

Examensarbete INES nr 381

Tillväxteffekter för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning



Foto: Susanne De Bourg

Susanne De Bourg

2016
Institutionen för
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Susanne De Bourg (2016). Tillväxteffekter för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning
Kandidatuppsats nr 381, 15 hp i Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Institution för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds Universitet

Nivå: Naturvetenskaplig kandidatexamen

Kursperiod: Mars 2016 till juni 2016

Ansvarsfriskrivning:

Detta dokument beskriver det arbete som utförts inom ett studieprogram vid Lunds Universitet. Alla synpunkter och åsikter som uttrycks i denna är den ansvarige författarens, och inte nödvändigtvis institutionens.

Tillväxteffekter för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning

Susanne De Bourg

Examensarbete på kandidatnivå, 15 högskolepoäng, i *Naturgeografi och Ekosystemvetenskap*

Handledare:

Cecilia Akselsson

Lunds Universitet, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Ulf Sikström

Skogforsk

Examinator:

Jörgen Olofsson

Lunds Universitet, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Förord

Uppsatsen du har framfört dig är ett examensarbete på kandidatnivå (15 hp) som avslutar min naturvetenskapliga kandidatutbildning *Naturgeografi och Ekosystemvetenskap* vid Lunds Universitet. Målgruppen för den här uppsatsen är övriga studenter inom området.

Syftet med uppsatsen var att analysera tillväxten för granskog som växer på marker där tidigare kalkbehandlingar har applicerats. Analysen genomfördes som en fortsättning på det skogliga forskningsprojektet "Farabolförsöket" som startade redan 1976. Min uppgift var att samla in fältdata (träddata) från provytorna i granbestånden och därefter statistiskt analysera om granar som växer på den kalkade marken växer bättre jämfört med de granar som växer på obehandlad mark.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Cecilia Akselsson vid Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap vid Lunds Universitet som gjorde det möjligt för mig att skriva den här uppsatsen. Tack för alla nyttiga inputs och allt stöd under arbetets gång. Det är tacksamt att ha någon att diskutera idéer med och Cecilia har varit ett väldigt uppskattat bollplank.

Uppsatsen har jag skrivit i samarbete med Skogforsk och där jag vill rikta ett speciellt tack till min handledare Ulf Sikström som under arbetets gång kommit med många tankvärda och intressanta kommentarer. Ulf har också bidragit med enormt mycket kunskap inom området. Kommentarer och kunskap från Ulf har dessutom alltid förmedlats med ett glatt humör, det uppskattas. Jag vill även säga tack till Michael Krook på Skogforsk som under tre dagar hjälpte mig att mäta drygt 2000 granar i fält. Jag tar med mig långa dagar, stormköket i bagaget och trevliga fikapauser som fina minnen från de dagarna.

Slutligen vill jag tacka Niklas Boke-Olén, doktorand vid Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap vid Lunds Universitet, som tog sig tid att hjälpa mig med statistikprogrammet R samt mina klasskamrater för trevligt sällskap under långa (ibland väldigt långa) dagar i skolan, ni har varit toppen när både ork och kaffe har tagit slut.

Sammanfattning

Syftet med den här studien är att studera tillväxten under perioden 1992 fram till våren 2016 för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning. Skogen och skogsproduktionen är och har länge varit en stor och viktig del i Sveriges utveckling och ekonomi. Att studera tillväxten av skog är därför av stort intresse för många aktörer inom svenska skogsindustrin.

I slutet av 1960-talet började försurningen i skog och mark att uppmärksammas i Sverige och under 1970-talet började rapporter om skogsskador som en möjlig följd av försurning att belysas allt mer. Försurning av skogsmark innebär att pH-värdet sjunker, giftiga substanser som aluminium och kadmium frigörs i marken och näringsämnen lakas ur p.g.a. starka syror. Detta påverkar tillväxten och därmed också skogens produktivitet negativt.

En metod som används för att motverka försurning i skogsmark är kalkning där kalket bidrar till att höja pH-värdet och tillföra marken mer näringsämnen. Andra studier inom ämnet har visat att kalkning har positiva effekter på tillväxten men det långa tidsspann som undersöks i den här studien, 29 år efter avslutade kalkbehandling, är sällsynt. Hur en kalkbehandling påverkar tillväxten är starkt kopplat till hur kalkningen påverkar nedbrytningen och därmed tillgängligheten av t.ex. kväve i marken. Nedbrytningsprocessen av organiskt material ökar vid mer basiska förhållanden i marken och indirekt kan då tillväxten gynnas.

Genom att statistiskt analysera insamlad fältdata (diameter och höjd) är syftet att ta reda på om det föreligger signifikanta skillnader i tillväxt (diameter, höjd, grundyta, stamvolym) mellan kalkade ytor och obehandlade kontrolltytor. Resultatet visar att tillväxten är signifikant större i de kalkade provytorna. Hur stora effekterna blir av kalkbehandlingar beror inte bara på mängden kalk som tillförs utan även markens C/N-kvot (förhållande mellan kol och kväve) och bördighet spelar in. En låg C/N-kvot indikerar högre bördighet, vilket kan antas vara fallet i provytorna. I södra Sverige, där studien genomfördes, är ofta kväve den begränsande faktorn för skogstillväxt. Ett tillskott av växttillgängligt kväve, t.ex. genom ökad nedbrytning, fungerar därför ofta som gödsel för naturen och tillväxten ökar.

Problemet med försurad skogsmark är fortfarande aktuellt och det krävs fortfarande mycket forskning för att få svar på om minskningarna av försurande utsläpp är tillräckliga för att ekosystemen ska återhämta sig. Att kalka ett område har inte enbart positiva effekter och t.ex. kan kväveläckage uppstå om marken blir kvävemättad och på så sätt bidra till övergödning i sjöar och vattendrag.

Med största sannolikhet skulle en större förståelse för kalkningens effekter uppnås om en mer djupgående undersökning om kalkningens effekter på näringstillgången i marken genomfördes. En intressant fortsättning på studien hade även varit att studera olika kalkmedels effekter på tillväxten. Idag används främst kalksten (även i denna studie) men även dolomitkalk och aska är alternativ som finns på marknaden.

Abstract

This study aims to investigate the growth of a spruce forest, where the soil has been treated with lime before planting. The study period reaches from 1992, when the spruces were planted until 2016. In Sweden, the forest industry plays an important role of the country's development and economic conditions. A study of forest growth is therefore of large interest for many actors within the Swedish forest industry.

At the end of the 1960's, acidification was getting more and more attention from researchers and the public and during the 1970's, forest damage as a possible result of acidification were first reported. Acidification within a forest means a lower pH, toxic elements such as aluminum and cadmium are being released and nutrients are being leached due to strong acids. This affects the growth and indirect the productivity of the forest in a negative way.

Liming is often used as a countermeasure to acidification in forests. The contribution of lime increases the pH and provides nutrients to the soil. Other studies within the field have shown that liming affects the growth in a positive way. However, the long time span in this study, 29 years since the lime treatments ended, is rare. To what extent a lime treatment will affect the growth is strongly linked to the connection between liming and decomposition rate. Decomposition of organic matter is shown to be benefitted from higher pH-values, and a higher decomposition rate means more available nitrogen for the plants and thus a possible higher growth rate.

Through statistical analysis of collected field data (diameter and height), the aim is to see whether there is a significant difference in growth (diameter, height, basal area, stem volume) between limed plots and untreated control plots. The results show that the growth of the spruces was significant larger on the limed plots compared to the control plots. The effects of lime treatments are not only based on the amount of lime applied, but also the C/N-ratio (the ration between carbon and nitrogen) and the fertility of the soil. A lower C/N-ratio indicates a higher fertility, which is assumed to be the case in the studied plots. In southern Sweden, where the study is carried out, nitrogen is often the limiting factor for forest growth. An addition of plant available nitrogen through increased decomposition rate is therefore considered as a fertilizer, resulting in an increased growth.

Acidification in forests is still a problem and a lot of research is needed to answer the question whether the decreased acidifying emissions are enough for the ecosystems to recover or not. Liming an area does not only result in positive effects. For example, nitrogen leakage might occur if the soil gets saturated with nitrogen, and thus contribute to the eutrophication in lakes and streams.

A more close investigation of the effects from lime treatments on nutrient availability in the soil is desirable in order to get a better appreciation of the treatment. As an interesting continuation of this study, an investigation of the available lime materials on the market could be done. Limestone is the one mostly used (also for this study), but dolomite lime and ash are two other interesting materials and they all have different properties affecting soils in different ways.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte och hypotes.....	2
1.2 Avgränsningar	2
2. Bakgrund	3
2.1 Parabol försöket	3
2.2 Naturlig och antropogen försurning	3
2.3 Kalkning och nedbrytningshastighet	4
3. Metod	6
3.1 Fakta om området	6
3.2 Försöksdesign	6
3.3 Fältmätningar.....	8
3.4 Bearbetning av data	9
3.5 Statistisk analys	10
4. Resultat.....	12
4.1 Statistisk analys	13
5. Diskussion	14
5.1 Statistiska resultat	14
5.2 Kalkningens långsiktiga effekter	14
5.3 Kvävetets roll.....	15
5.4 Näringsämnen	15
5.5 Framtidsutsikter	16
5.6 Felkällor.....	16
5.7 Förslag till förbättringar.....	17
6. Slutsatser	18
7. Referenser.....	19
Appendix I – Identifiering av outliers	23
Appendix II - Skadeanalys	30
Appendix III – Justerad trädhöjd.....	32
Appendix IV – Tillväxtresultat för alla behandlingar	33
Appendix V – Statistisk analys för alla behandlingar	34

1. Inledning

Skogen och skogsproduktionen är och har länge varit en stor och viktig del i Sveriges utveckling och ekonomi. Idag är ca 70 % av Sveriges yta klassad som skogsmark (SCB 2013), varav 60 % är klassad som produktiv skogsmark. Gran är det dominerande trädslaget och det täcker mer än 40 % av Sveriges produktiva skogsmark (Skogsstyrelsen 2016). Att studera tillväxten av gran är därför av stort intresse för många aktörer inom det svenska skogsbruket och skogsindustrin. Tanken med den här studien är att fokusera på kalkningens långtidseffekter på skogstillväxten.

I slutet av 1960-talet började försurningen i skog och mark att uppmärksammas mer och mer i Sverige och det ansågs vara ett av de största miljöproblemen i landet (Staaf et al. 1996). Orsaken till försurning är till största del utsläpp av svaveldioxid, som bildas vid förbränning av fossila bränslen, som kol och olja, samt utsläpp av kväveoxider som bildas i trafikens avgaser (Hultberg et al. 2006). Problemet uppmärksammades efter att en artikel om försurad nederbörd, av professorn och vetenskapsmannen Svante Odén, publicerades i Dagens Nyheter 1967. Svante Odén hade då under flera års tid samlat in data från sjöar, vattendrag och marker (Länsstyrelsen Jönköpings Län 2016) och länkade samman det drastiskt sjunkande pH-värdet med industriutsläpp från Väst- och Centraleuropa (Staaf et al. 1996). Han varnade då för att försurningen på sikt kunde få förödande effekter som t.ex. fiskdöd (Länsstyrelsen Jönköpings Län 2016) och minskad skogstillväxt. Publiceringen av Svante Odéns artikel blev startskottet på en internationell uppmärksamhet kring försurningsproblemet. Under 1970-talet började rapporter om skogsskador, i form av bland annat missfärgning och kronutglesning, som en möjlig följd av försurning att belysas allt mer (Staaf et al. 1996).

Försurning av skogsmark innebär att pH-värdet sjunker, d.v.s. att halten av H^+ (vätejoner) i marken ökar och att flera giftiga substanser som aluminium (Al) (Naturvårdsverket 2015) samt vissa tungmetaller, som koppar (Cu) och kadmium (Cd), frigörs i jorden (Krause 1989; Tyler et al. 1989). Dessa metaller kan påverka växternas näringsupptag via rötterna, och ett exempel är aluminium vars utfällning blockerar kalcium och magnesium att ta sig in i rötterna (Staaf et al. 1996). Näringsämnen som baskatjonerna kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K) lakas ur marken p.g.a. starka syror och detta, i kombination med att försurning har negativa effekter på vegetationens upptag av dessa näringsämnen, påverkar tillväxten och därmed också skogens produktivitet negativt (Staaf et al. 1996). Försurning av skogsmark kan därmed antas påverka vegetationen både direkt, genom att gifter frigörs och indirekt i form av en förändrad tillgänglighet av näringsämnen i jorden.

En metod för att motverka försurning i skogsmark är kalkning, d.v.s. att någon form av kalkmedel (i de flesta fall kalksten) sprids ut över den aktuella ytan (Staaf et al. 1996). Den verksamma beståndsdelen i alla former av kalkmedel är kalciumkarbonat ($CaCO_3$) (Naturvårdsverket 2010). Det som händer vid kalkning är att H^+ förbrukas vid kalkens upplösning i marken och därmed lindras försurningen. Vid upplösningen av kalk frigörs även viktiga baskatjoner, främst kalcium (Staaf et al. 1996). Jordens pH-värde ökar (Hallbäcken & Zhang 1998) medan det utbytbara aluminiumet samt vissa tungmetaller och fosfor omvandlas till mindre lösliga. Kalkningen förhindrar även till viss del fortsatt försurning genom att neutralisera det sura nedfallet under en lång tid framöver (Staaf et al. 1996). Storskalig kalkning i Sverige inleddes år 1982 och samma år startade även Naturvårdsverket sitt program ”Kalkning av mark och grundvatten”, som en åtgärd att motverka försurningen. Dessa åtgärder vidtogs efter att många forskare i början på 1980-talet rapporterat om akut aluminiumförgiftning som det största hotet mot skogen (Staaf et al. 1996).

Tidigare undersökningar har visat att kalkbehandlingar har genererat en ökad tillväxt, om än i mer kortsiktiga försök än det nuvarande. Sikström (2001) har visat att den genomsnittliga tillväxthastigheten, fyra år efter plantering, var högre i en kalkad skogsmark jämfört med i en obehandlad skogsmark. Andra studier har indikerat att stamvolymen har ökat som en följd av kalkbehandlingar (Clemensson-Lindell & Persson 1993; Sikström 2007). Andersson et al. (1995) och Staaf et al. (1996) har visat att de finaste rötterna hos granar påverkades positivt i de fall där marken kalkbehandlats, medan resultatet var det motsatta där marken istället var försurad. En ökad rottillväxt genom kalkning påverkar även växternas upptag av fosfor (P) eftersom rötterna kan komma åt en större jordvolym och på så sätt komma åt mer fosfor vilket ofta är en begränsande faktor (Bolan et al. 2003). Just rötterna spelar en viktig roll för trädens tillväxt då det är därigenom både näring och vatten tas upp.

Den här studien genomfördes utanför den lilla byn Farabol i nordvästra Blekinge i ett så kallat randomiserat blockförsök med tre block där de testade behandlingarna utfördes 1976-1987 på förra generationens granskog. Plantering av det nuvarande granbeståndet skedde 1992. Så långa tidsspann (29 år efter avslutade kalkbehandlingar) är sällsynta i den här typen av försök och antalet studier av långtidseffekter från kalkning är begränsade.

1.1 Syfte och hypotes

Syftet är att kvantifiera tillväxten (diameter, höjd, grundyta, stamvolym) under perioden 1992 fram till våren 2016 för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning. Utifrån tidigare genomförda studier i försöket (Sikström 2005) och i äldre skog på bördig mark (Sikström 2001; Sikström 2007) är hypotesen att kalkningen ger tendens till ökad tillväxt i den nya generationen granskog efter den tidigare genomförda kalkningen.

1.2 Avgränsningar

För att på ett noggrant och genomtänkt sätt ha möjlighet att genomföra studien inom den givna tidsramen på ca nio veckor gjordes flertalet avgränsningar. Det nu aktuella Farabolförsöket ”nystartade” i och med att en nyplantering av granar ägde rum i maj 1992. Utöver det gjordes två ”extraplanteringar”, en i oktober 1992 och en i april 1994 (Sikström 2005). I den här rapporten har ingen hänsyn tagits till de olika planteringstillfällena utan alla nu levande träd har behandlats lika.

Studien genomfördes i ett geografiskt begränsat område, i de tre blocken som är placerade utanför byn Farabol i nordvästra Blekinge. I de tre blocken är endast en trädart planterad, nämligen gran (*Picea abies*). I tidigare genomförda studier i försöket har tillväxt i kombination med markkemi analyserats, den här rapporten har dock enbart fokuserat på tillväxt. Det kan dessutom nämnas att miljöaspekter och miljöpåverkan endast kommer att behandlas mycket kortfattat i den här rapporten. Träd tillväxt är det primära ämnet.

Farabolförsöket innebar behandlingar i form av kvävegödsling, konstgjord försurning via svaveltillförsel, kalkning samt kombinationen av kvävegödsling och försurning. Fokus i den här rapporten kommer att ligga på kalkning eftersom den behandlingen i tidigare mätningar i Farabolförsöket har visat tendens till att påverka bland annat rötternas egenskaper, pH-värde i marken, markvattnets kemiska sammansättning och barrens näringsinnehåll till en högre grad jämfört med övriga behandlingar (Andersson et al. 1995). Det var också provytorna som hade kalkats som visade högst värden, dock inte signifikanta, vad gäller tillväxt vid den senaste mätningen hösten 2002 (Sikström 2005). Tillväxt-resultat från övriga behandlingar redovisas eftersom de är en del av försöket, men resultat- och diskussionsdelen begränsas till data från obehandlade kontrolytor och kalkbehandlade ytor.

2. Bakgrund

2.1 Farabolförsöket

Efter att luftburna föroreningar och dess eventuella effekter på skog och mark börjat uppmärksammas mer och mer under slutet av 60-talet anlades Farabolförsöket 1976 i nordvästra Blekinge (Andersson et al. 1995). Behandlingar i form av kvävegödsling, konstgjord försurning via svaveltillförsel, kalkning samt kombinationen av kvävegödsling och försurning applicerades på 18 provytor fördelade på tre block. Appliceringarna skedde under tidsperioden 1976-1987 och mer detaljerad information om behandlingarna finns i avsnitt 3.2.

Södra Skogsägarna och Institutet för Skogsförbättring (idag Skogforsk), som startade fältförsöket, hade som grundtanke att studera tillväxteffekter och förändringar i marken i den 55-åriga granskogen som då växte i området och de ville studera dessa effekter och förändringar på längre sikt, i detta fall 15-20 år (Andersson et al. 1995).

Under tiden för det ursprungliga fältförsöket (1976-1991) togs prover på tillväxten, nederbörd, markvatten och marken. Utifrån dessa prover analyserades bl.a. kemisk sammansättning i både nederbörd och jord, vittringsintensitet och pH-värde i marken (Andersson et al. 1995).

2.2 Naturlig och antropogen försurning

Inom begreppet försurning är det viktigt att skilja på naturlig och av människan orsakad (antropogen) försurning. Naturlig försurning innebär att vegetationen tar upp baskatjoner (näringssämnen i form av Ca, Mg och K) och samtidigt avger H^+ , så att det blir laddningsbalans.

Det diskuteras huruvida detta sker enbart i jordens ytskikt eller även längre ner i jordprofilen. Enligt Brandtberg och Simonsson (2005) sker detta bara i jordens ytskikt och några skillnader längre ner i mineraljorden har inte observerats i Skandinavien. En nyare studie från Löfgren et al. (2015) menar dock att jordlagrena till viss del kan anses som sammanlänkade via t.ex. vattenflöden, och att den naturliga försurningen på så sätt även sker, om än bara marginellt lite, längre ner i jorden. Oavsett kan det konstateras att den naturliga försurningen till största del förekommer i jordens ytskikt där det finns mycket organiskt material (Löfgren et al. 2015).

Ytterligare en orsak till naturlig försurning är att barrträdens fallförna bildar humussyror. När barren faller till marken hamnar syrorna i marken när barren förmultnar och ytskiktet i jorden blir surare (Hultberg et al. 2006). I en skog utan skogsbruksverksamhet återförs dock baskatjoner till marken när träden dör och de försurande H^+ i jorden konsumeras i nedbrytningsprocessen (Wiklander 1997). Denna naturliga försurning har marken ofta kapacitet att hantera, och bara naturlig försurning är därför inte lika skadlig för skogsmark och träd som antropogen försurning kan vara. Däremot i en skog där träden skördas och förs bort, vilket är fallet på större delen av Sverige skogsmark (Skogsstyrelsen 2016), förs även baskatjoner bort och försurningseffekten blir större jämfört med om träden hade fått förmultna på plats (Wiklander 1997). Vittring av berggrunden motverkar till viss del denna försurning genom att nya baskatjoner frigörs, men resultatet blir ändå en mer försurad skogsmark när biomassa förs bort (Lundmark 1986).

Förutom skogsbruk så uppstår antropogen försurning främst när utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider reagerar med regndroppar i atmosfären och syror bildas. Svaveldioxid omvandlas

till svavelsyra och kväveoxider till salpeterssyra (Länsstyrelsen Jönköpings Län 2016). Dessa starka syror kan sedan regna ner som sur nederbörd och på så sätt sänka pH-värdet i marken. Denna försurning har marken en mycket lägre kapacitet att hantera och skadorna kan därför bli stora. Dessutom är den antropogena försurningen en mycket snabbare process än den naturliga (Havs- och vattenmyndigheten 2014).

Försurningsproblematiken är sällan en nationell angelägenhet eftersom luftburna föroreningar, som svaveldioxid och kväveoxider kan förflytta sig långt utanför källans landsgränser. För Sveriges del har utsläpp från England, Tyskland och Polen spelat stor roll (Hultberg et al. 2006). Sedan 1990 har dock utsläppen minskat kraftigt, både i Sverige och i Europa. Under tidsperioden 1990-2008 minskade EU-länderna sina utsläpp av svaveldioxid med drygt 70 % medan utsläppen av kväveoxider minskade med närmare 40 %. För Sveriges del är minskningarna 70 % respektive 50 % (Pihl Karlsson et al. 2011). Som en följd av reducerade utsläpp har försurningsskadorna minskat. År 2010 räknades ca 10 % av Sveriges sjöar och 13 % av vattendragen som försurade (Naturvårdsverket 2016).

2.3 Kalkning och nedbrytningshastighet

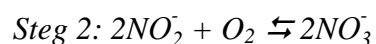
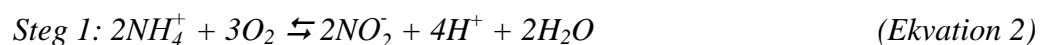
Hur en kalkbehandling påverkar tillväxten är starkt kopplat till hur kalkningen påverkar nedbrytningen och därmed tillgängligheten av t.ex. kväve i marken (Staaf et al. 1996). Det har visats att nedbrytningsprocessen av organiskt material (döda växt- och djurrester) ökar vid mer basiska förhållanden i marken (Wiklander 1997), eftersom nedbrytningsbakterierna kan avsöndra mer enzymer vid ett högre pH-värde. Det optimala pH-värdet för bakterierna ligger mellan 7 och 8 (Lundmark 1986).

En ökad nedbrytning i marken innebär att mer kväve i form av ammoniak (NH_3) bildas. Ammoniak förbrukar i sin tur H^+ , vilket lindrar markförsurningen, och bildar ammoniumjoner (NH_4^+). Denna process kallas ammonifikation (Wiklander 1997) och sammanfattas i Ekvation 1.



För att granar ska få i sig det viktiga näringsämnet kväve är det främst ammoniumjoner de tar upp via rötterna. Förutom ammoniumjoner kan granar, och övriga växter, även ta upp kväve i form av nitratjoner (NO_3^-). En ökning av ammoniumjoner, som en följd av gynnad ammonifikation, bidrar till en ökad produktionsförmåga hos granarna eftersom det så ofta begränsande näringsämnet kväve nu finns mer tillgängligt (Lundmark 1986).

Nedbrytning av organiskt material är en långsam process och den genomgår flera steg innan det organiska materialet har mineraliserats, d.v.s. brutits ner helt (Lundmark 1986). Ett av dessa nedbrytningssteg är nitrifikation, bakteriell omvandling av ammoniumjoner till nitratjoner (Ekvation 2), som kan ta vid när det finns tillräckligt med tillgängliga ammoniumjoner för växterna i marken. För att nitrifikation ska ta vid krävs dessutom ett högt pH-värde och god syretillgång (O) i marken (Lundmark 1986). I nitrifikationens första steg bildas nitritjoner (NO_2^-) som i nästa steg omvandlas till nitratjoner (NO_3^-)

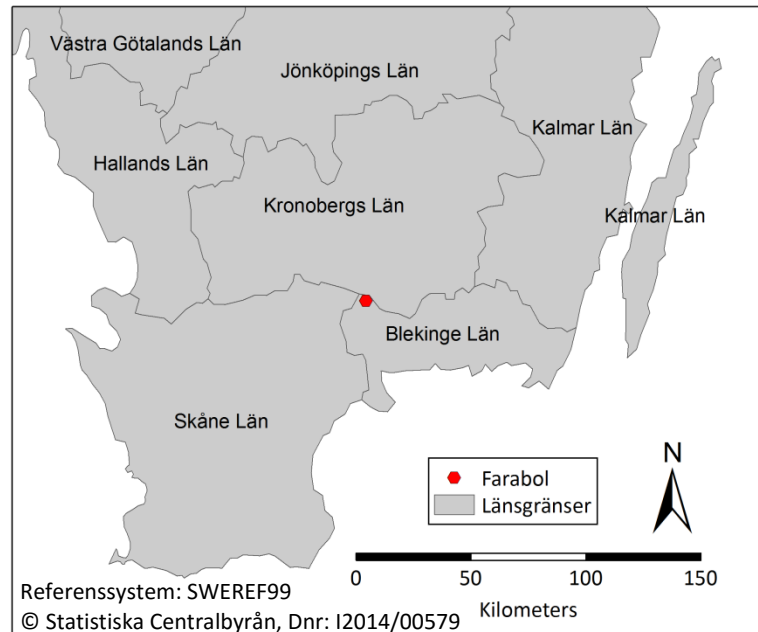


Nitrifikation ökar efter en kalkbehandling (Persson & Wirén 1995) eftersom bakterierna i denna process, precis som för ammonifikation, gynnas av pH-värden precis över 7 (Gieseke et al. 2006) och i stort sett helt avstannar vid pH-värden under 4 (Persson & Wirén 1995). För hög grad av nitrifikation kan dock bidra till att påskynda försurningen i marken (Song et al. 2016) eftersom det bildas försurande H^+ i nitrifikationens första steg. För mycket nitrater i marken kan även leda till att den blir kvävemättad, vilket i sin tur kan leda till läckage av nitrat som bidrar till övergödning i sjöar och vattendrag (Havs- och vattenmyndigheten 2014). Kvävemättnad i marken kan också bidra till en obalans i tillgången på övriga näringsämnen (Dise et al. 1998) och på så sätt stressa vegetationen. Dessutom är växttillgängligheten gällande övriga näringsämnen också beroende av pH-värdet och t.ex. fosfor är som mest tillgängligt vid ett pH-värde runt 5-7 (Wiklander 1997). Vid senaste pH-mätningen i Farabolförsöket, vilket var år 1991 precis innan avverkningen av första generationens granskog, låg pH-värdet på 4,2 i de obehandlade provytorna (Sikström 2001).

Huruvida nedbrytningen gynnas eller inte, beror inte bara på pH-värdet utan även på hur mycket kol det finns i marken i förhållande till kväve, vilket brukar anges med den så kallade C/N-kvoten (Dise & Wright 1995). Det är framför allt C/N-kvoten i det organiska materialet som spelar in (Dise et al. 1998), och en lägre C/N-kvot innebär att nedbrytningen gynnas (Dise & Wright 1995) och mer ammoniumjoner kan bildas. Vid en hög (> 25) C/N-kvot begränsas nedbrytningsförmågan och det är troligt att kvävebrist råder i jorden (MarkInfo 2007). Dise et al. (1998) föreslår att C/N-kvoten även kan användas till att uppskatta hur mycket kväve (i form av nitrater) som kan förväntas läcka från ett barrskogsområde. En låg C/N-kvot indikerar större risk för kväve-läckage.

3. Metod

3.1 Fakta om området



Figur 1. Södra Sverige där studieområdet Farabol är utmärkt med en röd prick.

Studien genomfördes utanför byn Farabol (N 56° 26' 6.17", E 14° 34' 25.66") i nordvästra Blekinge i södra Sverige (Figur 1). Skogsbruk dominerar markanvändningen i den här delen av Sverige och planteringar av bland annat gran och lärk är vanliga. Det är ett småkulligt landskap med en medelaltitud på ca 140 meter över havet. Studieområdet har ett mildt klimat där växtperioden överstiger 200 dagar (dygnsmedeltemperatur över +5°C) (SMHI 2015) och marken klassas som bördig skogsmark utifrån det svenska klassificeringssystemet "Ståndortsindex" (Lantmäteriet 2010; Skogforsk 2015). Under den senaste normalperioden (1961-1990) var årsmedeltemperaturen 6,4°C och årsnederbörden 669 mm vid den närmaste klimatstationen som finns i Ryd (SMHI 2014), ca 10 km ifrån Farabol.

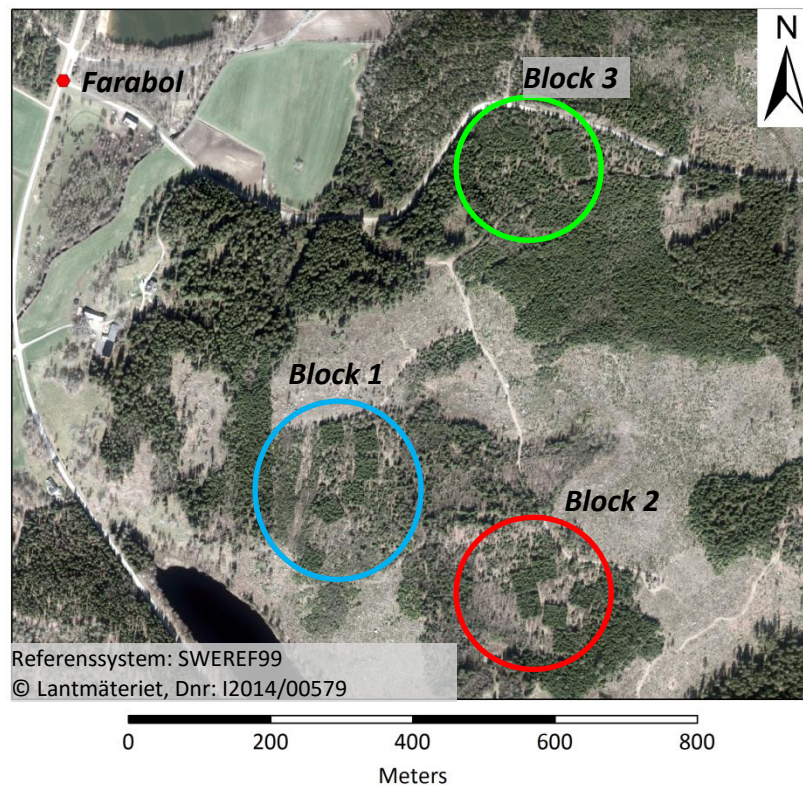
Berggrunden består till största del av gammal granit, bildad för ca 1000-2000 miljoner år sedan (SGU 2016). Genom hela Blekinge går även flera diabasgångar som är något yngre, ca 950 miljoner år gamla (Lundqvist et al. 2011). Sandig morän är den dominerande jordarten (Sikström 2001) och trots svårvittrad berggrund var jordlagret minst 70 cm djupt när Farabolförsöket anlades 1976 (Andersson et al. 1995).

3.2 Försöksdesign

Som nämns i avsnitt 2.1 anlades Farabolförsöket 1976 och granskogen som då växte på platsen var ca 55 år gammal. Försöket består av totalt 18 provtytor fördelade på tre block, som ligger inom en radie av 500 meter ifrån varandra (Figur 2). De behandlingar som testades var kvävegödsling, konstgjord försurning via svaveltillförsel, kalkning samt kombinationen av kvävegödsling och försurning. De sex provtyorna i varje block hade en storlek på 30x30 meter (34x34 meter i Block 3) och varje provtyta har en centrerad nettoyta på 20x20 meter som använts för analys av andra generationens granskog. Fortsättningsvis kommer begreppet provtyta användas för att benämna dessa nettoytor. Applicering av behandlingar skedde under

åren 1976-1987 (Tabell 1) och de sex provytorna i varje block behandlades enligt följande (Sikström 2001):

1. Obehandlad kontrolllyta (**0**).
2. Låg svaveltillförsel (**S**), i form av svavelblomma som är ett finkornigt svavelpulver.
3. Hög svaveltillförsel (**2S**), samma som ovan.
4. Kalkning (**CA**), i form av kalciumkarbonat (CaCO_3).
5. Kvävegödsling (**N**), i form av urinämnet urea.
6. Svaveltillförsel + kvävegödsling (**NS**), kombination av nr. 2 och nr. 5.



Figur 2. Flygfoto över de tre blocken i Farabolförsöket. Den röda prick i NV hörnet är södra kanten på byn Farabol.

Tabell 1. Applicering av de olika behandlingarna, angett i kg/ha (Sikström 2001).

År	Behandlingar (kg/ha)					
	0	S	2S	CA	N	NS
1976		50	100	500	200	200 N + 50 S
1977		50	100	500		50 S
1978		50	100	500		50 S
1979		50	100	500		50 S
1980		50	100	500	200	200 N + 50 S
1981		50	100	500		50 S
1982		50	100	500		50 S
1983		50	100	500		50 S
1984		50	100	500		50 S
1985		50	100	500	200	200 N + 50 S
1986		50	100	500		50 S
1987		50	100	500		50 S

Innan de olika behandlingarna påbörjades år 1976 togs prover på bland annat pH-värde, total biomassa och halten baskatjoner i området för att undersöka eventuella skillnader mellan provytorna. Resultaten visade inga signifikanta skillnader. Däremot togs hänsyn till vissa mindre skillnader och t.ex. var det provytorna med lägst pH-värde som fick kalkbehandling (Andersson et al. 1995).

I februari 1992 avverkades den gamla granskogen och i samband med detta ansågs det ursprungliga fältförsöket avslutat. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Skogforsk såg då en möjlighet att använda provytorna till ett nytt försök där långsiktiga effekter på nyplantering kunde undersökas. I maj 1992 planterades därför nya granplantor på samma provytor (Andersson et al. 1995). Denna nyplantering, hädanefter kallad andra generationens granskog, ligger till grund för den här rapporten då syftet är att analysera hur den tidigare genomförda kalkbehandlingen påverkar tillväxten för just andra generationens granskog.

Under de första åren av det ”nya Farabolförsöket” (1992-1996) följdes trädens utveckling noga (Sikström 2001). Därefter var det ett hopp fram till år 2002 då nästa tillväxtstudie genomfördes. Både fältstudien 2002 och den som nu har genomförts för att ligga till grund för den här rapporten, hade som huvudsyfte att studera trädens överlevnad och tillväxt. Tillväxten studerades genom mätningar av trädens höjd och diameter, där diameter mäts i brösthöjd vilket motsvarar 1,3 meter över marken. Hädanefter kommer benämningen diameter att betyda diameter i brösthöjd.

3.3 Fältmätningar

Som ett första steg i den här studien genomfördes datainsamling i fält under tre dagar i april 2016. I varje provyta är träden numrerade och under fältstudien mättes höjd och diameter på varje enskilt levande träd. Utöver det noterades även eventuella skador på träden. Höjden mättes med hjälp av Haglöfs höjdmätare Vertex IV, och diametern genom korsklavning vilket innebär att diametern mäts på två olika ställen i 90°-vinkel mot varandra. Därefter beräknas medelvärdet av dessa två diametermått. Korsklavning används eftersom en trädstam sällan är helt rund och därmed finns det risk att endast ett diametermått ger ett missvisande värde.

3.4 Bearbetning av data

För att identifiera eventuella ”outliers” (orimliga/uppenbart felaktiga värden) i den insamlade datan plottades de två diametervärdena från korsklavningen för varje träd mot varandra per provyta. Eftersom dessa två värden helst ska följa en någorlunda linjär linje är det en lämplig metod för att visuellt identifiera outliers. Även diameter (medeltal av de två diametrarna) mot höjd plottades för varje träd för alla 18 provytor. Dessa variabler följs i normalfallet åt i en exponentiell kurva som planar ut i takt med att diametern ökar (Sikström 2016). Från de två ovan nämnda metoderna var det ett träd (Block 3, behandling 2S, träd 86) som utmärkte sig markant från övriga, då det ena diametervärdet var i storleksordningen 10 gånger större än övriga. Det blev tydligt att just diametermätningen på detta träd blivit fel och värdet ändrades manuellt från 520 till 52 mm efter att det antagits att en nolla felaktigt lagts till.

En tredje och sista metod för att identifiera outliers var att i tabellform spalta upp min-, max- och medelvärde för diameter och höjd i de 18 provytorna. Grafer och tabeller över metoderna för att identifiera outliers redovisas i Appendix I.

Nästa steg i bearbetningen av fältdata var att analysera frekvensen av noterade skador. För att i ett senare skede kunna genomföra statistiska analyser av insamlad data krävs det att det föreligger ett oberoende förhållande mellan skador och behandlingar. Utifrån denna bakgrund analyserades skadefrekvensen för varje provyta. Tabeller och grafer (de fyra vanligaste skadorna) över skadefrekvenser finns presenterade i Appendix II.

Det fanns inga tecken på att någon av behandlingarna på ett systematiskt sätt skulle ha påverkat skadefrekvensen, och därför togs alla träd med i analysen. Däremot gjordes justeringar för träd med stambrott för att uppskatta hur dessa träd ”skulle ha vuxit” utan skadan. Justeringarna gjordes genom att använda plottarna över diameter-höjd och anpassa en andragradskurva till observationerna (för Block 3 behandling 2S justerades den tydliga outliern 520 till 52 mm innan andragradskurvan passades in; se ovan). Andragradskurvan ”tvingades” att starta i origo (0,0) eftersom ett träd med en noll-diameter rimligtvis också har en noll-höjd. Kurvans ekvation användes sedan till att räkna ut en ny justerad höjd utifrån den ursprungliga diametern. Sammanlagt var det 16 träd i försöket som hade drabbats av stambrott, och som fick en justerad höjd. En tabell över dessa justeringar finns i Appendix III. I normalfallet ska den justerade höjden bli högre, eftersom ett stambrott leder till att trädet går av och därmed blir kortare än vad det ”skulle ha varit” utan skadan. Av de 16 träden som fick en justerad höjd var det dock två som fick en lägre höjd vid justeringen. För att ha en konsekvent metod för hela höjjusteringen, i form av att använda anpassade andragradskurvor, beslutades att behålla dessa två värden som gav lägre höjd.

Med diameter- och höjdvärden (i 16 fall justerade) beräknades medeldiameter (cm) och medelhöjd (dm) för alla 18 provytor. För varje provyta beräknades även antal levande träd, antal stammar/hektar, grundyta (m^2/ha) och stamvolym (m^3/ha). Genom att använda diametern och formeln för en cirkels area ($A=\pi r^2$) beräknades trädets grundyta. Detta har gjorts för varje enskilt träd och därefter har alla träds grundytor per provyta summerats för att slutligen räknas om till m^2/ha .

Utifrån funktioner presenterade av Näslund (1947) har stamvolymen räknats ut enligt Ekvation 3. Precis som för grundyta gjordes volymbereäkningen för varje enskilt träd och därefter summerades alla träds volymer per provyta, och slutligen räknades värdena om till m^3/ha .

$$v = 0,1104d^2 + 0,01925d^2h + 0,01815dh^2 - 0,04936h^2 \quad (\text{Ekvation 3})$$

$v = \text{trädets stamvolym (dm}^3\text{)}$

$d = \text{diameter i bröst höjd (cm)}$

$h = \text{trädets höjd över mark (m)}$

Alla resultat från ovan nämnda beräkningar presenteras nedan i Tabell 2. Vid planteringen år 1992 planterades 121 träd i varje provyta (11 rader x 11 träd), med vissa undantag då t.ex. en sten var placerad där plantan skulle sättas. Data över exakt hur många träd som planterades i varje provyta finns också redovisat i Tabell 2.

3.5 Statistisk analys

För den statistiska analysen av insamlade fältdata användes programmet R. Variablerna andel levande träd, antal stammar/hektar, medeldiameter, medelhöjd, grundyta och stamvolym analyserades med hjälp av dubbelsidiga t-test (fullständigt randomiserat) för att identifiera eventuella signifikanta skillnader mellan de kalkade ytorna och kontrollytorna (totalt 6 provytor). Det har inte tagits hänsyn till blockfaktorn i analysen. I alla test användes en signifikansnivå på 95 % ($p < 0,05$). Den statistiska analysen genomfördes dels per block, men också totalt för alla tre blocken.

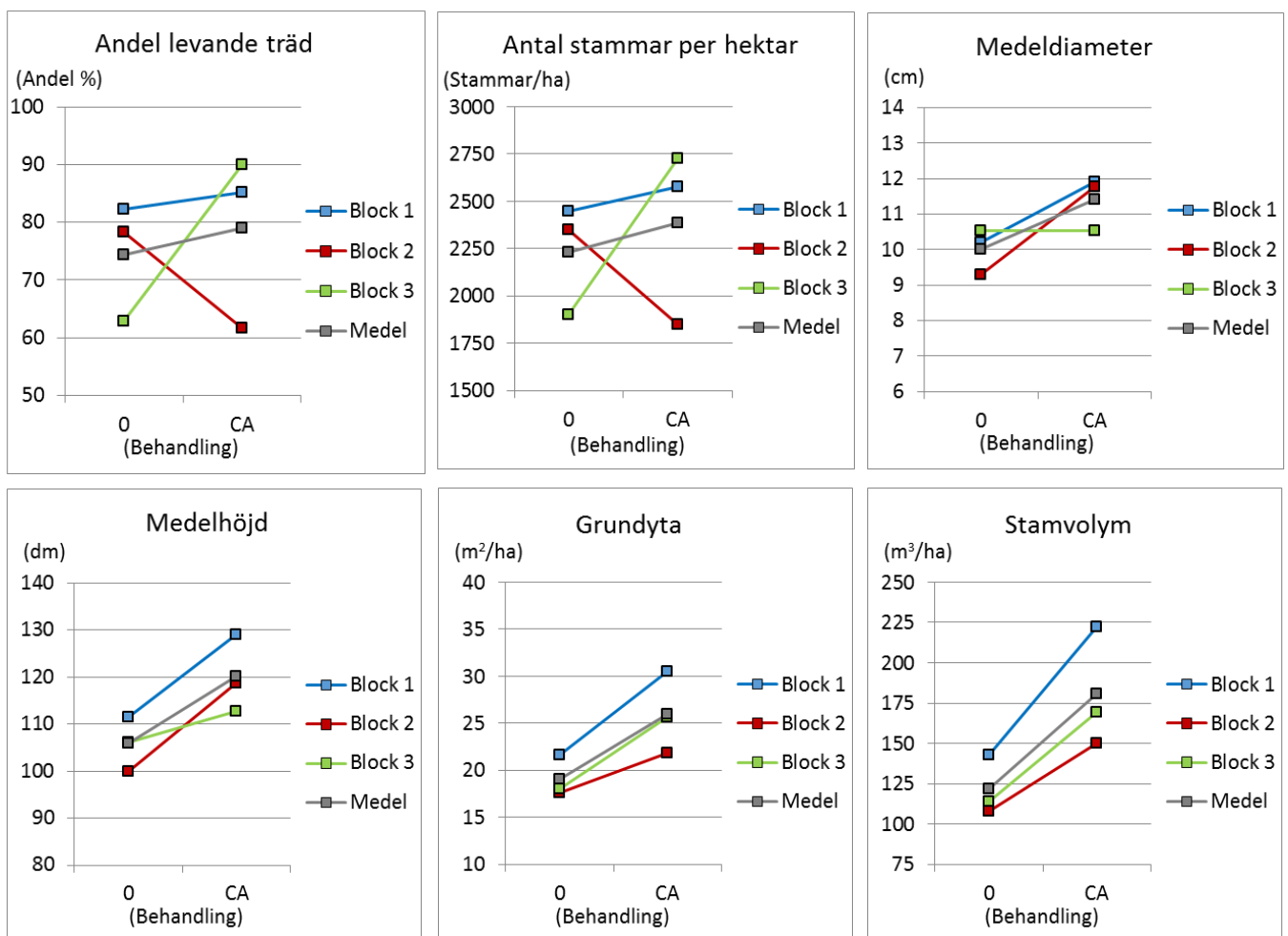
En statistisk analys genomfördes även för alla behandlingar med av hjälp av ett F-test (ANOVA) för att identifiera eventuella signifikanta skillnader mellan de sex behandlingarna. Även för F-testet användas en signifikansnivå på 95 % ($p < 0,05$). I testet ingick alla 18 provytor och genomfördes även i detta fall som om ytorna var fullständigt randomiserade, d.v.s. ingen hänsyn togs till blocken.

Tabell 2. Ytdata över antal planterade och levande träd, antal stammar per hektar, medeldiameter, medelhöjd, grundyta och stamvolym. Diameter och höjd presenteras som ett medelvärde per provyta. Stammar/ha, grundyta och stamvolym presenteras som summan av alla träd för respektive provyta där summan i sin tur blivit omräknad till ett värde per hektar. Nedersta raderna presenterar medelvärden för alla tre block.

Ytdata - våren 2016									
Block	Behandling	Antal planterade	Antal levande träd	Andel levande träd (%)	Stammar/ha	Medel-diameter (cm)	Medelhöjd (dm)	Grundyta (m ² /ha)	Stamvolym (m ³ /ha)
1	0	119	98	82,4	2450	10,2	111,4	21,64	142,89
1	S	121	103	85,1	2575	10,1	109,7	22,39	146,03
1	2S	121	104	86,0	2600	9,9	114,0	21,58	145,82
1	CA	121	103	85,1	2575	11,9	129,0	30,45	222,59
1	N	121	76	62,8	1900	11,0	111,0	20,06	130,87
1	NS	121	94	77,7	2350	10,9	116,6	23,70	159,48
2	0	120	94	78,3	2350	9,3	100,0	17,61	108,10
2	S	120	96	80,0	2400	9,1	96,7	17,08	99,74
2	2S	121	107	88,4	2675	9,7	108,3	21,55	137,33
2	CA	120	74	61,7	1850	11,8	118,8	21,86	150,35
2	N	121	93	76,9	2325	9,2	97,8	17,56	106,91
2	NS	120	94	78,3	2350	10,4	108,1	22,16	142,41
3	0	121	76	62,8	1900	10,5	106,2	18,04	114,18
3	S	121	102	84,3	2550	10,4	109,5	23,57	153,47
3	2S	120	95	79,2	2375	10,2	106,5	21,19	134,69
3	CA	121	109	90,1	2725	10,5	112,7	25,67	169,15
3	N	121	87	71,9	2175	11,0	108,3	22,04	138,00
3	NS	121	93	76,9	2325	10,5	109,7	22,16	144,45
Medel	0	360 (totalt)	268 (totalt)	74,4	2233	10,0	105,9	19,10	121,72
Medel	S	362 (totalt)	301 (totalt)	83,1	2508	9,9	105,3	21,01	133,08
Medel	2S	362 (totalt)	306 (totalt)	84,5	2550	9,9	109,6	21,44	139,28
Medel	CA	362 (totalt)	286 (totalt)	79,0	2383	11,4	120,2	26,00	180,69
Medel	N	363 (totalt)	256 (totalt)	70,5	2133	10,4	105,7	19,89	125,26
Medel	NS	362 (totalt)	281 (totalt)	77,6	2342	10,6	111,5	22,67	148,78

4. Resultat

Figur 3 visar tillväxtvariablerna andel levande träd, antal stammar per hektar, medeldiameter, medelhöjd, grundyta och stamvolym för kontroll- och kalkytorna vid revisionen våren 2016. Liknande grafer med resultat för alla behandlingar finns i Appendix IV. Utifrån graferna i Figur 3, kan det utläsas att granarnas tillväxt på de kalkade ytorna varit större jämfört med på de obehandlade kontrollytorna. Undantag går att se för variablerna andel levande träd och antal stammar per hektar där Block 2 i båda fallen uppvisar motsatta resultat. Genom en visuell tolkning av graferna går det också att se att det är Block 1 (både kontrollyta och kalkad yta) som har de högsta värdena vad gäller medelhöjd, grundyta och stamvolym. Vad gäller diameter går det att utläsa att kalkningen inte haft någon effekt alls i Block 3, medan Block 1 och 2 uppvisar tydliga ökning. Vad gäller medelvärdet för alla tre block (grå boxar/linje) så är värdena högre i kalkbehandlingen än i kontrollen för alla sex tillväxtvariabler (Figur 3).



Figur 3. Variablerna andel levande träd, antal stammar per hektar, medeldiameter, medelhöjd, grundyta och stamvolym för kontroll- och kalkytorna vid tidpunkten för revisionen våren 2016.

4.1 Statistisk analys

För att kolla om de visuellt tolkade iakttagelserna från Figur 3 var signifikanta ($p < 0,05$) genomfördes dubbelsidiga t-test i statistikprogrammet R. T-test genomfördes både blockvis och för alla tre blocken totalt, och i Tabell 3 visas resultaten. I Block 1 och 2 finns en signifikant skillnad mellan kontroll- och kalkytorna för alla variabler som inkluderades i testen (Tabell 3). För Block 3 fanns inga signifikanta skillnader mellan kontroll- och kalkytorna. Variablerna andelen levande träd och antal stammar/ha har inte analyserats statistiskt eftersom de enbart har ett medelvärde per provyta och inte ett värde per träd.

Medelvärdena för alla tre block tillsammans visar överlag signifikanta skillnader mellan kontrollytorna och de kalkade ytorna, förutom variablerna andel levande träd ($p=0,70$) och antal stammar/ha ($p=0,66$) (Tabell 3). Ett motsvarande test det som presenteras i Tabell 3, fast för alla behandlingar finns i Appendix V. Generellt blev p-värdena låga i detta F-test, men ingen variabel uppvisade någon signifikant skillnad mellan behandlingarna.

Tabell 3. Tillväxtvariabler för tidsperioden 1992-2016 för Block 1, Block 2, Block 3 och medelvärden för de tre blocken. Siffror i fetstil anger en signifikant skillnad ($p < 0,05$) mellan kontrollytan och den kalkade ytan. Kolumnen längst till höger visar p-värdena från den statistiska analysen.

Statistisk analys - Block 1				Statistisk analys - Block 2			
	0	CA	p-värde		0	CA	p-värde
Diameter (cm)	10,2	11,9	6,26E-05	Diameter (cm)	9,3	11,8	1,65E-06
Höjd (dm)	111,4	129,0	1,98E-08	Höjd (dm)	100,0	118,8	1,74E-06
Grundyta (m ² /ha)	21,64	30,45	5,77E-05	Grundyta (m ² /ha)	17,61	21,86	3,76E-07
Stamvolym (m ³ /ha)	142,89	222,59	2,64E-06	Stamvolym (m ³ /ha)	108,10	150,35	3,82E-08

Statistisk analys - Block 3				Statistisk analys - Medelvärden för de tre blocken			
	0	CA	p-värde		0	CA	p-värde
Diameter (cm)	10,5	10,5	0,98	Andel levande träd (%)	74,4	79,0	0,70
Höjd (dm)	106,2	112,7	0,06	Stammar/ha	2233	2383	0,66
Grundyta (m ² /ha)	18,04	25,67	0,92	Diameter (cm)	10,0	11,4	3,23E-07
Stamvolym (m ³ /ha)	114,18	169,15	0,72	Höjd (dm)	105,9	120,2	4,67E-12
				Grundyta (m ² /ha)	19,10	26,00	1,23E-07
				Stamvolym (m ³ /ha)	121,72	180,69	6,48E-10

5. Diskussion

5.1 Statistiska resultat

I Tabell 3 presenteras de statistiska resultaten, och för alla tre block tillsammans uppvisas signifikanta skillnader mellan kontrolltytor och kalkade tytor för de fyra tillväxtvariablerna diameter, höjd, grundyta och stamvolym. p-värdena för dessa variabler är väldigt låga och det är därför med stor säkerhet en skillnad i tillväxt mellan kontroll- och de kalkbehandlade ytorna.

I Block 3 finns inga signifikanta skillnader mellan kontrolltyta och kalkad yta alls. p-värdet för höjd är dock lågt (0,06) och ligger därmed väldigt nära gränsen för signifikans ($p < 0,05$), vilket indikerar att det är just höjd som skiljer sig mellan kalk- och kontrolltytan. För diameter, grundyta och stamvolym i detta block är p-värdena höga, vilket visar att tillväxteffekterna av behandlingarna med stor säkerhet inte skiljer sig åt.

Diametervärdena i Block 3 är exakt lika och därmed är det lätt att godta resultatet om att ingen signifikant skillnad mellan kontrolltyta och kalkad yta föreligger. För grundyta och stamvolym skiljer sig värdena betydligt mer mellan kontrolltytan och den kalkade ytan. För grundyta och stamvolym är det summan för varje provyta, där summan sedan blivit omräknad till ett värde per hektar, som presenteras i Tabell 3. Just i Block 3 skilde det stort i antalet levande träd mellan kontrolltytan och den kalkade ytan, 76 respektive 109 levande träd (se Tabell 2), vilket såklart har påverkat totalsummorna för både grundytan och stamvolymen. Så även om det är stora skillnader i dessa variabler (18,04 resp. 25,67 m²/ha samt 114,18 resp. 169,15 m³/ha) i Tabell 3 är det viktigt att tänka på att statistikprogrammet R har tagit hänsyn till antalet input-värden (levande träd) när den statistiska analysen genomfördes. För Block 1 och 2 är p-värdena för alla tillväxtvariabler väldigt låga vilket visar på en hög signifikansnivå och indikerar att behandlingarna med stor säkerhet skiljer sig åt.

Vid en jämförelse mellan blocken är det tydligt att det är Block 1 som utmärker sig när det gäller tillväxt under perioden 1992-2016. Både höjd, grundyta och stamvolym är större än övriga block (Figur 3). Att träden var högre i Block 1 noterades redan under fältarbetet genom visuell tolkning. Hur det kommer sig att just Block 1 vuxit mer kan det finnas många förklaringar till. En möjlig förklaring är att Block 1 angränsar till en äldre granskog som kan ha agerat "skyddsvall" mot väder och vind åt de planterade granarna i provytorna. Skyddet som granplantorna hade de första åren efter planteringen kan ha varit en tillräcklig "kick-start" för att Block 1 ska ligga steget före Block 2 och 3. I takt med att de planterade granarna i försöket har vuxit upp kan istället en konkurrens har uppstått mellan provytorna och den äldre angränsande skogen och på så sätt minskat skyddsfunktionen. Huruvida denna konkurrens visar sig på längre sikt, t.ex. genom att begränsa Block 1 istället, kan bara tiden <9oklutvisa.

5.2 Kalkningens långsiktiga effekter

För att få effekt av kalkning på skogsmark krävs stora mängder kalk. Det finns flera som säger (t.ex. Staaf et al. 1996; Kjølner & Clemmensen 2008) att kalkgivan inte bör understiga 1 ton/ha för att uppnå en effekt med kalkning på skogsmark. I Farabolförsöket har kalkbehandlingarna skett med 500 kg/ha, vilket i så fall skulle ha varit alldeles för lite som engångsdos. Att kalkgivan i Farabolförsöket gavs varje år under en 12-årsperiod kan vara orsaken till att det trots allt gav signifikanta skillnader mellan kalk- och kontrolltytorna.

Hur tillväxten och markens egenskaper påverkas av kalkning beror på så mycket mer än bara mängden kalk som tillförs. Som nämns i inledningen är pH-värde och markens C/N-kvot två faktorer som påverkar men även skogsbeståndets ålder, jordtyp och markfuktighet är viktiga (Clemensson-Lindell & Persson 1993; Sikström 2001). C/N-kvoten kan även anses representera ett mått på jordens bördighet där låg C/N-kvot indikerar hög bördighet (Sikström 2007). Marken i Farabolförsöket klassas som bördig och enligt Sikström (2007) får en kalkbehandling större effekt på tillväxten ju bördigare marken är. Detta stämmer bra överrens med resultaten i aktuell studie.

Clemensson-Lindell och Persson (1993) visade att pH-värdet ökar med tiden efter en kalkbehandling. Med andra ord är det troligt att effekterna blir tydligare ju längre tid som gått, när det gäller just pH-värde. Att det här är första mätningen i Farabolförsöket på andra generationens granskog som ger signifikanta skillnader mellan kalk och obehandlad kontroll har förmodligen med denna långtidsaspekt att göra. Tendenser har funnits tidigare (Sikström 2001; Sikström 2005) men det är först nu skillnaderna är signifikanta.

5.3 Kvävetts roll

I första generationens granskog i Farabolförsöket, den som avverkades 1992, ökade tillväxten med drygt 20 % (21 % för grundyta och 27 % för stamvolym) i de provytor som kvävebehandlats jämfört med de obehandlade kontrollytorna (Andersson et al. 1995). Detta tyder på att kväve skulle varit den begränsande faktorn då. Ofta är det just kväve som är begränsande för tillväxt, både på land och i hav (AirClim 2016). Ett tillskott av växttillgängligt kväve (ammoniumjoner), t.ex. genom ökad nedbrytning, fungerar därför ofta som gödsel för naturen – tillväxten ökar. Trots en ökad tillväxt finns det risk att för stor kvävetillförsel försämrar trädens kapacitet att stå emot stressmoment, t.ex. kan förmågan att klara av perioder med frost försämrans (Nihlgård 1985). Gödsling kan även påverka virkets egenskaper och kvalitet negativt (Jansons et al. 2016), vilket är en viktig aspekt ur ett tillväxt- och produktionsperspektiv.

För mycket kväve i marken kan leda till en påskyndad försurningsprocess och en ökad övergödning på grund av högre urlakningsgrad. Det gäller alltså att hitta en fin balansgång av kvävetillförsel där tillväxten kan gynnas utan negativa effekter i form av försurning och övergödning. Hur vet vi när nedbrytning och nitrifikation gynnas ”lagom” mycket för att uppnå denna balans? Som nämns i inledningen kan C/N-kvoten användas för att uppskatta hur mycket kväveläckage som kan förväntas från ett barrskogsområde. Läckaget är givetvis också beroende av hur mycket kväve som tillförs skogsområdet, d.v.s. kvävedepositionen. I Farabolförsöket har det tidigare gjorts mätningar på kvävedepositionen (Andersson et al. 1995), men i takt med att kväveutsläppen förändras på grund av bland annat ny teknik inom reningsmetoder hade det varit intressant att få aktuella värden. Med hjälp av nyare värden skulle kväveläckaget till sjöar och vattendrag kunna uppskattas och därigenom ge en bättre bild av hur väl balansen mellan kvävetillförseln och läckaget fungerar.

5.4 Näringsämnen

Förutom kväve är även baskatjonerna viktiga för skogens tillväxt och genom kalkbehandlingar kan fler baskatjoner, framför allt kalcium och magnesium, tillföras marken. Som nämns i tidigare avsnitt är det troligt att kväve är den begränsande faktorn när det gäller skogens tillväxt, både i Farabol och i södra Sverige generellt. Trots det har kalkbehandlingarna visat större effekt än vad kvävebehandlingarna har gjort i den här studien (Appendix IV). Detta tyder på att det inte enbart är kväve som begränsar utan även fler viktiga näringsämnen.

Dessutom har de tidigare kalkbehandlingarna i Farabolförsöket troligtvis hjälpt till att lindra den naturliga försurningen som ständigt pågår i barrskogen. I takt med en ökad nedbrytning och nitrifikation ökar den försurande processen genom att H^+ frigörs. Slutligen är det troligt att kalkbehandlingarna har bidragit till att neutralisera den sura nederbörden som fortfarande faller över stora delar av Europa, och på så sätt gynnat tillväxten genom att se till att pH-värdet i marken inte sjunker för mycket. I kontrolllytorna (och övriga behandlingar, se Appendix IV) har inte samma motståndskraft mot den sura nederbörden funnits, och fler näringsämnen har förmodligen lakats ur p.g.a. de starka syror som tillförs med nederbörden.

5.5 Framtidsutsikter

Även om problemet med försurad nederbörd i södra Sverige är kraftigt reducerat idag finns det fortfarande kvar. Det krävs fortfarande mycket forskning och utvärderingar av skogsmarkens hälsa för att få svar på om utsläppsminskningarna är tillräckliga för att ekosystemen ska återhämta sig (Pihl Karlsson et al. 2011). Därför är det viktigt att tänka på att skogsmark fortfarande försuras, om än i mycket mindre omfattning jämfört med när problemet uppmärksammades, och därmed planera åtgärder därefter. Åtgärder som på både kort och lång sikt kan hjälpa och förbättra den svenska skogen när det gäller både tillväxt och biologisk mångfald. Det är oklart i vilken omfattning kalkbehandlingar påverkar just den biologiska mångfalden. Enligt Staaf et al. (1996) är det troligt att antalet kärlväxter gynnas medan svampar och lavar istället missgynnas. Mer omfattande studier inom området vore en intressant fortsättning då kalkning på många andra sätt har visat positiva effekter på skogsmark.

Att kalka ett område har som diskuterats ovan inte enbart positiva effekter. Förutom kväveläckage finns det även risk för att fosfor läcker ut i större omfattning eftersom kalkning kan minska trädens upptag av fosfor (Hallbäcken & Zhang 1998). Precis som kväve bidrar urlakat fosfor till övergödning i sjöar och vattendrag (Staaf et al. 1996).

Med största sannolikhet skulle en större förståelse för kalkningens effekter uppnås om en mer djupgående undersökning om kalkningens effekter på näringstillgången i marken genomfördes. Den här uppsatsen har delvis diskuterat hur tillgången på kväve och baskatjoner påverkas av kalkning, men det finns fler viktiga näringsämnen, fosfor är ett exempel. Fler ingående studier gällande kalkning och dess effekter på näringstillgången i marken är därför önskvärt.

5.6 Felkällor

Det randomiserade blockförsöket i Farabol var förlagt så att inom varje block skulle initiala skillnader mellan provytorna minimeras. Dessutom skulle det inte vara för stora skillnader mellan blocken. Även om alla tre blocken med blotta ögat såg ut att vara likvärdiga är det mycket troligt att små skillnader i mikrotopografi och mikroklimat föreligger. Sådana små skillnader kan vara svåra att identifiera, och ett förslag till fortsatta studier inom området är att med t.ex. höjdskillnader, markkemi och marktemperatur kartlägga även mindre skillnader som kan påverka tillväxten.

Som nämns i avsnitt 3.2-Försöksdesign var det provytorna med lägst pH-värde som fick kalkbehandling när behandlingarna påbörjades år 1976. Om detta var rätt väg att gå för att minimera skillnader mellan provytorna och dessutom genomföra studien på ett randomiserat sätt är diskutabelt. Huruvida det har påverkat resultatet eller inte är svårt att säga.

Det har nu gått 24 år sedan granplantorna till andra generationens granskog planterades, och fram till idag har ingen gallring i området skett. Granskogen är nu mycket tät och därför var det i flera fall väldigt svårt att mäta trädhöjden, främst eftersom det uppstod problem med att urskilja topparna från varandra i de täta trädkronorna. Det är dock troligt att denna svårighet var likvärdig i alla provytor och att det därför inte har påverkat resultaten eller slutsatserna.

Som nämns i avgränsningarna har alla levande träd hanterats lika i den här studien, trots olika planteringstillfällen (3 planteringar mellan maj 1992 och april 1994). Vid en utveckling av studien skulle granplantorna från de olika planteringstillfällena kunna hanteras och analyseras separat, samt tillsammans vilket nu är det som har genomförts. Även om skillnaderna kan antas vara små är det möjligt att de skiljer i tillväxt mellan de olika planteringstillfällena.

5.7 Förslag till förbättringar

En fortsättning på den nuvarande studien kan inkludera statistiska analyser där blockfaktorn ingår och på så sätt få en mer detaljerad och djupgående analys av den insamlade fältdatan. En intressant vidareutveckling av studien hade även varit att studera markeffekterna i form av t.ex. pH-värden, markfuktighet och näringsämnen för att få en mer exakt bild av hur kalkningen har påverkat markens egenskaper och därefter sammanlänka det med tillväxten. Dessutom hade det varit intressant om alla behandlingar var inkluderade och inte bara kalkningen.

När det gäller just kalkbehandlingen går det att utveckla även den biten av studien. Det finns idag flera olika kalkmedel som används inom skogsbruket och alla har sina specifika egenskaper. Exempel på kalkmedel är kalksten (som använts i Farabolförsöket), dolomitkalk och aska. Kalkmedlens olika egenskaper bör beaktas utifrån markens egenskaper där kalken ska spridas. T.ex. består kalksten nästan enbart av kalciumkarbonat (CaCO_3) medan dolomitkalk även innehåller en hel del magnesium (Jordbruksverket 2015). Aska i sin tur innehåller fler löslösta komponenter som kan motverka försurning i jorden (Clemensson-Lindell & Persson 1993). Valet av kalkmedel är därför en viktig aspekt som skulle kunna diskuteras vidare.

6. Slutsatser

Nedan presenteras de viktigaste resultaten utifrån syftet *hur tillväxten för andra generationens granskog påverkas efter tidigare genomförd kalkning*:

- Signifikant ökning i tillväxt uppvisas för tillväxtvariablerna diameter, höjd, grundyta och stamvolym på de kalkbehandlade ytorna jämfört med de obehandlade kontrollytorna. Därmed kan nollhypotesen om att det inte finns några skillnader i tillväxteffekter mellan behandlingarna förkastas.
- Kväve är den främsta begränsande faktorn för skogstillväxt i Farabolförsöket och kalkbehandlingarna har troligtvis ökat tillförseln genom gynnad nedbrytning och nitrifikation.
- Tillgången på näringsämnen i form av baskatjoner har troligtvis ökat som en följd av kalkbehandlingarna och därmed gynnade tillväxten.
- Kalkningen kan antas ha haft en indirekt på tillväxten genom förändrade förhållanden i marken.

7. Referenser

- AirClim. 2016. Övergödningens effekter. Hämtad 2016-05-17, från <http://www.airclim.se/%C3%B6verg%C3%B6dningens-effekter>.
- Andersson, F., J. Bergholm, L. Hallbäcken, G. Möller, F. Pettersson, och B. Popovic. 1995. Farabolförsöket - Försurning, kalkning och kvävegödsling av en sydöstsvensk granskog. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövärd, Rapport 70, Uppsala.
- Bolan, N. S. , D. C. Adriano, och D. Curtin. 2003. Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78: 215-272.
- Brandtberg, P.-O., och M. Simonsson. 2005. När markerna surna. Sveriges Lantbruksuniversitet, *FAKTA Skog*, 15.
- Clemensson-Lindell, A., och H. Persson. 1993. Long-term effects of liming on the fine-root standing crop of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in relation to chemical changes in the soil. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8: 384-394. DOI: 10.1080/02827589309382785
- Dise, N. B., och R. F. Wright. 1995. Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management*, 71: 153-161. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)06092-W](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(94)06092-W)
- Gieseke, A., S. Tarre, M. Green, och D. de Beer. 2006. Nitrification in a Biofilm at Low pH Values: Role of In Situ Microenvironments and Acid Tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*, 72: 4283-4292. DOI: 10.1128/AEM.00241-06
- Hallbäcken, L., och L.-Q. Zhang. 1998. Effects of experimental acidification, nitrogen addition and liming on ground vegetation in a mature stand of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in SE Sweden. *Forest Ecology and Management*, 108: 201-213. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00236-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00236-9)
- Havs- och vattenmyndigheten. 2014. Försurning av sjöar och vattendrag. Hämtad 2016-05-16, från <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljohot/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html>.
- Hultberg, H. , S. Hultengren, och H. Pleijel. 2006. *Luftföroreningar, miljö och framtid. 35 års forskning om skog, mark och vatten.* . Gårdsjöstiftelsen och Naturcentrum AB.
- Högberg, P. 2001. Skogsdöden som kom av sig. I *Forskning & Framsteg*, vol. 2, 2001.
- Jansons, Ā., R. Matisons, O. Krišāns, B. Džeriņa, och M. Zeps. 2016. Effect of initial fertilization on 34-year increment and wood properties of Norway spruce in Latvia. *Silva Fennica*, 50. DOI: 10.14214/sf.1346

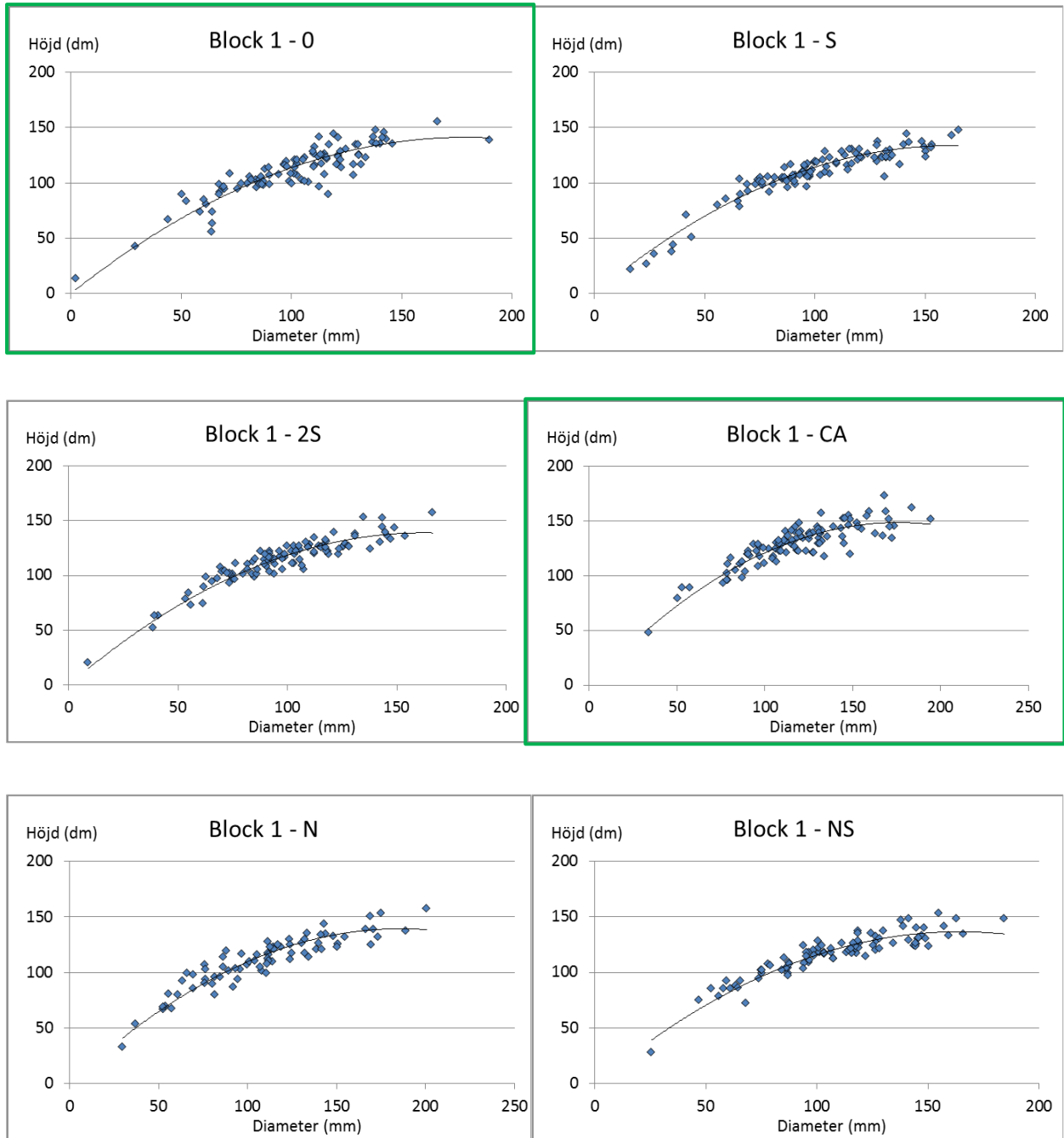
- Jordbruksverket. 2015. Kalkning. Hämtad 2016-05-16, från <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgodor/vete/vaxtnaring/kalkning.4.32b12c7f12940112a7c800021003.html>
- Kjøller, R., och K. E. Clemmensen. 2008. The impact of liming on ectomycorrhizal fungal communities in coniferous forests in Southern Sweden. Skogsstyrelsen. Rapport, Jönköping.
- Krause, G. H. M. 1989. Forest decline in central Europe: The unravelling of multiple causes. I *Toward a More Exact Ecology*, red. P. J. Grubb, och J. B. Whittaker, 377-399. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Lantmäteriet. 2010. Produktionsförmåga vid olika ståndortsindex och konvertering av ståndortsindex mellan trädslag. Hämtad 2016-05-25, från <https://www.lantmateriet.se/sv/Fastigheter/Andra-fastighet/Vardering/Intrang-i-skogsmark/>.
- Lundmark, J.-E. 1986. *Skogsmarkens ekologi: ståndortsanpassat skogsbruk*. Jönköping: Skogsstyr., 1986; (Värnamo: Fälth).
- Lundqvist, J., T. Lundqvist, M. Lindström, M. Calner, och U. Sivhed. 2011. *Sveriges geologi från urtid till nutid*. 3:e utgåvan. Lund: Studentlitteratur AB.
- Länsstyrelsen Jönköpings Län. 2016. Länsstyrelsen nylanserar skolmaterial om försurning! Hämtad 11 maj, från: <http://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/kalkning-och-forsurning/kalkning-i-lanet/Pages/skolmaterial-om-kalkning-och-forsurning.aspx?keyword=l%C3%A4rarhandledning>
- Löfgren, S. , J.-P. Gustafsson, och U. Skyllberg. 2015. How does forest biomass production acidify soils and surface waters in comparison with mineral acids?, Naturvårdsverket, Rapport.
- MarkInfo. 2007. Kol/kväve. Hämtad 2016-05-17, från <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/cnph/cn.html>.
- Naturvårdsverket. 2010. Kalkning av sjöar och vattendrag. Naturresursavdelningen, Rapport, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2015. Markförsurning i skogslandskapet. Hämtad 11 maj 2016, från: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljoovervakning/Bedomningsgrunder/Skogslandskapet/Markforsurning/>
- Naturvårdsverket. 2016. Färre försurade sjöar. Hämtad 2016-05-17, från <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Forsurade-sjoar/>.
- Nihlgård, B. 1985. The ammonium hypothesis: an additional explanation to the forest dieback in Europe. *Ambio*, 14: 2-8.

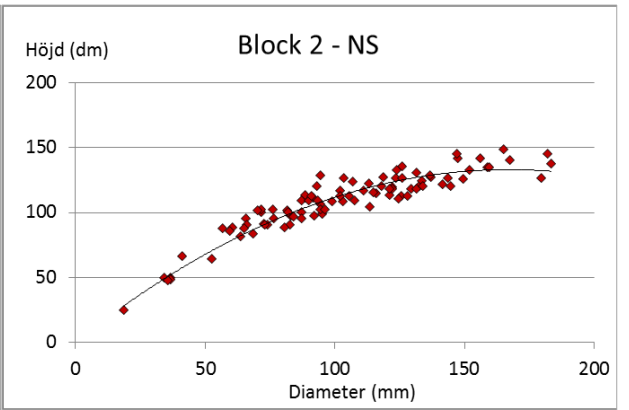
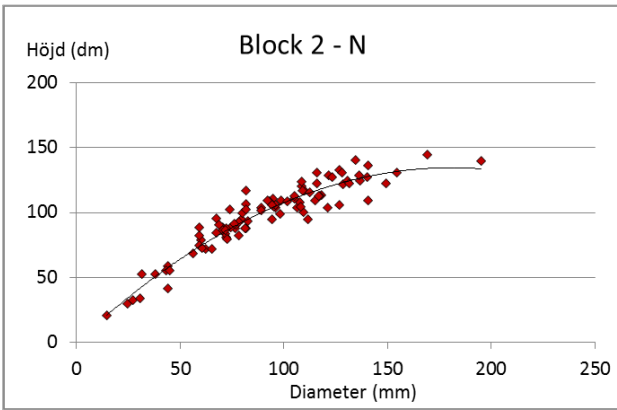
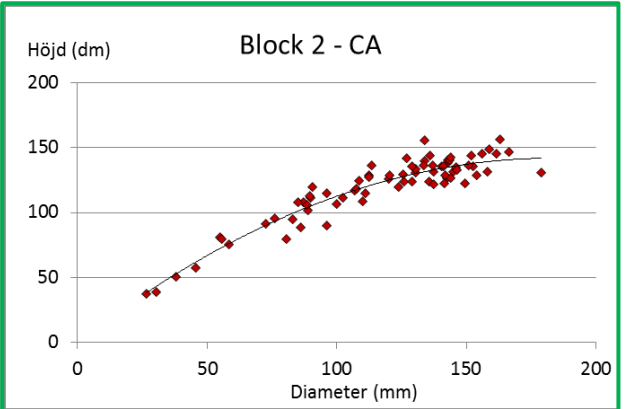
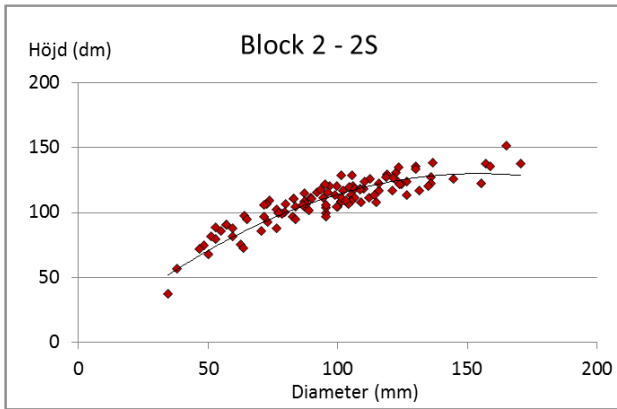
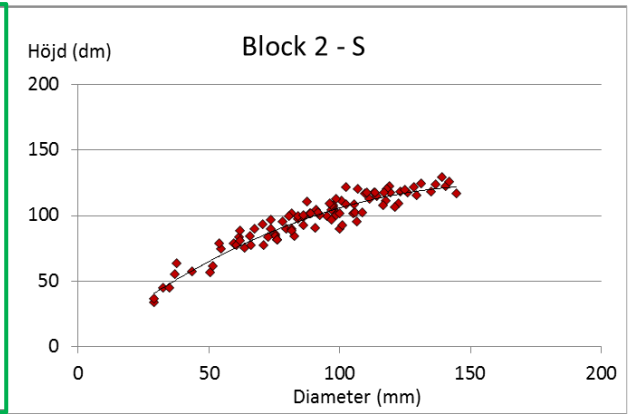
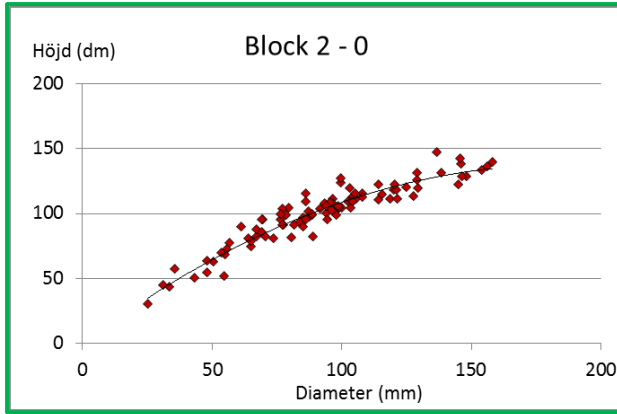
- Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut, Band 36:3.
- Persson, T., och A. Wirén. 1995. Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depths in acid forest soils. *Plant and Soil*, 168: 55-65. DOI: 10.1007/bf00029313
- Pihl Karlsson, G. , C. Akselsson , S. Hellsten, och P. E. Karlsson. 2011. Reduced European emissions of S and N – Effects on air concentrations, deposition and soil water chemistry in Swedish forests. *Environmental Pollution*, 159: 3571-3582. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.007>
- SCB (Statistiska Centralbyrån). 2013. Markanvändningen i Sverige, sjätte utgåvan. Rapport, Örebro.
- SGU (Sveriges Geologiska Undersökning). 2016. Kartgeneratorm. Hämtad 2016-05-13, från <http://www.sgu.se/produkter/kartor/kartgeneratorm/?acceptCookies=true>.
- Sikström, U. 2001. Effects of pre-harvest soil acidification, liming and N fertilization on the survival, growth and needle element concentrations of *Picea abies* L. Karst. seedlings. *Plant and Soil*, 231: 255-266. DOI: 10.1023/A:1010390
- Sikström, U. 2005. Pre-harvest soil acidification, liming or N fertilization did not significantly affect the survival and growth of young Norway spruce. *Silva Fennica*, 39: 341-349.
- Sikström, U. 2007. Stem Growth of *Picea Abies* in South Western Sweden in the 10 Years Following Liming and Addition of PK and N. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 7: 137-142. DOI: 10.1007/s11267-006-9063-0
- Sikström, U. 2016. Telefonkontakt, 2016-04-21.
- Skogforsk. 2015. Ståndortsindex - gran och tall. Hämtad 2016-05-25, från <http://www.kunskapsdirekt.se/sv/kunskapsdirekt/Alla-Verktyg/Standortsindex---gran-och-tall/>.
- Skogsstyrelsen. 2016. Skog och skogsmark. Hämtad 1 maj 2016, från: <http://www.skogsstyrelsen.se/arealer>
- SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). 2014. Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990. Hämtad 2016-05-13, från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/dataserier-med-normalvarden-1.7354>.
- SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). 2015. Vegetationsperiod. Hämtad 2015-05-13, från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/vegetationsperiod-1.6270>.

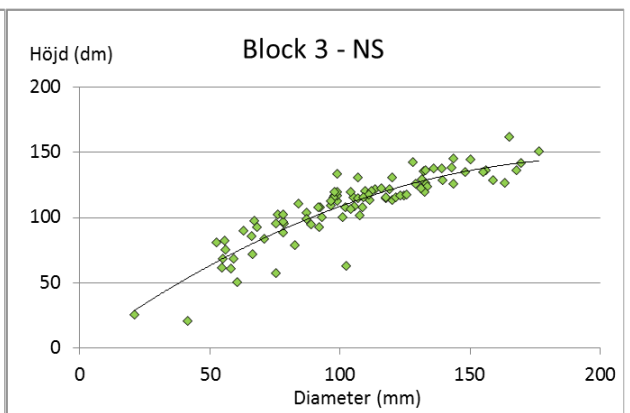
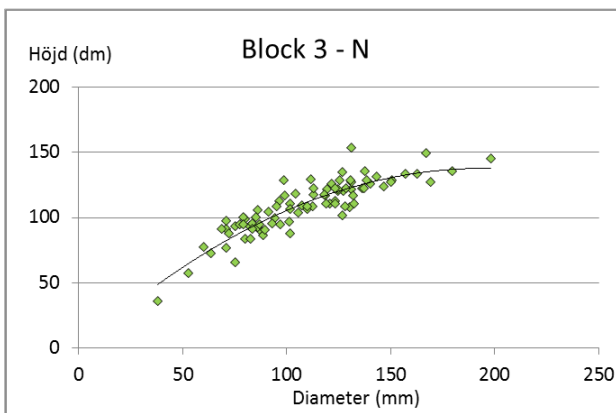
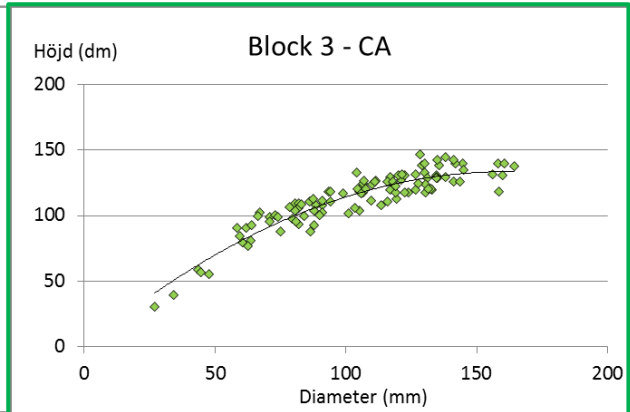
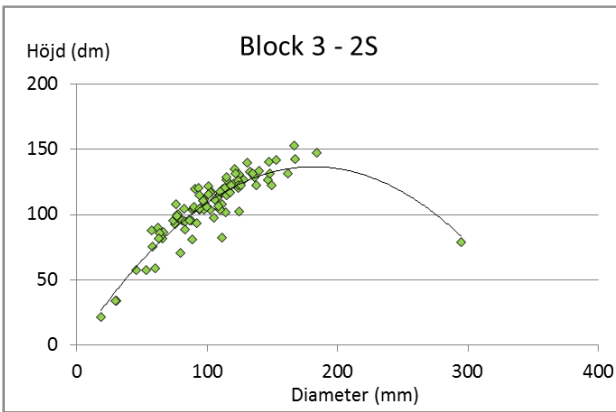
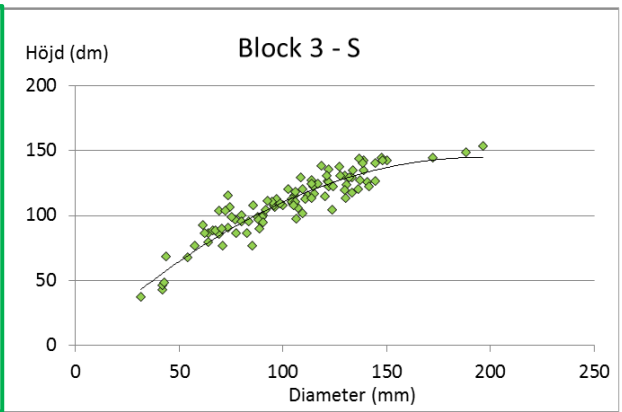
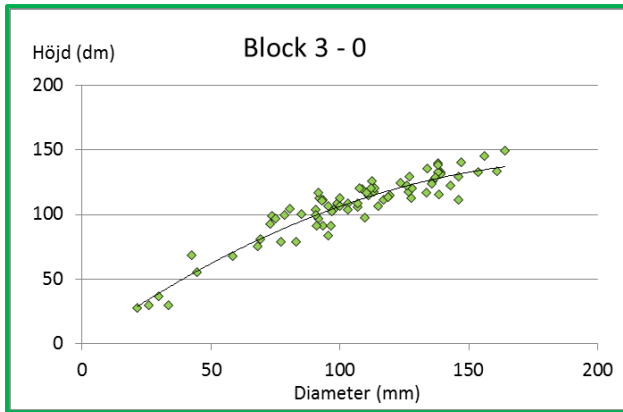
- Song, H., Z. Che, W. Cao, T. Huang, J. Wang, och Z. Dong. 2016. Changing roles of ammonia-oxidizing bacteria and archaea in a continuously acidifying soil caused by over-fertilization with nitrogen. *Environmental Science and Pollution Research*: 1-11. DOI: 10.1007/s11356-016-6396-8
- Staaf, H., T. Persson, och U. Bertills. 1996. *Skogsmarkskalkning*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Tyler, G., A.-M. B. Pålsson, G. Bengtsson, E. Bååth, och L. Tranvik. 1989. Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47: 189-215. DOI: 10.1007/bf00279327
- Vattenportalen. 2014. Försurning av mark och vatten. Hämtad 2016-05-14, från http://www.vattenportalen.se/fov_problem_forsurning.htm
- Wiklander, G. 1997. Skogsmarkens kemi. I *Marken i skogslandskapet*, red. Skogsstyrelsen. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Appendix I – Identifiering av outliers

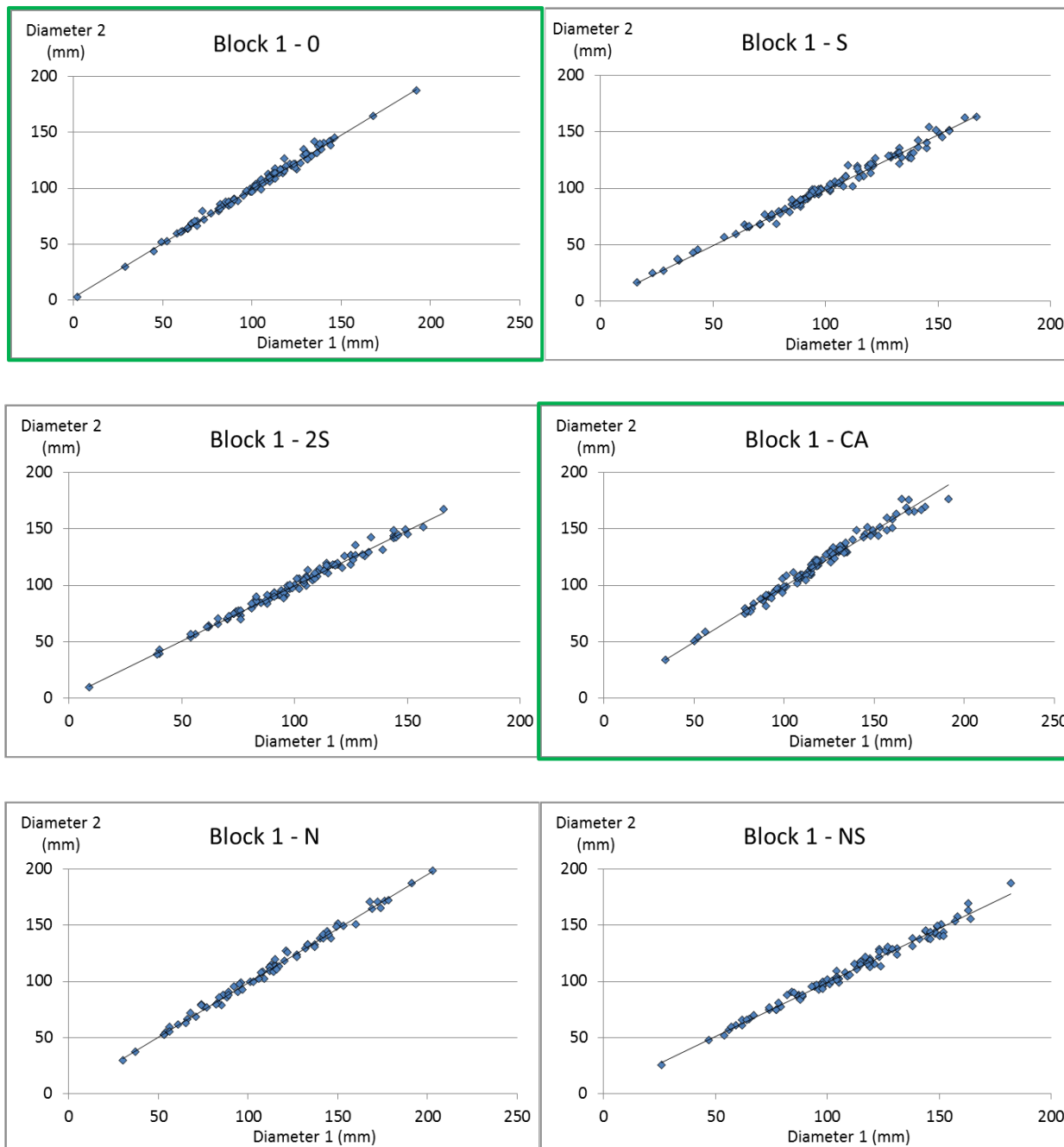
Grafer över förhållandet mellan diameter och höjd. Kontroll- och kalkytorna är markerade med en grön ytterram.

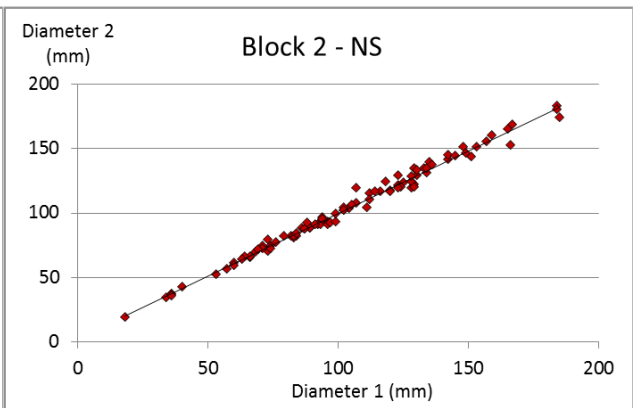
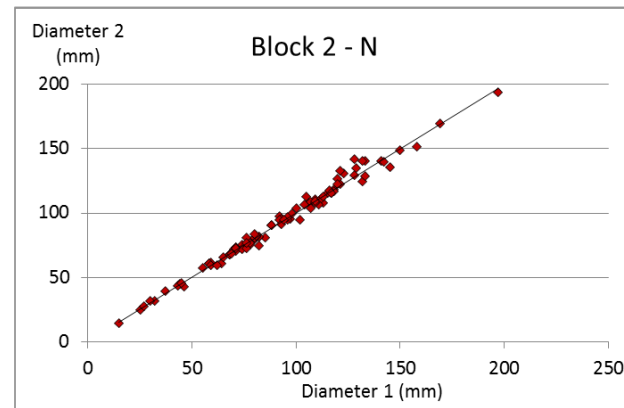
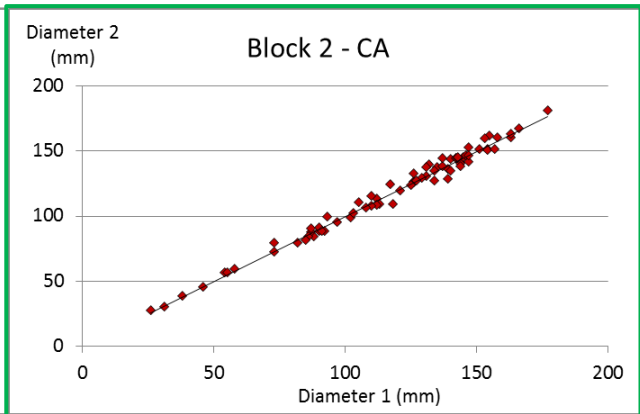
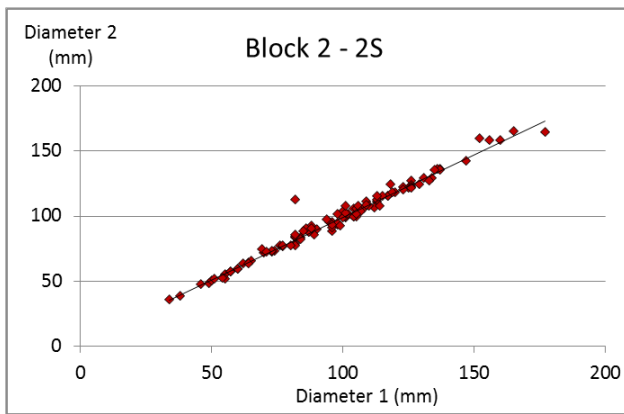
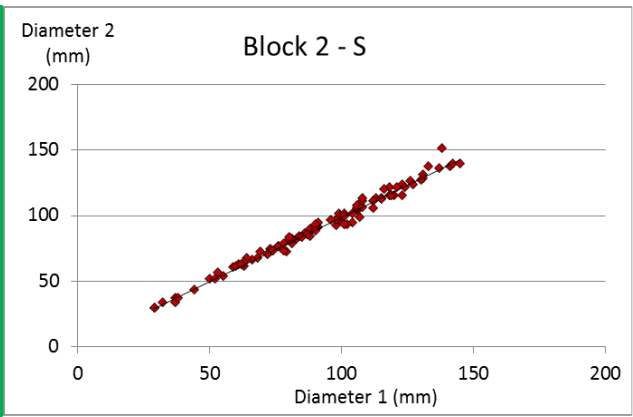
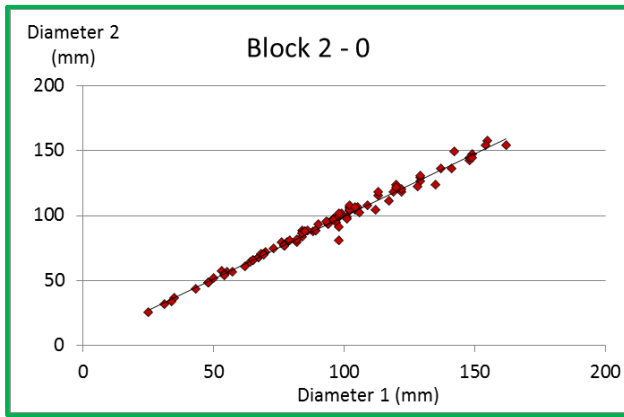


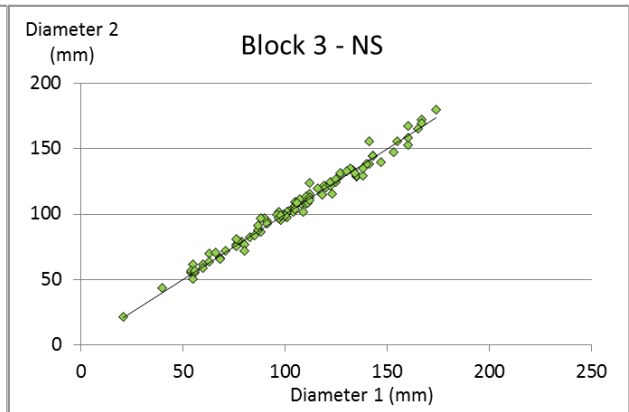
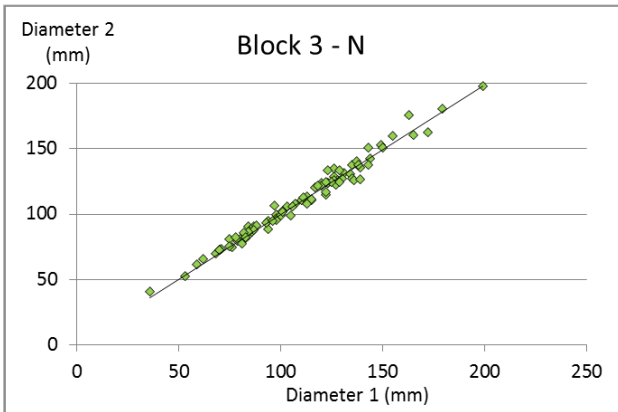
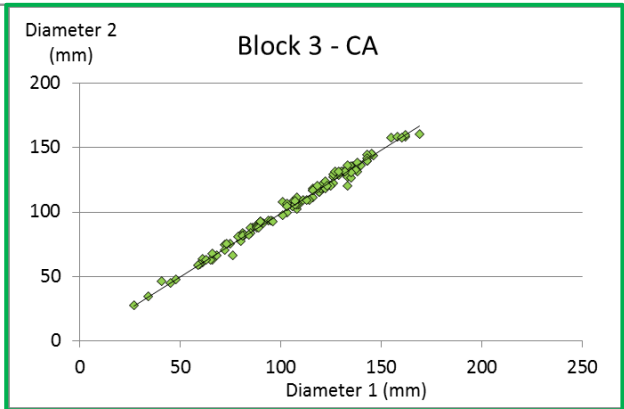
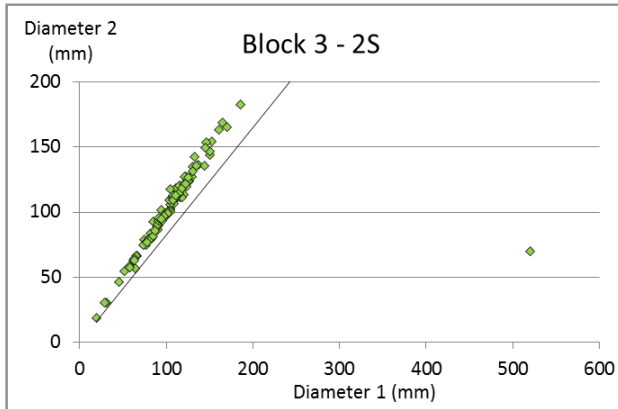
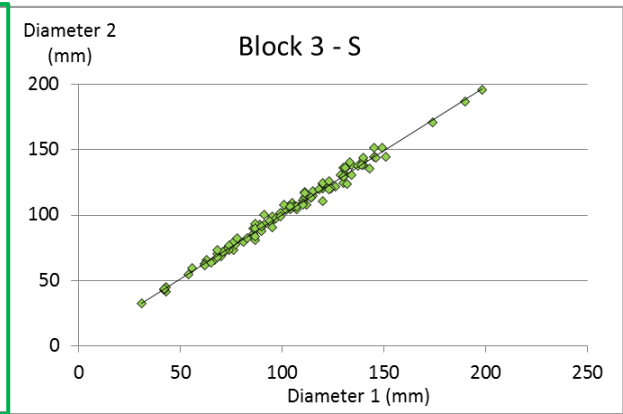
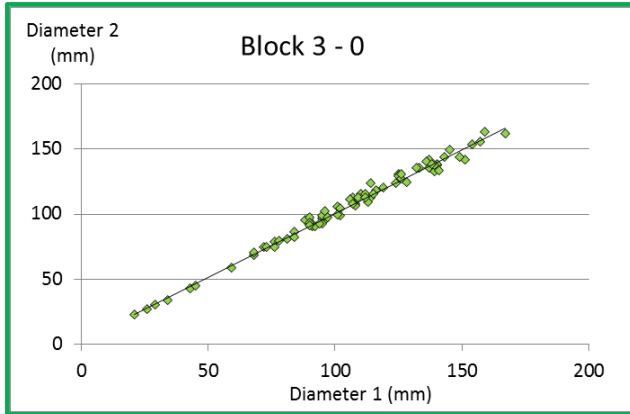




Grafer över förhållandet mellan de två diametervärdena. Kontroll- och kalkytorna är markerade med en grön ytterram.







Tabeller över min-, max- och medelvärden.

Block 1

	Diameter (mm)			Höjd (dm)		
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>
0	2,0	189,5	102,0	14,0	156,0	111,5
S	16,0	165,0	100,6	22,0	148,0	109,5
2S	9,0	166,5	99,1	20,0	157,0	114,0
CA	33,5	194,0	119,1	48,0	173,0	128,8
N	29,5	200,5	110,1	33,0	158,0	111,0
NS	25,50	184,50	109,13	28,0	153,0	116,6

Block 2

	Diameter (mm)			Höjd (dm)		
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>
0	25,0	158,0	93,0	30,0	147,0	100,0
S	29,0	144,5	91,1	33,0	129,0	96,7
2S	34,5	170,5	97,3	37,0	151,0	108,3
CA	26,5	179,0	117,8	37,0	156,0	118,6
N	14,5	195,0	92,2	20,0	144,0	97,5
NS	18,5	183,5	103,6	24,0	148,0	108,1

Block 3

	Diameter (mm)			Höjd (dm)		
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>
0	21,5	164,0	105,2	27,0	149,0	106,1
S	31,5	196,5	103,9	37,0	153,0	109,4
2S	18,5	294,5	104,5	21,0	152,0	106,5
CA	27,0	164,5	105,3	30,0	146,0	112,7
N	38,0	198,0	109,6	35,0	153,0	108,3
NS	21,0	176,5	105,4	20,0	161,0	108,5

Max- och medelvärde med den felaktiga diametern på 520 mm på träd 86 i Block 3, behandling 2S.

Block 3

	Diameter (mm)			Höjd (dm)		
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medel</i>
0	21,5	164,0	105,2	27,0	149,0	106,1
S	31,5	196,5	103,9	37,0	153,0	109,4
2S	18,5	184,0	102,1	21,0	152,0	106,5
CA	27,0	164,5	105,3	30,0	146,0	112,7
N	38,0	198,0	109,6	35,0	153,0	108,3
NS	21,0	176,5	105,4	20,0	161,0	108,5

Max- och medelvärde med den manuellt justerade diametern på 52 mm på träd 86 i Block 3, behandling

Appendix II - Skadeanalys

Tabeller och diagram över skadefrekvenser.

Skadefrekvens - Block 1

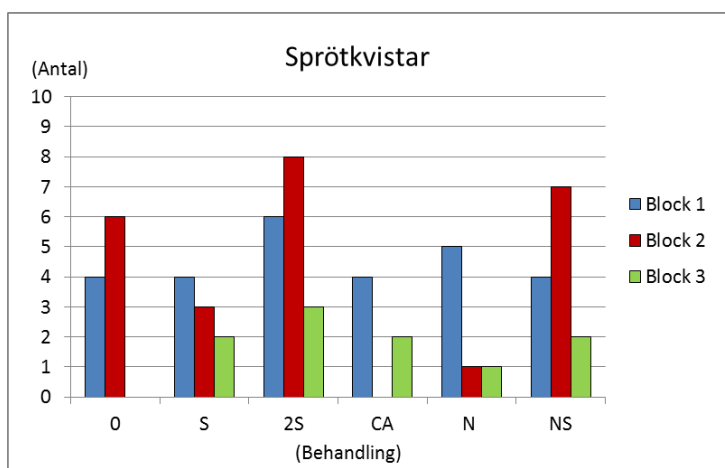
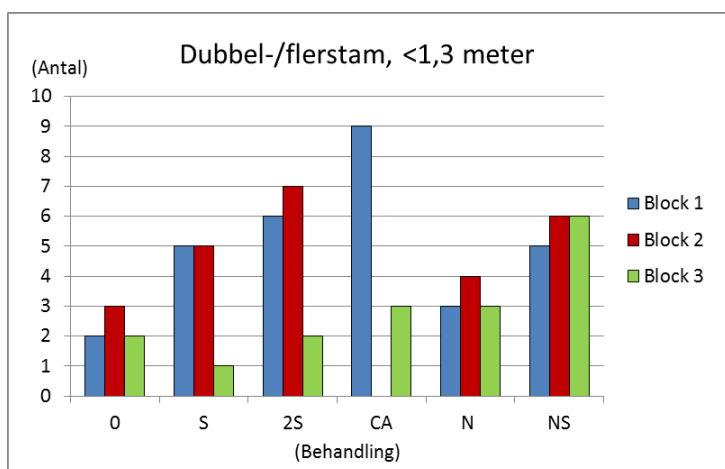
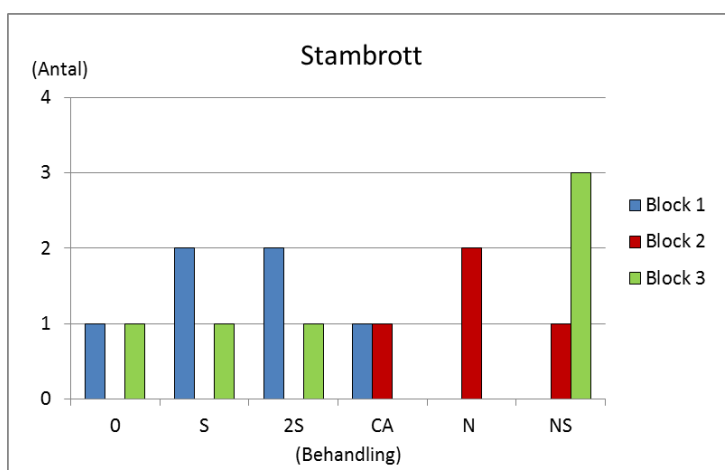
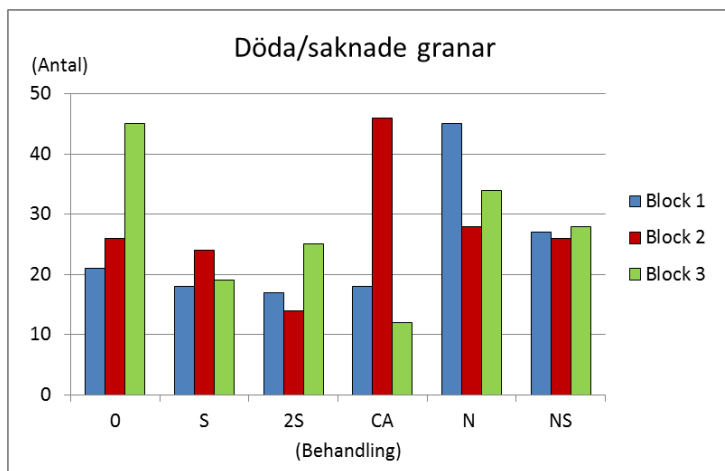
Skada	0	S	2S	CA	N	NS	Totalt
121: Nekros, <1/3 av omkrets	0	0	0	0	0	0	0
21-22: Stambrott	1	2	2	1	0	0	6
25: Barrförlust	0	0	0	0	0	0	0
41: Rottryck	0	1	0	1	0	1	3
42: Vindfälld	0	0	0	0	0	0	0
43: Lutande	0	0	0	0	0	0	0
521-4: Älg/rådjurskada	0	1	0	0	0	0	1
62: Slingrig/krokig	0	0	0	0	0	0	0
712-4: Dubbel-/flerstam, <1,3 m	2	5	6	9	3	5	30
722-4: Dubbel-/flerstam, >1,3 m	0	0	0	0	0	0	0
731-4: Sprötkvistar	4	4	6	4	5	4	27
99: Död/saknas	21	18	17	18	45	27	146

Skadefrekvens - Block 2

Skada	0	S	2S	CA	N	NS	Totalt
121: Nekros, <1/3 av omkrets	0	1	0	0	0	0	1
21-22: Stambrott	0	0	0	1	2	1	4
25: Barrförlust	0	0	1	0	0	0	1
41: Rottryck	0	0	0	0	0	0	0
42: Vindfälld	0	0	1	0	1	0	2
43: Lutande	1	0	1	0	0	0	2
521-4: Älg/rådjurskada	0	0	0	0	0	1	1
62: Slingrig/krokig	0	0	0	0	1	1	2
712-4: Dubbel-/flerstam, <1,3 m	3	5	7	0	4	6	25
722-4: Dubbel-/flerstam, >1,3 m	0	1	0	0	0	0	1
731-4: Sprötkvistar	6	3	8	0	1	7	25
99: Död/saknas	26	24	14	46	28	26	164

Skadefrekvens - Block 3

Skada	0	S	2S	CA	N	NS	Totalt
121: Nekros, <1/3 av omkrets	0	0	1	1	0	0	2
21-22: Stambrott	1	1	1	0	0	3	6
25: Barrförlust	0	0	1	0	0	0	1
41: Rottryck	0	0	0	0	0	1	1
42: Vindfälld	0	0	0	0	0	0	0
43: Lutande	0	0	1	1	0	1	3
521-4: Älg/rådjurskada	1	0	0	0	0	0	1
62: Slingrig/krokig	0	1	1	0	0	0	2
712-4: Dubbel-/flerstam, <1,3 m	2	1	2	3	3	6	17
722-4: Dubbel-/flerstam, >1,3 m	0	0	0	1	0	0	1
731-4: Sprötkvistar	0	2	3	2	1	2	10
99: Död/saknas	45	19	25	12	34	28	163



Appendix III – Justerad trädhöjd

Tabell över justerade trädhöjder.

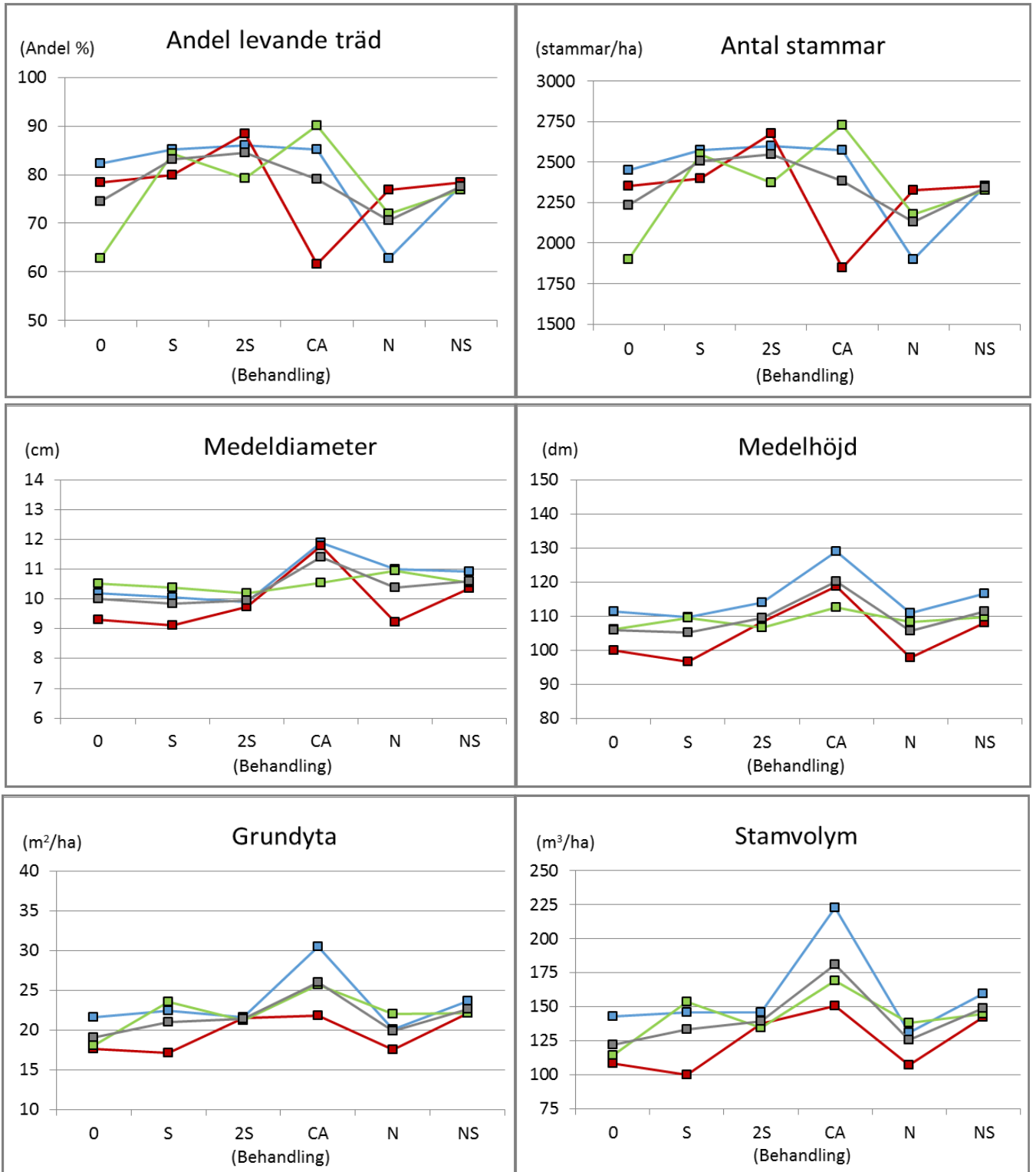
Höjjustering på träd med stambrott						
Block	Behandling	Träd nr.	Diameter (mm) x-värde	Höjd (dm)	Kurvans ekvation	Justerad höjd (dm) y-värde
1	0	16	2	14	$y = -0,0044x^2 + 1,5758x$	3
1	S	9	44	51	$y = -0,0051x^2 + 1,6508x$	63
1	S	66	35,5	44	$y = -0,0051x^2 + 1,6508x$	52
1	2S	49	61,5	74	$y = -0,0053x^2 + 1,7121x$	85
1	2S	109	9	20	$y = -0,0053x^2 + 1,7121x$	15
1	CA	46	127	121	$y = -0,0048x^2 + 1,6886x$	137
2	CA	20	141,5	122	$y = -0,0042x^2 + 1,5459x$	135
2	N	5	44	41	$y = -0,0041x^2 + 1,4869x$	57
2	N	80	24,5	29	$y = -0,0041x^2 + 1,4869x$	34
2	NS	8	36,5	49	$y = -0,0048x^2 + 1,5942x$	52
3	0	91	21,5	27	$y = -0,0035x^2 + 1,417x$	29
3	S	34	42	42	$y = -0,0038x^2 + 1,4821x$	56
3	2S	8	18,5	21	$y = -0,0038x^2 + 1,467x$	26
3	NS	7	41,5	20	$y = -0,0036x^2 + 1,4416x$	54
3	NS	18	60,5	50	$y = -0,0036x^2 + 1,4416x$	74
3	NS	21	102,5	62	$y = -0,0036x^2 + 1,4416x$	110

Appendix IV – Tillväxtresultat för alla behandlingar

Grafer över tillväxtvariablerna andel levande träd, antal stammar per hektar, medeldiameter, medelhöjd, grunddyta och stamvolym under tidsperioden 1992-2016. Resultaten presenteras blockvis och som ett medelvärde för alla tre blocken.

- Block 1
- Block 2
- Block 3
- Totalt

För alla grafer nedan gäller:



Appendix V – Statistisk analys för alla behandlingar

Tabell över statistisk analys för alla behandlingar. Alla p-värden ligger över 0,05, vilket betyder inga signifikanta skillnader mellan behandlingarna.

Statistisk analys - Medelvärden för de tre blocken							
Parameter	0	S	2S	CA	N	NS	p-värde
Andel levande träd (%)	74,44	83,15	84,53	79,01	70,52	77,62	0,37
Stammar/ha	2233	2508	2550	2383	2133	2342	0,37
Diameter (cm)	10,00	9,87	9,93	11,40	10,40	10,60	0,11
Höjd (dm)	105,87	105,30	109,63	120,17	105,70	111,47	0,10
Grundyta (m ² /ha)	19,10	21,01	21,44	25,99	19,89	22,67	0,08
Stamvolym (m ³ /ha)	121,72	133,08	139,28	180,70	125,26	148,78	0,07

Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

Student examensarbete (Seminarieuppsatser). Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/>) och via Geobiblioteket (www.geobib.lu.se)

The student thesis reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden. Report series started 1985. The complete list and electronic versions are also electronic available at the LUP student papers (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/>) and through the Geo-library (www.geobib.lu.se)

- 350 Mihaela – Mariana Tudoran (2015) Occurrences of insect outbreaks in Sweden in relation to climatic parameters since 1850
- 351 Maria Gatzouras (2015) Assessment of trampling impact in Icelandic natural areas in experimental plots with focus on image analysis of digital photographs
- 352 Gustav Wallner (2015) Estimating and evaluating GPP in the Sahel using MSG/SEVIRI and MODIS satellite data
- 353 Luisa Teixeira (2015) Exploring the relationships between biodiversity and benthic habitat in the Primeiras and Segundas Protected Area, Mozambique
- 354 Iris Behrens & Linn Gardell (2015) Water quality in Apac-, Mbale- & Lira district, Uganda - A field study evaluating problems and suitable solutions
- 355 Viktoria Björklund (2015) Water quality in rivers affected by urbanization: A Case Study in Minas Gerais, Brazil
- 356 Tara Mellquist (2015) Hållbar dagvattenhantering i Stockholms stad - En riskhanteringsanalys med avseende på långsiktig hållbarhet av Stockholms stads dagvattenhantering i urban miljö
- 357 Jenny Hansson (2015) Trafikrelaterade luftföroreningar vid förskolor – En studie om kvävedioxidhalter vid förskolor i Malmö
- 358 Laura Reinelt (2015) Modelling vegetation dynamics and carbon fluxes in a high Arctic mire
- 359 Emelie Linnéa Graham (2015) Atmospheric reactivity of cyclic ethers of relevance to biofuel combustion
- 360 Filippo Gualla (2015) Sun position and PV panels: a model to determine the best orientation
- 361 Joakim Lindberg (2015) Locating potential flood areas in an urban environment using remote sensing and GIS, case study Lund, Sweden
- 362 Georgios-Konstantinos Lagkas (2015) Analysis of NDVI variation and snowmelt around Zackenberg station, Greenland with comparison of ground data and remote sensing.
- 363 Carlos Arellano (2015) Production and Biodegradability of Dissolved Organic Carbon from Different Litter Sources
- 364 Sofia Valentin (2015) Do-It-Yourself Helium Balloon Aerial Photography - Developing a method in an agroforestry plantation, Lao PDR
- 365 Shirin Daneshpash (2015) Evaluation of Standards and Techniques for Retrieval of Geospatial Raster Data - A study for the ICOS Carbon Portal
- 366 Linnea Jonsson (2015) Evaluation of pixel based and object based classification methods for land cover mapping with high spatial resolution satellite imagery, in the Amazonas, Brazil.
- 367 Johan Westin (2015) Quantification of a continuous-cover forest in Sweden using remote sensing techniques

- 368 Dahlia Mudzaffar Ali (2015) Quantifying Terrain Factor Using GIS Applications for Real Estate Property Valuation
- 369 Ulrika Belsing (2015) The survival of moth larvae feeding on different plant species in northern Fennoscandia
- 370 Isabella Grönfeldt (2015) Snow and sea ice temperature profiles from satellite data and ice mass balance buoys
- 371 Karolina D. Pantazatou (2015) Issues of Geographic Context Variable Calculation Methods applied at different Geographic Levels in Spatial Historical Demographic Research -A case study over four parishes in Southern Sweden
- 372 Andreas Dahlbom (2016) The impact of permafrost degradation on methane fluxes - a field study in Abisko
- 373 Hanna Modin (2016) Higher temperatures increase nutrient availability in the High Arctic, causing elevated competitive pressure and a decline in *Papaver radicum*
- 374 Elsa Lindevall (2016) Assessment of the relationship between the Photochemical Reflectance Index and Light Use Efficiency: A study of its seasonal and diurnal variation in a sub-arctic birch forest, Abisko, Sweden
- 375 Henrik Hagelin and Matthieu Cluzel (2016) Applying FARSITE and Prometheus on the Västmanland Fire, Sweden (2014): Fire Growth Simulation as a Measure Against Forest Fire Spread – A Model Suitability Study –
- 376 Pontus Cederholm (2016) Californian Drought: The Processes and Factors Controlling the 2011-2016 Drought and Winter Precipitation in California
- 377 Johannes Loer (2016) Modelling nitrogen balance in two Southern Swedish spruce plantations
- 378 Hanna Angel (2016) Water and carbon footprints of mining and producing Cu, Mg and Zn: A comparative study of primary and secondary sources
- 379 Gusten Brodin (2016) Organic farming's role in adaptation to and mitigation of climate change - an overview of ecological resilience and a model case study
- 380 Verånika Trollblad (2016) Odling av *Cucumis Sativus* L. med aska från träd som näringstillägg i ett urinbaserat hydroponiskt system
- 381 Susanne De Bourg (2016) Tillväxteffekter för andra generationens granskog efter tidigare genomförd kalkning