

## Lönsamhet vid fröträdsavverkningar på torvmark i östra Småland

*Profitability of seed tree-cuttings on peat soil sites in the province of  
Småland, south Sweden*



Foto: Erik Sköld

**Erik Sköld**





# Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2017:6

## Lönsamhet vid fröträdsavverkningar på torvmark i östra Småland

*Profitability of seed tree-cuttings on peat soil sites in the province of  
Småland, south Sweden*

**Erik Sköld**

**Keywords / Nyckelord:**

Avverkning av fröträd, bärighet, drivningsnetto, fröträdsställning, nettointäkt, virkesförråd /  
*Seed tree felling, bearing capacity, net revenue of logging, seed trees, net revenue, standing  
forest volume*

---

ISSN 1654-1898

Umeå 2017

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest management*

EX0770, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Björn Hånell

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Extern handledare / *External supervisor*: Mikael Grahn, Sveaskog, Avverkningsledare,

Resultatområde Växjö

Examinator / *Examiner*: Anders Karlsson

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

*This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.*

## FÖRORD

Examensarbetet har utförts på uppdrag av Sveaskog AB och är tänkt att vara vägledande vid skoglig planering när beslut ska fattas om huruvida en fröträdsställning kan avverkas eller ej. Idén till arbetet gavs av avverkningsledare Mikael Grahn på Sveaskog, resultatområde Växjö. Examensarbetet omfattar 30 hp och har utförts vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå vid institutionen för skogens ekologi och skötsel med inriktning mot skogshushållning.

Jag vill framföra ett varmt tack till min förnämliga handledare Björn Hånell vid institutionen för skogens ekologi och skötsel vid Sveriges Lantbruksuniversitet för allt stöd, alla bättringsförslag och all positiv respons under arbetet. Jag vill också tacka min biträdande handledare Mikael Grahn på Sveaskog för idén som har lett till examensarbetet, men också för den hjälp jag fått under arbetet samt det trevliga bemötandet jag fick när jag besökte Sveaskogs kontor i Växjö inför fältarbetet. Sedan framför jag ett stort tack till Kajsa Henriksson, områdesansvarig på Sveaskog, för all den hjälp med praktiska ärenden och det mycket trevliga bemötandet under såväl fältarbetet som vid efterarbetet. Ett tack utgår också till Nicklas Johansson, skogsmaskinförare på Gransås Skogs- och Lantbruks AB, som tog sig tid att i fält hjälpa mig att få en inblick i maskinförarens perspektiv vid drivningsarbete på marker med låg bärighet. Jag skulle också vilja tacka Erik Wilhelmsson och Ola Lindroos, båda vid SLU, som tog sig tid och hjälpte mig utreda vissa praktiska aspekter av arbetet. Ytterligare ett tack skall framföras till Fonden för Tor Jonssons minne som hjälpte till att delvis finansiera de utgifter som medföljde fältarbetet. Slutligen vill jag tacka min far, Mikael Sköld, som var stöttande och gav mig mycket positiv energi under de intensiva fältinventeringsveckorna i Småland.

Umeå, lördag den 28 januari 2017

Erik Sköld

## SAMMANFATTNING

Utav Sveriges ca 10 miljoner ha myrar och torvmarker utgörs knappt en femtedel av produktiv skogsmark som omfattar ett ungefärligt virkesförråd på 256 miljoner m<sup>3</sup>sk. På sitt innehav i sydöstra Småland slutavverkar Sveaskog AB tiotusentals m<sup>3</sup>fub årligen på torvmarker och marker med låg bärighet där naturlig föryngring med fröträäd använts som föryngringsmetod. Företaget har tydliga ekonomiska resultatmål vilket motiverar att undersöka lönsamheten vid slutavverkning av fröträden.

Genom en systematisk och slumpmässig utläggning av cirkelprovytor på samtliga 14 försöksområden uppskattades bl.a. virkesförråd, medeldiameter och stamantal. Samtidigt undersöktes hur torvmäktigheten varierade. Utbytesberäkningar utfördes sedan för att uppskatta intäkter och skogsmaskinskostnader beräknades i produktivitetsscenarioer. Intäkterna och kostnaderna gav åtta scenarier med potentiellt slutavverkningsnetto per försöksområde. Vidare gjordes en känslighetsanalys och där undersöktes hur förändringar i virkespriser och försöksområdenas virkesförråd påverkar slutavverkningsnettot.

Försöksområdenas totala virkesförråd varierade mellan ca 94 m<sup>3</sup>sk och 600 m<sup>3</sup>sk och per hektar varierade det mellan 47 och 91 m<sup>3</sup>sk. Torvens mäktighet varierade på försöksområdena och oftast, som väntat, var fastmarksinslaget litet. Ett fåtal hade dock tydliga fastmarksinslag. Den potentiella nettointäkten tyder på goda förutsättningar för lönsamhet vid avverkning av fröträden i flera fall. För ett lågt produktivitetsscenario varierade nettointäkten från 3 300 SEK/ha till 15 500 SEK/ha mellan försöksområdena. Känslighetsanalysen visar att försöksområdets nettointäkt på områden med låga virkesförråd påverkas i större utsträckning av förändringar i virkespris, men i mindre utsträckning av förändringar i virkesförrådet. Motsatta förhållanden gäller för försöksområden med höga virkesförråd.

Slutsatsen är att förutsättningar för att göra ekonomiskt lönsamma avverkningar av fröträden finns på de flesta försöksområdena, samt att det enligt utförda beräkningar krävs ett virkesförråd på ca 20-25 m<sup>3</sup>sk/ha för att nettointäkten per hektar ska vara positiv. För att dessutom täcka en flyttkostnad för skogsmaskiner på 4 000 SEK krävdes det enligt beräkningarna mellan 35 och 49 m<sup>3</sup>sk/ha. Några försöksområden kan anses vara gränsfall ifråga om lönsam avverkning, men en slutavverkning av fröträden kan ändå vara fördelaktig eftersom att kvarlämnade träd kan orsaka komplikationer i framtiden.

Nyckelord: Avverkning av fröträäd, bärighet, drivningsnetto, fröträdsställning, nettointäkt, virkesförråd

## SUMMARY

Out of the around 10 million hectares of peat-covered land in Sweden, roughly one fifth can be classified as productive forest land. This area contains a standing forest volume of about 256 million m<sup>3</sup> over bark. In the province of Småland, south Sweden, the state forest company Sveaskog AB is harvesting tens of thousands of m<sup>3</sup> on sites with low bearing capacity. On these sites natural forest regeneration with seed trees has been commonly used. The company has a clear set of economic objectives that justify studies on the profitability of forest operations such as seed tree cuttings

Circular sample plots were randomly and systematically laid out on 14 different study areas and the standing forest volume, mean diameter and number of stems of the stands were estimated as well as the varying peat thickness of the sites. Timber exchange calculations were made for estimating the wood revenues and the cost of doing forest operations with heavy machinery were calculated in different productivity scenarios. The potential revenues and costs were put together to eight different scenarios where the net revenues of the forest operations were calculated for each study area. Furthermore a sensitivity analysis was made to review in which extent changes in timber prices and quality of the input data affects the potential seed tree cutting net revenues.

The standing forest volume in the study areas varied between 94 m<sup>3</sup> and 600 m<sup>3</sup>, corresponding to 47 - 91 m<sup>3</sup> per hectare (over bark). Most of the study sites were covered with thick peat whereas a few sites were dominated by mineral soils. The calculated potential net revenues suggest that profitable seed tree cuttings can be made in several of the study areas. In a low productivity scenario for all study areas the net revenue ranged from 3300 SEK/ha to 15 500 SEK/ha. The sensitivity analysis showed that the net revenue for study areas with low standing forest volume was more affected by changes in timber prices, but less affected by changes in standing forest volume input, than areas with high volume. It also showed that the net revenues in study areas with low standing forest volume was affected to a lesser extent when the forest volume were varied, than study areas with high standing forest volume.

It can be concluded that economically profitable seed tree cuttings are possible on most of the studied areas. According to the calculations, a standing volume of 20-25 m<sup>3</sup>/ha (over bark) is required to make a positive net revenue. Furthermore, a standing volume of 35-49 m<sup>3</sup>/ha (over bark) is needed to also cover the expenses of moving the forest machinery that is estimated to be about 4 000 SEK. Even though profitability of some sites is uncertain cutting the seed trees may still be beneficial, since remaining trees may cause complications in the future.

Keywords: Seed tree felling, bearing capacity, net revenue of logging, seed trees, net revenue, standing forest volume

# INNEHÅLL

<b>1. INLEDNING</b> .....	1
<b>1.1. Bakgrund</b> .....	1
<b>1.2. Syfte</b> .....	3
<b>1.3. Frågor att besvara</b> .....	3
<b>2. MATERIAL OCH METODER</b> .....	4
<b>2.1. Försöksområden</b> .....	4
<b>2.2. Urval</b> .....	5
<b>2.3. Inventeringsmetod</b> .....	5
2.3.1. <i>Generell beskrivning av inventering</i> .....	5
2.3.2. <i>Provytor</i> .....	5
2.3.3. <i>Fältutrustning</i> .....	6
2.3.4. <i>Navigering mellan provytor</i> .....	6
2.3.5. <i>Mätning på provytor</i> .....	6
<b>2.4. Datahantering</b> .....	8
2.4.1. <i>Allmänt</i> .....	8
2.4.2. <i>Skogliga variabler</i> .....	8
2.4.3. <i>Beräkning av medelfel på virkesförrådsskattning</i> .....	9
2.4.4. <i>Markvariabler</i> .....	10
<b>2.5. Utbytes-, intäkts- och kostnadsberäkningar</b> .....	10
2.5.2. <i>Utbytesberäkningar</i> .....	11
2.5.3. <i>Intäktsberäkningar</i> .....	11
2.5.4. <i>Kostnadsberäkningar</i> .....	12
<b>2.6. Analys och känslighetsanalys</b> .....	12
2.6.1. <i>Allmänt</i> .....	12
2.6.2. <i>Analys av sämsta möjliga utfall</i> .....	12
2.6.3. <i>Framtagande av regressionsfunktioner</i> .....	13
2.6.4. <i>Känslighetsanalys, virkespriser</i> .....	13
2.6.5. <i>Känslighetsanalys, virkesförråd</i> .....	13
<b>3. RESULTAT</b> .....	15
<b>3.1. Virkesförrådsinventering</b> .....	15
<b>3.2. Markinventering</b> .....	16
<b>3.3. Potentiellt avverkningsnetto</b> .....	17
<b>3.4. Känslighetsanalys</b> .....	25
3.4.1. <i>Allmänt</i> .....	25



3.4.2.	<i>Virkespriser</i> .....	26
3.4.3.	<i>Virkesförråd</i> .....	27
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1.</b>	<b>Virkesförrådsinventering</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.</b>	<b>Markinventering</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.</b>	<b>Potentiellt avverkningsnetto</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4.</b>	<b>Känslighetsanalys</b> .....	<b>37</b>
4.4.1.	<i>Virkespriser</i> .....	37
4.4.2.	<i>Virkesförråd</i> .....	37
<b>4.5.</b>	<b>Fortsatta eller alternativa studier</b> .....	<b>38</b>
<b>5.</b>	<b>SLUTSATS</b> .....	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>40</b>
<b>7.</b>	<b>BILAGOR</b> .....	<b>44</b>
<b>7.1.</b>	<b>Bilaga 1.</b> .....	<b>44</b>
<b>7.2.</b>	<b>Bilaga 2.</b> .....	<b>46</b>
<b>7.3.</b>	<b>Bilaga 3.</b> .....	<b>48</b>

# 1. INLEDNING

## 1.1. Bakgrund

I Sverige finns det idag ungefär 10 miljoner ha myrar och torvmarker. Det innebär att omkring en fjärdedel av Sveriges totala landareal är täckt av torv (Hånell, 1990) (SCB, 2016). Utav den mäktiga totalarealen myrmarker i landet så består runt omkring 1,7 miljoner ha av torvmark som är produktiv skogsmark och det potentiella sammanlagda virkesförrådet på dessa marker är uppskattat till ca 256 miljoner m<sup>3</sup>sk (Hånell, 2009) (Drott, 2016). Enligt Drott (2016) så är också den sammanlagda årliga skogsvolymtillväxten på de produktiva torvmarkerna beräknad att vara kring 7,3 miljoner m<sup>3</sup>sk/år. En viktig förnyelsebar resurs är just det virke som växer på beskogade torvmarker (Päivänen & Hånell, 2012). I en framtid med ökat fokus på att samhället ska minska sitt beroende av fossila råvaror och använda förnyelsebara råvaror i större utsträckning så kan det vara en viktig del att utnyttja de resurser som finns tillgängliga.

Det finns många olika termer och ord för att beskriva och dela in olika typer av torvmarker. För det första så finns det den övergripande termen våtmark som används i samband med Naturvårdsverkets våtmarksinventering (VMI) där den definieras som följande: ”Våtmark är en sådan mark där vatten under en stor del av året, finns nära under, i eller strax över markytan samt vegetationstäckta vattenområden” (Löfroth, 1991). Våtmarker delas sedermera in i våt fastmark, som är mark där torvens mäktighet understiger 30 cm och torvmark där torvens mäktighet är minst 30 cm (Drott, 2016).

Baserat på ett medeltal från de fem senaste åren slutavverkas skog på ca 200 000 ha i Sverige årligen vilket motsvarar årliga volymer på runt 50 miljoner m<sup>3</sup>sk (Skogsdata, 2016). Givetvis sker då också slutavverkning på torvmarker, tyvärr finns det inga exakta uppgifter på riksnivå ifråga om slutavverkning på torvmarker. Ett exempel är dock att Sveaskog sedan några år tillbaka uppskattningsvis har slutavverkat 500-600 ha årligen på sitt innehav i landets södra delar (Drott, 2016).

Förutsättningarna för att utföra slutavverkningsåtar på torvmark skiljer dock från de förutsättningar som råder på fasta och mineraljordsdominerade marker. Den kanske mest framträdande skillnaden är relaterad till markens bärighet och att den generellt är betydligt lägre på torvtäckta marker. Det finns emellertid andra skillnader som är kopplade till ökade avverkningskostnader, en är t.ex. att det oftare förekommer diken som måste passeras (Päivänen & Hånell, 2012).

Bärigheten kan beskrivas som markens motståndskraft mot att tryckas ihop. Denna motståndskraft är i mineraljordar generellt beroende av kohesionen, d.v.s. attraktionskraften mellan lerpartiklar och mellan lerytor och vattnet i små porer (Brady & Weil, 2002), samt av friktionen mellan partiklarna i marken (Greacen & Sands, 1980). En mer praktisk beskrivning av bärighetfaktorer ges av det terrängtypschema som ofta används i praktiska sammanhang. I terrängtypschemat beskrivs jordart, fuktighet och armering i marken som de påverkande faktorerna. Med armering avses i vilken utsträckning stenar, block, rötter och trädrester bidrar till förstärkning av marken (Berg, 2006). Faktorer som påverkar bärigheten mer specifikt på torvmarker är virkesförrådet, mängden tillgängliga avverkningsrester (GROT), torvens

hållfasthet samt det översta marklagrets fukttinnehåll (Uusitalo & Ala-Ilomäki, 2013) (Uusitalo, et al., 2015).

På mark med låg bärrighet ökar risken för körskadorna. Ett antal faktorer som påverkar riskerna för körskadorna är topografi, jordart, jorddjup, markfuktighet, marktryck och hur mycket avverkningsrester (ris och toppar) som finns tillgängligt för att täcka marken (Froelich, 1976). Markkompaktering är en typ av körskada som kan uppkomma och ett bekymmer med kompakteringen är att rottillväxten hos intilliggande träd kan hämmas, vilket kan minska trädens möjligheter för upptag av vatten och näring (Wästerlund, 1984). Ytterligare en komplikation som kan förekomma vid markkompaktering är att trädrötterna drabbas av syrebrist (Magnusson, 2009). Risken för erosion och därmed ett ökat flöde av markpartiklar till olika vattendrag bör också nämnas i samband med körskadorna eftersom höghumifierade torvjordar tenderar att vara mer lättroderade (Magnusson, 2009). Kvicksilverutlakning till vattendrag kan också bli en konsekvens där markskador skett i närhet till vattenförande bäckar och diken. Kvicksilver förekommer naturligt i skogsmarken på grund av att ämnet spridits i landskapet via atmosfären. Den problematik som uppkommer med kvicksilvret är när det hamnar i en syrgasfri miljö, exempelvis en våtmark. Då kan kvicksilvret delvis omvandlas till så kallat metylkvicksilver. Skillnaden mellan kvicksilver som förekommer naturligt som oorganiskt kvicksilver och metylkvicksilver är att det senare kan lagras i levande organismer och därför sprida sig i näringskedjorna och påverka levande organismer negativt (Magnusson, 2009).

Naturlig förnyring av tall har de senaste decennierna årligen stått för återbeskogning av ungefär 60 000 ha i Sverige. Det motsvarar runt 25 % av landets årliga skogsförnyingsareal (Karlsson, et al., 2009). Förutom att naturlig förnyring av tall är landets näst vanligaste förnyingsmetod så är den enligt Karlsson et al. (2009) dessutom lämplig för fuktiga marker. Det gäller särskilt ståndorter där vegetationen domineras av blåbär och växtplatser som inte är näringsrika. I Karlsson et al. (2009) nämns ett antal för- och nackdelar med naturlig förnyring som förnyingsmetod. En styrka som tas upp är att förnyingskostnaderna kan bli lägre om naturlig förnyring används jämfört med exempelvis plantering. En annan fördel som nämns är den potentiella nyttan av de skärmeffekter som uppkommer till följd av att fröträd lämnas kvar på ståndorten. Exempel på positiva skärmeffekter är ett gynnsammare temperaturklimat för plantor. Dessutom gör fröträden att såväl hyggesvegetation som grundvattennivå hålls tillbaka, vilket gynnar de känsliga plantorna. Ytterligare en fördel är den värdeökning som ges av de kvarlämnade fröträdens tillväxt. Några svagheter med metoden enligt Karlsson et al. (2009) är dock att förädlad plantmaterial för ökad tillväxt ej kan nyttjas, vilket i jämförelse med plantering kan innebära en nackdel. På grund av den ökade etableringstiden för beståndet, nedsatt diametertillväxt till följd av det eventuellt högre stamantalet vid naturlig förnyring och den eventuellt nedsatta volymtillväxten, ökar omloppstiden. Det leder till en framskjutning av framtida avverkningstidpunkt vilket har en negativ inverkan på förräntningen av det investerade kapitalet. Ytterligare en nackdel med naturlig förnyring genom fröträd är att en andra drivning måste utföras, vilket, i synnerhet på torvmark, kan medföra risker för körspårbildning (Karlsson, et al., 2009). Träden i en naturlig förnyring kallas fröträd eller skärmträd. Vilket som bör användas beror på antalet kvarlämnade träd per hektar och syftet med dessa. Vid en fröträdsställning lämnas oftast ett färre antal stammar och syftet är främst att träden ska bidra med fröspridning och förnyring. Skärmställningar brukar vara mer stamtäta och målsättningen med dem är mer inriktad på att skapa ett gynnsamt förnyingsklimat (Karlsson & Örländer, 2004).

En definition av termen produktivitet är ”produktionsresultat i förhållande till insatsen av produktionsfaktorer” (Edström, et al., 1984). I skogliga sammanhang förekommer begreppet i flera olika situationer varav en är produktivitet för skogsmaskiner. I samband med en avverkningsåtgärd kan en maskins arbetsproduktivitet användas för beräkning av drivningskostnaden (Lundqvist, et al., 2014). Produktiviteten i den här situationen uttrycks då i kubikmeter per arbetad timme. Faktorer som påverkar produktiviteten för skogsmaskiner är många och det varierar något för skördare respektive skotare. För skördare är det medelstamsvolym, antal uttagna träd, antal dubbelsågade träd, samt antalet träd som har ansättningshinder och träd som av någon annan anledning är svåra att avverka som påverkar produktiviteten (Brunberg, 1994). För en skotare är det avverkningsformen, uttag per hektar, köravstånd, terrängsvårigheter, skotarstorlek, medelstamsvolym och antal sortiment som påverkar produktiviteten (Brunberg, 2004).

På Sveaskogs innehav i sydöstra Småland finns de huggningsklasser som motsvarar avverkningsmogen skog och är belägna på torvmark eller våt fastmark. De innefattas därmed av bärighetsklasserna C och D, vilket kan överföras till grundförhållandeklasserna fyra och fem enligt terrängtypschemat (Berg, 2006). Sveaskog slutavverkar mellan 15 000 och 18 000 m<sup>3</sup>fub årligen på dessa bärighetsklasser (Grahn, 2017). I samband med slutavverkning är markägaren alltid skyldig att anlägga ny skog på ett lämpligt sätt (Skogsvårdslagen, 2012). Naturlig förnygring är den metod som har använts på många av de avverkningstrakter som är belägna på de lägre bärighetsklasserna. Det beror dels på att det är en metod som är rekommenderad för talldominerade ståndorter på fuktig mark, men också på att företaget har erfarenheter av att metoden ger ett bra förnygringsresultat.

Sveaskog har en tydlig finansiell målsättning som innebär att företagets årliga genomsnittliga direktavkastning ska vara minst 4,5 procent (Sveaskog, 2015). Begreppet direktavkastning innebär kort förklarat ett bolags ekonomiska utdelning i förhållande till dess aktiekurs (Magnusson, et al., 2008). Dessutom är en den ekonomiska målsättningen att företaget ska ha en vinst om 1,2 miljarder kronor per konjunkturcykel (Grahn, 2017). En konjunkturcykel definieras enligt Nationalencyklopedin (2017) som ”den period som det tar för ekonomin att genomgå både en högkonjunktur och en lågkonjunktur”. Dessa målsättningar ger företaget skäl att undersöka just lönsamhetsfrågor och att talar för att alltid utforska möjligheterna för ett ekonomisk såväl som ett ekologisk hållbart och långsiktigt markutnyttjande.

## **1.2. Syfte**

Studiens syfte är att ta fram ett beslutsstöd inför en eventuell fröträdsavverkning på torvmark till hjälp för att avgöra hurvida en fröträdsställning är lönsam att avverka eller om det är mer lämpligt att lämna kvar fröträden i beståndet.

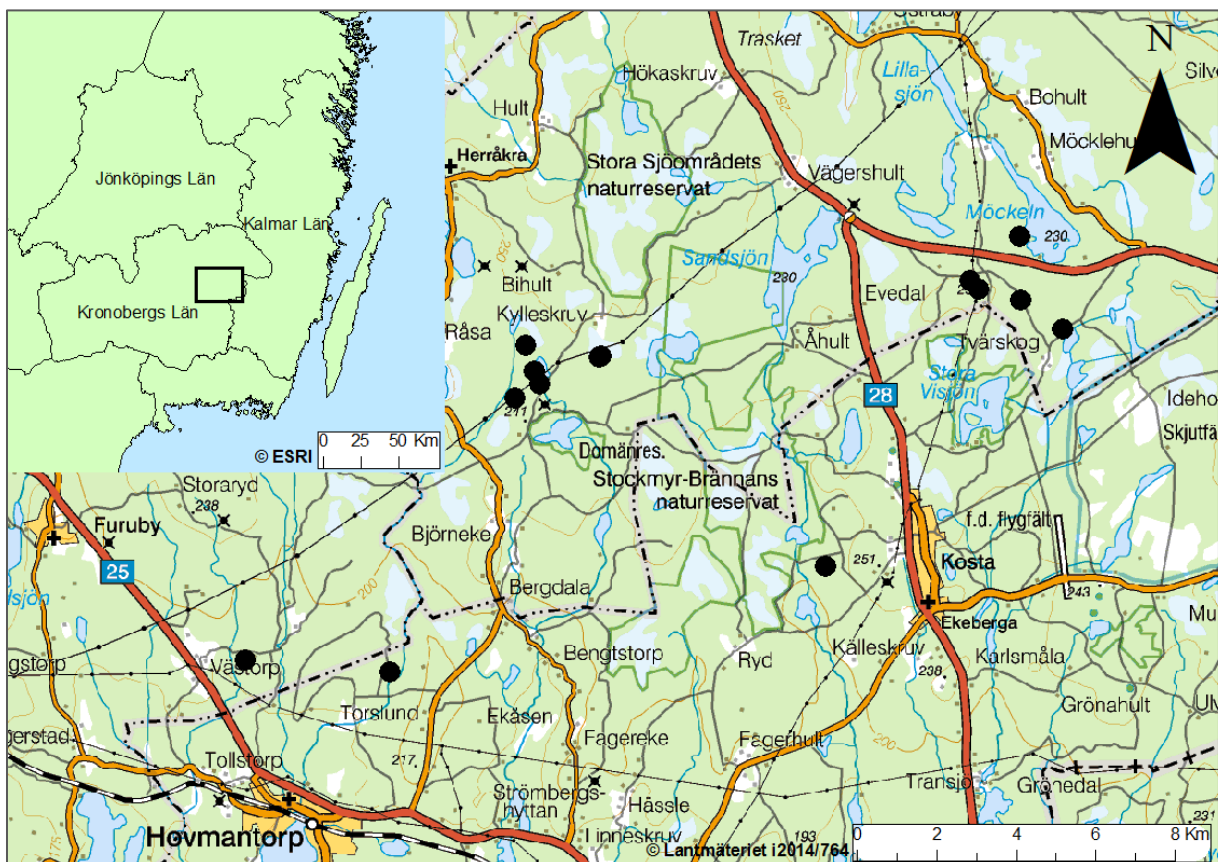
## **1.3. Frågor att besvara**

- i. Är de undersökta fröträdsställningarna ekonomiskt lönsamma att avverka med avseende på aktuella virkesförråd och kostnadsuppskattningar, eller ej?
- ii. Hur påverkas lönsamheten av förändringar i virkespriser och av noggrannhet på en uppskattad variabel som virkesförråd?

## 2. MATERIAL OCH METODER

### 2.1. Försöksområden

Försöksområdena är belägna mellan två och fem mil öster om Växjö och är utspridda på totalt sex olika skiften ägda av Sveaskog (figur 1). I försöket ingick totalt 14 områden där skogen på samtliga slutavverkades mellan åren 2010 och 2013 och fröträd lämnades då kvar. De flesta slutavverkningarna gjordes av ett och samma maskinlag, ”blötmarkslaget”, specialiserat på att avverka skog på blöta områden med låg bärighet. Maskinlaget är specialiserat i såväl kompetens som utrustning. De skogsmaskiner som används av blötmarkslaget vid avverkningsåtgärder på låga bärigheter är en Rottne H11 (skördare) och en John Deere 1010E (skotare). Skogsmaskinerna är normalt utrustade med 105 cm breda band för att minska marktrycket.



**Figur 1.** Översiktlig karta där varje svart punkt representerar ett försöksområde.  
**Figure 1.** Overview map where each black point represents a study area.

De studerade försöksområdena utgjordes av talldominerade fröträdställningar på mer eller mindre torvdominerade ståndorter. De flesta av områdena är fröträdställningar där huvudsyftet med de kvarlämnade träden är att bidra till naturlig föryngring. På dessa har ingen som helst markberedning skett. På tre av försöksområdena däremot, har högläggning och plantering med fram för allt tall utförts. På dessa ståndorter är det primära syftet med de kvarlämnade träden att hålla tillbaka grundvattennivån och fältvegetationen men också att bidra med extra plantor till föryngringen.

## 2.2. Urval

Den första delen i urvalet av försöksområdena gjordes av avverkningsledare Mikael Grahn och områdesansvarig Kajsa Henriksson, båda på Sveaskog resultatområde Växjö. Lämpliga områden valdes ut i GISS (GIS Sveaskog) och registrerades som möjliga att ingå i försöket. Den andra delen av urvalet gjordes sedan kontinuerligt under arbetets gång, hela tiden med målet att de områden som ingår i försöket skulle vara lämpade och kunna bidra till en spridning i resultatet. Målsättningen under urvalet var att fånga de skilda förutsättningar (främst med avseende på områdenas virkesförråd) som kan tänkas finnas på områdena och samtidigt göra det efter de begränsningar som fanns tidsmässigt med inventeringsarbetet. Motiveringen till valet av ett så styrt och kontrollerat urval var att det var förhållandevis litet och det var 14 områden som rymdes inom den tidsram som var uppsatt för fältarbetet. Om urvalet istället skulle gjorts med slumpmässiga urvalsmetoder som normalt kan vara att föredra, fanns risken att vissa områden inte hade fångats upp.

## 2.3. Inventeringsmetod

### 2.3.1. Generell beskrivning av inventering

Inventeringen som utfördes hade ett övergripande syfte, nämligen att samla in den information som behövdes för att beskriva de aktuella ståndorterna och deras skogstillstånd, dvs. för att få fram virkesförråd, grundyta, medeldiameter, medelhöjd, stamantal, medelstammens volym, trädslagsblandning, beståndets ålder och ståndortsindex. För att dessutom få en uppfattning om hur situationen med fastmark såg ut på de olika ståndorterna, registrerades torvdjupet på varje yta.

Vid inventeringsarbetet för insamlande av den sökta informationen användes ett systematiskt tillvägagångssätt för utläggning av provytor i kombination med en objektiv mätmetod. Markvariablerna bedömdes dock mera subjektivt. Hela inventeringen av skogliga variabler gjordes enligt en given instruktion (Wilhelmsson, 2014).

### 2.3.2. Provytor

Varje försöksområde inventerades med provytor som var systematiskt utlagda, med en slumpmässigt utplacerad startpunkt, i ett förband som beräknades för varje enskilt område (formel 1). Provyteradien som användes var 15 meter, vilket innebär att varje provyta hade en areal på 707 kvadratmeter. Antalet provytor på varje område varierade något beroende på områdets storlek, men på de flesta områden användes 9-10 provytor. Den följande proceduren gjordes för samtliga inventerade områden.

$$(1) F = (A/n)^{0,5}$$

där F = Förbandet (m), A = Områdets areal (m<sup>2</sup>), n = Antal provytor (Wilhelmsson, 2014).

Det första steget vid provyteutläggningen var att identifiera en punkt på arbetskartan som var enkel att återfinna i terrängen, t.ex. ett vägskäl eller ett skarpt hörn av en avdelning. Ett alternativ till detta var att en startpunkt placerades någonstans på försöksområdet i en GPS-enhet som sedan kunde återfinnas i fält. Det sistnämnda sättet användes i de flesta av fallen, men på tre försöksområden användes punkter i terrängen som startpunkter.

För att inventeringen sedan skulle kunna anses vara objektiv behövde varje provytas position vara utlottad och avgjord av slumpen. Den tidigare, preliminärt utplacerade startpunkten behövde därför korrigeras. Två slumpantal mellan noll och ett användes, ett av talen för nordlig riktning och det andra för västlig riktning. Därefter multiplicerades slumpantalet med förbandet i respektive riktning och då erhöles det avstånd i nordlig och västlig riktning från den först utplacerade och lätthittade punkten till den verkliga och slumpantalslottade startpunkten.

Det andra steget var sedan att rita ut ett kvadratisk (symmetriskt) rutnät med utgångspunkt från den verkliga, lottade startpunkten. Punkterna ritades ut i samtliga riktningar på kartan enligt det kvadratiske förbandet som har ett givet avstånd enligt formel (1). Provyteförbandets avstånd på fältkartan beräknades genom att använda kartans skala och dividera antalet meter som motsvarar en centimeter på kartan med det aktuella provyteförbandet i meter. När provytornas positioner sedan var utplacerade kunde de provytor som hamnat inom försöksområdet markeras och räknas samman för att säkerställa att rätt antal provytor hade placerats ut inom gränserna för försöksområdet. Om önskat antal provytor inte hamnade inom områdets gränser så gjordes den slumpmässiga utplaceringen av startpunkten om.

### 2.3.3. Fältutrustning

Den utrustning som användes vid fältinventeringen är listad nedan.

- GPS-enhet (Garmin)
- Relaskop (S/F)
- Höjdmätare (Suunto Pm-5/1520)
- Talmeter (Hultafors)
- Huggarmåttband (20 m)
- Mätlina (50 m)
- Barktjockleksmätare
- Fältblanketter för datainmatning
- Tillväxtborr
- Jordsond (för markprov)
- Kompass

### 2.3.4. Navigering mellan provytor

Inventeringsarbetet i fält utfördes även det i stort sätt enligt Wilhelmsson (2014). Först hittades startpunkten som var inlagd i en GPS-enhet i terrängen. För att sedan kunna navigera först till den verkliga inventeringsstartpunkten samt därefter mellan provytorna användes samma GPS-enhet. I denna fanns en funktion där kompassriktning samt önskat avstånd kunde knappas in. Därefter skapades ett punktobjekt i GPS-enheten vilket gjorde att det hela tiden var möjligt att placera ut nästkommande inventeringspunkt och använda enheten för att återfinna punkterna. På detta sätt kunde samtliga punkter som hade ritats ut i fältkartan digitaliseras och dessutom hittas mycket enkelt i terrängen, även efter att inventeringen av ett område var slutfört. Samma möjlighet finns inte om kompassgång och mätning med mätlina används för att navigera mellan provytorna.

### 2.3.5. Mätning på provytor

Allra först på en ny provyta märktes provytecentrum ut med hjälp av marksonden. Om en yta blivit utplacerad så att försöksområdets gräns skar igenom ytan genomfördes en så kallad delning. Då mättes avståndet från provytecentrum ut till försöksområdesgränsen för att sedan, med hjälp av följande trigonometriska formel för cirkelsegment (2), kunna räkna ut arealen av den del av provytan som ej var belägen i det aktuella försöksområdet

$$(2) A = r^2 \times \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) - (r-h) \times \sqrt{2(r \times h) - h^2}$$

där A = Segmentets area (m<sup>2</sup>), r = Cirkelprovytans radie (m), h = Segmentets höjd (m) (Math Open Reference, 2011)

Sedan kunde den procentandel av provytan som låg innanför försöksområdets gräns beräknas och användas för att väga in det bortfall som fanns på dessa provytor i det totala virkesförrådet. Om provytans centrum hamnade helt utanför försöksområdets gränser men ändå låg mindre än en provyteradie från försöksområdets gräns, speglades provytan in i avdelningen. Det innebär att provytecetrum speglas in i beståndet exakt lika många meter som den ligger utanför, vinkelrätt mot försöksområdesgränsen.

Först gjordes en arealbeskrivning där information om inventeringsår, provytenummer, ytans ägoslag samt normalen registrerades. Normalen är det vinkelräta avståndet från provytecetrum till försöksområdets gräns. Denna variabel användes för beräkningen av relativ ytstorlek (beskriven ovan). Därtill registrerades försöksområdesnummer, provyteradie, provytans medelålder beräknad utifrån provträdens ålder, höjden över havet och ståndortsindex. Provträdens ålder uppskattades genom räkning av antalet årsringar från en borkkärna som togs fram med hjälp av tillväxtborren. Höjden över havet mättes med hjälp av GPS-enheten på varje provyta och ståndortsindex uppskattades genom ståndortsbonitering enligt Skogsstyrelsen (1985)

Därefter valdes provträd ut genom ett PPS-urval (probability proportional to size) med hjälp av relaskopet. Det innebär att urvalsolikheten för att ett träd ska väljas som provträd är proportionell med dess grundyta. Det betyder också att det inte är säkert att ett utvalt provträd ingår i provytan, men det måste stå på det aktuella försöksområdet. På de allra flesta försöksområden valdes var fjärde träd som fyllde upp spalterna i räknefaktor ett (1) på relaskopet från provytecetrum sett ut som provträd, men provträdsfrekvensen varierade något mellan olika områden. Målsättningen var att varje provyta skulle ha i genomsnitt två provträd och att varje område skulle ha mellan 18 och 20 provträd. Urvalet skedde kontinuerligt över samtliga provytor inom varje bestånd. De variabler som registrerades för varje provträd var trädslag, diameter på bark, dubbel barktjocklek, trädhöjd, trädens gröna krongränshöjd och brösthöjdsålder. Trädhöjd och grön krongränshöjd uppskattades båda till närmaste halvmeter. När informationen om provträden registrerats mättes diametern på samtliga träd belägna inom provytans gränser. Alla träd som okulärt bedömdes kunna ge gagnvirke räknades i fallande diameterklasser och prickades in på fältblanketter, liksom all information från provträdmätning och diametermätning.

Därefter gjordes inventeringen av markvariabeln torvdjup. Marksonden användes för att mäta torvens mäktighet, dvs. djupet till fastmark i centimeter. Tio väl spridda mätningar gjordes på varje provyta. Punkterna valdes ut subjektivt, men ungefär samma utläggsmönster användes för samtliga provytor. Det innebar att inventeraren först gick ett varv i provytans yttre del där sex eller sju djuppunkter mättes, därefter ett varv i provytans inre del där tre eller fyra djuppunkter mättes. Torvdjupet som uppmättes i centimeter och avrundades till närmaste femtal (0, 5, 10, 15 cm etc.). Torvdjupet mättes också alltid i provytans centrum. Aktuell markfuktighet klassificerades enligt Skogsstyrelsen (1985).



## 2.4. Datahantering och beräkning av skogliga variabler

### 2.4.1. Allmänt

Materialet samlades in på pappersblanketter i fält. Efter avslutat fältarbete överfördes informationen till Microsoft Excel för vidare bearbetning och beräkningar. Den del av materialet som rörde skogliga variabler matades in i två redan färdiga separata beräkningsark i Excel, ett ark för klavträdsdata och ett för provträdsdata. Den del som rörde markvariabler registrerades på ett Excel-ark som byggdes upp under arbetet.

### 2.4.2. Skogliga variabler

Skillnaden mellan klavträd och provträd var central. Klavträd innefattade alla de träd som diametern mättes på varje provyta och provträden var de träd som valdes ut och mättes med avseende på höjd, diameter, barktjocklek, grön krongränshöjd och ålder.

I Excel-arket för information om klavträden angavs även en arealbeskrivning för varje inventerad yta på ett försöksområde. Informationen om klavträden matades in som antalet stammar i varje enskild diameterklass och för varje trädslag. Diameterklasserna utgjordes av fallande tvåcentimetersklasser och lades in precis som de inventerats. Volymen av klavträden beräknades sedan genom att varje träds grundyta multiplicerades med dess formhöjd, som erhöles med hjälp av Söderbergs (1992) formhöjdsfunktioner (formel 3). Trädets grundyta kunde beräknas med den uppmätta diametern.

$$(3) KV = g \times h \times f$$

där  $KV$  = Volymen hos klavträdet ( $m^3$ ),  $g$  = trädets grundyta ( $m^2$ ),  $h \times f$  = trädets formhöjd (Lind, et al., 2014).

Urvalssannolikheten för klavträd beräknades enligt

$$(4) u_i = \frac{\pi \times r^2}{F_1 \times F_2}$$

där  $u_i$  = Urvalssannolikheten för trädet  $i$ ,  $r$  = provytans radie (m),  $F_1$  = avståndet på det kvadratiske förbandet för provytor i nord-sydlig riktning (m) och  $F_2$  = avståndet på det kvadratiske förbandet för provytor i öst-västlig riktning (m) (Lind, et al., 2014).

För beräkning av klavträdens volym användes följande formel.

$$(5) \hat{V} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{u_i}$$

där  $V$  = skattning av alla klavträds volym ( $m^3$ ),  $v_i$  = volymen för klavträdet  $i$  ( $m^3$ ),  $u_i$  = urvalssannolikheten för klavträdet  $i$ . Horwitz-Thomsons formel enligt Lind et al. (2014).

Den andra delen av uträkningen (formel 3), d.v.s. höjden multiplicerat med formtalet, erhöles med Söderbergs (1992) formhöjdsfunktioner och de räknades ut med varje träds diameter och med hjälp av de provyteegenskaper som noterats på varje yta. Slutsteget i volymberäkningarna för klavträden var att först korrigera de beräknade volymerna med trädets urvalssannolikhet, alltså varje träds sannolikhet att klavas i ett bestånd (formel 4). Sedan kunde den skattade volymen för samtliga klavträd beräknas genom division av varje klavträds volym och dess beräknade urvalssannolikhet (formel 5).

Den grundtyevägda medeldiametern (Dgv) beräknades med följande formel.

$$(6) Dgv = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \times d_i}{\sum_{i=1}^n g_i} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2}$$

där Dgv = Grundtyevägd medeldiameter (cm),  $g_i$  = grundytan för trädet  $i$  ( $\text{cm}^2$ ), och  $d_i$  = diametern  $i$  brösthöjd för trädet  $i$  (cm) (Nyström & Wilhelmsson, 2012)

Det andra steget i formeln (6) är en förenklande härledning av det första steget som också har använts i Excel-arket, där  $d^3$  och  $d^2$  beräknades trädslagsvis för varje diameterklass och sedan summerades och dividerades med varandra varpå den grundtyevägda medeldiametern både uppdelat på trädslag och totalt för samtliga trädslag erhöles.

Grundyta som enskild variabel beräknades genom att total grundyta för varje diameterklass summerades. Sedan dividerades summan med den urvalssannolikhet som träden på området hade och till sist dividerades den med områdets areal. Stamantal för hela området beräknades på samma sätt, dvs. stamantalet räknades ut för varje diameterklass, summerades trädslagsvis och dividerades slutligen med urvalssannolikheten. Det genomsnittliga stamantalet per hektar erhöles genom att dividera det totala stamantalet med den totala arealen.

Trädslagsblandningen beräknades både som andel av virkesförrådet och som andel av grundytan genom att summera variabeln (volymen eller grundytan) för varje enskilt trädslag och sedan dividera summan med den totala volymen och grundytan. Informationen om de utvalda provträden användes för att beräkna en kalibreringskvot för att kunna förbättra den volymbestämning av klavträden som först gjorts med enbart formhöjdsfunktioner.

Information om provträdens höjd, grön krongräns och barktjocklek användes tillsammans med provtyteegenskaperna för att beräkna provträdens volym enligt en grundligare funktion (Brandel, 1990). Dessutom beräknades provträdens volym enligt samma enklare funktion (Söderberg, 1992) som tillämpats på klavträden. Därmed kunde den kvot beräknas som sedan användes för att förbättra bestämningen av klavträdens volym.

Beståndets volymmedelstam och den grundtyevägda medelhöjden för provträden beräknades med följande formler (6, 7).

$$(7) Vms = \frac{V}{St}$$

där Vms = Volymmedelstam ( $\text{m}^3/\text{träd}$ ),  $V$  = Försöksområdets totala volym ( $\text{m}^3\text{sk}$ ),  $St$  = Försöksområdets totala stamantal.

$$(8) Hgv = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

där Hgv = Grundtyevägd medelhöjd (m),  $g$  = grundyta för provträdet  $i$  ( $\text{m}^2$ ),  $h$  = höjd för provträdet  $i$  (m) (Nyström & Wilhelmsson, 2012).

#### 2.4.3. Beräkning av medelfel på virkesförrådsskattning

Skattningen av det totala virkesförrådet på de inventerade områdena var en av de mer centrala delarna under arbetet. Uppgifter om stående virkesförråd var viktiga för att uppfylla syftet med försöket och därför var medelfelet av virkesförrådsskattningen särskilt intressant.

Beräkningen av det gjordes genom att summera volymen för varje provyta och sedan beräkna volymen per hektar. När volymerna per hektar summerats trädslagsvis så kunde standardavvikelse beräknas med hjälp av formel (9).

$$(9) S_V = \sqrt{\frac{\sum (x_V - \bar{x}_V)^2}{(n - 1)}}$$

där  $S_V$  = standardavvikelse för volymen ( $m^3$ ),  $x_V$  = volymen för observation  $V$  ( $m^3$ ),  $\bar{x}_V$  = medelvärdet för observationerna  $V$  ( $m^3$ ), och  $n$  = antal observationer. (Samuels, et al., 2012).

Medelfelet beräknades därefter enligt formeln (10).

$$(10) Se(\bar{V}) = \frac{S_V}{\sqrt{n}}$$

där  $Se(\bar{V})$  = medelfelet för volymen ( $m^3$ ),  $S_V$  = standardavvikelsen för volymen ( $m^3$ ), och  $n$  = antalet ingående observationer. (Samuels, et al., 2012).

Slutligen dividerades medelfelet med det totala virkesförrådet per hektar och medelfelet erhöles då i procent.

#### 2.4.4. Markvariabler

Den del av det insamlade materialet som rörde markvariablerna samlades även det in på fältblanketter för att sedan överföras till ett Excel-ark som framställdes under arbetets gång. Att torvmäktighetsklassen fastmark innefattar punkter från 0-25 cm förklaras av att variabeln avrundades till närmaste femtal vid inventeringen. Torvens medelmäktighet på varje yta beräknades och placerades i en torvmäktighetsklass som definierades enligt följande:

- Fastmark – det förekom minst tre (3) provpunkter på provytan där torvdjupet understiger 30 cm (0-25 cm).
- Medelmäktig torv – majoriteten av provpunkterna hamnade inom torvdjupsintervallet 30-45 cm
- Mäktig torv med mineraljordkontakt – majoriteten av provpunkterna låg inom torvdjupsintervallet 50-70 cm.
- Mäktig torv – majoriteten av provpunkterna var djupare än 70 cm (>70 cm).

En torvmäktighetsfördelning, som visade hur många provytor på varje område som ingick i en viss torvmäktighetssklass, kunde därefter beräknas. Fördelningen kunde senare användas för att skilja områdena åt med avseende på antalet fasta punkter.

## 2.5. Utbytes-, intäkts- och kostnadsberäkningar

### 2.5.1. Allmänt

Innan några beräkningar gjordes fanns skäl att ta hänsyn till vissa generella förhållanden. Sveaskog har en policy att lämna tio (10) träd per hektar som evighetsträd för naturvårdsändamål. Därför togs volymen som motsvarade dessa tio träd bort före intäktsberäkningen. Områdets volymmedelstam multiplicerades med antalet kvarlämnade träd per hektar och sedan med områdets areal. Då erhöles den totala volymen träd som vid eventuella avverkningar kommer att lämnas kvar som evighetsträd.

### 2.5.2. Utbytesberäkningar

Utbytet i form av timmer- och massaandel, som var väsentligt för den värdeberäkning som senare skulle utföras, beräknades med funktioner (11, 12 och 13 nedan) av Ollas (1980), baserade på de variabler som tidigare skattats i fältinventeringen.

$$(11) g_{3m} = 1 - \frac{0,86}{Dgv - y}$$

där  $g_{3m}$  = gagnvirkesandelen för aptering av massaved i fasta längder (3 m),  $Dgv$  = Grundtyevägd medeldiameter, och  $y$  = Minsta toppdiameter för massaved under bark (5-7 cm).

$$(12) t = 0,86 - \frac{0,6x}{Dgv} + (0,009 \times Dgv) - 0,01x$$

där  $t$  = Timmervolym,  $x$  = Minsta toppdiameter för timmer,  $Dgv$  = Grundtyevägd medeldiameter.

$$(13) tf = 1,29 - (0,009 \times Hgv) + (0,003 \times Dgv)$$

där  $tf$  = Toppformtalet,  $Hgv$  = Grundtyevägd medelhöjd, och  $Dgv$  = Grundtyevägd medeldiameter.

Beräkningarna kunde sedan utföras genom att virkesförrådet räknades om från  $m^3sk$  till  $m^3fub$ . De omräkningstal som behövdes hämtades från Cernold (1981). Därefter kunde andelen gagnvirke beräknas (formel 11, varpå gagnvirkesvolymen beräknades genom att multiplicera andelen gagnvirke med virkesförrådet (i  $m^3fub$ ). Efter det beräknades timmerandelen (formel 12) som sedan multiplicerades med virkesförrådet (i  $m^3fub$ ) och gav timmervolymen. Skillnaden som uppstod mellan gagnvirkesvolymen och timmervolymen var andelen massaved. Slutligen räknades toppformtalet fram (formel 13) som sedan dividerades med volymen timmer och gav då timmervolymen i enheten  $m^3to$ . Anledningen till att virkesförrådet omräknades till enheterna  $m^3fub$  och  $m^3to$  för att de är vanliga handelsmått för massaved och timmer.

För att beräkna hur timmervolymen fördelade sig på olika diameterklasser användes underlag från tre försöksområden i vilka skogen avverkades i december 2016. Andelen av timmervolymen som ingick i olika diameterklasser hämtades från den slutrapport som upprättas efter utförda avverkningar. Den genomsnittliga diameterfördelningen på timret för de tre försöksområdena kunde användas för att få en grov uppfattning av de resterande.

### 2.5.3. Intäktsberäkningar

Vid samtal med en av de erfarna maskinförarna gavs indikationer på att en del av massaveden skulle användas för att armera marken vid drivningsarbetet. Eftersom att det var ovisst hur mycket av massaveden som skulle gå åt till detta, beräknades inga intäkter för massaveden. Bakgrunden till detta var att tall dominerade på samtliga områden och särskilt mycket gren- och topprester fanns därmed inte till förfogande för att köra på. Efter att fröträden på några av försöksområdena avverkades blev resultatet dock att inte särskilt mycket av massaveden hade använts som markarmering. Ändå användes inte massavedsvolymererna för intäktsberäkningarna, eftersom den massaveden kunde behöva användas för att armera marken på några av försöksområdena. De virkespriser som användes för beräkningarna

erhölls från Sveaskog (tabell 1). De aktuella intäkterna kunde sedan beräknas genom att multiplicera timmervolymen med de aktuella virkespriserna.

**Tabell 1.** Virkespriser som användes vid intäktsberäkningarna

*Table 1. Wood prices used when revenues were calculated*

Sortiment	Diameter (cm)	Pris (SEK/m <sup>3</sup> fub)
Grankubb	12-18	450
Grantimmer	>18	700
Tallkubb	14-18	450
Talltimmer	>18	580
Björkmassaved	>5	320
Barmassaved	>5	300

#### 2.5.4. Kostnadsberäkningar

Fyra produktivitetsscenarioer gjordes för samtliga områden, där varje scenario motsvarade en uppskattad produktivitet för skogsmaskinerna. Detta gav en uppfattning om i vilken storleksordning kostnaderna kunde komma att hamna. De uppskattade drivningskostnaderna baserades på samtal med en av de erfarna maskinförarna i det maskinlag som avverkade träden när fröträdsställningarna ställdes. Scenarierna upprättades separat för skördare respektive skotare. För skördaren var de använda prestationsscenarioerna 1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h, 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h och för skotaren användes de två prestationsscenarioerna A: 8 m<sup>3</sup>fub/h och B: 10 m<sup>3</sup>fub/h. Scenarierna för de båda maskinerna kunde sedan kombineras.

## 2.6. Analys och känslighetsanalys

### 2.6.1. Allmänt

Enkla jämförande studier gjordes där de olika områdena rangordnades efter virkesvärde och drivningskostnader. Utifrån det kunde potentiell lönsamhet för varje område bestämmas. Vid känslighetsanalysen användes fyra av de totalt fjorton försöksområdena. Ambitionen var att de områden som ingick i känslighetsanalysen skulle ha olika förutsättningar med avseende på virkesförråd. Därför valdes ett försöksområde med lågt virkesförråd, ett med högt virkesförråd och sedan två stycken däremellan.

### 2.6.2. Analys av sämsta möjliga utfall

För att kunna undersöka risken att de olika försöksområdena inte uppnår lönsamhet konstruerades ett 95-procentigt konfidensintervall för de uppskattade virkesförråden på tre av försöksområdena. De tre områdena valdes ut på grund av att ett hade lågt ett hade medelhögt och ett hade högt virkesförråd. Konfidensintervallet konstruerades på följande sätt (formel 14)

$$(14) \bar{V} \pm (2 \times SE(\bar{V}))$$

där  $\bar{V}$  = Volymskattning för ett försöksområde och  $SE(\bar{V})$  = Medelfelet för volymskattningen ( $\bar{V}$ ).

Det som kunde sägas om beräkningen var att det med 95 procent sannolikhet fanns det sanna värdet för volym-skattningen ( $\bar{V}$ ) inom två standardavvikelser från virkesförrådsskattningen som gjordes för försöksområdena. Konfidensintervallet ovan gav ett lägsta värde som det är troligt att det sanna värden för volym-skattning överstiger. Därefter kunde detta lägsta värde användas för att beräkna nettointäkt. Dessutom togs nettointäkterna för ett produktivitetsscenario med den högsta avverkningskostnaden. Allt för att den sämsta möjliga situationen för både virkesförrådsskattningen och avverkningskostnader skulle simuleras. Analysen gav ett svar på frågan om det var möjligt med lönsamhet trots sämsta tänkbara förhållanden.

### *2.6.3. Framtagande av regressionsfunktioner*

De två variablerna virkesförråd och potentiell nettointäkt förväntades vara starkt korrelerade eftersom att den potentiella nettointäkten beräknats utifrån virkesförrådet. Sambandets styrka bestämdes med hjälp av regressionsfunktioner som framtoogs för (1) vilket virkesförråd som krävdes för att de potentiella nettointäkterna skulle vara noll SEK och (2) vilket virkesförråd som krävdes för att de potentiella nettointäkterna även skulle kunna täcka kostnaden av förflyttning av skogsmaskiner. Kostnaden för flyttning av skogsmaskiner kunde uppgå till ca 4 000 SEK (Grahn, 2017).

### *2.6.4. Känslighetsanalys, virkespriser*

De beräkningar som utfördes i försöket baserades enligt det nuvarande tillståndet på fröträdsställningarna och intäkterna enligt den rådande virkesmarknaden. Därför utfördes en känslighetsanalys i syfte att undersöka hur eventuella svängningar i virkesmarknaden påverkade utfallet av beräkningarna och främst hur mycket det påverkade beräknade drivningsnetton. Analysen utfördes så att de olika virkespriserna ändrades varpå en skillnad i procentenheter beräknades för att visa hur mycket de drivningsnetton som tidigare beräknats förändras vid givna ändringar av virkespriset. Till följd av tallens dominans på områdena gjordes känslighetsanalysen endast för tall.

Dessa modifieringar utfördes som fem olika scenarier där virkespriset höjdes och sänktes olika mycket enligt följande.

- Mycket låga priser på timmer (-200 SEK/m<sup>3</sup>fub)
- Låga priser på timmer (-100 SEK/m<sup>3</sup>fub)
- Liten sänkning av priser på timmer (-50 SEK/m<sup>3</sup>fub)
- Oförändrade priser på timmer (Referens)
- Liten höjning av priser på timmer (+50 SEK/m<sup>3</sup>fub)
- Höga priser på timmer (+100 SEK/m<sup>3</sup>fub)
- Mycket höga priser på timmer (+200 SEK/m<sup>3</sup>fub)

### *2.6.5. Känslighetsanalys, virkesförråd*

Kvaliteten på den information som finns tillgänglig om olika avverkningsområden var i vissa fall begränsad. Genom att uppskatta medelfelet för en virkesförrådsinventering kan en

uppfattning om de aktuella felmarginalerna erhållas. Olika inventeringsmetoder varierar i regel med avseende på medelfel. Medelfelet för virkesförrådsskattningarna har en påverkan på de eventuella intäkterna. En känslighetsanalys även där virkesförråden varierar är relevant för att se hur mycket kvaliteten på tillgänglig information om dessa volymer påverkar de avverkningsscenarier som konstruerats.

Fyra av de inventerade avdelningarna ingick i känslighetsanalysen. De ingående avdelningarna varierade i totalt virkesförråd. Avdelningar med lågt, medelstort respektive högt totalt virkesförråd valdes ut till känslighetsanalysen. De inventerade virkesförråden ändrades med plus och minus 10, 20 och 30 %. Sedan studerades hur avverkningsnettot påverkades av dessa ändringar.

### 3. RESULTAT

#### 3.1. Virkesförrådsinventering

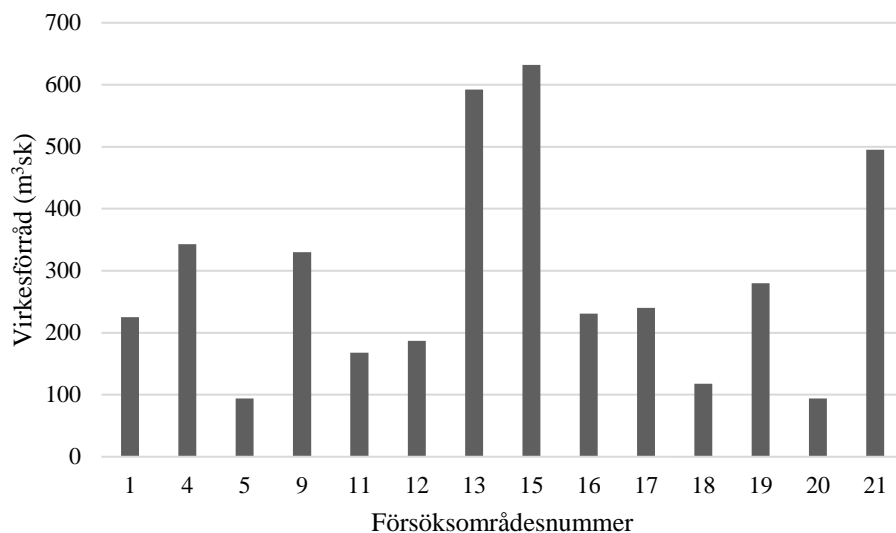
Inventeringen gav ett varierat resultat med avseende på stående virkesförråd (tabell 1, figur 2)

**Tabell 1.** Virkesförrådet per försöksområde angivet per ha och totalt i m<sup>3</sup>sk per hektar, totalt i m<sup>3</sup>fub samt timmervolymer i m<sup>3</sup>to

*Table 1.* Stand volume in studied areas, expressed as stem volume over bark per hectare (m<sup>3</sup>sk/ha), total stem volume over bark (tot m<sup>3</sup>sk), total volume under bark (tot m<sup>3</sup>fub) and total timber volume top measured (tot m<sup>3</sup>to)

Volym	Försöksområdesnummer															Sum
	1	4	5	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21		
m <sup>3</sup> sk/ha	68	82	47	77	56	75	91	90	80	77	56	90	62	56	-	
Tot m <sup>3</sup> sk	225	343	94	330	168	187	592	632	231	240	118	280	94	495	4029	
Tot m <sup>3</sup> fub	168	271	72	256	124	141	458	489	178	185	87	219	72	368	3086	
Tot m <sup>3</sup> to	109	159	40	149	77	93	298	282	108	109	53	137	44	211	1868	

I tabell 1 kan det stående virkesförrådet utläsas i tre olika enheter och både som totalt virkesförråd och virkesförråd per hektar.



**Figur 2.** Totalt virkesförråd (m<sup>3</sup>sk) på försöksområdena.

*Figure 2.* Standing forest volume (total volume over bark) in the study areas.

Det uppskattade medelfelet för de olika försöksområdenas virkesförråd varierade från 9,2 % till 20,6 % (tabell 2). Medelfelen baserades på avvikelser i virkesförråd mellan de provtytor som inventerades inom varje försöksområde. Medelfelet indikerar alltså hur pass mycket virkesförrådet varierar inom området.



**Tabell 2.** Beräknat medelfel vid beräkningarna av virkesförrådet  
**Table 2.** Estimated standard error for calculated standing volumes

Försöks- område	Medelfel		Totalt virkes- förråd (m <sup>3</sup> sk)		Virkesförråd per hektar (m <sup>3</sup> sk/ha)	
	%	Virkes- förråd	Medelfel		Virkes- förråd	Medelfel volym
			Virkes- förråd	Medelfel volym		
1	18,4	225	41,4	68,2	12,5	
4	10,8	343	37,0	81,7	8,8	
5	14,4	94	13,5	47,0	6,8	
9	10,7	330	35,3	76,7	8,2	
11	16,1	168	27,0	56,0	9,0	
12	20,6	187	38,5	74,8	15,4	
13	13,1	592	77,6	91,1	11,9	
15	19,8	632	125,1	90,3	17,9	
16	12,4	231	28,6	79,7	9,9	
17	9,2	240	22,1	77,4	7,1	
18	19,0	118	22,4	56,2	10,7	
19	11,3	280	31,6	90,3	10,2	
20	15,3	94	14,4	62,7	9,6	
21	14,5	495	71,8	56,3	8,2	

### 3.2. Markinventering

Markens bärighet påverkar prestationen och produktiviteten för maskinerna varför uppgifter om torvdjupet på de olika områdena blir extra intressanta (tabell 3). De flesta av de områden som ingick i försöket hade någon yta där torvdjupet klassificerades som djupt. På merparten av områdena var mer än 50 % av provytorna täckta med djup torv, samtidigt som fastmarksandelen översteg 20 % på drygt 40 % av ytorna. Inga av provytorna dominerades av någon av de två mellanklasserna ”medelmäktig torv” och ”mäktig torv med mineraljordkontakt”. På några av de inventerade områdena påträffades ett antal provytor med torvdjup under tio (10) cm, bl.a. på områdena nummer 16 och 21. Därtill fanns det ett antal av de övriga områdena som hade sådana djuppunkter. På de flesta av de undersökta områdena fanns dock ej några grunda punkter eller väldigt få sådana. De båda områdena 16 och 21 har enligt inventeringen en övervägande andel fastare inslag.

**Tabell 3.** Andel (%) av inventerade cirkelprovytor i olika torvmäktighetsklasser. Torvmäktighetsklasserna: Fast mark (0-25 cm), medelmäktig torv (30-45 cm), mäktig torv med mineralsjordkontakt (45-70 cm) och mäktig torv (>70 cm)

**Table 3.** Proportion (%) of the sample plots in different peat thickness classes. Peat thickness classes: mineral soil (0-25 cm), average thick peat (30-45 cm), thick peat with mineral soil contact (45-70 cm), thick peat (>70 cm)

Torvmäktig- hetsklass	Områdesnummer													
	1	4	5	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21
Fast mark	11	10	0	10	11	22	40	10	67	11	20	22	29	67
Medelmäktig torv	0	0	0	20	11	11	10	0	0	0	20	11	14	20
Mäktig torv med mineral- jordkontakt	0	0	0	0	22	22	10	0	22	22	10	22	14	13
Mäktig torv	89	90	100	70	56	44	40	90	11	67	50	44	43	0

### 3.3. Potentiellt avverkningsnetto

De mest grundläggande uppgifterna om försöksområdena sammanställdes och utgjorde underlag till intäktsberäkningarna (tabell 4).

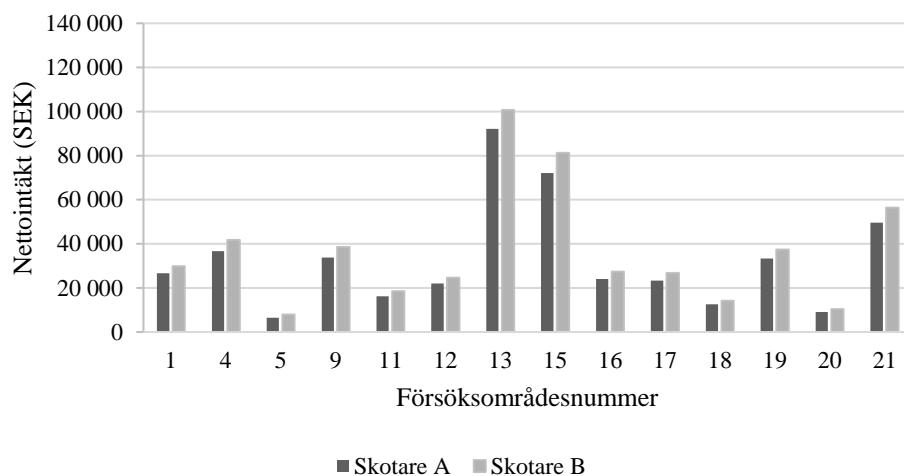
**Tabell 4.** Beståndsdata till grund för beräkningar av potentiellt avverkningsnetto. Dgv: Grundtyevägd medeldiameter. Hgv: Grundtyevägd medelhöjd

*Table 4.* Basic stand level data used for calculation of potential net revenues. Dgv: Basal area weighted mean diameter, Hgv: Basal area weighted mean height

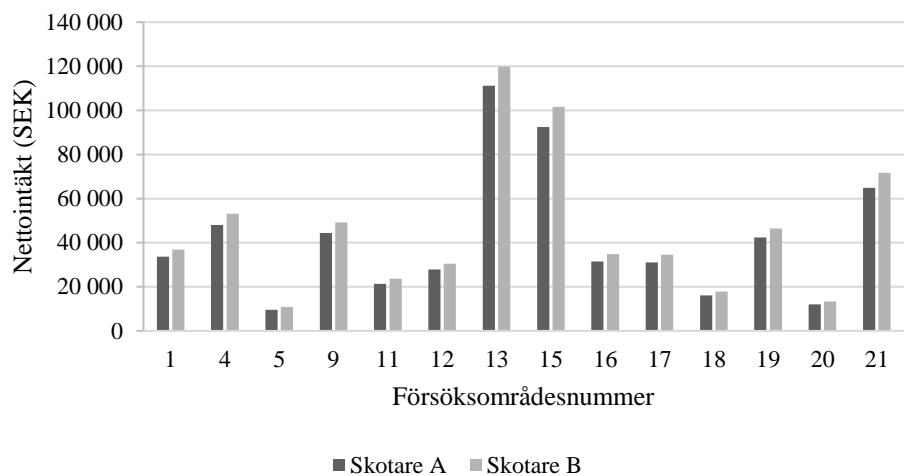
Försöks område	Areal (ha)	Dgv (cm)	Hgv (m)	Stam- antal	Stam- antal/ha	Variabel				
						Medel- stam- volym (m <sup>3</sup> fub)	Virkes- förråd (m <sup>3</sup> sk)	Virkes- förråd (m <sup>3</sup> sk /ha)	Medel- intäkt (SEK)	Medel- intäkt (SEK /ha)
1	3,3	36,0	21,4	300	91	0,56	225	68,2	35 790	10 846
4	4,2	31,1	17,9	711	169	0,38	343	81,7	51 365	12 230
5	2	28,3	16,6	235	118	0,31	94	47,0	10 417	5 209
9	4,3	32,3	19,5	628	146	0,41	330	76,7	47 574	11 064
11	3	32,6	20,2	255	85	0,49	168	56,0	22 893	7 631
12	2,5	35,3	21,2	240	96	0,59	187	74,8	29 656	11 862
13	6,5	35,7	20,1	833	128	0,55	592	91,1	116 892	17 983
15	7	34,1	20,4	981	140	0,50	632	90,3	98 598	14 085
16	2,9	33,6	19,4	377	130	0,47	231	79,7	33 736	11 633
17	3,1	33,7	19,2	394	127	0,47	240	77,4	33 372	10 765
18	2,1	34,1	19,0	184	88	0,47	118	56,2	17 240	8 210
19	3,1	33,6	19,2	448	145	0,49	280	90,3	45 110	14 552
20	1,5	32,3	17,1	169	113	0,43	94	62,7	12 950	8 633
21	8,8	33,1	19,1	797	91	0,46	495	56,3	69 439	7 891
<b>Medel</b>	<b>3,9</b>	<b>33,3</b>	<b>19,3</b>	<b>468</b>	<b>119</b>	<b>0,47</b>	<b>288</b>	<b>72,0</b>	<b>44 645</b>	<b>10 900</b>
<b>Std. av.</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>261</b>	<b>25</b>	<b>0,07</b>	<b>168</b>	<b>14,0</b>	<b>30 177</b>	<b>3 179</b>

De beräknade avverkningsnettona avser resultatet från avveckling av fröträden på försöksområdena och presenteras för fyra prestationsscenarier (figurerna 3A-3D). De kostnader som är inräknade avser maskinkostnader och transportkostnader av virke exklusive flyttkostnader för skogsmaskinerna.

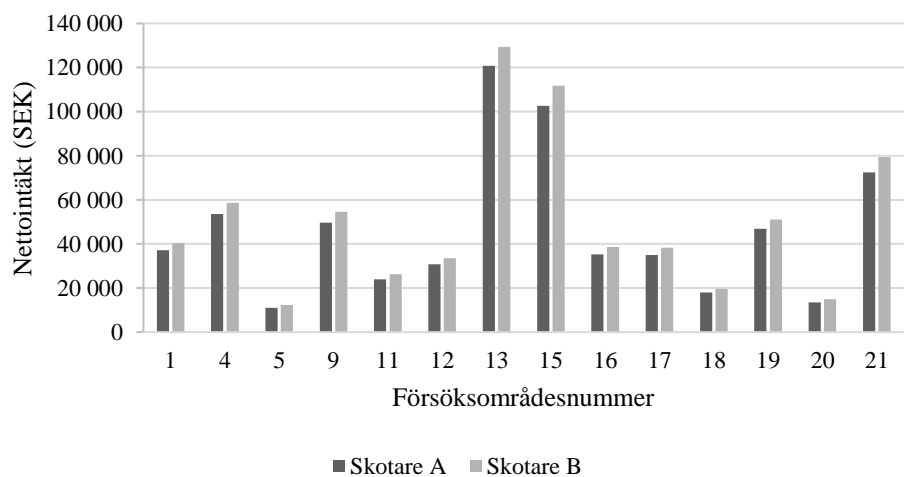
Figur 3A



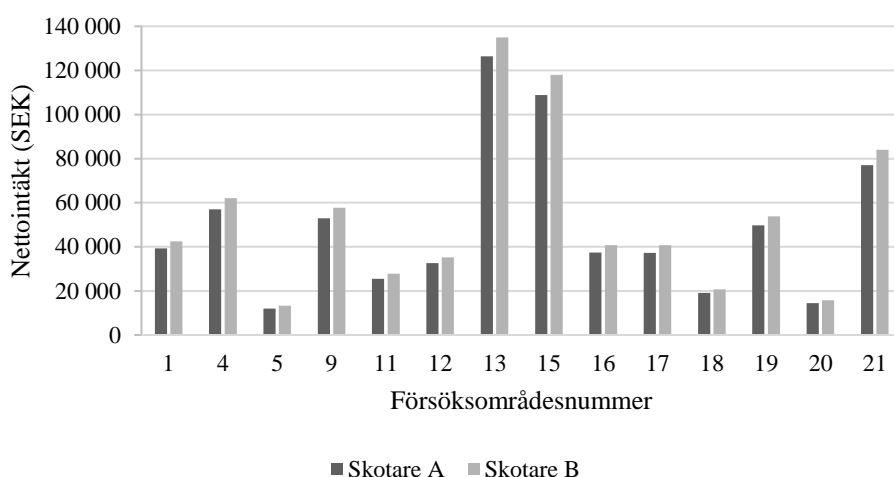
Figur 3B



Figur 3C



Figur 3D

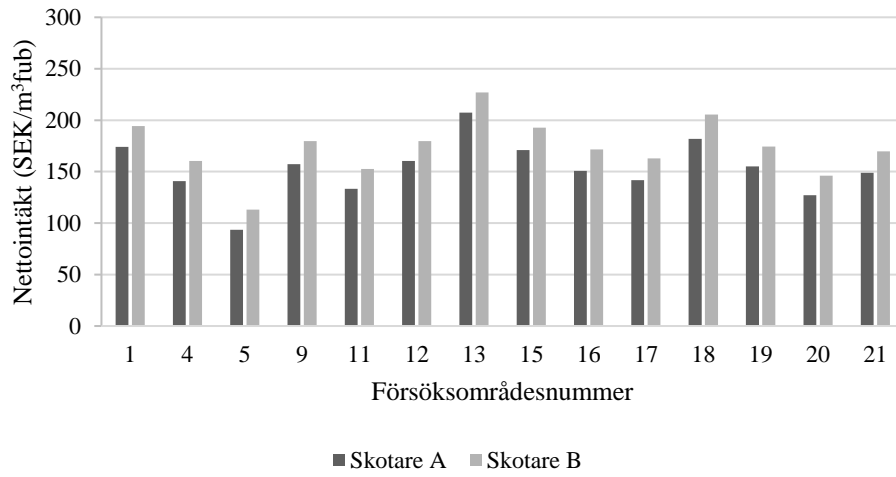


**Figur 3 A, B, C, D.** Potentiella nettointäkter för avveckling av fröträd per försöksområden. Intäkterna anges som totala, absoluta intäkter i svenska kronor (SEK) för alla försöksområden. De fyra figurerna A-D avser prestationsscenarierna 1-4 för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). Prestationsscenario för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h) och ljus stapel (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h). **Figure 3 A, B, C, D.** Potential net revenues from harvesting seed trees. The revenues are presented as total and as absolute revenues (SEK) for all study areas. The four different figures (A-D) represents productivity scenario 1-4 for the harvester (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). The productivity scenario for the forwarder (A and B) are represented by the dark bars (8 m<sup>3</sup>fub/h) and the bright bars (10 m<sup>3</sup>fub/ha).

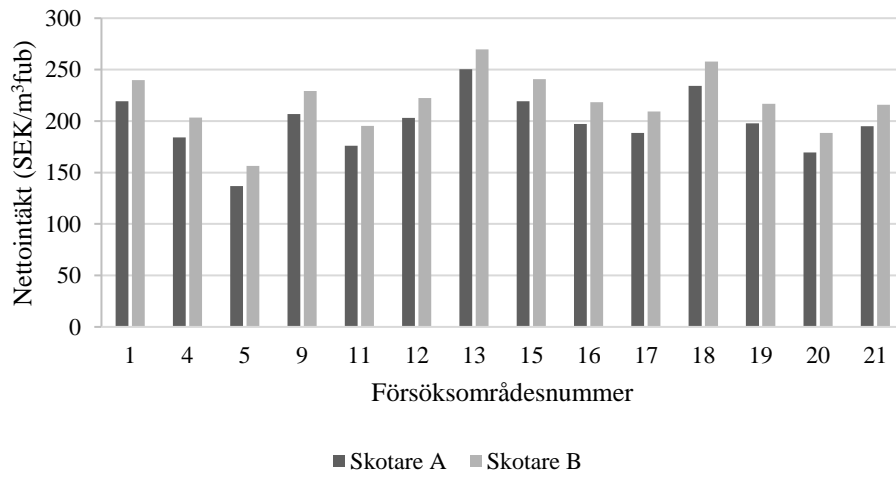
De potentiella avverkningsnettointäkter som beräknats var mycket varierade mellan de olika försöksområdena (figur 3 A- D). Tre av försöksområdena (nr 13, 15 och 21) har tydligt de största beräknade intäkterna som varierade mellan ca 50 000 SEK och 100 000 SEK för prestationsscenario 1 och 77 000 SEK och 135 000 SEK för prestationsscenario 4. Tre av dem (nr 5, 18 och 20) hade de minsta intäkterna som varierade mellan 6 500 SEK och 14 000 SEK för prestationsscenario 1 och mellan 12 000 SEK och 21 000 SEK för prestationsscenario 4. Resterande försöksområden (nr 1, 4, 9, 11, 12, 16, 17 och 19) hamnade däremellan och de potentiella intäkterna för dem varierade mellan 16 000 och 42 000 SEK för prestationsscenario 1 och mellan 25 000 SEK och 62 000 SEK för prestationsscenario 4 (figur 3 A- D).

Mellan de fyra scenarierna finns det också skillnader i absoluta värden med avseende på intäkt, exempelvis för försöksområde nummer 19 skiljer det 16 500 SEK mellan skördarscenario ett och fyra för skotarscenario B. Det är ett exempel på det intervall som finns mellan de olika prestationsscenarierna för skördaren (mellan 10 m<sup>3</sup>fub/h och 25 m<sup>3</sup>fub/h) på ett av de försöksområden som rangordnas i mellanskiktet med avseende på totalt virkesförråd. Den potentiella nettointäkten beräknades också fram per volymenhet för att framhålla hur mycket varje uttagen kubikmeter är värd (figur 4 A-D).

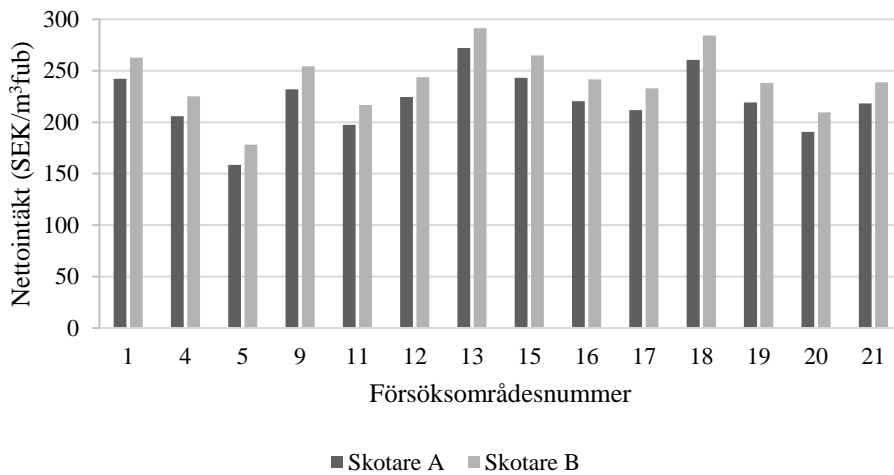
Figur 4A



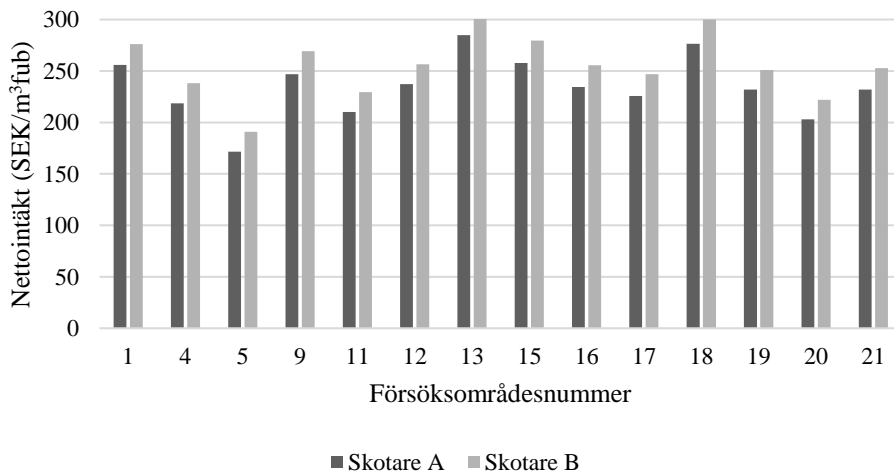
Figur 4B



Figur 4C



Figur 4D



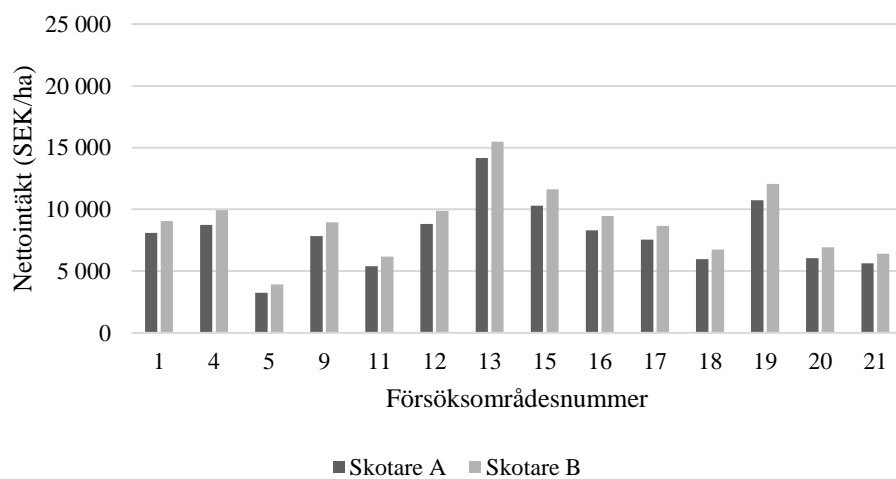
**Figur 4 A, B, C, D.** Potentiella nettointäkter per försöksområde för avveckling av fröträd. Intäkterna anges som svenska kronor per m<sup>3</sup>fub (SEK/m<sup>3</sup>fub). De fyra figurerna A-D avser prestationsscenarierna 1-4 för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). Prestationsscenario för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h) och ljus stapel (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h).

**Figure 4 A, B, C, D.** Potential net revenues for seed tree cuttings in the different study areas. The revenues are presented as Swedish crowns per m<sup>3</sup>fub (SEK/m<sup>3</sup>fub). The four different figures (A-D) represents productivity scenario 1-4 for the harvester (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). The productivity scenario for the forwarder (A and B) are represented by the dark bars (8 m<sup>3</sup>fub/h) and the bright bars (10 m<sup>3</sup>fub/ha).

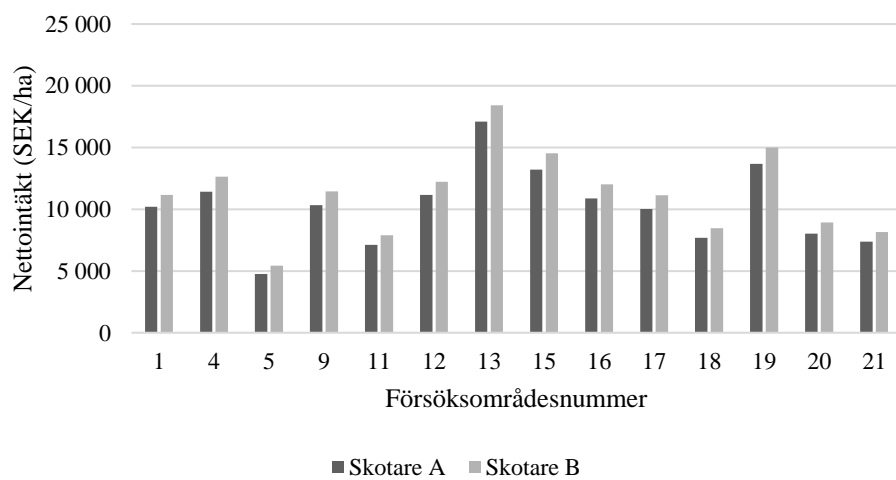
Då nettointäkten beräknats per volymenhet fanns det också en skillnad mellan de olika försöksområdena och de olika prestationsscenariorna. För försöksområdet med den lägsta nettointäkten (nr 5) var avverkningsnettot 94 SEK/m<sup>3</sup>fub och för försöksområdet med den högsta nettointäkten (nr 13) 208 SEK/m<sup>3</sup>fub för skördarscenario 1 och skotarscenario A. Parallellt uppgick den potentiella nettointäkten för försöksområde 5 till 172 SEK/m<sup>3</sup>fub och för försöksområde 13 till 285 SEK/m<sup>3</sup>fub i skördarscenario 4 och skotarscenario A. Dessa resultat representerade ytterligheterna i materialet där prestationsscenario 1 anger de högsta möjliga avverkningskostnaderna och prestationsscenario 4 de lägsta möjliga avverkningskostnaderna inom ramen för gjorda beräkningar (figur 4 A-D).

Försöksområdet med den lägsta potentiella nettointäkten per hektar (nr 5) gav ca 3 200 SEK/ha och försöksområdet med högst nettointäkt (nr 13) 14 200 SEK/ha för skördarscenario 1 och skotarscenario A. Samtidigt uppgick den potentiella nettointäkten för försöksområde 5 till 6000 SEK och för försöksområde 13 till 19 500 SEK/ha för skördarscenario 4 och skotarscenario A. Det representerar ytterligheterna i det framräknade materialet där skördarscenario 1 ger förutsättningarna för de högsta möjliga avverkningskostnaderna och skördarscenario 4 förutsättningarna för lägsta möjliga avverkningskostnader (Figur 5 A-D).

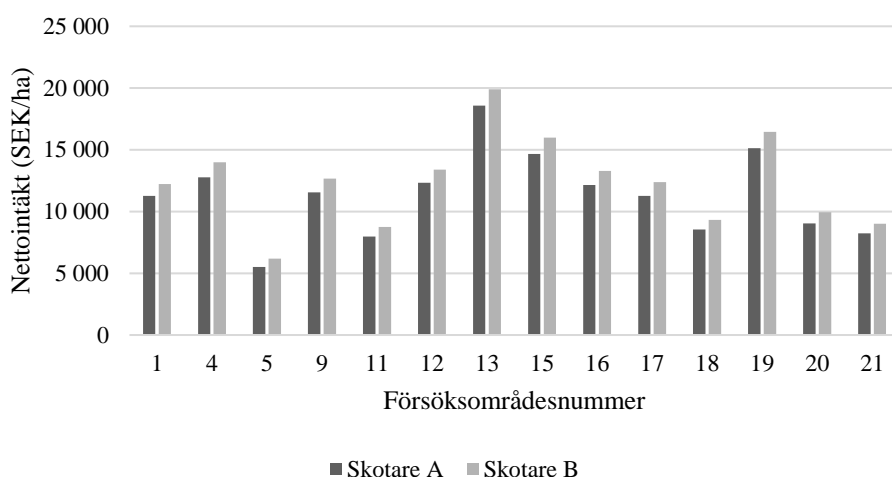
Figur 5A



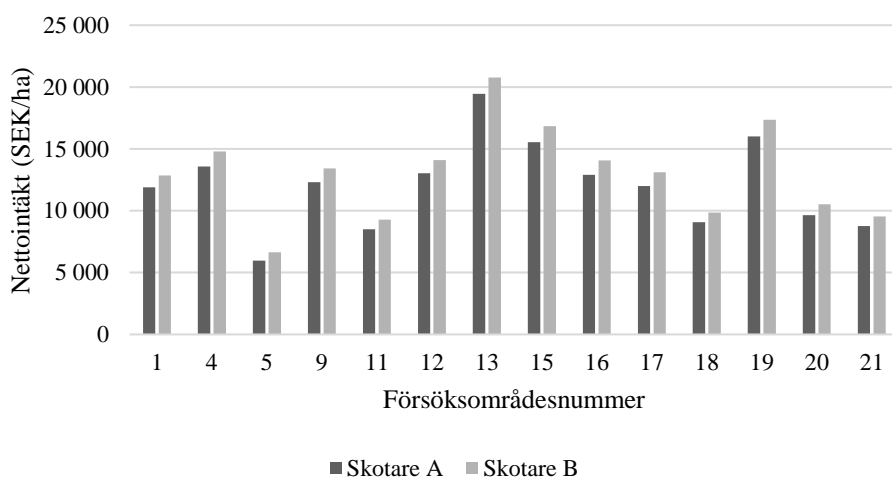
Figur 5B



Figur 5C



Figur 5D



**Figur 5 A, B, C, D.** Potentiella nettointäkter för avveckling av fröträd i de försöksområdena. Intäkterna anges som svenska kronor per hektar (SEK/ha) för alla försöksområden. De fyra figurerna A-D avser prestationsscenarierna 1-4 för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). Prestationsscenario för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h) och ljus stapel (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h). **Figure 5 A, B, C, D.** Potential net revenues from harvesting seed trees. The revenues are presented as Swedish crowns per hectare (SEK/ha) for all study areas. The four different figures (A-D) represents productivity scenario 1-4 for the harvester (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). The productivity scenario for the forwarder (A and B) are represented by the dark bars (8 m<sup>3</sup>fub/h) and the bright bars (10 m<sup>3</sup>fub/h).

Det gjordes också en analys av det sämsta möjliga utfallet. Resultatet för analysen tyder på att intäkterna förblir positiva (ca 2 300 SEK/ha) vid både det lägsta virkesförrådet inom ett 95-procentigt konfidensintervall från det uppskattade värdet på virkesförrådet och det produktivitetsscenariot med lägst produktivitet, alltså högst avverkningskostnader (tabell 5).



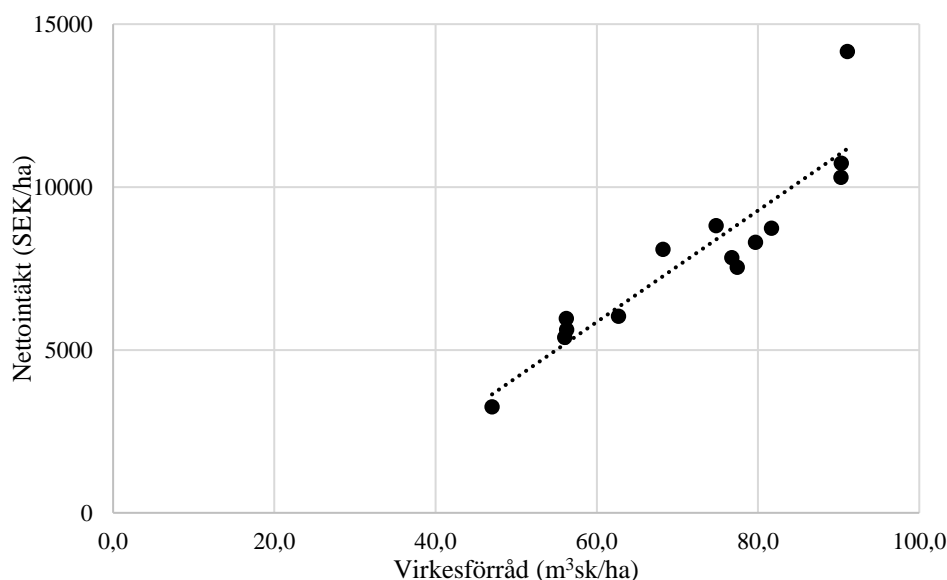
**Tabell 5.** De tre områdena som analyseras representerar olika stora virkesförråd. Beräknade av konfidensintervall för det virkesförråd som använts för beräkningarna av potentiell nettointäkt. Raderna B och C beskriver de yttre gränserna ett 95-procentigt konfidensintervall för virkesförrådet för varje försöksområde.

Raderna D och E beskriver de totala potentiella nettointäkter som beräknats utifrån de yttre gränserna i konfidensintervallet för virkesförrådet. Raderna F och G beskriver den potentiella nettointäkten per hektar som beräknats utifrån de yttre gränserna i konfidensintervallet. Det produktivitetsscenario som används är det som medför högst avverkningskostnader, dvs. scenario 1 (10 m<sup>3</sup>fub/h) för skördaren och A (m<sup>3</sup>fub/h) för skotaren

**Table 5.** The three analysed areas each represents different size categories of standing forest volume. Calculated confidence intervals for the standing forest volume used for calculation of potential net revenues. Rows B and C describe the outer limits of a 95 percent confidence interval for the standing forest volume for each study area. Rows D and E show the total potential net revenues that was calculated based on the outer limits of the confidence intervals for the standing forest volume. Rows F and G describe the potential net revenues per hectare that was calculated based on the outer limits of the confidence intervals. The productivity scenario that was used for these calculation were the one that results in the highest logging costs, that is scenario 1 (10 m<sup>3</sup>fub/h) for the harvester and scenario A (8 m<sup>3</sup>fub/h) for the forwarder

	Försöksområde		
	5 (Liten)	12 (Mellan)	13 (Stor)
A. Konfidensintervall	47 ± (2 × 6,8)	75 ± (2 × 15,4)	91 ± (2 × 11,9)
B. Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk/ha) (+)	61	106	115
C. Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk/ha) (-)	33	44	67
D. Nettointäkt (SEK total) (+)	8 586	32 760	126 123
E. Nettointäkt (SEK total) (-)	4 517	12 279	62 175
F. Nettointäkt per hektar (SEK/ha) (+)	4 293	13 104	19404
G. Nettointäkt per hektar (SEK/ha) (-)	2 258	4 912	9 565

Den potentiella nettointäkten per hektar användes för att ta fram de regressionsfunktioner som används nedan (Figur 6).



**Figur 6.** Det linjära sambandet mellan potentiell nettointäkt per hektar (y) (SEK) och virkesförråd (x) (m<sup>3</sup>sk) per hektar för skördarsscenario 1 (10 m<sup>3</sup>fub/h) och skotarsscenario A (8 m<sup>3</sup>fub/h):  $y = 171,02x - 4402$ . ( $R^2 = 0,8373$ ).

**Figure 6.** The linear correlation between potential net revenue per hectare (y) (SEK) and standing forest volume over bark (x) for the harvester scenario 1 (10 m<sup>3</sup>fub/h) and the forwarder scenario A (8 m<sup>3</sup>fub/h):  $y = 171,02x - 4402$ , ( $R^2 = 0,8373$ ).

Korrelationen mellan den potentiella nettointäkten och virkesförråd för skördarscenario 1 och skotarscenario A var tydlig (figur 6). Hur korrelationen såg ut i övriga produktivitetsscenarioer redovisas i bilaga 3. De regressionsfunktioner som upprättades uppskattade vid vilka ungefärliga virkesförråd som behövs för att avverkningen av fröträden ska bli lönsam (alltså om nettointäkten överstiger 0 SEK) enligt de beräkningar som utförts. Resultatet visade att ett virkesförråd på 19-25 m<sup>3</sup>sk/ha är tillräckligt för att avverkningen ska bli lönsam (tabell 6). Sedan beräknades vid vilket virkesförråd som den potentiella nettointäkten blev 4 000 SEK/ha, för att veta ungefär vilket virkesförråd som behövs för att kunna täcka kostnader för eventuella maskinflyttningar. För att generera en intäkt på 4 000 SEK/ha behövdes det enligt regressionsfunktionerna mellan 35 och 49 m<sup>3</sup>sk/ha.

**Tabell 6.** Regressionsfunktioner för beräkning potentiell nettointäkt per hektar (y) med virkesförråd som beroende variabel (x) och det virkesförråd per hektar som behövs att nettointäkten ska bli lika med noll. Virkesförrådet per hektar vid intäkten 4 000 SEK anges för att visa vilken intäkt som krävs för att täcka flyttkostnader för skogsmaskinerna. 1- 4 anger scenarier för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h), 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h) och A och B anger scenarier för skotaren (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h and B:10 m<sup>3</sup>fub/h)

*Table 6. Regression functions for calculating the potential net revenue per hectare (y) using the standing forest volume as depending variable (x). The standing forest volumes required for zero potential net revenues were calculated. The standing volume required to generate net revenues of 4 000 SEK/ha for covering the costs of moving forest machines was calculated as well. 1-4 represents the harvester scenarios (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h), 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h) whereas A and B represents the forwarder scenarios (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h and B: 10 m<sup>3</sup>fub/h)*

Produktivitets- scenario	Regressionsfunktion	R <sup>2</sup> - värde	Virkesförråd per hektar (m <sup>3</sup> sk/ha) vid y = 0 SEK	Virkesförråd per hektar (m <sup>3</sup> sk/ ha) vid y = 4000 SEK/ha
1A	y = 171,02x - 4402,0	0,8373	25,7	49,1
1B	y = 186,39x - 4476,1	0,8611	24,0	45,5
2A	y = 205,19x - 4566,7	0,8842	22,3	41,8
2B	y = 220,57x - 4640,8	0,8994	21,0	39,2
3A	y = 222,27x - 4649,1	0,9009	20,9	38,8
3B	y = 237,65x - 4723,2	0,9132	19,9	36,7
4A	y = 232,53x - 4698,5	0,9094	20,2	37,4
4B	y = 247,90x - 4772,6	0,9203	19,3	35,4

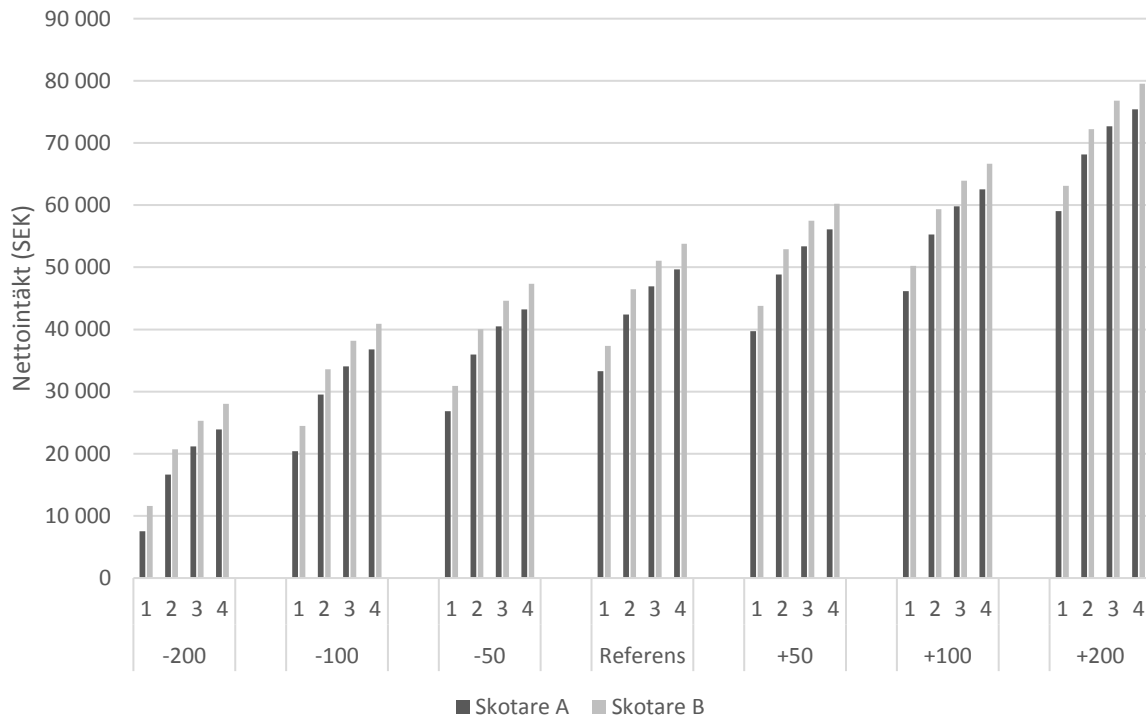
### 3.4. Känslighetsanalys

#### 3.4.1. Allmänt

Samma underlag som användes för att beräkna den potentiella nettointäkten användes vid känslighetsanalysen. I analysen ingick fyra försöksområden, nämligen nummer 5, 12, 13 och 19. Förändringen i virkespris utgick ifrån ett referensvärde som beräknades utifrån de gällande virkespriserna.

### 3.4.2. Virkespriser

En förändring av virkespriserna gjordes i intervallen  $\pm 50$ , 100 och 200 SEK per  $m^3$ fub. De beräknade värdena för försöksområde 19 redovisas nedan (figur 7). Övriga tre försöksområden (nr 5, 12 och 13) redovisas i form av bilagor (bilaga 1)



**Figur 7.** Potentiell total nettointäkt för försöksområde 19 med olika virkespriser. De särskilda grupperna representerar en förändring av virkespriset per  $m^3$  på allt timmer med det belopp som är angivet (-200 SEK, -100 SEK, -50 SEK, referens, +50 SEK, +100 SEK, +200 SEK). De åtta grupperade staplarna i varje grupp representerar de fyra prestationsscenariorna för skördaren (1: 10  $m^3$ fub/h, 2: 15  $m^3$ fub/h, 3: 20  $m^3$ fub/h och 4: 25  $m^3$ fub/h). De två prestationsscenarierna för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8  $m^3$ fub/ha) och ljus stapel (B: 10  $m^3$ fub/h).

**Figure 7.** Potential total net revenues for study area 19 with various timber prices. Bar groups represents a changes of the timber price per  $m^3$  (-200 SEK, -100 SEK, -50 SEK, reference, +50 SEK, +100 SEK, +200 SEK). The eight stacked bars in each of the groups represents the four productivity scenarios for the harvester (1: 10  $m^3$ fub/h, 2: 15  $m^3$ fub/h, 3: 20  $m^3$ fub/h and 4: 25  $m^3$ fub/h). The two productivity scenarios for the forwarder (A and B) is represented by the dark bars (A: 8  $m^3$ fub/ha) and the bright bars (B: 10  $m^3$ fub/h).

Följande exempel utgår från skördarscenario 3 och skotarscenario B. Om virkespriset där ändras med  $\pm 200$  SEK/ $m^3$ fub förändras den potentiella intäkten med ca 26 000 SEK, om ändringen är  $\pm 100$  SEK/ $m^3$ fub blir skillnaden i potentiell intäkt ca 13 000 SEK och om virkespriset ändras med  $\pm 50$  SEK/ $m^3$ fub blir förändringen av den potentiella nettointäkten ca 6 500 SEK (figur 7). Något anmärkningsvärt är att en ekonomisk förlust beräknats i ett prestationsscenario på försöksområde 5 (bilaga 1).

När den procentuella förändringen i virkesprisscenarierna jämfördes mellan de fyra försöksområdena blev förändringen i potentiell nettointäkt störst i försöksområde 5, som har lägst virkesförråd. Den minsta procentuella förändringen fanns i försöksområde 13, som har högst virkesförråd (tabell 7).

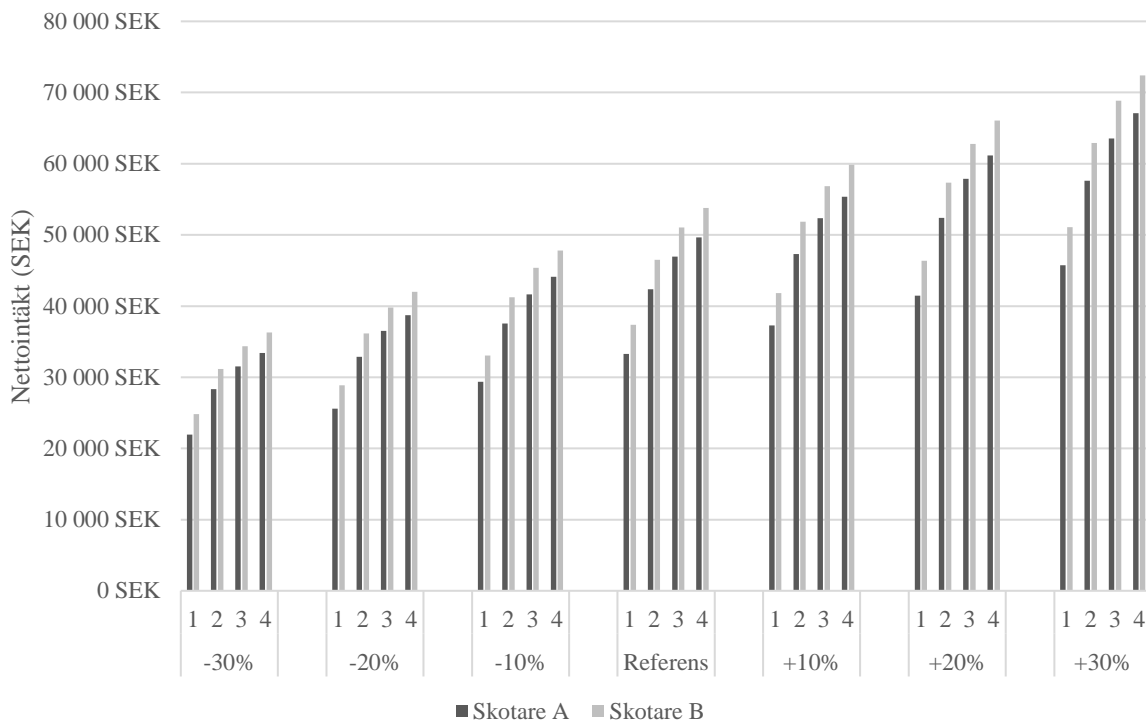
**Tabell 7.** Procentuell förändring av den uppskattade potentiella nettointäkten då virkespriset förändrades olika mycket i de fyra analyserade försöksområdena. De redovisade procentvärdena står för respektive prisförändrings påverkan på den potentiella nettointäkten i förhållande till referensvärdet. Siffrorna i tabellen är beräknade för skördarprestationsscenario 3 (20 m<sup>3</sup>fub/h) och skotarscenario B (10 m<sup>3</sup>fub/h). Försöksområde 5 står markerat som lågt för att understryka att området representerar ett lågt virkesförråd. Samtidigt representerar område 13 ett högt virkesförråd och är därför markerat som högt. De två andra områdena (nr 12 och 19) representerar medelhöga virkesförråd

*Table 7. Relative change (%) of the estimated potential net revenue when the price of timber was modified. Percent values represents how much the change in timber price is affecting the potential net revenue compared to the reference value (unchanged timber prices). Figures are due for the harvester productivity scenario 3 (20 m<sup>3</sup>fub/h) and the forwarder scenario B (10 m<sup>3</sup>fub/h). Study area number 5 is marked as low (långt) in the table to emphasis that the area is representing stands with a low standing volume. Study area number 13 is representing stands with high standing volume and is therefore marked as high (högt) in the table. The two other areas (nr 12 and 19) is representing more intermediate standing forest volumes*

	Försöksområdesnummer			
Prisförändring	5 (Lågt)	12	13 (Högt)	19
Referens	0	0	0	0
± 50 SEK	15,1	12,9	10,8	12,6
± 100 SEK	30,3	25,7	21,6	25, 2
± 200 SEK	60,6	51,5	43,2	50,5

#### 3.4.3. Virkesförråd

En förändring av virkesförrådet gjordes i intervallet ± 10, 20 och 30 %. De beräknade förändringarna av virkespriserna gjordes i intervallet ± 50, 100 och 200 SEK per m<sup>3</sup>fub. De beräknade förändringarna för försöksområde 19 redovisas nedan (figur 8). De tre övriga försöksområden som ingick i känslighetsanalysen redovisas i bilaga 2.



**Figur 8.** Potentiell total nettointäkt för försöksområde 19 vid olika virkesförråd. De särskilda grupperna representerar en förändring av virkesförrådet med följande procentsatser: -30 %, -20 %, -10 %, referens, +10 %, +20 % och +30 %. De åtta grupperade staplarna i varje grupp representerar de fyra prestationsscenarierna för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). De två prestationsscenarierna för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8 m<sup>3</sup>fub/ha) och ljus stapel (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h).

**Figure 8.** Potential total net revenue for study area 19 with varying standing volumes. Bar groups represent changes of standing volume (-30 %, -20 %, -10 %, reference, +10 %, +20 %, +30 %). The eight stacked bars in each of the groups represents the four productivity scenarios for the harvester (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). The two productivity scenarios for the forwarder (A and B) is represented by the dark bars (A: 8 m<sup>3</sup>fub/ha) and the bright bars (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h).

Även scenarierna där en förändring i virkesförrådet på försöksområdena gjordes resulterade i skillnader i intäkter. Följande exempel utgår från skördarscenario 3 och skotarscenario B. Om det ursprungliga virkesförrådet i försöksområde 19 förändras med 30 % förändras den potentiella intäkten med ca 18 000 SEK. Om ändringen i virkesförrådet är 20 % ändras den potentiella intäkten med ca 12 000 SEK och om ursprungsförrådet ändras med 10 % så förändras den potentiella nettointäkten med ca 6 000 SEK (figur 8).’

När den procentuella förändringen mellan de olika virkesförrådsscenarierna jämfördes mellan de fyra försöksområdena blev förändringen i potentiell nettointäkt störst i försöksområde 13, som har högst virkesförråd. Den minsta procentuella förändringen fanns i försöksområde 5, med lägst virkesförråd (tabell 8).

**Tabell 8.** Procentuell förändring av den uppskattade potentiella nettointäkten då virkesförrådet förändrades olika mycket i de fyra analyserade försöksområdena. De redovisade procentvärdena står för respektive förrådsförändrings påverkan på den potentiella nettointäkten i förhållande till referensvärdet (ingen förrådsförändring). Siffrorna i tabellen är beräknade för skördarprestationsscenario 3 (20 m<sup>3</sup>fub/h) och skotarscenario B (10 m<sup>3</sup>fub/h). Försöksområde 5 står markerat som lågt för att understryka att området representerar ett lågt virkesförråd. Samtidigt representerar område 13 ett högt virkesförråd och är därför markerat som högt. De två andra områdena (nr 12 och 19) representerar medelhöga virkesförråd

**Table 8.** Relative change (%) in estimated potential net revenue when the standing volume was modified. Figures show to what extent standing volume changes affect the potential net revenue compared to a reference (no changes made). The figures are calculated for the harvester productivity scenario 3 (20 m<sup>3</sup>fub/h) and the forwarder scenario B (10 m<sup>3</sup>fub/h). Study area number 5 is marked as low (långt) in the table to emphasize that the area is representing stands with a low standing volume. Study area number 13 is representing stands with high standing volume and is therefore marked as high (högt) in the table. The two other areas (nr 12 and 19) is representing more intermediate standing forest volumes

Prisförändring	Försöksområdesnummer			
	5 (Lågt)	12	13 (Högt)	19
Referens	0	0	0	0
± 30 %	31,7	33,3	39,1	34,9
± 20 %	21,0	22,0	25,6	23,0
± 10 %	10,5	10,9	12,6	11,4

## 4. DISKUSSION

### 4.1. Virkesförrådsinventering

Virkesförrådsinventeringen skulle kunna anses vara kärnan i de beräkningar som gjorts för att uppskatta lönsamheten vid fröträdsavverkningar i de besökta skogsområdena. Många av områdena gav ett första intryck av att ha ett stort virkesförråd redan vid fältbesöket. En relevant frågeställning kan vara hur de inventerade fröträdsställningarnas virkesförråd förhåller sig till virkesförrådet i en genomsnittlig fröträdsställning.

Enligt Karlsson et al. (2009) är det ovanligt att den stående volymen i en fröträdsställning överstiger 100 m<sup>3</sup>sk/ha. I de avdelningar som inventerats i denna studie hade samtliga en stående volym som var lägre än 100 m<sup>3</sup>sk per hektar. I Karlsson et al. (2009) görs också kalkyler där olika föryngringsalternativ jämförs med varandra ur ett ekonomiskt perspektiv. I det exempel som behandlar naturlig föryngring används 73 m<sup>3</sup>sk per hektar för att beräkna intäkten för avverkning av fröträden. Den volymen borde vara i närheten av det genomsnittliga virkesförrådet i en vanlig fröträdsställning. I en annan studie av Westerberg & Berg (1994) undersöks två bestånd som båda benämns som skärmar. En av dem har ett virkesförråd på 100 m<sup>3</sup>sk/ha, där syftet med de kvarlämnade träden varit naturlig föryngring. Den andra skärmen som beskrivs i Westerberg & Berg (1994) hade ett virkesförråd som uppgick till 180 m<sup>3</sup>sk/ha, men där anges att det fanns oklarheter om huruvida syftet med skärmen var att beså marken.

Ett av målen med urvalet av försöksområden var att få en spridning och variation i variabeln virkesförråd. Detta mål uppnåddes. Skillnaden mellan avdelningarna med lägst resp. högst virkesförråd var 44 m<sup>3</sup>sk per hektar vilket i sammanhanget kan anses vara en stor skillnad, särskilt som fröträdsställningar med ett virkesförråd över 100 m<sup>3</sup>sk per hektar är ovanliga. Skillnaden mellan områden ifråga om lägsta och högsta totala virkesförråd kan också anses vara stort. Skillnaden uppgick till 498 m<sup>3</sup>sk vilket torde vara högt i sammanhanget, ur ett ekonomiskt perspektiv.

I resultatet för volyminventeringen finns det omständigheter som var mer framträdande på vissa av de inventerade områdena och som bör nämnas. Även om det finns vedertagna metoder för att utföra skogliga inventeringar så finns det med stor sannolikhet någonting i en avdelning som avviker från det normala. Denna avvikelse kan vara mindre viktig och kanske kan bortses ifrån, men avvikelserna kan också vara så stora att de tydligt framträder under inventeringsarbetets gång. Några av de potentiella studieområdena valdes därför bort redan i urvalet eftersom att det gick att utläsa av flygbilder att de var så kraftigt drabbade av vindfällning att de skulle bli svåra att ge en rättvis bild av vid en eventuell inventering. I ett av de ingående områdena (nr 15) fanns det dock avvikelser som inte gick att utläsa av flygbilder, men som istället märktes under själva fältinventeringen. Det hade varit ett slöseri med resurser och tid att utesluta ett område då en del av inventeringsarbetet redan utförts. Därför fick detta område ingå trots kända problem. Ett annat studieområde (nr 21) hade liknande problem, men valdes ändå på grund av att föryngringsresultatet var godkänt, vilket innebar att det fanns en möjlighet att avverka fröträden. Båda dessa områden var delvis oregelbundna och hade stora öppna partier som främst berodde på vindfällning. Detta gjorde att risken för att den systematiska inventeringsmetoden ger ett större medelfel på grund av provtytor slumpvis hamnar där det finns träd, eller tvärtom så att flera ytor blir utplacerade på glesa eller helt kala delar av området. Detta, i kombination med att områdena dessutom var stora och därför gav

stora totalvolymen, gör att inventeringsresultatet från dessa två områden bör tas med försiktighet.

Medelfelet i virkesförrådsinventeringen bör kommenteras. Försöksområdena 1 (18,4 %), 12 (20,6 %), 15 (19,8 %) och 18 (19,0 %) har samtliga relativt höga medelfel (angivna inom parantes). Detta jämfört med de flesta av de övriga områdena som har medelfel mellan 10 och 15 %. Beräkningen av medelfelen baserades på den standardavvikelse som förekom mellan de inventerade provytornas volymkattningar. Försöksområden som har höga medelfel, som de ovan nämnda, har således jämförelsevis stora variationer mellan provytorna.

Hela arbetets syfte var att skapa ett underlag för skoglig planering av fröträdsställningar. Det bör därför understrykas att det inte är ekonomiskt gångbart att utföra en systematisk provyteinventering för varje fröträdsställning som ska avverkas. Anledningen till att en systematisk metod användes här var att det kan vara en fördel att inventera viktiga parametrar som virkesförråd så noga som möjligt. Om en annan enklare metod valts istället finns risken för ett större medelfel i volyminventeringen. Eftersom virkesförrådet utgör grundstenen i de utförda beräkningarna hade en stor del av dessa också blivit mer fel. I praktiken kommer troligen registeruppgifter om t.ex. virkesförråd att användas vid framtida planering av fröträdsavverkningar. Det är svårt att uttala sig om osäkerheten i sådana avdelningsregister, särskilt om det rör fröträdsställningar där det förekommit en del vindfällning. I en studie av Eriksson (2010) undersöks hur olika beståndsdata från olika källor påverkar uppskattningar av sortimentsutfallet vid avverkning. De källor som jämförs är beståndsregistret och mätningar som gjorts vid planering inför avverkning i fält. Resultatet i studien pekade mot att beståndsregistret gav mindre bra uppskattningar av utfallet. Det kan tänkas att samma sak gäller för virkesförrådskattningar mer generellt, alltså att ett beståndsregister har lägre precision än mätningar vid ett fältbesök.

Det finns alltid osäkerheter i inventeringar på grund av den mänskliga faktorn och för att skogsbestånd generellt är heterogena och innehåller olikheter som är svåra att fånga upp utan att göra en totalinventering, en sådan är dock alltför dyr att utföra. Utöver de fel som kan förekomma i volyminventering/registeruppgifter så finns det alltid en potentiell osäkerhet när volymerna beräknas som fasta och toppmätta kubikmeter, eftersom omräkningstalen som finns att tillgå är generella och lokala variationer alltid förekommer. Detta tas upp av Cernold (1981) som understryker att de omräkningstal, som har använts under arbetet, är uppskattade ungefärligt eftersom att skogen är heterogen.

En annan svårighet med inventeringen är att uppskatta de kala ytornas påverkan på totalvolymen. Enligt Barth et al. (2008) leder stormluckor i bestånd till att bestånden blir mer svåruppskattade då fältinventering utförs. I denna studie gäller detta för försöksområde 15 och 21 som delvis hade helt öppna ytor till följd av vindfällning. Detta skapar problem oavsett om inventeringen sker med en systematisk och slumpmässig provyteutläggning eller om den utförs med subjektiva metoder, alltså att inventeraren väljer ut punkter som denne anser vara representativa. Troligtvis krävs det en erfaren inventerare för att med precision kunna uppskatta hur mycket av avdelningen som utgörs av ytor helt utan träd.

De utbytesfunktioner som Rune Ollas (1980) tog fram ligger till grund för svenska skogsföretags modeller för utbytesberäkning, även om det finns vissa brister (Karlsson, 2010). Att utbytesfunktionerna används under en sådan lång tid talar för att de ger en godtagbar uppskattning av förhållandena som gäller utbyte av massaved och timmer. Något som ej



kan bekräftas av tillgänglig litteratur är hur utbytesfunktionernas precision påverkas av i vilken typ av bestånd beräkningarna utförs, exempelvis ett glesare bestånd, som fallet är med fröträdsställningarna. Enligt de slutrapporter som erhöles när tre av försöksområdenas fröträd avverkades visade de att timmerandelen uppgick till ungefär 90 procent. De utbytesberäkningar som utfördes gav en timmerandel mellan 75 och 80 procent för de flesta av försöksområdena. Detta skulle kunna bero på att de generella modeller som använts för att uppskatta timmerandelen utgår från bestånd som inte är fröträdsställningar.

## 4.2. Markinventering

Även ifråga om markinventeringen finns vissa osäkerheter som spelar in och är relaterade till den mänskliga faktorn. Markinventeringen syftade främst till att ge en bild av torvens mäktighet på de inventerade områdena. Denna information var intressant för bedömning av bärigheten för maskiner inför eventuella avverkningar. Bärigheten förväntades givetvis att vara låg på samtliga försöksområden, men en önskad bild av tillgången på fastare punkter och delområden motiverade torvdjupsmätningen. Resultatet av markinventeringen visade att det fanns två områden stack ut från det övriga resultatet genom att andelen fasta punkter uppgick till två tredjedelar av samtliga inventerade punkter på områdena (tabell 3). Anledningen till att dessa områden ändå fick ingå som försöksområden var att de samtidigt hade inslag av torvmark. I ett av fallen var området tydligt uppdelat i en fastare upphöjd del och en låg, torvdominerad del. I det andra fallet var det mer flytande övergång mellan fast- och torvmark. Senare i avsnittet diskuteras också hur metoden som använts för att uppskatta andelen fast- respektive torvmark inte kan användas för att säkerställa andel torv- och fastmark, att utesluta områden från försöket baserat på den mätningen var därför inget alternativ. Mätningen av torv syftade snarare till att ge en uppfattning hur situationen med torvens mäktighet såg ut. Låg bärighet är något som utgör en skillnad mellan fastmark och torvmark och samtidigt potentiellt kan leda till högre avverkningskostnader (Päivänen & Hånell, 2012). Detta kan följaktligen innebära att fasta punkter är önskvärda vid drivningsarbete. Markinventeringen utfördes vid samma tillfälle som volyminventeringen - och på samma provytor. Mot metoden för torvdjupsinventeringen, som beskrivs detaljerat i avsnitt 2.3.5, kan anföras att ett mera systematiskt tillvägagångssätt hade varit att föredra men i mån av tid och resurser valdes ett något enklare sätt.

Mäktigheten var den enda variabeln som uppskattades för att säga någonting om områdenas bärighet. Motiveringen till det är den praktiska aspekten av arbetet. Bärigheten beror på flera faktorer och är svår att uppskatta. Anledningen till att terrängtypschemat, utformat för att uppskatta körbarheten i skogsmark (Berg, 2006), ej är till någon användning i detta fall är att det är för grovt för torvmarksskogar. Enligt terrängtypschemat så blir torvmark alltid klassificerat som grundförhållandeklass fem (vilket är den klass som representerar lägst bärighet). Detta gäller oavsett hur de andra parametrarna vegetationstyp och markfuktighetsklass förhåller sig (Berg, 2006). Därför kan det slutledas att terrängtypschemat ej kan användas för att särskilja olika grundförhållandeklasser när det är torvmark som avses.

Enligt Uusitalo och Ala-Ilomäki (2013) och Uusitalo et al. (2015) är virkesförrådet, mängden tillgängliga avverkningsrester (GROT), torvens hållfasthet samt det översta marklagrets fukttinnehåll viktiga variabler som påverkar markens bärighet. I studien av Uusitalo och Ala-Ilomäki (2013) beskrivs ett samband mellan virkesförrådets storlek och hur mycket biomassa i form av rötter som finns i marken. Sambanden blir, enligt studien, starkare då markens produktivitet blir lägre. Däremot kan resultatet i studien inte beskriva hur en förändrad

rotbiomassa i marken påverkas av den stående volymen. Ett större virkesförråd ger dock andra fördelar från drivningssynpunkt. Exempelvis borde ett sådant innebära en större potentiell intäkt vid avverkning, vilket ger ett större spelrum för eventuella produktivetsnedsättande företeelser i avverkningsarbetet. Dessutom bör det innebära att det finns mer tillgängliga avverkningsrester att använda i körvägarna. Det är logiskt att markens fuktinnehåll påverkar bärigheten, men detta är en variabel som är orealistisk inom ramarna för denna studie, dels för att förutsättningarna inte fanns vid inventeringen med avseende på utrustning och tid, men också på grund av att det inte är helt klarlagt hur fuktigheten i marken påverkar bärighet och körbarhet på torvmarker (Uusitalo & Ala-Ilomäki, 2013).

Torvens hållfasthet och styrka hade kunnat mätas med hjälp av en så kallad konpenetrometer. Den ger ett konindex som indikerar hur stort tryck marken kan bära. En stor nackdel med metoden är att på torvmark ger inte mätningar med konpenetrometer en rättvis uppskattning av markens bärighet (Uusitalo, et al., 2015). Vid markinventeringen förväntades det inte att något av områdena skulle domineras av fastmark, men det bedömdes ändå intressant att veta i vilken utsträckning fastare inslag förekom. Andelen påträffad fastmark varierade något mellan de olika områdena. Då det påträffades så var det ofta i form av något upphöjda partier som utgjorde öar på annars torvdominerade delar. Även i kanterna på de inventerade fröträdsställningarna var det vanligt att fastare inslag förekom och ibland sträckte sig ut en bit in på torvmarkerna. Som nämnts ovan fanns det stora partier på två av områdena som var mer dominerade av fastmark. En föreställning skulle kunna vara att riskerna för bildning av djupa körspår bör minska med ökad fastmarksandel, men troligtvis är förhållandet mellan fastmarksandel och körskador inte så linjärt och förutsägbart. Flera faktorer som jordart, fuktighet, innehåll av organiskt material, terrängens lutning, skogsmaskinens typ och storlek, däcktryck, däckform och antalet körningar över ett visst område avgör i vilken uträkning markpåverkan sker (Cambi, et al., 2015). Alltså är det många faktorer som påverkar riskerna vilket kan leda till svårigheter att dra sådana generella slutsatser. Om marken är fastare vid avdelningens kanter och omgivande skogsbestånd är dominerade av fast mark kan träd avverkas så långt skördaren når med kranen (8-10 m). Träd längre in kan fällas motormanuellt ut mot kanten så att skördaren når topparna. På det sättet kan en del av virkesförrådet tas ut utan att någon körning behöver ske där bärigheten är låg (Grahn, 2016). Detta skulle vara en variant av metoden som kallas för stråkfällning och som beskrivs mer ingående i det sista stycket av avsnitt 4.2.

Den beräknade andelen av inventerade provytor som utgjordes av fastmark är inget direkt mått på hur stor andelen fastmark var på området, men det kan användas för att ge en indikation på vilka förutsättningar som finns inför eventuellt drivningsarbete. Det behöver också tilläggas att även där inslag av fastare mark förekom var markfuktigheten i avdelningarna ofta hög. Slutligen ska det nämnas att torvmarkens låga bärighet bör beaktas och avverkningsåtgärder borde allra helst utföras när väderförutsättningar tillåter, d.v.s. efter långvariga nederbördsfria perioder eller då marken är frusen. Områden med låg bärighet som inte på övrig tid avverkas på grund av låg bärighet kan vara tillgängliga för avverkning på vintern då marken är frusen (Edlund, 2012).

För att vid avverkningsåtgärder minska körningen på marker med låg bärighet finns det en metod för avverkning som kan vara intressant. Metoden brukar på Sveaskog i Växjö benämnas stråkfällning (Grahn, 2016). Stråkfällningen utförs genom att motormanuell fällning av träd sker och träden fälls med trädtopparna in mot de körstråk där skördare och skotare planerar köra. Skördaren kan sedan dra in träden till körstråket och bearbeta dem där. Skördaren kan nå träd upp till en knapp kranlängd (10 meter) från körstråket. Träden i

försöksområdena hade ofta en höjd mellan 15 och 20 meter. Fördelarna med metoden blir då att det behövs färre körstråk i bestånden eftersom att fler träd kan nå från varje enskilt stråk. Dessutom finns det mer avverkningsrester tillgängligt för de körstråk som faktiskt används. Metoden kan tänkas vara särskilt lämplig för just avverkning av fröträd, eftersom det är glesare mellan träden än vid slutavverkning av en mer sluten skog. Det kan dock finnas praktiska svårigheter vid planering och utförande av själva avverkningen. Exempelvis kan det vara svårt att fälla samtliga träd exakt dit de är som mest lämpliga att fälla. Dessutom måste det finnas ett bra samspel mellan maskinförare och motormanuell personal. Sedan tillkommer kostnader eftersom att ytterligare personal behövs vid avverkningsarbetet. Det kan tänkas att vissa produktivitetsvinster kan göras eftersom skogsmaskinerna, om åtgärden går som planerat, kan arbeta mer effektivt. Det går dock inte att veta om det gynnar den totala potentiella nettointäkten vid avverkningen, eftersom att ytterligare kostnader för motormanuell personal tillkommer.

### **4.3. Potentiellt avverkningsnetto**

Att uppnå ekonomisk lönsamhet vid en avverkningsåtgärd är givetvis av yttersta vikt för ett vinstdrivande företag. Den fråga som uppkommer då är vad som kan definieras som ekonomisk lönsamhet. Svaret på den frågan kan bero på situationen. En enkel och tydlig definition av ekonomisk lönsamhet är att intertäkterna är större än kostnaderna och så är fallet när den potentiella nettointäkten har beräknats för försöksområdena. Följdfrågan blir sedan hur stora nettointäkterna behöver vara för att avverkning ska bli intressant i ett företagsekonomiskt perspektiv.

Försöksområdena kunde delas in i tre grupper med avseende på den potentiella nettointäkten. Grupp 1 innefattade försöksområde 5, 18 och 20 och de hade låg potentiell nettointäkt (i relation till de övriga försöksområdena). Grupp 2, som utgjordes av försöksområdena 1, 11, 12, 16 och 17, befann sig i ett mellanskikt med sannolikt goda möjligheter att kunna avverkas lönsamt. Grupp 3, d.v.s. områdena 4, 9, 13, 15, 19 och 21, hade höga potentiella nettointäkter jämfört med övriga försöksområden (figur 3 A-D). Hur eventuella felmarginaler i inventering och beräkningar påverkar nettointäkten undersöks i de analyser som utförts. De analyser som gjorts stärker däremot bilden av att riskerna för negativa nettointäkter inte är så stora, eftersom att det endast förekom i enstaka fall att de potentiella intäktsberäkningarna visade negativa värden (förluster). Detta trots att känslighetsanalyser gjordes där påverkan av kraftiga förändringar i såväl virkespriser som inventerade virkesförråd undersöktes. Något som däremot inte har räknats på och som skulle vara svårt att räkna på är eventuella oförutsägbara problem kopplade till exempelvis låg bärighet som kan uppkomma vid avverkningsarbetet och öka avverkningskostnaderna. De försöksområden som grupp 1 gav förvisso en positiv potentiell nettointäkt, men inte med stor marginal. Det innebär en ökad risk för att avverkningsåtgärder i de försöksområdena icke blir lönsamma på grund av oförutsägbara ökade avverkningskostnader. Försöksområdena i grupp 2 hade bättre förutsättningar för god lönsamhet vid avverkning av fröträden än de i grupp 1. Inte heller där var marginalen särskilt stor, men gränsen var svår att bestämma exakt. Risken finns fortfarande att försöksområdena i grupp 2 inte uppnår ett lönsamt resultat, om något oförutsägbart problem uppkommer, men den är mindre än för grupp 1. I grupp 3 finns försöksområden som uppnår högre lönsamhet och de bör därför ha lägst risk för ekonomiska förluster vid avverkning.

Några tidigare studier av lönsamhet vid avverkning av frö- eller skärträd kunde inte hittas. Den enda med någon relevans är Westerberg & Berg (1994) där avverkningskostnader vid fröträdsavverkningar beräknas. Anledningen till att den studien inte lämpar sig särskilt väl för jämförelse är att studien är 23 år gammal och de underlag för kostnadsberäkningar som används inte stämmer med de förutsättningar som finns med dagens utrustning. Dessutom skiljer sig stamantal och medelstamsvolym i den gamla studien från de fröträdställningar som undersökts här.

Att använda en scenariorienterad metod för att beräkna de potentiella och eventuella maskinkostnaderna vid slutavverkning av fröträden på försöksområdena har styrkor och svagheter. Scenarierna ger en bred och översiktlig bild av flera möjliga kostnadsutfall vid en slutavverkning av fröträden. Att resultatet kan överskådas i ett bredare perspektiv är ett sätt att i någon mån kunna hantera en osäkerhet som finns vid beräkning av maskinkostnader i de förhållanden som karaktäriserar försöket. Det faktum att det är fröträd som slutavverkas i kombination med att åtgärden sker på mark med låg bärighet gör att hela sammanhanget kan betraktas som ett specialfall. I de produktivetsnormer som finns tillgängliga för att utföra beräkningar på skogsmaskiners produktivitet så nämns inte bärighet som en påverkande faktor för varken skördare eller skotare (Brunberg, 1994; Brunberg, 2004). Detta leder till konklusionen att sambandet mellan bärighet och prestationer för skogsmaskinerna ännu inte är nog studerat.

En annan metodrelaterad fundering rör beräkningarna av kostnader för skogsmaskiner. På grund av svårigheter med att bestämma produktivitet för skogsmaskinernas arbete på låg bärighet med produktivetsnormer och bortsättningsunderlag användes istället ett underlag som baserades på samtal med en maskinförare som är erfaren i sammanhanget (Johansson, 2016). Det samtalet låg till grund för upprättandet av de produktivitetsscenarioer som användes för att beräkna maskinernas kostnader vid avverkning. Nackdelen med metoden är att beräkning av kostnaden för skogsmaskiner i uträkningarna endast beror på en enskild variabel nämligen virkesförrådet. Det ska också nämnas att slutrapporten från de tre försöksområden där fröträden avverkades visar på att de scenarier som upprättades för att beräkna maskinkostnaden stämde bra överens med den verkliga produktiviteten som framgick av slutrapporteringen för avverkningen.

I praktiken kan fröträden eventuellt avvecklas samtidigt som närliggande skärmar, vilket ger andra förutsättningar för själva avverkningsarbetet. I resultatet betraktas försöksområdena som enskilda och isolerade, men i praktiken avverkas närliggande fröträdställningar mest troligt vid samma tidpunkt, vilket kan ge bättre förutsättningar för lönsamhet.

Intäkterna visade sig vara starkt relaterade till det totala virkesförrådet på försöksområdet (figur 2), vilket gör att regressionsfunktioner kan tas fram för att beskriva sambandet. Regressionsfunktionerna som upprättades har en praktisk användning eftersom att de kan användas för att beräkna en potentiell nettointäkt för ett givet virkesförråd. De utgör en förenklad funktion för samtliga de beräkningssteg som utförts i beräkningarna. Fördelen med att använda regressionsfunktioner är att de är enkla att förstå och att använda. Resultatet av regressionsfunktionerna var att det enligt funktionerna krävdes mellan 19 och 25 m<sup>3</sup>sk/ha för att uppnå ekonomisk lönsamhet, om ekonomisk lönsamhet definieras som en positiv intäkt. Det innebär dock inte att ett virkesförråd på ca 20 m<sup>3</sup>sk/ha alltid garanterar ekonomisk lönsamhet. För att uppnå lönsamhet krävs troligt att fröträdsställningen har de förhållanden som råder på de olika försöksområdena, samt att fröträdsställningen utgörs av ett större sammanhängande område.

En tänkvärd aspekt ur ett lönsamhetsperspektiv för de försöksområdena med lågt virkesförråd och därmed låg potentiell nettointäkt är att i de fall då den potentiella nettointäkten är låg finns det mindre svängrum för oförutsebara kostnadsökningar som beror på problem som kan uppstå vid drivning på låg bärighet. Det är fröträdställningar med låga virkesförråd och därav låga potentiella nettointäkter som torde vara mer känsliga för icke förutsedda kostnadsökningar som t.ex. ökad tidsåtgång för skogsmaskinerna. Dessutom finns det ofta skogsdiken som behöver passeras, vilket också kan kräva extra tid och därför också avverkningsåtgärden kosta mer (Päivänen & Hånell, 2012). Sedan tillkommer ytterligare kostnader i samband med en förflyttning av skogsmaskinerna inför avverkningsåtgärden. Kostnaderna för en genomsnittlig förflyttning av skogsmaskiner kan uppgå till mellan 2 000 och 4 000 SEK (Grahn, 2017). För att täcka en kostnad på 4 000 SEK för maskinförflyttning krävdes det enligt regressionsfunktionerna ett virkesförråd mellan 35 och 49 m<sup>3</sup>sk/ha (beroende på vilken produktivitet skogsmaskinerna kan hålla).

När det gäller fröträdställningar som har låga volymer och lågt avverkningsnetto kan det ifrågasättas om en avverkning blir ekonomiskt lönsam, alltså att nettointäkten blir positiv. Några av områdena hade en liten nettointäkt. Om flyttkostnader för maskiner dessutom tillkommer blir det gränsfall om huruvida de områdena kan betraktas som ekonomiskt lönsamma. Om lönsamheten för en fröträdsavverkning är nära noll eller till och med negativ, alltså att en avverkningsåtgärd skulle innebära en kostnad, vilka alternativ finns det då?

Ett alternativ till att inte avverka fröträdet är låta dem stå kvar i beståndet på obestämd tid. Att lämna kvar fröträden följs av några problem. Om fröträden avverkas för sent eller inte alls kan det leda till ojämnheter i plantsbeståndet vilket minskar möjligheterna för bra kvalitet på stammarna i framtiden (Karlsson & Örlander, 2004). Enligt författarna kan det bildas så kallade fröträdsbrunnar som kan finnas kvar i beståndet mycket länge, de kan identifieras som nedsänkningar i beståndets krontak där det finns stubbar från fröträdet. Dessutom kan tillväxten hos plantbeståndet (de plantor som växer i närhet av moderträden) hämmas på grund av att de börjar konkurrera med moderträden om befintliga resurser (Karlsson & Örlander, 2004). Ytterligare en nackdel är risken att fröträdställningarna drabbas av vindfällning, vilket kan leda till att de fällda träden ändå måste hämtas enligt skogsvårdslagen. (Karlsson & Örlander, 2004; Skogsvårdslagen, 2012) I det fallet uppkommer en kostnad i samband med hämtning av vindfällena och dessutom måste virket köras ut innan ett visst datum, vilket betyder att markägaren kan tvingas att hämta träden när bärigheten är som sämst.

Det som framkommer är att en avvägning och ett ställningstagande får göras. Kan det vara bättre att planera för att gå med exempelvis 2 000 SEK i förlust vid en fröträdsavverkning som går att beräkna ungefärligt, istället för att oberäknat göra en förlust på tiotusentals kronor vid en stormsituation då vindfällena först behöver inventeras och sedan upparbetas och hämtas med kostsamma maskiner. Risken för vindskador finns alltid när naturlig föryngring med fröträdet används som metod (Karlsson & Örlander, 2004). Det är dock skillnad på att lämna fröträden på obestämd tid eftersom stormar med olika styrka förekommer med jämna mellanrum. Enligt SMHI (2013) är det troligt att kommer att stormar med liknande intensitet som de senaste årens stormar kommer att förekomma, samt att tätheten mellan stormarna förmodligen kommer att variera från år till och decennium till decennium.

## 4.4. Känslighetsanalys

### 4.4.1. Virkespriser

En känslighetsanalys med avsikt att visa hur förändringar i virkesmarknaden påverkar beräkningarna av de potentiella nettointäkterna kan försvaras eftersom variationer i virkespriset påverkar förutsättningarna för att lyckas med ekonomiskt lönsamma avverkningsåtgärder.

Resultatet anger att finns det framträdande skillnader i den potentiella nettointäkten när virkespriserna förändras. De procenttal som presenteras i tabell 7 kan dock inte användas för att generellt beskriva i vilken grad variationer i virkespriser påverkar potentiell lönsamhet eftersom att de endast gäller för ett specifikt prestationsscenario. Storheten på förändringen i procent varierar beroende vilket prestationsscenario som undersöks. Något som däremot kan nämnas generellt och som var gällande för när samtliga scenarier jämfördes var ett samband mellan försöksområdenas storlek och förändringen i procentenheter i potentiell nettointäkt vid olika virkespriser. Resultatet visade nämligen på att den procentuella skillnaden var större i försöksområden med lågt virkesförråd, än i försöksområden med högt virkesförråd.

Något som kunde ha gjorts annorlunda var att förankra de förändrade virkespriserna i en prognos för att kunna genomföra en mer riktad känslighetsanalys med ett resultat som eventuellt hade varit mer verklighetsbaserat. I brist på virkesmarknadsprognoser användes istället ett alternativ som är mer generaliserande, men samtidigt täcker in flera möjliga utfall. Det hade också varit intressant att jämföra variationer i virkespriser mellan gran- och talltimmer och vilka kombinationer som ger de största skillnaderna i potentiell nettointäkt. Eftersom att bara ett fåtal av fröträdsställningarna hade något inslag av gran så hade det inte gett något med en sådan analys.

### 4.4.2. Virkesförråd

En känslighetsanalys utfördes också där det virkesförråd, som utgör grunden i intäktberäkningarna, ändrades olika mycket för att åskådliggöra hur de potentiella nettointäkterna förändrades. Vid skoglig inventering finns det alltid en felmarginal gällande noggrannheten av det insamlade materialet. Enligt Ståhl (1992) kan ett medelfel på ca 12-13 procent erhållas vid en noggrann, systematisk och objektiv inventering med vad som enligt studien ansågs vara "ett stort antal" cirkelprovytor. Samtidigt menar Ståhl (1992) att vid en subjektiv inventering, alltså där ett relaskop används för att uppskatta grundytan på fyra av inventeraren valda punkter i beståndet, kan medelfelet uppgå till ca 14 procent. Om ett inräknat systematiskt fel läggs till hamnar noggrannheten (dvs medelfelet plus det systematiska felet) kring 15-20 procent. Ingen studie som beskriver hur noggrannhet kan förhålla sig i beståndsregister kunde hittas, men det är troligt att noggrannheten kan vara varierande. Utifrån detta varierades det virkesförråd som beräknats med plus-minus 10, 20 och 30 procent för att se i vilken utsträckning det påverkade de potentiella avverkningsnettona.

De procentsatser som presenteras i tabell 8 representerar inte i vilken procentuell grad som förändringar i virkesförrådet påverkar den potentiella lönsamheten. Detta beror på att dessa procentuella förhållanden endast gäller för ett givet prestationsscenario och därför inte är

giltigt ur ett generellt perspektiv. Ett mönster återfanns dock i resultatet och var gällande oavsett vilket prestationsscenario som användes: I ett försöksområde med högt virkesförråd och hög potentiell nettointäkt var den procentuella förändringen större när det ingående virkesförrådet ändrades, jämfört med ett försöksområde med låg volym och låg potentiell nettointäkt. Alltså blir det större utslag i den potentiella nettointäkten om beräkningsunderlaget för virkesförråd har låg noggrannhet. Detta förklaras enkelt av att förändringen är procentuell, vilket innebär att i ett försöksområde med högt virkesförråd så blir förändringen i absoluta kubikmeter större än i ett försöksområde med lågt virkesförråd. De potentiella nettointäkterna beräknas utifrån de absoluta volymerna och därför blir skillnaderna i procent större för försöksområden med höga virkesförråd.

I praktiken är det sannolikt att uppgifter om virkesförråd delvis kan vara osäkra, därför är det intressant att få en uppfattning om i vilken utsträckning osäkerheten påverkar den beräknade nettointäkten för avverkning av fröträden.

#### **4.5. Fortsatta eller alternativa studier**

En intressant aspekt som har anknytning till studien är hur skogsmaskiners produktivitet påverkas av låg bärighet. Detta är någonting som ej studerats ingående och som hade varit mycket intressant. Om tid och ekonomiska resurser hade funnits kunde en tidsstudie av terrängkörning med såväl skördare som skotare på låg bärighet ha varit av intresse och det hade varit ett utmärkt förarbete att koppla samman med den här studien.

En annan åtgärd att undersöka tidsåtgången för är den så kallade stråkfällningen som beskrivs i avsnitt 4.2. I korthet innebär stråkfällningen att träd fälls in mot körstråket med hjälp av motormanuell personal så att skördaren kan nå träden med kranen, varefter de upparbetas av skördaren. Det som ej är undersökt är tidsåtgången för endast motormanuell trädfällning utan någon vidare motormanuell upparbetning av träden. Det vore intressant att veta hur många träd som hade behövts fällas motormanuellt, hur mycket det hade kostat och i vilken utsträckning det påverkar maskinprestationer att fälla träd motormanuellt in mot körstråken.

## 5. SLUTSATS

Utifrån försöksområdenas virkesförråd och beräknade potentiella nettointäkter vid avverkning av fröträden tyder resultatet på att ekonomisk lönsamhet är möjlig att uppnå. Det finns ett antal försöksområden där virkesförrådet och därav den potentiella nettointäkten är låg och de kan anses befinna sig i en gråzon med avseende på lönsamhet. Exakt när ett virkesförråd är för lågt är svårt att ange. De regressionsfunktioner som upprättades utifrån virkesförråd och beräknade potentiella nettointäkter visade att det krävs ett virkesförråd på 19-25 m<sup>3</sup>sk/ha för att ge en positiv nettointäkt. När flyttkostnader på 4 000 SEK för skogsmaskinerna räknades in krävdes det ett virkesförråd på mellan 35 och 49 m<sup>3</sup>sk/ha för att uppnå lönsamhet med avverkningen av fröträden.

De analyser som gjordes styrkte slutsatsen att förutsättningar för ekonomisk lönsamhet vid avverkning finns. Det beror på att det beräknade ekonomiska resultatet av avverkningsåtgärden förblev positivt trots drastiska förändringar av virkespriser, men också på förändringar av det virkesförråd som beräkningarna baserades på. Detta var gällande i alla fall förutom ett fall med drastisk negativ förändring av virkespriset i kombination med ett dyrt produktivitetsscenario för skogsmaskinerna. Samma slutsats styrktes av analysen av det sämsta möjliga utfallet, som pekade på ekonomisk lönsamhet trots lågt räknat virkesförråd och dyrt produktivitetsscenario för skogsmaskinerna.

Slutligen bör det tilläggas att i de fall som en fröträdsställning har ett lågt virkesförråd och är ett gränsfall för ekonomisk lönsamhet, finns det anledningar att ändå överväga att avverka fröträden. Att lämna kvar fröträd på obestämd tid, som kan ses som ett alternativ, kan leda till komplikationer vid framtida brukande av marken. Det kan exempelvis röra sig om ojämnheter i framtida bestånd och eventuellt tillväxtnedsättningar när de nya plantorna som står i närheten av kvarlämnade fröträd börjar konkurrera med fröträden om näring och ljus. Dessutom är fröträdsställningar utsatta för hög vindskaderisk och om fröträd lämnas kvar så riskerar de att blåsa ned och medföra kostnader och bekymmer eftersom att nedblåsta träd kan behöva hämtas enligt gällande skogsvårdslagstiftning. Alltså framkommer en avvägning mellan att avverka fröträden och kunna ta en förutsedd risk att gå med ekonomisk förlust, eller att riskera att behöva hämta vindfällena och ta en icke förutsägbar risk att gå med än större förlust om en storm drabbar Sydsverige.



## 6. REFERENSER

- Barth, A., Hannrup, B., J. Möller, J. & Wilhelmsson, L., 2008. *Validering av Foran SingleTree® Method*, Uppsala: Skogforsk (Skogforsk Arbetsrapport 2008:666). 45 s.
- Berg, S., 2006. *Terrängtypschema för Skogsarbete*. 1:a ed. Gävle: Skogforsk. 28 s.
- Brady, N. C. & Weil, R. R., 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13:e ed. Upper Saddle River: Pearson Education. 960 s.
- Brandel, G., 1990. *Volymfunktioner för Enskilda Träd: Tall, Gran och Björk*, Diss. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion (Rapport 1990:26). 183 s.
- Brunberg, T., 1994. *Underlag för Produktionsnorm för Stora Engrepsskördare i Slutavverkning*, Oskarshamn: Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut (Skogforsk Redogörelse 1994:7). 22 s.
- Brunberg, T., 2004. *Underlag till Produktionsnormer för Skotare*, Uppsala: Skogforsk (Skogforsk Redogörelse 2004:3). 12 s.
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F. & Marchi, E., 2015. The Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review. *Forest Ecology and Management*, 338(1), pp. 124-138.
- Cernold, Å., 1981. *Utbytstabeller för Rotstående Skog: Södra Sverige*. 5:e ed. Falun: Centrala Sågverksföreningen. 81 s.
- Drott, A., 2016. *Kunskapssammanställning - Skogsbruk på Torvmark*, Jönköping: Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen Rapport 2016:3). 64 s.
- Edlund, J., 2012. *Harvesting in the Boreal Forest on Soft Ground*, Lic.-avh. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi (Rapport 2012:20). 46 s.
- Edström, N. F., Samuelson, L. A. & Böök, O. K., 1984. *Ekonomi Ordbok, Svensk-Engelsk Fackordbok för Ekonomifunktionen*. 2:a ed. Stockholm: PA Norstedt & Sönders Förlag. 145 s.
- Eriksson, M., 2010. *Prognostisering av Sortimentsutfall från Stående Skog med Hjälp av Befintliga Data*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig Resurshushållning (Arbetsrapport 2010:270). 28 s.
- Froelich, H., 1976. The Influence of Different Thinning Systems on Damage to Soil and Trees. *Forestry Commission Bullentin*, Volume 55, pp. 102-105.
- Grahn, M., 2016. *Förberedande Intervju inför Examensarbete* [Interview] (7 3 2016).
- Grahn, M., 2017. *Telefonsamtal om Examensarbetet* [Interview] (19 Januari 2017).
- Greacen, E. L. & Sands, R., 1980. Compaction of Forest Soils. A Review. *Australian Journal of Soil Research*, Volume 18, pp. 163-189.
- Hånell, B., 1990. *Torvtäckta Marker, Dikning och Sumpskogar i Sverige*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, (Skogsfakta, Inventering och Ekonomi 1990:22). 4 s.

Hånell, B., 2009. *Möjligheterna till Höjning av Skogsproduktionen i Sverige Genom Dikesrensning, Dikning och Gödsling av Torvmarker*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel. Faktaunderlag till MINT-Utredningen, Bilaga 4. 26 s.

Johansson, N., 2016. *Skogsmaskinförare, Gransås Skogs- och Lantbruks AB* [Interview] (12 9 2016).

Karlsson, C. Sikström, U. Örlander, G. Hannerz, M. Hånell, B., 2009. *Skogsskötselserien - Naturlig Föryngring av Gran och Tall*. 1:a ed. s.l.:Skogsstyrelsen. 135 s. [Online] Available at: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-4-naturlig-foryngring-av-tall-och-gran.pdf>.

Karlsson, C. & Örlander, G., 2004. *Naturlig Föryngring av Tall*, Jönköping: Skogsstyrelsens Förlag (Skogsstyrelsen Rapport 2004:4). 76 s.

Karlsson, M., 2010. *Data och Metodik för Utbytesberäkning: En Studie på Medelpads Skogsförvaltning*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig Resurshushållning (Arbetsrapport 2010:294). 42 s.

Lind, T., Nyström, K. & Wilhelmsson, E., 2014. *Instruktion för Bearbetning av Insamlade Data och Upprättande av Skogsbruksplan*. 31 s. [Online] Available at: [http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0138/10282.1415/Instruktion\\_SBPL2013\\_09-05.doc](http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0138/10282.1415/Instruktion_SBPL2013_09-05.doc) [Accessed 5 2 2017].

Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C., 2014. *Skogsskötselserien - Slutavverkning*. s.l.:Skogsstyrelsens förlag. 60 s. [Online] Available at: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-20-slutavverkning.pdf>.

Löfroth, M., 1991. *Våtmarkerna och Deras Betydelse*, Solna: Naturvårdsverket Förlag (Rapport). 70 s.

Magnusson, F., Martinsson, J. & Söderström, J., 2008. *Undersökning av Sambandet Mellan Aktieutveckling, P/E-tal och Direktavkastning*, Skövde: Högskolan i Skövde, Institutionen för Teknik och Samhälle (Arbetsrapport). 36 s.

Magnusson, T., 2009. *Skogsskötselserien - Skogsbruk, Mark och Vatten*. 2:a ed. s.l.:Skogsstyrelsens Förlag. 103 s. [Online] Available at: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-13-skogsbruk-mark-och--vatten.pdf>.

Math Open Reference, 2011. *Math Open Reference*. [Online] Available at: <http://www.mathopenref.com/segmentareaht.html> [Accessed 5 2 2017].

Nationalencyklopedin, 2017. *Nationalencyklopedin, konjunkturcykel*. [Online] Available at: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/konjunkturcykel> [Accessed 10 2 2017].

- Nyström, K. & Wilhelmsson, E., 2012. *Introduktion till Mätning av Träd och Bestånd*. 1:a ed. Umeå: Institutionen för Skoglig Resurshushållning. 76 s.
- Ollas, R., 1980. *Nya Utbytesfunktioner för Träd och Bestånd*, Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten (Ekonomi, Rapport 1980:5). 4 s.
- Päivänen, J. & Hånell, B., 2012. *Peatland Ecology and Forestry, A Sound Approach*. 1:a ed. Helsingfors: University of Helsinki, Department of Forest Sciences Publications. 267 s.
- Samuels, M. L., Witmer, J. A. & Schaffner, A., 2012. *Statistics of the Life Sciences*. 4:e ed. Boston: Pearson Education. 654 s.
- SCB, 2016. *Statistiska Centralbyrån, Statistikdatabasen*. [Online]  
Available at: <https://goo.gl/mK1H8X>  
[Accessed 8 11 2016].
- Skogsdata, 2016. *Skogsdata 2016, Aktuella Uppgifter Om De Svenska Skogarna Från Riksskogstaxeringen*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig Resurshushållning. 145 s.
- Skogstyrelsen, 1985. *Fälthäfte i Bonitering - Kronobergs Län (G)*. Jönköping: Skogstyrelsen Förlag. 26 s.
- Skogsvårdslagen, 2012. *Skogsvårdslagen, SFS 1993:553, Åtgärder mot Skadliga Insekter, §29 Skyddsåtgärder, 6 Kap. Föreskrifter och Allmänna Råd, 6:10*. Jönköping: Skogstyrelsen.
- Skogsvårdslagen, 2012. *Skogsvårdslagen, SFS 2008:662, Anläggning av Skog på Produktiv Skogsmark, §5 Skyldighet att Anlägga Ny Skog*. Jönköping: Skogstyrelsen.
- SMHI, 2013. *SMHI - Kunskapsbanken*. [Online]  
Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stormskador-i-framtiden-1.7080>  
[Accessed 3 Juni 2017].
- Ståhl, G., 1992. *En Studie av Kvalitet i Skogliga Avdelningsdata som Insamlats med Subjektiva Inventeringsmetoder*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Biometri och Skogsindelning, Avdelningen för Skogsuppskattning och Skogsindelning (Rapport 1992:24). 128 s.
- Sveaskog, 2015. *Års- och Hållbarhetsredovisning*, Stockholm: Sveaskog. 84 s.
- Söderberg, U., 1992. *Funktioner för Skogsindelning. Höjd, Formhöjd och Barktjocklek för Enskilda Träd*, Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering (Rapport 1992:52). 87 s.
- Uusitalo, J. & Ala-Ilomäki, J., 2013. The Significance of Above-Ground Biomass, Moisture Content and Mechanical Properties of Peat Layer on the Bearing Capacity of Ditched Pine Bogs. *Silva Fennica*, 47(3), Article ID 993.
- Uusitalo, J., Salomäki, M. & Alo-Ilomäki, J., 2015. Variation of the Factors Affecting Soil Bearing Capacity of Ditched Pine Bogs in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), pp. 429-439.

Westerberg, D. & Berg, S., 1994. *Avverkning av Överståndare, Försöksmetod för att Bestämma Prestation, Kostnad och Skador på Föryngringen*, Oskarshamn: Skogforsk (Redogörelse Skogforsk 1994:10). 26 s.

Wilhelmsson, E., 2014. *Instruktion - Objektiv inventering*. 19 s. [Online]

Available at:

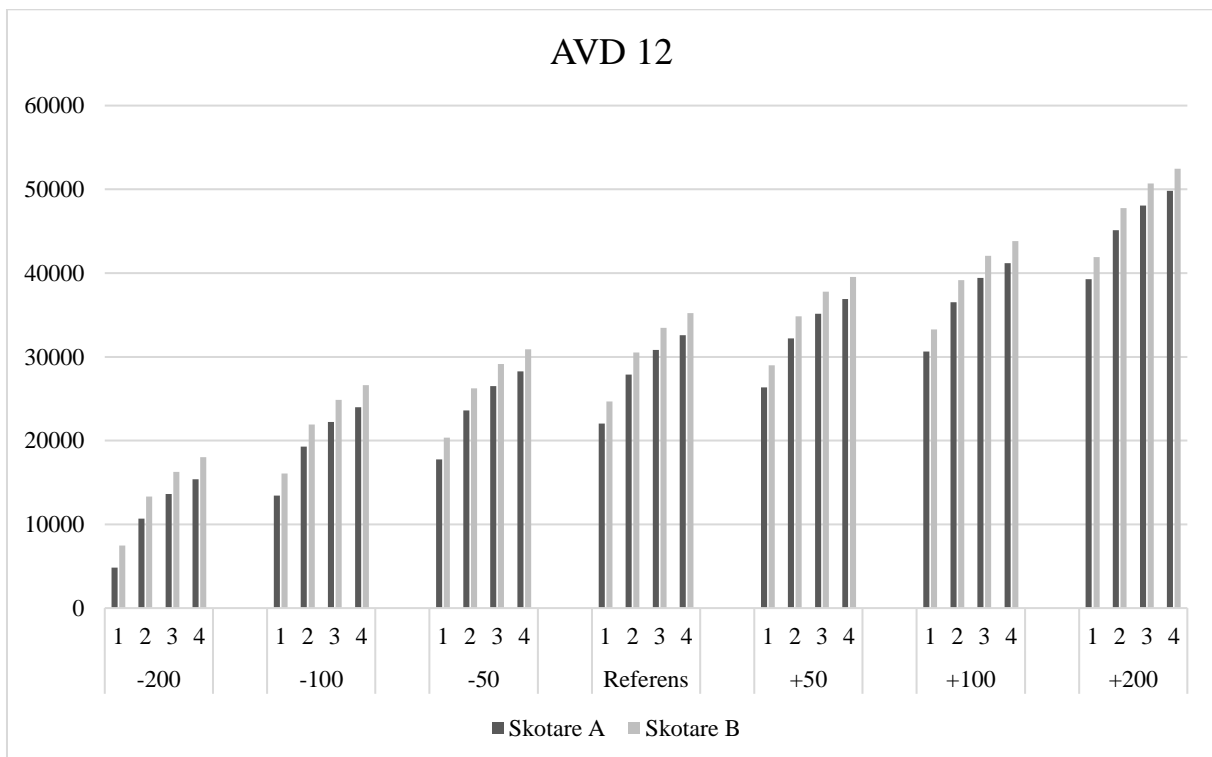
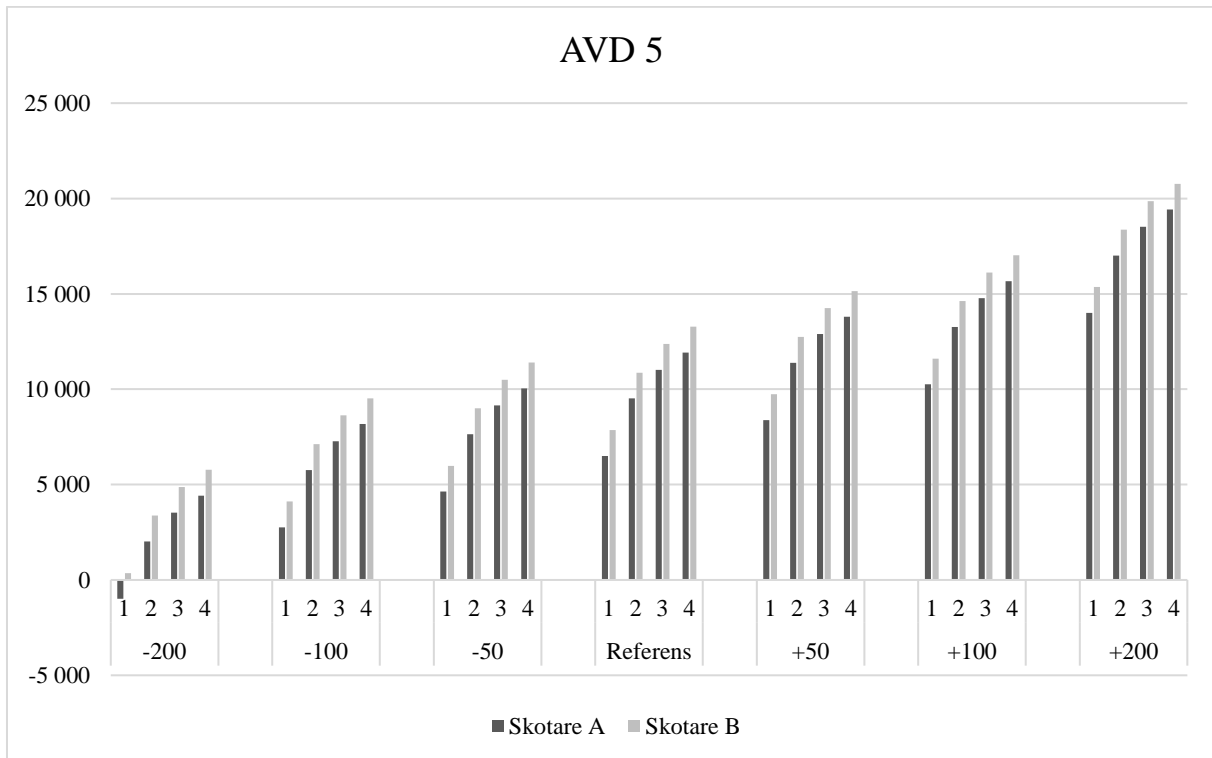
[http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0138/10282.1415/Instruktion\\_Objektiv\\_inventering.pdf](http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0138/10282.1415/Instruktion_Objektiv_inventering.pdf)  
[Accessed 5 1 2017].

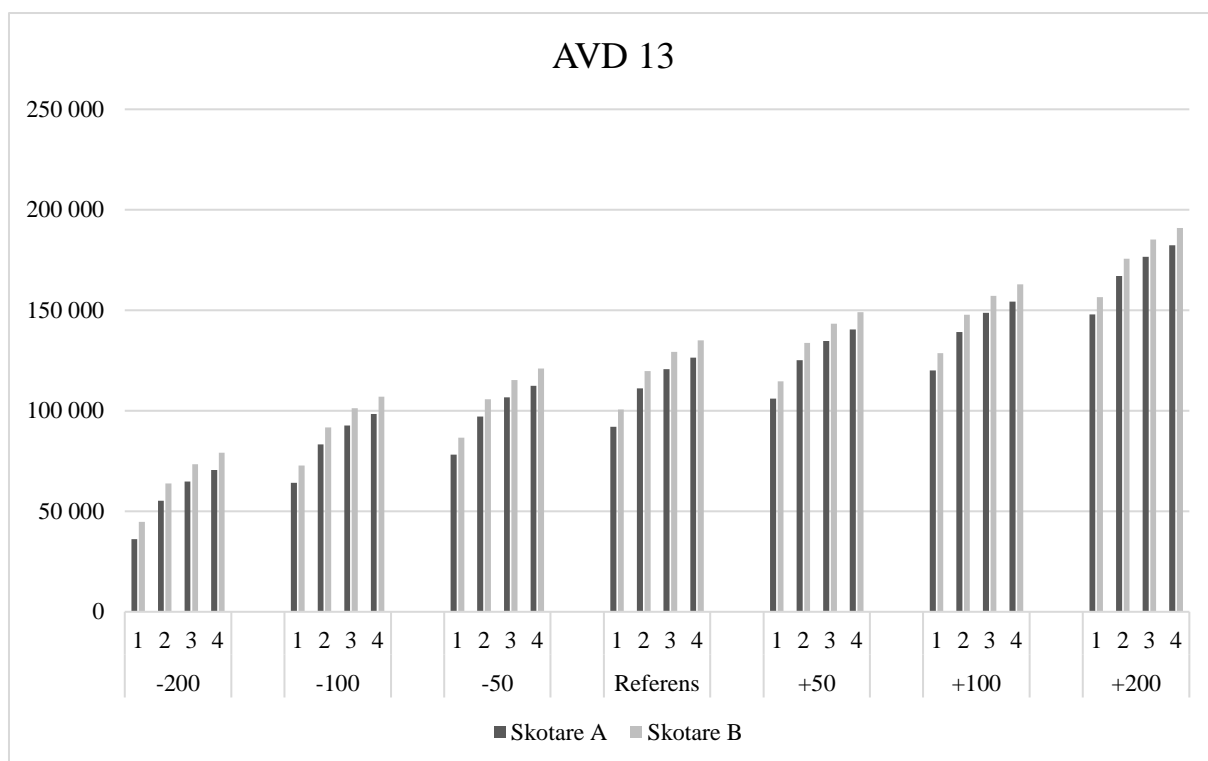
Wästerlund, I., 1984. Compaction of Till Soils and Growth Tests with Norway Spruce and Scots Pine. *Forest Ecology and Management*, 11(3), pp. 171-189.

## 7. BILAGOR

### 7.1. Bilaga 1.

Känslighetsanalys för virkespriser, figurer som beskriver resultatet för försöksområdesnummer 5, 12 och 13.



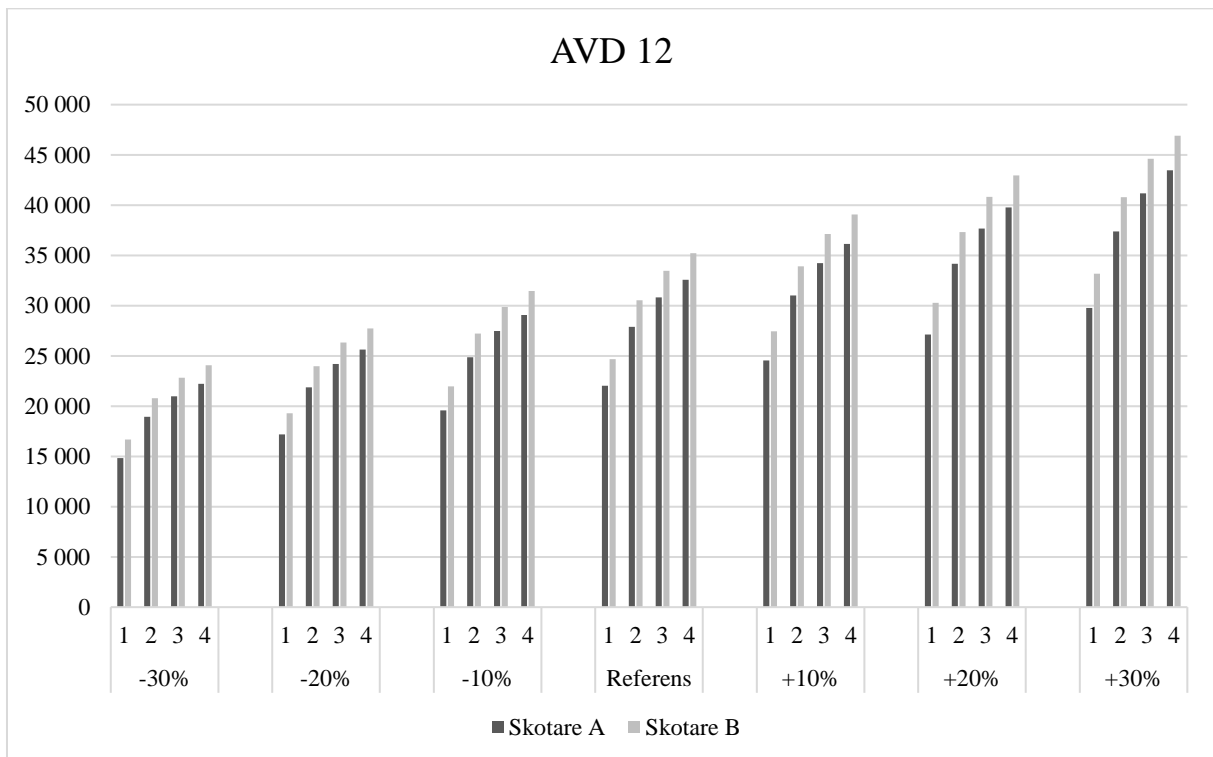
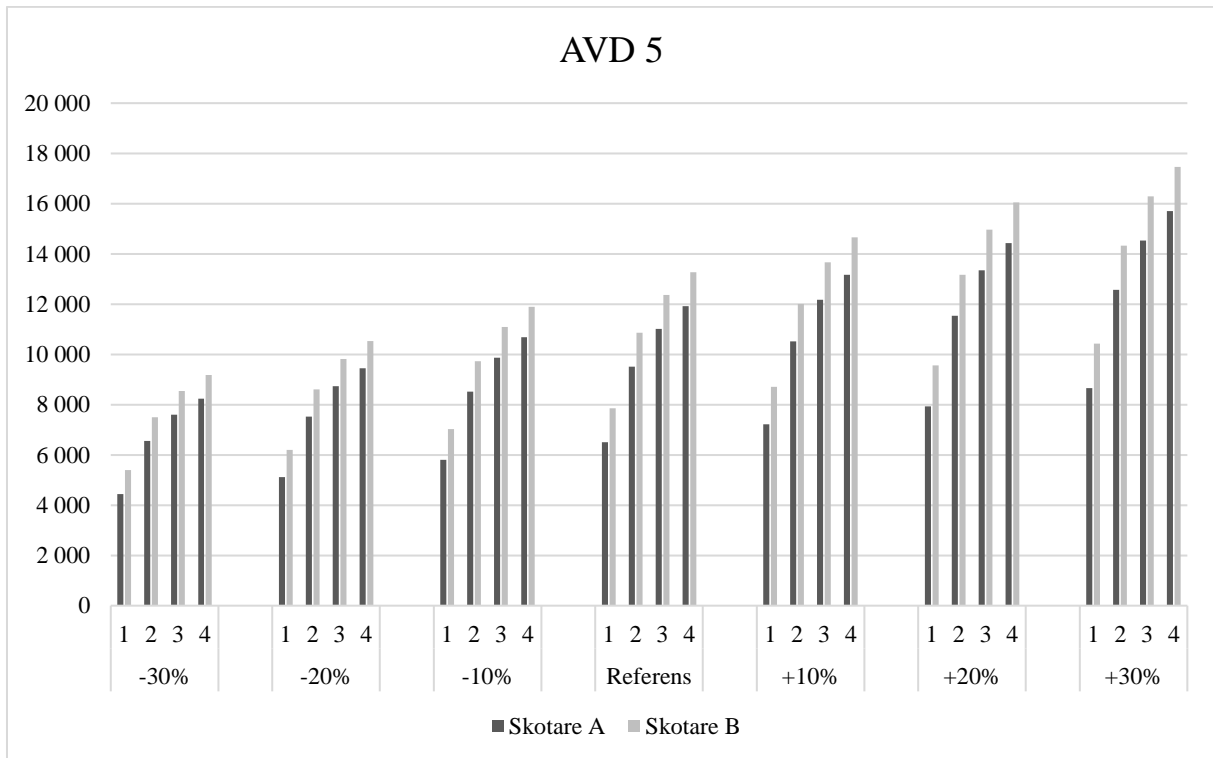


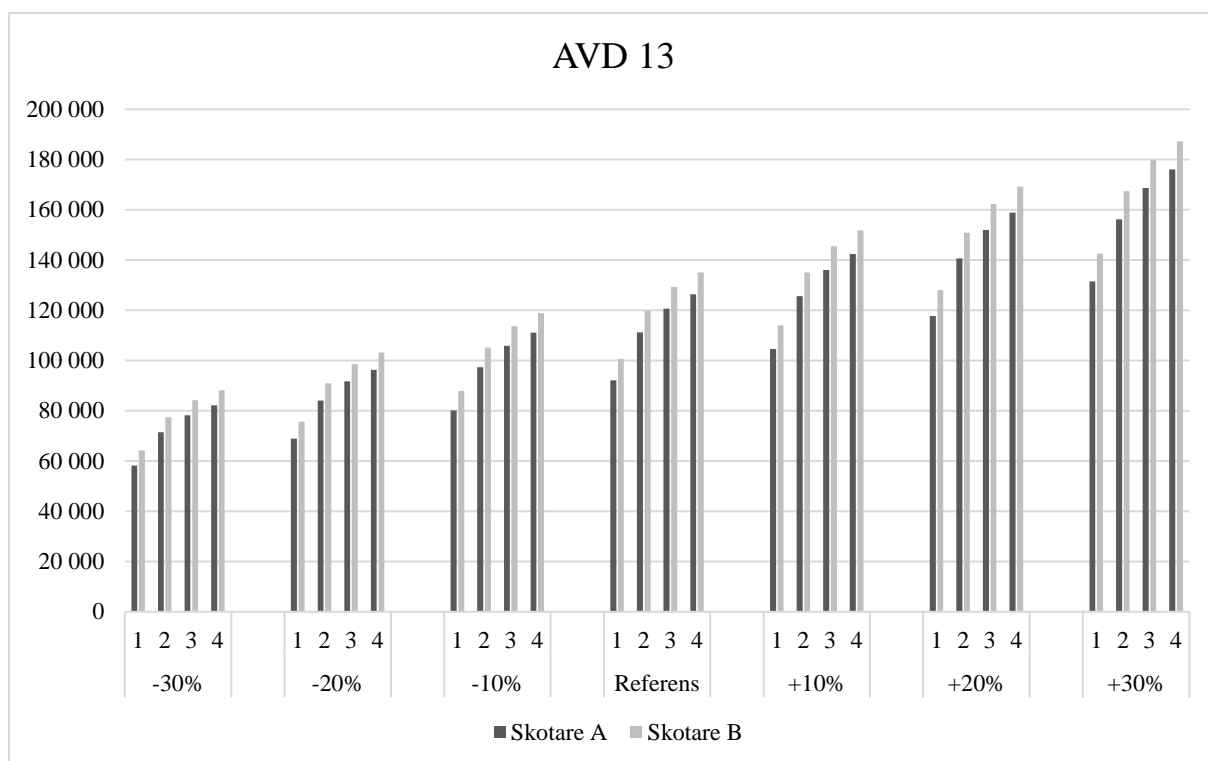
**Figur 9.** Potentiell total nettointäkt för försöksområde 5, 12 och 13 med olika virkespriser. De särskilda grupperna representerar en förändring av virkespriset per  $m^3$  på allt timmer med det belopp som är angivet (-200 SEK, -100 SEK, -50 SEK, referens, +50 SEK, +100 SEK, +200 SEK). De åtta grupperade staplarna i varje grupp representerar de fyra prestationsscenarierna för skördaren (1:  $10 m^3fub/h$ , 2:  $15 m^3fub/h$ , 3:  $20 m^3fub/h$  och 4:  $25 m^3fub/h$ ). De två prestationsscenarierna för skotare (A och B) anges av mörk stapel (A:  $8 m^3fub/ha$ ) och ljus stapel (B:  $10 m^3fub/h$ ).

**Figure 9.** Potential total net revenues for study area 5, 12 and 13 with various timber prices. Bar groups represents a changes of the timber price per  $m^3$  (-200 SEK, -100 SEK, -50 SEK, reference, +50 SEK, +100 SEK, +200 SEK). The eight stacked bars in each of the groups represents the four productivity scenarios for the harvester (1:  $10 m^3fub/h$ , 2:  $15 m^3fub/h$ , 3:  $20 m^3fub/h$  and 4:  $25 m^3fub/h$ ). The two productivity scenarios for the forwarder (A and B) is represented by the dark bars (A:  $8 m^3fub/ha$ ) and the bright bars (B:  $10 m^3fub/h$ ).

## 7.2. Bilaga 2.

Känslighetsanalys för ändring av virkesförrådet, figurer som beskriver resultatet för försöksområdesnummer 5, 12 och 13.





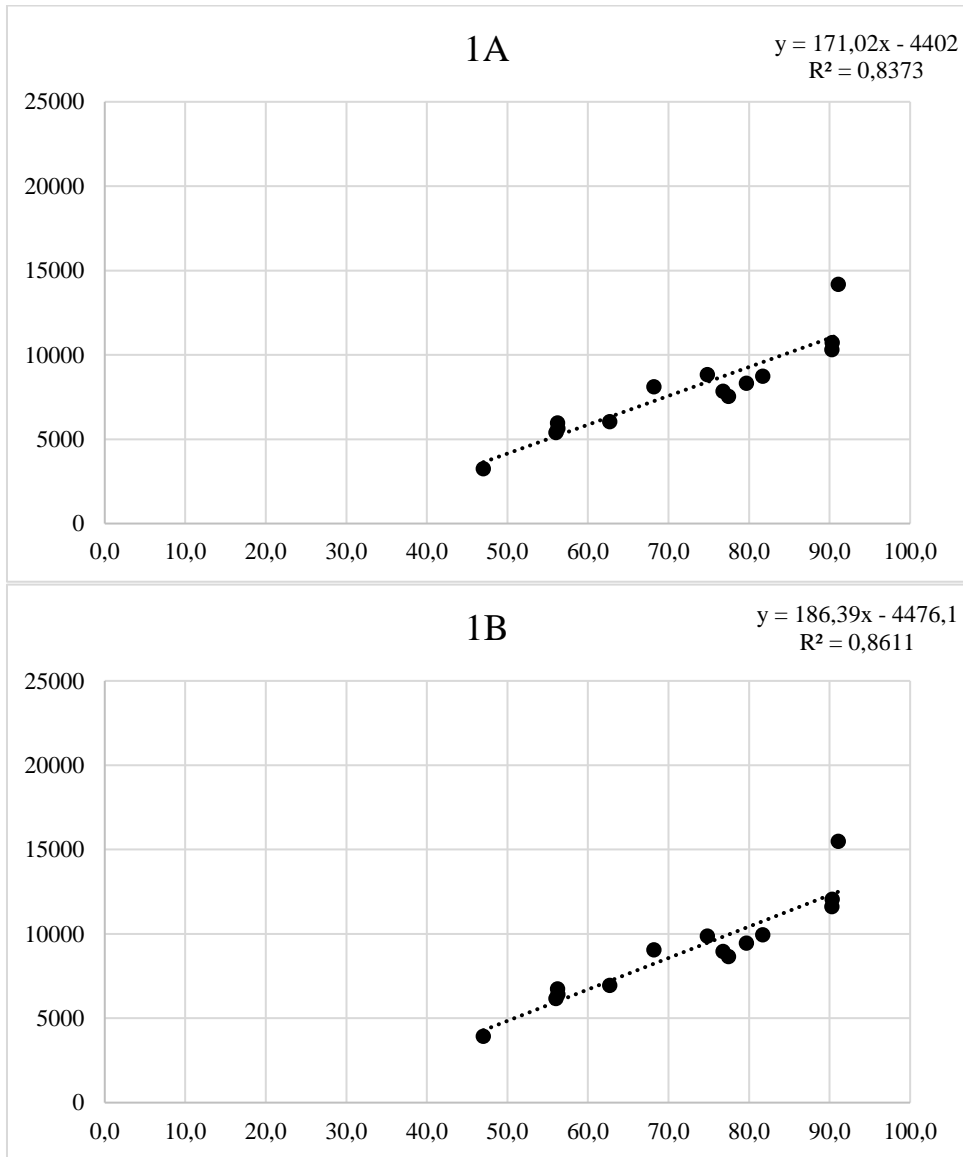
**Figur 10.** Potentiell total nettointäkt för försöksområde 5, 12 och 13 vid olika virkesförråd. De särskilda grupperna representerar en förändring av virkesförrådet med följande procentsatser: -30 %, -20 %, -10 %, referens, +10 %, +20 % och +30 %. De åtta grupperade staplarna i varje grupp representerar de fyra prestationsscenarierna för skördaren (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). De två prestationsscenarierna för skotaren (A och B) anges av mörk stapel (A: 8 m<sup>3</sup>fub/ha) och ljus stapel (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h).

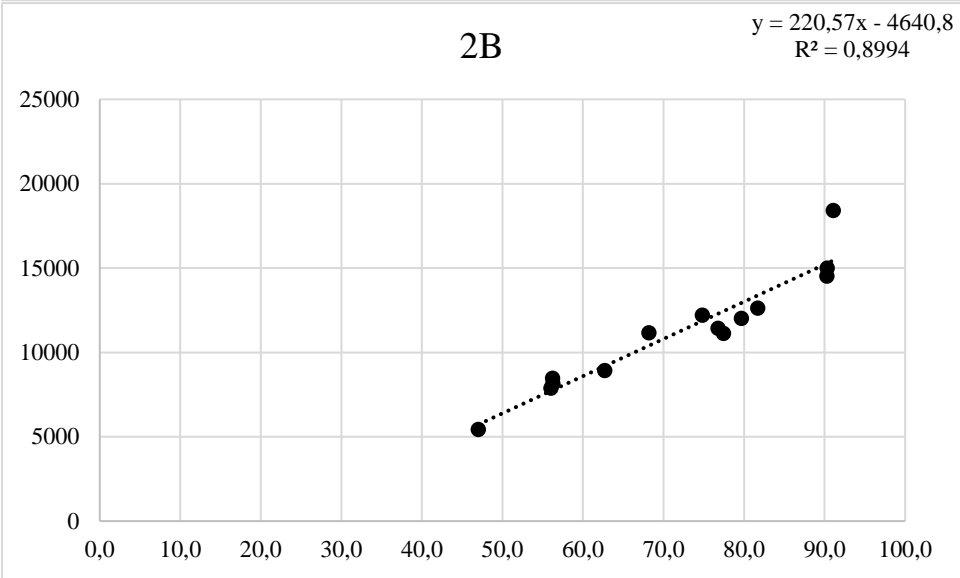
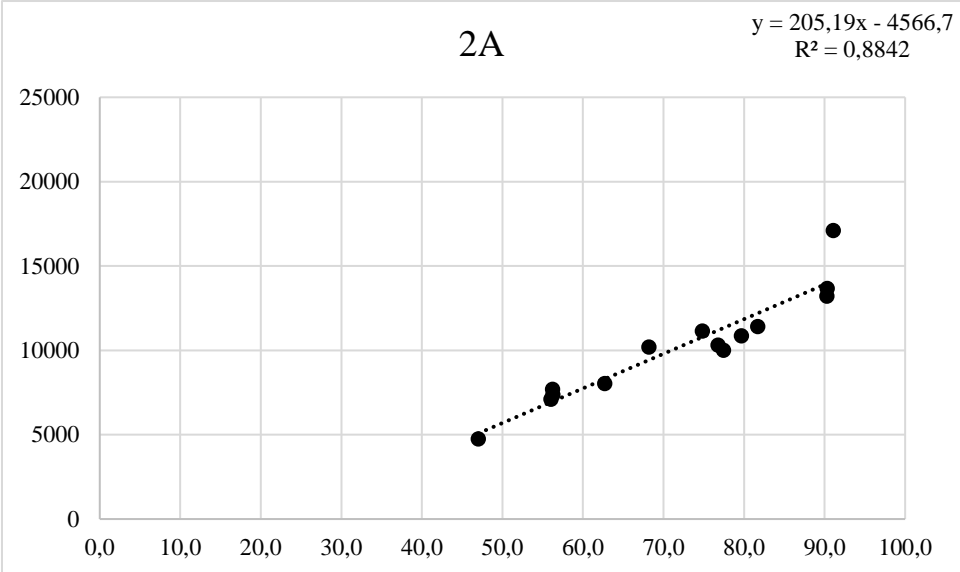
**Figure 10.** Potential total net revenue for study area 5, 12 and 13 with varying standing volumes. Bar groups represent changes of standing volume (-30 %, -20 %, -10 %, reference, +10 %, +20 %, +30 %). The eight stacked bars in each of the groups represents the four productivity scenarios for the harvester (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h). The two productivity scenarios for the forwarder (A and B) is represented by the dark bars (A: 8 m<sup>3</sup>fub/ha) and the bright bars (B: 10 m<sup>3</sup>fub/h).

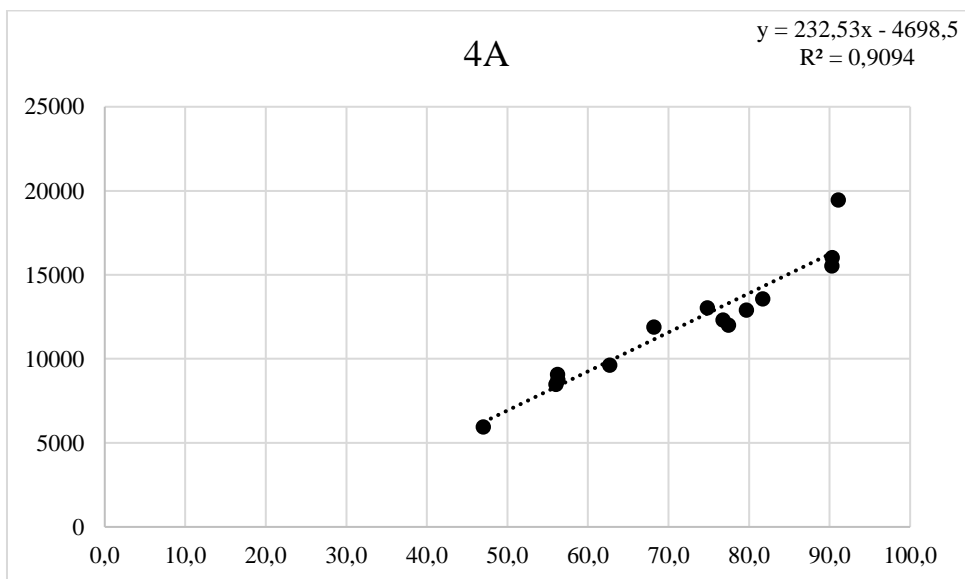
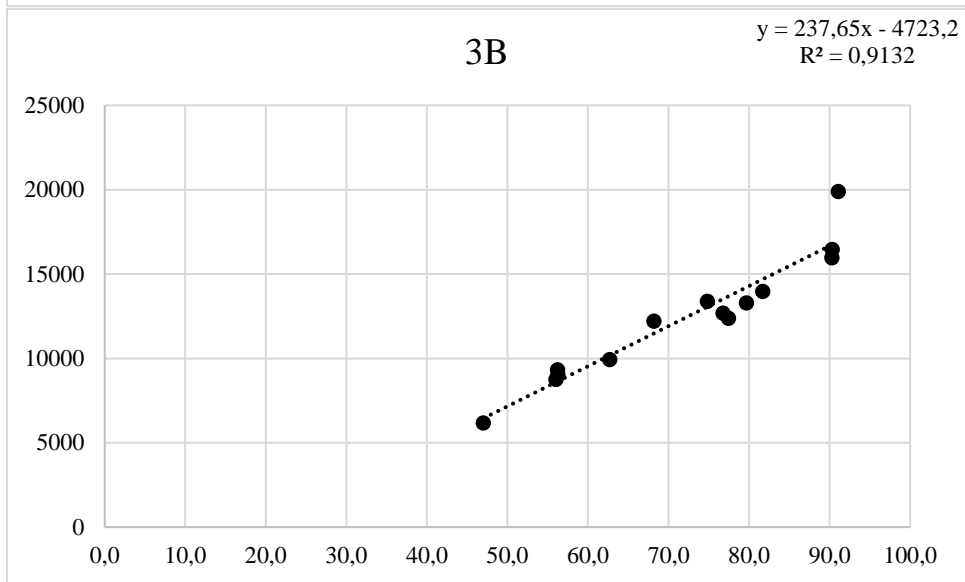
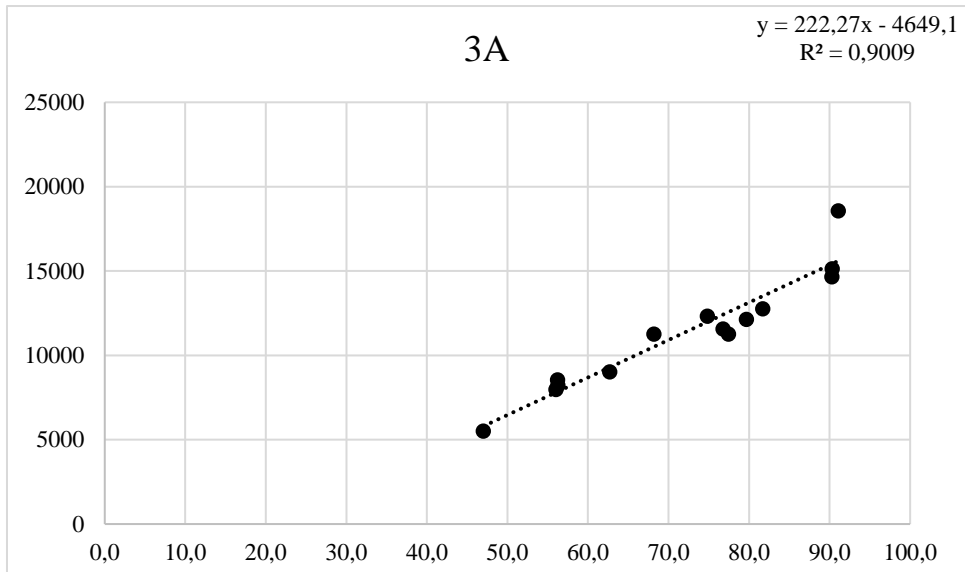


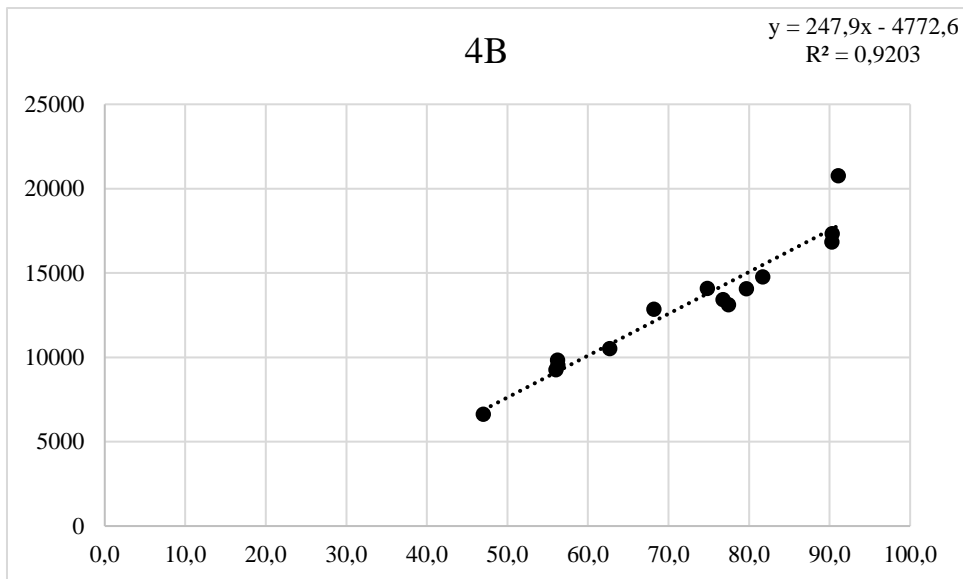
### 7.3. Bilaga 3.

Spridningsdiagram som beskriver regressionsfunktionerna för samtliga produktivitetsscenarier.









**Figur 11.** Det linjära sambandet mellan potentiell nettointäkt per hektar (y) (SEK) och virkesförråd (x) (m<sup>3</sup>sk) per hektar för samtliga skördarscenarier 1-4 (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h och 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h) i kombination med båda skotarscenarier A och B (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h och B: 10 m<sup>3</sup>fub/h):  $y = 171,02x - 4402$ . ( $R^2 = 0,8373$ ).

**Figure 11.** The linear correlation between potential net revenue per hectare (y) (SEK) and standing forest volume over bark (x) for all of the harvester scenarios 1-4 (1: 10 m<sup>3</sup>fub/h, 2: 15 m<sup>3</sup>fub/h, 3: 20 m<sup>3</sup>fub/h and 4: 25 m<sup>3</sup>fub/h) in combination with both of the forwarder scenarios A and B (A: 8 m<sup>3</sup>fub/h and B: 10 m<sup>3</sup>fub/h):  $y = 171,02x - 4402$ , ( $R^2 = 0,8373$ ).

## SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:14 Författare: Jon Wikström  
Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag
- 2015:15 Författare: Jenny Tjernlund  
Grundvattenkemin tre år efter askgödsling på djupa torvmarker i Norrland
- 2015:16 Författare: Anton Hammarström  
Utveckling av en modell för bärighetsklassificering av skogsmark
- 2016:1 Författare: Gustaf Dal  
Tree cover and tree traits affects soil carbon and soil compaction in Parklands in Central Burkina Faso
- 2016:2 Författare: Julia Mellåker  
Degradation and restoration method interact to affect the performance of planted seedlings in tropical rainforest restoration – evidence from plant functional traits
- 2016:3 Författare: Pia Sundvall  
Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – potentiell råvara i gödsel?
- 2016:4 Författare: Marcus Larsson  
Betydelsen av krukstorlek, odlingstäthet och planteringspunkt vid etablering och tillväxt hos täckrotsplantor – Analys av Jackpot & Powerpot
- 2016:5 Författare: Elin Kollberg  
Tidiga tillväxteffekter av kvävetillförsel på SeedPAD och plantor
- 2016:6 Författare: Lukas Holmström  
Restoration of degraded tropical rainforests through gap and line planting: Effects on soil and light conditions and seedling performance
- 2016:7 Författare: Lina Edgren  
Naturvård och efterbehandling i Masugnsbyns dolomittäkt
- 2017:1 Författare: Johan Åhs  
The influence of precipitation and nitrogen fertilization on aboveground tree growth and how this varies across small-scale microtopography gradients in *Pinus sylvestris* stands in northern Sweden
- 2017:2 Författare: Joshua Johansson  
Utvärdering av en markvattenmodells förmåga att estimerar markfuktighet och bärighet
- 2017:3 Författare: Stina Köppler  
Skogen som integrationsarena – kopplingen mellan svensk skogsnäring och integration
- 2017:4 Författare: Kristina Nilsson  
Överlevnad, tillväxt och snytbaggeskador i fält hos långnattsbehandlade ettåriga tallplantor med dubbelbarr
- 2017:5 Författare: Maria Jakobsson  
Naturlig förnygring efter brand – Fyra träarters etablering i relation till mikromiljö och spridningsavstånd på Salabrännan

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på [www.seksko.slu.se](http://www.seksko.slu.se)