

Små beståndsgående skördares förutsättningar och potential i Sveriges gallringsskogar

*Small stand-operated harvester prerequisites and potential in Sweden's
thinning forests*

Magnus Nilssen Klinga



Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2020:12

Umeå 2020

Små beståndsgående skördares förutsättningar och potential i Sveriges gallringsskogar

Small stand-operated harvester prerequisites and potential in Sweden's thinning forests

Magnus Klinga

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

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

Examinator: Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0956

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2020

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Delnummer i serien 2020:12

Omslagsbild: Johannes Nilsson

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *Gallring, Små skördare, Skördarstorlek, Snödjup*

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

I Sverige ägs ungefär hälften av den produktiva skogsmarken av privata skogsägare. Många privata skogsägare efterfrågar idag att få sina gallringar utförda av mindre maskiner och är beredda att betala extra för detta.

Syftet var att utvärdera hur stor andel av Sveriges gallringsskogar som har förutsättningar som gör att små skördare på 4–8 ton kan gallra dessa till samma eller lägre avverkningskostnad än vad konventionella gallringsskördare kan. Med hjälp av provträdsdata från Riksskogstaxeringen undersöktes hur stora förstagallrings- och totala gallringsvolymerna som har förutsättningar att avverkas kostnadseffektivt med små skördare. Förutsättningen var en medelstam på maximalt 0,060–0,096 m³fub och gynnsam ytstruktur med en ytstrukturklass på max 2. Genom inhämtning av snödata från SMHI undersöktes hur många dagar per år som snödjupet kan begränsa framkomligheten av små skördare i respektive län.

Resultatet visade att 12–20 % av Sveriges gallringsvolym kan ha sådana förutsättningar som gör att små skördare kan uppnå en likvärdig eller lägre avverkningskostnad än konventionella gallringsskördare, motsvarande 140–231 miljoner m³sk. Av dessa volymer motsvarade förstagallringar 128–202 miljoner m³sk och 25–39 % av landets förstagallringar uppfyller dessa förutsättningar. Årligen kan små skördare teoretiskt gallra 2,6–6,0 miljoner m³sk till samma eller lägre avverkningskostnad som konventionella gallringsskördare. Högt snödjup kunde begränsa framkomligheten av små skördare i samtliga av Sveriges landsdelar.

Vid gallring med små skördare behöver skotningen utföras av en liten skotare. För att avgöra potentialen för små maskinsystem måste kostnaden beräknas för hela drivningsarbetet, vilket sannolikt ger lägre kostnadseffektiva gallringsvolymerna.

Nyckelord: Gallring, Små skördare, Skördarstorlek, Snödjup

Abstract

About half of Sweden's productive forest land are owned by private forest owners. In recent years, there has been a rising demand for small forest machines in thinning operations and private forest owners are willing to pay a premium for these services.

The purpose was to evaluate the volume proportions of Sweden's thinning forests that may have prerequisites which enables small harvesters of 4-8 tons to achieve a harvesting cost that are equal to, or lower than conventional harvesters. Utilizing sample data from Sweden's national forest inventory, thinning volumes with a stem volume limit between 0,060-0,096 m³fub and with a surface structure of class 2 or less were calculated. Using data from SMHI, number of days per year where advancement of small harvesters could be limited by a snow depth exceeding 50 cm were determined.

Results revealed that 12-20 % of Sweden's thinning forest volume, equivalent to 140-230 million m³sk, may have prerequisites that enable small harvesters to achieve harvesting costs that are equal to or lower than conventional harvesters. First thinning volumes corresponded to 140-231 million m³sk and 25-39 % of Sweden's first thinning forests met these prerequisites. Small harvesters could harvest 2,6-6,0 million m³sk yearly, at equal or lower harvesting costs as conventional harvesters. Snow depth could limit the advancement of small harvesters in every country region of Sweden.

When determining the potential of small machine systems, forwarding costs with small forwarders also need to be considered. This would likely reduce cost-efficient thinning volumes of small machine systems.

Nyckelord: Thinning, Small harvester, Harvester size, Snow depth

Förord

Detta är ett examensarbete som har utförts vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet är skrivet inom Jägmästarprogrammet och omfattar 30 hp på E-nivå.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Tomas Nordfjell och Mikael Lundbäck vars hjälp och kompetens har varit ovärderlig. Jag vill även tacka nära och kära som hjälpt och stöttat mig under arbetets gång. Sist men inte minst vill jag tacka Skogsdatalabbet som stått för sammanställningen av Riksskogstaxeringsdata som möjliggjort denna studie.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Gallring	7
1.2	Gallrings-skördarens utveckling	8
1.2.1	Allmänt	8
1.2.2	Konventionella stickväsgående skördare	9
1.2.3	Små beståndsgående skördare	10
1.2.4	Konkurrenskraftiga förutsättningar för små skördare	11
1.3	Syfte och begränsningar	13
2	Material och metod	14
2.1	Datainsamling	14
2.2	Analys	15
2.2.1	Generellt	15
2.2.2	Flödesschema	17
2.3	Beräkningar	17
3	Resultat	19
3.1	Total gallringsvolym	19
3.2	Begränsande ytstruktur i landet	20
3.3	Kostnadseffektiv gallringsvolym och andel kostnadseffektiv gallringsvolym	22
3.4	Årlig gallringsvolym för små skördare	25
3.5	Begränsande dagar av stort snödjup	27
4	Diskussion	28
4.1	Begränsande ytstruktur	28
4.2	Kostnadseffektiv stående gallringsvolym	29
4.3	Årlig gallringsvolym för små skördare	35
4.4	Begränsande dagar av stort snödjup	36
4.5	Styrkor, Svagheter och avgränsningar	38
4.6	Praktisk implementering	41
4.7	Fortsatt forskning inom området	42
4.8	Slutsatser	43
	Referenslista	44
	Acknowledgements	48
	Bilaga 1 – Min- och maxvärden för begränsande dagar av stort snödjup per år. Data från 2010-09-01 till 2019-05-01	49

1 Inledning

I Sverige ägs idag ungefär hälften av den produktiva skogsmarken av privata skogsägare (Riksskogstaxeringen 2018). Privata skogsägare är en grupp människor med olika intressen och mål (Hugosson & Ingemarsson 2004). Skogen kan alltså skötas väldigt olika beroende på vilket huvudmål skogsägaren har med sitt brukande. De vanligaste målen är att maximera ekonomisk avkastning, bevara skogens naturvärden eller öka rekreationsvärden. Eftersom ungefär hälften av Sveriges skogsmark ägs av privata skogsägare är trä- och pappersindustrin beroende av dessa för sin virkesförsörjning. Av denna anledning kan det vara viktigt för industrin att kunna erbjuda ett brett utbud av skogliga tjänster till privata skogsägare. Exempel på sådana skogliga tjänster är att kunna erbjuda avverkningar och gallringar med ett brett utbud av gallrings- och avverkningsmaskiner. Med en bred maskinpark kan rätt maskin erbjudas till rätt typ av avverkning och skogsägare.

1.1 Gallring

Gallring är en ”beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av virke” (Agestam 2015) och är idag den vanligaste avverkningsåtgärden i Sverige, med en årlig avverkning på 313 000 ha och 22,6 miljoner m³sk (skogskubikmeter) per år (Riksskogstaxeringen 2019). Gallring utförs i syfte att kunna främja utvalda huvudstammar för att ge framtida timmerträd av god kvalitet, ge en tidig inkomst och även minska risken för självgallring (Agestam 2015). Genom att utföra gallringar i skogen minskar stamtätheten i beståndet, vilket leder till ökat ljusinsläpp och att färre träd konkurrerar om näringsämnen i marken. På så vis främjas de kvarvarande huvudstammarnas diametertillväxt efter gallringen (Valinger 1992). Efter utförd gallring exponeras de återstående träden och blir mer utsatta för vind. Som konsekvens av ökad vindexponering utsätts träden för större fysisk påfrestning och diametertillväxten ökar för att stabilisera träden (Karlsson 2013).

Gallring som åtgärd medför alltid vissa risker. En av de största riskerna är snö- och vindskador, vilka ökar med högre trädhöjder, men även med kraftigare gallringsuttag (Jonsson 2014). Stora uttag vid tidig gallring minskar dessutom valmöjligheter i framtida uttag och skötsel av beståndet till följd av lägre stamantal (Agestam 2015)

Hos privata skogsägare finns det idag en stor outnyttjad gallringspotential. Hamilton (2011) utförde kvalitativa intervjuer för att besvara bakomliggande orsaker till detta. Studien visade att detta berodde delvis på rädslan för att stora skogsmaskiner ska orsaka markskador, men även de risker för snöbrott och stormfällning som gallring kan medföra. Risken för stor stickvägsbredd och glesa kvarvarande bestånd gör också att stora skogsmaskiner är impopulära hos privata skogsägare. Låg avkastning vid gallring var också en betydande faktor till obenägenhet att gallra (Hamilton 2011).

Vid förstagallringar blir avverkningsnettot oftast lågt, och om beståndet är mycket klen så kan det vara en stor utmaning att uppnå ett positivt netto. Detta beror huvudsakligen på att bestånd i det stadiet ofta har klen medelstam, hög stamtäthet och tät underväxt (Kärhä et al. 2004). Dessa faktorer försvårar möjligheterna för skördare att upprätthålla hög produktivitet och leder därför till dyra avverkningskostnader.

1.2 Gallringsskördarens utveckling

1.2.1 Allmänt

Mekaniseringen inom skogsbruket har sedan dess introduktion på 1950–60-talet (Ager 2017) ökat produktiviteten avsevärt vad gäller avverkningar och skogliga åtgärder (Persson 2016). Innan motormanuellt arbete tog över fäll- och kaparbetet i skogsbruket i början av 50-talet sköttes avverkning och kvistning av skog huvudsakligen manuellt med såg och yxa (Back 2000). Senare introducerades ett stort antal maskiner i skogsbruket, allt från enklare fällningsmaskiner till tvågreppsskördare som krävde två förare för att kapa och upparbeta träd (Back 2000; Nordansjö 1992). Dessa maskiner var väl lämpade för slutavverkningar, men i gallringar kunde de inte utnyttjas effektivt. Det var först i mitten av 80-talet som engreppsskördaren introducerades. Genom att kunna fälla, kapa och kvista träden i samma aggregat blev engreppsskördaren ett stort genombrott i skogsbruket och kunde minska avverkningskostnaden markant. Lanseringen ledde till en snabb framgång för engreppsskördaren då den även möjliggjorde användande i yngre täta granskogar, till skillnad från dess föregångare. Den blev i slutet av 80-talet den vanligaste tekniken i gallringsskogen. Sedermera nyttjades engreppsskördare i allt grövre slutavverkningsskogar och på 90-talet dominerade den i alla typer av avverkningar i Sverige (Ager 2017). Sedan engreppsskördaren tog fäste i skogsbruket på 90-talet har denne dominerat marknaden i Sverige till idag (Back 2000; Nordansjö 1992; Zimelis et al. 2018).

Efter engreppsskördarens introduktion på marknaden under 80-talet har trenden gått stadigt mot tyngre maskiner med ökande motoreffekt och matningshastighet på aggregat och ökad totalvikt på maskinerna (Persson 2016).

1.2.2 Konventionella stickvägsgående skördare

Stora maskiner och aggregat tillhör idag normen och gallringar utförs vanligtvis med maskiner med en tjänstevikt på omkring 11–20 ton (Björheden et al. 2018). Vid gallring med dessa konventionella skogsmaskiner skapas stickvägar med en genomsnittsbredd på 4–4,5 m (Agestam 2015; Gustavsson 2017; Jonsson 2014). Stickvägsavstånd på 20 m är vanligt då skördarens kran med sin genomsnittliga räckvidd på 10 m kan nå alla träden i beståndet från stickvägarna (Sassi 2006). Detta medför att stickvägarna står för cirka 22,5 % av beståndets areal i en gallring. Denna andel blir ett tvingande uttag som måste huggas oavsett kvalitet för att maskinerna ska kunna framföras i skogen. Bland privata skogsägare finns det idag ett motstånd mot större skogsmaskiner då de befäras att dessa medför höga tvingande uttag till följd av de breda stickvägarna som de måste hugga (Hamilton 2011). Mycket höga uttag kan utsätta beståndets framtida utveckling för risker som snö- och stormskador (Agestam 2015). Studier som undersökt uttagsnivåer hos konventionella och små skördare skiljer sig dock i resultat. I Öbergs (2016) studie gav stickvägsgående skördare ett 20 % högre uttag än små beståndsgående skördare, och Edlunds (2015) studie pekade mot att konventionella stickvägsgående skördare kan ge en 4 % högre stickvägsareal och 11 % lägre kvarvarande stamvolym efter utförd gallring. I Gustavssons (2017) studie medförde dock små skördare en 5 % högre stickvägsandel eftersom stickvägsavståndet med skördarstråken inkluderade var betydligt mindre än stickvägsavståndet med konventionella skördare.

Det finns även studier som visar att större maskiner kan medföra en större skadeandel på kvarblivande stammar i beståndet. Edlund (2015) och Öberg (2016) studerade kvalitetseffekter vid användning av små och konventionella maskinsystem, i bägge studier visade resultaten på en ökad andel stamskador med konventionella maskiner. Andra skador, som till exempel markskador, orsakas av maskinernas vikt när de framförs i skogsmark med svagare grundförhållanden. Risken för markskador ökar med tyngre maskiner och högre lastkapaciteter (Kalēja et al. 2017; Björheden et al. 2018). Körskador kan medföra kompaktering av mark, urlakning av tungmetaller samt ytterligare ökad risk för rottröta då trädens rotsystem riskerar att skadas (Skjyllberg 2003). Rottröta kan allvarligt sänka kvaliteten och tillväxt för infekterade träd. Svampens förmåga att genom ett infekterat träd, sprida sig till omgivande träd i beståndet via rotkontakt skapar risk för stora värdeförluster (Rönnerberg et al. 2011).

För att undvika körskador planerar skogsbolag ofta in avverkningar och gallringar av fuktigare och finkornigare trakter till vintern då marken är frusen. Med en tydlig trend av mer extrema väderförhållanden och ökande medeltemperaturer kan vintrarna bli kortare. Dessa nya väderförhållanden kan komma att försvåra användningen av stora skogsmaskiner på fuktiga marker (Skogsstyrelsen 2019).

1.2.3 Små beståndsgående skördare

Skördare klassificeras i storleksklasser efter deras vikt i ton. Extra små skördare har en vikt mellan 4–8 ton och är vad denna studie inriktar sig mot och hänvisar till som små skördare. Konventionella skördare väger mellan 11–20 ton och innefattar mellanstora skördare som väger 11–16 ton och stora skördare som väger mellan 16–20 ton. Små skördare är populära hos privata skogsägare och många av dessa efterfrågar små gallringsmaskiner till sina gallringar. Enligt tidigare enkätstudier föredrar privata skogsägare små maskiner vid gallring (Grönesjö 2016), och i genomsnitt är de beredda att betala 18 kr/m³fub mer för att få sina gallringar utförda av mindre maskiner (Sundström 2019). Med denna efterfrågan finns det idag en marknad för små skördare med en tjänstevikt på 4–8 ton (Zimelis et al. 2018; Sundström 2019). Dessa lätta maskiner behöver inte utföra gallringen på samma sätt som konventionella skördare, utan kan istället tillämpa en så kallad ”beståndsgående gallringsmetod”. Vid gallring med den beståndsgående metoden krävs mindre maskiner som kan slingra sig fram i beståndet mellan stickvägarna i en eller två så kallade skördarstråk (Dahlin 2008). Stickvägarna i den beståndsgående metoden har en bredd runt 3 m (Edlund 2015; Gustavsson 2017) och avståndet mellan stickvägarna varierar mellan 25–35 meter beroende på hur många stråk maskinen kör (Dahlin 2008).

Det går att argumentera för att en beståndsgallrad skog skulle kunna leda till högre tillväxt eftersom det skapas fler smala beståndsstråk mellan stickvägarna vid en beståndsgående gallring. Träd i anslutning till stickvägarna och beståndsstråken gynnas av en kanteffekt som medför ökad tillväxt i volym och grundyta under ett antal år efter utförd gallring (Bucht 1981; Pettersson 1996). Produktionsfördelarna vid beståndsgående gallring kan dock behöva vägas mot andra komplikationer som uppstår vid kommande andragallring. Grövre träddimensioner kan då tvinga användningen av större maskiner och bredare stickvägar måste då ändå tas upp för att framföra dessa. Detta kan innebära ökad risk för stormfällning då träden är högre vid andragallring och då blir mer känsliga för ökad vindexponering (Fransson 2008). En beståndsgående gallringsmetod innebär också att den lilla skördaren kör i beståndsstråk mellan stickvägarna och kan därmed utsätta fler ytliga rötter hos träd som växer nära beståndsstråken för skada (Thelin 1990).

1.2.4 Konkurrenskraftiga förutsättningar för små skördare

Små skördare är på grund av sin vikt och storlek begränsade till att användas under särskilda förhållanden. Vid avverkning av för grova träd har de svårt att hantera stammarna i aggregatet och deras produktivitet sjunker, vilket höjer avverkningskostnaden i grova bestånd (Thelin 1990; Eriksson & Lindroos 2014). Den minskande produktiviteten ökar med trädens grovlek, och om träden blir för grova finns risk för att de inte kan hanteras alls av mindre skördare. Med grövre träd minskar inte bara produktiviteten för små skördare, men även risken för maskinhaveri ökar (Zimelis et al. 2018; Thelin 1990). Deras lägre fasta och rörliga kostnader gör dem dock ekonomiskt konkurrenskraftiga vid klenare gallringar. Vid klena gallringar kan kapaciteten hos konventionella skördare inte utnyttjas till fullo och små skördare kan vid dessa gallringar ge lägre avverkningskostnader (Kärhä et al. 2004). Operatörernas personalkostnad står i genomsnitt för cirka 36 % av en konventionell skördares totala kostnader (Vestling 2012). Personalkostnaden är fast oavsett maskinstorlek och blir för mindre skördare en större andel av totalkostnaden på grund av lägre fasta- och rörliga kostnader. Små beståndsgående skördare är alltså billigare än konventionella skördare, men en stor del av drivningskostnaden är ofrånkomlig.

Små skördare kan användas till både förstagallring och andragallring, men användning bör undvikas när beståndens medeldiameter överstiger 20 cm (Scherman 1991). Trädens medelstam i beståndet bör också överstiga 0,01 m³fub då klenare träd än detta inte effektivt kan avverkas med dagens skogsmaskiner (Sängstuvall et al. 2012). Vid exakt vilken medelstam som små skördare tappar erforderlig produktivitet för att kostnadsmässigt konkurrera med konventionella skördare kan vara svårt att avgöra och olika studier har kommit fram till olika gränser. Enligt Thelin (1990) tappar små skördare upp till 8 ton denna erforderliga produktivitet vid 0,07 m³fub i genomsnitt och Brunberg (2000) ansåg att gränsen går vid 0,09 m³fub. I Schermans (1991) tidsstudie uppnådde de små skördarna i genomsnitt en lika eller lägre avverkningskostnad som en konventionell skördare upp till en medelstam på 0,095 m³fub och vid Gustavssons (2017) studie uppnådde små skördare aldrig en billigare avverkningskostnad. Med produktivetsnormer från Eriksson & Lindroos (2014) samt Sirén & Aaltio (2013) och kostnadsantaganden från Gustavsson (2017) blev de små beståndsgående skördarnas avverkningskostnader dyrare än konventionella skördare vid ett genomsnitt på 0,06 m³fub. Sammanfattningsvis är medelstamsgränsen för när små skördare tappar erforderlig produktivitet för att ha lika eller lägre avverkningskostnad som konventionella skördare mellan 0,06–0,095 m³fub med ett medelvärde på ca 0,08 m³fub. Små maskiners svårighet att konkurrera kostnadsmässigt vid grövre medelstam gäller inte bara på kort sikt utan även på längre sikt på grund av förslitning. Om små skördare tillåts arbeta långvarigt i skogar med grövre medelstam belastas kran och aggregat på ett sätt som kan leda till högre reparations- och underhållskostnader (Zimelis et al. 2018; Thelin 1990).

Till följd av sin storlek har små skördare även problem med framkomlighet i bestånd med sämre än medelgoda terrängförhållanden (Scherman 1991; Björheden et al. 2018). Detta begränsar skördarnas möjligheter att avverka i bestånd med svåra ytstrukturer där sten och blockighet hindrar deras framkomlighet. Långsiktig användning i svår ytstruktur sliter snabbare på maskiner och kan leda till dryga reparationskostnader och kortare livslängd (Thelin 1990; Scherman 1991). Vid svåra terrängförhållanden kan även skadefrekvensen i bestånden öka om de gallras med små skördare, instabilitet och svårighet för maskinerna att ta sig fram kan öka risk för slirskador och rothalsar (Scherman 1991; Thelin 1990), vilket ytterligare stärker att små skördare inte ska användas i svår terräng. Svårare terrängförhållanden har även en större inverkan på ergonomin i små skördare än konventionella skördare. Arbetsrelaterade besvär är inte ovanliga hos skogsmaskinförare då arbetet innefattar mycket stillasittande med repetitiva arbetsuppgifter där terrängkörning, hantering och aptering av träd orsakar återkommande vibrationer i förarhytten (Åström 2011). Till följd av att små skördare är lättare och mindre stabila än konventionella skördare så kan vibrationsexponeringen och förarmiljön vid svårare terrängförhållanden och hantering av grova träd försvåras i små maskiner (Thelin 1990; Scherman 1991). Eftersom små skördare kräver minst medelgod ytstruktur för god framkomlighet (Björheden et al. 2018) kan det resoneras att en gräns för användning av små skördare bör ligga runt ytstrukturklass 2 (tabell 1), eftersom svårare klasser endast motsvarar ungefär 26 % av Sveriges skogsmark (Segebaden 1975).

Tabell 1. Definitioner för respektive ytstrukturklass enligt Berg (1995).

Table 1. Definitions of each surface structure-class according to Berg (1995).

Ytstrukturklass	Förklaring
Klass 1	Sparsamt eller måttligt med hinder under 30 cm. Vid sparsamt med hinder under 30 cm, endast enstaka hinder över 30 cm får förekomma, annars ska inga hinder över 30 cm förekomma
Klass 2	Måttligt eller rikligt med hinder under 30 cm, sparsamt med hinder på max 50 cm och enstaka hinder över 50 cm
Klass 3	Rikligt med hinder under 30 cm, enstaka hinder över 70 cm höjd
Klass 4	Rikligt med hinder under 30 cm höjd, sparsamt med hinder över 70 cm
Klass 5	Samtliga ytstrukturer som överskrider svårigheten i ytstrukturklass 4
Rikligt	Mer än 4000 hinder/ha
Måttligt	400–4000 hinder/ha
Sparsamt	40–400 hinder/ha
Enstaka	4–40 hinder/ha

En skogsmaskins förmåga att ta sig fram i snö begränsas till största delen av snöns djup och hårdhet (Myhrman et al. 1993). En hjulgående skogsmaskin måste få fäste i marken för att kunna ta sig fram. Om snödjupet överstiger markfrigången så måste maskinen komprimera snön under chassiet för att hjulen ska nå ner till marken. Om snön är mycket mjuk så krävs inte så stora krafter för att komprimera den

tillräckligt för detta. Om snön är hård så är den svår att komprimera och en skogsmaskin blir mer eller mindre hängande på chassiets undersida, och hjulen får inte tillräckligt grepp i marken. För genomsnittliga snöförhållanden är det en tumregel att en skogsmaskin med slirskydd på hjulen kan ta sig fram i ett snödjup som överstiger markfrigången med någon dm (Myhrman et al. 1993). Små maskiner har mindre hjul och lägre markfrigång än konventionella maskiner och påverkas därför betydligt mer vid körning i djup snö. Scherman (1991) utförde ett körprov i snö upp till 120 cm med fyra små maskiner, FMG 0470 (5,1 ton), Norcar 400 H (9 ton), Valmet 701 (5 ton) och Finntrac BGS (7,8 ton). I studien klarade de små maskinerna av att köra i ett snödjup upp till 70 cm. Skördarna som användes i Schermans (1991) studie hade en markfrigång mellan 47 till 82 cm, varav de flesta hade en markfrigång på 60 cm. Sammanfattningsvis bekräftade studierna att dessa maskiner kan framföras i snö som översteg markfrigången med någon dm. Dagens små skördare på 4–8 ton har idag vanligen en markfrigång på 40 cm (Malwa 2017; Vimek 2019). För att komplettera bilden med hur moderna små skördare hanterar snö tillfrågades Vimeks VD Johannes Nilsson som svarade att det beror mycket på vilken typ av snö som råder, men om han tvingas välja ett djup så skulle han säga 50 cm. För skogsmaskiner med en markfrigång på 40 cm kan ett gränsvärde på 50 cm snö motiveras som ett rimligt värde med stöd av litteratur och en tillverkares erfarenheter.

1.3 Syfte och begränsningar

Syftet med denna studie var att utvärdera hur stor andel av Sveriges gallringsskogar som har förutsättningar som möjliggör för små skördare på 4–8 ton att gallra dessa skogar till samma eller lägre avverkningskostnad än vad konventionella gallringsskördare kan.

Studien avgränsas till enbart skördarens avverkningsarbete och skotningen innefattas inte i analysen.

Små skördares potential utvärderas efter följande frågeställningar.

1. Hur stora gallringsvolymen i respektive län kan gallras med små skördare på 4–8 ton med en medelstam mellan 0,01 och 0,08 m³fub och vid en ytstrukturklass på max 2?
2. Hur stora andelar av landets förstagallringar och total gallringsmark representerar gallringsvolymen med en medelstam mellan 0,01 och 0,08 m³fub och en ytstrukturklass på max 2 i respektive län?
3. Hur stor teoretisk gallringsvolym kan små skördare gallra årligen där deras avverkningskostnad är lika eller lägre som en konventionell skördare i olika landsdelar?
4. Hur många dagar per år kan ett snödjup på 50 cm eller högre begränsa framkomligheten för små skördare i respektive region?

2 Material och metod

2.1 Datainsamling

För att uppfylla databehovet för undersökningen av hur stora volymer i respektive län som små skördare kan hävda sig ekonomiskt i användes data från Riksskogstaxeringen. Data bestod av provträd från Riksskogstaxeringens databas från år 2005–2015. I tabellerna nedan (tabell 2 & tabell 3) visas de variabler som användes vid analyser av provträden i datasetet.

Tabell 2. Datavariabler för Riksskogstaxeringens data.

Table 2. Data variables used from Sweden's national forest inventory.

Variabel	Förklaring
Trädvolym	Provträdets totala volym (m ³ sk)
Ytstrukturklass	Beskrivande data om sten- och blockighet på en klasskala 1–5 (se tabell 1)
Huggningsklass	Se tabell 3
Viktad volym	Den volym som provträdet representerar i landskapet. Den summerade viktade volymen i ett område motsvarar hela områdets volym
Län	Vilket län provträdet befinner sig i

Tabell 3. Definitioner för respektive huggningsklass enligt Riksskogstaxeringen & markinventeringen (2017).

Table 3. Definitions of each harvesting class according to (Riksskogstaxeringen & markinventeringen 2017).

Huggningsklass	Definition för huggningsklass	Sammanfattning
C	All gallringsskog, inklusive avverkningsskogen med gallringsbehov	Det totala gallringsförrådet (Samtliga huggningsklasser)
C1	Ogallrad skog där flertalet härskande och medhärskande träd är klenare än 20 cm	Klen förstagallring
C2	Gallrad skog där flertalet härskande och medhärskande träd är klenare än 20 cm i bröst höjd	Klen andragallring
C3	Skog yngre än lägsta tillåtna ålder för slutavverkning där flertalet härskande och medhärskande träd är grövre än 20 cm i bröst höjd	Grov gallringsskog under lägsta slutavverkningsålder
C4	Skog äldre än lägsta slutavverkning som bör gallras ytterligare minst en gång	Gallringsskog över lägsta slutavverkningsålder

Snödjupsdata från 2010-09-01 till 2019-05-01 hämtades från SMHI för att analysera hur många dagar snödjupet begränsar framkomligheten för små skördare i respektive län. Data hämtades från 1–3 stationer per län beroende på storlek av län och tillgång till tillförlitliga data. Med ledning av litteraturen antas ett gränsvärde på 50 cm snödjup för när små skördares framkomlighet begränsas.

2.2 Analys

2.2.1 Generellt

Provträdsdata från Riksskogstaxeringen och beställda data från SMHI hanterades i Excel för att besvara studiens syfte och frågeställningar. Provträdsdata och snödata sammanställdes länsvis i Excel. För snödjupsdata delades länen Norrbotten och Västerbotten in efter kustland och lappmark.

I provträdens volym var även stubbens volym inkluderad, för att erhålla en volym på träden ovan mark subtraherades därför stubbvolymen från provträdens totala volym. Denna totala volym i provträd var viktad för att representera hela Sverige för ett års inventering och behövde därför divideras med 10 för att kompensera för att den viktade volymen var baserad på 10 års inventeringar av provträd.

För att identifiera hur stora gallringsvolymen som små skördare kan kostnadsmässigt konkurrera med konventionella skördare behövde gallringsvolymens ytstrukturförhållanden beaktas. Med gynnsam ytstruktur avser denna studie gallringsvolym med ytstrukturklass på max 2. Riksskogstaxeringens inventeringar utförs i tillfälliga såväl som permanenta provytor (Riksskogstaxeringen & markinventeringen 2017). Datavariabler som ytstrukturklass inventeras endast i de permanenta provytorna. De inventeras med 5 eller 10 års intervaller, vilket medförde att ytstrukturdata i denna studie endast fanns tillgängligt för ungefär hälften av provträden. Därför användes den totala gallringsvolymen från provträdsdata i permanenta ytor för att beskriva hur stor andel av gallringsvolymen i respektive län som präglades av en ytstrukturklass på max 2 (1.3 i flödesschema).

För att kunna möjliggöra en analys av hur stora andelar av Sveriges totala gallringsvolymen som små skördare kan uppnå lägre eller samma avverkningskostnader som konventionella skördare, beräknades länens totalvolym ut för första- och andragallringar (3.1 & 2.1 i flödesschema).

För att beräkna hur stor gallringsvolym som har förutsättning att kostnadseffektivt gallras med små skördare baserat på gallringsvolymens medelstam så begränsades provträdsdata i förstagallringar och total gallringsvolym med ledning av litteraturen till att endast inkludera provträd med en medelstam mellan 0,01–0,08 m³fub (2.2 & 3.2 i flödesschema). Denna gallringsvolym där medelstammen möjliggör erforderlig produktivitet för att uppnå samma eller lika avverkningskostnader som konventionella skördare kommer härmed att kallas för gallringsvolym med gynnsam medelstam. I total gallringsvolym exkluderades även huggningsklass C3 och C4 (2.2 i flödesschema) eftersom små skördare inte är effektiva att användas i skog där medeldiametern är över 20 cm (Scherman 1991).

Kostnadseffektiv gallringsvolym syftar till gallringsvolym där både trädens medelstamsvolym och skogens ytstruktur möjliggör goda förutsättningar små skördare att uppnå lika eller lägre avverkningskostnader som konventionella skördare. Gallringsvolym med gynnsam medelstam i förstagallring och total gallring multipliceras med andelen gynnsam ytstruktur i respektive län med en ytstrukturklass på max 2 (2.3 & 3.3 i flödesschema).

Andel kostnadseffektiv stående gallringsvolym beräknades för förstagallrings- och total gallringsvolym genom att dividera kostnadseffektiv stående gallringsvolym i förstagallrings- och total gallringsskog med de totala gallringsvolymerna i respektive län (2.4 & 3.4 i flödesschema).

2.2.2 Flödesschema

Provträdsdata filterades i respektive län och följande begränsningar applicerades för att erhålla följande variabler:

1. Gynnsam ytstruktur:

- 1.1 Permanenta provtytor i huggningsklass C1, C2, C3 och C4 inräknades
- 1.2 Volymen filtreras efter ytstrukturklass 1–5 och andel volym i respektive klass beräknades.
- 1.3 Gynnsam ytstruktur: Andel provträdsvolym med en ytstrukturklass på max 2 summerades.

2. Total gallringsvolym:

- 2.1 Total gallringsvolym: Provträd i huggningsklass C1, C2, C3 och C4 inräknades.
- 2.2 Gallringsvolym med gynnsam medelstam: Provträd i huggningsklass C1 och C2 inräknades. Endast provträd med en medelstamsvolym mellan 0,01–0,08 m³fub inräknades.
- 2.3 Kostnadseffektiv total gallringsvolym: Gallringsvolym med gynnsam medelstam (2.2 i flödesschema) multiplicerades med andelen gynnsam ytstruktur (1.3 i flödesschema).
- 2.4 Andel kostnadseffektiv gallringsvolym: Kostnadseffektiv total gallringsvolym dividerades med total gallringsvolym (2.1 i flödesschema).

3. Förstagallringsvolym:

- 3.1 Total förstagallringsvolym: Provträd i huggningsklass C1 beräknades.
- 3.2 Förstagallringsvolym med gynnsam medelstam: Endast provträd med en medelstamsvolym mellan 0,01–0,08 m³fub beräknades.
- 3.3 Kostnadseffektiv förstagallringsvolym: Förstagallringsvolym med gynnsam medelstam (3.2 i flödesschema) multiplicerades med andelen gynnsam ytstruktur (1.3 i flödesschema) i respektive län.
- 3.4 Andel kostnadseffektiv gallringsvolym: Kostnadseffektiv förstagallringsvolym dividerades med total gallringsvolym (3.1 i flödesschema).

2.3 Beräkningar

Årlig gallringsvolym med små skördare

För att beräkna årlig gallringsvolym för små skördare hämtades statistik om årlig gallrad volym från Riksskogstaxeringens skogsdata (Riksskogstaxeringen 2019). Riksskogstaxeringens data grundar sig på statistik om årlig gallrad volym under femårsperioder mellan 2007–2012 samt 2012–2017. Dessa data finns endast tillgängliga för landsdelarna Svealand, Götaland, samt södra och norra Norrland och

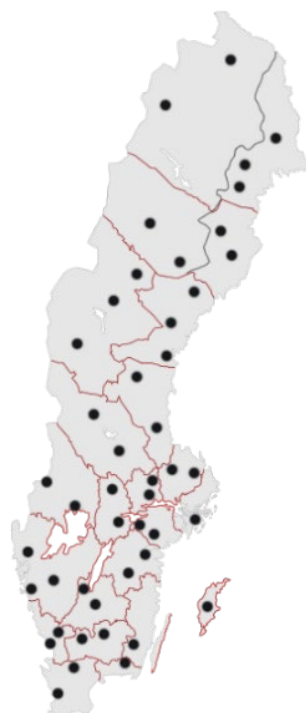
årlig gallringsvolym med små skördare redovisas därför inte länsvis, utan efter dessa landsdelar.

Årlig gallringsvolym redovisas i skogskubikmeter (m³sk) och beräknades genom följande formel:

Årlig gallringsvolym för små skördare = Statistisk årlig gallrad volym * andel kostnadseffektiv total gallringsvolym

Begränsande dagar av stort snödjup

Beräkning av antal snödjupsbegränsande dagar gjordes för varje snöstation (figur 1) genom att summera antal dagar då snödjupet översteg 50 cm från första september 2010 till första maj 2019. Antal begränsande dagar dividerades sedan med antal studerade år för att erhålla ett genomsnitt på hur många dagar per år som snödjupet begränsar små skördares framkomlighet. Ett medelvärde beräknades för varje station i respektive län, vilket representerade hela länets genomsnittliga antal snöbegränsande dagar. Dessutom undersöktes hur många dagar per år som snödjup kan begränsa som minst och som mest i respektive län. Norrbottens och Västerbottens län indelades i kust och lappmark.



Figur 1. Belägenhet för stationerna som använts för insamling av snödjupsdata från 2010-09-01 till 2019-05-01.

Figure 1. Position of snow stations used for collecting snow data from 2010-09-01 to 2019-05-01.

3 Resultat

3.1 Total gallringsvolym

I Sveriges totala gallringsvolym finns det 1 163,4 miljoner m³sk gallringsvolym varav 514 miljoner m³sk är förstagallring (tabell 4). Störst gallringsvolym återfinns i Norrbotten och Västerbotten med 121,78 respektive 120,95 miljoner m³sk. Lägst volym finns på Gotland och i Blekinge med 1,34 respektive 2,88 miljoner m³sk.

Tabell 4. Sammanställning av provträdsantal, total stående gallringsvolym i förstagallring samt total stående gallring för respektive län.

Table 4. Sample tree data of Sweden's total standing thinning volume presented in first thinning volume and total thinning volume.

Län	Tot. gallringsvolym			Förstagallringsvolym		
	Antal provträd (st)	Provträd/ km ² gallringsareal	Viktad volym (milj. m ³ sk)	Antal provträd (st)	Provträd/ km ² gallringsareal	Viktad volym (milj. m ³ sk)
Blekinge	575	0,78	13,03	160	0,22	2,88
Dalarna	4314	0,59	85,01	2513	0,34	41,77
Gotland	345	0,80	4,65	122	0,28	1,34
Gävleborg	4696	0,76	102,28	2124	0,34	38,42
Halland	1152	1,10	21,86	351	0,34	5,13
Jämtland	3847	0,43	87,75	2639	0,29	53,28
Jönköping	2021	0,80	40,98	911	0,36	15,43
Kalmar	2160	0,79	45,62	761	0,28	12,99
Kronoberg	1712	0,70	35,18	762	0,31	13,70
Norrbotten	6004	0,39	121,78	4151	0,27	77,26
Skåne	1536	1,15	29,86	359	0,27	5,11
Stockholm	820	0,73	16,36	392	0,35	6,94
Södermanland	1112	0,83	24,05	287	0,21	4,86
Uppsala	1474	0,81	29,86	581	0,32	9,65
Värmland	4318	0,70	96,42	2133	0,35	40,72
Västerbotten	5248	0,39	120,95	3111	0,23	63,86
Västernorrland	3855	0,54	102,29	2464	0,34	58,14
Västmanland	928	0,77	19,58	458	0,38	7,92
Västra Götaland	4113	0,86	81,43	1756	0,37	27,29
Örebro	1926	0,72	38,89	936	0,35	16,05
Östergötland	2185	0,79	45,59	670	0,24	11,15
Sverige	54341	0,73	1163,4	27641	0,31	514

3.2 Begränsande ytstruktur i landet

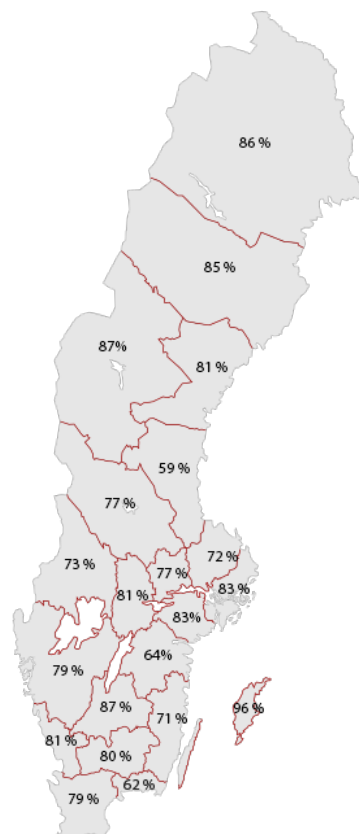
I avseende till landsdelar präglas gallringsskogen i norra Norrland av de mest gynnsamma ytstrukturförhållandena, där 86 % av gallringsvolymen präglas av ytstrukturklass på max 2 (tabell 5). I Svealand och Götaland präglas 78 % av gallringsvolymen av ytstrukturklass på max 2 och i södra Norrland präglas 76 % av gallringsvolymen av ytstrukturklass på max 2. Nationellt sett präglas 79 % av gallringsvolymen på gynnsam ytstruktur på max 2 varav ytstrukturklass 1 utgör 54 % av den totala gallringsvolymen i landet.

Tabell 5. Andel gallringsvolym (%) beräknat med provträdsdata från Riksskogstaxeringen fördelat på ytstrukturklass i respektive län.

Table 5. Percentage of thinning volume (%) calculated using tree sample data from Sweden's national forest inventory distributed on surface structure-class in each county.

Län	Ytstruktur 1	Ytstruktur 2	Ytstruktur 3	Ytstruktur 4	Ytstruktur 5	Summa 1–5	Viktat medelvärde
Blekinge	31	31	25	10	3	100	2,2
Dalarna	48	29	15	7	1	100	1,8
Gotland	95	1	4	0	0	100	1,1
Gävleborg	34	25	29	11	1	100	2,2
Halland	46	35	6	12	0	100	1,8
Jämtland	67	20	8	4	1	100	1,5
Jönköping	63	24	8	5	0	100	1,6
Kalmar	42	29	19	10	0	100	2,0
Kronoberg	52	28	12	6	2	100	1,8
Norrbottn	59	27	11	3	0	100	1,6
Skåne	58	21	17	4	0	100	1,7
Stockholm	56	27	13	3	0	100	1,6
Södermanland	53	30	15	2	0	100	1,7
Uppsala	44	28	17	9	2	100	2,0
Värmland	49	24	18	9	0	100	1,9
Västerbotten	59	26	9	6	0	100	1,6
Västernorrland	49	32	12	6	1	100	1,8
Västmanland	43	33	10	12	1	100	1,9
Västra Götaland	53	26	11	10	0	100	1,9
Örebro	63	19	11	8	0	100	1,7
Östergötland	43	21	21	14	1	100	2,1
						100	1,6
Norra Norrland	59	27	10	5	0	100	1,8
Södra Norrland	50	26	16	7	1	100	1,8
Svealand	51	27	14	7	1	100	1,8
Götaland	54	24	14	8	1	100	1,8
Hela landet	54	25	13	7	1	100	1,8

I Gotland, Jämtland och Jönköping fanns högst andel gynnsam ytstruktur för små skördare och den svåraste ytstrukturen finns i Gävleborg, Blekinge och Östergötland (figur 2). Norr om Gävleborg präglas minst 81 % av gallringsvolymen av en gynnsam ytstrukturklass på max 2.



Figur 2. Andel gallringsvolym med gynnsam ytstruktur för små skördare med en ytstrukturklass på max 2 i respektive län.

Figure 2. Percentage of thinning volume with favorable surface structure of maximum class 2 for small harvesters in each county.

3.3 Kostnadseffektiv gallringsvolym och andel kostnadseffektiv gallringsvolym

Om det endast landets gallringsvolym med gynnsam medelstam mellan 0,01–0,08 m³fub beaktas kan 42 % av den stående volymen i förstagallringar effektivt avverkas med små skördare (tabell 6). Genom att begränsa volymen till gynnsam ytstruktur med en ytstrukturklass på max 2 sjunker den kostnadseffektiva stående förstagallringsvolymen till 34 % av landets förstagallringar. Av Sveriges totala

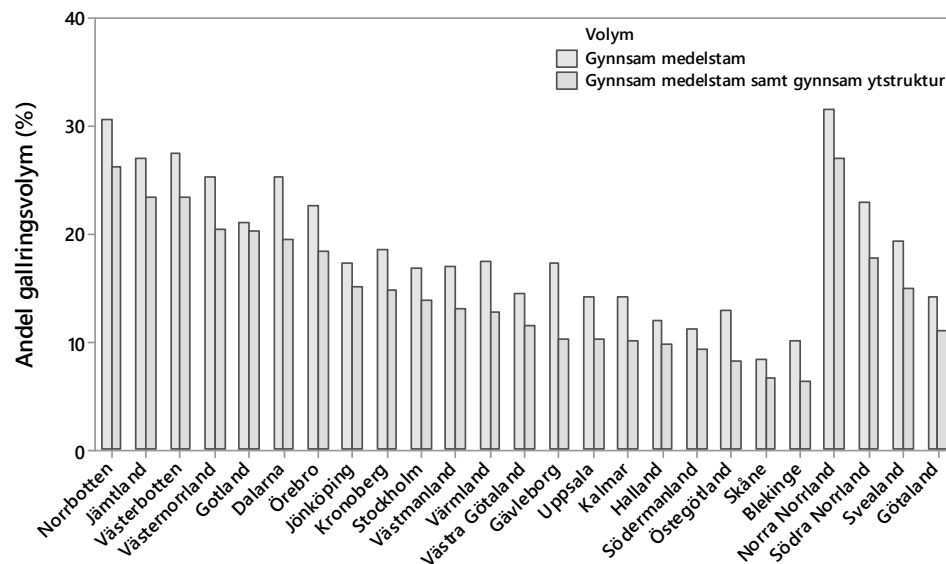
gallringsvolym uppgår gallringsvolym med gynnsam medelstam till 21 % av den totala gallringsvolymen. Vid ytterligare begränsning av volymen till gynnsam ytstruktur så är 17 % av landets totala stående gallringsvolym kostnadseffektivt att gallra med små skördare på 4–8 ton.

Tabell 6. Sammanställning av hur stor del av Sveriges stående gallringsvolym som består av gynnsam medelstam som små skördare effektivt kan gallra mellan 0,01–0,08 m³fub, och hur stor del av gallringsvolymen som kostnadseffektivt kan gallras med små skördare (dvs där både trädens medelstamsvolym är mellan 0,01–0,08 m³fub och skogens ytstruktur inte överstiger klass 2) i respektive län för total gallringsvolym och förstagallringsvolym.

Table 6. Proportions of Sweden's standing thinning volume with a favorable stem volume between 0,01-0,08 m³fub and proportions of thinning forests that may sustain cost-effective harvest (i.e. percentage of thinning volume with a favorable stem volume limited to surface structure of class 2 or less in each county) with small harvesters in each county concerning first thinning and total thinning volume.

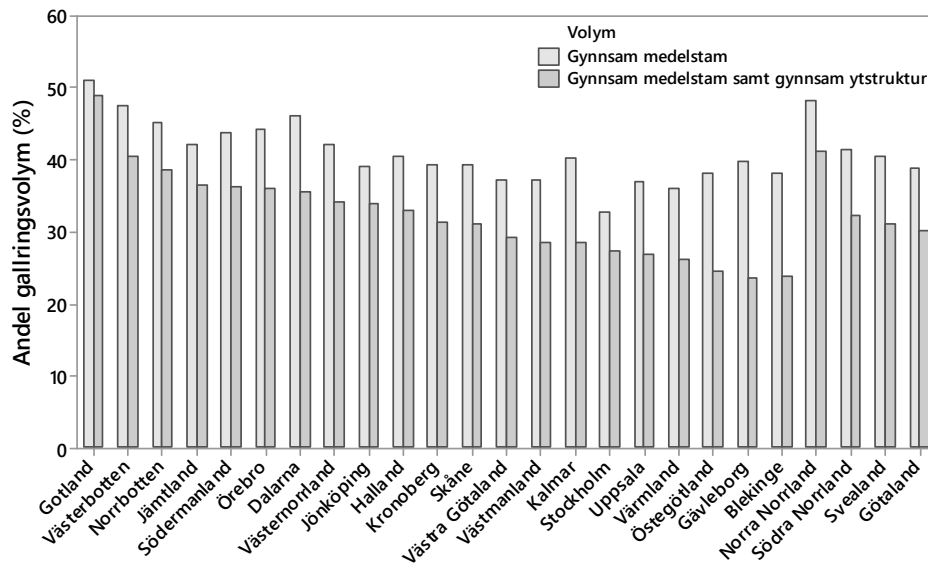
Län	Tot. gallringsvolym			Förstagallringsvolym		
	Andel gallringsvolym med gynnsam medelstam (%)	Andel kostnadseffektiv volym (%)	Kostnadseffektiv volym (milj. m ³ sk)	Andel gallringsvolym med gynnsam medelstam (%)	Andel kostnadseffektiv volym (%)	Kostnadseffektiv volym (milj. m ³ sk)
Blekinge	10	6	0,8	38	24	0,7
Dalarna	25	19	16,5	46	36	14,8
Gotland	21	20	0,9	51	49	0,7
Gävleborg	17	10	10,5	40	24	9,1
Halland	12	10	2,1	40	33	1,7
Jämtland	27	23	20,5	42	36	19,4
Jönköping	17	15	6,2	39	34	5,2
Kalmar	14	10	4,6	40	28	3,7
Kronoberg	18	15	5,2	39	31	4,3
Norrbottn	31	26	32,0	45	39	29,8
Skåne	8	7	2,0	39	31	1,6
Stockholm	17	14	2,3	33	27	1,9
Södermanland	11	9	2,2	44	36	1,8
Uppsala	14	10	3,0	37	27	2,6
Värmland	17	13	12,3	36	26	10,7
Västerbotten	27	23	28,3	48	41	25,9
Västernorrland	25	20	20,9	42	34	19,8
Västmanland	17	13	2,6	37	29	2,3
Västra Götaland	14	11	9,3	37	29	8,0
Örebro	23	18	7,2	44	36	5,8
Östergötland	13	8	3,8	38	25	2,7
Sverige	21	17	193,1	42	34	172,4

I (figur 3) och (figur 4) kan det avläsas hur Sveriges län kan rangordnas i andel kostnadseffektiv volym för förstagallringar och total gallring. Norrbotten, Västerbotten, Jämtland och Gotland ligger högst i andel gallringsskog med gynnsam medelstam samt gynnsam ytstruktur. I figuren kan det tydas att Gotlands höga relativa potential för små skördare grundar sig till stor del på att väldigt liten andel av gallringsvolymen har svårare ytstrukturförhållanden än max 2. Dock har Gotland också näst lägst total kostnadseffektiv stående gallringsvolym efter Blekinge med 0,9 miljoner m³sk (tabell 6) på grund av länets låga skogsinnehav och storlek. Östergötland, Skåne och Blekinge har minst andel kostnadseffektiv stående gallringsvolym med gynnsam ytstruktur. En viss trend kan även urskiljas att andel gallringspotential relativt sett verkar sjunka ju längre söderut man kommer.



Figur 3. Andel total stående gallringsvolym där små skördare kan uppnå en likvärdig eller lägre avverkningskostnad som konventionella gallringsskördare med avseende på gynnsam medelstamsvolym mellan 0,01–0,08 m³fub och gynnsam medelstam samt gynnsam ytstrukturklass på max 2. De fyra sista staplarna till höger representerar landsdelar.

Figure 3. Percentage of total standing thinning volume that can enable small harvesters to achieve harvesting costs that are equal to, or lower than conventional harvesters based on a favorable stem volume between 0,01-0,08 m³fub and a surface structure of class 2 or less. The four staples to the right represent country regions.

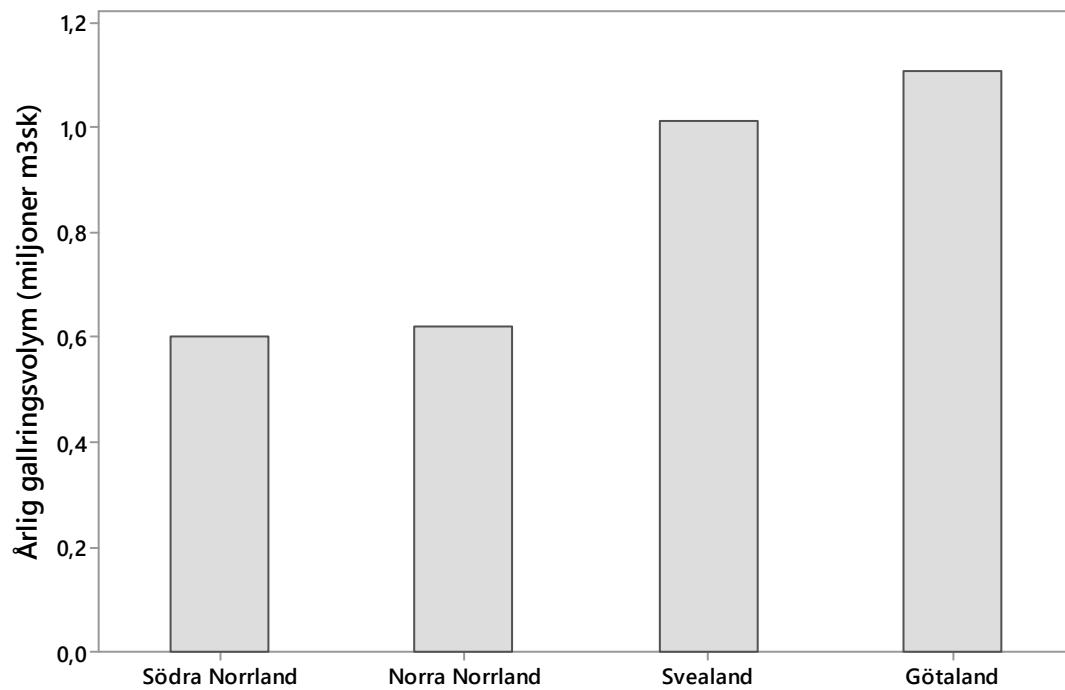


Figur 4. Andel stående förstagallringsvolym där små skördare kan uppnå en likvärdig eller lägre avverkningskostnad som konventionella gallringsskördare med avseende på gynnsam medelstamsvolym mellan 0,01–0,08 m³fub och gynnsam medelstam samt gynnsam ytstrukturklass på max 2. De fyra sista staplarna till höger representerar landsdelar.

Figure 4. Percentage of first thinning standing volume that can enable small harvesters to achieve harvesting costs that are equal to, or lower than conventional harvesters based on a favorable stem volume between 0,01–0,08 m³fub and a surface structure of class 2 or less. The four staples to the right represent country regions.

3.4 Årlig gallringsvolym för små skördare

Götaland hade högst årlig avverkningspotential för små skördare med en årlig gallringsvolym på 1,11 miljoner m³sk (figur 5), detta motsvarar 10 % av den totala volym som enligt statistiken gallras varje år i Götaland (Riksgsskogstaxeringen (2019). I Svealand låg den årliga avverkningen för små skördare på 1,01 miljoner m³sk, vilket motsvarar 15 % av den volym som årligen gallras i Svealand enligt riksgsskogstaxeringens statistik. Södra Norrland och Norra Norrland låg på en lägre årlig gallringsvolym med 0,62 respektive 0,60 miljoner m³sk. Detta speglade 18% av den statistiskt årliga gallrade volymen i Södra Norrland och 27 % av av norra Norrlands statistiskt gallrade volym.

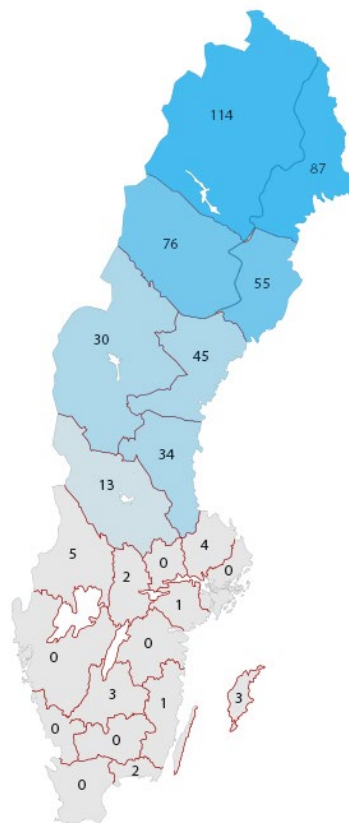


Figur 5. Teoretisk årlig gallringsvolym som små skördare kan gallra med samma eller lägre avverkningens kostnad som konventionella skördare (miljoner m³sk) i respektive landsdel.

Figure 5. Potential yearly harvesting volume where small harvesters can achieve harvesting costs that are equal to or lower than conventional harvesters (million m³sk) in each country region.

3.5 Begränsande dagar av stort snödjup

Inom ett 9-årigt intervall var begränsande antal dagar inte helt oväntat högst i norra delen av landet. Norrbotten och Västerbotten delades in i kustland och Lappmark. I Lappmarkerna var snödjupet i genomsnitt högre än vid kusten (figur 6). Norrbottens Lappmark hade svårast förutsättningar med ett genomsnitt på 114 begränsande dagar om året, och det svåraste året hade ett begränsande snödjup i 150 dagar (bilaga 1). Söder om dalarna kan snödjupet i medeltal begränsa framkomligheten för små skördare mellan 0–5 dagar (figur 6) och som värst kan snödjupet begränsa framkomligheten i upp till 41 dagar i Uppsala (bilaga 1).



Figur 6. Antal dagar som snödjupet i genomsnitt överstiger 50 cm och bedöms begränsa framkomligheten för små skördare. Data från 2010-09-01 till 2019-05-01.

Figure 6. Number of days on average, that snow depth exceeds 50 cm and is estimated to limit the advancement of small harvesters. Data from 2010-09-01 to 2019-05-01.

4 Diskussion

4.1 Begränsande ytstruktur

Resultatet visar att Sveriges gallringsskogar präglas till 79 % av gynnsam ytstruktur för avverkning med små skördare med en ytstrukturklass på max 2. Denna ytstrukturfördelning motsvarar vad tidigare studier som kartlagt terrängförhållanden visat på. I Segebadens (1975) arbete motsvarade andelen skogsmark med ytstrukturklass på max 2 nationellt sett 76 % av skogsmarksarealen och den här studiens resultat skiljer sig därmed med endast 3 %. Vid jämförelse med Segebadens (1975) studie verkar det som att gallringsskogar och skogsmark i allmänhet fördelar sig likartat över ytstrukturklasserna. Det verkar också som att den här studiens summering av ytstrukturklasser över volym hamnar mycket nära Segebadens summering över areal. Rimligtvis borde gallringsskogar och skogsmark i allmänhet fördela sig likartat vad gäller ytstrukturklass då gallringsskog trots allt hör till skogsmark. Vidare kan det diskuteras huruvida det är rimligt att summering av ytstrukturklasser över areal bör likna summeringen av ytstrukturklasser över gallringsvolym. Gallringsvolym och skogsmarksareal bör kunna fördela sig lika vad gäller ytstrukturklass i genomsnitt. Vid mycket hög ytstruktur skulle dock gallringsvolymen kunna utgöra en lägre andel än skogsmarksarealen då blockigheten kan begränsa möjligheten för hög gallringsvolym att växa där.

Länet med högst andel gynnsam ytstruktur är Gotland där 96 % av gallringsvolymen består av en ytstrukturklass på max 2. Länet med lägst andel gynnsam ytstruktur är Blekinge där endast 62 % av gallringsvolymen har en ytstrukturklass på max 2. I den här studien har lutningen inte beaktats vid beräkning av goda terrängförhållanden för små skördare, utan endast en ytstruktur på max 2 har använts för att begränsa kostnadseffektiva gallringsvolymen. Thelin (1990) skrev i sin studie att små skördare hävdar sig bäst i lättare terränger där summan av ytstruktur- och

lutningsklass inte bör överskrida 4. Det är logiskt att anta att lutningen påverkar framkomligheten för små skördare och att marker där ytstrukturen är gynnsam kan bli svårarbetade om lutningen är väldigt brant. Segebaden (1975) redovisade i sin studie en beskrivning av terrängförhållanden för svensk skogsmarksareal med data från Riksskogstaxeringens fältarbete 1970–1972 (tabell 7). Här beskrevs bland annat skogsmarkens fördelning på lutningsgrad och ytstrukturklass på nationell nivå.

Tabell 7. Skogsmarkens arealfördelning av lutningsgrad och ytstrukturklass på nationell nivå enligt Segebadens (1975) statistik på terrängförhållanden.

Table 7. Sweden's woodland areal distribution of inclination- and surface structure class on a national level according to Segebaden's (1975) statistics of terrain conditions.

Terrängförhållande	Ytstruktur klass 1	Ytstruktur klass 2	Ytstruktur klass 3
Lutning klass 1	36 %	25 %	11 %
Lutning klass 2	4 %	6 %	4 %
Lutning klass ≥ 3	2 %	3 %	2 %

Enligt tabellen ovan (tabell 7) framgår det att endast 3 % av skogsmarken med ytstrukturklass 2 präglas av en lutningsklass som överskrider klass 2. Om man begränsat skogsmark till svårare lutning enligt Thelins (1990) definition av goda terrängförhållanden hade alltså inte stora arealer försvunnit. En definition av goda terrängförhållanden med en ytstrukturklass på max 2 kan därför på ett bra sätt innefatta marker där små skördare kan arbeta effektivt. Om Thelins (1990) definition av goda terrängförhållanden (det vill säga en summerad ytstruktur- och lutningsklass på max 4) istället hade använts i den här studien skulle andelen goda terrängförhållanden nationellt sett präglas omkring 8 % mer av skogsmarksarealen, från 76 % till 84 % enligt Segebadens (1975) siffror. Med Thelins (1990) definition av goda terrängförhållanden hade alltså en större gallringsvolym troligen räknats som kostnadseffektiv gallringsvolym i den här studien.

4.2 Kostnadseffektiv stående gallringsvolym

Resultatet visar att kostnadseffektiv total stående gallringsvolym där små skördare kan uppnå en lika eller lägre avverkningskostnad än konventionella skördare i hela Sverige ligger på 193,1 miljoner m³sk. Detta motsvarar 17 % av hela landets totala gallringsvolym. Kostnadseffektiv stående förstagallringsvolym ligger på 172,4 miljoner m³sk och motsvarar 34 % av hela landets förstagallringsvolym. Den totala stående gallringsvolymen som kostnadseffektivt kan gallras består alltså till 89 % av förstagallringar. Vid filtrering av total kostnadseffektiv stående gallringsvo-

lym fanns ingen restriktion för när andragallringarna tidigare gallrats. Det kan betyda att delar av andragallringsvolymen troligen består av nyligen gallrade skogar som därmed inte är aktuella för en ytterligare gallring på många år. Detta gör att siffrorna för kostnadseffektiv gallringsvolym i förstagallringar troligen kan vara mer korrekta än siffrorna för total kostnadseffektiv gallringsvolym för små skördare.

Gränsen för gynnsam medelstam mellan 0,01–0,08 m³fub har i den här studien definierats med härledning till vad litteraturen i genomsnitt har angivit för gränser för när små skördare tappar erforderlig produktivitet för att konkurrera kostnadsmässigt med konventionella gallringsskördare. Dessa gränser har i litteraturen definierats genom tidsstudier där konventionella och små skördares produktivitet och kostnader har jämförts med varandra. Dessa studier beaktar däremot inte kostnadsskillnader vid maskinflytt. På grund av sin lägre timkostnad är det billigare att flytta små skördare än konventionella skördare. I Wildmarks (2014) studie med konventionella skördare kostade den billigaste metoden för 10 km maskinflytt 2140 kr. Timkostnaden var då 1200 kr/G0-timme. Vid maskinflytt på 50 km var kostnaden 4065 kr.

Om man använder samma förutsättningar som Wildmark (2014), men istället undersöker flyttkostnaden för en liten skördare på 950 kr/G0-timme så är den mindre skördaren 215 respektive 460 kr billigare vid de två olika avstånden. Vid gallring av mycket små bestånd kan flyttkostnader stå för en relativt stor del av den rörliga kostnaden. Om maskinflytt görs till ett litet objekt med en beståndsstorlek på 50 m³fub gallras endast 15 m³fub med ett gallringsuttag på 30 %. Beroende på om flyttavståndet är 10 eller 50 km är det 215 respektive 460 kr billigare att utföra maskinflytten med en liten skördare. Avverkningskostnaden blir då ca 17–30 kr/m³fub lägre. Om kostnadsskillnader vid flytt beaktas kan små skördare möjligtvis vara kostnadseffektiva upp till en högre medelstam än vad som angivits i tidigare studier. Detta förutsätter dock att flyttavståndet för små skördare inte är betydligt längre än vad det är för konventionella maskiner. Eftersom små skördare är nischmaskiner som kräver särskilda förutsättningar för att vara kostnadseffektiva är det dock rimligt att anta att de kan behöva flyttas längre för att användas i lämpliga bestånd.

Det finns idag inga tidigare studier som undersökt gallringspotentialen för små skördare. Däremot finns det andra arbeten som studerat andra faktorer som kan jämföras med den här studiens resultat. Enligt den här studiens resultat verkar norra Sverige till exempel ha högre kostnadseffektiv gallringsvolym för små skördare och högre andel kostnadseffektiv stående gallringsvolym än södra Sverige.

Detta skulle kunna bero på att länen i norr är betydligt större och kan hysa större skogsvolymer, samt att den norrländska gallringsskogen är betydligt klenare än den södra på grund av en lägre bonitet. En liknande trend redovisades av Fernandez-Lacruz et al. (2015) där potentialen av klena täta gallringar för biomassaproduktion undersöktes. I deras studie var 65 % av klen tät gallringsskog för biomassaproduktion beläget i norra Sverige. Givetvis skilde sig deras restriktioner för gallringsskogarna, men även där undersöktes gallringsskog med låg medelstam. Intressant nog verkar resultatet från deras studie peka på att inte bara andelen klen tät gallringsskog för biomassaproduktion var högre norr i landet, men så även beståndsåldern. Med högre andel klen tät gallringsskog och högre genomsnittlig beståndsålder kan det antas att det är den lägre boniteten i norra Sverige som orsakar denna trend.

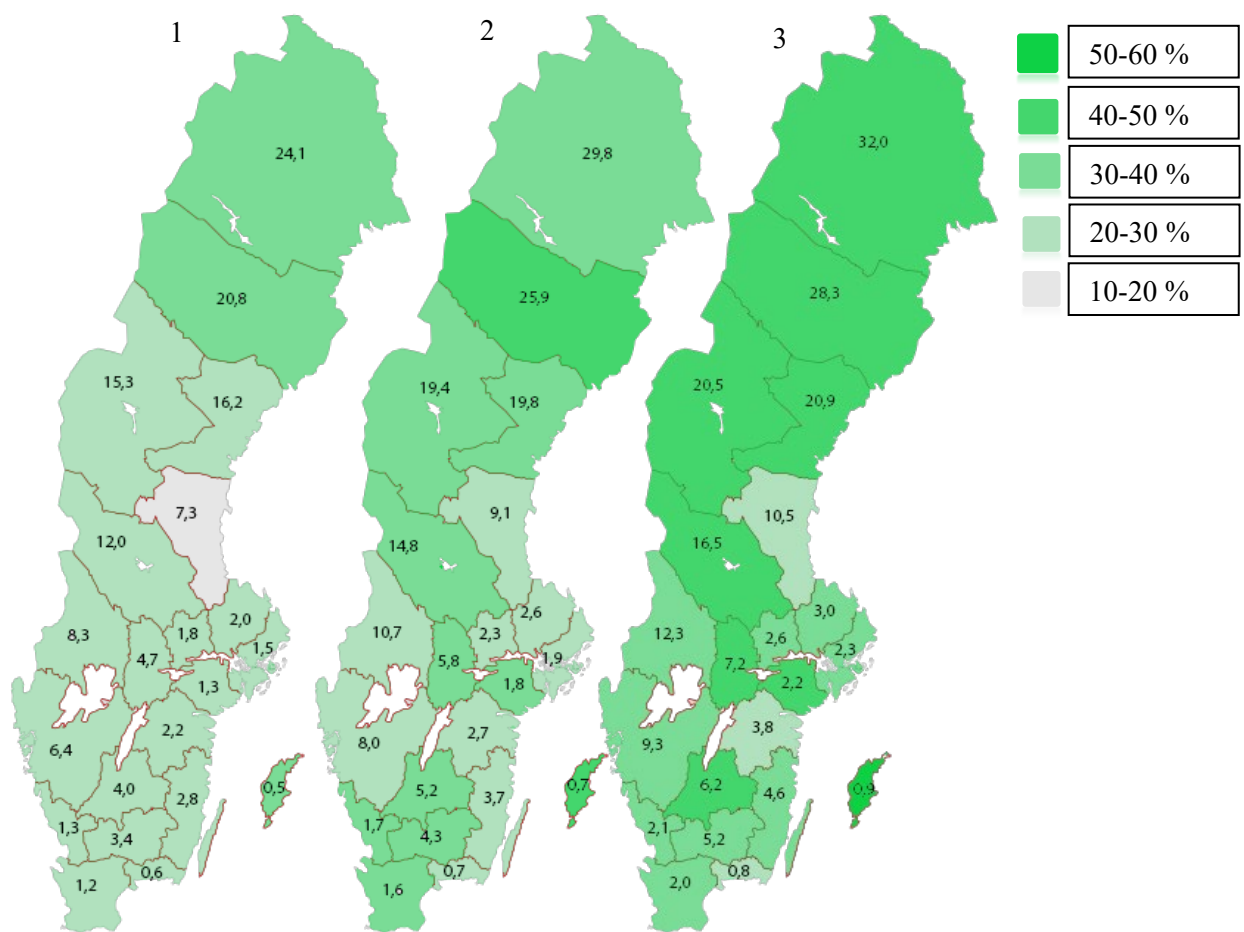
För studier av denna karaktär, där gränsvärden som ekonomiskt gynnsam medelstam inte kan fastställas med total säkerhet, är det intressant att utföra känslighetsanalyser. Dessa analyser utförs för variabler som resultatet baseras på. I den här studien är det gränsmedelstammen som är av intresse att undersöka och se hur den påverkar potentiellt kostnadseffektiv avverkningsvolym.

För att undersöka känsligheten av ekonomiskt gynnsam medelstam justeras värdet med ett 20 % högre respektive lägre gränsvärde. De två nya gränsvärden som analyseras blir då:

$$\text{Lägre gränsmedelstam} = 0,08 * 0,80 = 0,064$$

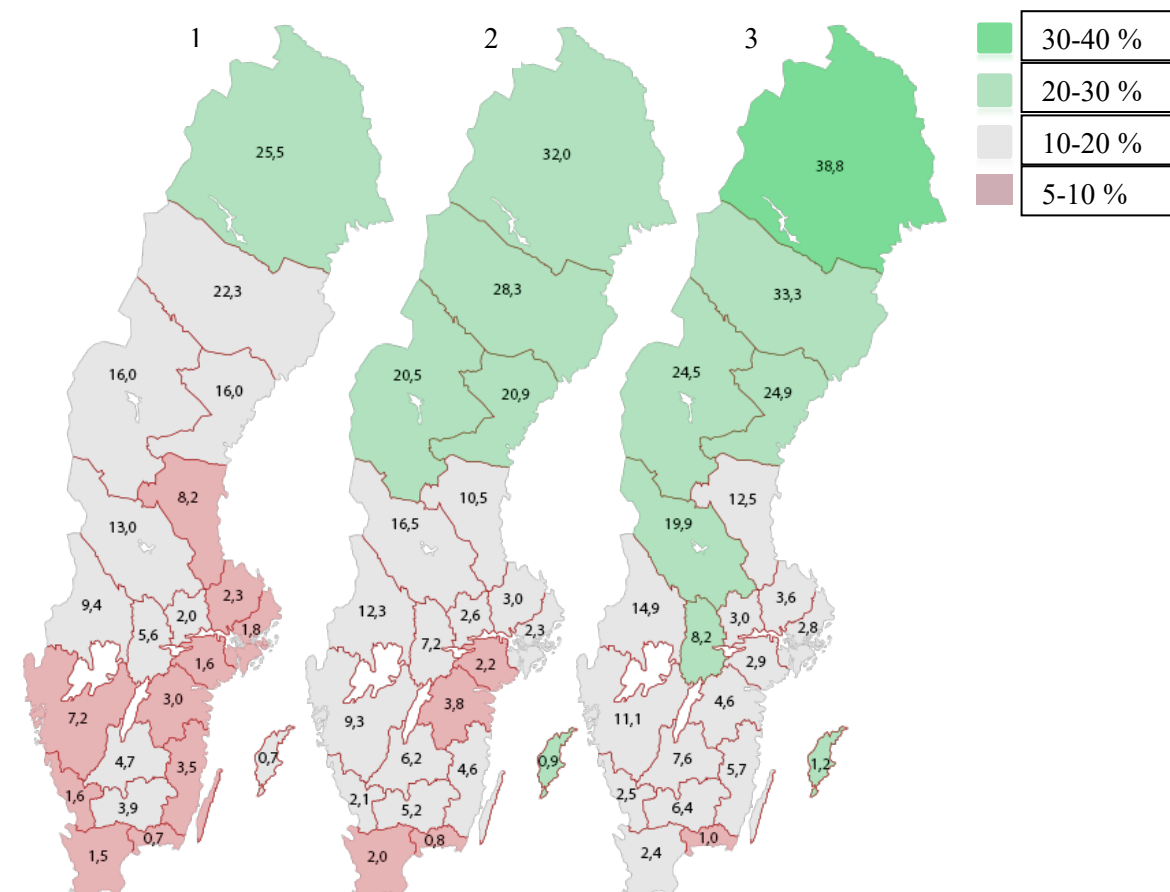
$$\text{Högre gränsmedelstam} = 0,08 * 1,20 = 0,096$$

Känslighetsanalyserna visade på att totala förstagallringsvolymen med förutsättningar som möjliggör kostnadseffektiv användning av små skördare rör sig mellan 137,8-202,2 miljoner m³sk i hela landet. Detta motsvarar 27-39 % av landets totala förstagallring (figur 7). Vad gäller total gallringsvolym kan det röra sig mellan 151,6-230,7 miljoner m³sk som kostnadseffektivt kan gallras med små skördare, vilket motsvarar 13-20 % av den totala gallringsvolymen i landet (figur 8).



Figur 7. Stående förstagallringsvolym som kan möjliggöra kostnadseffektiv användning av små skördare vid beaktande av gynnsam ytstruktur och gynnsam medelstam vid respektive känslighetsanalys för förstagallringar. Volymen redovisas i miljoner m^3sk och färgen representerar kostnadseffektiv stående andel av länens totala förstagallringsvolym. Sverigekarta 1 representerar en kostnadseffektiv stående volym vid en medelstam mellan $0,010-0,064 m^3fub$. Sverigekarta 2 representerar kostnadseffektiv stående volym vid en medelstam mellan $0,010-0,08 m^3fub$ och Sverigekarta 3 motsvarar en kostnadseffektiv stående volym med medelstam mellan $0,010-0,096 m^3fub$.

Figure 7. First thinning volume that can sustain cost-effective use of small harvesters at each sensitivity analysis. The volume is presented in million m^3sk and the color represents the percentage of total first thinning standing volumes that consists of cost-effective first thinning volume. Map 1 represents cost-effective standing thinning volumes with a stem volume between $0,010-0,064 m^3fub$. Map 2 represents cost-effective standing thinning volumes with a stem volume between $0,010-0,08 m^3fub$ and map 3 represents cost-effective standing thinning volume with stem volume between $0,010-0,096 m^3fub$.



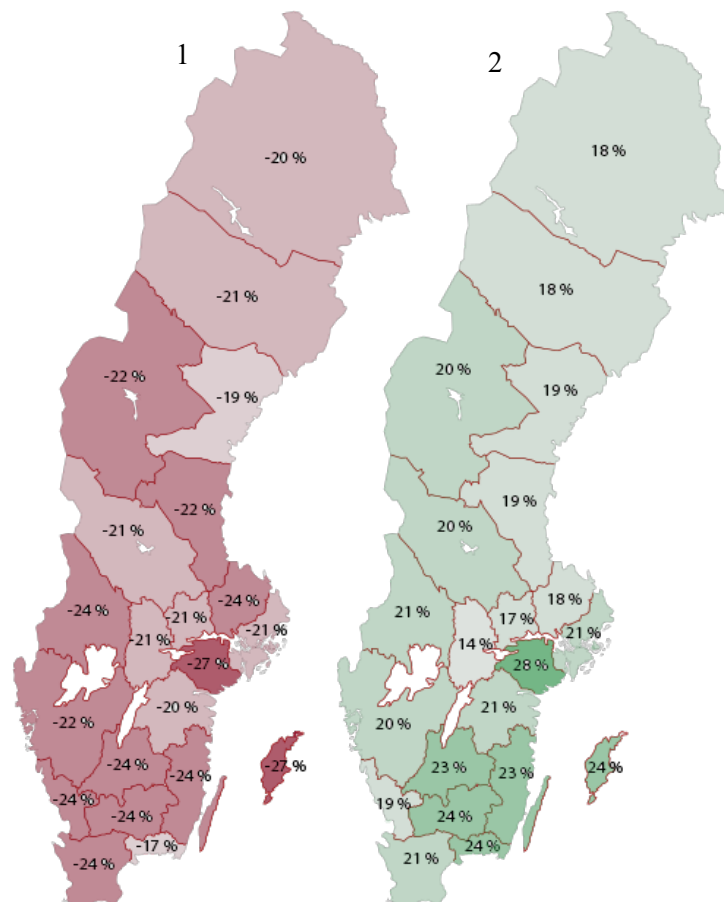
Figur 8. Stående total gallringsvolym som kan möjliggöra kostnadseffektiv användning av små skördare vid beaktande av gynnsam ytstruktur och gynnsam medelstam vid respektive känslighetsanalys för förstagallringar. Volymen redovisas i miljoner m^3sk och färgen representerar kostnadseffektiv stående andel av länens totala gallringsvolym. Sverigekarta 1 representerar en kostnadseffektiv stående volym vid en medelstam mellan 0,010–0,064 m^3fub . Sverigekarta 2 representerar kostnadseffektiv stående volym vid en medelstam mellan 0,010–0,08 m^3fub och Sverigekarta 3 motsvarar en kostnadseffektiv stående volym med medelstam mellan 0,010–0,096 m^3fub .

Figure 8. Total thinning volume that can sustain cost-effective use of small harvesters at each sensitivity analysis. The volume is presented in million m^3sk and the color represents the percentage of total first thinning standing volumes that consists of cost-effective thinning volume. Map 1 represents cost-effective standing thinning volumes with a stem volume between 0,010-0,064 m^3fub . Map 2 represents cost-effective standing thinning volumes with a stem volume between 0,010-0,08 m^3fub and map 3 represents cost-effective standing thinning volume with stem volume between 0,010-0,096 m^3fub .

Den erforderliga medelstamsgränsen för kostnadseffektiv gallring är enligt litteraturen mellan 0,060-0,095 m^3fub (Thelin 1990; Brunberg 2000; Scherman 1991). Kostnadseffektiva gallringsvolymerna i olika län kan därför, beroende på gallringsskogarnas förutsättningar, öka eller minska olika mycket. Detta är beroende av vid vilken medelstam som små skördare i verkligheten tappar

erforderlig produktivitet för att vara kostnadseffektiva alternativ. Enligt känslighetsanalyserna skulle den kostnadseffektiva gallringsvolymen i genomsnitt nationellt sett minska 2% mer vid en 20 % lägre medelstamsgräns än 0,08 än vad den skulle öka vid en 20 % högre medelstamsgräns än 0,08 (figur 9).

Kostnadseffektiv volym minskar mer vid en lägre medelstamsgräns än den ökar vid en högre medelstamsgräns i alla län förutom Södermanland, Östergötland och Blekinge. I Blekinge ökar kostnadseffektiv gallringsvolym 8 % mer vid en 20 % högre medelstam än vid en 20 % lägre. I Södermanland och Östergötland är ökad kostnadseffektiv volym vid högre medelstam 1 % högre än minskad kostnadseffektiv volym vid lägre medelstam.



Figur 9. Känslighetsanalyser med 20 % högre, respektive lägre medelstamsgräns. Sverigekarta 1 representerar hur mycket total kostnadseffektiv volym minskar med en medelstamsgräns på 0,064 istället för 0,08 m³fub. Sverigekarta 2 representerar hur mycket total kostnadseffektiv volym ökar med en medelstamsgräns på 0,096 istället för 0,08 m³fub.

Figure 9. Sensitivity analysis with 20 % higher and lower stem volume limit. Map 1 represents how much total cost-effective thinning volume decreases with a lower stem volume limit of 0,064 instead of 0,08 m³fub. Map 2 represents how much total cost-effective thinning volume increases with a higher stem volume limit of 0,096 instead of 0,08 m³fub.

Den här studiens gränsdragning av var medelstamsgränsen går för små skördare på 4-8 ton bestämdes genom att använda medelvärdet av alla observerade studiers resultat. Den lägsta medelstamsgränsen som kunde härledas från litteraturen låg på 0,06 m³fub. Om en medelstamsgräns på 0,06 m³fub hade analyserats hade kostnadseffektiva gallringsvolymerna för små skördare varit lägre. För att beräkna hur mycket volymerna hade sjunkit undersöktes hur stora gallringsvolymerna det finns nationellt sett som har en medelstam mellan 0,01-0,06 m³fub och där ytstrukturen inte överstiger klass 2. Resultatet av denna analys visade på att totala kostnadseffektiva gallringsvolymerna i landet sjunker till 140,4 miljoner m³sk, vilket motsvarar 12 % av landets totala gallringsvolym. I förstagallringar sjönk de kostnadseffektiva gallringsvolymerna nationellt sett till 128 miljoner m³sk, vilket motsvarar 25 % av landets totala förstagallringsvolym.

4.3 Årlig gallringsvolym för små skördare

Nationellt sett låg den årliga gallringsvolymen för små skördare på 4-8 ton på 3,34 miljoner m³sk. Paradoxalt nog ökar avverkningsnivåerna ju längre söderut i landet man kommer, trots att avverkningspotentialen både vad gäller kostnadseffektiv gallringsvolym och andel kostnadseffektiv gallringsvolym ökar norrut. Detta beror på gallringsnivåerna som statistiskt gallras i landet, vilket den här studiens årliga gallringsvolym för små skördare grundar sig på. I norra Sverige låg den statistiska årliga gallringsvolymen på 5,7 miljoner m³sk totalt. Gallring i Svealand och Götaland står för 16,9 miljoner m³sk, det vill säga nästan tre gånger så högt. Det finns ett antal möjliga förklaringar till detta. Det kan delvis bero på att boniteten är högre i södra Sverige och att skogen därmed snabbare växer till grövre dimensioner vilket bidrar till att högre volym tas ut vid gallringar. Av denna anledning kan det också vara vanligare för skogsägare i södra Sverige att gallra sina skogar, då ett högre gallringsnetto kan erhållas.

Med information om årlig gallringsvolym som små skördare kostnadseffektivt kan avverka finns det andra intressanta frågor som kan besvaras. Till exempel kan man räkna ut på ett ungefär hur många heltidsarbetande små skördare det kan röra sig om som kostnadseffektivt kan gallra denna årliga volym i landet. Vi kan anta att en liten skördare på 4-8 ton har en produktivitet i klen gallringsskog på omkring 4 m³fub/G15-timme (Gustavsson 2017). Om maskinerna i genomsnitt upprätthåller en effektiv körtid på ca 2700 G15-maskintimmar/år där körstopp och maskinflytt exkluderas (Wiklund 2019) kan små skördare gallra omkring 10 800 m³fub per år, vilket motsvarar 12 960 m³sk med 1,20 som omräkningstal (Skogssverige 2019). Vid en medelstamsgräns på 0,06 m³fub för kostnadseffektiv gallringsvolym med

små skördare kan dessa gallra ca 13 % av den årliga gallringsvolymen, motsvarande 2,61 miljoner m³sk. Med en årlig gallringsvolym på omkring 12 960 m³sk skulle små skördare årligen kunna gallra 2,61 miljoner m³sk. Detta motsvarar produktiviteten för ca 200 heltidsarbetande små skördare. Riksskogstaxeringen har beräknat en teoretisk högsta årlig gallringsvolym i landet baserat på om vi avverkar 90 % av den skogliga tillväxten i Sverige. Enligt dessa beräkningar skulle vi teoretiskt kunna gallra som mest omkring 35 miljoner m³sk år 2020 (Riksskogstaxeringen 2019). Om vi förutsätter att denna årliga gallringsvolym speglar den stående gallringsvolymen enligt den här studiens resultat vore ca 17 % av denna volym kostnadseffektivt att gallra med små skördare på 4–8 ton. Vid dessa antaganden skulle det teoretiskt årligen maximalt kunna gallras ungefär 5,95 miljoner m³sk med små skördare. Denna teoretiska maximala gallringsvolym skulle motsvara ca 460 heltidsarbetande små skördare med en produktivitet på 4 m³fub/G15-timme och 2700 effektiva maskintimmar. Små skördare kan med dessa beräkningar teoretiskt gallra omkring 2,61–5,95 miljoner m³sk i Sverige till samma eller lägre avverkningskostnad som konventionella skördare. Detta skulle motsvara arbetstakten av 200–460 små skördare.

4.4 Begränsande dagar av stort snödjup

Snödjupet begränsar framkomligheten av små skördare i Götaland i genomsnitt 1 dag per år (tabell 8). Länet med flest antal snöbegränsande dagar i genomsnitt per år i Götaland var Jönköping. I Svealand var snödjupet i genomsnitt inte begränsande i mer än 4 dagar per år. I södra Norrland kunde snödjupet i genomsnitt begränsa små skördares framkomlighet i 37 dagar per år. Antal snöbegränsande dagar per år ökade med högre latitud i landet och det var i norra Norrland som snödjupet i genomsnitt kunde begränsa flest antal dagar per år med 83 dagar (tabell 8).

Tabell 8. Antal dagar som snödjup kan begränsa framkomligheten av små skördare per år i genomsnitt fördelat på landsdelar. Data från 2010-09-01 till 2019-05-01.

Table 8. Number of days per year, on average, that snow depth can limit the advancement of small harvesters in each province of Sweden. Data from 2010-09-01 to 2019-05-01

Landsdel	Antal begränsande dagar av stort snödjup per år i genomsnitt	Län med flest antal snöbegränsande dagar per år i genomsnitt i respektive landsdel	Antal snöbegränsande dagar i län med flest snöbegränsande dagar per år i genomsnitt
Norra Norrland	83 dagar	Norrbottnen (lappland)	114 dagar
Södra Norrland	37 dagar	Västernorrland	45 dagar
Svealand	4 dagar	Dalarna	13 dagar
Götaland	1 dag	Jönköping	3 dagar

Dessa data är presenterade i medeltal över ett tidsintervall på 9 år (mellan 2010-09-01 till 2019-05-01), men det är även intressant att veta hur många dagar som snödjupet begränsade framkomligheten av de små skördarna under de mest snörika åren. Denna information kan vara betydelsefull för entreprenörer som överväger att investera i en liten skördare eftersom de därmed kan få reda på hur hårt deras verksamhet kan drabbas som mest i respektive län.

Det län i Götaland som hade flest antal begränsande dagar under ett år var Jönköping där snödjupet kunde begränsa avverkningen upp till 44 dagar på ett år. I Svealand hade Dalarna svårast snöförhållanden för små skördare och snödjupet kunde begränsa framkomligheten som mest i 86 dagar. Näst flest årliga begränsande dagar hade Uppsala med upp till 35 dagar på ett år (bilaga 1). I södra Norrland var det i Västernorrlands län där snödjupet kunde begränsa framkomlighet för små skördare i flest antal dagar, med 139 dagar på ett år. I norra Norrland kunde snödjupet i Norrbottens Lappmark begränsa framkomligheten mellan 14–150 dagar (bilaga 1). Mellan de mest snöfattiga och snörika åren hade norra Norrland mellan 0–145 begränsande dagar. I södra Norrland kunde snödjupet begränsa mellan 0–79 dagar. Svealand respektive Götaland kunde ha 0–79 respektive 0–22 snöbegränsande dagar (bilaga 1).

För varje län användes 1–3 snöstationer för att representera länets årliga antal snöbegränsade dagar för framkomlighet av små skördare. Antal snöstationer per län kunde variera på grund av storlek på länet, samt brist på tillgång av snöstationer med kvalitetssäkrade värden. För ett län så litet som Gotland användes bara en snöstation då detta ansågs tillräckligt för länets storlek. Många stationer kunde ha bristande mängd data där givaren varit avstängd eller snödjupet inte mätts av

andra skäl. Dessa stationer kunde då inte nyttjas för studien, och i många län kunde tillgången på stationer med goda mätvärden därmed vara begränsade.

Om den här studien på ett bra sätt lyckats beskriva hur många dagar länens snödjup överstiger 50 cm kan diskuteras. För att få en bättre bild av antal dagar med ett visst snödjup skulle det för ett så stort län som Norrbotten, som täcker nära en fjärdedel av Sveriges landyta, krävas många fler datapunkter. Av praktiska skäl fanns det dock inte tillräckligt med tid eller resurser för att i den här studien analysera fler datapunkter per län.

I jämförelse med andra studier som undersökt snödjup finns en trend med högre snödjup längre norrut, något som inte är helt oväntat. Larsson (2004) studerade snödjup för att undersöka om effekten av klimatförändringar kunde märkas i förändringar av snödjup i Sverige. Denna studie visar också att även län i Götaland riskerar vintrar med tillräckligt höga snödjup för att små skördares framkomlighet kan begränsas, dock är dessa vintrar ovanliga. I Larssons studie (2004) var medelvärdet av högsta snödjup det snörrikaste året i Götaland 53 cm, men i genomsnitt för alla år i landsdelen låg det årliga högsta snödjupet på 24 cm. Larssons studie nyttjade 41 stationer i hela landet för att beräkna snödjupsstatistik medan den här studien använde 44 stationer totalt.

4.5 Styrkor, Svagheter och avgränsningar

Styrkor

Studien grundar mycket av sitt resultat på 10 års inventeringsdata från Riksskogstaxeringen för att ge en heltäckande bild av landets gallringsskogar. Provträdstätheten påverkar hur väl provträdsdata kan spegla skogens struktur i verkligheten och är därför avgörande för studiens trovärdighet. I genomsnitt ligger tätheten för provträden som använts i studien runt 0,73 träd/km², men var lägst i norra Sverige där Norrbotten endast hade 0,39 träd/km² (tabell 4). De norra skogarna är dock mer homogena än skogarna i södra Sverige och kan därför anses kräva en lägre täthet av provträd för att spegla verkligheten. Enligt riksskogstaxeringen beräknas uppgifter normalt som medelvärden över 5 års inventeringar för att kunna skatta hela landets virkesförråd med ett medelfel på ca 1 % (Riksskogstaxeringen 2020). Denna studies 10 års inventeringsdata kan därför anses ge en god säkerhet i data-materialet.

Svagheter

Beräkningen av årlig gallringsvolym baserades på hur mycket volym som enligt statistik från Riksskogsskogstaxeringen (2019) mellan 2007–2017 årligen avverkas och hur stor andel av Sveriges stående gallringsskogar som har förutsättningar för kostnadseffektiv gallring med små skördare. För att denna siffra ska vara sann måste andelen stående gallringsskog med goda förutsättningar för kostnadseffektiv gallring med små skördare motsvara andel årlig avverkad gallringsskog med dessa förutsättningar.

Trovärdigheten av denna studies resultat av hur många dagar som högt snödjup kan begränsa framkomligheten för små skördare påverkas huvudsakligen av två faktorer: tätheten av mätstationer som studien inhämtat sitt data från, samt hur många års mätningar som beräkningarna grundar sig på. Med 44 mätstationer och snödata från ett 9 års intervall är det svårt att motivera att denna studie med god säkerhet kan avgöra exakt hur många dagar som högt snödjup kan begränsa framkomligheten av små skördare årligen. Däremot kan den här studiens resultat bekräfta att snödjupet kan begränsa framkomligheten av små skördare i samtliga av Sveriges landsdelar. Resultatet kan även ge en antydning till ungefär hur många dagar som snödjupet kan begränsa små skördares framkomlighet i respektive län.

Det är väldigt viktigt att notera att de kostnadseffektiva gallringsvolymerna som presenteras i denna studie endast representerar gallringsvolymerna där små skördare enligt litteraturen har förutsättningar att nå lika eller lägre avverkningskostnad än konventionella skördare. Henningssons (2016) studie utfördes i en sådan gallringsskog där medelstammen inte överskred 0,096 och där ytstrukturen inte var högre än klass 2. Trots detta var den lilla skördaren i denna studie 11 kr/m³ dyrare än den konventionella skördaren. Kostnadseffektiv gallringsvolym innebär alltså endast att det finns *förutsättningar* för lika eller lägre avverkningskostnad med små skördare. Det betyder alltså *inte* att små skördare alltid uppnår lägre avverkningskostnad i verkligheten.

Avgränsningar

Detta arbete inriktade sig endast på den lilla skördarens potential att användas kostnadseffektivt i Sveriges gallringsskogar. Därvid tar arbetet inte hänsyn till det lilla maskinsystemets potential där även skotaren arbete beaktas. När gallring utförs med en liten skördare bör skotningen också utföras av en mindre skotare, eftersom en större skotare har svårt att ta sig fram på de smala stickvägar som en mindre skördare hugger. Av det lilla maskinsystemets totala drivningskostnader står skotaren för ca 30 % (Gustavsson 2017). Små skotare är ca 60 % dyrare än

konventionella skotare och deras produktivitet påverkas mer av terrängtransportavstånd än konventionella skotare till följd av deras lägre lastkapacitet (Gustavsson 2017). Det är därför svårt att argumentera för att den lilla skotaren kan vara konkurrenskraftig ur ett kostnadsperspektiv gentemot en konventionell skotare. Det kan dock konstateras att skotningsavståndet bör vara kort, helst inte mycket längre än 200 meter för att kostnadsskillnaderna mellan maskinsystemen inte ska bli väldigt stora. Enligt skogskunskap (2016) är 37 % av landets avverkade skogsmark inom 0–200 meter från skogsbilväg, vilket borde försvåra möjligheten att finna trakter där små maskinsystem är kostnadseffektiva. Detta kan i sin tur leda till längre flyttavstånd vid ruttplanering av små maskinsystem.

Den här studien tar heller inte hänsyn till regionala aspekter angående kostnadseffektiva volymers belägenhet utöver länsindelningen. Ett län kan alltså teoretiskt sett ha höga kostnadseffektiva volymer och volymsandelar för små skördare, men dessa kan vara spridda geografiskt vilket skulle kräva långa maskinflyttar. Kärhä et al. (2004) diskuterade i sin studie att även om små skördare är kostnadseffektiva maskiner så är lönsamheten oftast sämre för entreprenörer som gallrar med mindre skogsmaskiner. De argument som framförs är att det är svårare att upprätthålla en hög utnyttjandegrad med mindre maskiner, troligtvis på grund av längre maskinflyttar samt att kunskapen och erfarenheten av att arbeta med små maskinsystem oftast är låg. Det framgår dock också att det finns en trend att just gallringsentreprenörer har en lägre lönsamhet då gallring är ett mindre lönsamt område att arbeta inom än slutavverkning. Trots detta kan det nog vara säkert att anta att det blir svårare att planera en effektiv drivning för små maskinsystem. Dessa maskinsystem kräver en särskild nisch för att vara konkurrenskraftiga gentemot konventionella maskinsystem och är därmed mindre flexibla. Utmaningen försvåras ytterligare om man beaktar att skogsföretag endast har tillgång till en viss marknadsandel av den stående gallringsvolymen, något som inte heller har beaktats i den här studien.

Med sina mindre aggregat påverkas produktiviteten hos små skördare mer av grovkvistiga och svårhanterliga träd än konventionella skördare. Dessa träd kan negativt påverka deras produktivitet och sänka medelstamsgränsen när de tappar erforderlig produktivitet för att vara kostnadseffektiva alternativ gentemot konventionella skördare (Brunberg 2000). I svåra grundförhållanden borde dock små skördares produktivitet påverkas mindre gentemot konventionella skördares, eftersom de inte löper samma risk att köra fast vid spårbildning i fuktiga och finkorniga marker. Små skördares svårighet att hantera grovkvistiga träd eller deras övertag i svåra grundförhållanden har inte beaktats i den här studien.

En sista avgränsning är att studien inte tar hänsyn till om gallringsvolymen är tillgänglig med skogsbilvägar. Enligt statistik från SCB (2013) finns 85 % av Sveriges skogsmark inom 1000 meter från skogsbilväg. Det kan alltså resoneras att det kan finnas gallringsvolym i studiens resultat som inte är tillgängliga utan att nybyggnation av skogsbilvägar krävs.

Med dessa avgränsningar ger resultatet inte en indikation på hur stora gallringsvolym som kan gallras kostnadseffektivt med små maskinsystem. Resultatet visar dock hur stora delar av Sveriges stående gallringsvolym som har fördelaktiga förhållanden som möjliggör en kostnadseffektiv användning av små skördare när terrängförhållanden och medelstammens grovlek beaktas. Den årliga avverkningsvolymen bör ses som en teoretisk maximal nivå som kan gallras med små skördare, inte små maskinsystem. I tabellen nedan (tabell 9) redovisas faktorer som kan påverka små skördares arbete som inte tagits hänsyn till i denna studie.

Tabell 9. Faktorer som kan påverka möjligheter för små skördare att uppnå en lika eller lägre avverkningskostnad som konventionella skördare som inte beaktades i resultatet för denna studie.

Table 9. Aspects that can affect small circumstances for small harvesters to achieve harvesting costs that are equal to, or lower than conventional harvesters that have not been taken account of in the results of this study.

Påverkande faktor	Förväntad effekt på gallringsvolym som kan kostnadseffektivt gallras med små skördare
Hänsyn till svår lutning	Negativ
Hänsyn till tillgänglighet med skogsbilväg	Negativ
Billigare flyttkostnader vid samma avstånd som konventionella skördare	Positiv
Dyrare flyttkostnader till följd av lägre flexibilitet och längre flyttavstånd för små skördare	Negativ
Grovkvistiga träd	Negativ
Svåra grundförhållanden	Positiv

4.6 Praktisk implementering

Vid undersökning av maskinparksutökning/reformering för skogsbolag kan resultatet i denna studie nyttjas som stöd vid värdering av avverkningspotential hos mindre skördare i respektive verksamhetsområde.

Resultatet kan även vara intressant för entreprenörer som överväger att investera i små skördare. Även maskintillverkare för mindre skogsmaskiner kan finna resultatet intressant vid undersökning av efterfrågan och försäljningspotential av små skördare i Sverige.

4.7 Fortsatt forskning inom området

Den mindre skotarens potential kan vara intressant att undersöka genom att identifiera optimala skotningsavstånd och terrängförhållanden för en kostnadseffektiv användning. Som ovan nämnt står skotaren för den större delen av lönsamhetsförlusten för de mindre maskinsystemen, jämfört med konventionella maskinsystem. Att identifiera var i landet som kostnadsskillnaderna kan vara minst, och hur mycket gallringsvolym det kan handla om hade dock varit en intressant fråga att undersöka.

En annan frågeställning som vore intressant att besvara vore hur mycket längre flyttavstånd som kan krävas för att använda små skördare i bestånd med förutsättningar som gör dem kostnadseffektiva, och hur flyttavstånden kan påverka lönsamheten.

4.8 Slutsatser

Slutsatserna av den här studien berör endast potentialen för små skördare på 4–8 ton att uppnå lägre avverkningskostnader än konventionella skördare och beaktar *inte* total avverkningskostnad med skotning inkluderat.

- 79 % av Sveriges gallringsskogar har en gynnsam ytstruktur (ytstrukturklass ≤ 2) för små skördare.
- Av Sveriges totala gallringsvolym har 140,4–230,7 miljoner m³sk förutsättningar som kan möjliggöra en lika eller lägre avverkningskostnad för små skördare än konventionella skördare med en medelstam på maximalt 0,060–0,096 m³fub och en ytstrukturklass på max 2. Detta motsvarar 12–20 % av Sveriges totala gallringsvolym. 128,0–202,2 miljoner m³sk av dessa volymer består av förstagallringar, vilket motsvarar 25–39 % av landets förstagallringar.
- Årligen kan små skördare teoretiskt sett avverka 2,61–5,95 miljoner m³sk total gallringsvolym med förutsättningar till en lika eller lägre avverkningskostnad än konventionella gallringsskördare vid beaktning av medelstammens grovlek och beståndets ytstruktur. Detta skulle motsvara avverkningstakten av ca 200–460 heltidsarbetande små skördare på 4–8 ton.
- Högt snödjup kan begränsa framkomligheten för små skördare i alla Sveriges landsdelar. Antal dagar som snödjupet begränsar framkomligheten av små skördare ökar med högre latitud i landet.

Referenslista

- Ager, B. (2017). *Nedslag i skogsbrukets teknikhistoria del 1. skotarens tillkomst, del 2. gripskördarens tillkomst, del 3. aktörer, beteenden och förlopp i den skogstekniska utvecklingen*. Umeå: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet (Rapport 2017:11)
- Agestam, E. (2015). *Skogsskötselserien nr 7, Gallring*. Jönköping: Skogsstyrelsen
- Back, S. (2000). *Från yxa till skördare: En berättelse om skogens arbetare och dess förbund*. Stockholm: Skogs- och träfacket.
- Berg, S. (1995). *Terrängtypschema för skogsarbeten*. Forskningsstiftelsen skogsarbeten. Uppsala: Skogforsk
- Björheden, R., Gustavsson, H., Henriksen, F., Lundström, H. & Olsson, A. (2018). *Utvärdering av maskinsystemet MALWA för tidig gallring*. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 2018:972).
- Brunberg, T. (2000). *Engreppsskördare i gallring*. Uppsala: Skogforsk, (Arbetsrapport 2000:464)
- Bucht, S. (1981). *Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Dahlin, A. (2008). *Produktivitet och kvalitet vid stickvägs- respektive beståndsgående förstagallring*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institution för skoglig resurshushållning och geomatik. (Rapport 2008:216)
- Edlund, L. (2015). *Uttagsnivån i förstagallring och dess inverkan på framtida tillväxt och avkastningspotential i talldominerade bestånd en jämförelse mellan beståndsgående- och stickväsgående maskiner*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (Rapport 2015:4)
- Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 25 (3), ss. 179–200. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- Fernandez-Lacruz, R., Di Fulvio, F., Athanassiadis, D., Bergström, D. & Nordfjell, T. (2015). Distribution, characteristics and potential of biomass-dense thinning forests in Sweden. *Silva Fennica*, vol. 49 (5), ss. 1–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1377>
- Fransson, A. (2008). *Vindskador vid stickväg i 1:a och 2:a gallring i Boxholm, Östergötland i stormen Pers fotspår*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap (Rapport 2008:108)
- Grönesjö, R. (2016). *Viktiga faktorer för skogsägare vid gallring*. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarskolan (Rapport 2016:28)

- Gustavsson, H. (2017). *Tidsstudie och kvalitetsuppföljning vid jämförelse av små och konventionella skördare och skotare i förstagallring*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för biomaterial och teknologi (Rapport 2017:5)
- Hamilton, C.-F. (2011). *Hur kan man öka gallringen hos privata skogsägare? En kvalitativ intervjustudie*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens produkter (Rapport 2011:65)
- Hugosson, M., & Ingemarsson, F. (2004). Objectives and Motivations of Smallscale forest owners; Theoretical Modelling and Qualitative Assessment. *Silva Fennica*, vol. 38 (2) ss.217–231. DOI: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.430>
- Jonsson, M. (2014). *En jämförelse avseende beståndsgående-och stickvägsgående gallringsmaskiner*. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarskolan (Rapport 2014:25)
- Kalēja, S., Muižnieks, E. & Petaja, G. (2017). Efficiency of VIMEK 610.2 forwarder and its impact on soil in forest thinning. *Proceedings of the 8th international scientific conference*, vol. 24, ss. 740-745. DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2017.176>
- Karlsson, J. (2013). *Modellering av diametern hos tall (Pinus sylvestris) som en effekt av beståndstäthet och biomekanik*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens ekologi och skötsel (Rapport 2013:10)
- Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S.-I. (2004). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 15 (2), ss. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702496>
- Larsson, M. (2004). *Can effects from global warming be seen in Swedish snow statistics?* Uppsalas universitet. Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära (Rapport 2004:90)
- Malwa (2017). *Produktblad Malwa 560H*. [Broschyr]. Skene: Malwa Forest AB. Tillgänglig: <https://www.malwa.se/images/pdf/Malwa-560H-skordare-produktblad.pdf> [2020-04-01]
- Myhrman, D., Berg, S., Granlund, P. & Karlsson, L. (1993). *Terrängmaskinen del 1. 4*. Uppl. Uppsala: Skogforsk
- Nordansjö, I. (1992). *Från stocksåg till skördare: Skogsavverkningens mekanisering*. Stockholm: Stockholms tekniska museum. ss. 140–155
- Nordfjell, T., Björheden, R., Thor, M. & Wästerlund, I. (2010). Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 25 (4), ss. 382-389 DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.498385>
- Persson, D. (2016). *Engreppsskördarens tekniska utveckling*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (Rapport 2016:7)

- Pettersson, F. (1996). *Effekter av olika röjnings- och gallringsåtgärder på beståndsutvecklingen i tall- och granskog: Effects of different cleaning and thinning measures on stands of Scots pine and Norway spruce*. Uppsala: Skogforsk. (Rapportserie 1996:5)
- Riksskogstaxeringen (2018). *Skogsdata 2018*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning
- Riksskogstaxeringen (2020) *Skogsdata 2020*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning
- Riksskogstaxeringen & markinventeringen (2017). *Fältinstruktion 2017*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning
- Rönnerberg, J., Berglund, M., Norman, J. & Stureson, C. (2011). *Rotröta: om rotröta i allmänhet och rotticka på gran i synnerhet*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur. (ISBN 9789144071961)
- Sassi, T. (2006). Effect of Edge Trees on Harvester Positioning in Thinning. *Forest Science*. vol. 52 (6), ss. 659–669
- SCB (2013). *Markanvändningen i Sverige, Sjätte upplagan*. Örebro: Sveriges officiella statistik.
- Scherman, S. (1991). Beståndsgående skördare även i norra Sverige. I: Frumerie, G. (red), *Forskningsstiftelsen skogsarbeten, Resultat nr 22*. Kista: Sveriges lantbruksuniversitet
- Segebaden, G. von (1975). *Riksskogstaxeringens terrängklassificering åren 1970-1972: Terrain classification carried out by the National Forest Survey 1970-1972*. Stockholm: Skogshögskolan. Institutionen för skogstaxering
- Sirén M & Aaltio H. (2013). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters and Harvester-Forwarders. *International Journal of Forest Engineering*, vol.14 (1), ss39-48
DOI: 10.1080/14942119.2003.10702468
- Skogskunskap (2016). *Siffror om vägar*. Tillgänglig: <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/om-skogsbilvagar/skogsbilvagar-och-andra-enskilda-vagar/siffror-om-vagar/> [2020-03-25]
- Skogssverige, (2019). *Omvandlare* [Online] Tillgänglig: <http://www.skogssverige.se/omvandlare> [2019-10-29]
- Skogsstyrelsen (2019). *Effekter av klimatförändringarna*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skog-och-klimat/effekter-av-klimatforandringarna/> [2020-03-25]
- Skyllberg, U. (2003). Kviksilver och metylkvicksilver i mark och vatten – bindning till humus avgörande för miljörisk. *Fakta skog*, nr 11, 2003
- Sundström, L. (2019). *Privata skogsägares preferenser och betalningsvilja vid val av maskinstorlek i gallring*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (Rapport 2019:5)

- Sängstuvall L., Bergström D., Lämås T. & Nordfjell T. (2012). Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. *Scandinavian journal of forest research*, vol.27 (1), ss 56–73. DOI: 10.1080/02827581.2011.628335
- Thelin, A. (1990). *Beståndsgående gallringsskördare - alternativ och komplement i gallring*. Rationaliseringskonferens 1990. Kista: Forskningsstiftelsen skogsarbeten, ss 109-112.
- Valinger, E. (1992). Effects of Thinning and Nitrogen Fertilization on Stem Growth and Stem Form of Pinus Sylvestris Trees. *Scandinavian journal of forest research*, vol 7. Ss. 219-228
- Vestling, B. (2012). *Kostnadspåverkande faktorer för skördare en analys av uppföljningsdata hos Stora Enso Skog*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik (Rapport 2012:384)
- Vimek (2019). *Produktblad Vimek 404 SE*. [Broschyr] Vindeln: Vimek AB. Tillgänglig: <https://www.vimek.com/downloads/brochures/Vimek-harvester-404SE-sv.pdf> [2020-04-01]
- Wiklund, H. (2019). *Effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet på skördarens effektivitet i förstagallring*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (Rapport 2019:3)
- Zimelis, A., Kaleja, S. & Luguza, S. (2018). Factors affecting productivity of machine logging in thinning using small size forest machines. *Research for Rural Development*. Vol. 1, ss. 47-52. Doi:10.22616/rrd.24.2018.007
- Åström, H. (2011). *Förbättring av arbetsförhållande i skördare*. KTH. Institutionen för maskinkonstruktion (Rapport 2011:28)
- Öberg, D. (2016). *En jämförande studie mellan stickvägsgående och beståndsgående skördare och skotare*. Linnéuniversitetet. Institutionen för skog och träteknik (Rapport 206:31)

Acknowledgements

Denna studie har möjliggjorts tack vare Skogsdatalabbet på SLU som stått för sammanställningen av Riksskogstaxeringsdata. Utan dessa data vore undersökningen omöjlig att utföra.

Bilaga 1

Bilaga 1 – Min- och maxvärden för begränsande dagar av stort snödjup per år. Data från 2010-09-01 till 2019-05-01

Län	Minimalt antal snöbegränsade dagar observerade från mätstation i länet	Maximalt antal snöbegränsade dagar observerade från mätstation i länet	Genomsnittet för antal snöbegränsade dagar per år för samtliga stationer i länet
Norrbottnen (lappmark)	14	150	114
Norrbottnen (kust)	22	149	87
Västerbottnen (lappmark)	19	112	122
Västerbottnen (kust)	0	118	55
Jämtland	0	111	30
Västernorrland	0	139	45
Gävleborg	0	110	34
Dalarna	0	86	13
Uppsala	0	41	4
Västmanland	0	0	0
Stockholm	0	0	0
Värmland	0	51	5
Örebro	0	29	2
Södermanland	0	22	1
Östergötland	0	3	0
Västra Götaland	0	6	0
Jönköping	0	44	3
Gotland	0	1	0
Kalmar	0	5	1
Kronoberg	0	3	0
Halland	0	0	0
Blekinge	0	22	2
Skåne	0	0	0