



Optimerad aptering av sågtimmer efter skanning av trädstammar i datortomograf

Optimized bucking of saw timber after computed tomography of tree stems

Ida Kihlgren

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

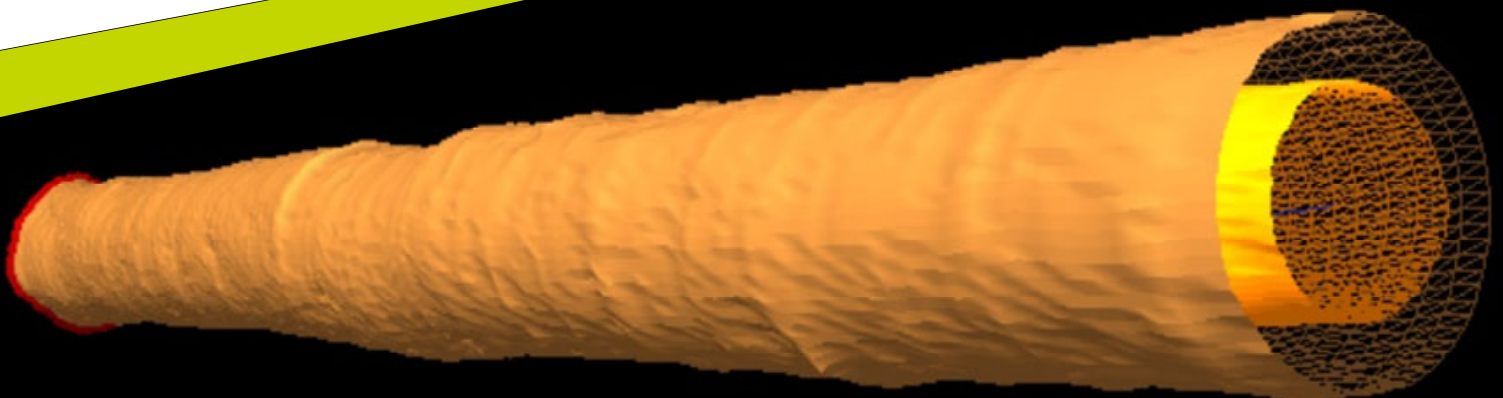
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2020:11

Umeå 2020



Optimerad aptering av sågtimmer efter skanning av trädstammar i datortomograf

Optimized bucking of saw timber after computed tomography of tree stems

Ida Kihlgren

Handledare: Tomas Nordfjell, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Bitr. handledare: Mikael Lundbäck, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Bitr. handledare: Magnus Fredriksson, Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för träteknik

Examinator: Ola Lindroos, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0956

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Stam från tallstambanken, hanterad i Saw2010

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Delnummer i serien: 2020:11

Nyckelord: Stocklängd, CT, sågverk, Saw2003, tallstambank, furustambank, granstambank

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Allt sågtimmer i Sverige hanteras enligt sortimentsmetoden, vilket innebär att apteringen görs i skogen. Studiens syfte var att undersöka potentialen till att öka rundvirkets värde genom att aptera stammarna efter skanning i en datortomograf på sågverket. Dataunderlaget var skannade stockar från slutavverkning och gallring som sammanfogades till de ursprungliga stammarna. Genom att optimera apteringen av totalt 360 stammar och därefter såga dem i ett sågsimuleringsprogram kunde den potentiella värdeökningen av rundvirke jämfört med ursprunglig aptering beräknas.

Resultatet visade att värdet för slutavverkningsstammar av tall ökade med 12%, gran 9% och gallringsstammar av tall ökade med 17%. Optimeringen minskade stockmedellängden och sågutbytet ökade. Den sågade varans volym av tall från slutavverkning ökade med 11%, gran 13% och gallringsvirket ökade med 16%.

Värdet av den förbrukade timmervolymen i den svenska sågverksindustrin skulle potentiellt kunna öka med 4,1 miljarder kronor/år, utan hänsyn taget till de ökade kostnader som blir till följd av helstamsuttag. De ökade kostnaderna skulle kunna minskas genom att aptera längre stockar istället för helstam. Vid en stocklängd på maximalt åtta meter skulle befintliga transportfordon kunna användas. Analysen visade att största delen av stammarnas värde fanns inom åtta meter från roten. De två första optimala stockarna av en stam var tillsammans genomsnitt 6,0 - 6,4 m långa. Slutsatsen är att det finns stor potential till att öka trädstammars värde genom att förflytta den slutliga apteringen till efter att i alla fall den första delen av stammens insida blivit känd.

Nyckelord: stocklängd, CT, sågverk, Saw2003, tallstambank, furustambank, granstambank.

Abstract

All the harvested saw timber in Sweden are handled with the cut-to-length method. That means that the bucking are performed in the forest. The aim with this study was to investigate the potential for increased value of timber by bucking the stems after computed tomography scanning at the saw mill. The used data was scanned logs from final cut stands and thinned stands. By optimize the bucking of the stems and thereafter saw them in a saw simulation program, the potential increase of timber value for the harvested volume compared to the original bucking could be calculated.

The results showed that the value of the pine stems from final cut increased by 12%, spruce by 9% and the stems from the thinnings increased with 17%. The optimization decreased the average log length and the sawing yield increased. The sawn volume from the pine stems (final cut) increased with 11%, spruce with 13% and pine from thinnings with 16%.

Without considering the increased costs that results from whole stem harvest, a general calculation showed that the saw mill industry's total consumption of timber could increase in value with 4.1 billion Swedish crowns. The expected increased costs could be limited by bucking longer logs instead of harvest the whole stem. With for example eight meters log length the available transport equipment could be used. The analysis showed that major part of the stem value are within the first eight meters of the stem. The first two optimized logs from a stem was in average 6.0 – 6.4 meters long. The conclusion of the study is that there is a large potential to increase tree stems value by transfer the final bucking to after at least the first part of the stems' inside are known.

Keywords: log length, CT, saw mill, Saw2003, pine stem bank, spruce stem bank.

Förord

Detta examensarbete är avslutningen på min studietid på Jägmästarprogrammet. Arbetet är skrivet vid Institutionen för skogens biomaterial och teknik. Jag vill tacka mina handledare vid SLU Tomas Nordfjell och Mikael Lundbäck som har kommit med goda råd och varit till stor hjälp under hela arbetets gång. Vill dessutom rikta ett stort tack till Magnus Fredriksson vid Luleå Tekniska Universitet som biträtt i handledning och med sin gedigna kunskap angående den programvara och skriptformulering som nyttjades i studien.

Umeå, 24 mars 2020

Ida Kihlgren

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Svenskt skogsbruk	1
1.2	Aptering	2
1.3	Datortomografi	3
1.4	Stambanker	3
1.5	Sågsimulering med Saw2010	4
1.6	Möjligheter med datortomografi	6
1.7	Syfte	8
2	Material och metod	9
2.1	Sågsimulering av ursprungliga stocklängder- referensalternativ	9
2.1.1	Hantering av stambanker	9
2.1.2	Prislista	10
2.1.3	Postning	11
2.1.4	Simuleringens utfallsdata	13
2.2	Sågsimulering av stammar som apterats efter skanning – Optimering	13
2.2.1	Hantering av stambanker	13
2.2.2	Optimering	15
2.3	Analys och statistik	15
3	Resultat	17
3.1	Stambankernas förändring i värde och stocklängd	17
3.2	Förändrat sågutbyte	19
3.3	Känslighetsanalys - prisrelation	20
3.4	Geografiska skillnader	21
3.5	Stamlängd och värdeökning	23
3.6	Maxlängd rotstock 8 m	23
4	Diskussion	25
4.1	Dataunderlaget och analysmetoden	25
4.2	Genomsnittlig värdeökning	26
4.3	Ökat sågutbyte	29
4.4	Värdeökning beroende av stamlängd och geografi	30
4.5	Längre rotstock	31
4.6	Produktionsstyrning	32
4.7	Slutsats	33
5	Referenslista	34
5.1	Skriftliga källor	34
5.2	Muntliga källor	37

1 Introduktion

1.1 Svenskt skogsbruk

Skogen och skogsbruket är en stor del av svensk industri och statistik över årlig bruttoavverkning visar att den ökat med tiden. På 1950-talet avverkades mellan 42,7 och 54,3 miljoner skogskubikmeter (m^3sk) årligen vilket kan jämföras med 2018 års totala avverkning på 93,4 miljoner m^3sk . År 2018 var ungefär 50% av det som avverkades sågtimmer, 40% utgjorde massaved och resterande procent var brännved och flis. Bruttoavverkningen år 2018 var 36,4 miljoner m^3 fast under bark (m^3fub) i barrsågtimmer och 31,2 miljoner m^3fub var barr- och lövmassaved. Avverkningens fördelning på trädslag är något varierad över landet men totalt utgör gran cirka 50% av avverkningen och tall cirka 33% (Skogsstyrelsen 2017). Bruttovärdet för den årliga avverkningen 2018 uppgick till 27,8 miljarder kronor. När kostnaderna för skogsvårdsåtgärder så som markberedning och röjning samt drivningskostnaderna dragits bort återstod 13,9 miljarder kronor (Skogsstyrelsens statistikdatabas u.å).

Skogsbruket i Sverige domineras av den så kallade sortimentsmetoden (cut-to-length). Denna metod innebär att de avverkade träden apteras i stockar i skogen innan de transporteras till industrin (Gellerstedt & Dahlin, 1999). En del av förklaringen till att just denna metod nyttjas finns att hitta i vårt historiska brukande av skogen. Före maskinernas tid utfördes ett tungt arbete där träd och stockar hanterades manuellt vilket begränsade stocklängderna (Hjelm, 1991).

Idag finns det ungefär 140 sågverk i Sverige. Antalet sågverk har minskat med tiden men produktionen har ökat, det beror på att varje sågverk blivit större än vad sågverken var tidigare (Skogsindustrierna u.å.). SCA har med sina fem sågverk (SCA 2018) Sveriges största produktion av sågade barrträvaror, med en årsproduktion på över 2 miljoner m^3 sågad vara (m^3sv) (Skogsindustrierna u.å.). Deras största sågverk är Bollsta sågverk som har en årsproduktion på 560 000 m^3sv . Tunadals sågverk har något lägre produktion, 540 000 m^3sv , men är därmed SCAs näst största sågverk (SCA 2018). Vida, Setra och Södra har alla en total produktion över 1,5 miljoner m^3sv barrträvaror (Skogsindustrierna u.å.). Vida har sina största sågverk i Vislanda och Borgstena som har en årlig produktion på 306 000 m^3sv respektive 290 000 m^3sv (Vida 2019). Södras största sågverk, vilket också är

Sveriges största, är Värö som producerar 585 000 m³sv per år (Södra 2019b). Alla dessa 140 svenska sågverk producerade år 2018 totalt 18,3 miljoner m³sv av barrträ (Skogsindustrierna u.å.). Vid en jämförelse av försäljningsvärden på sågade trävaror hos Holmen, SCA och Södra blev det genomsnittliga priset ungefär 2500 kr/m³sv (cf. Holmen 2018; SCA 2018; Södra 2019a). Detta innebar generaliserat att de 18,3 miljoner m³sv år 2018 fick ett värde på ca 45,7 miljarder kr.

1.2 Aptering

Något av det viktigaste som utförs vid en avverkning är aptering, vilket innebär att skördaren delar upp trädstammar i stockar (Wilhelmsson m.fl. 2019). Det är en oåterkallelig handling som är avgörande för stockens värde i senare led. Stockarna apteras i olika kvalitetsklasser beroende på hur de ser ut, exempelvis påverkar krökar värdet negativt (SDC 2018). När sedan stockarna sågas och blir sågad vara är det inte längre stockarnas yttre egenskaper som styr, som vid apteringen i skogen. Det är istället de inre egenskaperna, så som kvistar och exempelvis röta, som har påverkan på kvalitet och därmed pris (Svenskt Trä 2016).

Det finns två olika typer av aptering, det ena är värdeapting och det andra fördelningsapting. Värdeapting innebär att en prislista används som grund och där det högsta värdet av stammen är målet. Fördelningsapting innebär istället att styra apteringen mot önskade dimensioner från sågverkens sida (von Essen & Möller 1997). Vanligtvis apteras timmerstockar i 3,4 till 5,5 meters längder (Sennblad 2008). Detta görs trots att de befintliga transportfordonen i form av skotare och lastbilar faktiskt klarar att hantera längre stockar än så. Ett exempel är avverkning av stolpar som kan vara 9-23 meter långa, men som ändå kan hanteras av vanliga skotare. Dock kan skotaren bara transportera några få stolpar per lass (Rundvirke Skog u.å.). Lastbilstransporterna blir något mer problematiska, en vanlig timmerlastbil kan inte transportera 23 meter långa stammar, men längder upp till 8-10 meter fungerar beroende på lastbilens lastlängd (Uusitalo 2010).

Eftersom apteringen utförs i skogen krävs det att den mätning som görs av skördaren innan aptering är korrekt, annars sker apteringen på felaktiga grunder. Vid felaktig mätning skiljer sig dimensionen som var tänkt utifrån skördarens aptering och den uppmätta stockens korrekta dimension då den anländer till sågverket, därmed blir också det tänkta priset inte detsamma. Både längd- och diametermätningen är viktig eftersom det oftast finns specifika kombinationer av diameter och längd som sågverken önskar. Det finns olika orsaker till att mätningen i skogen inte alltid stämmer, vilket leder till felaktig aptering. Dels kan systematiska mätfel ske, där är kalibrering av mätutrustningen av stor vikt för att förhindra felen. Slumpmässiga fel är också något som kan uppstå vid skördarmätning och där kalibrering är av ringa betydelse. Exempel på orsaker till denna typ av felmätning är temperaturberoende variationer. Korrekt diametermätning är av stor betydelse

för att rätt aptering ska kunna utföras (Wilhelmsson & Arlinger 1997). Men även om mätningen skulle bli korrekt i skogen så är det inte mer än de yttre dimensionerna som kan mätas, hur träden ser ut på insidan är fortfarande okänt.

1.3 Datortomografi

Datortomografi är en teknik som varit i bruk sedan 1970-talet, visserligen inte i närheten av något sågverk utan inom sjukvården (Hurlock m.fl. 2009). Enligt Fredriksson m.fl. (2017) var Funt och Bryan (1987) de första som implementerade datortomografi på trä. Dock var inte tekniken anpassad till den snabba sågverksindustrin, det kunde ta upp till tre minuter för varje tvärsnitt som skulle skannas. Men de visade genom sin studie att det gick att se hur stockarna såg ut inuti eftersom datortomografi tydligt visar variationer i densitet i materialet som skannas. Kvistar har högre densitet än veden runt om och röta har lägre densitet än den omgivande veden (Funt & Bryan 1987). Åren som följde användes datortomografi i flera studier, exempelvis har Luleå Universitet nyttjat det i sin forskning i mer än 25 år (Fredriksson m.fl. 2017).

1.4 Stambanker

För att exempelvis studera olika industriella utvecklingar, aptering eller andra frågor om skogsråvarans bearbetning finns det tre stambanker att nyttja. Två av stambankerna består av slutavverkningsstammar, en för tall och en för gran. Den tredje består av gallringsstammar. Stambankerna är samlingar av verkliga trädstammar som noggrant hanterats och undersökts för att ge framtida studier möjlighet till ett bra dataunderlag. Alla träd i stambankerna är skannade i en datortomograf och därmed finns de inre egenskaperna för dessa träd dokumenterade.

Vid urvalet för tallstambanken (slutavverkningsstammar) fanns särskilda kriterier som beståndet skulle uppfylla. Kriterierna var att de skulle ge en spridning av beståndsegenskaperna, ha dokumenterad skötselhistorik samt bestå av träd som kunde ge minst två timmerstockar. Bestånden valdes utspridda över landet så att olika breddgrader och ståndortsindex blev representerade. Även förnygringsformen togs i beaktning och därmed blev bestånd som anlagts med plantering, sådd och självsådd med i stambanken. Vid valet av bestånd användes de fasta försöksytorna som sedan länge mätts i Sveriges Lantbruksuniversitets regi och därmed hade alla skötselåtgärder dokumenterade. De 33 försöksytorna som valdes var spridda över hela Sverige och ståndortsindex varierade mellan T16 och T28. För varje bestånd valdes representativa träd ut som sedan fälldes. En så kallad ”tvillingträdsfilosofi” användes, vilket innebar att träden i ett bestånd skulle vara lika på utsidan och därmed antogs vara lika på insidan. Träden i ett bestånd skulle ha lika

brösthöjdsdiameter, trädhöjd och krongränshöjd. Träd som avvek för mycket från dessa tre kriterier kunde inte bli valda och totalt var det nästan 200 tallar som valdes. Detta gav en åldersspridning där de yngsta tallarna var 73 år och de äldsta 153 år. De utvalda träden fälldes och apterades vid gränsen till massaved, som minst vid 13 cm. Det som styrde apteringen var då gällande kvalitetsgränser. Efter fällning och aptering i skogen skannades stockarna i en datortomograf. Skanningen resulterade i ett tvärsnitt vid varje centimeter av stocken vid kvistvarven och vid var fjärde centimeter mellan kvistvarven (Grönlund m.fl. 1995).

Granstambanken består av totalt 144 träd från 24 fasta försöksytor spridda i Sverige, Finland och Frankrike. De finska granarna är avverkade i landets södra delar och de från Frankrike är från norra delen. Samtliga stockar skannades och gav ett tvärsnitt vid varje centimeter. Efter skanning i datortomografen sågades stockarna (Berggren m.fl. 2000).

Den mindre stambanken från gallringsbestånd består av 48 gallringsstammar av tall. Dessa träd kom från åtta olika bestånd i Malå, Lappland. Stambanken består av stammar med brösthöjdsdiameter över 12,5 cm. För varje bestånd sorterades träden i diametergrupper, tre grupper per bestånd. Därefter slumpades två träd från varje grupp som skulle apteras, till sågtimmergränsen 10 cm, för att sedan skannas i en datortomograf (Nordmark 2003).

1.5 Sågsimulering med Saw2010

Programmet Saw2010, vilket är en utvecklad version av Saw2003, är ett sågsimuleringsprogram som kan hantera stambanker med tomografdata. För varje stock finns ett flertal inställningar att välja, det går till exempel att manuellt välja att kapa längden på en stock från rot- eller toppändan. Denna funktion kan vara användbar om en viss toppdiameter önskas. En annan möjlighet med Saw2010 är att sammanfoga redan apterade stockar från samma träd åter till hela stammar (Nordmark 2005b).

Eftersom stockarna i de tre stambankerna var skannade kan deras egenskaper visas i programmet. Exempelvis illustreras friskkvist med grön färg och torrkvist med blå färg. Även hela stockens form visas i tredimensionella bilder, före och efter sågning. För varje stock finns information om längd, diameter, krokighet och volym (Nordmark 2005b).

Sågningen utförs som blocksågning, med två simulerade sågar. Den första fungerar som kantsåg vilken resulterar i sidoutbyten samt ett block som går vidare till nästa såg för bearbetning. Den andra sågen är därmed delningssågen där blocket från kantsågen sågas och även sidobrädor utvinns (Moberg & Nordmark 2006).

Prislistan måste vara formulerad som en textfil för att Saw2010 ska kunna hantera den. Prislistan gäller för sågad vara, eftersom det är ett sågsimuleringsprogram, där varje kvalitet också behöver ha en kvalitetsdefinition för att varje plank och bräda ska kunna klassas. Kvalitetsdefinitionerna måste visa vad som är tillåtet vad gäller kvistantal, kvistarnas utseende och vankant. Antalet tillåtna kvistar för varje kvalitet är olika beroende på om de är på brädans/plankans kant- eller flatsida. Kvistarnas egenskaper är också av betydelse där friskkvist och torrkvist beaktas separat och med olika toleransnivå. När det gäller vankant är en maximal längd och djup tillåtet beroende på kvalitet och tjocklek på den sågade varan (Nordmark 2005b). Alla dessa parametrar används för att prissättningen ska bli korrekt och för att hitta bättre kvaliteter vid eventuell optimering.

Automatiskt vald postning utifrån toppdiameter och enligt en lista med postningar eller manuellt inställt postningsmönster efter önskemål är möjligt. Vilka produkter som simuleringen genererar beror på toppdiameter vid helt automatisk postning. Beroende på toppdiameter faller därmed olika produkter ut från första och andra såg där en liten toppdiameter inte resulterar i några sidoutbyten men större diameter ger både centrum- samt sidoutbyten (Nordmark 2005b). Centrum- och sidoutbytenas dimensioner bestäms beroende på hur en postningslista är formulerad. Om det enligt listan ska bli sido- samt centrumutbyten för en viss diameter blir det inte alltid det efter sågningen. Ett flertal aspekter har betydelse, så som avsmalning och defekter. Även om längden på stocken samt diametern är korrekt så kan kvaliteten vara så pass bristfällig att något utbyte på sidan inte är aktuellt.

Sågsimuleringsprogrammet är anpassat för att kunna läsa skript, närmare bestämt Visual Basic skript (Nordmark 2005b). Visual Basic är ett programmeringsspråk där det via text går att tala om för ett program vad det ska göra och hur det ska göras. Med hjälp av skript kan till exempel sågningen automatiseras och en hel stambank sågas igenom utan att manuellt bearbeta varje stock i programmet (Nordmark 2005b). Förutom det så kan naturligtvis programmet utföra en mängd olika sågningar och ta hänsyn till olika parametrar beroende på vilket skript som lästs in. Ett exempel är att kunna testa olika postningsmönster på varje stock för att hitta det bästa. På samma sätt kan aptering utföras via skript för att se vilka stocklängder som ger de högsta värdena på det sågade utfallet.

1.6 Möjligheter med datortomografi

Det pågår en teknisk utveckling inom sågindustrin, där Norra Skogsägarna kan se sig som ledare. Deras såg i Sävar utrustades med en datortomograf som invigdes 2018 och benämns som världens modernaste såglinje (Norra Skogsägarna 2018). Datortomografen är placerad direkt i såglinjen vilket innebär att varje stock passerar den innan den sågas och stockens insida blir känd. Efter att stocken skannats beslutas hur den ska vridas inför sågning och även hur sågen ska postas för att få högsta värde och kvalitet på den sågade varan. Datortomografi vid såglinjen gör att det går att ta hänsyn till bland annat kvistar, densitet, årsringsbredd, kärnved och diameter under bark (Olofsson m.fl. 2019).

Varje stam kan apteras på många olika sätt och den rådande prislistan styr i huvudsak vilka dimensioner som stammarna apteras i. I en studie av Nordmark (2005a) apterades 48 unga tallar manuellt och skannades i en datortomograf. Stammarnas brösthöjdsdiametrar var 12,6-23,4 cm och längderna varierade mellan 9,9 m och 13,3 m. Efter aptering och skanning jämfördes olika underlag för apteringen. Det ena underlaget var den manuella apteringen utan optimering där stammarna kapades i längder mellan 3,1 meter och 5,5 meter med 30 centimeters längdmoduler. Aptering med optimering avseende värde genom att använda en prislista var ett annat underlag. Därefter tillfördes en felmarginal till den tidigare apteringen (med prislista) för att få det mer realistiskt och jämförbart med verkligheten i skogen, detta benämns som skördaaptering. En 3D modell användes också, där stockarnas yttre form användes för att aptera. Det sista apteringsunderlaget var skanning i en datortomograf (CT) där den yttre formen blev känd men även den inre informationen. Förutom olika apteringsunderlag användes också tre olika underlag för postning. Enligt diameter där postningsmönstret valdes helt beroende på stockens toppdiameter, med 3D som grund där stockens yttre form användes för att hitta det bästa postningsmönstret och till sist postning efter skanning i datortomograf. Resultatet av studien visade att om en datortomograf nyttjades vid både aptering och val av postning så erhöles det högsta värdet på den sågade varan. När skördaraptering och den yttre formen (3D) som underlag vid postning jämfördes med om postningen istället skulle utföras efter att stockarna skannades i en datortomograf ökade värdet med 2,1% (Tabell 1). Med samma referens jämförs med om apteringen och postningen gjordes utifrån stammens och stockarnas yttre form (3D) ökade värdet med 5,7%. Det högsta värdet erhöles när datortomografen nyttjades vid både aptering och postning, då ökade värdet med 12,6% (Tabell 1). De övriga apterings- och postningsunderlagen kom inte upp i samma nivå av värdeökning som när datortomografen användes (cf. Nordmark 2005a). Sammanfattningsvis innebär resultaten att den aptering som utförs i skogen, som saknar all den inre informationen om stammarna, inte ger det potentiellt högsta värdet.

Tabell 1. Värdeskillnad vid olika apterings- och postningsunderlag för gallringsstammar av tall (cf. Nordmark 2005a)

Table 1. Changes in value for different basis for bucking and breakdown pattern for pine stems from thinned stands (cf. Nordmark 2005a)

Aptering	Postning	Värdet förändring (%)
Skördare	3D	Referens
Skördare	CT	+2,1
3D	3D	+5,7
CT	CT	+12,6

I en studie av Fredriksson (2014) undersöktes potentialen till ökat värde genom optimal rotering samt postning av varje stock efter att de skannats i en datortomograf. Dataunderlaget var 712 tallstockar samt 750 granstockar från en tall- respektive granstambank. Studien visade att värdet kan öka med i genomsnitt 13%, jämfört med att enbart ta beslut utifrån stockens yttre form vid rotering och postning (Fredriksson 2014). Det finns ett flertal studier utöver Nordmarks (2005a) och Fredrikssons (2014) som visat att det finns möjlighet att öka värdet av de sågade varorna genom att installera en datortomograf på ett sågverk, dock fokuserar dessa studier främst på själva sågningen och förutsätter därmed att stammarna redan är apterade. Nordmarks (2005a) studie visade datortomografins fördelar vid aptering och sågning kombinerat samt hur de sågade varornas värden förändrades. Det visar inte hur enbart apteringens utförande inverkar på resultatet eller hur det slutliga värdet på rundvirket påverkas. Dessutom var Nordmarks (2005a) studie grundad på gallringsstammar, vilket innebär att det även saknas studier som visar datortomografins möjligheter vid aptering av slutavverkningsstammar. Någon studie som kunnat påvisa potentialen med att använda datortomografi vid aptering beroende på geografi och stamlängd har inte heller gjorts tidigare. Det finns därmed några luckor som detta examensarbete ämnar fylla.

1.7 Syfte

Det övergripande målet med detta examensarbete var att undersöka om det finns någon potential till ökat värde på rundvirke av tall och gran genom att aptera trädstammen först efter att dess inre egenskaper är kända i jämförelse med konventionell aptering. De detaljerade syftena var att undersöka om:

- Det finns någon geografisk skillnad i potential.
- Det finns någon skillnad i potential mellan gran och tall.
- Det finns någon potential för rotstockar apterade längre än idag, men maximalt 8 m.

Hypotesen var att aptering efter skanning i en datortomograf ger en enskild trädstam högre värde än konventionell aptering i skogen. En annan hypotes var att den potentiella värdeökningen ökar med ökad stamlängd eftersom det bör finnas fler möjliga kombinationer av apteringar som ger stammen högre värde när den är längre.

2 Material och metod

2.1 Sågsimulering av ursprungliga stocklängder-referensalternativ

En sågsimulering genomfördes i simuleringsprogrammet Saw2010 på stockar i de befintliga längderna av tall och gran från stambankar från slutavverkningsskog och för tallstockar från gallringsbestånd.

2.1.1 Hantering av stambanker

Granstambanken hade även stammar som var från Frankrike och Finland, men dessa uteslöts och därmed innehöll det analyserade materialet enbart svenska träd. Efter urvalet bestod dataunderlaget av 198 tallstammar och 114 granstammar från slutavverkningsskog samt 48 tallstammar från gallringsskog. Träden i både tall- och granstambanken var hämtades från åtta olika landskap och antalet träd varierade mellan landskapen (Tabell 2). Gallringsstammarna var alla från ett och samma område i Lappland.

Tabell 2. Stambankar för slutavverkning
Table 2. Stem banks from final cut

Tall		Gran	
Landskap	Antal stammar	Landskap	Antal stammar
Lappland	48	Ångermanland	18
Norrbottn	6	Jämtland	18
Västerbotten	18	Värmland	6
Hälsingland	18	Östergötland	6
Västergötland	24	Halland	12
Dalarna	36	Dalarna	18
Södermanland	18	Södermanland	24
Småland	30	Småland	12
Totalt antal	198	Totalt antal	114

2.1.2 Prislista

Prislistan för sågad vara som användes byggde på Nordiskt Trä - Sorteringsregler vilket också kallas Blå Boken (Svenskt Trä 2016). Kvaliteterna var A, B och C där det, beroende på dimension, var till exempel ett visst antal kvistar tillåtna per kvalitet. Egentligen hade den Blå boken fler kvaliteter, A var uppdelad i A1-A4 och en sämsta kvalitet D fanns också, vilket i dagens handelsmått klassas som vrak (Svenskt Trä 2016). Kvalitet D beaktades inte och anledningen var att det inte ingick när tallstambanken genomfördes och analyserades (Grönlund m.fl. 1995) men också för att det i tidigare studier bara användes kvalitet A till C (Nordmark 2005a).

Prislistan var uppbyggd som en textfil och baspriset för respektive kvalitet fördes in. Kvalitetsdefinitionerna, som också var formulerade som en textfil, följde den Blå Boken där tillåtet antal kvistar med mera definierades. Prislistan innefattade relativa prisrelationer mellan olika kvaliteter och inte de faktiska priserna, enheten blev därmed prisenhet/m³sv. För tall användes kvalitet V (kvinta) i centrum som referens och därmed 100% (Tabell 3). Flis och spån hade prisrelationen 28% respektive 12% (Johan Oja, Norra skogsägarna), men eftersom spån inte kunde särskiljas i Saw2010 så beaktades enbart flis. Prislistan för gran hade O/S-V (osorterat-kvinta) i centrum som referens och därmed 100% (Tabell 3). Vid kvalitetssortering av gran var O/S och V samma kvalitet, därmed hamnade alla centrum- och sidoutbyten i dessa två kvaliteter på samma pris. Prisrelationen för flis och spån var oförändrad. Prisrelationerna gällde enbart inom träslagen, det finns ingen relation mellan tall och gran i prislistan.

Alla dimensioner inom en kvalitet hade samma baspris/m³sv. Till exempel hade tall med kvalitet A-c baspriset 116/m³sv oavsett dimension på de sågade varorna.

Tabell 3. Prislista för sågad vara av tall och gran med prisrelation mellan olika kvaliteter inom trädslagen (Johan Oja, Norra Skogsägarna)

Table 3. Price list for pine and spruce with price relationships for each tree species (Johan Oja, Norra Skogsägarna)

Kvalitet (Saw2010)	Förklaring	Kvalitet	Prisrelation Tall (%)	Prisrelation Gran (%)
A-c	Kvalitet A centrumutbyten	O/S	116	100
A-s	Kvalitet A sidoutbyten	O/S	143	95
B-c	Kvalitet B centrumutbyten	V	100	100
B-s	Kvalitet B sidoutbyten	V	109	95
C-c	Kvalitet C centrumutbyten	VI	90	83
C-s	Kvalitet C sidoutbyten	VI	91	82

2.1.3 Postning

Simuleringspostningen utfördes centrerat i stockarna och automatisk postning tillämpades vilket innebar att postning av varje stock var helt beroende av toppdiametern. Inför första såg postades avståndet mellan sågklingorna utifrån vilken toppdiameter den aktuella stocken hade. Stocken sågades igenom i första såg och resulterade i ett antal sidoutbyten och ett block. Därefter roterades stocken i 90 grader inför andra såg där blocket sågades upp i sido- och centrumutbyten. Avstånden mellan sågklingorna i andra såg var också bestämt utifrån toppdiametern (Tabell 4). Centrum- och sidoutbytena skiljde sig något, dels i pris men även i dimension. Tjockleken var tunnare för sidoutbytena med maximalt 32 mm medan centrumutbytena hade 75 mm som maximum (Tabell 5). Längden var den samma för samtliga kvaliteter, oavsett centrum- eller sidoutbyte. Sågning utfördes i fasta längder mellan 1800 mm och 5400 mm med 300 mm mellan varje längd. Stockens position inför sågningen var så kallad krok upp, vilket innebar att om stocken var krokig så fördes den in i sågen med kröken uppåt och stockändarna neråt.

Tabell 4. Postningslista som användes vid sågning av stock

Table 4. Post list used in sawing of logs

Toppdiameter		Första såg		Andra såg ³	
Minsta (mm)	Största (mm)	Avstånd mellan sågklingorna (mm) ¹	Produkter ²	Avstånd mellan sågklingorna (mm) ¹	Produkter ²
0	129	19,75,19	s,b,s	19,38,38,19	s,c,c,s
130	149	19,100,19	s,b,s	19,38,38,19	s,c,c,s
150	169	19,100,19	s,b,s	19,50,50,19	s,c,c,s
170	184	19,125,19	s,b,s	25,50,50,25	s,c,c,s
185	194	19,125, 19	s,b,s	19,63,63,19	s,c,c,s
195	209	19,19,150,19,19	s,s,b,s,s	19,25,50,50,25,19	s,s,c,c,s,s
210	219	19,19,150, 19,19	s,s,b,s,s	19,25,63,63,25,19	s,s,c,c,s,s
220	229	19,19,175,19,19	s,s,b,s,s	19,25,50,50,25,19	s,s,c,c,s,s
230	249	19,19,175,19,19	s,s,b,s,s	25,25,63,63,25,25	s,s,c,c,s,s
250	264	19,19,200,19,19	s,s,b,s,s	25,25,63,63,25,25	s,s,c,c,s,s
265	284	19,19,200,19,19	s,s,b,s,s	19,25,75,75,25,19	s,s,c,c,s,s
285	304	19,19,225,19,19	s,s,b,s,s	19,25,75,75,25,19	s,s,c,c,s,s
305	324	19,25,200,25,19	s,s,b,s,s	19,25,50,50,50,50,25,19	s,s,c,c,c,c,s,s
325	344	25,32,225,32,25	s,s,b,s,s	25,25,50,50,50,50,25,25	s,s,c,c,c,c,s,s
345	384	25,32,200,32,25	s,s,b,s,s	19,25,63,63,63,63,25,19	s,s,c,c,c,c,s,s
385	449	25,32,200,32,25	s,s,b,s,s	19,25,75,75,75,75,25,19	s,s,c,c,c,c,s,s

¹) De mått som blev efter torkning. Det egentliga avståndet mellan sågklingorna var större för att ha en marginal vid krympning.

²) s= sidoutbyte, b= block, c= centrumutbyte

³) Blocket roterades innan sågning i andra såg.

Tabell 5. Dimensioner för centrum- och sidoutbyten

Table 5. Dimensions for centre and side boards

Sort	Tjocklekar (mm)	Bredder (mm)
Centrumutbyte	38, 50, 63, 75	75, 100, 125, 150, 175, 200, 225
Sidoutbyte	19, 25, 32	75, 100, 115, 125, 127, 150, 175, 200, 225

Efter första sågningen hade stocken delats upp i sidoutbyten och ett block. Blocket delades sedan upp i sido- och centrumutbyten vid andra sågen. Till exempel sågades en stock med toppdiameter 130 mm upp i två sidoutbyten och ett block vid första såg (Tabell 4). Tjockleken för sidoutbytena blev 19 mm och bredden optimerades i kantverket med avseende på maximalt värde (Tabell 5). Blocket från samma exempel sågades i andra såg till två sidoutbyten med 19 mm tjocklek och två centrumutbyten med 38 mm tjocklek. Bredden för centrumutbytet bestämdes redan vid första såg, där avståndet mellan klingorna gav 75 mm bredd. Resultatet av hela sågningen blev således fyra sidoutbyten och 2 centrumutbyten (Tabell 4).

2.1.4 Simuleringens utfallsdata

Eftersom detta var referenskörningen så gjordes inga förändringar av stockarnas längder. Därför användes ett skript som enbart sågade igenom en hel stambank och formulerade resultaten i en textfil, som sedan kunde överföras till Excel för vidare bearbetning. Skriptet för detta fungerade så att det arbetade sig igenom en stambank i taget, den som var vald till Saw2010 vid aktuell sågning, från första till sista stam. Skriptet gav en resultatfil efter sågningen som innehöll beståndsnummer, trädnummer samt stocknummer. Varje stock hade värden för toppdiameter, rotdiameter, postning, volym och längd. Dessutom visades sågningens resultat i form av värde för brädor och plank och totalt värde, samt sågutbytet för varje stock i procent. Värdet för flis räknades ut genom skillnaden mellan totalt värde och värde för brädor och plank.

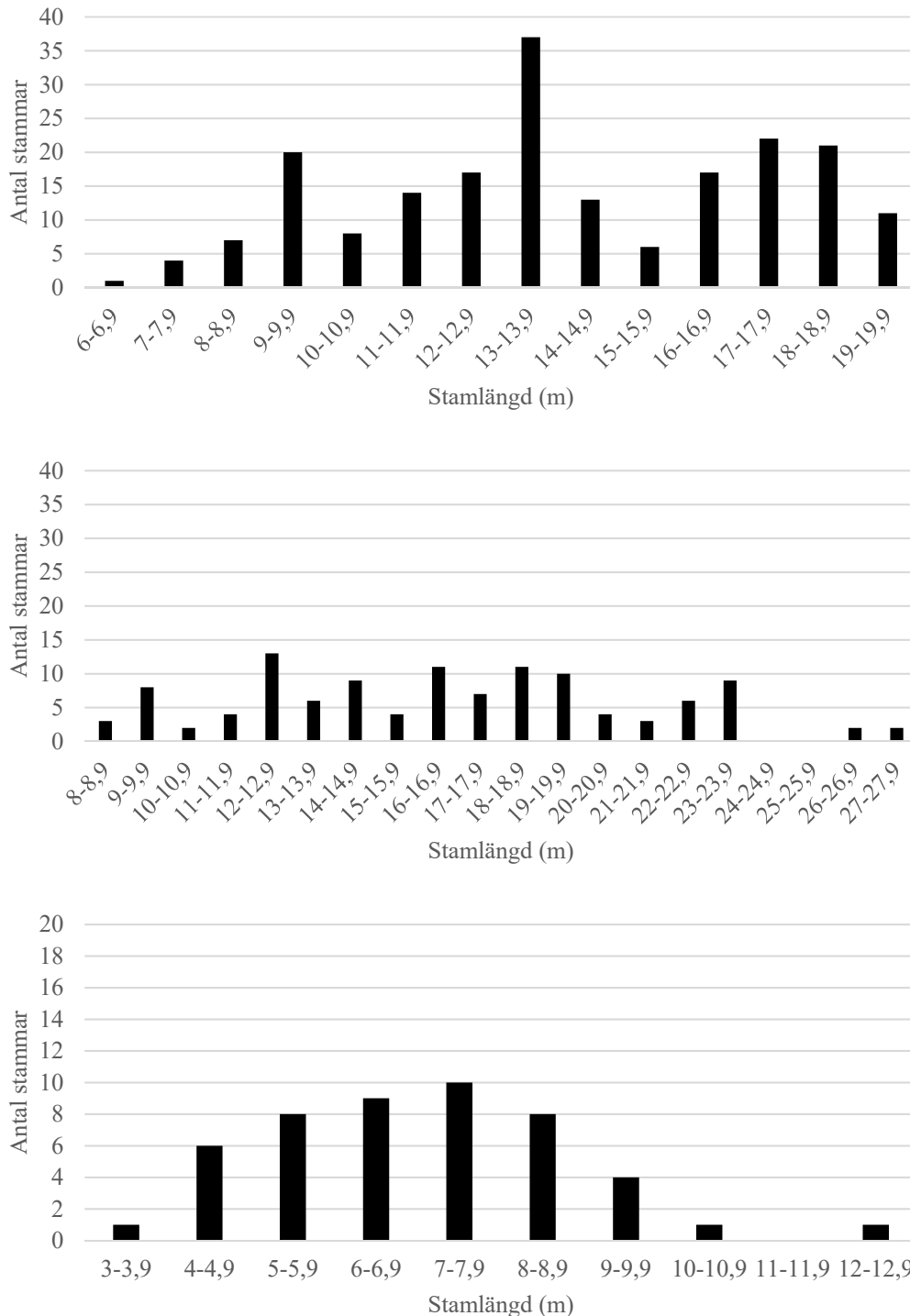
2.2 Sågsimulering av stammar som apterats efter skanning – Optimering

Vid optimeringen användes samma material som för referensen, skillnaden var att stockarna från varje enskild stam sammanfogades. Stammarna apterades därefter i simuleringen i värdemaximerande längder.

2.2.1 Hantering av stambanker

Samma stockar användes som vid referensen. Antalet stockar som sammanfogades till stammar varierade mellan 2 och 4 för tall, 2 till 6 för gran och 1 till 3 för gallringsstammarna. Även stamlängderna varierade för de olika

stambankerna där de 114 granstammarna hade längder upp till 27 meter. Gallringsstammarna var som längst 13 meter medan den längsta av tallstambankens 198 stammar var drygt 20 meter (Figur 1).



Figur 1. Stamlängder för tallstambanken (överst), granstambankens (mitten) och gallringsstammarna av tall (nederst).

Figure 1. Stem length for the pine stem bank (above), spruce stem bank (middle) and pine thinning stems (below).

2.2.2 Optimering

Samma prislistor och kvalitetsdefinitioner som vid referenssimuleringen användes även vid apteringsoptimeringen (Tabell 3). Optimeringen av apteringen gav hela stammens volym det högsta totala värdet. Automatisk postning med krok upp och centrering användes precis som för referensen, data från skanningen användes alltså inte vid rotering och postning vid sågningen vid optimeringen. Ingen förändring gjordes i postningslistan, samma förhållanden för toppdiameter och sido- samt centrumutbyte gällde (Tabell 4)(Tabell 5).

Skriptet formulerades så att en hel stambank sågades som huvudskript och där optimeringen var en subrutin. Optimeringen följde en algoritm, som ursprungligen använts i Åstrand (1996). De variabler som var aktuella var följande:

$S(k)$ = Maximala värdet för de längdintervall som gått igenom.

$R(k)$ = Startpositionen för det längdintervall som gav det maximala värdet ($S(k)$).

S_{\max} = Totalt maximalt värde.

R_{\max} = Position som ger det maximala värdet.

Med begränsningen 1800 mm till 5400 mm, enligt prislistan, började optimeringen söka optimalt kapställe från 1800 mm från stamändan och fram till maximalt 5400 mm för varje stock. Precisionen för detta sökande var 10 cm vilket innebar att varje decimeter mellan 1800 mm och 5400 mm testades. De optimala kapställena var alltså de positioner som gav hela stammens volym det högsta totala värdet. Därmed beaktades pris och kvalitet vid optimeringens sökande av kapställena. Kapställena, alltså där stammen skulle apteras, lagrades i variabeln R . R_{\max} visade sedan kapställena som gav trädstammen det högsta värdet. Det sista som gjordes i optimeringen var att gå bakvägen för varje stam, hitta R som gav det högsta värdet för att sedan kapa vid den positionen. När detta var gjort för stammen hade ett antal stockar blivit apterade som sedan sågades för att slutligen rapporteras i en resultatfil där värde för varje stock med sido- samt centrumutbyten redovisades på samma sätt som i referenssimuleringen.

2.3 Analys och statistik

Analysen handlade om att jämföra den optimerade apteringen med referensen. Värdet för varje stam samt stamlängden sammanställdes i en tabell för att sedan kunna räkna ut värdeskillnaden mellan referenssimulering och optimering. Dessutom sammanställdes antalet stockar som varje stam resulterat i, för referensen gällde det antalet som apterades vid uppförandet av stambanken medan det för optimeringen kunde bli ett annat antal stockar beroende på optimala kapställena längs stammen.

Detta gjordes för varje stambank separat. För att sedan undersöka om stamlängden hade någon inverkan på värdeskillnaden gjordes ett korrelationstest där varje stambank analyserades. Pearsons korrelationskoefficient visade därefter om det fanns något samband mellan stamlängd och värdeökning.

För att undersöka hur känsligt resultatet var för olika prisförändringar gjordes en känslighetsanalys. Två olika prislistor formulerades utifrån ursprungsprislistan där den ena fick 30% minskad spridning och den andra 30% ökad spridning. Anledningen till att 30% valdes för ändring av prislistans spridning var att det var först då som det började synas tydliga skillnader i prislistornas värden. Analysen utfördes separat för tall- och granstambanken. Gallringsstammarna nyttjade samma prislista som tallstambanken. Vid 30% ökad spridning av prisrelationerna för tall fick det dyraste sortimentet 156% prisrelation, den billigaste blev 87%. När spridningen minskades med 30% blev dessa värden istället 130% respektive 93%. Vid förändring av granstambankens prisrelationer med 30% ökad spridning hade det billigaste sortimentet 77% prisrelation och 87% vid minskad spridning. Med de nya prislistorna gjordes nya simuleringar. En ny referens och en ny optimering för varje stambank. Efter alla sex nya simuleringar kunde prisförändringarna räknas ut och jämföras med de prisförändringar som var resultatet av optimeringen med ursprungliga prisrelationer.

En envägs variansanalys (ANOVA) utfördes för att studera om det fanns signifikanta skillnader mellan stammarnas värdeökning och landskap. Denna analys gjordes enbart för slutaverkningsstammarna från tall- och granstambanken eftersom gallringsstammarna var från ett och samma område. De hypoteser som testades vid analysen var en nollhypotes, vilket innebar att alla medelvärden var lika. Den andra hypotesen var att medelvärdena skiljde sig mellan landskapen. Signifikansnivån var 0,05. Efter envägs-ANOVA utfördes ett Tukey-test för att urskilja vilka landskap som hade en signifikant skillnad i genomsnittlig värdeökning.

För varje stambank studerades möjligheten till längre rotstockar och då fokuserades det på 8 meter som standard, med motiveringen att dagens lastbilar skulle kunna nyttjas. Det innebar att för varje stam efter apteringsoptimeringen slogs de nya optimerade stockarna ihop från roten och upp tills den nya stocklängden var maximalt åtta meter. Detta gjordes för alla stambanker och en medellängd för den nya längre rotstocken räknades ut. Även standardavvikelse och min- samt maxlängd analyserades för respektive stambank.

3 Resultat

3.1 Stambankernas förändring i värde och stocklängd

Samtliga stammar i de tre stambankerna ökade i värde, förutom en enskild granstam, när stammarnas aptering optimerades utifrån information från datortomografskanningen. Den genomsnittliga värdeökningen per m³fub var 10% för tallstambanken, 8% för granstambanken och gallringsvolymernas värde ökade med 15% (Tabell 6).

När det gällde stammarnas värde ökade alla tallstammarna från slutavverkning i värde efter apteringsoptimering och den genomsnittliga värdeökningen per stam blev 12%, med standardavvikelsen (SD) 5%. För referensen var stamvärdet i medel 59,0 prisenheter/m³fub och optimeringen ökade detta värde till 65,6 prisenheter/m³fub. Standardavvikelsen för stammarnas medelvärden förändrades från 5,3 till 4,3, optimeringen minskade därmed variationen från medelvärdet i jämförelse med referensen. Den lägsta värdeökningen var 3% och den tallstam som ökade mest fick ett nytt värde som var 34% högre än referensen.

För granstammarna ökade i genomsnitt varje stams värde med 9% (SD 5%) där medelvärdet för en stam enligt referensen var 56,3 prisenheter/m³fub och för optimeringen 61,3 prisenheter/m³fub. Standardavvikelsen sjönk från 3,8 till 2,4 efter optimering. Vid optimering av granstammarna fick alla stammar förutom en ett ökat värde. Den stammen som sjönk i värde minskade med 1%. Den maximala värdeökningen som uppmättes var 35% för en granstam och som lägst 3%, förutom den som sjönk i värde. Medelvärdet för gallringsstammarna var 53,5 prisenheter/m³fub men när optimeringen utförts höjdes medelvärdet till 62,0 prisenheter/m³fub. Standardavvikelsen för medelvärdet var för referensen 6,4 och sjönk till 4,3 vid optimeringen.

Värdeökningen blev i genomsnitt 17% (SD 13 %) per stam för gallringsstammarna (Tabell 6). En stam skilde sig från de övriga vad gäller värdeökning och fick 89% ökning, för övrigt var den maximala värdeökningen 36% och den lägsta 3%. Den genomsnittliga värdeökningen för alla slutavverkningsstammar blev 11% och detsamma gällde för gallringsstammarna. För den totala volymen (m³fub) ökade värdet med 9% i genomsnitt.

Tabell 6. Genomsnittlig värdeökning per stam och m³fub efter optimerad aptering*Table 6. Average increase of value for each stem and m³ after optimized bucking*

	Stambank	Genomsnittlig värdeökning/stam (%)	Genomsnittlig värdeökning/m³fub (%)
Slutavverkning	Tall	12	10
	Gran	9	8
Gallring	Tall	17	15

Tallstammarna från slutavverkningsbestånden apterades i medel till 3,17 stockar per stam i referensapteringen men efter apteringsoptimeringen ökade antalet stockar till 4,56 per stam i medeltal. Detta innebar en genomsnittlig ökning med 1,39 stockar per stam. Granstammarna apterades i referensapteringen till 3,89 stockar per stam men detta medel ökade med 1,37 stockar till 5,25 stockar per stam. Gallringstammarna var de som hade minst förändring i antalet stockar som apterades per stam och ökade från i genomsnitt 1,89 stockar till 2,59 stockar per stam, vilket innebar en ökning med 0,7 stockar per stam.

Stockmedellängden minskade efter optimeringen för de tre stambankerna. Längden på tallstockarna från slutavverkningsbestånd sjönk från 4460 mm för referensen till 3083 mm efter optimeringen, detta var en minskning av den genomsnittliga stocklängden med 1377 mm. Den längsta stocken i denna stambank var 5530 mm och den kortaste var 3210 mm vid referensen, efter optimering blev dessa värden istället 5400 mm och 1900 mm. Granstambankens stockar hade 4313 mm medellängd vid referensen, medellängden minskade efter optimeringen med 1135 mm och blev istället 3178 mm. Den längsta granstocken apterades till 6150 mm vid referensen och kortaste var 3190 vilket förändrades till 5400 mm respektive 1900 mm efter optimering. Gallringsstammarna hade de kortaste stockarna i genomsnitt, både vid referensen och efter optimeringen. När apteringen optimerades sjönk stockarnas medellängd från 3835 mm till 2707 mm, vilket innebar 1118 mm kortare stockar i genomsnitt. Den längsta gallringsstocken som apterades vid optimeringen var 5400 mm och den kortaste 1900 mm. För referensen var den längsta stocken 5680 mm och den kortaste 3000 mm (Tabell 7).

Tabell 7. Stockarnas medellängd och standardavvikelse för de tre stambankerna vid referensaptering och efter optimerad aptering

Table 7. The average log length and standard deviation for the stem banks at reference bucking and after optimized bucking

	Stambank	Simulering	Medellängd (mm, SD)	Max (mm)	Min (mm)
Slutavverkning	Tall	Referens	4460 (434)	5530	3210
	Tall	Optimering	3083 (1005)	5400	1900
	Gran	Referens	4313 (420)	6150	3190
	Gran	Optimering	3178 (1078)	5400	1900
Gallring	Tall	Referens	3835 (718)	5680	3000
	Tall	Optimering	2707 (783)	5400	1900

De apterade stockarnas genomsnittliga värde var högre efter optimeringen jämfört med referensen. Slutavverkningsstockarna av tall ökade i värde från 57,9 prisenheter/m³fub till 62,3 prisenheter/m³fub, standardavvikelsen för detta medelvärde ökade från 8,2 till 9,8 efter optimeringen. Granstockarnas genomsnittliga värde var vid referensen 55,4 prisenheter/m³fub vilket ökade till 59,5 prisenheter/m³fub. Till skillnad från tallstockarna så sjönk standardavvikelsen i apteringsoptimeringen från 6,2 till 5,9. Gallringsstockarna av tall var de som hade lägst genomsnittligt värde vid referensen och efter optimering. Det genomsnittliga värdet för gallringsstockarna ökade från 54,3 prisenheter/m³fub till 60,7 prisenheter/m³fub och standardavvikelsen ökade från 7,6 till 8,9.

3.2 Förändrat sågutbyte

Sågutbytet ökade för alla tre stambanker efter optimering av aptering. Tallstambanken hade som referens i genomsnitt 43% utbyte och detta ökade till 46%. För granstambanken var referensen 42% och den ökade också till i genomsnitt 46% efter optimering. Gallringsstammarna hade lägre utbyte som referens, 34% men optimeringen ökade sågutbytet till 40% i medel. För stambankerna totalt ökade alltså den volym som blev sågad vara. För tallstambanken ökade det från 50,6 m³sv till 56,2 m³sv, totalt 11%. Granstambanken fick 43,3 m³sv istället för 38,5 m³sv, vilket innebar en ökning med 13%. Gallringsstammarna hade 1,9 m³sv vid referensen och detta ökade med 16% till 2,2 m³sv (Tabell 8).

Tabell 8. Förändring i genomsnittligt sågutbyte och total sågad volym för alla stambanker*Table 8. Change in average yield and total sawn volume for all stem banks*

	Stambank	Referens (sågutbyte %)	Optimering (sågutbyte %)	Förändring sågad volym (%)
Slutavverkning	Tall	43	46	11
	Gran	42	46	13
Gallring	Tall	34	40	16

3.3 Känslighetsanalys - prisrelation

När prisrelationerna förändrades med 30% mindre spridning sjönk den genomsnittliga värdeökningen för samtliga stambanker. Tall fick 10% genomsnittlig värdeökning istället för 12%, gran blev kvar på 9% och gallring gick från 17% till 16% i genomsnittlig värdeökning per stam. Vid 30% ökad spridning ökade genomsnittliga värdeökningen per stam även för alla tre stambanker i jämförelse med sågning av ursprunglig aptering. Värdeökningen för tallstammarna från slutavverkningsbestånd blev vid denna spridning 13%, granens genomsnittliga värdeökning blev 10% och gallringstammarna ökade till 18% (Tabell 9). När optimering med ursprunglig prislista jämfördes med 30% minskad spridning av prisrelationerna fick tallstambanken 1,95% lägre totalt värde/m³fub. Om prisrelationens spridning istället ökades med 30% ökade det totala värdet/m³fub med 2,40%. För granstambanken vid minskad spridning ökade stambankens totala värde/m³fub med 0,96% och vid ökad spridning minskade värdet med 0,32% jämfört med optimering med ursprungsprislstan. Gallringsstammarna var något känsligare och stambankens totala värde/m³fub minskade med 2,70% vid 30% minskad spridning och ökade med 2,86% vid ökad spridning.

Tabell 9. Stammarnas värdeförändring vid förändring av prislistans spridning*Table 9. Change in stem value after changes in the price list*

	Stambank	Genomsnittlig värdeökning vid ursprunglig prislista (%)	Genomsnittlig värdeökning vid 30 % mindre spridning (%)	Genomsnittlig värdeökning vid 30 % högre spridning (%)
Slutavverkning	Tall	12	10	13
	Gran	9	9	10
Gallring	Tall	17	16	18

3.4 Geografiska skillnader

Genom envägs-ANOVA studerades stammarnas värdeökning beroende på vilket landskap stammarna kom ifrån. För tallstambanken visade ett lågt p-värde (0,001) att det fanns en signifikant skillnad mellan landskap. Ett efterföljande Tukey-test påvisade att värdeökningen för Småland och Hälsingland skiljde sig signifikant åt. Det samma gällde mellan Södermanland och Småland samt mellan Västerbotten och Södermanland. Den genomsnittliga värdeökningen för Hälsingland och Södermanland var 8% för båda landskapen och därmed den lägsta för alla landskap. Lappland, Dalarna och Västergötland hade alla 12% genomsnittlig värdeökning. Den största värdeökningen fick Norrbotten, Västerbotten och Småland som hade 13% i medel (Tabell 10). När samma analys gjordes för granstambanken var resultatet ett högt p-värde (0,364) och därmed ingen signifikant skillnad mellan värdeökning och landskap. Småland hade lägst värdeökning, 7%, medan Dalarna och Värmland hade högst med 11% genomsnittlig värdeökning. Både Ångermanland och Södermanland hade 10%, Jämtland och Halland hade 8% och Östergötland hade 9% som genomsnittlig värdeökning (Tabell 11).

Tabell 10. Tallstammarnas medelvärden per m³fub samt värdetförändring i genomsnitt efter optimering, för varje landskap. De landskap som inte delar bokstav med något annat i kolumnen med genomsnittlig värdeökning skiljer sig signifikant åt enligt envägs-ANOVA med efterföljande Tukey-test

Table 10. The pine stem's average values/m³ and average difference after optimization, for each county. The counties that do not share letters with another in the column with average increased value are significantly different according to one-way ANOVA with subsequent Tukey-test

Landskap	Referens (värde/m³fub)	Optimering (värde/m³fub)	Genomsnittlig värdeökning (%)
Lappland	58,6	65,4	12 ^{abc}
Norrbottn	60,3	67,7	13 ^{abc}
Västerbotten	56,5	63,8	13 ^{ab}
Hälsingland	65,8	71,0	8 ^{bc}
Dalarna	58,3	65,2	12 ^{abc}
Södermanland	62,0	66,7	8 ^c
Västergötland	58,1	64,8	12 ^{abc}
Småland	56,7	64,0	13 ^a

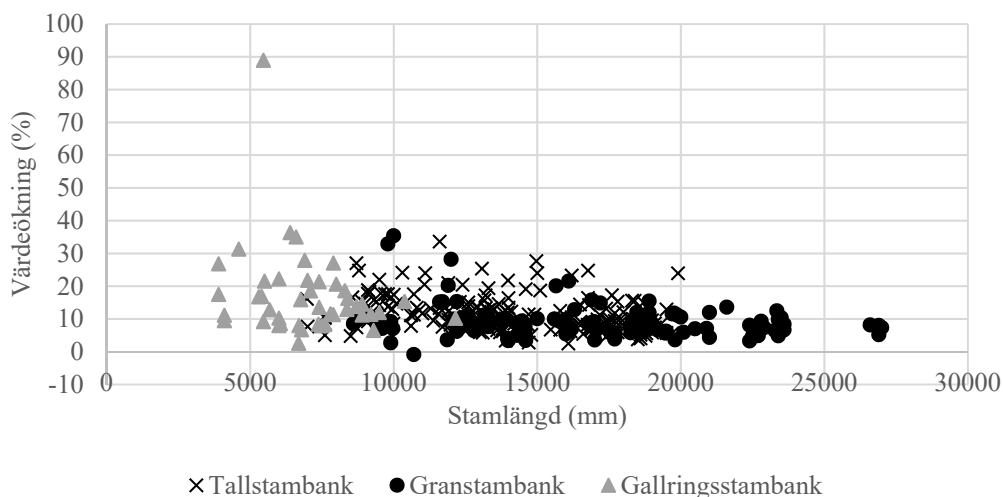
Tabell 11. Granstammarnas medelvärden per m³fub samt värdetförändring i genomsnitt efter optimering, för varje landskap. De landskap som inte delar bokstav med något annat i kolumnen med genomsnittlig värdeökning skiljer sig signifikant åt enligt envägs-ANOVA med efterföljande Tukey-test

Table 11. The spruce stem's average values/m³ and average difference after optimization, for each county. The counties that do not share letters with another in the column with average increased value are significantly different according to one-way ANOVA with subsequent Tukey-test

Landskap	Referens (värde/m³fub)	Optimering (värde/m³fub)	Genomsnittlig värdeökning (%)
Ångermanland	55,1	60,1	10 ^a
Jämtland	56,6	60,9	8 ^a
Dalarna	55,6	61,4	11 ^a
Värmland	55,5	61,2	11 ^a
Södermanland	54,8	60,0	10 ^a
Östergötland	56,6	61,8	9 ^a
Småland	59,6	63,7	7 ^a
Halland	58,7	63,5	8 ^a

3.5 Stamlängd och värdeökning

Pearsons korrelationskoefficient visade att det fanns ett signifikant negativt samband mellan stammarnas värdeökning och stamlängd för slutavverkningsstammarna. Korrelationen för tallstambanken var $-0,318$ med p-värde $<0,001$ och för granstambanken var korrelationskoefficienten $-0,227$ med p-värde $0,015$. För gallringsstammarna var korrelationen $-0,237$ och p-värdet $0,122$ vilket innebär att det inte fanns något signifikant samband mellan värdeökning och stamlängd för dessa stammar. De negativa korrelationskoefficienterna för slutavverkningsstammarna av tall och gran innebär att värdeökningen var högre vid kortare stamlängd. Dock var korrelationerna inte i närheten av 1 eller -1 vilket innebär att sambanden är relativt svaga (Figur 2). Spridningen över värdeökningen beroende på stamlängd var olika för de tre stambankerna. Gallringsstambankens stammar hade sin koncentration till de kortare stamlängderna. Granstambanken hade som tidigare visats de längsta stammarna och spridningen för värdeökningen var spridd över större spann än de övriga stambankerna. Spridningen för tallstambanken hamnade mellan dem andra två stambankerna (Figur 2).



Figur 2. Samtliga stammars värdeökning efter optimering som funktion av stamlängd.
Figure 2. Increase of value for each stem after optimization as a function of stem length.

3.6 Maxlängd rotstock 8 m

När den optimerade apteringen utförts och de optimala stockarna sammanfogades till maximalt åtta meter fick tallstambankens ”nya” rotstockar en medellängd på 6379 mm och med standardavvikelsen 1259 mm. Ett flertal sammanfogade stockar nådde maxlängden 8000 mm. För totalt 14 stammar kunde ett antal stockar från roten slås ihop och bli exakt 8000 mm. Som kortast blev de sammanfogade stockarna 3400 mm, detta gällde för enbart två stammar. I genomsnitt sammanfogades 1,9 (SD 0,7) stockar och 62% av stammens värde utgjordes av den nya längre rotstocken.

För granstambanken blev medellängden vid sammanfogning av de optimala stockarna något kortare än tallstambanken. Den nya rotstocken fick medellängden 5966 mm och standardavvikelsen 1324 mm. Fyra stammars nya rotstock fick längden 8000 mm vid sammanfogning av de första stockarna och fyra stammar fick den kortaste längden 3700 mm efter sammanfogning. I genomsnitt kunde 1,7 (SD 0,6) stockar sammanfogas och 53% av stammens värde fanns inom den nya rotstocken.

Gallringsstammarna fick som medel 6208 mm för den längre rotstocken och standardavvikelsen från denna medellängd var 1142 mm. En stam fick den kortaste stocklängden 3700 mm och en stam nådde den maximala längden 8000 mm. I genomsnitt kunde 2,3 (SD 0,6) stockar sammanfogas och den genomsnittliga andelen av stamvärdet som den nya rotstocken utgjorde var 94% (Tabell 12).

Tabell 12. Antalet stockar som sammanfogades i genomsnitt, rotstockens medellängd och standardavvikelse vid införandet av åtta meters maxlängd samt de kortaste och längsta stockarna
Table 12. Number of logs that where merged, the butt logs average lengths and standard deviation after implementation of eight meters maximal length, also the shortest and longest logs

Avverknings- form	Stambank	Antal stockar		Rotstockslängd (mm)			
		Medel- värde	Standard- avvikelse	Medel- värde	Standard- avvikelse	Min	Max
Slutavverkning	Tall	1,9	0,7	6379	1259	3400	8000
	Gran	1,7	0,6	5966	1324	3700	8000
Gallring	Tall	2,3	0,6	6208	1142	3700	8000

4 Diskussion

4.1 Dataunderlaget och analysmetoden

Optimeringen visade att alla stambanker hade god potential till ökat värde om aptering utförs efter att trädens insida är känd. Det som talar emot denna värdeökning är att datamaterialet bestod av väl utvalda stammar från specifika bestånd. Resultatet visade därmed enbart potentialen till värdeökning för dessa felfria stammar, som inte representerar den variation som normalt finns bland de avverkade träden. Inga stammar med till exempel krökar, sprötkvistar eller skador fanns i datamaterialet vilket troligtvis överdrev den potentiella värdeökningen. Detta innebär att de resultat som erhöles av studien inte är direkt applicerbara på verklighetens mer variabla trädstammar. Resultaten är trots det en indikation på att det finns potential till att öka värdet av rundvirke av tall och gran om apteringen förflyttas från skogen och istället utförs efter skanning i datortomograf. Ännu en faktor som måste tas i beaktning är att de stammar som ingick i studien var apterade på 1990-talet. Om de apteringsprinciper som gällde då skiljer sig från dagens värdeaptering är dock oklart, men är ändå något som kan ha påverkat resultatens tillförlitlighet jämfört med om dataunderlaget varit nyligen apterat.

Enligt ett annat examensarbete som analyserade möjligheterna till längre stocklängder i det svenska skogsbruket är 75% av träden utan skador. Långböj visade sig utgöra den största delen av de skadade stammarna och röta var den andra vanligaste skadeorsaken (Henriksson 2019). Den så kallade kurvsågningen är väldigt vanlig idag bland de svenska sågverken och problemet med krokighet är inte lika stort. Volymutbytet har visat sig kunna öka med 2% när kurvsågningen nyttjas (Söderström & Sederholm 1988). Därmed är det möjligt att de stammar som används i denna studie inte skiljer sig så mycket från hur andra stammar ser ut i den svenska skogen.

Optimeringen kunde enbart utföras med en decimeters intervall. Anledningen var att det var för tidskrävande att testa varje centimeter av stammen vid apteringen. I Nordmarks (2005a) studie som testade olika apteringsunderlag var intervallen också på decimeternivå. Två granstammar testades med centimetersintervall och resultatet indikerar att intervallen har en påverkan på värdeökningen. Den ena diskuteras mer nedan och valdes eftersom det var den enda som fick negativt värde

vid optimeringen. Den andra granstammen fick 16% potentiell värdeökning istället för 15% om varje centimeter av stammen testades. Det visar att det är 1-2 procentenheter i skillnad för just dessa två stammar. Vid en studie med större tidsram hade det varit önskvärt att använda centimetersintervall för att få ett mer exakt resultat. Det är också viktigt att ha i åtanke att optimeringen är en simulering, alltså ett försök att efterlikna verkligheten. Detta, tillsammans med de noggrant utvalda trädstammarna som inte representerar den verkliga variationen, är de främsta svagheter i denna studie.

Sågningen utgick från en prislista (Tabell 3). Det går att anta att prislistan haft direkt påverkan på resultaten och dess utformning har alltså varit en viktig grund för hela studien. Men hur relationerna egentligen är mellan de olika kvaliteterna i sågverkens prislistor är oklart. Eftersom studien enbart grundat sig på denna enskilda prislista och ingen jämförelse med andra prisrelationer kunnat göras så kan det hända att prislistan inte är representativ.

Denna studie har baserats på ett stort dataunderlag, 360 stammar från olika delar av Sverige. Ingen tidigare studie har kunnat påvisa de resultat som framkommit här, eftersom andra studier främst fokuserat på sågning av redan apterade stockar. Resultaten blir därför, trots de svagheter som tidigare påpekats, indikationer på att det finns möjlighet till att öka rundvirkets värde. Det är dessutom en studie som varit omöjlig att utföra i verkligheten. Den apteringsoptimering som utfördes kunde enbart ha utförts i ett simuleringsprogram. Det är praktiskt ogenomförbart att aptera stammarna vid varje decimeter inom en prislistas längdintervall för att sedan se vilka sågutfall som det resulterar i och därefter ta beslut om vilken aptering som skulle utförts från början. Förutom detta så har tidigare studier, av exempelvis Nordmark (2005a) och Fredriksson (2014), inte gett resultat som kunnat visa potentialen beroende på geografi eller stamlängd. Detta examensarbete har därmed besvarat frågorna kring datortomografins möjligheter vid aptering med ett större perspektiv.

4.2 Genomsnittlig värdeökning

Bland slutavverkningsstammarna var det tall som fick högst genomsnittlig värdeökning på stammarna (12%) medan gran fick något lägre (9%). Gallringsstammarna av tall fick den högsta genomsnittliga värdeökningen av alla tre stambanker, hela 17%. Den totala värdeökningen för varje förbrukad volym var 9% i genomsnitt för alla tre stambanker. Standardavvikelseerna var relativt höga, 5% för både tall och gran från slutavverkningsbestånd samt hela 13% för gallringsstammarna. Detta beror på att det för alla tre stambanker fanns några extremer vad gäller värdeökningen. Tallstambanken hade 34% ökat värde som mest och granstambanken hade motsvarande 35%. Den granstam som fick negativ värdeförändring hade därmed också påverkan på standardavvikelsens storlek.

Gallringsstammarna hade 89% ökning av värdet som mest medan de övriga gallringsstammarna ökade mellan 3 och 36%. Det är alltså några få avvikande värdeökningar som orsakar de höga standardavvikelserna, majoriteten av stammarnas värdeökning finns inom denna spridning.

Resultaten stöds av en annan studie som kom fram till ungefär samma värdeökning om apteringen görs efter att stammen skannats i en datortomograf (Tabell 1) (Nordmark 2005a). Dock hade Nordmarks studie inte lika stort dataunderlag, enbart 48 unga tallar med maximalt 234 mm i brösthöjdsdiameter och kan därmed bäst jämföras med den värdeökning som gallringsstammarna fick vid optimeringen. I Fredrikssons studie från 2014 blev resultatet att användningen av en datortomograf kunde öka värdet för de sågade varorna med i genomsnitt 13%. Tall kunde öka med 14% och gran 12% i genomsnitt. Det gällde då datortomografen användes för att rotera stocken och posta sågen, jämfört med att enbart ta hänsyn till stockens yttre egenskaper (Fredriksson 2014). Detta skiljer sig från de resultat som framkommit ur detta examensarbete. Det beror på att ingen rotering eller postning utfördes beroende av hur stockarna såg ut på insidan. Alla stockar, de som apterats efter skanning och de med ursprunglig längd, sågades med krok upp och automatisk postning. Fredrikssons (2014) resultat visade också att jämfört med att enbart rotera stockarna krok upp så kunde värdet öka med 21% i genomsnitt om datortomografen istället använts. Det troliga är att en kombination av optimal aptering och optimal rotering samt postning, som i Nordmarks (2005a) studie, skulle ge större värdeökning för alla tre stambanker.

Granens prislista hade mindre spridning än prislistan för tall, det är därmed förklarligt att granstambanken hade lägst potential till ökat värde eftersom den ökning som skedde inte syntes lika väl som för tallstambanken och gallringsstammarna. Granstambanken hade en stam som avvek från de övriga och minskade i värde med ungefär 1% (Figur 2). Optimeringen borde inte apterat stammen på så vis att det nya värdet blev lägre än det ursprungliga. Anledningen till att det ändå blev en stam med lägre värde beror på att optimeringen enbart testade varje decimeter av stammen. En ny optimering gjordes för enbart denna granstam och med en centimeters intervall. Resultatet av den optimeringen blev att granstammen istället ökade med 1% i värde, vilket bekräftar att det tidigare negativa värdet berodde på intervallet. Den optimala apteringen fanns alltså någonstans mellan de testade decimetrarna och den ursprungliga apteringen var utförd så bra värdemässigt att optimeringen inte gjorde någon större skillnad.

För hela sågverksindustrins förbrukning och produktion skulle en genomsnittlig värdeökning med 9% för varje förbrukad volym innebära 4,1 miljarder kr. Detta är enkelt uträknat och inte några siffror som är helt korrekta, men det ger ändå en aning om vilka pengar det rör sig om. SCA till exempel som år 2018 sålde trävaror för 6,6 miljarder kr skulle kunna öka till över 7 miljarder kr utan att behöva öka förbrukningen av rundvirke (SCA 2018).

Holmen, som är en något mindre aktör, sålde 2018 för 1,7 miljarder kr och kan potentiellt öka till 1,9 miljarder kr (Holmen 2018) (Tabell 13).

Granstammarnas genomsnittliga värdeökning var lägre än de övriga stammarna som ingick i studien. Men eftersom gran utgör en stor del av den totala sågade varan i Sverige (kring 58% år 2017) så blir den totala skillnaden stor eftersom det handlar om så stor volym (VMU 2018). År 2018 och 2017 var den totala produktionen av sågad vara 18,3 miljoner m³sv/ år (Skogsindustrierna u.å.; VMU 2018) och gran utgjorde år 2017 58%, det vill säga 10,7 miljoner m³sv (VMU 2018). Granvolymens genomsnittliga värdeökning på 8% skulle innebära att det slutgiltiga värdet ökade från 26,7 miljarder kr till 28,8 miljarder kr, med genomsnittspriset 2500 kr/m³sv. En värdeökning med drygt två miljarder kronor är mycket pengar så även om granen fick lägst potentiell värdeökning enligt denna analys så utgör grantimret en stor del av den svenska sågverksindustrin och värdeökningen skulle bli markant.

Tabell 13. Förändring av försäljningsvärde för två aktörer inom sågverksindustrin i Sverige samt för hela den svenska sågverksindustrin

Table 13. Changes in sales value for two forest companies in Sweden and the changes for the whole Swedish sawmill industry

	Försäljningsvärde (Miljoner kr)	Nytt försäljningsvärde (Miljoner kr)	Ökning (Miljoner kr)
Holmen	1 747	1 904	157
SCA	6 618	7 214	596
Totalt svensk sågverksindustri ¹	45 700	49 813	4 113

¹) Räknat utifrån en total produktion av sågade trävaror på 18,3 miljoner m³sv /år (Skogsindustrierna u.å.) och ett genomsnittligt försäljningspris på 2500 kr/m³sv (cf. Holmen 2018; SCA 2018; Södra 2019a).

Gallringsstammarna som hade högst värdeökning av alla stambanker var de som var känsligast för prispförändringar med nära 3% skillnad av stambankens totala värde vid ökning eller minskning av prislisans spridning. Granstambanken var minst känslig för prispförändringar som vid jämförelse med ursprunglig prislista förändrades maximalt strax under 1%. Detta förklaras genom att prislistan för gran hade liten spridning redan i sin ursprungsform och därmed fick förändringen av spridningen inte så stor effekt. Slutavverkningsstammarna av tall höll sig kring 2% förändring av det totala värdet av stambanken och var därmed inte lika känsliga som gallringsstammarna. Detta trots att gallringsstammarna och slutavverkningsstammarna av tall hade samma prislistor (Tabell 3) vilket skulle kunna tyda på att gallringsstammarna inte är lika lämpade för helstamsuttag för att sedan apteras efter skanning i datortomograf vid sågverken.

Det finns flera aspekter som måste tas i beaktning för att kunna gå vidare med analyser kring den potentiella värdeökningen och i vilken utsträckning det är realistiskt att förändra avverkningsmetoderna. Eftersom det handlar om en förändring ända från avverkningsstadiet och till industrin så måste kostnaderna i hela kedjan tas med. I denna analys var inga drivnings- eller transportkostnader inkluderade, som är två viktiga kostnadsposter. Gallring har högre drivningskostnader än slutavverkning, i genomsnitt 191 kr/m³fub respektive 101 kr/m³fub vid slutavverkning (Skogskunskap 2019). Dessa kostnader kommer med största sannolikhet öka om skogsbruket ställer om till helstamsuttag, hur mycket är däremot oklart. Eftersom gallring var känsligare för prisförändringar vid sågen och dessutom hade högst kostnader vid avverkning så går det anta att det blir en tuffare balansgång för att få hela kedjan att hålla ett högt värde av råvaran. Det räcker inte med att industrin får ut mer högkvalitativ sågad vara utan det måste vara lönsamt hela vägen för att det ska finnas vilja att ändra avverkningsmetoderna. De analyser som utfördes inom ramen för detta examensarbete visade enbart att det finns en potential till värdeökning av den avverkade volymen, inget om kostnadernas proportioner.

4.3 Ökat sågutbyte

Alla tre stambanker fick högre sågutbyte efter optimeringen. För slutavverkningsstammarna ökade sågutbytet till 46% i genomsnitt, från att ha varit 43% för tall och 42% för gran. Gallringsstammarnas sågutbyte ökade från 34% till 40% och dessa stammar fick också störst ökning av total sågad volym (16%). Dock var det liten gallringsvolym och en ökning av det absoluta värdet gav stor relativ värdeökning. Förklaringen till att sågutbytet ökade för alla stambanker är att optimeringen valde att kapa fler stockar per stam, vilket minskade stocklängden. De främsta anledningarna var dels att optimeringen utfördes utan produktionsstyrning men också att prislistan tillät kortare stockar än vad prislistan som en skördare apterar utifrån tillåter. Det går därför anta att det blir enklare att anpassa stammarna till de produkter som ska sågas om apteringen görs enligt prislistan som används vid sågen.

Tidigare studier har visat att längre stocklängder ger lägre volymsutbyte, Steele 1984 gjorde en sammanfattning av de faktorer som påverkar volymsutbytet och stocklängden är en av dem. I en annan studie av Nordmark m.fl. från 2005 nämns att det lägre sågutbytet som blir av längre stockar kan kompenseras av lägre produktionskostnader och högre försäljningspris (Nordmark m.fl. 2005). Men med kortare stockar minskar naturligt avsmalningen och möjligheten att få ut mer sågad vara ökar. Med kortare stockar finns också större chans att styra bort de delar av stammen som har lägre kvalitet, genom att kapa precis vid en ansamling av kvistar och se till så de inte hamnar mitt på den sågade varan.

Värdeökningen som apteringsoptimeringen gav kan till stor del bestå av det ökade sågutbytet. Studien av Urban Nordmark (2005a) där gallringsstammar apterades optimalt efter skanning påvisade vad som hade störst inverkan på värdet. Studien kom fram till att värdet och det sågade utbytet är starkt korrelerat samt att det var apteringen som hade störst inverkan på dessa två faktorer. Vilket underlag (3D, CT) som användes vid beslut om postning hade mindre betydelse för det slutgiltiga värdet och utbytet (Nordmark 2005a). Det indikerar att en stor del av den värdeökning som erhöles i denna studie kan vara kopplad till den ökade mängden sågad vara.

4.4 Värdeökning beroende av stamlängd och geografi

Pearsons korrelationskoefficient visade att det fanns ett signifikant samband mellan stamlängd och värdeökning för slutavverkningsstammarna. Dock var korrelationen negativ vilket motsade hypotesen om att ökad stamlängd också ökar potentialen till ökat värde. Tanken bakom hypotesen var att antalet möjliga optimala apteringar ökar om stamlängden ökar, men det stämde alltså inte enligt denna analys. Korrelationskoefficienten visade istället att det finns en tendens till att de kortare slutavverkningsstammarna får högre värdeökning om apteringen utförs efter skanning i datortomograf. Korrelationerna $-0,318$ (slutavverkning tall), $-0,227$ (slutavverkning gran) var inte i närheten av -1 så något starkt samband mellan stamlängd och värdeökning fanns inte. För gallringsstammarna var p-värdet högre än $0,05$ och korrelationen var därmed inte signifikant. Det innebar att oavsett stamlängd så var den genomsnittliga värdeökningen ungefär likadan.

Den geografiska variationen visade sig ha liten betydelse för resultatet. Granstambanken hade ungefär samma värdeökning oavsett landskap, enbart för tallstambanken kunde en skillnad utläsas från analysen med envägs-ANOVA. Hälsingland och Småland hade 8% respektive 13% genomsnittlig värdeökning och skiljde sig signifikant åt. Samma gällde mellan Södermanland och Småland där Södermanland hade 8% genomsnittlig värdeökning. Stammarna från Västerbotten hade även de 13% genomsnittlig värdeökning och dessa skiljde sig åt från stammarna från Södermanland. De tallstammar som var plockade i Hälsingland och Södermanland hade alltså lägre värdeökning än de övriga, de andra landskapen hade 12-13%. Vid en kontroll av beståndens historia finns ingen tydlig förklaring till varför just dessa skulle få lägre potentiell värdeökning. Två av bestånden från Hälsingland har föryngrats med sådd och det tredje med plantering. De sådda hade krongallrats och låggallrats medan gallringen i det bestånd som planterats var benämnd som fri. Södermanlands bestånd har alla tre föryngrats genom självsådd och gallrats med stark krongallring, stark låggallring och låggallring. Samtliga av dessa föryngringsmetoder och gallringsmetoder fanns representerade bland de övriga bestånden, det går därmed inte förklara den geografiska skillnaden med enbart skötselmetoderna. Vid en kontroll av referensens värden av stammarna

visade det sig att stammarna från Hälsingland och Södermanland hade något högre värde/m³fub än de övriga. Det skulle kunna vara så att stammarna från dessa två landskap hade något högre kvalitet än de övriga i dataunderlaget, eftersom deras värden var högre. Alternativt är förklaringen att de stammar som apterades vid urvalet till stambanken apterades så bra redan från början att värdet inte gick att öka lika mycket som för de andra stammarna.

4.5 Längre rotstock

Analysen angående längre rotstockar gjordes främst för att se om det skulle finnas någon medelväg mellan helstam och de apteringsprinciper som nyttjas idag. På detta sätt skulle kostnaderna både för drivning och transport till industri kunna minskas, jämfört med helstamshantering. När de optimerade stocklängderna sammanfogades till nya rotstockar blev resultatet för slutavverkningsstammarna att den nya rotstocken utgjorde i genomsnitt 62% (tall) och 53% (gran) av stammens totala värde. Det visar att en stor del av värdet finns i den längre rotstocken och att potentialen till att öka värdet borde vara relativt högt om rotstockarna apteras längre än vad som görs idag. Gallringsstammarna hade naturligt nog större andel av värdet i rotstocken, 94%, eftersom stammarna var kortare. Majoriteten av de sammanfogade stockarna blev kortare än maxlängden och medellängden på de nya rotstockarna blev 6,4 m (slutavverkning tall), 6,0 m (slutavverkning gran) och 6,2 m (gallring tall). I genomsnitt sammanfogades två stockar till den ”nya” rotstocken, det var några stammar vars optimala rotstockar var för långa för att kunna sammanfogas utan att överskrida maxlängden på åtta meter. Av de 198 tallstammarna från slutavverkningsbestånden var det 150 stammar som kunde sammanfoga minst två av de nedersta stockarna till en längre rotstock. För gran var det 65 av 114 stammar och för gallringsstammarna var det 40 av 44. Standardavvikelseerna för de tre stambankerna får tolkas som så att det i genomsnitt kan sammanfogas två stockar men att spridningen var ungefär en stock (Tabell 12). En ny längre stock behöver inte gälla enbart rotstockar, som denna studie undersökt. Även resterande stam utöver rotstocken, bör kunna apteras i längre stockar för att även de ska få sin slutgiltiga aptering efter skanning i datortomograf.

Det finns alltså möjlighet att sammanfoga ungefär två optimerade stockar och med dessa nya stocklängder kan de skördare och skotare som används idag fortsätta att nyttjas. Även dagens lastbilar som transporterar stockarna ska kunna användas utan problem. Om maxlängden var över åtta meter skulle eventuellt upp till tre stockar vara möjliga att sammanfogas istället. Det skulle ge färre kap i skogen och det slutgiltiga värdet på den förbrukade volymen borde kunna ökas mer än om enbart två stockar sammanfogades. Det gäller dock att finna en stocklängd som ökar möjligheten till värdeökning när slutgiltig aptering görs efter skanning men som också är hanterbar i alla led. Beroende på exempelvis lastbilens lastlängd så är olika stocklängder passande (Uusitalo 2010).

Om stammarna apteras i några enstaka bitar i skogen, exempelvis maximalt åtta meter som undersökts här, så återstår slutgiltig aptering när stockarna anlänt till industrin och möjligheten till inside-baserad längdoptimerad värdeaptering finns kvar. Färre kap i skogen resulterar också i att mer spån och flis kan nyttjas av industrin istället för att gå till spillo i skogen. Andra metoder har föreslagits för att öka värdet av skogsråvaran, bland annat av Harstela (1999). Idén gick ut på att helstamsmetoden nyttjades i närheten av industrin och att sortimentsmetoden tillämpades vid längre transportavstånd. I texten påpekades också att sortimentsmetoden är mer kostnadseffektiv. Den ökade kostnaden nämns även av Wilhelmssons (2000). Helstamsuttag innebär större risk för att timret blir förorenat av jord, eftersom stammarna släpas ut till bilväg (Harstela 1999). Med någon form av längre maxlängder på stockarna skulle dessa negativa faktorer kunna undvikas, åtminstone till viss del. Den potentiella värdeökningen skulle dessutom fortfarande kunna erhållas eftersom apteringen slutförs efter skanning i datortomograf. Råvaran blir också mer lätthanterlig och omställningen från dagens metod blir inte lika omfattande.

4.6 Produktionsstyrning

En viktig faktor vid sågning av sågtimmer är vilka produkter som är önskvärda. Varje sågverk har troligtvis sin egen styrning mot specifika dimensioner av de sågade varorna. Optimeringen tog enbart hänsyn till värdeökningen på rundvirket, oavsett längder inom prislistan på det sågade utbytet. Optimeringen var alltså programmerad för att aptera varje stam så att stammen fick maximalt värde. Nordmark (2005a) jämförde olika beslutsunderlag (3D, CT) för aptering och jämförde också att aptera med eller utan styrning av produktionen. Resultaten kunde visa att det blev någon procent mindre värdeökning om produktionsstyrning lades på. Om den genomsnittliga värdeökningen för varje förbrukad volym skulle minska från 9% till exempelvis 8%, vilket skulle kunna ske om produktionsstyrning lades till, skulle det nya försäljningsvärdet bli 49,4 miljarder kr istället för 45,7 miljarder kr (Tabell 13). Det är 3,7 miljarder kr mindre värdeökning än utan produktionsstyrning. Men om värdeökningen överskrider de ökade hanteringskostnaderna samt resulterar i bättre betalda sågade varor så bör det ändå vara motiverat.

4.7 Slutsatser

Studien har visat att det finns potential till att öka trädstammars värde genom att förflytta apteringen till efter att stammens insida blivit känd. Resultaten visar att för varje avverkad volym finns chans till genomsnitt 9 % värdeökning. Inga slutsatser kan dras huruvida drivningskostnader eller övrig hanteringskostnad kommer påverka det slutgiltiga nettovärdet av trädstammarna. Genom att öka maxlängden för stockarna och utföra en slutgiltig aptering efter skanning skulle dock kostnaderna minskas och råvaran skulle vara mer lätthanterlig jämfört med helstam. Hela landet har möjlighet att åtnjuta dessa värdeökningar eftersom varken stamlängden eller geografi hade någon större påverkan på värdeökningen. Undantaget var för tallstambanken i Hälsingland och Södermanland där det var något lägre potential.

Detta synsätt behöver uppenbarligen fortsatta studier. Tidigare studier som påvisat fördelarna med datortomografi vid rotering och postning samt denna studie är indikationer på att det finns en potential till högre värden. Det finns intressanta frågor som förhoppningsvis kommer att kunna besvaras i senare forskning. Ett exempel är möjligheten till någon form av längre standardlängd för stockarna, som kan hanteras med dagens skotare och lastbilar, men ändå få slutgiltig aptering efter skanning på sågverket.

5 Referenslista

5.1 Skriftliga källor

- Berggren, G., Grundberg, S., Grönlund A. & Oja, J. (2000), *Final Report subtask AB1.1 Improved Spruce timber utilisation "STUD". Stand and treeselection, field measurements of stand, tree and log properties*. Uppsala: Forestry-Industry-Market Studies, Swedish University of Agricultural Science. (Report FAIR CT96-1915).
- Fredriksson, M. (2014). *Log sawing position optimization using computed tomography scanning*. Wood Material Science and Engineering 9, 110-119. DOI: 10.1080/17480272.2014.904430.
- Fredriksson, M., Broman, O. & Sandberg, D. (2017). *The use of CT-scanning technology in wood value-chain research and in wood industry- A state of the art*. Pro Ligno, 13(4), 533-539.
- Funt, B. & Bryan, E. (1987). *Detection of internal log defects by automatic interpretation of computer tomography images*. Forest Products Journal 37(1), 56-62.
- Gellerstedt, S. & Dahlin, B. (1999). *Cut-To-Length: The Next Decade*. Journal of Forest Engineering,
- Grönlund, A., Björklund, L., Grundberg S. & Berggren G. (1995). *Manual för furustambank*. Luleå: Avdelningen för träteknik, Luleå Tekniska Universitet (Teknisk rapport 1995:19 T).
- Harstela, P. (1999). *The future of timber harvesting in Finland*. Journal of Forest Engineering, 10(2), 33-36.
- Henriksson, A. (2019). *Längre stocklängder i svensk skogsindustri- Potential och förutsättningar*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. (Examensarbete, Jägmästarprogrammet 2019:7)
- Hjelm, J. (1991). *Skogsarbetarna och motorsågen: en studie av arbetsliv och teknisk förändring*. Diss. Umeå: Humanistiska fakulteten, Umeå universitet.
- Holmen (2018). *Årsredovisning 2018*. Stockholm: Holmen. Tillgänglig: <http://investors.holmen.com/files/press/holmen/201903130737-1.pdf> [2020-01-07]

- Hurlock, S.G., Higashino, H. & Mochizuki, T. (2009). *History of cardiac computed tomography: single to 320-detector row multislice computed tomography*. The International Journal of Cardiovascular Imaging, 25, 31-42. DOI: 10.1007/s10554-008-9408-z
- Moberg, L. & Nordmark, U. (2006). *Predicting Lumber Volume and Grade Recovery for Scots pine Stems using Tree Models and Sawmill Conversion Simulation*. Forest Products Journal 56 (4), 68-74.
- Nordmark, U. (2003). *Models of Knots and Log Geometry of Young Pinus sylvestris Sawlogs Extracted from Computed Tomographic Images*. Scandinavian Journal of Forest Research, 18(2), 168-175. DOI: 10.1080/02827580310003740
- Nordmark, U. (2005a). *Value recovery and production control in bucking, log sorting, and log breakdown*. Forest Product Journal, 55(6), 73-79.
- Nordmark, U. (2005b). *Value Recovery and Production Control in the Forestry-Wood Chain using Simulation Technique*. 2005:21. Diss. Skellefteå: Luleå University of Technology.
- Nordmark, U., Eklund, M. & Nygren, M. (2005). *Targeting the length of lumber- a case study of small dimension softwood sawmill*. Forest Product Journal.
- Norra Skogsägarna (2018) *Invigning av världens modernaste såglinje*. Tillgänglig: <https://www.norra.se/om-norra/information-och-press/press/invigning-av-varldens-modernaste-saglinje?type=press> [2019-12-20]
- Norra Skogsägarna (2019). *Årsberättelse 2018*. Original i Umeå, Aktiekopia, Umeå 2019.
- Olofsson, L., Möller, C-J., Wendel, C., Oja, J. & Broman, O. (2019). *New possibilities with CT scanning in the forest value chain*. International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 21.
- Rundvirke Skog (2017). *Handledning för effektiv och säker stolpskotning*. [Broschyr] Tillgänglig: <https://www.rundvirkeskog.se/specialsortiment/> [2019-12-27]
- SCA (2018). *Årsredovisning 2018*. Sundsvall: SCA. Tillgänglig: https://www.sca.com/globalassets/sca/investerare/arsredovisningar-pdf/sca_arsredovisning-2018_sve2.pdf [2020-01-07]
- SDC (2018). *Kvalitetsbestämning av sågtimmer av tall och gran*. SDC Nationella instruktioner för virkesmätning.
- Sennblad, G. (2008). *Aptering och virkeskännedom III*. [3., omarbetad utgåva]. Hedemora: Firma Småskog.
- Skogskunskap (2019). *Kostnader för avverkning*. Tillgänglig: <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/priser--kostnader/kostnader-for-avverkning/> [2020-01-07]
- Skogsindustrierna (u.å.). *Sågade trävaror- produktion och handel*. Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> [2019-12-17]
- Skogsstyrelsen (2017). *Bruttoavverkning 2017 och preliminär statistik för 2018*. Sveriges officiella statistik.

- Skogsstyrelsen (u.å). *Avverkningens brutto- och nettovärde, resultat efter kostnader i 2016 års prisnivå (justerat med KPI). År 1951-2016*. Skogsstyrelsens Statistikdatabas. Tillgänglig:
http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas_Ekonomi/1_Avverkningarnas%20brutto-%20och%20rotnettovarden.px/table/tableViewLayout1/?rxid=fe35ed2b-b205-41a0-aecb-73d18bd2d19e [2019-09-03]
- Steele, P.H. (1984). *Factors Determining Lumber Recovery in Sawmilling*. Madison: Department of Agriculture. Forest Products Laboratory (Technical Report FPL-39).
- Svenskt trä (2016). *Handelssortering av sågade trävaror i Europa enligt SS-EN 1611-1*. Stockholm: Skogsindustrierna, Svenskt trä.
- Söderström, O. & Sederholm, J. (1988). *Sågsättets inverkan på virkeskvaliteten efter torkning*. Stockholm: TräteknikCentrum (Rapport 8701001).
- Södra (2019a). *Södras delårsrapport 1 april-30 juni 2019*. Växjö: Södra Skogsägarna. Tillgänglig:
<https://www.sodra.com/sv/om-sodra/detta-ar-sodra/finansiell-information/> [2020-01-07]
- Södra (2019b) *Våra anläggningar*. Tillgänglig:
<https://www.sodra.com/sv/travaror/om-verksamheten/vara-anlaggningar/> [2019-12-17]
- Uusitalo, J. (2010). *Introduction to Forest Operations and Technology*. Tampere, JVP Forest Systems.
- Vida (2019). *Våra sågverk*. Tillgänglig:
<https://www.vida.se/vara-sagverk/> [2019-12-17]
- VMU (2018). *Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2013-2017*. Sundsvall: SDC/VMU. Tillgänglig:
http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjztrY_vPmAhVtwcQBHY82AekQFjAAe_gQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.sdc.se%2Fdefault.asp%3Fid%3D3722&usq=AOvVaw0SuAp2MOcl0YMjsHiAjm7n [2019-12-17]
- Von Essen, I. & Möller, J.J (1997). *Fördelningsaptering på mindre trakter*. Uppsala: Skogforsk.(Skogforsk Rapport, 371)
- Wilhelmsson, L., Möller, J.J. & Arlinger, J. (2019). *Betalningsgrundande eller betalningsstödjande virkesmätning med skördare*. Uppsala: Skogforsk. (Skogforsk Arbetsrapport: 1032-2019)
- Wilhelmsson, L. (2000). *Skördaren- nyckeln till att beskriva och utnyttja råvarans varierande egenskaper effektivt*. Uppsala: Skogforsk. (Skogforsk Rapport, 2000:465)
- Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. (1997). *Hur mycket är det värt att mäta diametern ”rätt” i skördaren? – Några ekonomiska reflexioner och ett försök till värdering*. Uppsala: Skogforsk. (Skogforsk Rapport, 1997:366)
- Åstrand, E. (1996). *Automatic Inspection of Sawn Wood*. Linköping: Universitet.

5.2 Muntliga källor

Johan Oja, Teknisk ansvarig vid Industriutveckling, Norra Skogsägarna
Skeppargatan 1 Box 4076, 904 03 Umeå [2019-09-20]