



Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelse av drivningskostnader

Simulation of thinning with zero, one or two intermediate passages between the strip roads and comparison of logging costs



Bild: © Komatsu Forest

Rikard Jonsson

Nyckelord: Metod, modell, slingerstråk, produktivitet, skördare, skotare

Arbetsrapport 416 2014
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Ola Lindroos

Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelse av drivningskostnader

Simulation of thinning with zero, one or two intermediate passages between the strip roads and comparison of logging costs

Rikard Jonsson

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
EX0707, A2E
Handledare: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi
Extern handledare: Mattias Eriksson, SCA Skog AB
Examinator: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet SLU
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2014

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-416-SE

Förord

Detta examensarbete har omfattat 20 veckors heltidsarbete och resultatet i denna rapport har inte varit möjligt utan mina handledare, Ola Lindroos vid SLU och Mattias Eriksson vid SCA. De har båda gett ovärderlig hjälp, även under obekväma tider. Vidare riktas ett stort tack till tjänstemän vid SCA, maskinförare och instruktörer arbetande för SCA som tålmodigt svarat på frågor och visat körteknik. Ni är för många för att alla nämnas här!

Sammanfattning

Vid gallring med normalstora skördare och skotare används vanligtvis noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna. Arbetsmetodiken har studerats empiriskt, men med en begränsad omfattning per studie. Fördelen med simulering som studiemetod är att man med bra modeller över maskiners prestation kan jämföra flera gallringsmetoder vid inverkan av en stor mängd olika förhållanden. I denna studie har en matematisk prestationsmodell konstruerats för deterministiska jämförelser av dessa metoders drivningskostnad i förstagallring av tall. Modellen innehöll en spatial del för skördaren, med bl.a. avståndsberäkningar vid fällning, och även en tidsmodell för både skördare och skotare. Beräkningarna baserades på variabler som medelstamsvolym, stickvägsavstånd, skotningsavstånd och stamuttag. Modellen byggdes utifrån tillgängliga produktivetsnormer, egna tidsstudier och iakttagelser vid fältstudier.

Resultaten visade små skillnader i total drivningskostnad mellan metoderna men större skillnad mellan enskilda maskiner. Gallring med ett beståndsstråk gav lägst kostnader, efterföljt av gallring utan stråk. Med ökad medelstamsvolym minskade kostnaderna för både skördare och skotare, men påverkan skiljde sig inte mellan metoderna. Ökat stickvägsavstånd resulterade i högre produktivitet för skotaren oavsett metod, då det gjorde att virkeskoncentrationen vid stickväg ökade och färre krancykler krävdes för att fylla lastbäraren. Skördarens produktivitet minskade dock med större stickvägsavstånd då det krävde längre förflyttning av avverkade stammar. Detta visar på en viktig balansgång mellan skördaren och skotaren, där ett större stickvägsavstånd kan åstadkommas med hjälp av beståndsstråk för att gynna skotaren. En ökad kostnad för skördaren vid gallring med stråk kan kompenseras med en sänkt kostnad för skotaren. Studien visar att gallring med ett beståndsstråk ger lägst drivningskostnad men att stickvägsavståndet är en viktig variabel att styra för att åstadkomma detta.

Summary

Zero, one or two intermediate passages between the strip roads are normally used for thinning operations. The work methods have been empirically studied, but with rather large restrictions in each study. The advantage with simulation as study method is that machine productivity can be compared under controlled impact from a great number of variables. In this study, a mathematical performance model was designed to do deterministic comparisons of the methods in first thinning of pine. A spatial part was designed for the harvester for e.g. distance calculation while felling. A work time calculation part was also constructed for both the harvester and the forwarder. Mean stem volume, strip road distance, transport distance and stem removal are examples of variables in the model, which was built from available productivity standards, own time studies and field observations.

The results showed small difference in machine system costs but with greater variation between individual machines. A slight cost benefit was observed for thinning with one intermediate passage followed by thinning without intermediate passages. Average volume per stem had a substantial impact on the cost of all machines, but showed no clear difference between the methods. Strip road distance had a substantial impact on forwarder productivity. Forwarder had higher productivity when the strip road distance was increased (regardless of method) since it increased the wood concentration at strip road and hence fewer crane cycles was required to fill a load. The opposite was observed for the harvester, which decreased its productivity with longer strip road distance as it required longer crane movement of felled stems. An increased cost of the harvester work was often compensated by lower cost for the forwarder work. This demonstrates an important balance between the harvester and forwarder, where a longer strip road distance can be achieved by using intermediate passages to favor the forwarders work efficiency. An increased cost for the harvester in thinning with intermediate passages can be compensated with a decreased cost for the forwarder. The study showed that thinning with one intermediate passage is the cheapest method but that strip road distance is an important variable to control.

Keywords: Method, model, ghost trail, productivity, harvester, forwarder

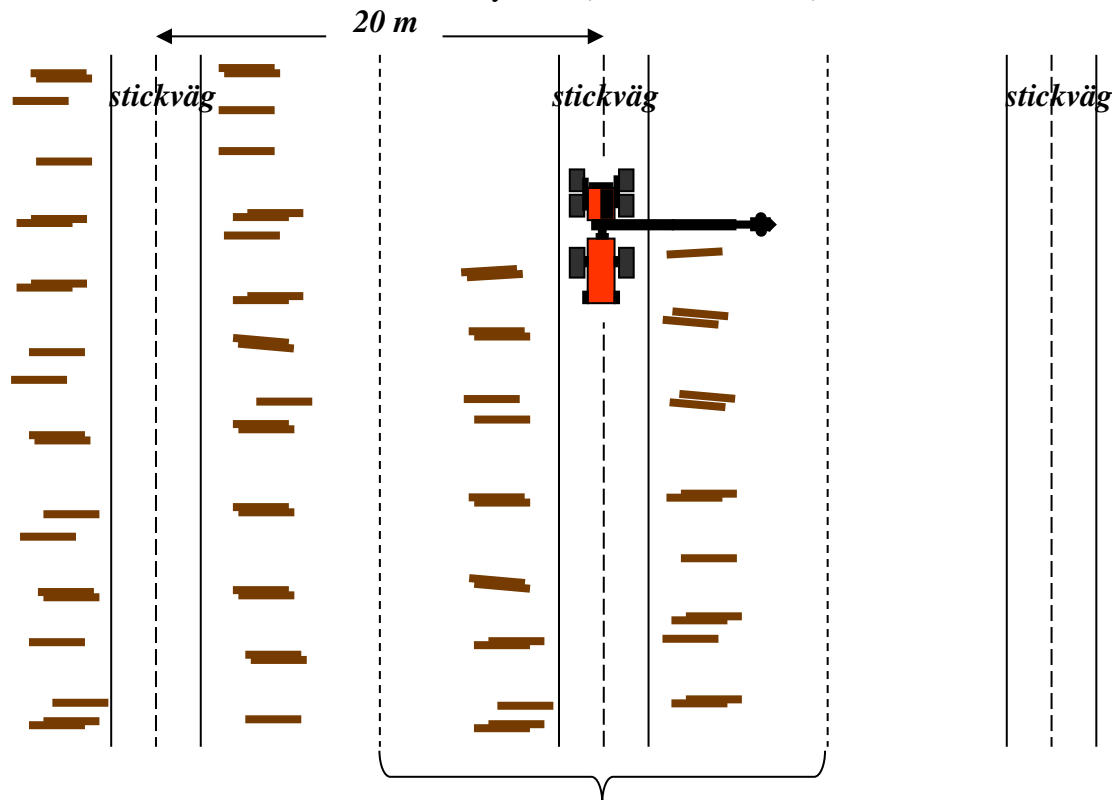
Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	5
1.1	<i>Syfte</i>	13
2	Material och metod.....	14
2.1	<i>Fältbesök</i>	15
2.2	<i>Intervjuer</i>	16
2.2.1	Lagvisa observationer och kommentarer.....	16
2.2.2	Generella observationer och kommentarer från lagen.....	17
2.3	<i>Spatial modell av bestånden</i>	17
2.3.1	Generell beskrivning av rutnät	17
2.4	<i>Tidsmodell</i>	26
2.4.1	Tidsmodell skördare	26
2.4.2	Skördarmoment nivå 1	27
2.4.3	Skördarmoment nivå 2	29
2.4.4	Tidsmodell skotare	30
2.4.5	Skotarmoment nivå 1.....	31
2.4.6	Skotarmoment nivå 2.....	32
3	Resultat.....	37
3.1	<i>Produktivitet</i>	37
3.2	<i>Kostnader</i>	38
3.2.1	Enskilda maskiner	38
3.2.2	Skördare och skotare sammanslaget.....	41
3.3	<i>Känslighetsanalyser</i>	44
3.3.1	Skördare och skotare sammanslaget.....	44
3.3.2	Övriga jämförelser.....	48
4	Diskussion	49
4.1	<i>Slutsatser</i>	52

1 Introduktion

Gallring är en beståndsvårdande åtgärd där träd avverkas för att höja tillväxten och kvaliteten hos kvarvarande stammar, genom tillvaratagande av gagnvirke (Agestam, 2009). I modernt svenskt skogsbruk gallras skogen minst en gång per omloppstid. Konventionell gallring görs med skördare och skotare och brukar utföras på tre olika sätt; från stickväg utan beståndsstråk, med *ett* beståndsstråk eller med *två* beståndsstråk, beroende på bland annat sikt och medelstamsvolym.

Vid stickvägsgående gallring *utan* beståndsstråk (ren stickvägsgallring) skapas ett stickvägsavstånd på runt 20 meter. Skördaren kör i förstagallringen upp stickvägarna och lägger avståndet så att träd som inte nås från stickvägen där maskinen befinner sig istället nås från nästa stickväg. Grovt förenklat blir stickvägsavståndet knappt två kranlängder varför maskinens räckvidd har stor betydelse (Håkansson, 2000).



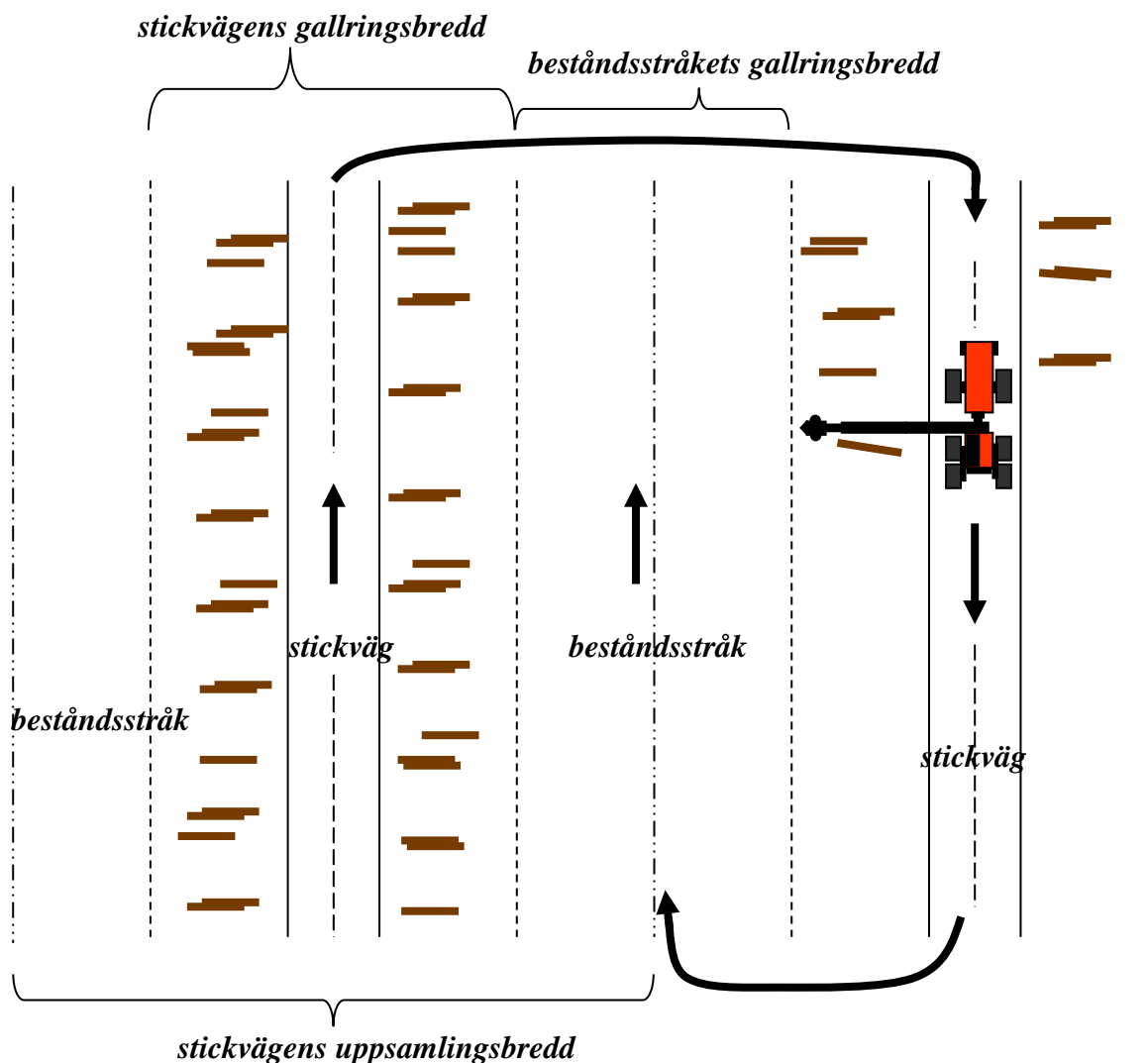
stickvägens gallringsbredd och uppsamlingsbredd

Figur 1. Gallring med stickväg (benämnt som metod 0). Helt dragen linje anger stickvägens gräns, streckad linje med långa streck anger stickvägsnitt och streckad linje med korta streck anger yttergräns för slagbredden (genomsnittlig arbetsbredd). Skördaren i bilden avverkar trädstammar som står inom slagbredden som skördaren står mellan (gäller även figur 2, 3 och 4). Vid stickvägsgallring är slagbreddens gräns generellt vid mittpunkten mellan stickvägarna. Stickvägens gallringsbredd är samma som uppsamlingsbredd vid metod 0.

Figure 1. Thinning with strip road (referred to as method 0). Solid lines represent the strip road, long dash lines represent the middle of the strip road, and lines with short dashes show the edge of the crane's working area. In the figure the harvester cuts trees between the short dash lines (the same for figure 2, 3 and 4). When thinning with strip roads, without intermediate passages, the crane's working area is generally halfway between the strip roads. The harvester's working area is the same as the wood aggregate width when using method 0.

Vid gallring med *ett* beståndsstråk ökas stickvägsavståndet; skördaren gör då ett beståndsstråk mellan stickvägarna och lägger virket mot båda stickvägarna och virkeskoncentrationen ökar. Beståndsstråk (även kallat slingerväg) nyttjas endast av skördaren och kan därför göras smalare och krokigare än stickvägen, som måste ha en viss bredd (ca fyra meter eller strax däröver) och låg kurvatur för att passa skotningsarbetet. För smala och krokiga stickvägar ökar risken för skador på kvarvarande träd vid skotningen. Skotarens produktivitet blir högre med stråk medan skördarens blir likvärdig eller sämre (Dahlin, 2008. Bergkvist, 2009). Med ökat avstånd mellan stickvägarna kan det selektiva urvalet förbättras, ett sådant förfarande kräver dock god sikt. Detta gör att gallring enbart från stickväg kan tillämpas i hela Sverige, medan beståndsstråk används mer i norra Sverige i skogar med talldominans (Bergkvist och Lundström, 2010).

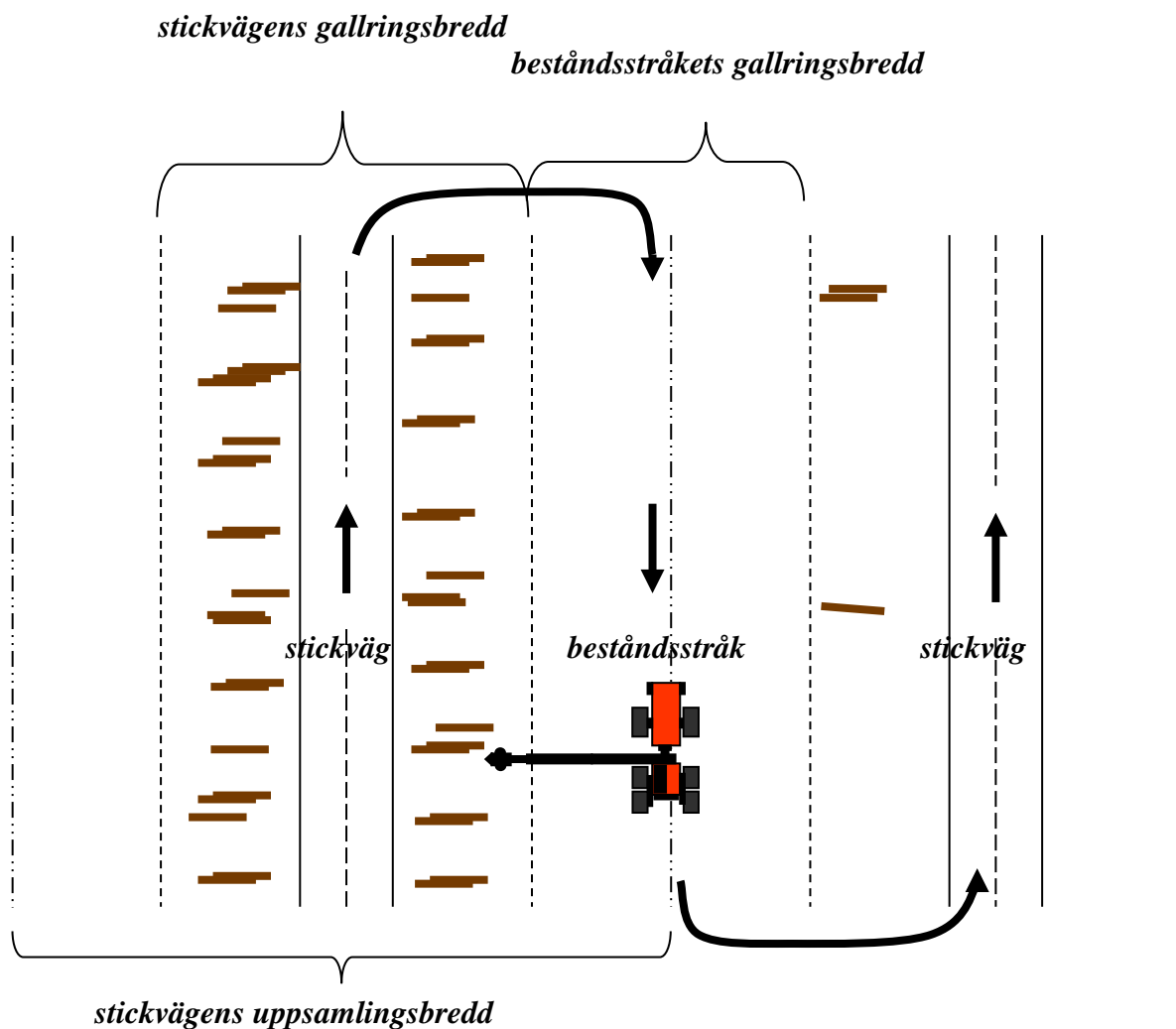
Vid skötseln av SCA Skog AB:s skogsinnehav är gallring med ett beståndsstråk mellan stickvägarna praxis. Stickvägar huggs enligt instruktion upp före beståndsstråk (figur 2) (Österberg 2012, pers. komm.). Härigenom får skördaren goda möjligheter att slingra i stråket och hela tiden lägga avverkade stammar mot den närmsta stickvägen.



Figur 2. Gallring med ett beståndsstråk, metod 1. Stickvägar körs upp först och när detta är klart körs beståndsstråken mellan de färdiga stickvägarna. Att köra vägarna i denna ordning benämns strukturval "1", alternativt metod 1.1. I avsnitt 3.3 benämns metoden som metod 1. När träd avverkas från beståndsstråket upparbetas de mot stickvägen i samma högar som skapats från stickvägen. Vid långa stickvägsavstånd kan en ny rad med virkeshögar läggas mellan beståndsstråket och virkeshögarna som ses i figur. Vid gallring med metod 1 är uppsamlingsbreddens gräns generellt vid beståndsstråken. Beståndsstråken ligger ungefär mellan stickvägarna.

Figure 2. Thinning with one intermediate passage, method 1. The strip roads are opened in the first step and the intermediate passages is then driven with completed strip roads at both sides. Opening of the roads in this order is referred to as choice of structure "1" alternatively method 1.1. The method with choice of structure "1" is referred only as method 1 in part 3.3. When the harvester stands in the intermediate passage it processes the trees onto the same piles as have been used from the strip road. A new line with piles can be made especially if the distance between the strip roads is wider. Then the new piles will be on the inside of the piles as seen from the strip road. The wood aggregate width is generally the same as the distance between the intermediate passages when thinning with method 1. The intermediate passages are approximately halfway between the strip roads.

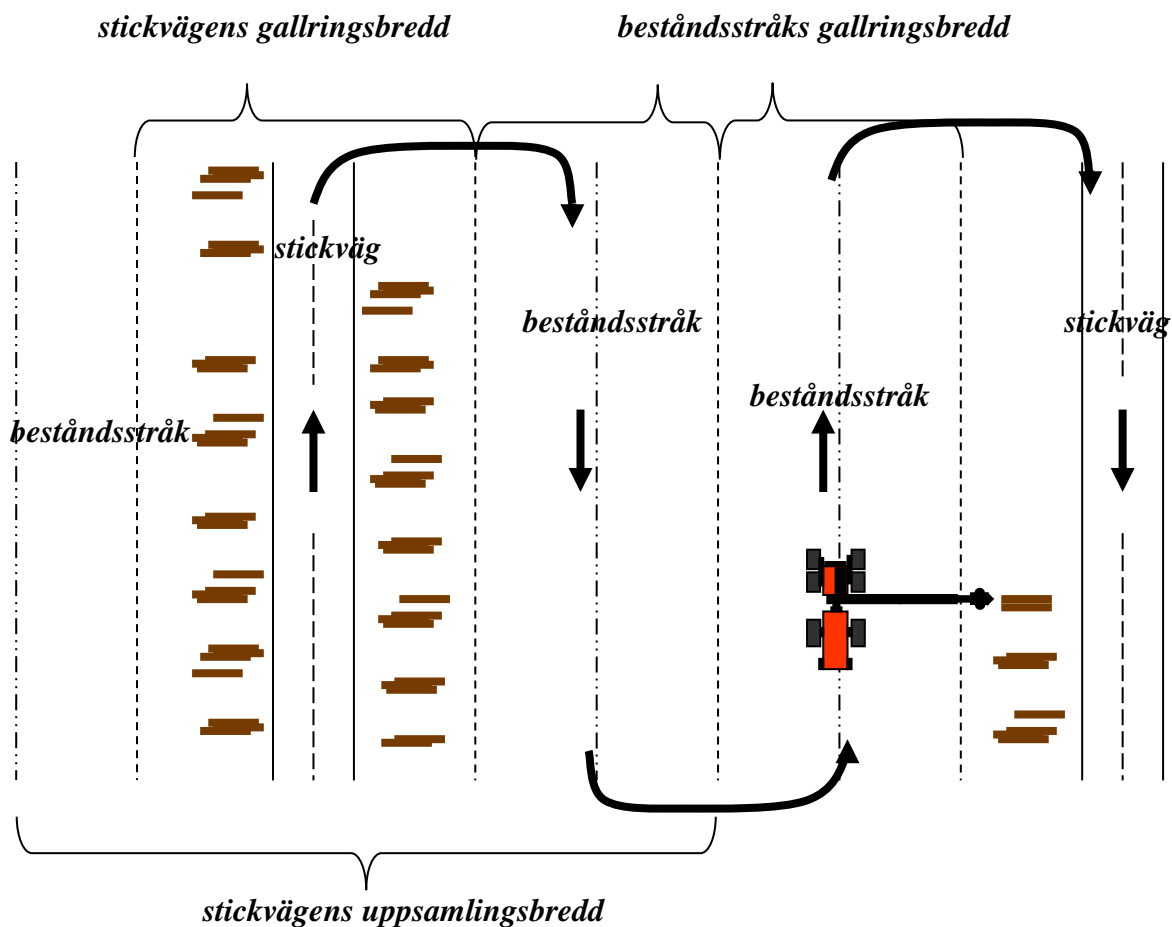
För samma metod kan även vägarna köras upp i ”geografisk” ordning (figur 3). När stråk körs, innan det finns stickvägar på båda sidorna, brukar de flesta stråkavverkade stammarna läggas mot den färdiga stickvägen, alltså i princip ensidig upparbetning. Detta kräver mer flytt av avverkade stammar och även mer kranrörelse med tomt aggregat. Vid fällning blir tidsökningen inte så dramatisk då fällningen påskyndas av den längre flytten av rotänden. Om kranen då flyttas snabbare kan produktiviteten fortfarande hållas relativt hög. Med ”geografiska” ordningen blir aggregatförflyttningarna lika de vid arbete med två beståndsstråk, med skillnaden att stammar vid gallring med tvåstråksmetoden måste förflyttas åt ena hållet.



Figur 3. Gallring med ett beståndsstråk med strukturval "2", benämnt som metod 1.2. Vägarna körs i geografisk följd oavsett vägtyp. I figuren ses hur skördaren sträcker sig utanför sin slagbredd (förbi den kortstreckade linjen) för att upparbeta avverkad trädstam över virkeshög från stickvägen. Gallring med ett beståndsstråk, oavsett strukturval, benämns metod 1.0.

Figure 3. Thinning with one passage with choice of structure "2", referred to as method 1.2. The roads are opened in a geographical order regardless of road type. The harvester in the figure reaches out of the working zone (past the short dashed line) to process the felled trees in the pile from the strip road. Thinning with one passage, regardless of choice of structure, is referred to as method 1.0.

Vid gallring med två beståndsstråk kör skördaren upp två beståndsstråk mellan stickvägarna och virket läggs hela tiden mot den närmsta stickvägen (figur 4). Träd som avverkas i zonen mellan stråken dras av skördaren mot närmsta stickväg. På grund av detta blir det för skördaren mer kranarbete och lägre produktivitet, medan det blir ännu högre virkeskoncentration längs stickvägarna eftersom uppsamlingsbredden ökar, förutsatt att stickvägsavståndet ökas. Skotaren har av de tre beskrivna metoderna högst produktivitet med denna metod tack vare den högre virkeskoncentrationen vid stickväg. Metoden ställer dock än högre krav på sikten och även terrängklassen. Framförallt vid stenig terräng föredras ett stråk framför två (Persson, 1993).



Figur 4. Gallring med två beståndsstråk mellan stickvägarna (benämnt som metod 2). Vägar och stråk tas upp i geografisk ordning.

Figure 4. Thinning with two intermediate passages between the strip roads (referred to as method 2). Roads are opened in a geographical pattern.

Studier har gjorts för att bedöma vid vilka specifika förutsättningar de olika beskrivna metoderna passar bäst och hur skillnaderna ser ut (Persson, 1993. Dahlin, 2008. Bergkvist och Lundström, 2010. Kärhä et al. 2004). Skillnaderna mellan metodernas totala drivningskostnad (beräknad i kronor per fastkubikmeter virke under bark ($\text{kr}/\text{m}^3\text{fub}$)) är oftast väldigt små samtidigt som andra faktorer varierar mer och därför gör resultat svårtolkade vid jämförelse. Med hjälp av tidsstudier jämförde Persson (1993) de tre gallringsmetoderna vid förstagallring av gran i södra Sverige. Den Rottne 2000 skördare som studerades var betydligt mindre än de maskiner som generellt förekommer i gallringar idag, exempelvis var kranen bara 6,5 meter. Vid gallring med ett beståndsstråk påverkades inte skördarproduktiviteten nämnvärt av ökat stickvägsavstånd då tidsförlust orsakad av mer kranarbete på större andel av räckvidden tjänades in genom en kortare körsträcka per arealenhet. Gallring med två beståndsstråk gav ~5 % lägre produktivitet än de andra metoderna, skotningen studerades ej.

Dahlin (2008) gjorde tidsstudier på både skördare och skotare för de tre metoderna och vid gallring med endast ett stråk användes strukturval "2" (figur 3). Skördaren var något mindre än en generell gallringsskördare, vilket försvårade långa stickvägsavstånd. Total prestation och kostnad för maskinlag per metod låg på en väldigt jämn nivå där skillnad mellan den dyraste och billigaste metoden (två stråk och ren stickvägs-gallring) var ~1,8 %

med fördel för gallring med två beståndsstråk. Små skillnader påvisades för skördaren medan skotaren hade högre produktivitet vid ökat stickvägsavstånd.

Bergkvist och Lundström (2010) jämförde ren stickväggallring och gallring med ett beståndsstråk under olika förutsättningar avseende träslag (tall- eller grandominerat), maskinstorlek (liten, mellan, stor; Rottne H8, John Deere 1070, John Deere 1270) och skördad medelstam för den gallrade skogen. Av studien drogs slutsatsen att beståndsgallring passar bäst från klena till medelgrova tallgallringar respektive klena grangallringar. Större stickvägsavstånd ger ett lägre tvingande uttag och lägre skotningskostnad. Mellanstora skördare passar bra till gallring med ett beståndsstråk och flerträdshantering, då mindre skördare ofta är för klena och stora skördare inte får nog hög lönsamhet i klenare skogar och blir för dyra. I förstagallring av tall var ett beståndsstråk och ett stickvägsavstånd på ~30 meter kombinationen som gav lägst drivningskostnad.

Studier, som avser att jämföra de olika gallringsmetoderna, har ofta genomförts med hjälp av tidsstudier. En stor nackdel med det är den stora svårkontrollerade variationen som kan uppstå i studierna. Skillnader mellan olika testförare och deras tidigare erfarenheter kan spela in, såväl som skillnader i testbestånden. För att fånga upp de små skillnaderna som man söker måste avvikelserna kunna konstanthållas eller kontrolleras statistiskt med stora dataset. Båda sätten att undvika skillnaderna är svåra. Kärhä et al. (2004) jämförde mellanstora och små gallringsskördare och maskinerna testades med 11 olika förare vilka visade på stora produktivitetsskillnader. Som mest noterades 40 % skillnad i produktivitet för en enskild maskin vilket delvis kan förklaras med att flera av förarna inte hann köra in sig på alla maskiner, alla förare hade dock tidigare erfarenhet av förstagallring. En av de små skördarna (Sampo-Rosenlew 1046X) testades med gallring från stickväg, med ett beståndsstråk samt två beståndsstråk mellan stickvägarna. Inga signifikanta skillnader på produktiviteten mellan de tre metoderna kunde påvisas. Dock påvisades signifikanta skillnader mellan förare. Mellan förarna var skillnaderna minst i förstagallring från stickväg (0–15 %) och störst i gallring med två beståndsstråk (25–30 %). Detta kan tolkas som att gallring med två beståndsstråk är en mer komplex metod med fler moment att utföra och att metoden därför har längre inlärningskurva.

Nurminen et al. (2006) gjorde tidsstudier i finska skogar och fokus låg på att identifiera de viktigaste faktorerna för tidsåtgång vid drivning. Bland annat konstaterades för skotaren att virkeskoncentrationen vid stickväg har stor betydelse. Från studiematerialet (tidsstudier) togs matematiska modeller fram för att prognostisera skördar- och skotarproduktivitet. Formlerna bedöms vara lämpliga att använda för kostnadsberäkningar och simuleringar.

Tillgängliga produktionsnormer för skördare och skotare har utgått från tidsstudier. För gallring med skördare utan och med ett beståndsstråk är normen från 1997 (Brunberg, 1997) den senaste, och för skotning i gallring 2004 (Brunberg, 2004). För gallring med två beståndsstråk finns inga utarbetade normer för skördare. Skotarens produktivitet kan däremot beräknas med en norm oavsett tillämpad metod. Detta beror på att skotarens produktivitet inte nödvändigtvis påverkas av vilken metod skördaren har gallrat med. Metoderna kan med olika stickvägsavstånd dock påverka virkeskoncentrationen vid stickväg, vilket tillsammans med virkesvolym per arealenhet ger skotaren dess förutsättningar. Normerna har en upplösningsgrad där beräkningar bygger på en momentindelning, där variablerna som krävs är produktions- och beståndsvariabler som är allmänt vedertagna vid gallring (exv. medelstamsvolym och antal sortiment). Tillämpning

av normerna försvåras dock av maskinteknisk utveckling. Bland annat har gallringsskördare numera i regel aggregat för flerträdshantering och ibland även möjlighet till horisontell vinkling av kranen, vilket gör att fler trädstammar per uppställningsplats kan nås vid gallring (Bergkvist och Lundström, 2007). Av 11 funna studier har endast tre behandlat gallring med flerträdshantering.

Tidigare analyser av produktivitet i gallring har sällan inkluderat avståndet mellan stickvägarna som en variabel. Stickvägsavståndet påverkar rimligtvis virkeskoncentrationen vid stickväg, men även tiden för skördarens krancykler, då avståndet som stammar behöver förflyttas ökar med ett ökat stickvägsavstånd.

Precisionen vid tidsstudier analyserades av Nuutinen et al. (2008) då 20 oerfarna studenter och 10 erfarna forskare gjorde tidsstudier på en datasimulerad skördare. Simulatorns facittider för arbetsmomenten jämfördes mot noterad tidsåtgång av de 30 personerna. Studien visade i enskilda moment som mest 34 % skillnad i uppmätt tid mellan olika personer. Störst skillnad noterades i momentet ”sträcka ut kranen och greppa träd” med tider i medeltal inom spannet 7,6–11,6 sekunder. Studien omfattade inte längre sammanhängande mätningar än 40 minuter, vilket antogs vara kort nog för att undvika att påverka precisionen negativt. I diskussionen påpekades att längre mätningar hade kunnat göras för att se påverkan av försämrad koncentrationsförmåga.

Det krävs långa förberedelser och hög noggrannhet om man med tidsstudier vill se metodspecifika skillnader. Stor vikt bör ligga vid att testförare ska hinna bli lika duktiga på alla de metoder som ska jämföras, och vidare krävs bland annat enhetliga testbestånd. Tidsstudier kräver även fler förare för att fånga upp storleken av individskillnader.

Alternativ till tidsstudie är jämförelser av produktionsdata över en längre period med flera maskinlag från respektive metod. Detta sätt kräver många maskinlag som kör respektive metod så att man över en längre tid kan jämföra dem och på så vis undvika skillnader mellan enskilda förare och enskilda objekt. Jämförelse kan även göras genom simulering vilket förutsätter att man kan definiera de olika arbetsmomenten och vad som påverkar dem. Sängstuvall et al. (2011) simulerade gallring där enträds- och flerträdshantering jämfördes vid selektiv respektive korridorgallring i unga skogar. Simuleringen visade sig ge en god återspeglning av produktivitet i riktiga skogsavverkningar, då tidsåtgången för tre centrala moment överskattades med i snitt 5,4 % jämfört med tidsstudier från liknande gallringar. Gallring med engreppsskördare simulerades av Eliasson (1999) och resultaten gav 10 % högre produktivitet än produktivitetensnormer baserat på empiriskt material från Brunberg et al. (1989). Eliasson hade dock rimliga förslag på korrigeringar i beräkningar för att få bättre överensstämmande, vilket visar på smidigheter med simulering.

Med modellering av maskiners arbete och bestånd kan man simulera effekter av olika förhållanden utan påverkan av icke studerade faktorer. Således bör man kunna jämföra produktivitet i gallring från stickväg med noll, ett eller två beståndsstråk, vilket är svårt att göra i praktiken under kontrollerade former.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete var att jämföra gallring med ett respektive två beståndsstråk mot ren stickväggallring med hjälp av simulering. Modellen avsågs ge beräknad produktivitet i $\text{m}^3/\text{G}_0\text{-timme}$ samt kostnad i $\text{kr}/\text{m}^3\text{fub}$ vid bilväg på såväl maskin- samt maskinlagsnivå utifrån antaganden om beståndsegenskaper. Jämförelsen avsågs omfatta förstagallring av tall under barmarksäsongen i norra Sverige.

2 Material och metod

För att analysera skördarens gallringsarbete skapades en spatial modell och en tidsåtgångsmodell. Den spatiala modellen bestod av ett bestånd utan slumpmässig variation, dvs. avstånden mellan träden var konstant. För beräkningar delades en representativ del av beståndet in i ett tvådimensionellt rutnät. För varje ruta bestämdes sedan gallringsuttaget (antal träd) och varifrån gallringen skulle ske (från stickväg eller beståndsstråk). Därefter modellerades tidsåtgången för de antal krancykler som skulle behövas för att genomföra gallringsarbetet i den givna rutan. Summan av tidsåtgången för alla rutor gav total tidsåtgång, vilket tillsammans med en fast timkostnad för skördaren användes för att beräkna arbetskostnaden för respektive gallringsmetod. Skotningsarbetet modellerades med en deterministisk tidsåtgångsmodell utan spatiala komponenter, utöver att stickvägsavståndet påverkade virkeskoncentrationen längs stickvägen. Kostnader för de enskilda maskinerna summerades för respektive metod och jämfördes.

Modellerna byggdes i Microsoft® Excel och konstruerades från antaganden om metoderna utifrån Skogforsks produktionsnormer för skördare (Brunberg, 1997) och skotare (Brunberg, 2004), produktionsstudier (Nurminen et al. 2006) samt utifrån egna tidsstudier och iakttagelser vid besök hos maskinlag som kör för SCA Skog AB på Ångermanlands och Medelpads Skogsförvaltningar. Modelldelarna är likvärdigt uppbyggda kring olika arbetsmoment men med mindre metodspecifika skillnader.

Vid fältstudierna mättes och iakttogs produktiviteten och förarna fick frågor om hur de genomförde gallringarna och varför. Korta tidsstudier utfördes på maskinerna för att se generella mönster i tidsåtgång. Resultaten användes som stöd för indata i modellen.

För beräkning av kostnaden har produktiviteten satts i relation till en fast timkostnad per maskin. Samtliga modellers koefficienter presenteras i bilaga 2.

Beräkningsföljd:

Spatiala beräkningar för skördare:

- val av gallringsmetod
- dimensionering av rutnät
- beräkning av medelavstånd mellan rutor och den plats där rutans träd kommer att upparbetas
- beräkning av skördarens placering vid fällningen (avverkningszon)
- tilldelning av antal träd per ruta.

Tidsberäkningar för skördare:

- beräkning av tidsåtgång per producerad enhet (träd); utförs för skördarens alla moment för alla rutor.

Tidsberäkningar för skotare:

- beräkning av tidsåtgång för producerad enhet (lass); utförs för skotarens alla moment för alla rutor.

Efter dessa steg jämförs utfall för enskilda maskiner och för maskinsystem för de olika metoderna.

2.1 Fältbesök

Författaren besökte fyra maskinlag i fält 2012. Maskinlagens arbete iaktogs och förarna intervjuades om hur de genomförde gallringarna och varför (frågor enligt bilaga 1). Vid planeringen av fältbesöken valdes gallringslag som bedömdes vara bland de effektivare för sin respektive metod. I första hand valdes tillfällen då lagen körde trakter som stämde överens med studiens avgränsningar. För varje maskin gjordes en kort tidsstudie för att ge en indikation av tidsfördelningen inom de valda momenten. I dessa tidsstudier användes momentindelningen för skördare och skotare enligt tabell 2 och 3. I samband med besöken mättes koefficienterna för SA^m , SB^m , D_{vh} , D_{virke} och $D_{v\ddot{a}}$ (se bilaga 2). Då tidsstudierna och mätningarna var kortfattade presenteras deras resultat inte här utan har använts för att justera modellens ingångsvärden. När befintliga normer inte passat tänkt formulering av produktivitetssimulering har nya formler gjorts och justerats efter rimliga produktivitetsantaganden. Dessa produktivitetsantaganden har baserats på fältstudierna och antaganden av författaren. Det mest relevanta presenteras i tabell 1 och i resultaten.

Tabell 1. Information om besökta maskinlag
Table 1. Information about visited machine team

Variabel	Maskinlag			
	A	B	C	D
Tillämpad metod	1.2	1.2	1.1	2
Månad för besök	Oktober	December	November	Oktober
Skördarmodell	Komatsu 901	John Deere 1070	Komatsu 901	Komatsu 901
Skördarens kranlängd (m)	11	10	10	10
Skotarmodell	John Deere 1210	John Deere 1410	Komatsu 860	Komatsu 860
Lastvolym (m³fub/lass)	12	14	11	14
Övriga kommentarer		Nysnö vid besök	Främst upptagning av vägar (contorta)	Contortagallring

2.2 Intervjuer

2.2.1 Lagvisa observationer och kommentarer

Lag A gallrade enligt metod 1.2 men hade tidigare kört enligt metod 2. Metod 2 upplevdes ha många fördelar, främst ökad virkeskoncentration vid stickväg; lagets erfarenhet var att skotarens produktivitet är väldigt central för att åstadkomma positiva resultat. Detta gällde särskilt i förstagallring då uttagsvolymerna brukar vara relativt små. Även om uttagsvolymerna är små ansågs metod 1.0 kunna ge skotaren viss fördel om en trakt innehåller många sortiment, då olika sortiment inte blir så tätt lagda mot varandra vid stickvägen. Många sortiment var dock sällan något problem i talldominerade trakter. Då stråken avverkades drogs generellt stammarna mot den färdiga stickvägen. Detta brukade resultera i att virke från stickvägsgallringen lades på ena sidan om stickvägen och virke från stråkgallringen lades på andra sidan stickvägen. Risk för att virkeshögarna blev långa och korslagda uppgavs finnas om virke från både stickvägs- och stråkgallringen lades på samma sida av en stickväg, men med beskriven metodik undveks en del av det problemet. Stråkens placering angavs generellt ha en viss förskjutning mot den färdiga stickvägen och mycket av kranräckvidden användes därför från stickväg mot färdigt stråk. I resterande kranzoner var stammar närmare maskinen. Laget hade vid kortare test upplevt problem att få fullgod produktivitet vid tillämpning av metod 1.1.

Lag B gallrade enligt metod 1.2 och hade precis som lag A kört enligt metod 2 tidigare. Laget körde mest förstagallringar men även en del slutavverkningar. Undantagsvis kördes andragallringar som (till fördel för metod 2) brukade hålla låga volymer. Generellt upplevdes bestånds- och uttagsvolymer vara överskattade av uppdragsgivare i både första- och andragallringar vilket kan orsaka lägre produktivitet än väntat, detta ger även sämre beslutsunderlag om möjligheten finns att välja metod. Metodiken vid metod 1.2 var likadan som beskriven för lag A.

Lag C gallrade enligt metod 1.1 och hade gjort det sedan de övergav gallring med manuell mellanzonsfällning. De hade inte prövat metod 1.2 eller 2 och såg inga skäl till att göra det. God sikt ansågs viktigt för att få ett lämpligt stickvägsavstånd vid avverkning av stickvägar varför de kunde avverkas dagtid, särskilt om årstiden krävde det och skördaren kördes på dubbla skift. När det mörknade kördes sedan stråken. Stickvägarna syntes då åt båda håll och goda avvägningar om lämplig väg att upparbeta stammar mot kunde göras och kunde resultera i minskat kranarbete. Virke från stråk lades i samma högar som de avverkade från stickvägen om maskin nådde och virkeshögen inte riskerade att bli för lång eller korslagd. Med denna metod fanns möjlighet att parera stråkets placering om exempelvis ett stenblock tvingade stråket i en särskild riktning. Virket upparbetades då mot den närmaste stickvägen. När laget besöktes körde de i en förstagallring med contortatall som skadats av vind. Åtgärden bestod därför främst i att stickvägar och beståndsstråk kördes upp och få stammar gallrades selektivt.

Lag D körde vanligtvis enligt metod 2 men körde med metod 1.2 vid besvärliga förhållanden, främst blockig och brant terräng. Vid stråkgallring upparbetades virket i regel till samma högar som de från stickvägen och tack vare genomtänkt metodik blev högarna trots detta sällan för långa eller korslagda. Skördaren tappade väldigt lite produktivitet i stråken vid metod 2 jämfört med vid metod 1.0, eftersom kranens räckvidd inte behövde nyttjas lika mycket för att få ett likvärdigt eller större stickvägsavstånd.

Kranhastigheten är betydligt lägre nära maximal räckvidd. Med bra och stora högar vid stickväg tjänade man ofta i total prestanda för maskinlaget. På en genomsnittlig trakt brukade skotaren producera ungefär dubbelt så mycket virke per tidsenhet som skördaren, vilket gav balans vid tvåskift på skördaren och ett på skotaren. Skulle laget byta till metod 1.0 under en längre tid hade ytterligare en skotarförare behövt anställas. Ett större stickvägsavstånd medförde en ökad belastning på stickvägen med kortare sträcka stickväg per arealenhet. Den ökade belastningen orsakade dock sällan problem då känslig mark i regel gick sönder oavsett om det exempelvis kördes ut fem lass virke (metod 1.0) eller åtta (metod 2). Vid besöket körde laget i en förstagallring av contortatall.

2.2.2 Generella observationer och kommentarer från lagen

Gallringslagen upplevde generellt att deras storlek på skördare och skotare var bra. Skördarstorleken var dock på gränsen till stor om stråken skulle bli naturligt slingrade. Från de stora maskintillverkarna fanns få alternativ om man ville ha en mindre maskin. I regel blev det en allroundmaskin av lite mindre storlek, särskilt då uppdragsgivaren i regel krävde att entreprenören också skulle kunde köra slutavverkning även om avtal skrivits för förstagallring.

Besökta entreprenörer med erfarenhet av metod 2 uttryckte sig positivt om metoden och föredrog den när det inte var för kuperat eller stenigt. Enligt praxis från SCA Skog AB tilläts dock inte alla lag att tillämpa metod 2 (Österberg 2012, pers. komm.).

I drivningsmetodiken låg fokus på att göra ett noggrant men effektivt arbete med skördaren så att skotaren kunde hålla hög produktivitet. Med små uttagsvolymen kunde skotningen annars bli dyr.

2.3 Spatial modell av bestånden

2.3.1 Generell beskrivning av rutnät

Kartvyns område delades in i ett rutnät för att dels göra det möjligt att skilja mellan olika arbetsutföranden för skördaren (t.ex. upptagning av stickväg, gallring från stickväg och gallring från stråk) men också för beräkning av tidsåtgång för att utföra arbetet på olika avstånd från maskinen.

Konstruerande av rutnät med fasta dimensioner (dvs. olika antal rutor vid olika avstånd) har valts bort då det beräkningstekniskt bedömts vara för svårt. Rutnätet har istället konstruerats så att det innehåller ett fast antal rutor, vars dimensioner varierar efter indata. Rutnätet har generaliserats så att det har 26 kolumner i x-led och 3 rader i y-led (figur 5). Kolumnerna i x-led har delats upp i fyra sektioner:

- stickvägen representeras av 4 kolumner (kolumner 1-4)
- avståndet mellan stickvägskant och virkeshögs ände (mot stickväg) representeras av 2 kolumner (kolumner 5-6)
- virkeshög representeras av 8 kolumner (kolumner 7-14)
- avståndet från virkeshögens ände som är längst från stickväg, till mittlinje mellan stickvägar representeras av 12 kolumner (kolumner 15-26).

För en given gallringsmetod varierar rutornas bredd (dvs. i x-led) mellan rutorna, vilket beskrivs mer i detalj nedan. Rutorna i den fjärde sektionen (kolumner 15-26) varierar med indata från gallring (särskilt stickvägsavstånd) medan övriga rutor får samma bredd oavsett metod (efter indata). Rutors höjd varierar dock inte inbördes (dvs. i y-led).

Val av upplösningsgrad

För att undersöka lämpliga dimensioner på rutorna, dvs. lämplig upplösning på rutnätet, undersöktes hur medelavståndet från en rektangulär ytas mittpunkt till en punkt på ytans ytterkant i ett hörn påverkades när ytan delades upp i olika antal rutor och då alltså erhöj fler mittpunkter och avstånd (en mittpunkt och ett avstånd per ruta). Som extremvärde nedåt har tagits ett endimensionellt mått (0 rutor, dvs. rektangeln har ingen höjd utan är en linje). Distansvärdet erhålls då genom att dividera längden med två. Vid övriga (tvådimensionella) uträkningar beräknas i stället medelavståndet som medelvärdet av det euklidiska avståndet från rutornas centrum till punkten på rektangelytans ytterkant. I tabell 2 är genomsnittliga distanser jämförda med olika upplösningsgrad när ytterkantpunkten är satt till en av rektangelns hörn. Avstånden är tänkta att representera genomsnittliga avstånd mellan avverkningspunkt och uppberetningspunkt för rutorna.

Tabell 2. Variation av precision vid beräkning av distansvärde med olika antal rutor för en yta med olika dimensioner. Då ytans dimensioner motsvarar 20 meters stickvägsavstånd är bredden 2,5 meter och höjden 1,25 meter. Då ytans dimensioner motsvarar 40 meters stickvägsavstånd är bredden 12,5 meter och höjden 1,25 meter

Table 2. Variation of precision in estimations of distance values with different number of boxes for an area with different dimensions. The width is 12,5 meters and the height is 1,25 meters when the dimensions represent 20 meters strip road distance. When the strip road distance represents 40 meters, the width is 12,5 meters and the height is 1,25 meters

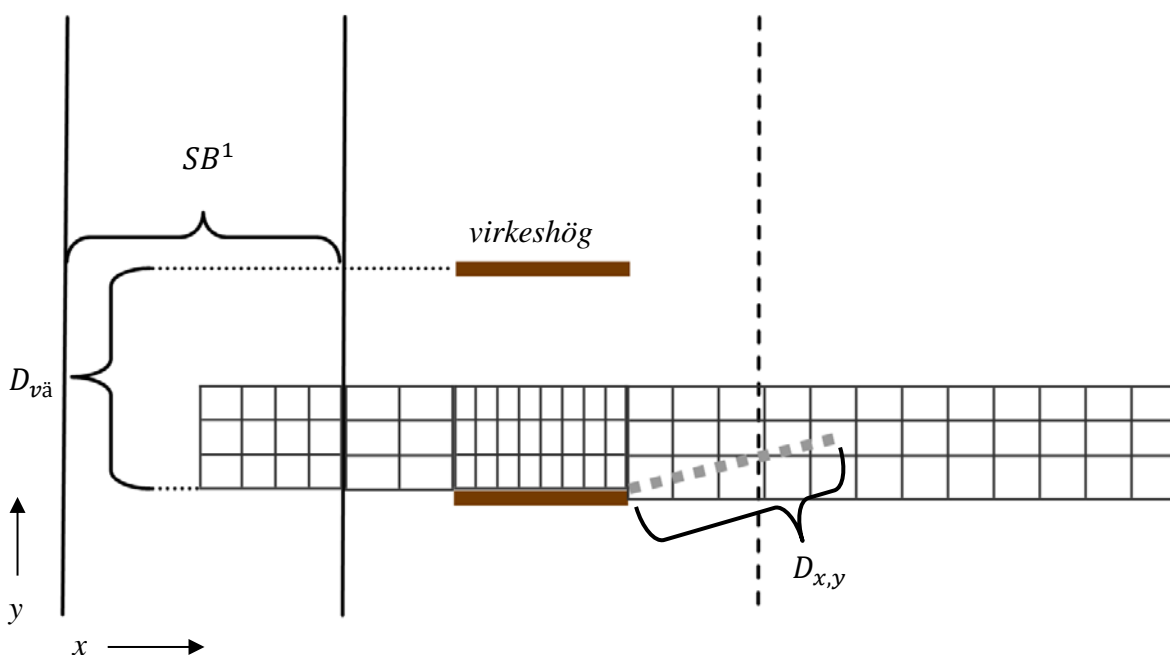
Antal rutor	Antal kolumner	Antal rader	Medelavstånd, 20 meter stickvägsavstånd	Medelavstånd 40 meter stickvägsavstånd
96	24	4	1,481	6,328
36	12	3	1,478	6,325
12	6	2	1,472	6,318
4	4	1	1,446	6,301
1	1	1	1,398	6,281
0	0	0	1,250	6,250

Precisionshöjningen med att dela upp ytan i rutor avstannar relativt snabbt. Skillnaden i medelavstånd är minimal (<0,05 %) om 36 eller 96 rutor används. Precisionsförlusten ökar med ökad storlek på rutorna vilket innebär att förlusten blir störst vid ett större stickvägsavstånd. Stickvägsavståndet varierar mycket mellan gallringsmetoderna varför rutnätets dimensioner också varierar. Med ökat stickvägsavstånd försämras beräkningsprecisionen, dock är försämringen marginell.

Beräkningsexemplet motsvarar beräkningen av distansen mellan avverknings- och uppberetningspunkt (figur 6 samt förklaring under rubriken "Avverknings- och uppberetningspunkter", sida 22).

Beskrivning av valt rutnät:

Baserat på precisionsanalysen valdes en rutnätupplösning på totalt 78 rutor (motsvarande exemplet med 36 rutor), fördelat på 26 kolumner och 3 rader, eftersom den upplösningen bedömdes ge en tillräcklig precision utan att bli för beräkningsintensiv. Då antalet rutor hölls konstant i analyserna, medan rutstorleken varierade beroende på stickvägsavstånd, kan beräkningsprecisionen också variera. Rutornas dimensioner styrs i beräkningarna av dess förhållande till virkeshögarnas placering, stickvägsavstånd- och bredd (figur 5). Trots att rutornas dimensioner varierar är dess placering alltid samma, både inbördes och i förhållande till virkeshög mm.



Figur 5. Rutnät för beräkning av distans från avverknings- till upparbetningspunkter samt vägning av rutans andel vid beräkning av medelvärden. Rutnätets origo $(x_0; y_0)$ är i det nedre vänstra hörnet. Streckad grå linje symboliserar distansen mellan ruta $x_{19}; y_2$ och dess närmaste upparbetningspunkt vid änden av en virkeshög, dvs. avståndet $D_{19,2}$. $D_{vä}$ avser avstånd mellan virkeshögar och SB^1 avser stickvägsbredd vid metod 1.

Figure 5. Grid for estimation of distance between cutting point and point for processing of felled tree. The grid is also used for weighting each box's part in the mean values. The grid's origin $(x_0; y_0)$ is in the bottom left corner. Dashed grey line represents the distance between cutting point and nearest processing point at the edge of a pile for box $x_{19}; y_2$, $=D_{19,2}$. $D_{vä}$ defines distance between piles and SB^1 defines strip road distance with method 1.

Beskrivning av rutdimensioner:

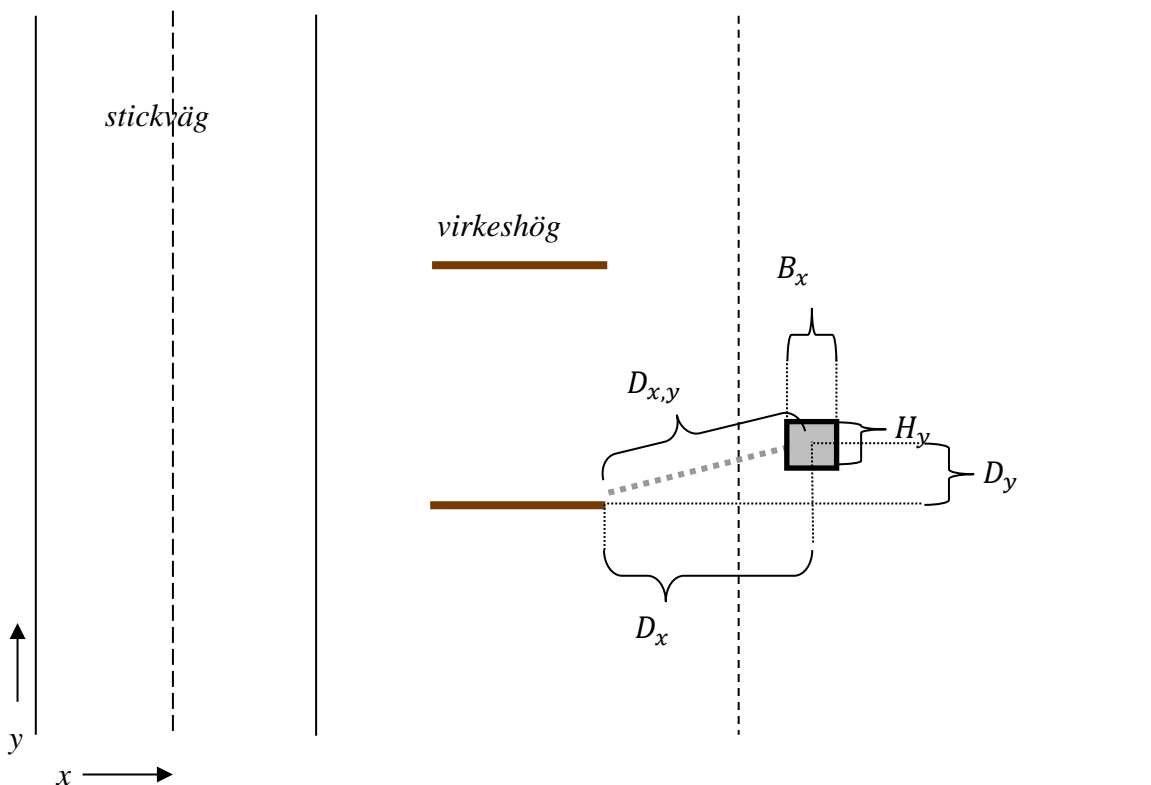
Alla rutor hade samma höjd, oberoende av i vilken av rutnätets tre rader rutan fanns. Den gemensamma höjden påverkades dock av avståndet mellan virkeshögarna (D_{vh} , se bilaga 2 för grundscenariots värde) enligt formel 1.

Distans mellan avverknings- och upparbetspunkt i y-led för ruta i rad "y":

$$H_y = D_{vh}/6 \quad (1.) \quad (\text{meter})$$

D_{vh} = distans mellan virkeshögar.

Däremot berodde en enskild rutas bredd på dess kolumnplacering i rutnätet (formel 2). Formel 1 ska utläsas så att bredden (B_x) för en ruta i kolumn x beräknas som $SB^m/8$ om rutan är i kolumn 1 till 4, som $D_{virke}/8$ om rutan är i kolumn 7 till 14 och så vidare. Rutoras dimensioner i x-led (kolumnerna) beräknas enligt:



Figur 6. Distansmått exemplifieras för ruta x19; y2 (se figur 7 för rutans position i förhållande till resten av rutnätet). B_x anger bredd för ruta i kolumn x , H_y anger höjd för ruta i rad y , D_x anger avståndet i x-led mellan rutans avverkningspunkt (dvs. rutans mitt) och närmsta upparbetspunkt, D_y anger avståndet i y-led mellan avverkningspunkt och närmsta upparbetspunkt för ruta i rad y , $D_{x,y}$ anger avståndet mellan avverkningspunkt och upparbetspunkt för ruta x ; y . Rutnätet visas i figur 5 & 7.

Figure 6. Explanation of different types of variables for the distance D in the estimations. The values for the distance coefficients are for the box x19; y2, which means column 19 and row 2. B_x defines the width of box in column x , H_y defines the height for box in row y , D_x defines the distance in x-direction between cutting- and processing point for box in column x , D_y defines the distance in y-direction between cutting- and processing point in row y , $D_{x,y}$ defines the distance between cutting- and processing point for box x ; y . The grid is displayed in figures 5 & 7.

$$B_x \begin{cases} \frac{SB^m}{8}, & \text{om } x \leq 4 \\ (D_{v\ddot{a}} - SB^m/2)/2, & \text{om } x = 5 \text{ eller } 6 \\ \frac{D_{virke}}{8}, & \text{om } 7 \leq x \leq 14 \\ \left(\frac{SA^m}{2} - D_{virke} - D_{v\ddot{a}}\right)/12, & \text{om } x \geq 15 \end{cases} \quad (2.) \quad (\text{meter})$$

SB^m = stickvägsbredd för metod "m", se tabell 5 för värden i grundscenariot.

$D_{v\ddot{a}}$ = distans från stickvägens mitt till virkeshögens närmaste ände, se bilaga 2 för värde.

D_{virke} = virkeslängd, se bilaga 2 för värde.

SA^m = stickvägsavstånd för metod "m", alltså avståndet mellan två parallella stickvägars mittlinjer (dvs. 1, 2 eller 3), se tabell 5 för värde.

Avverknings- och upparbetningspunkter:

Vid distansberäkning av fällning och kranrörelse utan stam används avståndet mellan avverkningspunkt och närmaste upparbetningspunkt. Som avverkningspunkt används mittpunkten för respektive ruta, vilket innebär att det för en given ruta bara finns ett avstånd till upparbetningspunkten. Detta avstånd används till samtliga träd som avverkas i rutorna (för beräkning av antal träd per ruta, se rubriken "Antal träd att avverka i respektive ruta i förhållande till hela rutnätet" sida 26). Upparbetningspunkter sattes till ändar på virkeshögar, vilket utifrån det använda rutsystemet alltså innebär att de två upparbetningspunkterna är placerade i nedkant av rad 1 och mitt i mellan kolumn 6 och 7, respektive mitt i mellan kolumn 14 och 15 (figur 7).

Beräkning av avstånd mellan ruta och upparbetningspunkt:

Avståndet i x-led från mittpunkten på en ruta i kolumn x till närmaste upparbetningspunkt (D_x) utgörs av det minsta av absolutbeloppen för avstånd till de två möjliga upparbetningspunkterna (formel 3). Avståndet beräknas genom att utgå från avståndet i x-led mellan stickvägsnitt och mittpunkt för en ruta i kolumn x (DS_x) och sedan dra bort avståndet från stickvägsnitt till respektive upparbetningspunkt (figur 7). Eftersom det inte spelar någon roll åt vilket håll virket förs i x-led för att rutans virke ska nå en upparbetningspunkt så jämförs de två beräkningarnas absolutbelopp:

$$D_x = \min \left\{ \left| DS_x - \sum_1^6 B_x \right|, \left| DS_x - \sum_1^{14} B_x \right| \right\} \quad (3.) \quad (\text{meter})$$

DS_x = linjär distans i x-led mellan avverkningspunkt och stickvägscentrum för ruta i kolumn "x".

DS_x beräknas enligt:

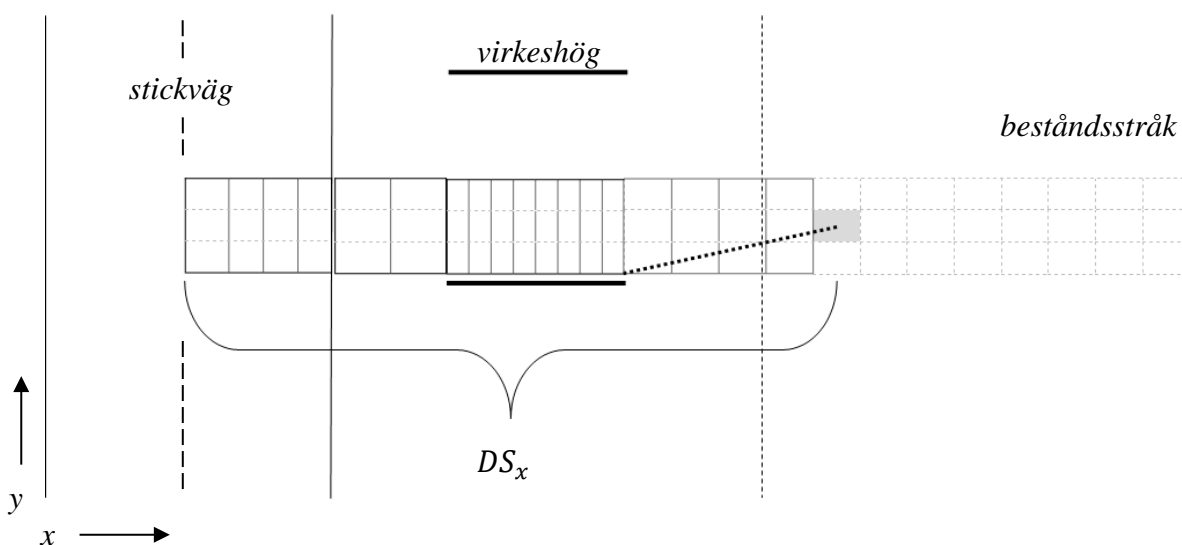
$$DS_x = B_x/2 + \sum_1^{x-1} B_x \quad (4.) \quad (\text{meter})$$

Avståndet i y-led från mittpunkten på en ruta i rad y till närmaste upparbetspunkt (D_y) beräknas enligt:

$$D_y = H_y/2 + \sum_1^{y-1} H_y \quad (5.) \quad (\text{meter})$$

Den euklidiska distansen från avverkningspunkt (dvs. mittpunkt av en ruta) till närmaste upparbetspunkt (figur 6) beräknas med hjälp av Pythagoras sats, enligt formel 6 ($D_{x,y}$).

$$D_{x,y} = \sqrt{(D_y^2 + D_x^2)} \quad (6.) \quad (\text{meter})$$



Figur 7. Figuren visar metod 1. Berörda kolumner som summeras vid uträkningen av DS_x , i bilden markerade med heldragen svart ytterram. I bilden är ruta x19; y2 (färgad grå) i zon 2, med vilket menas att rutans medelstam bedöms bli avverkad från stråket mot stickvägen. $D_{x,y}$ är markerad som en streckad svart linje mellan den grå rutan och änden på en virkeshög.

Figure 7. The figure shows method 1. Columns which together give the values for the estimation of DS_x , the columns (1-18), are marked with a solid black outer line. The box x19; y2 (with grey) in the example belongs to zone 2, which means the mean tree in the box is harvested from the intermediate passage towards the strip road. $D_{x,y}$ is marked as a dashed black line between the grey box and the end of a pile.

I modelleringen lades det in en begränsning i form av att distansen $D_{x,y}$ måste vara mindre än dubbla kranlängden multiplicerat med nyttjad räckvidd (formel 7). Begränsning med dubbla kranräckvidden avser spegla maximalt avstånd mellan avverknings- och upparbetningspunkt vid fällning i beståndsstråk då stam fälls vid en sida om skördaren och upparbetas vid en annan sida.

$$D_{x,y} < KL \times 2 \times NR_v^m \quad (7.) \quad (\text{meter})$$

KL = kranlängd, skördare, se tabell 5 för värde.
 NR_v^m = nyttjad räckvidd vid metod "m" från väg "v".

För gallring från stickväg var den nyttjade kranlängden en konstant i modelleringens grundscenario (se tabell 5). Nyttjad räckvidd från stråk berodde däremot på hur stor andel av kranens totala räckvidd som nyttjas vid körning i stråk (dvs. på stickvägsavståndet (SA^m)) och beräknas enligt:

$$NR_{stråk}^m \begin{cases} (SA^1/2 - KL \times NR_{stick}^1)/KL, & \text{om } m = 1 \\ (SA^2/2 - KL \times NR_{stick}^2)/2/KL, & \text{om } m = 2 \end{cases} \quad (8.) \quad (\text{kvot})$$

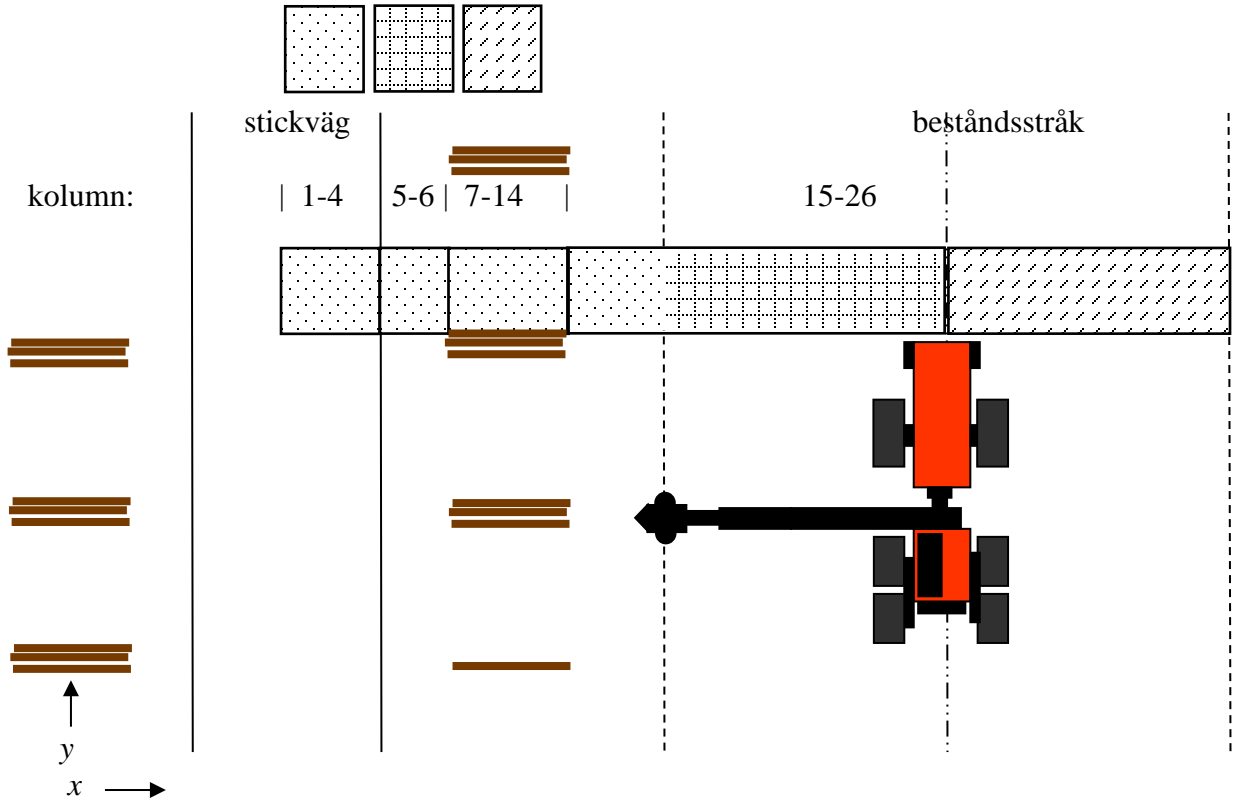
Zonindelning, beräkning av skördarens placering vid fällning:

En rutas zontillhörighet (z) definierar rutans placering i förhållande till stick- och stråkvägnät och används för att variera andel ackumulering. Lite förenklat kan det sägas definiera var träden i rutan avverkas ifrån, där:

- $z=1$ då rutans träd avverkas från stickväg
- $z=2$ då rutan befinner sig mellan stråk och stickväg samt avverkas från stråk
- $z=3$ då rutan befinner sig mellan två stråk.

Detta innebär för samtliga beräkningar i studien att vid metod 0 används bara beräkningar för zon 1. För metod 1 används beräkningar för både zon 1 och 2. Endast vid gallring med metod 2 används beräkningar för alla 3 zoner. Zontillhörigheten för de enskilda rutorna beror främst på kranlängd och stickvägsavstånd och beräknas enligt formel 9 (figur 8).

Mönsterförklaring: zon 1 zon 2 zon 3



Figur 8. Exempel på zonindelning vid gallring med två bestandsstråk. De enskilda rutorna kan tillhöra olika zoner beroende på olika variablers värden, som till exempel kranlängd och stickvägsavstånd. Rutnätet visas i figur 5 & 7.

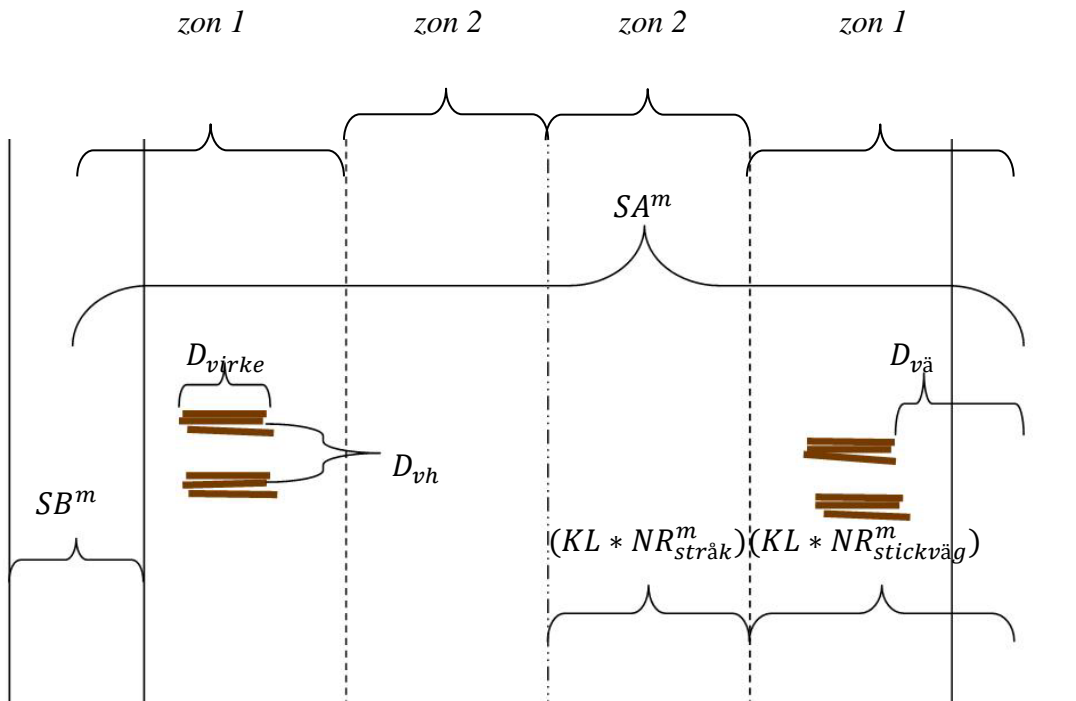
Figure 8. Example of the zone parts in thinning with two intermediate passages. The specific boxes can belong to different zones dependent on the value on variables as crane length, strip road distance and more. The grid is displayed in figures 5 & 7.

Zonindelningen beräknas utifrån hur mycket av skördarkranens räckvidd som nyttjas från stickvägen, beräkning enligt:

$$z = \begin{cases} 1, & \text{om } DS_x < KL \times NR_{stick}^m \\ 3, & \text{om } z \neq 1 \text{ och } DS_x > (SA^m/2 - KL \times NR_{stick}^m)/2 + KL \times NR_{stick}^m \\ 2, & \text{om } z \neq 1 \text{ eller } 3 \end{cases}$$

(9.) (zontillhörighet)

I zon 1 är modellen byggd så att stammar som är avverkade bortanför virkeshögens mitt upparbetas mot den bortre änden av virkeshögen, vilket ger en begränsning för modellen. Den bortre änden på virkeshögen förutsätts vara inom rutsystemet. Om exempelvis $D_{virke} = 5$ meter och $D_{vå} = 3$ meter så krävs att >8 meter av kranen kan användas. Det krävs alltså att stickvägsavstånd anpassas till kranräckvidd så att alla rutor kan nå, och så att uppläggningsplatserna kan nå från stråken.



Figur 9. Teckenförklaring av distansvariabler. Heldragna linjer symboliserar stickvägskant, streckade anger gräns för kranzon (nyttjad räckvidd) och linje med punkter anger mittlinje mellan stickvägar. Exemplet gäller för metod 1, alltså $m=1$ för SA^m , SB^m , $NR_{stråk}^m$, $NR_{stickväg}^m$.

Figure 9. Explanation of variables for distance. Strip roads are shown as solid lines, edge of the crane's working zone is dashed and the middle between strip roads is dashed with points. The example is for method 1, which means $m=1$ for SA^m , SB^m , $NR_{stråk}^m$, $NR_{stickväg}^m$.

Antal träd att avverka i respektive ruta i förhållande till hela rutnätet:

Antalet avverkade träd i en enskild ruta varierar med gallringsstyrkan och rutans storlek, samt om rutan är i stickvägen eller ej eftersom alla träd avverkas i stickvägsrutorna. Andelen avverkade träd i rutan i förhållande till det totala stamuttaget ($R_{x,y}$) beräknas enligt:

$$R_{x,y} = k_x \times B_x \times H_y / \left(\sum_{x=1}^{26} (B_x) \times \sum_{y=1}^3 (H_y) \times S_u \right)$$

$$k_x = \begin{cases} S_f, & \text{om } x \leq 4 \\ S_u^r, & \text{om } x \geq 5 \end{cases}$$

(10.) (andel)

S_u = totalt stamuttag, se tabell 5 för värde.

S_f = stamantal före gallring, se tabell 5 för värde.

S_u^r = stamuttag mellan stickvägar (stamuttag/ha).

k_x = konstant, ersätts med värde för stamuttag.

Eftersom alla stammar tas i stickvägsrutorna måste antalet stammar som tas i rutorna mellan stickvägarna (S_u^r) korrigeras för stickvägsuttaget (S_u^s), så att det totala uttaget per hektar stämmer. Den korrigeringen görs genom formel 11, med stickvägsuttaget beräknat

enligt formel 12. Om S_u^r blir negativt innebär det att enbart stickvägsuttaget gör att mer än önskat stamuttag uppnås, och att det därför inte kan göras stamuttag mellan stickvägarna.

$$S_u^r = (S_u - S_u^s)/(1 - SB/SA) \quad (11.) \quad (\text{stamantal/ha})$$

S_u^s = stamuttag i stickväg (endast stickvägen).

Uträkning av stamuttag per ha för stickvägen:

$$S_u^s = (SB^m/SA^m) \times S_f \quad (12.) \quad (\text{stamantal/ha})$$

2.4 Tidsmodell

Tidsmodellen är uppdelad på skördare (förkortad som skörd) och skotare (förkortad som skot) för de tre olika metoderna. Formlerna presenteras först övergripande (indelade på olika moment) och bryts sedan ned i flera nivåer. Generellt har effektiv arbetstid utan avbrott använts i modellerna (G_0 -tid). För beräkning av kostnaden har produktiviteten satts i relation till en fast timkostnad per maskin, kr/ G_0 -timme. Samtliga modellers koefficienter presenteras i bilaga 2.

2.4.1 Tidsmodell skördare

Totala tidsåtgången ($T_{skörd,tot}$) beräknas som summan av fem olika arbetsmoment enligt formel 12. Arbetsmomenten definieras i tabell 3.

Skördareffektivitet har beräknats i G_0 -minut/ m^3 fub och kan därifrån räknas om till m^3 fub/ G_0 -timme genom att dividera 60 med $T_{skörd,tot}$. Genomsnittlig tidsåtgång per stam har beräknats för gallringsarbetet i de enskilda rutorna och sedan vägts mot andelen stamuttag för rutan i relation till alla rutors totala stamuttag. Vägdd tidsåtgång per ruta summeras slutligen, detta resulterar i en genomsnittlig tidsåtgång per stam för hela ytan. Formler är anpassade för metod 0, 1.1 och 2.

$$T_{skörd,tot} = (T_{skörd,1} + T_{skörd,2} + T_{skörd,3} + T_{skörd,4} + T_{skörd,5})/V_{medel} \quad (13.) \quad (G_0\text{-minut}/m^3\text{fub})$$

$T_{skörd,i}$ = tidsåtgång för skördarmoment "i", i enheten G_0 -minut/stam.

V_{medel} = beståndets medelstamsvolym (se tabell 5 för grundscenariovärde)

De olika skördarmomenten definieras i tabell 3.

Tabell 3. Beskrivning av tidsåtgångsvariabler för beräkning av skördarproduktivitet. Alla variabler har enheten G₀-minuter/stam förutom total tidsåtgång som har enheten G₀-minut/m³fub

Table 3. Explanation of time consumption variables for calculation of harvester productivity.

All variables have the unit G₀-minutes/stem, except total time effort with the unit G₀-hours/m³sub

Variabler	Definition
$T_{skörd,tot}$	Total tidsåtgång för skördaren
$T_{skörd,1}$	Fällning; tid från att aggregat påbörjar kap av stam (gäller första stammen vid ackumulering, fler rotkap kan ingå) och slutar vid kap av första virkesbiten vilket innebär att kranrörelse från avverkningspunkt till upparbetspunkt samt ackumulering vid flerträdshantering ingår
$T_{skörd,2}$	Upparbetning; från första kapet till kap av topp
$T_{skörd,3}$	Kranrörelse tom; från tid då aggregatet kapar toppen tills det påbörjar kap av nästa stam eller stannar (exempelvis för en förflyttning, momentet fortsätter då när kranen fortsätter sin förflyttning)
$T_{skörd,4}$	Körning av skördaren; har lägst hierarki bland momenten, dvs. gäller när maskin körs utan att något av de ovanstående momenten fortgår, startar när hjul börjar och slutar när hjul är still
$T_{skörd,5}$	Konstant för övrig tid; denna kan exempelvis användas för att lägga till tidsökning vid besvärande underväxt

2.4.2 Skördarmoment nivå 1

Tidsåtgång beräknas i G₀-minut/stam för varje ruta och multipliceras med rutans andel av det totala stamuttaget. De enskilda rutornas tider adderas sedan för de 26 kolumnerna och de 3 raderna (78 rutor) vilket ger genomsnittlig tidsåtgång per stam. Beräkningarna bygger på flerträdshantering vilket innebär att tider divideras med andel flerträdshantering. Utan ackumulering av flera trädstammar sätts S_{ack}^z till 1.

Fällning med ackumulering av flera trädstammar:

Tidsåtgång för kap, ackumulering av flera trädstammar och kranförflyttning till närmsta upparbetspunkt.

$$T_{skörd,1} = \sum_{y=1}^3 \sum_{x=1}^{26} (((K_{kap} + V_{medel} \times K_{mp}) \times S_{ack}^z + D^z / H\ddot{O}_{ms}^v + (K_{kaf}^v + (D_{x,y} + k_y) / H\ddot{O}_{up}^v)) / S_{ack}^z) / 60 \times R_{x,y}$$

$$k_y = \begin{cases} D_{sf}, & \text{om } x = 1 - 8 \\ 0, & \text{om } x > 8 \end{cases}$$

(14.) (G₀-minut/stam)

K_{kap} =konstant för kortast kaptid, se bilaga 2 för värde.

K_{mp} =konstant för medelstamsvolymens påverkan på kaptiden, se bilaga 2 för värde.

S_{ack}^z =antal stam vid flerträdshantering, per krancykel, i zon "z", se bilaga 2 för värde.

D^z = genomsnittlig distans mellan stammar (alltså avverkningspunkter) vid ackumulering i zon "z".

$H\ddot{O}_{ms}^v$ =hastighet för förflyttning av aggregat mellan stammar vid ackumulering från väg "v" (stickväg eller stråk), se bilaga 2 för värde.

K_{kaf}^v = konstant för kortaste tid för förflyttning av aggregat med stam till upparbetningspunkt från väg "v", se bilaga 2 för värde.

$HÖ_{up}^v$ = hastighet för förflyttning av aggregat med stam till upparbetningspunkt från väg "v", se bilaga 2 för värde.

D_{sf} = distans för stamflytt vid arbete från stickväg, avser distansökningen på grund av stamflytt till annan upparbetningspunkt än den närmaste, berör endast kolumn 1-8, se bilaga 2 för värde.

k_y = konstant, ersätts med värde för ökad stamflytt vid arbete från stickväg, ersätts med 0 vid arbete från beståndsstråk.

Upparbetning:

Tidsåtgången vid upparbetning beror främst på grovleken hos den avverkade stammen. För en klen stam som bara räcker till en virkesbit nära minsta tillåtna minimidiameter blir tidsåtgången minimal och representeras av konstanten 0,0359. Med en stigande medelstamsvolym ökar tidsåtgången, vilket konstanten 1,1368 representerar.

$$T_{skörd,2} = \sum_{y=1}^3 \sum_{x=1}^{26} (((0,0359 + 1,1368 \times (V_{medel} \times S_{ack}^z)) \times K_n / S_{ack}^z) \times R_{x,y}) \quad (15.) \quad (G_0\text{-minut/stam})$$

K_n = konstant för justering av tidsåtgång i upparbetning före dividering av antal ackumulerade stammar, se bilaga 2 för värde.

Kranrörelse med tomt aggregat:

Tiden för kranrörelse baseras främst på distansen mellan upparbetningspunkt och avverkningspunkt för en given ruta.

$$T_{skörd,3} = \sum_{y=1}^3 \sum_{x=1}^{26} ((D^z / HÖ_{ta}^v / S_{ack}^z / 60) \times R_{x,y}) \quad (16.) \quad (G_0\text{-minut/stam})$$

$HÖ_{ta}^v$ = hastighet för förflyttning av tomt aggregat från väg "v", se bilaga 2 för värde.

Körning:

Tidsåtgång vid körning beräknas utifrån körd sträcka, körhastighet samt beståndets förutsättningar, definierat av ytstruktur- och lutningsklass. I första täljaren (formel 17) divideras arealen 10 000 m² med avståndet mellan vägarna för att få körd distans/ha, 10 000 multipliceras med 100 för att få uträkningen i tidsenheten centiminuter/träd anpassat för uträkningar i berörd parentes (därav 10 000 000). Hela talet divideras sedan med 100 och med andelen ackumulerade stammar för att få uträkningen i G₀-minuter/stam istället för centiminuter/ackumulerade stammar.

$$T_{skörd,4} = \sum_{y=1}^3 \sum_{x=1}^{26} \left(\left(\left(10\,000\,000 / \left(\frac{SA^m}{AV} \right) \times S_u \times HÖ_{kör}^v \right) \times \left(1 + \left(\frac{50}{S_u} \right) - (0,1 \times YT) - (0,1 \times LU) \right) \right) / 100 / S_{ack}^z \right) \times R_{x,y}$$

(17.) (G₀-minut/stam)

AV= antal vägar, vid gallring; utan stråk AV=1, ett stråk AV=2, två stråk AV=3.

HÖ_{kör}^v= hastighet för körning vid väg "v" med skördare, se bilaga 2 för värde.

YT= ytstrukturklass, se tabell 5 för värde.

LU= lutningsklass, se tabell 5 för värde.

Övrig tid:

T_{skörd,5}= konstant för övrig tid hos skördaren, kan användas för justering av tidsåtgång för delar som inte ingår i modell. Se bilaga 2 för värde (G₀-sekunder/m³fub).

2.4.3 Skördarmoment nivå 2

Distans mellan träd vid flerträdshantering, zon 1:

Vid flerträdshantering förflyttas aggregatet under fällningen mellan fler stammar. Andelen träd per fällning justeras som genomsnittligt antal träd per fällning. Om ingen flerträdshantering görs sätts S_{ack}^z till 1.

$$D^z = D^1 = \left(\sqrt{\left(\frac{10\,000}{S_f} \right) \times (S_{ack}^z - 1)} \times \left(\frac{S_u^s}{S_u} \times SF_{es}^1 \right) + \left(\sqrt{(10\,000 - 10\,000 \times (SB^m / SA^m)) / S_u - S_u^s \times (S_{ack}^z - 1)} \right) \times \left(\frac{(S_u - S_u^s) \times SF_{es}^1}{(S_u^s + (S_u - S_u^s) \times SF_{es}^1)} \right) \right)$$

(18.) (meter)

SF_{es}¹= stam i zon "1" i del av skog som ej är stickväg.

Stamuttag i zon 1, ej stickväg:

Uträkningen ger andel areal i del av zon 1 som ej är i stickvägen. Stickvägsavstånd sätts till dubbla kranlängden för metod 0 och kranräckvidden kan på så vis aldrig överskridas. För metod 1 och 2 är stickvägsavståndet istället en variabel som tillförs.

$$SF_{es}^1 = ((KL \times NR_v^m) - SB^m / 2) / (SA^m - SB^m)$$

(19.) (andel)

Distans mellan träd vid flerträdshantering, zon 2 och 3:

$$D^z = D^2 = D^3 = \sqrt{\left(\frac{(10\,000 - SB^m / SA^m \times 10\,000)}{(S_u - S_u^s)} \right) \times (S_{ack}^z - 1)}$$

(20.) (meter)

2.4.4 Tidsmodell skotare

Totala tidsåtgången ($T_{skot,tot}$) beräknas som summan av 8 olika arbetsmoment enligt formel 13. Arbetsmomenten definieras i tabell 4. Skotareffektivitet har beräknats i G_0 -minut/ m^3 fub och kan därifrån räknas om till m^3 fub/ G_0 -timme genom att dividera 60 med $T_{skot,tot}$.

$$T_{skot,tot} = T_{skot,1} + T_{skot,2} + T_{skot,3} + T_{skot,4} + T_{skot,5} + T_{skot,6} + T_{skot,7} + T_{skot,8} \quad (21.) \quad (G_0\text{-minut}/m^3\text{fub})$$

$T_{skot,i}$ = tidsåtgång för skotarmoment i , i enheten G_0 -minuter/stam. De olika skotarmomenten definieras i tabell 4.

Tabell 4. Beskrivning av variabler för beräkning av skotarproduktivitet. Alla variabler har enheten G_0 -minuter/ m^3 fub

Table 4. Explanation of time consumption variables for calculation of forwarder productivity. All variables have the unit G_0 -minutes/ m^3 sub

Variabler	Betydelse
$T_{skot,tot}$	Total tidsåtgång för skotaren
$T_{skot,1}$	Lastning; tid då virke lastas på skotaren, gäller endast så länge kranen rör sig. Startar när gripen lyfts ur lastbäraren och slutar när gripen lagts tillrätta med full lastbärare
$T_{skot,2}$	Lossning; tid då virke lossas från skotaren, gäller endast så länge kranen rör sig
$T_{skot,3}$	Körning under tiden skotaren är lastad och kranen ej rör sig
$T_{skot,4}$	Körning under tiden skotaren har tom lastbärare och kranen ej rör sig
$T_{skot,5}$	Körning under tiden lastning pågår då kranen ej rör sig
$T_{skot,6}$	Sorteringstid, tidspåverkan av antalet sortiment
$T_{skot,7}$	Sortimentstid, bedömd sortimentspåverkan i tid beroende på skogens grovlek
$T_{skot,8}$	Konstant för övrig tid hos skotaren, kan användas för justering av tidsåtgång för delar som inte ingår i modell

Formler för effektivitetsberäkningar (formel 12 och 13) har brutits ned, för varje nedbrytning av en formel tillkommer en ny nivå.

2.4.5 Skotarmoment nivå 1

Lastning:

Tidsåtgången för lastning fås genom att dividera tidsåtgången per krancykel med volym per krancykel.

$$T_{skot,1} = T_{kc}^{last} / V_{grip}^{last} / 60 \quad (22.) \quad (\text{G}_0\text{-minut/m}^3\text{fub})$$

T_{kc}^{last} = tid i sekunder per krancykel vid lastning av skotare.

V_{grip}^{last} = lastad volym/krancykel.

Volymen per krancykel antogs bero på virkeshögarnas storlek och gripstorlek enligt bedömningar vid fältbesök. Gripstorlek berodde på skotarens lastvolym, där det antogs att stora skotare har stor grip och därmed möjlighet att lasta mer per krancykel.

Lossning:

Tid för lossning fås genom att dividera tid per krancykel med volym per krancykel.

Volymen per krancykel är kopplad till lastvolymens storlek, där volymen per krancykel är uppdelad i tre storleksklasser.

$$T_{skot,2} = T_{kc}^{loss} / V_{grip}^{loss} / 60$$
$$V_{grip}^{loss} \begin{cases} 0,65, & \text{om } 9,49 < V_{lb} < 12,89 \\ 0,8, & \text{om } 12,9 < V_{lb} < 14,29 \\ 0,95, & \text{om } 14,3 < V_{lb} \end{cases} \quad (23.) \quad (\text{G}_0\text{-minut/m}^3\text{fub})$$

T_{kc}^{loss} = tid i sekunder per krancykel vid lossning av skotare.

V_{grip}^{loss} = genomsnittlig volym/krancykel vid lossning, se bilaga 2 för värde.

V_{lb} = lastad volym/lass, se tabell 5 för värde.

Körning med lass:

För att få tidsåtgången för körning med last divideras körd distans med körhastigheten och lastvolym.

$$T_{skot,3} = D_{full}^{skot} / HO_{körning}^{full} / V_{lb} \quad (24.) \quad (\text{G}_0\text{-minuter/m}^3\text{fub})$$

D_{full}^{skot} = distans körning för skotare med fullt lass.

$HO_{körning}^{full}$ = hastighet för skotare vid körning med fullt lass.

Körning utan lass:

Enkelt terrängtransportavstånd per lass divideras med hastighet och lastad volym.

$$T_{skot,4} = TA/HO_{körning}^{tom}/V_{lb} \quad (25.) \quad (G_0\text{-minuter}/m^3\text{fub})$$

TA = enkelt terrängtransportavstånd, se tabell 5 för värde.

$HO_{körning}^{tom}$ = hastighet för skotare vid körning med tom lastbärare.

Körning medan lastning pågår:

Körd sträcka vid lastning varierar med bl.a. virkeskoncentration och sortimentsfördelning vid stickväg.

$$T_{skot,5} = ((V_{lb}/(\frac{V_{medel} \times S_u}{10\,000/S A^m}))/AS \times K_{konc}))/HO_{körning}^{lastn}/V_{lb} \quad (26.) \quad (G_0\text{-minuter}/m^3\text{fub})$$

AS = antal sortiment, tabell 5 för värde.

K_{konc} = koncentrationspåverkan, se bilaga 2 för värde.

$HO_{körning}^{lastn}$ = hastighet för skotare vid körning under lastning.

Sortering:

Påverkan av antal sortiment på sorteringstiden.

$$T_{skot,6} = (-0,1 + 0,1 \times AS)/K_{tid}^{G_{15}G_0} \quad (27.) \quad (G_0\text{-minut}/m^3\text{fub})$$

$K_{tid}^{G_{15}G_0}$ = konstant för omräkning av tid från G_{15} till G_0 , se bilaga 2 för värde.

Sortiment:

Tidspåverkan pga. sortiment som en effekt av medelstamsvolymen.

$$T_{skot,7} = (0,05 - V_{medel})/K_{tid}^{G_{15}G_0} \quad (28.) \quad (G_0\text{-minut}/m^3\text{fub})$$

Grundberäkning bygger på en medelstamsvolym på $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$ (Brunberg, 2004).

Övrig tid:

$T_{skot,8}$ = konstant för övrig tid hos skotaren, kan användas för justering av tidsåtgång för delar som inte ingår i modell, G_0 -minuter/ $m^3\text{fub}$.

2.4.6 Skotarmoment nivå 2

Tid per krancykel vid lastning:

Tidsåtgången vid lastning definieras av avståndet mellan lastbärarens mitt och virkeshögens mitt vilket divideras med kranens hastighet. Avståndet till virkeshögens mitt beräknas som avståndet från stickvägens mitt (vilket antas vara mittpunkten på skotarens lastbärare) till virkeshögens närmsta ände plus halva virkeshögens längd.

$$T_{kc}^{last} = \left(\frac{(D_{virke}/2 + D_{v\ddot{a}})}{HO_{ku}^{last}} \right) + \left(\frac{(D_{virke}/2 + D_{v\ddot{a}})}{HO_{ki}^{last}} \right) \quad (29.) \quad (G_0\text{-minut/krancykel})$$

HO_{ku}^{last} = hastighet för kran ut vid lastning av skotaren, se bilaga 2 för värde.

HO_{ki}^{last} = hastighet för kran in vid lastning av skotaren, se bilaga 2 för värde.

Volym per krancykel vid lastning:

Beräkning av virkesvolym per krancykel. Förklaring av storleksklasser finns vid formel 19.

$$V_{grip}^{last} = \begin{cases} V_{grip}^{loss} \times V_{andel}^{last}, & V_{vh} > V_{grip}^{loss} \times V_{andel}^{last} \\ V_{vh}, & V_{vh} < V_{grip}^{loss} \times V_{andel}^{last} \end{cases} \quad (30.) \quad (m^3\text{fub/krancykel})$$

V_{andel}^{last} = andel av grips storlek som bedöms kunna nyttjas vid lastning, bedömning bygger på uppskattning från fältstudier, se bilaga 2 för värde.

V_{vh} = medelvolym per virkeshög.

Medelvolym per virkeshög:

Den genomsnittliga virkesvolymen per virkeshög varierar med variabler som medelstamsvolym, sortimentsfördelning och stickvägsavstånd.

$$V_{vh} = K_{gt} \times \left(\frac{\left(\frac{(V_{medel} \times S_u)}{(10\ 000/SA^m)} \right) \times D_{vh}}{(1 + AS \times K_{konc})} \right) \quad (31.) \quad (m^3\text{fub/virkeshög})$$

K_{gt} = ett givet sortiments andel av den totala virkeskoncentrationen. Se bilaga 2 för värde.

Tid per krancykel vid lossning:

Avståndet mellan lastbäraren och vältan divideras med kranens hastighet ut till vältan respektive tillbaka från vältan.

$$T_{kc}^{loss} = D_{av}/HO_{ku}^{loss} + D_{av}/HO_{ki}^{loss} \quad (32.) \quad (G_0\text{-minut/krancykel})$$

D_{av} = distans från mitten av lastbäraren till virkets mitt på avlägg.

HO_{ku}^{loss} = skotarens hastighet för kran ut vid delmoment lossning, se bilaga 2 för värde.

HO_{ki}^{loss} = skotarens hastighet för kran in vid delmoment lossning, se bilaga 2 för värde.

Distans till avlägg:

Avstånd mellan lastbärarens mitt och virkesvältans mitt.

$$D_{av} = D_{virke}/2 + D_{la} \quad (33.) \quad (\text{meter})$$

D_{la} = distans från lastbärarens mitt till avläggets närmaste kant, se bilaga 2 för värde.

Distans för körning med fullt lass:

Vid långa skotningsavstånd subtraheras körd distans vid lastning från enkelt terrängtransportavstånd. För att inte få negativt tal vid kortare skotningsavstånd bortses från körning med full lastbärare om körd distans under lastning är större än enkelt terrängtransportavstånd.

$$D_{full}^{skot} = \begin{cases} TA - D_{lastn}^{skot}, & \text{om } TA - D_{lastn}^{skot} > 0 \\ 0, & \text{om } TA - D_{lastn}^{skot} \leq 0 \end{cases} \quad (34.) \quad (\text{meter})$$

D_{lastn}^{skot} = distans körning för skotare under lastning.

Distans för körning under lastning:

Kör distans under pågående lastning beräknas utifrån virkeskoncentration vid stickväg och sortimentsfördelning.

$$D_{lastn}^{skot} = V_{lb} / \left(\left(\frac{V_{medel} \times S_u}{10\,000 / SA^m} \right) / (AS \times K_{konc}) \right) \quad (35.) \quad (\text{meter})$$

Körhastighet:

Beräkning av skotarens hastighet vid körning utgår från körning med tom lastbärare (Brunberg, 2004). Om hastigheten bedöms vara högre eller lägre än det värde given formel ger kan K_b^o användas för att justera hastigheten oberoende av last på lastbärare (formel 31).

Hastighet för körning med skotaren vid moment ”mom”:

$$HO_{körning}^{mom} = \left((75 - 8,2 \times YT - 1,4 \times LU^2) / K_{tid}^{G_{15}G_0} \right) \times K_{h,o} \times k_z$$
$$k_z \begin{cases} K_{ff}^{full}, & \text{om mom} = \text{full} \\ 1, & \text{om mom} = \text{tom} \\ K_{ff}^{lastn}, & \text{om mom} = \text{lastn} \end{cases} \quad (36.) \quad (\text{meter/minut})$$

$K_{h,o}$ = konstant för justering av formel (Brunberg, 1997) för skotares hastighet, se bilaga 2 för värde.

K_{ff}^{full} = konstant för justering av hastighet vid körning med full lastbärare, se bilaga 2 för värde.

K_{ff}^{lastn} = konstant för justering av hastighet vid körning under pågående lastning, se bilaga 2 för värde.

Tabell 5. Antagna värden på variablerna i grundscenariot. Värden för konstanter som inte har varierats i analysen redovisas i bilaga 2

Table 5. Values of the variables for the baseline scenario. Not presented constants values are showed in appendix 2

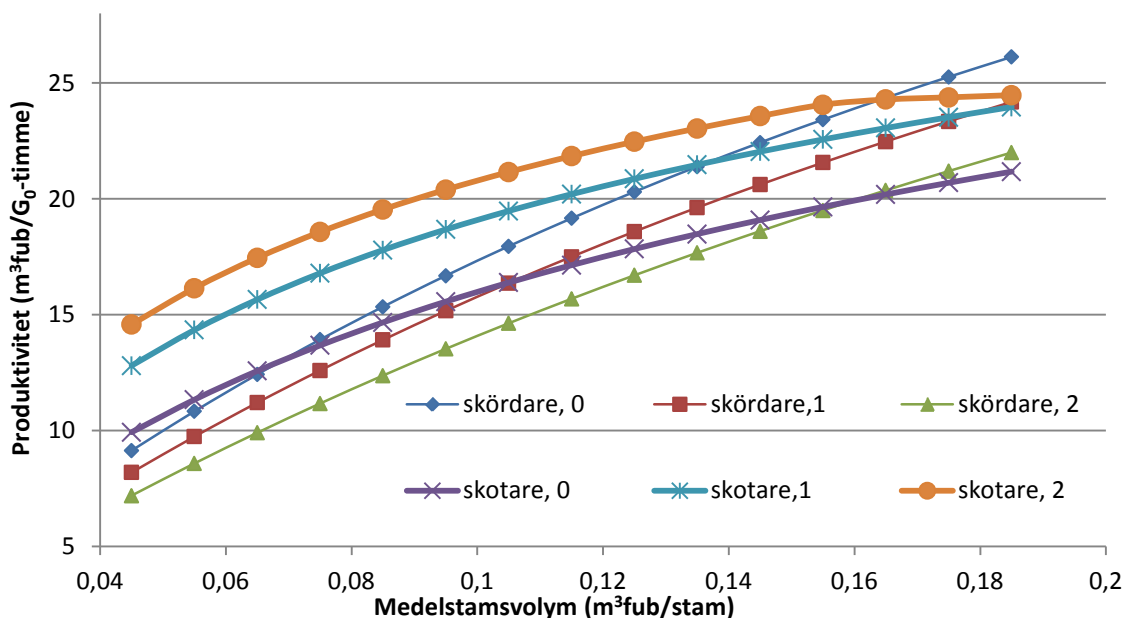
Beteckning	Enhet	Variabel	Värde
<i>YT</i>		ytstruktursklass, 1-5	1,2
<i>LU</i>		lutningsklass 1-5	1,2
<i>V_{medel}</i>	m ³ fub/stam	medelstamsvolym uttaget	0,11
<i>TA</i>	m	enkelt terrängtransportavstånd	400
<i>S_u</i>	st/ha	stamuttag	620
<i>S_f</i>	st/ha	stamantal före gallring	2070
<i>S_u/S_f</i>	stamuttag/stam före gallring	gallringsstyrka	30 %
<i>AS</i>		antal sortiment	4
<i>S_u × V_{medel}</i>	m ³ fub/ha	volymuttag	68,2
<i>SA⁰</i>	m	stickvägsavstånd, 0	20
<i>SA¹</i>	m	stickvägsavstånd, 1	30
<i>SA²</i>	m	stickvägsavstånd, 2	38
<i>SB⁰</i>	m	stickvägsbredd, 0	4,2
<i>SB¹</i>	m	stickvägsbredd, 1	4,2
<i>SB²</i>	m	stickvägsbredd, 2	4,2
	kr/G ₀ -timme	kostnad skördare	1050
	kr/G ₀ -timme	kostnad skotare	850
<i>KL</i>	m	kranlängd, skördare	10
<i>V_{lb}</i>	m ³ fub	laststorlek skotare	13

3 Resultat

Analyserna har gjorts för ett grundscenario med variabelvärden enligt tabell 5 och konstantvärden enligt bilaga 2, om inget annat nämns. Siffror i figurers linjerubriker symboliserar den metod de tillhör, exempelvis; ”skördare 1” = skördare metod 1. Gallring med stickvägar utan beståndsstråk benämns som metod 0, gallring med ett beståndsstråk mellan stickvägarna benämns som metod 1 (avser då strukturval 1) och gallring med två beståndsstråk mellan stickvägarna benämns som metod 2. Observera att x- och y-axel inte börjar i origo i någon av figurerna.

3.1 Produktivitet

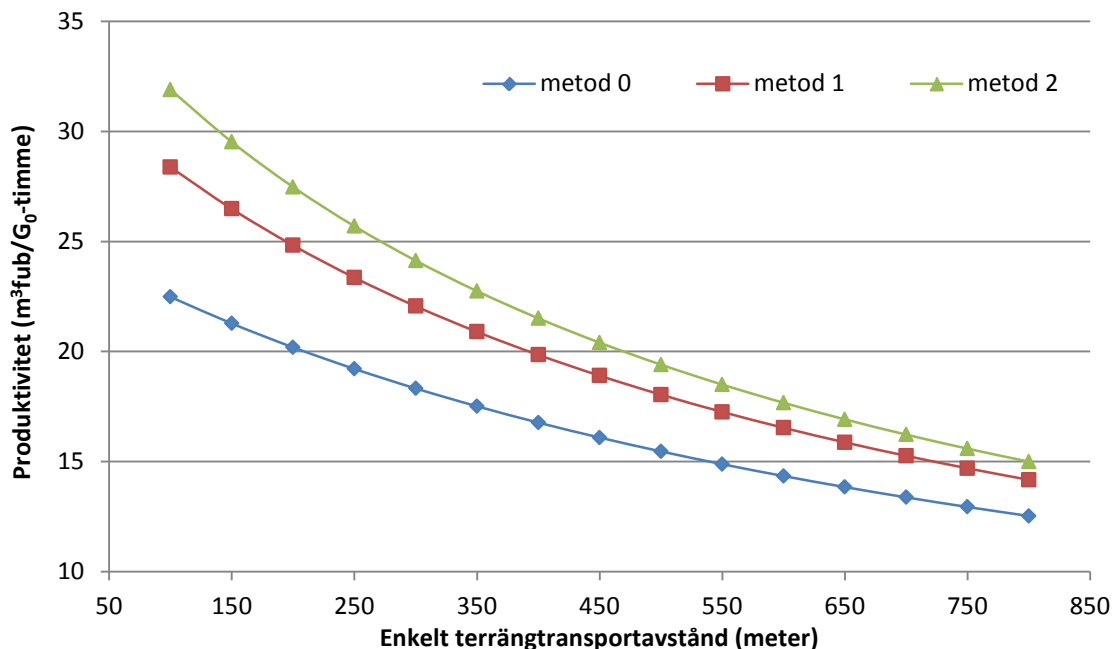
I klenare skog visar simuleringen att skotarna generellt har lite högre produktivitet än skördarna när metod 1 eller 2 används. Detta beror på att det är särskilt tidskrävande för skördaren att avverka och uppjobba klena träd. Grövre skog ökar skördarens produktivitet. För metod 0 är det balans mellan skördaren och skotaren vid en medelstamsvolym på ca 0,065 m³fub, för metod 1 är balansen vid ca 0,185 m³fub men för metod 2 blir inte simuleringens medelstamsvolym tillräckligt grov för att skördare och skotare ska hamna i balans. Skördarens arbete är mest effektivt när det utförs från stickväg vilket medför att prestationen är högst för metod 0 men lägst för metod 2 då metod 2 behöver avverka största andelen träd från stråken. Skotarnas arbete effektiviseras av ett ökat stickvägsavstånd och därför är det inbördes förhållandet motsatt skördarnas prestation då stickvägsavståndet är större med fler antal stråk mellan stickvägarna (figur 9).



Figur 9. Produktivitet för enskilda maskiner som funktion av skördad medelstamsvolym. Siffran efter maskintypen avser metoden. Exempelvis betyder ”skördare, 0” skördare med metod 0 (gallring med stickvägar, utan beståndsstråk).

Figure 9. Productivity for individual machines as a function of harvested mean stem volume. The number after the machine type defines the method, for example “skördare”, 0” is harvester method 0 (thinning with strip roads, without intermediate passages).

Produktivitet för skotaren minskar med ökat terrängtransportavstånd och skillnaderna mellan metoderna minskar också. Är avståndet kort får momenten lastning och lossning större andel av tiden varför variabler som virkeskoncentration vid stickväg får större påverkan (figur 10).



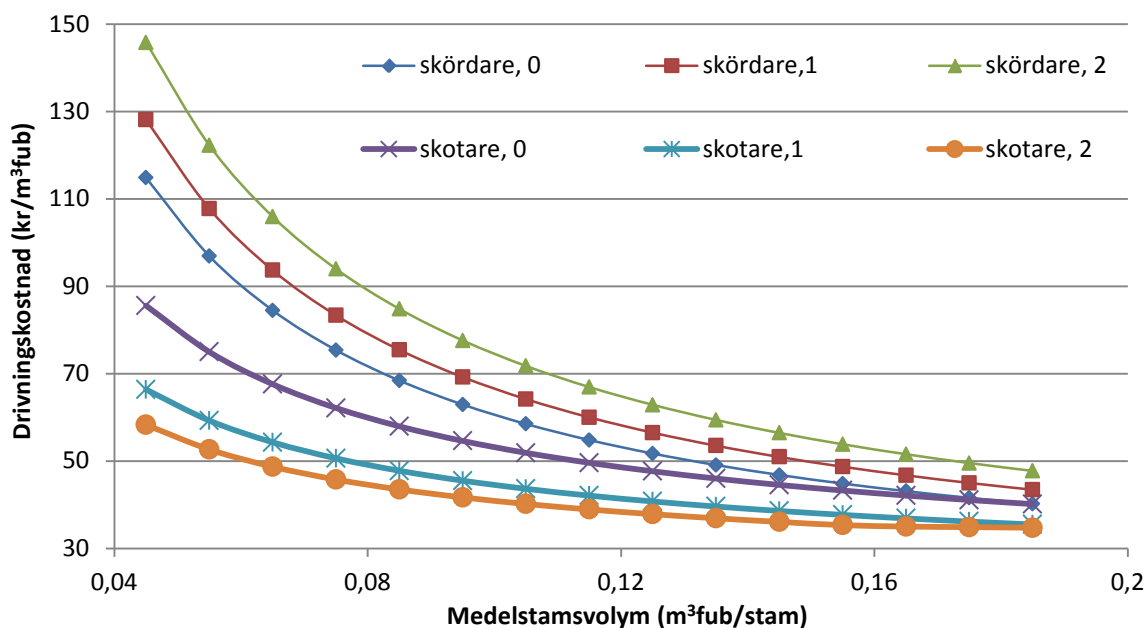
Figur 10. Produktivitet för skotare som funktion av enkelt terrängtransportavstånd.

Figure 10. Productivity for forwarder as a function of the one-way transport distance.

3.2 Kostnader

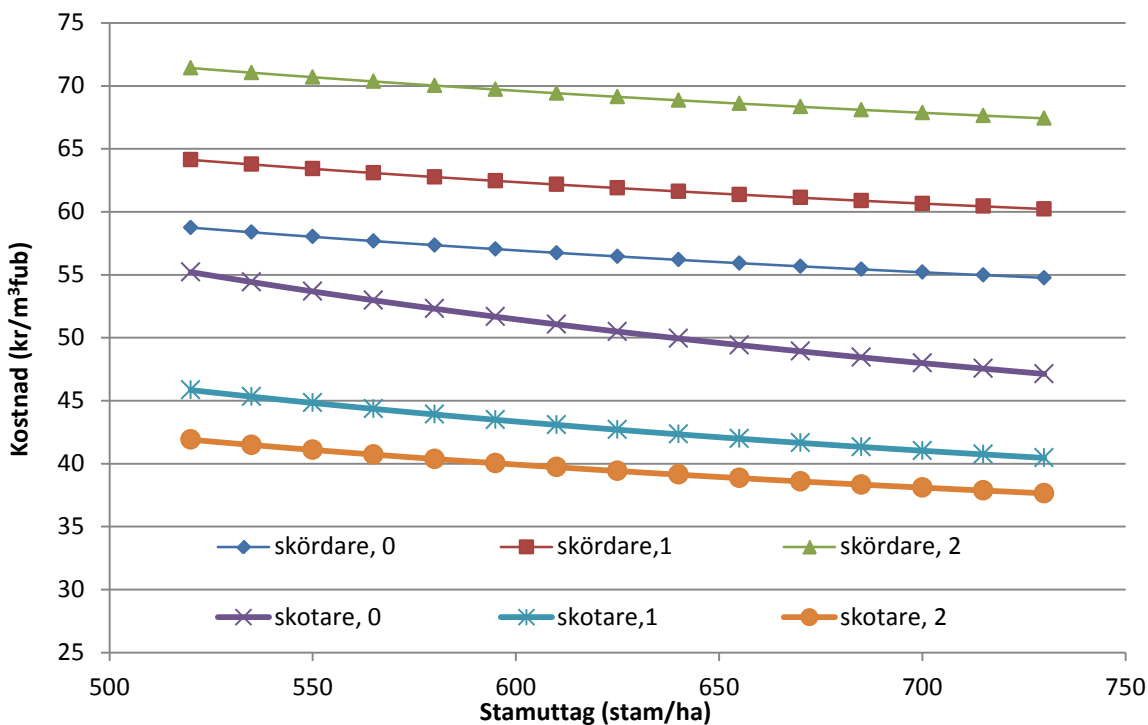
3.2.1 Enskilda maskiner

Skördarkostnaden är högst för metod 2, följt av metod 1 och lägst för metod 0. För skotarkostnaderna är däremot ordningen mellan metoderna omvänd. Skördarkostnaderna varierar relativt lite mellan metoderna beroende av medelstamsvolym, eftersom tidsökningen orsakad av andelen stråkkörning inte beror på medelstamsvolymen. Skillnaderna i skotarkostnaderna mellan metoderna minskar dock med ökad medelstamsvolym, eftersom virkesvolymerna vid stickväg är av stor vikt. Klen medelstamsvolym resulterar i låg virkesvolym vid stickväg, vilket gör att det krävs många krancykler per lastad volymenhet (figur 11).



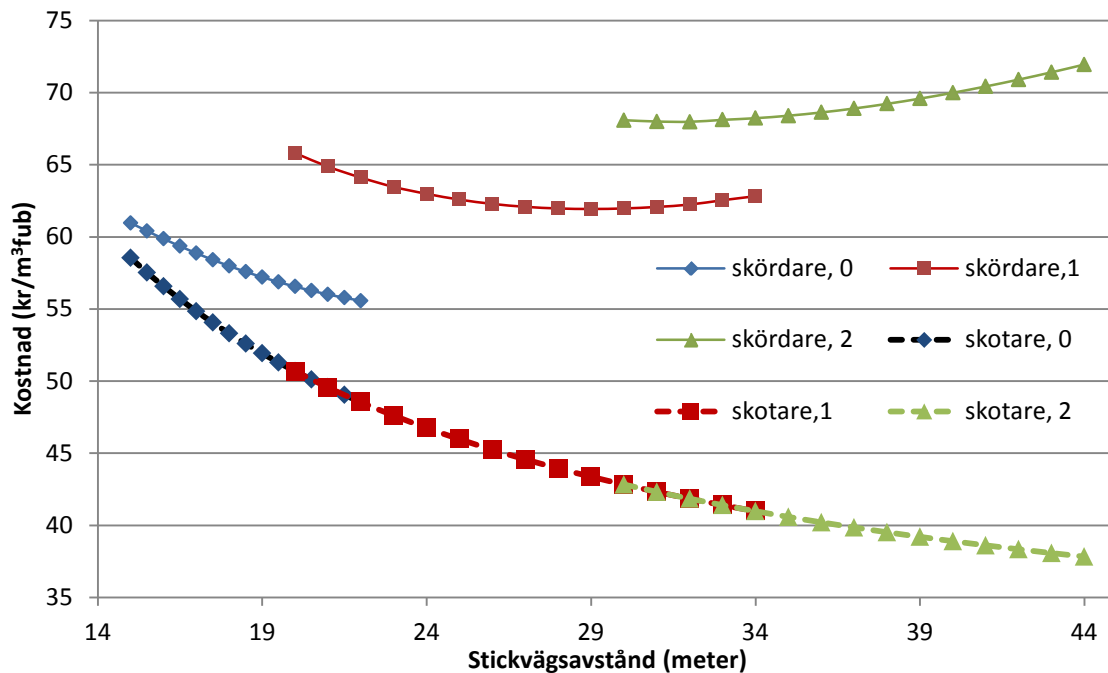
Figur 11. Drivningskostnad per maskin som funktion av skördad medelstamsvolym.
Figure 11. Logging cost (SEK) for each machine as a function of harvested mean stem volume, cubic meter solid under bark per stem (m^3 sub/stem).

Ett ökat stamuttag påverkar skotarkostnaderna något starkare än skördarkostnaderna, på grund av effekten av mer virke vid stickväg (figur 12). Ändrat stamuttag påverkar dock inte metodernas inbördes rangordning.



Figur 12. Stamuttagets inverkan på kostnaden för enskilda maskiner.
Figure 12. Cost for individual machines as a function of number of removed stem.

För skördaren ger ett stort stickvägsavstånd längre krancykler per avverkat träd, medan det ger skotaren färre krancykler tack vare en högre virkeskoncentration. Två stråk istället för ett stråk gör att en större andel träd avverkas från stråk där körning är svårare och ger därmed högre kostnad per volymenhet för skördaren. Körtiden per träd blir dock lägre med större avstånd mellan vägarna (både stickväg och stråk) varför skördarkostnaden inledningsvis sjunker (figur 13). För metod 1 och 2 återfinns skördarens optimala stickvägsavstånd vid ca 29 respektive 32 meter. Skotningskostnaden påverkas av stickvägsavståndet men inte av metodvalet (figur 13).

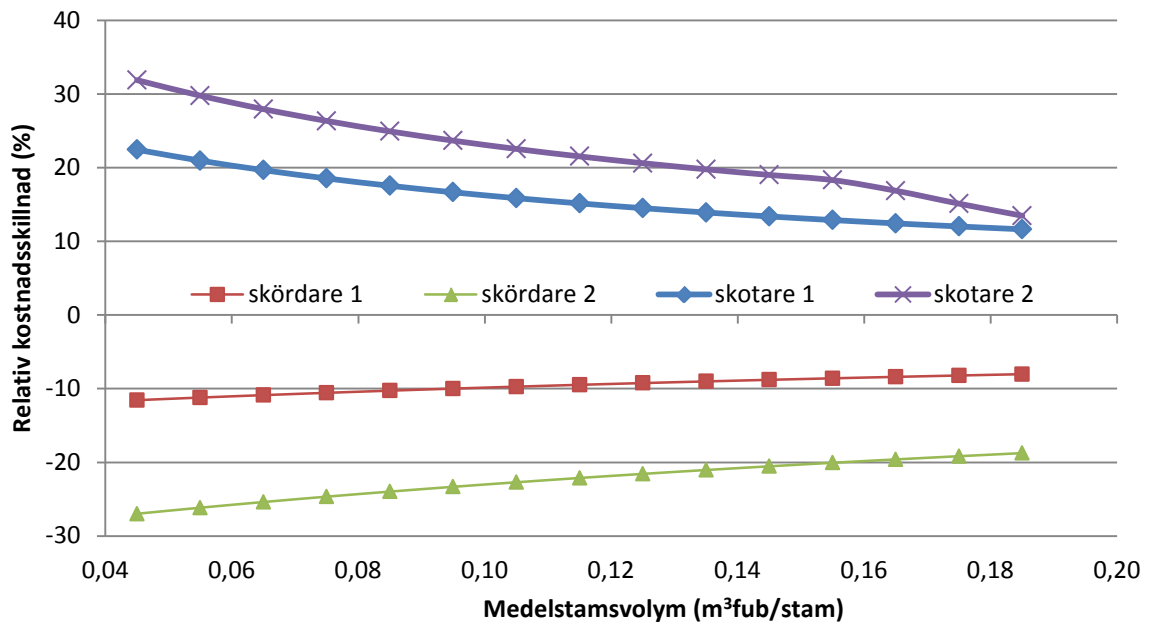


Figur 13. Kostnadsförändring för enskilda maskiner vid ändrat stickvägsavstånd.
Figure 13. Cost change for individual machines with changing strip road distance.

Stora relativa skillnader i kostnader ses när enskilda maskiner jämförs mellan metoderna vid olika medelstamsvolym (figur 14). Vid en medelstamsvolym på 0,135 m³fub är exempelvis skotningskostnaden ca 20 % lägre med metod 2 än med metod 0.

Vid högre medelstamsvolym blir skillnaderna mellan stråkmotoderna och stickvägsmetoden mindre. När medelstamsvolymen och därmed virkeshögarna blivit för stora för att kunna lastas i en enda krancykel försvagas skotarens produktivitetsökning med högre kostnad som följd (skotare 2 i figur 14, samt metod 2 i figur 17).

Skördarens produktivitetsförlust vid metod 1 vägs upp så länge skotaren kan tillgodogöra sig ökningen av virkeskoncentrationen vid stickväg, för metod 2 är skördarens produktivitetsförlust lite för stor för att skotaren ska kunna väga upp med sin högre produktivitet. Då skotaren inte klarar det ses den tydliga påverkan både för skotarens kostnad och totala drivningskostnaden. Detta blir ännu tydligare med hög upplösning (jämför figur 14 och 17).

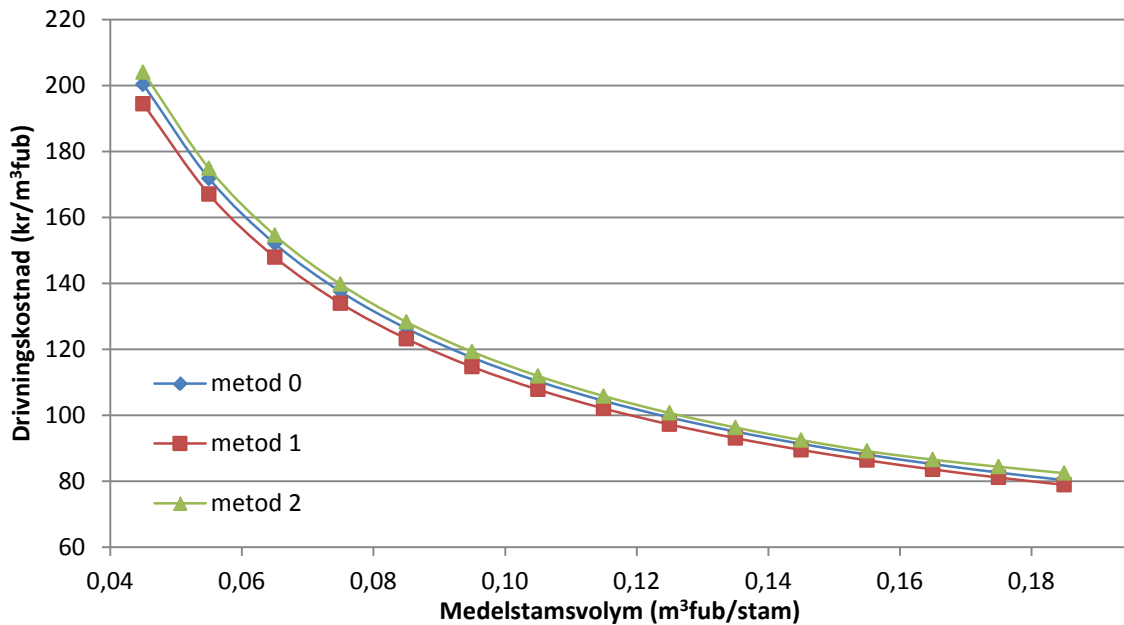


Figur 14. Stråkmotodernas relativa kostnadsskillnad jämfört med metod 0 som effekt av skördad medelstamsvolym. En positiv kostnadsskillnad innebär att den enskilda maskinen (metod 1 eller 2) är billigare än samma maskin när metod 0 används.

Figure 14. Relative difference in cost from method 0 to method 1 and 2 as a function of harvested mean stem volume, difference in percent in SEK/m³ sub. When the separate machine (method 1 och 2) is less expensive than method 0 a positive difference in costs is shown. Specific line for each machine.

3.2.2 Skördare och skotare sammanslaget

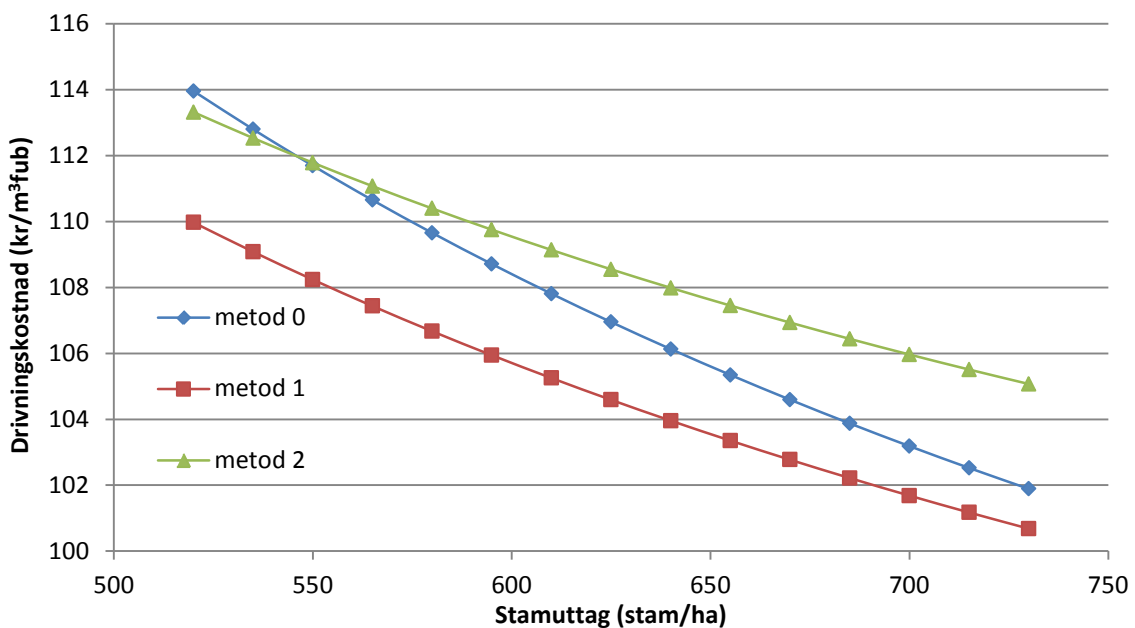
När metodernas påverkan på både skördare och skotare (jämför med figur 11) slås ihop visar det sig att effekterna näst intill tar ut varandra. Medelstamsvolymen har således liten påverkan på skillnader mellan metoderna. Inom det undersökta intervallet av medelstamsvolym är metod 2 dyrast, därefter metod 0 och metod 1 är billigast. Skillnaderna mellan den billigaste (metod 1) och den dyraste metoden (metod 2) är 3,6–9,6 kr/m³ fub, dvs. 4,4–4,7 % (figur 15).



Figur 15. Drivningskostnad (dvs. för både skördare och skotare) för de olika gallringsmetoderna som funktion av skördad medelstamsvolym.

Figure 15. Cost for machine system (both harvester and forwarder) as a function of harvested volume per stem, m³ sub.

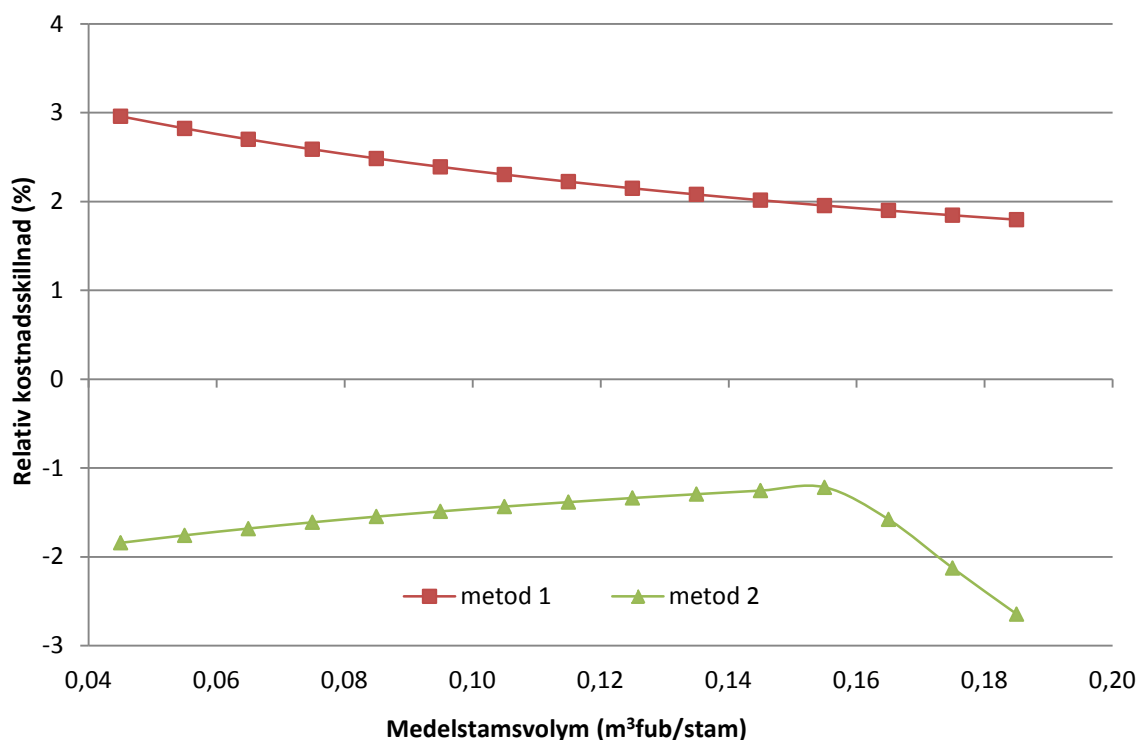
Vid ett ökat stamuttag per ha minskas körtiden per avverkad stam för skördaren samtidigt som virkeskoncentrationen ökar till förmån för skotarens lastningskostnad. Med metodernas maskinkostnader sammanslagna blir effekten av skördarens sänkta körtid per stam för svag jämfört med skotarens kostnadsänkning i lastningen. Skördaren för metod 2 har en relativt lång körsträcka per hektar och större andel avverkningsarbete i stråken vilket försvagar kostnadsänkningens vid ökat stamuttag. Effekterna för metod 0 och 1 blir starkare.



Figur 16. Stamuttagets påverkan på drivningskostnaden per maskinsystem.

Figure 16. Logging cost as a function of stem removal per machine system.

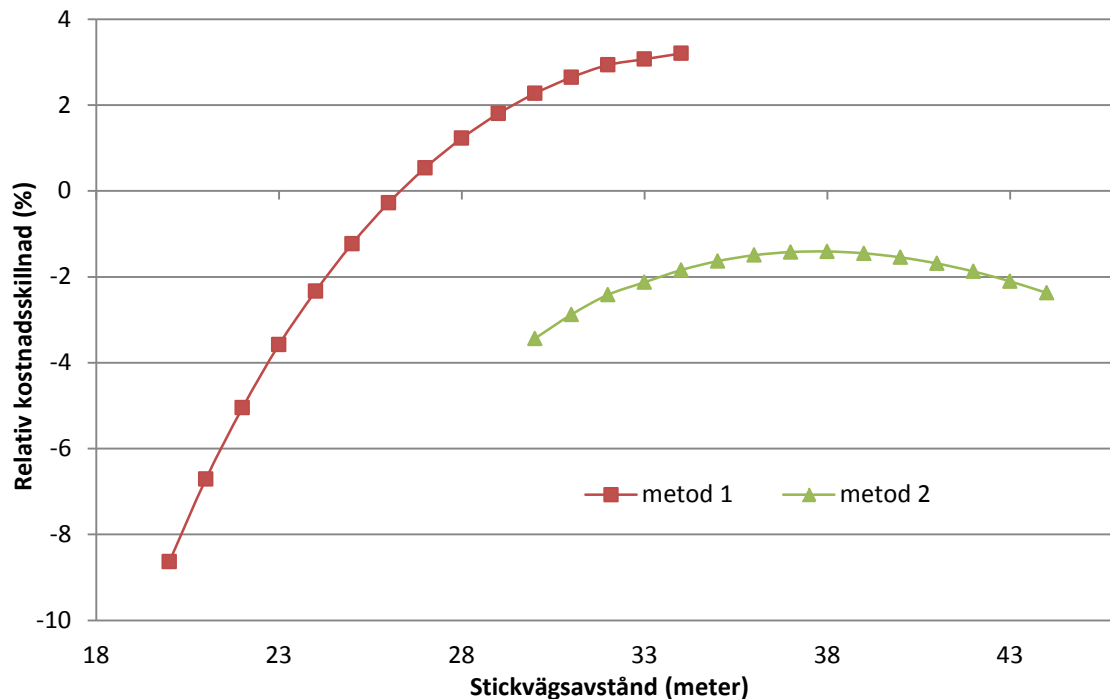
Trots stora skillnader mellan de enskilda maskinerna (figur 11) vid ökande medelstamsvolym blir skillnaderna mellan metoderna små då maskinernas kostnader summeras. Med ökande medelstamsvolym minskar tidsåtgången vid lastning för skotaren då färre krancykler samt kortare lastningssträcka krävs. Vid medelstamsvolymen 0,155 m³fub har virkeskoncentrationen blivit så hög att färre krancykler inte är möjligt för metod 2. Detta får effekten att skotaren inte förmår väga upp skördarens kostnadsförsämring jämfört med metod 0, vilket orsakar en tydlig försämring för metod 2 (figur 17).



Figur 17. Relativ kostnadsskillnad per maskinsystem för metod 1 respektive 2 jämfört med metod 0, som en funktion av medelstamsvolym. Kostnaden är identisk med kostnaden för metod 0 när den relativa skillnaden är noll. Är kostnadsskillnaden positiv är den givna metoden billigare än metod 0.

Figure 17. Relative difference in cost for machine system for method 1 and 2 compared with method 0, as a function of mean stem volume. The cost is identical with the cost for method 0 when the relative difference is zero. When a positive value for the specific method is shown, the method is less expensive than method 0.

Metod 1 blir billigare än metod 0 när stickvägsavståndet överstiger 27 meter. Metod 2 förbättras jämfört med metod 0 med ökande stickvägsavstånd upp till 38 meter för att sedan försämrars (figur 18).



Figur 18. Relativ kostnadsskillnad per maskinsystem för metod 1 respektive 2 jämfört med metod 0, som en funktion av stickvägsavstånd. Kostnaden är identisk med kostnaden för metod 0 när den relativa skillnaden är noll. Är skillnaden mindre än noll är metoden dyrare än metod 0.

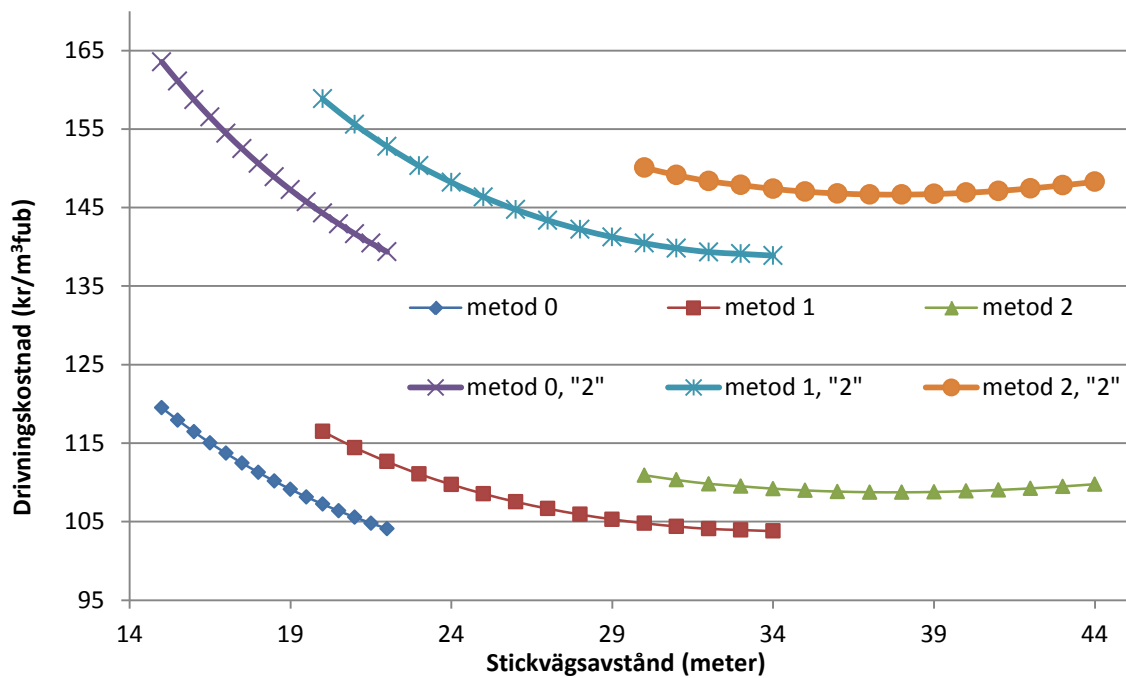
Figure 18. Relative difference in cost for machine system for method 1 and 2 compared with method 0, as a function of strip road distance. The cost is identical with the cost for method 0 when the relative difference is zero. Method 0 is less expensive when the relative cost is shown as less than zero.

3.3 Känslighetsanalyser

3.3.1 Skördare och skotare sammanslaget

Kostnaderna för metoderna påverkas liknande mellan metoderna vid förändring av beståndsförutsättningar och stickvägsavstånd vilket medför att det inbördes förhållandet påverkas svagt. Förhållandet mellan metoderna förändras dock då storlek och kostnad för maskinerna varierar (tabell 6).

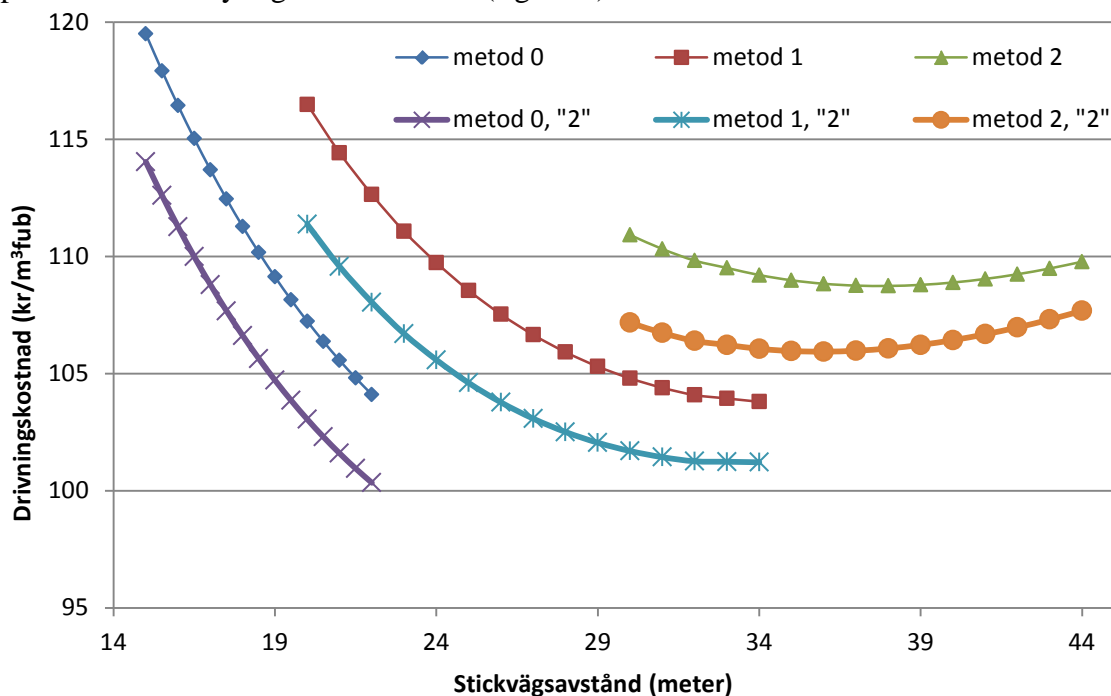
Stickvägsavståndet är för metod 0 definierat som dubbla kranlängden och har därför varierats inom intervallet kranlängd = 7,5–11 meter för metod 0. Metod 1 och 2 har beräknats för fast kranlängd 10 meter (figur 19 och 20).



Figur 19. Drivningskostnad per maskinsystem mot stickvägsavståndet. För exempel "2" är medelstamsvolymen = 0,07 m³fub/stam, istället för grundscenariots 0,11 m³fub/stam. Vid en klenare medelstamsvolym blir drivningskostnaden högre.

Figure 19. Logging cost shown for each machine system as a function of strip road distance. The mean stem volume is = 0,07 m³ solid under bark for example "2", instead of 0,11 m³ solid under bark as in the ground scenario. The logging cost is increased with a decrease of mean stem volume.

Med ett större gallringsuttag sänks drivningskostnaderna och ett optimalt stickvägsavstånd på 38 meter blir tydligt för metod två (figur 20).



Figur 20. Kostnad per maskinsystem som en funktion av stickvägsavståndet. För exempel "2" är gallringsuttaget 33,8 % (stamuttag = 700, lämnade stammar = 1370) istället för 30 % som i grundscenariot. Med ett ökat stamuttag sjunker drivningskostnaden.

Figure 20. Cost per machine system as a function of strip road distance. The thinning strength for example "2" is 33,8% (removed stem=700, stem left=1370) instead of 30% as in the ground scenario. The logging cost decrease with an increase of stem removal.

Kombinationen med en mindre skördare (och fortfarande en lång kran, konventionell gallringsskördare) och en medelstor skotare visar på god effektivitet. Potential ses dock i att ha en skotarmodell med större lastkapacitet. Med lastkapaciteten ökad till 16 m³fub/lass (och därmed större grip) minskas andelen tid för körning full respektive tom. Betydande fördel följer även med att den större storleken på gripen kan tillgodogöra sig effekterna av större virkeskoncentrationer. En större och då även dyrare skotare tillsammans med en skördare i mindre storlek (kranlängd 8 meter) än en konventionell och med lägre timkostnad (950 kr/G₀-timme för båda maskinerna) ger låga kostnader. Skillnaderna mellan metod 0 och 2 blir mycket jämna och samtidigt tydligt dyrare än metod 1 (tabell 6, scenario 2). I exemplet är stickvägsavståndet sänkt till 16 meter för metod 0 samt 35 meter för metod 2 för att spegla den mindre skördarens försämrade räckvidd.

Vid gallring med en större och dyrare skördare (kranlängd 11 meter, kostnad 1100 kr/G₀-timme) i kombination med en mindre och billigare skotare (laststorlek 10 m³fub/lass, kostnad 750 kr/G₀-timme) blir skillnaderna små mellan metoderna i det ekonomiska utfallet, men med en viss nackdel för metod 2. Detta beror på att skördaren med en högre kostnad får större påverkan på totala drivningskostnaden, där sämre produktivitet i stråkgallringen ger nackdel främst för metod 2 (tabell 6, scenario 3).

När timkostnaden för skördaren höjs med 50 kr/G₀-timme (kranlängd ökad till 11 meter) och skotartimkostnaden höjs med 100 kr/G₀-timme (laststorlek ökad till 16 m³fub/lass), jämfört med grundscenariot, blir metodernas utfall och inbördes ordning lika grundscenariots utfall (tabell 6, scenario 4, jämför med figur 15).

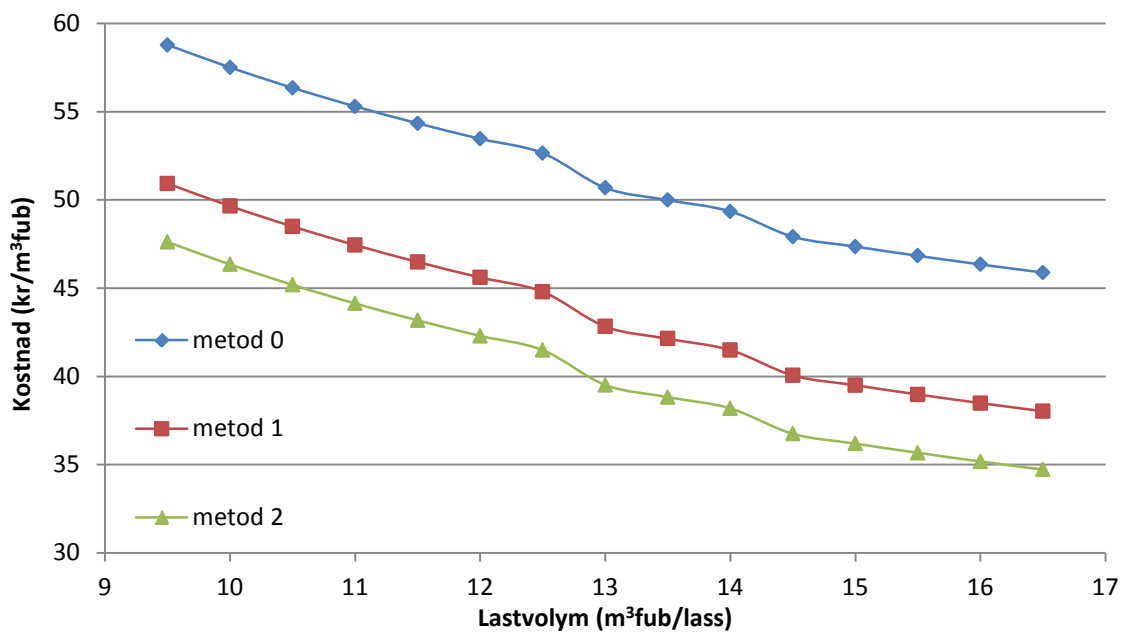
Tabell 6. Drivningskostnad med olika maskinstorlekar och maskinkostnader för grundscenariot och tre alternativa scenarier vid tre olika medelstamsvolym. Scenario 1: Grundscenariot. Övriga scenarier beskrivs i stycke 3.3.1 (sida 46). Notera att samma hastighet vid kranrörelser har använts för beräkning av samtliga scenariers maskiner oavsett maskinstorlek och maskinkostnad

Table 6. Logging cost with different machine sizes and – costs for the baseline scenario and three alternative scenarios at three different mean stem volumes. Scenario 1: baseline scenario. The other scenarios are described in part 4.3.1. (page 45). Note that same crane movement times have been used for all scenarios regardless of machine size and – cost

Scenario	Skördar- storlek	Skotar- storlek	Metod	Medelstamsvolym (m ³ fub)		
				0,045	0,115	0,185
1	Medel	Medel	0	200,4	104,4	80,3
			1	194,5	102,1	78,9
			2	204,1	105,8	82,5
2	Mindre	Större	0	218,1	109,3	82,1
			1	190,5	98,5	75,4
			2	193,5	99,7	76,1
3	Större	Mindre	0	201,8	107,2	83,6
			1	198,7	105,9	83,9
			2	210	110,4	88,4
4	Större	Större	0	211,1	108	82,1
			1	203,4	105	80,3
			2	212,8	108,7	82,6

3.3.2 Övriga jämförelser

Skotarens gripstorlek är i analysen definierad utifrån lastkapaciteten, med tre olika gripstorlekar kopplade till tre olika intervall av lastkapacitet (bilaga 2, se V_{grip}^{loss}). Dessa ändringar av gripstorlek orsakar oregelbunden variation i lastvolymens kostnadspåverkan då volymökningen medför skifte till en större grip (figur 21).



Figur 21 Laststorlekens påverkan på skotningskostnaden med övriga variabler som i grundscenariot.

Figure 21. Forwarding cost as a function of payload volume, with all other variables as in the baseline scenario.

4 Diskussion

Gallring med stickvägsnät kan göras med noll, ett eller två beståndsstråk. Denna studie avsåg att undersöka och jämföra det ekonomiska utfallet för gallring med de tre metoderna, både med avseende på total drivningskostnad men även för de enskilda maskinerna. Resultaten visar på relativt små kostnadsskillnader i total drivningskostnad mellan metoderna, eftersom stråkmetsodernas positiva effekter för skotaren i princip tas ut av de negativa effekterna på skördaren. Med modellens grundscenariö fås dock ett något bättre ekonomiskt utfall med ett beståndsstråk än två eller noll. Gallring med två beståndsstråk är dyrare än gallring utan stråk, men skillnaden är mindre i klenare gallring. Detta beror främst på en hög skotningskostnad när virkesvolymerna vid stickväg blir för låga (figur 17).

Intressanta trender ses i stickvägsavståndets effekt på kostnaderna. För skördaren finns ett optimalt stickvägsavstånd på 29 meter för metod 1 och 32 meter för metod 2. Vid längre avstånd blir vinsten med kortare körtid per träd mindre än förlusten av längre krantider. För skotaren minskar kostnaderna med ökat stickvägsavstånd, oberoende av metod, eftersom virkeskoncentrationen ökar vid stickväg (figur 13). Skotningskostnaden gynnas alltså av stråkens ökning av stickvägsavståndet, vilket måste ställas mot ökningen av skördarkostnaden vid större stickvägsavstånd. Detta visar att det är viktigt att balansera effekterna på båda maskinerna vid val av stickvägsavstånd.

Resultaten visar att för samtliga metoder minskar kostnaderna med ökande medelstamsvolym, eftersom den variabeln påverkar virkesvolymen som skördaren producerar i varje krancykel samt hur mycket virke som läggs längs stickväg. Detta beror på att det i modellen tas ut samma stamantal oavsett medelstamsvolym. Att medelstamsvolymen är en viktig variabel har konstaterats i tillgängliga produktivetsnormer (Brunberg 1997, 2004). De relativa fördelarna med beståndsstråk, och särskilt två beståndsstråk, försvagas dock med ökad medelstamsvolym då skotaren till slut får svårt att tillgodogöra sig ökad virkeskoncentration vid stickväg. Virkeshögarna blir slutligen för stora för att passa gripstorleken, vilket leder till att antalet krancykler per lass inte längre kan bli färre.

Trots att skördaren minskar sin produktivitet vid körning i stråken visar resultaten att gallring borde utföras med ett beståndsstråk, eftersom nackdelarna uppvägs av att metoden ger ett större stickvägsavstånd och mycket virke vid stickvägen för skotaren. Fördelarna med beståndsstråk styrks av Dahlins (2008) tidsstudier där metod 2 var billigast och metod 0 var dyrast då skördarens och skotarens kostnader summerades. Nämnas bör att i Dahlins studie användes strukturval 2 vid gallring med ett beståndsstråk till skillnad från modelleringen i denna studie, vilket kan innebära att metod 1 skulle blivit ännu mer lönsam i Dahlins studie om strukturval 1 använts jämfört med metod 0. Fördelar med beståndsstråk stöds även av Bergkvist och Lundström (2010), som fann att lägst drivningskostnad i klena tallgallringar nåddes med medelstor skördare och ett stickvägsavstånd på ca 30 meter. Jämförelse av skördarkostnad för olika fabrikat av små gallringsskördare visade ingen signifikant skillnad mellan metoderna (Kärhä et al. 2004), vilket med ökat stickvägsavstånd borde ge fördel för beståndsstråk (Nurminen et al. 2006). Balansen mellan skördare och skotare med avseende på arbetstid för förarna, dvs. kostnad för att en maskin har lite högre produktivitet så att föraren i den andra maskinen måste arbeta längre, är en faktor som ej tagits hänsyn till i analyserna. Med metod 2 är

produktiviteten för skördare vid klenare medelstamsvolym nära hälften av skotarens. Vid schemaläggning kan det då vara lämpligt med två förare som kör skördaren och en som kör skotaren.

Vid gallring med metod 1.2 (strukturval 2), dras stammar som fälls i stråken konsekvent mot den färdiga stickvägen, vilket ger en extra tidsåtgång. Metod 1.2 har inte ingått i modelleringen då den sannolikt ger högre kostnader, varför istället strukturval 1 borde föredras. Vid metod 1.2 och metod 2 är avståndet mellan fällnings- och upparbetningspunkten större än vid metod 1.1 vilket kan orsaka skador på de träd man släpar förbi. Generellt vid metod 1, oavsett strukturval, krävs dock att mycket av kranräckvidden nyttjas även i stråken om stickvägsavståndet ska bli tillräckligt stort för att metodens kostnader ska bli lägre än för metod 0. Det kravet blir lättare med ett stråk till mellan stickvägarna. Med två stråk kan mer arbete utföras närmare maskinen, vilket är fördelaktigt då arbete långt från maskinen är mer utmanande. Arbetet påverkas av att kranen har sämre precision och styrka på full kranarm, av siktsvårigheter samt av ett större antal kvarvarande träd att ta hänsyn till mellan maskinen och kranspetsen.

Jämförelsen mellan metoderna gjordes med hjälp av en deterministisk modell. Modellbyggandet krävde att detaljer i maskinarbetets delmoment kunde formuleras. Precis som i annan modellering erhålls inte resultat med bättre kvalitet än vad kvaliteten på indata möjliggör. Modellering ger dock samtidigt fördelar då fokus kan läggas vid att lyfta fram de delar man är mest intresserad av, medan osäkra faktorer som påverkan från t.ex. olika förare undviks. I Eliassons (1999) simuleringsstudie av skördararbete sågs möjligheter till att fortlöpande förbättra analyserna, vilket är relativt enkelt att åtgärda i efterhand. Detta kan jämföras med att liknande analyser baserade på traditionella empiriska tidsstudier oftast kräver förnyade tidsstudier för att uppdateras.

Tillgängliga produktivetsnormer (Brunberg, 1997, 2004. Nurminen et al. 2006) saknar stickvägsavståndets effekt på skördares och skotares produktivitet. Baserat på de effekter som sågs i denna modellering borde nya produktivetsnormer ha med stickvägsavstånd, särskilt vid gallring med beståndsstråk, då det är en faktor som visade sig påverka produktiviteten i relativt hög grad. Hänsyn borde även tas till den förbättrade produktiviteten som kan uppnås med flerträdshanterande aggregat. Den effekten verkar dock enligt denna studie vara lika stor hos de tre metoderna.

Användningen av den färdiga modellen fungerar självklart bäst inom satta avgränsningar och vid tillämpning bör fokus ligga i själva jämförelsen mellan metoderna snarare än på prediktering av faktisk produktivitet och kostnad. För ett bredare användningsområde och högre precision skulle kvalitetssäkrat indata behövas. Exempel på möjlig utveckling av modellen är att ta fram effekterna av:

- andra trädslag än tall; gran och contortatall finns på relativt stora arealer i norra Sverige
- snö; vid fällning kan sikten försämras pga. snö som faller från trädtoppar samt att djup snö även påverkar körningen negativt
- aggregatvridning vid fällning; när stammar avverkas som inte ska dras förbi maskinen eller upparbetas under kranen (fällriktning ej bort från maskinen) så måste aggregatet vridas runt stammen vid fällningen vilket ger en viss tidsökning

- varierande stickvägsavstånd vid gallring med stickvägar utan beståndsstråk; man bör inte låta stickvägsavstånd vara definierat utifrån kranlängd utan istället som oberoende variabel precis som för metod ett och två
- försämrad precision och sänkt hastighet för skördarkranen nära maximal räckvidd; vid arbete nära kranens maximala räckvidd är kranhastigheten lägre än närmare maskinen, och precisionen är sämre. Detta skulle få större påverkan av stickvägsavstånd som tvingar till nyttjande av större andel av räckvidd.

Valet av gallringsmetod medför fler effekter än de som har behandlats i denna studie.

Många av dem är dessutom betydligt svårare att beräkna, som t.ex:

- tillväxt- och kvalitetsvinst vid ökat stickvägsavstånd; vid ett större stickvägsavstånd finns större möjlighet till selektivt urval, och lämnade stammar kan ställas mer jämnt utspridda (förutsatt ett stort stickvägsavstånd). Detta kräver att beståndsstråken är väl slingrade, eftersom ett rakt och brett stråk nästan kan jämnställas med en stickväg och vinsten kan då jämnas ut eller till och med försvinna. Då skördaren slingrar i stråken är arbetet svårare, och med större andel fällda stammar från stråk (metod 2) finns risk för att fler träskador uppstår om lika mycket av kranräckvidden nyttjas. Individuella skillnader mellan förare verkar dock vara så stora så att inga slutsatser kan dras om metodvalets påverkan
- skador på kvarvarande skog; vid gallring med ett större stickvägsavstånd blir det kortare sträcka stickväg per arealenhet och därmed finns det risk att en högre belastning på stickvägarna vid skotning orsakar markskador
- svårighet att lägga arbetsschema för förare vid obalans i produktivitet mellan skördare och skotare; i ett teoretiskt optimalfall producerar skördare och skotare lika mycket och skotaren hinner då skota lika mycket volym som skördaren har avverkat. Fungerande balans nås även då skördaren producerar hälften så mycket som skotaren och då kan skördaren köras på två skift medan skotaren kör på ett skift. Detta kan även lösas med att en förare kör den maskin som för tillfället har mest arbete, vilket kräver flexibilitet. Pga. fler omständigheter fungerar dock inte beskrivna optimalfall perfekt i praktiken. Problem av denna typ skulle kunna förenklas med exempelvis en konverterbar maskin (både skördare och skotare)
- planeringsproblematik vid senare gallringar; vid senare gallringar används befintligt vägsystem (stickvägar och beståndsstråk) och man är därför bunden vid metoden som användes vid förstagallringen. Gallringslag är inte sällan inriktade på förstagallring eller senare gallringar (detta då de ofta väljer maskinstorlek efter dominerande uppdragstyp) och det krävs då att maskinlag vid senare gallringar behärskar metoden som tillämpades vid förstagallringen
- planering av gödsling; gödslingsmaskiner använder i regel befintligt stickvägsnät och har ofta en spridningskapacitet motsvarande två stickvägsavstånd (vid gallring med ett beståndsstråk). Detta innebär att gallringsmaskinen kan sprida gödsel från varannan stickväg. Vid gallring med två beståndsstråk krävs med ett större stickvägsavstånd att gödslingsmaskinen kör på varje stickväg. Detta ger en dyrare gödsling, alternativt kan gödslingsmaskinen ersättas av gödsling från helikopter vilket är smidigt men dyrt.

4.1 Slutsatser

- I denna teoretiska analys av gallringarbete i talldominerad skog gav gallring med ett beståndsstråk lägst drivningskostnader, gallring utan beståndsstråk näst lägst och gallring med två beståndsstråk var dyrast.
- Sticksavstånd är en viktig variabel att balansera vid gallring och även vid produktivetsprediktering. Vid ökande sticksavstånd försämras skördarens produktivitet medan skotarens förbättras. Vid konstruerande av produktivetsnormer bör sticksavstånd beaktas; vid ökande sticksavstånd sjunker skotarens kostnad medan skördarens stiger svagt.
- Det är viktigt att använda skördarkranens räckvidd, särskilt från stickväg, så att sticksavståndet kan hållas högt för att skotarens prestation ska kunna hållas hög.

Referenser

Skriftliga referenser

- Agestam, E. 2009. Nr. 7, Gallring - Skogsskötselserien. Skogsstyrelsen, Söderköping.
- Bergkvist, I. & Lundström, H. 2007. Studier av Cranab Access i förstagallring av tall. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport Nr. 647, 2007.
- Bergkvist, I. 2009. Skördarstorlek och metod i förstagallring av tall och gran. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport Nr. 685, 2009.
- Bergkvist, I. & Lundström, H. 2010. Gallra från stickväg eller med stråk? Studier vid Holmen Skog. Skogforsk, Uppsala. Resultat Nr. 16, 2010.
- Brunberg, T. Thelin, A. & Westerling, S. 1989. Underlag för prestationsnormer för engreppsskördare i gallring. Skogforsk, Kista. Redogörelse 3.
- Brunberg, T. 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Skogforsk, Uppsala. Redogörelse Nr. 8, 1997.
- Brunberg, T. 2004. Underlag till produktionsnormer för skotare. Skogforsk, Uppsala. Redogörelse Nr. 3, 2004.
- Dahlin, A. 2008. Produktivitet och kvalitet vid stickvägs- respektive beståndsgående förstagallring. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 216.
- Eliasson, L. 1999. Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science* 45(1): 26-34.
- Håkansson, M. 2000. Skogencyklopedin. Sveriges Skogsvårdsförbunds Service AB Stockholm.
- Komatsu Forest. 2013. 901TX.1 [Online] Tillgänglig <http://komatsuforest.com/default.aspx?id=67031&mode=gallery&rootID=1475> [2013-05-30]
- Kärhä, K. Rönkkö, E. & Gumse, S-I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 43- 56.
- Nurminen, T. Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335-363.
- Nuutinen, Y. Väätäinen, K. Heinonen, J. Asikainen, A. & Röser, D. 2008. The accuracy of manually recorded time study data for harvester operation shown via simulator screen. *Silva Fennica* 42(1): 63-72.

Persson, J. 1993. Rottne 2000 beståndsgående engreppsskördare. Skogforsk, Kista. Skogforsk Rapport Nr 7, 1993.

Skogforsk. 2013. Kunskap direkt, planera drivningen [Online] Tillgänglig <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Avverka/Planering/Planera-drivningen/> [2013-06-06]

Sängstuvall, L. Bergström, D. Lämås, T. & Nordfjell, T. 2011. Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. Scandinavian Journal of Forest Research 2011: 1-18

Muntliga referenser

Österberg, Per. Affärsutvecklare virke/drivning, SCA Skog AB. 2012-10-22

Bilaga 1 Underlag för frågor till entreprenörer

- Maskinval skördare: märke, modell, aggregat, motorstorlek, kranlängd, bredd, spårföljning, antal hjul, nivellering. Beskriv maskinen: hur passar den till vald metod?
- Maskinval skotare: märke, modell, grip, motorstorlek, kranlängd, bredd, spårföljning, laststorlek, flexibelt lastutrymme, last- eller kranvåg. Beskriv maskinen: hur passar den till vald metod?
- Metodval? Varför denna metod? Var är skärpunkten mellan 1 och 2 (förhållanden)? Blir det lättare att köra rena lass med skotaren? Skillnader skador och produktivitet?
- Påverkan: blir högarna annorlunda placerade mellan de olika metoderna? Skillnad i mängd ris i stickvägar och dess påverkan? Tvingande uttag i stråken?
- Är det något du tycker att jag inte frågat om, som är viktigt vid metodjämförelsen?

Bilaga 2 Förklaring av koefficienter och för modellen antagna värden

Gällande i all presentation där annat ej anges. Under rubriken "Ursprung" nämns var koefficienten är hämtad. "Värde" lämnas blank om koefficienten har en tillhörande formel, värde i tabell 5 eller har konstruerats under studien.

Koefficient	Betydelse	Värde	Enhet	Ursprung
AS	antal sortiment		antal	
AV	antal vägar vid gallring $AV = \begin{cases} 1, \text{ om metod 0} \\ 2, \text{ om metod 1} \\ 3, \text{ om metod 2} \end{cases}$		antal	
B_x	mått i x-led för ruta i kolumn "x"		meter	
D_{av}	distans från mitten av lastbäraren till virkets mitt på avlägg		meter	
D_{full}^{skot}	distans körning för skotare med fullt lass		meter/lass	
D_{la}	distans från lastbärarens mitt till avläggets närmaste kant	3	meter	
D_{lastn}^{skot}	distans körning för skotare under lastning		meter/lass	
D_{sf}	distans för stamflytt vid arbete från stickväg, avser distansökningen på grund av stamflytt till annan uppdragspunkt än den närmaste, berör endast kolumn 1-8	1	meter	
D_{vh}	distans mellan virkeshögar	3	meter	
D_{virke}	virkeslängd	4,3	meter	
$D_{vä}$	distans från stickvägens mitt till virkeshögens närmaste ände	3,5	meter	
D_x	distans mellan avverknings- och uppdragspunkt i x-led för ruta i kolumn "x"		meter	
$D_{x,y}$	distans från avverkningspunkt till närmaste uppdragspunkt		meter	
D_y	distans mellan avverknings- och uppdragspunkt i y-led för ruta i rad "y"		meter	
D^z	genomsnittlig distans mellan stammar (dvs. avverkningspunkter) vid ackumulering i någon av de tre zonerna "z"		meter	
DS_x	linjär distans i x-led mellan avverkningspunkt och stickvägscentrum för ruta i kolumn "x"		meter	

HO_{ki}^{last}	hastighet för kran in vid lastning av skotaren	0,39	meter/sekund	
HO_{ki}^{loss}	hastighet för kran in vid lossning av skotaren	0,6	meter/sekund	
HO_{ku}^{last}	hastighet för kran ut vid lastning av skotaren	0,65	meter/sekund	
HO_{ku}^{loss}	hastighet för kran ut vid lossning av skotaren	0,55	meter/sekund	
$HO_{körning}^{full}$	hastighet för skotare vid körning med fullt lass		meter/min	Brunberg 2004
$HO_{körning}^{lastn}$	hastighet för skotare vid körning under lastning		meter/min	Brunberg 2004
$HO_{körning}^{mom}$	hastighet för körning med skotaren vid moment "mom" $\left\{ \begin{array}{l} HO_{körning}^{full} \\ HO_{körning}^{tom} \\ HO_{körning}^{lastn} \end{array} \right.$		meter/min	Brunberg 2004
$HO_{körning}^{tom}$	hastighet för skotare vid körning med tom lastbärare		meter/min	Brunberg 2004
H_y	distans mellan avverknings- och upparbetspunkt i y-led för ruta i rad "y"		meter	
$HÖ_{kör}^v$	hastighet för körning vid väg "v" med skördare $\left\{ \begin{array}{l} 13,86, \text{ om } HÖ_{kör}^{stråk} \\ 14,04, \text{ om } HÖ_{kör}^{stick} \end{array} \right.$		meter/minut	Brunberg 1997
$HÖ_{ms}^v$	hastighet för förflyttning av aggregat mellan stammar vid ackumulering från väg "v" $\left\{ \begin{array}{l} 0,78, \text{ om } HÖ_{ms}^{stråk} \\ 0,8, \text{ om } HÖ_{ms}^{stick} \end{array} \right.$		meter/sekund	
$HÖ_{ta}^v$	hastighet för förflyttning av tomt aggregat från väg "v" $\left\{ \begin{array}{l} 1,1, \text{ om } HÖ_{ta}^{stråk} \\ 1,05, \text{ om } HÖ_{ta}^{stick} \end{array} \right.$		meter/sekund	
$HÖ_{up}^v$	hastighet för förflyttning av aggregat med stam till upparbetspunkt från väg "v" $\left\{ \begin{array}{l} 0,8, \text{ om } HÖ_{up}^{stråk} \\ 0,98, \text{ om } HÖ_{up}^{stick} \end{array} \right.$		meter/sekund	
$K_{h,o}$	konstant för justering av formel för skotares hastighet	1	konstant	
K_{ff}^{full}	konstant för justering av hastighet vid körning med full lastbärare	0,768	konstant	
K_{ff}^{lastn}	konstant för justering av hastighet vid körning under pågående lastning	0,656	konstant	
K_{gt}	andel av virkeskoncentration inom sortiment, mått på volymfördelningen	0,8	konstant	

	inom sortimenten		
K_{kaf}^v	konstant för kortaste tid för förflyttning av aggregat med stam till upparbetningspunkt från väg "v" $D_{kaf}^v = \begin{cases} 3,1, & \text{om } v = \text{stråk} \\ 2,8, & \text{om } v = \text{stickväg} \end{cases}$		sekunder
K_{kap}	konstant för kortast kaptid	1,2	sekunder
K_{konc}	koncentrationspåverkan	0,1	konstant
K_{mp}	konstant för medelstamsvolymens påverkan på kaptiden	1	konstant
K_n	konstant för justering av formel för upparbetning	0,8	konstant
$K_{tid}^{G_{15}G_0}$	konstant för omräkning av tid från G_{15} till G_0	1,08	konstant
KL	kranlängd, skördare		meter
LU	lutningsklass, 1 till 5		klass Skogforsk 2013
NR_v^m	nyttjad räckvidd i förhållande till total räckvidd vid metod "m" från väg "v" $\begin{cases} NR_{stråk}^m \\ NR_{stick}^m \end{cases} \begin{cases} NR_v^0 \\ NR_v^1 \\ NR_v^2 \end{cases}$ $NR_{stick}^m = 0,85$		andel
$R_{x,y}$	antal uttagna stammar som andel av totalt i rutnätet		andel
S_{ack}^z	antal stam vid flerträdshantering, per fällning, i zon "z", där 1,2 motsvarar 20 % ackumulering $= \begin{cases} 1,2, S_{ack}^1 & \text{om } z = 1 \\ 1,2, S_{ack}^2 & \text{om } z = 2 \\ 1,2, S_{ack}^3 & \text{om } z = 3 \end{cases}$		andel
S_f	stamantal före gallring		stamantal/ha
S_u	totalt stamuttag		stamuttag/ha
S_u^r	stamuttag ej stickväg (endast areal ej stickväg)		stamuttag/ha
S_u^s	stamuttag i stickväg (endast stickvägen)		stamuttag/ha
SA^m	stickvägsavstånd för metod "m" (dvs. 1, 2 eller 3), stickvägscentrum till stickvägscentrum, alltså avståndet mellan två parallella stickvägars mittlinjer		meter
SB^m	stickvägsbredd, metod "m" (dvs. 1, 2 eller 3)		meter
SF_{es}^1	stam i zon "1" i del av skog som ej är stickväg		andel av totalt stamantal

T_A	enkelt terrängtransportavstånd		meter	
T_{kc}^{last}	tid/krancykel vid lastning av skotare		sekunder/ krancykel	
T_{kc}^{loss}	tid/krancykel vid lossning av skotare		sekunder/ krancykel	
$T_{skot,1}$	lastning; tid då virke lastas på skotaren, gäller endast så länge kranen rör sig. Startar när gripen lyfts ur lastbäraren och slutar när gripen lagts tillrätta med full lastbärare		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skot,2}$	lossning; tid då virke lossas från skotaren, gäller endast så länge kranen rör sig		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skot,3}$	körning under tiden skotaren är lastad och kranen ej rör sig		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skot,4}$	körning under tiden skotaren har tom lastbärare och kranen ej rör sig		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skot,5}$	körning under tiden lastning pågår då kranen ej rör sig		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skot,6}$	sorteringstid, tidspåverkan av antalet sortiment		G_0 - minuter/ m^3 fub	Brunberg 2004
$T_{skot,7}$	sortimentstid, bedömd sortimentspåverkan i tid beroende på skogens grovlek		G_0 - minuter/ m^3 fub	Brunberg 2004
$T_{skot,8}$	konstant för övrig tid hos skotaren, kan användas för justering av tidsåtgång för delar som inte ingår i modell	0,107	G_0 - minuter/ m^3 fub	Brunberg 2004
$T_{skot,tot}$	total tidsåtgång för skotaren		G_0 - minuter/ m^3 fub	
$T_{skörd,1}$	fällning, tid från att aggregat påbörjar kap av stam (gäller första stammen vid ackumulering, fler rotkap kan alltså ingå) och slutar vid kap av första virkesbiten vilket innebär att kranrörelse från avverkningspunkt till upparbetningspunkt samt ackumulering vid flerträdshantering ingår		G_0 -minuter/stam	
$T_{skörd,2}$	upparbetning, tid från första kapet till kap av topp, i klen skog med endast en virkesbit per stam kommer alltså tid ej noteras för upparbetning		G_0 -minuter/stam	med stöd av Nurminen et. al. 2006
$T_{skörd,3}$	kranrörelse tom, från tid då aggregatet kapar toppen tills det påbörjar kap av nästa stam eller stannar (exempelvis för en förflyttning, momentet		G_0 -minuter/stam	

	fortsätter då när kranen fortsätter sin förflyttning)			
$T_{skörd,4}$	körning av skördaren; har lägst hierarki bland momenten, dvs. gäller när maskin körs utan att något av de ovanstående momenten fortgår, startar när hjul börjar och slutar när hjul är still		G ₀ -minuter/stam	
$T_{skörd,5}$	konstant för övrig tid hos skördaren; denna kan exempelvis användas för att lägga till tidsökning vid besvärande underväxt	2,6	G ₀ -sekunder/stam	Brunberg 1997
$T_{skörd,tot}$	total tidsåtgång för skördaren		G ₀ -minuter/m ³ fub	
V_{andel}^{last}	andel av grips storlek som bedöms kunna nyttjas vid lastning	0,8	andel	
V_{grip}^{last}	volym/krancykel vid lastning		m ³ fub/krancykel	
V_{grip}^{loss}	genomsnittlig volym/krancykel vid lossning $\left\{ \begin{array}{l} 0,65, \text{ om } 9,49 < V_{lb} < 12,89 \\ 0,8, \text{ om } 12,9 < V_{lb} < 14,29 \\ 0,95, \text{ om } 14,3 < V_{lb} \end{array} \right.$		m ³ fub/grip	
V_{lb}	lastad volym/lass		m ³ fub/lass	
V_{medel}	beståndets medelstamsvolym		m ³ fub/stam	
V_{vh}	medelvolym per virkeshög		m ³ fub/virkeshög	
YT	ytstrukturklass, 1 till 5		klass	Skogforsk 2013