. Rubensson, N. 2022. Processeffektivisering vid hyvling - En analys av operatörernas förutsättningar. Process streaming in planning- An analysis of the operations conditions
39. Eriksson, P. 2022. The Forest Sector's Adaptation. Taxonomy and Emerging Carbon Markets. Skogssektorns hållbarhetsanpassning – Taxonomin och kolmarknader
40. Olander, C. 2022. I'll have what he's having - Can a bank increase financial equality? Jag tar det han får – Kan en bank öka finansiell jämställdhet?
41. Färnström, I. 2022. Market development for multi-story wood construction – Views of architects and structural engineers. Marknadsutveckling för träbygge i flervåningshus. Arkitekter och byggnadsingenjörers perspektiv
42. Andersson, S. 2023. Hållbarhetscertifiering – Effekter på värdekedjan av byggmaterial. Green certificate – A case study on effects in the value chain of building materials