



Lönsamhet vid delautomatisering av kranstyrning på skotare

Profitability for semi automation on crane control of forwarders



Foto: Komatsu Forest

Elin Andreasson & Erika Nylander



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens biomaterial och teknologi/ Department of Forest Biomaterials and Technology
Författare/Author	Elin Andreasson & Erika Nylander
Titel	Lönsamhet vid delautomatisering av kranstyrning på skotare
Title	<i>Profitability for semi automation on crane control of forwarders</i>
Nyckelord/Keywords	Delautomation, Skotare, Lönsamhet, Produktivitet, Förarmiljö / <i>Semi automation, Forwarder, Profitability, Productivity, Operator Environment</i>
Handledare/Supervisor	Tomas Nordfjell Institutionen för skogens biomaterial och teknologi/ Department of Forest Biomaterials and Technology
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2015

FÖRORD

Detta kandidatarbete genomfördes under våren 2015 vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Arbetet är en del av jägmästarprogrammet och omfattar 15 högskolepoäng på C-nivå.

Vi vill tacka vår handledare Tomas Nordfjell, professor vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, för sitt engagemang och stöd under arbetets gång. Vi vill också tacka Kjell Rönholm, produktchef vid Komatsu Forest, för tillhandahållning av data. Slutligen vill vi även tacka Elin Andersson, Sigbritt Andreasson och Maria Jobe som korrekturläst vårt arbete.

Umeå, april 2015

Elin Andreasson & Erika Nylander

SAMMANFATTNING

Utmaningen med att öka produktiviteten i skotningsarbetet är inte bristen på bra teknik utan snarare förarens förmåga att utnyttja maskinens fulla kapacitet. Teknikutvecklingen går mot automation av repetitiva arbetsmoment för att minska den mänskliga påverkan. Mycket fokus ligger på delautomatisering av kranarbetet. Det huvudsakliga syftet för denna studie var att undersöka hur delautomatiserat kranarbete påverkar produktivitet och lönsamhet vid skotningsarbete. Ett underliggande syfte var att sammanställa andra för- och nackdelar med delautomatiserat kranarbete i jämförelse mot konventionell skotning. Den hypotes som legat till grund är att delautomatiserat kranarbete är lönsamt och har positiva effekter på förarmiljön. Grunden för detta arbete var litteraturstudier och matematiska analyser över skotningskostnader och produktivitet. Resultatet visade att delautomation gav en tidsreducering som i sin tur gav ökad produktivitet. Total tidsreducering för hela skotningsarbetet ökade med ökad tidsreduktion på arbetsmoment där kranen är aktiv och minskade med ökat skotningsavstånd. Vid låga tidsreduceringar kunde lönsamhet ändå uppnås jämfört mot konventionell teknik. Vid en tidsreducering på 10 % på arbetsmoment där kranen är aktiv och med en investeringshöjning på 24 % gav det samma skotningskostnad som en konventionell skotare vid ett skotningsavstånd på 250 m. En förväntad investeringshöjning för en delautomatiserad skotare kommer troligen inte överstiga 24 % varför den mest troligt blir lönsam. Resultatet från litteraturstudien visade även att delautomation av kranstyrning har positiva effekter på förarens arbetsmiljö.

Nyckelord: Delautomation, Skotare, Lönsamhet, Produktivitet, Förarmiljö

ABSTRACT

The challenge of increasing the productivity of forwarding work is not the lack of good technology but rather the driver's ability to utilize the machine's full capacity. Technology development goes towards automation of repetitive tasks to reduce human impact. Much focus is on semi automation of crane work. The main purpose of this study was to investigate how the semi automated crane work affects the productivity and profitability in forwarding work. An underlying aim was to compile other advantages and disadvantages of semi automated crane work in comparison to conventional forwarding. The hypothesis was that semi automated crane work is profitable and has positive effects on the driver's environment. The basis for this work was literary studies and mathematical analyzes of forwarding costs and productivities. The results showed that the automation gave time reduction, which in turn resulted in increased productivity. Total time reduction for the entire forwarding work increased with increasing time reduction of operations where the crane is active and decreased with increasing forwarding distance. At low time reduction profitability could still be achieved compared to conventional technology. At a time reduction of 10 % of operations where the crane is active and with an investment increase of 24 % gave the same forwarding cost as a conventional forwarder at a forwarding distance of 250 m. The expected investment increase for a semi automated forwarder will probably not exceed 24 % of which it probably becomes profitable. The results of the literature study also showed that semi automation of crane control has a positive impact on operating environment.

Keywords: Semi automation, Forwarder, Profitability, Productivity, Operator Environment

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
ABSTRACT	5
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	6
1. INLEDNING	7
PROBLEM	7
FÖRARMILJÖ.....	9
SYFTE OCH MÅL	10
FRÅGESTÄLLNING	10
HYPOTES.....	10
2. MATERIAL OCH METOD	11
STUDIEUPPLÄGG	11
PRODUKTIVTETSÄNDRINGAR	11
ANTAGANDEN I MASKINKOSTNADSKALKYLERING	12
MASKINKOSTNADSKALKYLERING	12
3. RESULTAT	14
DELAUTOMATISERAT KRANARBETE	14
FÖRARMILJÖ.....	18
4. DISKUSSION	20
DELAUTOMATISERAT KRANARBETE	20
FÖRARMILJÖ.....	21
FORTSATTA STUDIER.....	22
SLUTSATSER.....	22
5. REFERENSER	23
6. BILAGOR	25
BILAGA 1 – MASKINKALKYL FRÅN KOMATSU FOREST.....	25

1. INLEDNING

Problem

Högre och jämnare produktivitet är något som eftersträvas inom de flesta industrier vilket också gäller skogsbruket. De ekonomiska fördelar som erhålls av en ökad produktivitet har varit den tyngsta drivkraften bakom den snabba teknikutvecklingen (Ortiz Morales m.fl. 2014). Kostnader för drivning står idag för en stor del av skogsbrukets utgifter. Under 2012 uppgick avverkningskostnaderna till totalt 9,4 miljarder kronor. Drivningskostnaderna, för både skördare och skotare, i norra Norrland var 99 kr/m³pb för slutavverkning, 175 kr/m³pb för gallring och genomsnittet för all avverkning var 116 kr/m³pb (Skogsstyrelsen 2014). Mot denna bakgrund kan det konstateras att detta är ett viktigt område för fortsatt effektivisering (Hellström m.fl. 2009).

Utmaningen idag med att öka produktiviteten i skogsarbetet är inte bristen på bra teknik utan snarare förarens förmåga att utnyttja maskinens fulla kapacitet. Dagens skogsmaskiner är mycket tekniskt avancerade och för att kunna bli en mycket skicklig förare krävs god simultanförmåga och år av praktisk erfarenhet. Det är ett problem när prestation och effektivitet i arbetet är beroende av förarens förmåga att effektivt manövrera maskinens alla rörelser. Det är alltså människan som sätter gränsen för hur mycket som kan produceras och inte maskinen (Ortiz Morales m.fl. 2014).

Höga krav på ökad produktivitet gör att allt högre krav ställs på operatören. När många beslut måste tas under kort tid kan arbetsmiljön upplevas som stressande vilket i sin tur kan bli en begränsande faktor för produktionen (Hellström m.fl. 2009). Studier har visat att halvautomatisering av kranstyrningen kan öka produktionen och samtidigt sänka både den fysiska och mentala arbetsbelastningen för förarna (Brander & Eriksson 2004).

Teknisk bakgrund

I slutet av 1910-talet lanserades den första motorsågen vilket var starten på det mekaniserade skogsbruket (Hellström m.fl. 2008). År 1962 kom den första hjulskotaren inom svensk skogsbruk och utvecklingen har därefter fortsatt (Anon. 1988). Under 1990-talet och framåt har den teknik som används finjusterats och mognat. Skandinavien har en av de mest tekniskt avancerade skogsmaskinerna (Löfgren m.fl. 2002; Milne 2013). Nästa steg i utvecklingen har varit att gå mot automatiserade maskiner.

Automation av skogsmaskiner började redan under 1980-talet men dessa tidiga lösningar var för kostsamma att producera och kom därför aldrig ut på den öppna marknaden (Ortiz Morales 2015). Helautomatiserade skogsmaskiner är fortfarande inte aktuellt då tekniken inte är mogen, men arbete pågår med att börja automatisera vissa moment. Arbete inom automation för skotare har koncentrerat sig på bland annat delautomatiserat kranarbete och helautomatisk styrning, det vill säga förarlösa skotare (Hellström m.fl. 2009).

Det är inte bara inom skogsindustrin som automation är aktuellt utan tekniken utvecklas även inom andra industrigrenar. Inom gruvindustrin används och utvecklas till exempel helautonoma skyttlar för transport av material i gruvorna. Det gör det möjligt att utveckla tekniken med fler aktörer och samarbetspartners. Det ska dock tilläggas att det finns en

skillnad på kraven och förutsättningarna mellan de olika industrierna. Skogsmaskinerna måste klara av en tuff och dynamisk terräng, stora variationer över året gällande förhållanden som temperatur, ljusförhållande och snödjup, ingen standardiserad mekanik mellan tillverkarna, den enskilda patenterade tekniken är även hårt skyddad vilket försvårar forskning och maskinerna har väldigt avancerad manövrering och kan jämföras med manövrering av stridsflygplan (Ortíz Morales 2015).

Delautomatiserat kranarbete

Delautomatiserat kranarbete har stor potential för effektivisering av skotningsarbetet. Kranarbetet står för ca 70 % av skotarens arbete (Löfgren m.fl. 2002) vilket gör att även små effektiviseringar medför stor skillnad på den totala tiden och totala produktionen. Arbetsmoment som är frekventa och repetitiva har bra förutsättningar för att kunna automatiseras som till exempel kranarm ut från lastutrymme och kranarm in med virke till lastutrymmet (Ortíz Morales 2014).

Studier har visat att automation av arbetsmoment är tidsbesparande, en cykel tar mindre tid, då kranen i automationsläge kan jobba med högre hastighet och med mer ultimata rörelser (Englund & Mörk 2015). Andel reglageanvändning minskade med automation och kranen kunde köras mjukare och med mindre reglageutslag. En mjukare körning av kranen gör att belastningen blir lägre och kranen får längre livslängd och eventuellt behöver mindre service (Brander & Nordén 2004). Entreprenörer har dock förmedlat oro över att reparationskostnaderna skulle öka med mer avancerad teknik och att även väntetiderna för reparation skulle bli längre (Löfgren 2002).

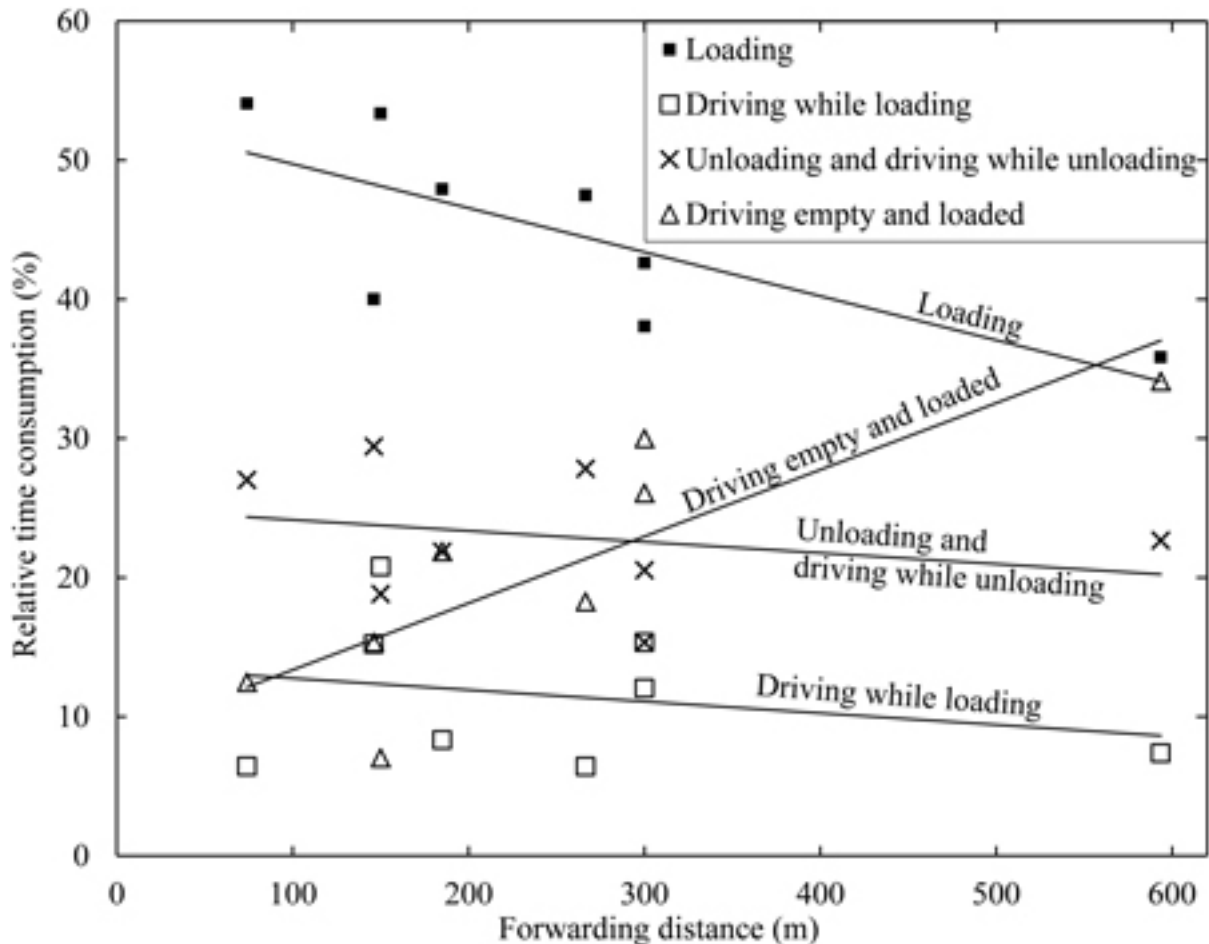
En av utmaningarna vid automation är övergången mellan att maskinen styr kranen till att föraren tar över manövreringen. Utmaningen ligger i att göra övergången mjuk och utan hack. Hack är tidsödande, stör arbetsrytmen och kan bli en irritation för föraren. Säkerhetsaspekten är också väldigt viktigt när ny teknik ska implementeras. I kontrollerade försök i simulatorer med plan mark och bra bärighet kan kranautomationen utnyttjas maximalt och man kan se dess potential. I verkligheten kan utnyttjandegraden dock bli lägre (Englund & Mörk 2015). Föraren måste känna att hen har kontroll över maskinen i alla lägen och där kan bland annat branter bli en begränsande faktor (Milne 2013).

Tidsreduktionen som kan förväntas av delautomation är beroende av förarens skicklighet. En ovan förare kan få mycket hjälp och kan ha en tidsreduktion på ca 50 % medan en duktig förare kan få marginell hjälp. Beroende på förarskicklighet kan tidsreduktionen förväntas hamna mellan 0-50 % på arbetsmoment där kranen är aktiv (Englund & Mörk 2015).

Skotningsarbetets tidsåtgång

Skotningsarbetet kan delas upp i vanligtvis fem olika arbetsmoment; lastning, lossning, körning under lastning och lossning samt körning tom och full. Dessa moment är de som påverkar produktiviteten. Den tidsreducering som en halvautomatiserad kran ger påverkar endast de arbetsmoment där kranen är aktiv, det vill säga lastning, lossning samt körning under lastning under lossning. Kranen är inte aktiv under hela arbetsmomenten körning under lastning och lossning, utan tidsreduceringen påverkar endast en del av dem (Manner m.fl. 2013). Andelen som kranen är aktiv av arbetsmomenten varierar mellan vana och ovana

förare. Kranen är i genomsnitt aktivt under 22 % av körning under lastning och lossning och det är endast de 22 % som påverkas av en tidsreduktion (Manner m.fl. 2015). Manner m.fl. (2013) sammanställde produktionsdata från flertalet studier vilket visade att vid skotningsavstånd på 100 m utgör arbetsmoment där kranen är aktiv för cirka 70 % av skotningsarbetet respektive 50 % vid ett skotningsavstånd på 600 m (figur 1). För linjen ”Unloading and driving while unloading” står lossning för ca 73 % och lossning under körning för ca 27 % (figur 1; Manner m.fl. 2015).



Figur 1. “Den relativa fördelningen av skotarens produktiva (PM) tid av helmekaniserade cut-to-length (CTL) gallringar kontra avstånd (enkel väg).” Linjerna härleddes genom regressionsanalys av produktionsdata från flera studier (Manner m.fl. 2013).

Figure 1. “The relative distribution of the forwarder’s productive machine (PM) time after fully mechanized cut-to-length (CTL) thinning operations versus forwarding distance (single way).” Relationship lines are derived by regression analysis of data from xx. (Manner et.al. 2013).

Förarmiljö

Flertalet författare redovisar att delautomatiserad kranstyrning på skotare har positiva effekter på maskinförarens arbetsmiljö.

Syfte och mål

Det huvudsakliga syftet är att undersöka hur delautomatiserat kranarbete påverkar produktivitet och lönsamhet vid skotningsarbete. Ett underliggande syfte är att sammanställa andra för- och nackdelar i jämförelse med konventionell skotning.

Frågeställning

Hur mycket högre investeringskostnad kan en skotare med delautomatiserat kranarbete ha för att fortfarande vara lönsam vid olika nivåer av tidsåtgång i skotningsarbetet?

Hypotes

Att en skotare med delautomatiserad kranstyrning är en lönsam investering.

Att delautomatiserat kranarbete har positiva effekter på förarmiljön gällande fysisk och psykisk arbetsbelastning.

2. MATERIAL OCH METOD

Studieupplägg

Grunden för detta arbete var litteraturstudier och matematiska analyser. En skotare Komatsu 855 analyserades med delautomatiserad kran liksom i standardutförande (referens). Utgångsdata erhöles från Komatsu Forest (bilaga 1). Ändringar i tidsåtgång beroende på skotningsavstånd beräknades med hjälp av prestationsnormer (SCA 2011). Nya värden för skotare med delautomatiserad kran erhöles genom att antaganden om realistiska reduceringar av tidsåtgång för kranarbete gjordes. Analysen utfördes för skotningsavstånd på 100-600 m. Jämförelser av skotningskostnader mellan konventionell skotare och skotare med delautomatiserad kranstyrning gjordes i Excel. Känslighetsanalys gjordes för olika investeringsbelopp och tidsreduceringar.

Produktivtetsändringar

Produktionen för skotare med delautomatiserat kranarbete räknades fram genom:

$$V_l / T_{dk} = P_d$$

där V_l är lassvolym, T_{dk} är tidsåtgången för skotare med delautomatiserad kranstyrning och P_d är delautomatiserad skotares produktivitet vid olika skotningsavstånd.

$$T_{dk} = T_{uk} + T_{mk}$$

där T_{uk} är tidsåtgång för arbetsmoment utan kranarbete och T_{mk} är tidsåtgång för arbetsmoment med kranarbete.

$$T_{mk} = T_j * A_{mk} * j_t$$

där T_j är justerad tidsåtgång beroende av skotningsavstånd, A_{mk} är andel av tidsåtgång för moment där kranen är aktiv och j_t är antagande tidsreducering för arbetsmoment med kranarbete.

$$T_j = T_g + j_s$$

där T_g är grundtidsåtgången för ett lass med referensskotaren med skotningsavstånd på 400 m och j_s är tidsjustering efter skotningsavståndsavvikelser +/- från 400 m.

$$T_g = V_l / P_g$$

där P_g är grundproduktivitet (bilaga 1).

$$A_{mk} = a_{lastning} + (a_{lastning \text{ under körning}} * 0,22) + (a_{lossning \text{ under körning}} * 0,725 * 0,22)$$

där $a_{lastning}$ är andel av tidsåtgång för lastning, $a_{lastning \text{ under körning}}$ är andel av tidsåtgång för lastning under körning och $a_{lossning \text{ under körning}}$ är andel av tidsåtgång för lossning och lossning under körning.

$$T_{uk} = T_j * A_{uk}$$

där A_{uk} är andel av tidsåtgång för moment utan krankörning.

$$A_{uk} = 1 - A_{mk}$$

Antaganden i maskinkostnadskalkylering

Följande värden antogs vara lika mellan de två skotarna:

- Restvärde av investering, 10 %
- Kalkylränta, 5,5 % (real ränta)
- Ekonomisk livslängd, 6 år
- Fast underhållskostnad, 145 000 kr/år
- Rörlig underhållskostnad, 78 000 kr/G₀-tim
- Drivmedelskostnad, 140 kr/G₀-tim
- Förarlön inklusive sociala avgifter, 240 kr/G₀-tim
- Systemtid, 2400 tim/år

I grundantagandet antogs investeringsbeloppet vara lika mellan maskinerna, 2 700 000 kr och tidsåtgången antogs vara 20 % lägre för arbetsmoment där kranen är aktiv. Under arbetsmomenten lastning och lossning är kranen 100 % aktiv och under arbetsmomenten körning under lastning och lossning antogs kranen vara 22 % aktiv. Känslighetsanalyser gjordes för olika tidsreduceringar och ökade investeringar för den delautomatiserade skotaren. Tidsreduceringarna varierades från 0 till 30 % för arbetsmoment där kranen användes. För varje tidsreducering gjordes en analys över den största möjliga investeringsökningen tills skotningskostnaden var densamma för den konventionella och delautomatiserade skotaren vid ett skotningsavstånd på 250 m.

Maskinkostnadskalkylering

Med ovanstående värden kunde den totala drivningskostnaden för respektive maskin beräknas med hjälp av Nordfjells (2014) stencil "Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler 2014":

$$K_D = K_T / P$$

där K_D är drivningskostnaden för aktuell maskin (kr/m³fub), K_T är timkostnaden för aktuell maskin (kr/G₀-tim) och P är produktiviteten (m³fub/G₀-tim).

$$K_T = K_{fast} + K_{rörl}$$

där K_{fast} är fast kostnad (kr/G₀-tim) och $K_{rörl}$ är rörlig kostnad (kr/G₀-tim).

$$K_{fast} = (K_{kap} + K_{uf}) / S$$

där K_{kap} är kapitalkostnaden (kr/år), K_{uf} är fast underhållskostnad (kr/år) och S är maskinens systemtid (G₀-tim/år).

$$K_{rörl} = K_{ur} + K_{driv} + K_{för}$$

där K_{ur} är rörlig underhållskostnad (kr/G₀-tim), K_{driv} är drivmedelskostnad (kr/G₀-tim) och $K_{för}$ är förarlön (kr/G₀-tim).

$$K_{kap} = (I - R_n) * A$$

där I är maskinens investeringsbelopp (kr), R_n är restvärdets nuvärde (kr) och A är amorteringsfaktorn (annuitetsfaktorn).

$$R_n = R * (1 + i)^{-n}$$

där R är maskinens restvärde (kr), i är kalkylräntan (% / 100) och n är maskinens ekonomiska livslängd (år).

$$A = i * (1 + i)^n / (1 + i)^n - 1$$

Kostnader för flytt, planering samt vinstmarginal för entreprenörer kunde uteslutas ur kalkylen, då dessa kostnader antogs vara lika för den konventionella och den delautomatiserade maskinen.

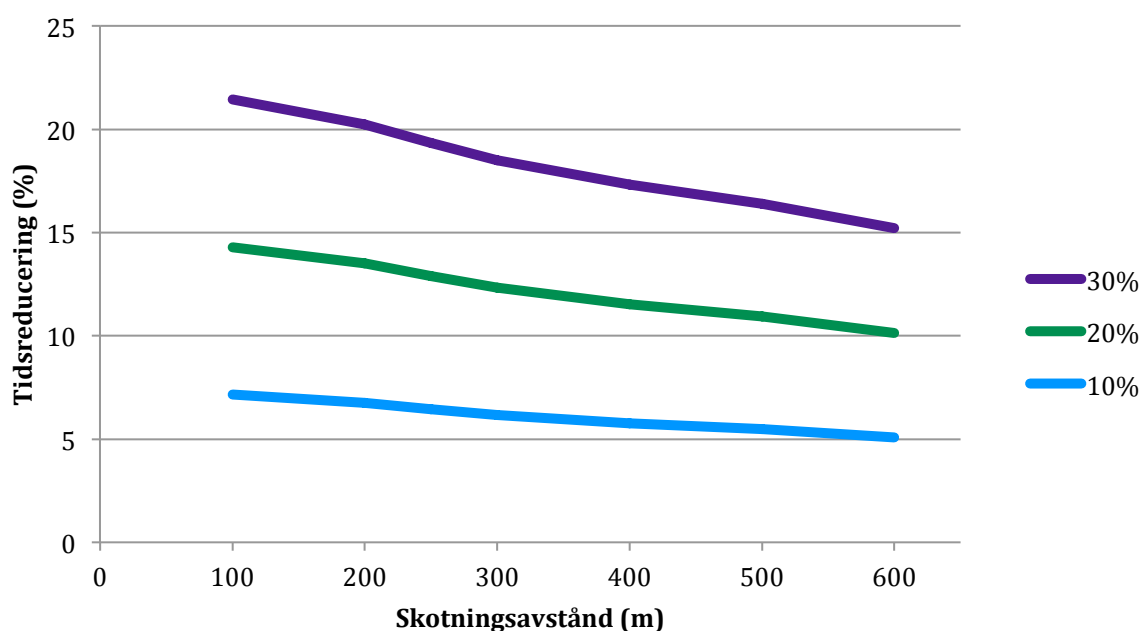
3. RESULTAT

Delautomatiserat kranarbete

Total tidsreducering för hela skotningsarbetet ökar med ökad tidsreduktion på arbetsmoment där kranen är aktiv och minskar med ökat skotningsavstånd. För tidsreduktion på 10 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar den totala tidsreduceringen mellan 5,1-7,1 % för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 20 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar den totala tidsreduceringen mellan 10,1-14,3 % för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 30 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar den totala tidsreduceringen mellan 15,2-21,5 % för skotningsavstånd på 100-600 m (figur 2).

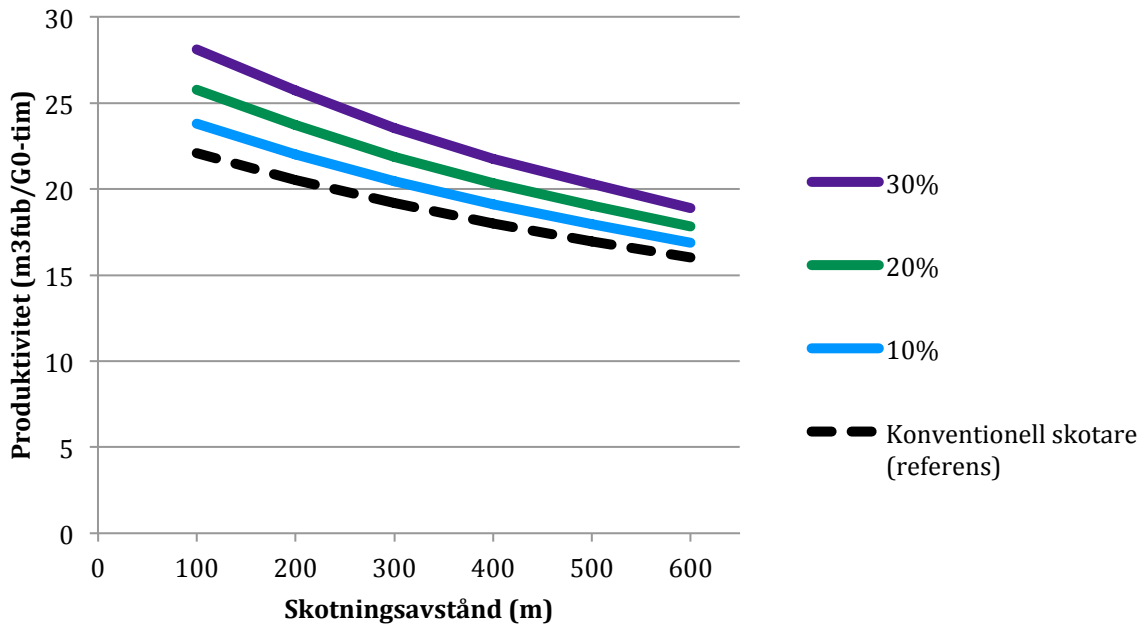
Tidsreduktion ger produktivitetsökning. Produktiviteten ökar med ökad tidsreduktion och minskar med ökat skotningsavstånd. För tidsreduktion på 10 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar produktiviteten mellan 17-24 m³fub/G₀-tim för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 20 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar produktiviteten mellan 18-26 m³fub/G₀-tim för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 30 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar produktiviteten mellan 19-28 m³fub/G₀-tim för skotningsavstånd på 100-600 m (figur 3).

Skotningskostnaden sjunker med ökad tidsreducering och ökar med ökat skotningsavstånd. För tidsreduktion på 10 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar skotningskostnaden mellan 31-43 kr/m³fub för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 20 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar skotningskostnaden mellan 28-41 kr/m³fub för skotningsavstånd på 100-600 m. För tidsreduktion på 30 % av arbetsmoment där kranen är aktiv varierar skotningskostnaden mellan 26-39 kr/m³fub för skotningsavstånd på 100-600 m (figur 4).



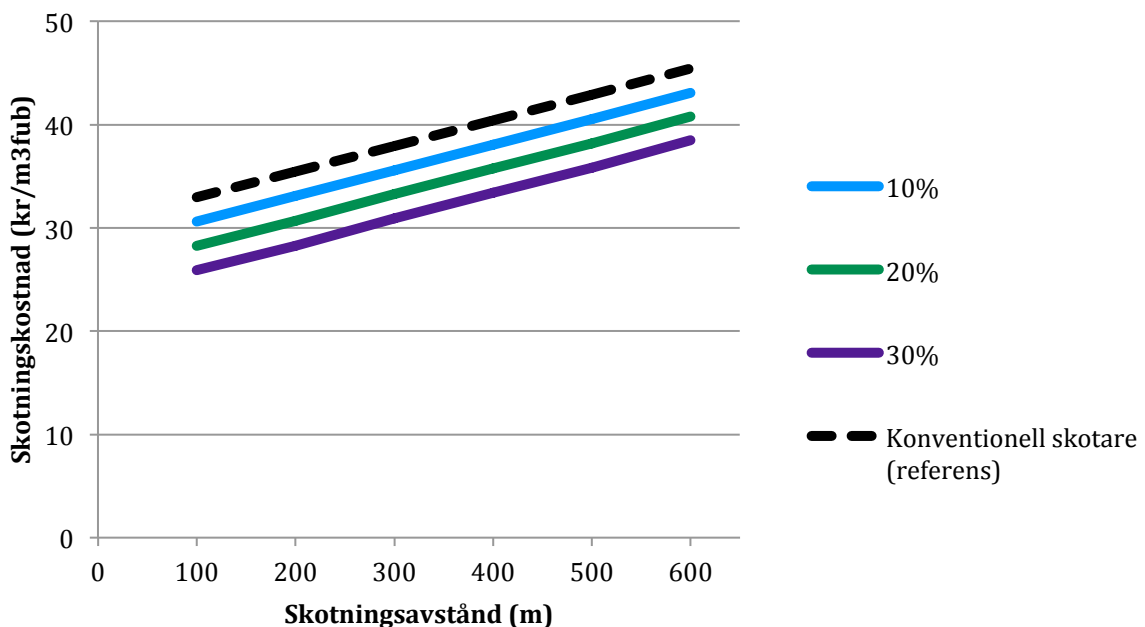
Figur 2. Total tidsreducering för hela skotningsarbetet vid olika tidsreduceringar (10, 20 eller 30 %) på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.

Figure 2. Total time reduction for the entire forwarding work at different time reduction (10, 20 or 30 %) of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.



Figur 3. Produktivitet vid skotning vid olika tidsreduceringar (10, 20 eller 30 %) på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.

Figure 3. Productivity when forwarding at different time reductions (10, 20 eller 30 %) of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.



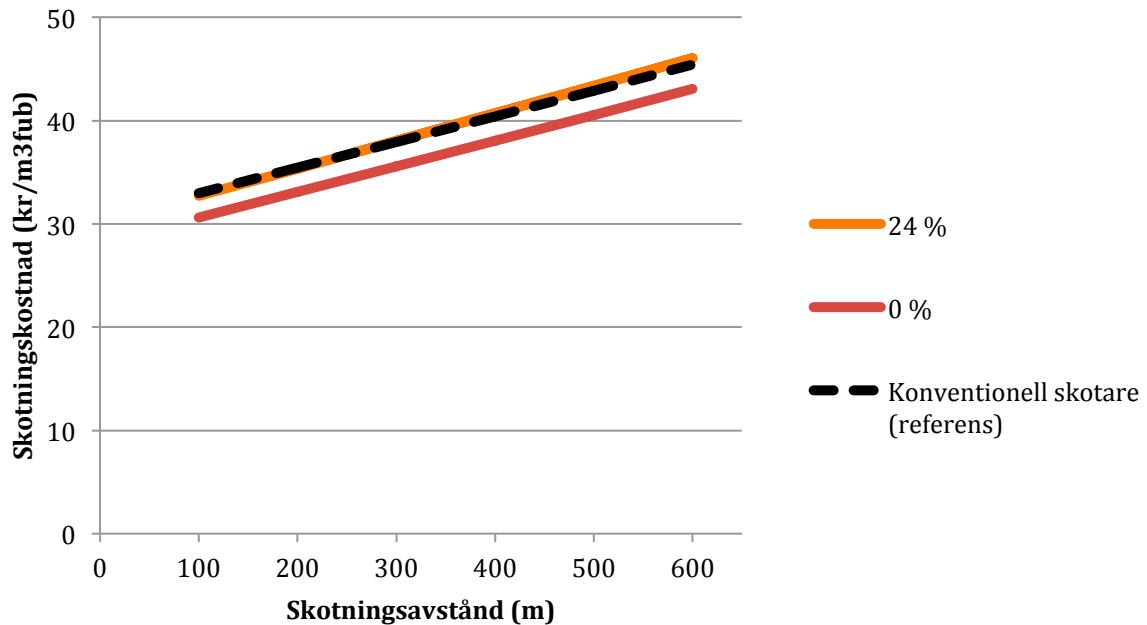
Figur 4. Skotningskostnad vid olika tidsreduceringar (10, 20 eller 30 %) på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.

Figure 4. The forwarding cost at different time reduction (10, 20 or 30 %) of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.

En tidsreduktion på 10 % på arbetsmoment där kranen är aktiv ger samma skotningskostnad som en konventionell skotare vid ett skotningsavstånd på 250 m om den delautonoma skotaren kostar 24 % mer i investering (figur 5).

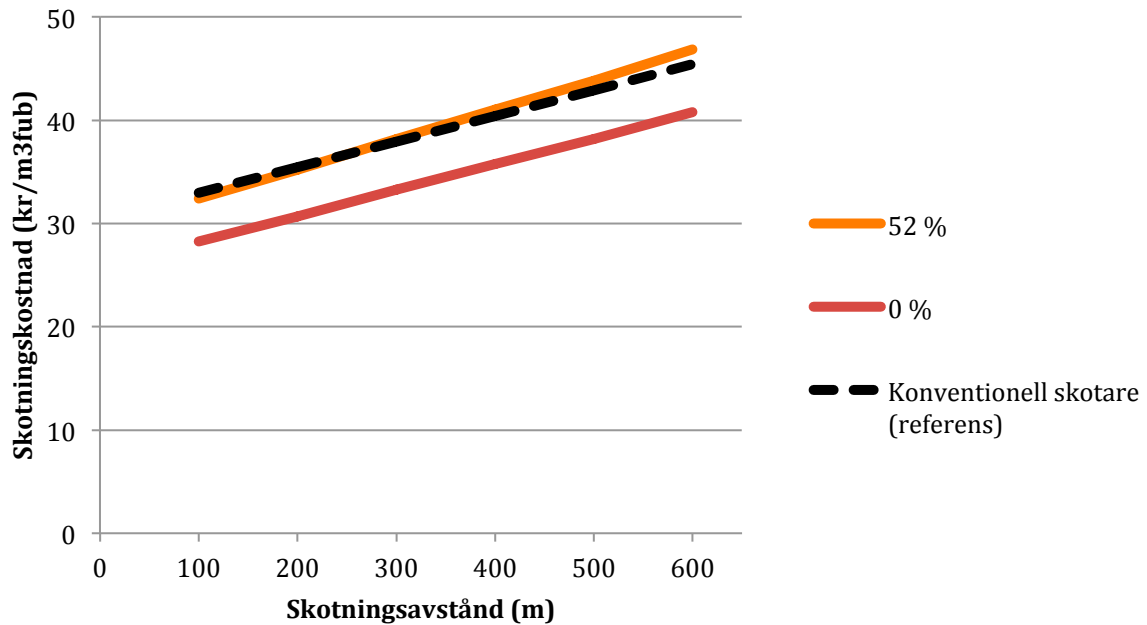
En tidsreduktion på 20 % på arbetsmoment där kranen är aktiv ger samma skotningskostnad som en konventionell skotare vid ett skotningsavstånd på 250 m om den delautonoma skotaren kostar 52 % mer i investering (figur 6).

En tidsreduktion på 30 % på arbetsmoment där kranen är aktiv ger samma skotningskostnad som en konventionell skotare vid ett skotningsavstånd på 250 m om den delautonoma skotaren kostar 87 % mer i investering (figur 7).

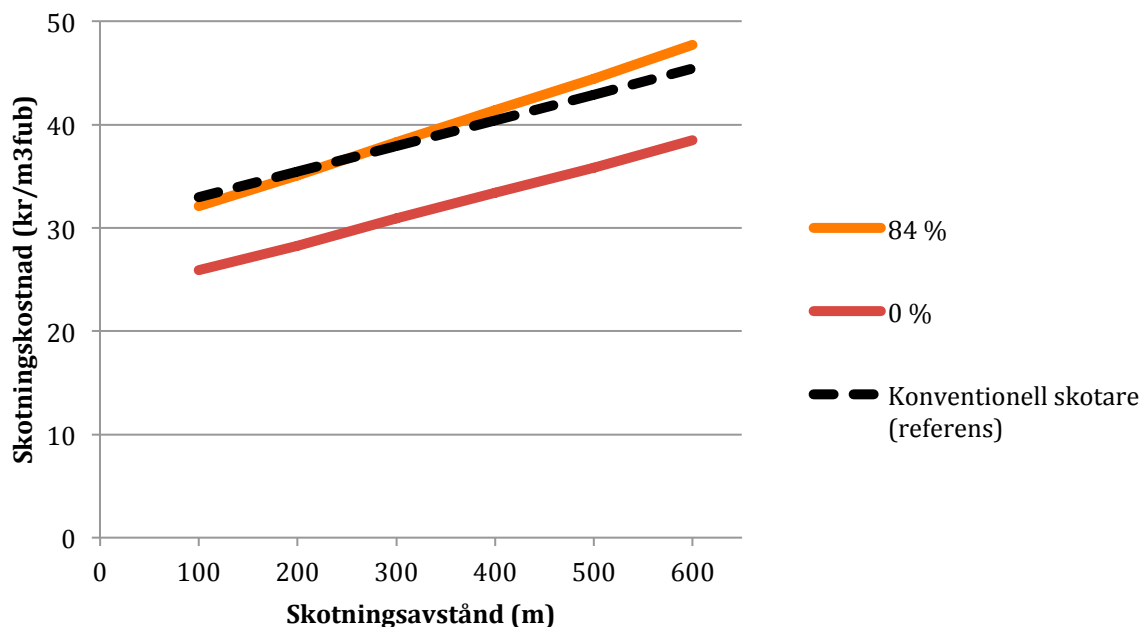


Figur 5. Skotningskostnad vid oförändrad investering (0 %) och vid 24 % ökad investering vid en tidsreduktion på 10 % på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.

Figure 5. The forwarding cost and unchanged investment (0 %) or an increase of 24 % at a time reduction of 10 % of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.

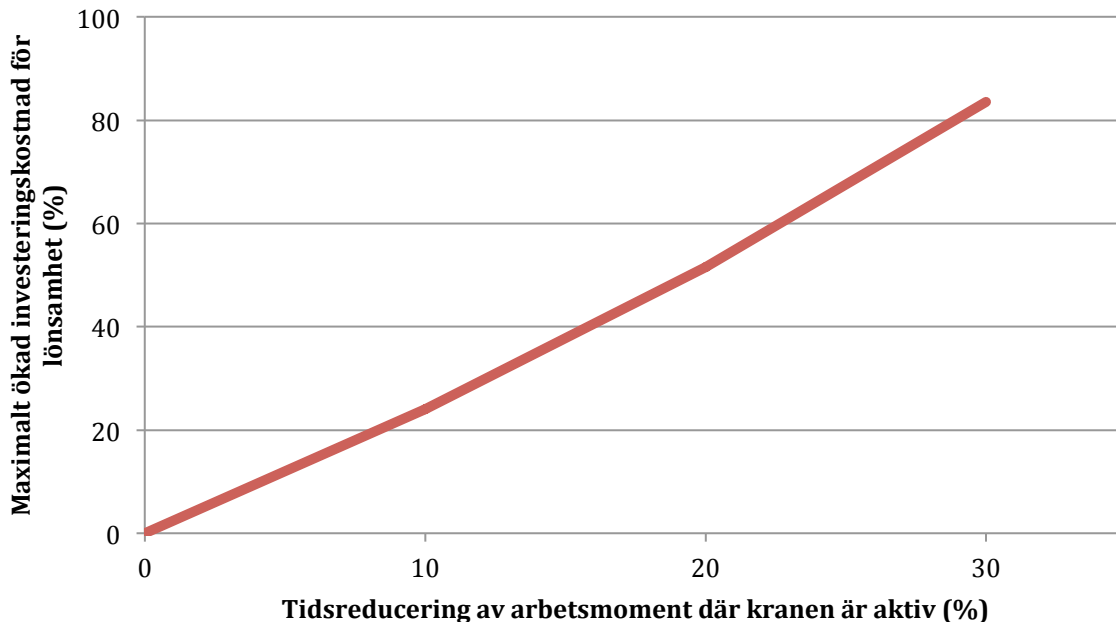


Figur 6. Skotningskostnad vid oförändrad investering (0 %) och vid 52 % ökad investering vid en tidsreduktion på 20 % på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.
Figure 6. The forwarding cost and unchanged investment (0 %) or an increase of 52 % at a time reduction of 20 % of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.



Figur 7. Skotningskostnad vid oförändrad investering (0 %) och vid 84 % ökad investering vid en tidsreduktion på 30 % på arbetsmoment där kranen är aktiv som funktion av skotningsavstånd.
Figure 7. The forwarding cost and unchanged investment (0 %) or an increase of 84 % at a time reduction of 30 % of operations where the crane is active as a function of forwarding distance.

Högsta tillåtna investering för lönsamhet blir högre med ökad tidsreducering på arbetsmoment där kranen är aktiv. För tidsreduktion på 0 % av arbetsmoment där kranen är aktiv kan inte investeringsbeloppet öka för att inte vara dyrare än en konventionell skotare. För tidsreduktion på 30 % av arbetsmoment där kranen är aktiv kan investeringsbeloppet öka med 84 % för att inte vara dyrare än en konventionell skotare (figur 8).



Figur 8. Maximal ökad investeringskostnad för lönsamhet som funktion av tidsreducering på arbetsmoment där kranen är aktiv vid 250 m skotningsavstånd.

Figure 8. Break-even for investment cost as a function of time reduction of operations where the crane is active at 250 m forwarding distance.

Förarmiljö

Arbetet som maskinförare är ett krävande arbete som ställer höga krav bland annat vad gäller snabbhet, skicklighet och produktivitet. Maskinoperatörerna arbetar ofta långa skift i svåra förhållanden där varierande väder, mörkerkörning, ojämna terräng och dålig bärighet är några exempel på faktorer som påverkar arbetsmiljön. Detta gör att maskinförare dagligen utsätts för stor fysisk samt psykisk belastning. Föraren måste ta många kvalificerade och snabba beslut under tidspress, vilket ökar den mentala belastningen. Ensidigt och monotont arbete som utförs under hög tidspress gör att musklerna inte får den vila som behövs för att kunna återhämta sig. Arbete i långa skift med få pauser kan innebära risk för muskelskador och bör därför beaktas (Brander & Eriksson 2004).

Automatisering av kranstyrning minskar användandet av reglagen och kortare pauser kan därmed erhållas (Brander & Eriksson 2004). Korta pauser i arbetet är nödvändigt för att föraren ska hålla sig pigg och alert under hela arbetspasset. Pauserna kan användas för mer kvalificerade beslut som exempelvis bättre vägval samt bättre sortering av olika sortiment. Bättre resultat och även miljövinster kan då erhållas (Englund & Mörk 2015). Minskad användning av reglage minskar även arbetsbelastningen för förarna (Brander & Eriksson 2004).

Teknostress är en vanlig förekomst i många arbeten idag på grund av ökad användning av avancerad teknologi. Teknostressen framträder speciellt när det uppkommer problem för föraren och det är för avancerat för hen att själv kunna lösa det och när det inte finns förutsättningar för att nyttja tekniken fullt ut. Konsekvenserna av detta blir att det tar längre tid att utföra arbetsuppgifterna och därmed kan produktiviteten i arbetet sjunka (Brander & Eriksson 2004).

Det finns fler incitament än enbart produktionsökning och förbättrad arbetsmiljö för att arbeta med automation. För att bli en bra förare och nå upp till de erfarna förarnas produktion, krävs det år av övning. Körning i simulator förkortar inlärningstiden och har skotaren dessutom delautomatiserad kran kan tiden kortas ned ytterligare. Oerfarna förare har störst potential att förbättras, men medelproduktionen höjs för alla förare (Englund & Mörk 2015). Inom skogsbruket har problem med minskad rekryteringsgrupp uppmärksamats. Problemet kan härledas till bland annat urbanisering och minskad attraktion för skogsyrken i allmänhet. Det är en utmaning för skogsbruket och automation kan vara ett steg i rätt riktning för att göra branschen mer eftertraktad. På lång sikt kanske arbetsbehovet även kan minskas. Automation bör tillämpas så det både hjälper förare att öka produktionen och dessutom underlätta deras arbetsmiljö (Ortíz Morales 2015).

4. DISKUSSION

Delautomatiserat kranarbete

Litteraturen visade på att delautomation ger en produktionsökning. Resultatet visade att den ökade produktionen ger en lägre skotningskostnad. I resultatet syns att investeringskostnaden har stor påverkan på skotningskostnaden. Maximal ökad investeringskostnad för lönsamhet jämfört med referensskotaren är relativt hög, 24-87 % (figur 5-7). Det är mest troligt att investeringskostnaden för en delautomatiserad skotare inte kommer att höjas över dessa % - sätser och därför kan en sådan maskin anses som en mer lönsam investering än en konventionell skotare.

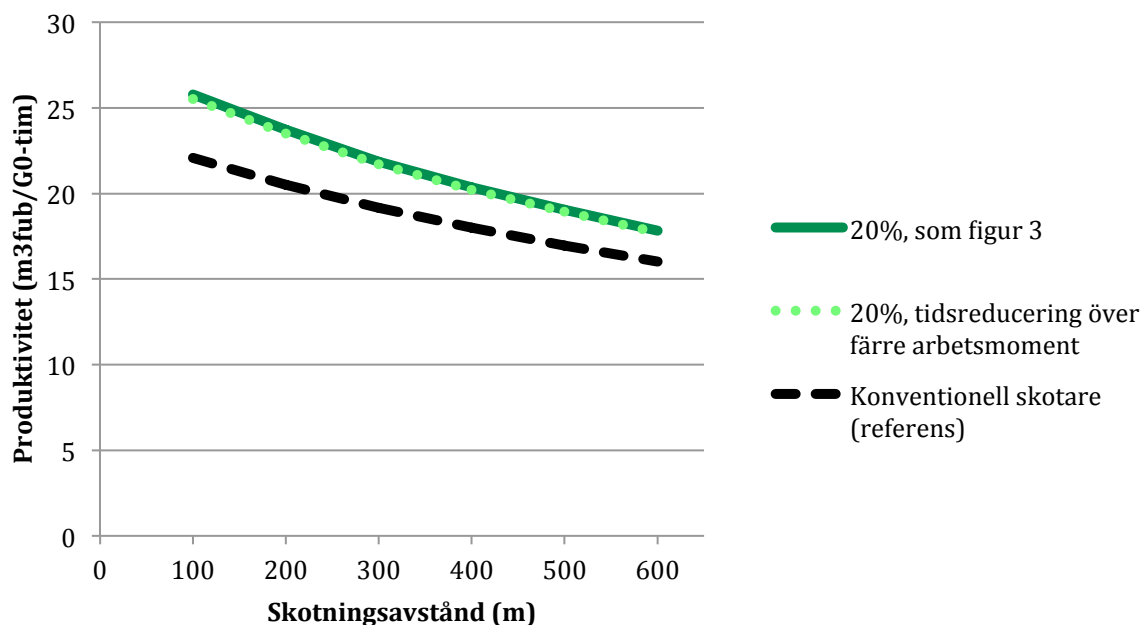
Analysen över högsta tillåtna investering för lönsamhet gjordes för ett skotningsavstånd på 250 m vilket är det genomsnittliga skotningsavståndet i Sverige. Hade samma analys gjorts vid 600 m skulle investeringshöjningen istället vara mellan 19-63 %. På trakter med långa skotningsavstånd kan investeringsökningen således inte vara lika hög. Det medför en regional skillnad i lönsamhet mellan områden med sämre utbyggt vägnät mot områden med bättre utbyggt vägnät.

Resultatet visade känslighetsanalyser över olika tidsreduceringar och ökade investeringar för den delautomatiserade skotaren men inte över de andra kostnadsposterna i maskinkostnadskalkyleringen. Restvärdet skulle kunna sänkas till följd av att åldrande automationsteknik antagligen skulle kunna krångla mer och bli mindre attraktivt på andrahandsmarknaden. Den skillnaden som minskat restvärde skulle göra på skotningskostnaden är marginell och kan därför bortses. Den fasta underhållskostnaden skulle också kunna ändras och då kanske bli dyrare till följd av att skotaren får mer teknik och då behöva en högre dataunderhållsservice. Det skulle antagligen inte vara en stor förändring och därför är även den extrakostnaden försumbar. Beräkningsposterna kalkylränta, drivmedelskostnad, förarlön inklusive sociala avgifter och systemtid skulle antagligen inte förändras med delautomation och kan därför anses vara lika mellan maskinerna.

Andelen tid för arbetsmoment där kranen var aktiv togs ur en tabell för skotarens tidsfördelning vid gallringar. Vid uträkningarna togs inte hänsyn till gallringstidstillägg eller att tiderna för referensskotaren kom från både gallring och slutavverkning varav tidsfördelningen för olika moment kunde ansetts skev. Jämförs tidsfördelning över arbetsmoment för skotare i gallring mot i slutavverkning är det ingen markant skillnad, till exempel ligger tidsandelen för lastning för båda runt 50 % vid 100 m och 25 % vid 600 m. Den marginella skillnaden som finns är försumbar. Procenttalen som togs ur figurerna är inte helt exakta då de är lästa ur en graf. Den osäkerheten kan anses försumbar då man kan anse att alla tal har utläst med samma bias och förhållandet borde fortfarande vara korrekt (figur 1; Manner m.fl. 2015).

Den genomsnittliga tidsreduceringen på 20 % som antagits kan anses ge en glädjekalkyl. Det finns en osäkerhet i hur mycket delautomation faktiskt kommer att kunna användas i praktiken, då inga studier har gjorts över hur automationsanvändningen påverkas av drivningsförhållanden. Automationsanvändningen skulle kunna sänkas på grund av att föraren väljer att inte använda automation vid till exempel skotning under stark lutning.

Antas det att automation endast används vid lastning och lossning. Då skulle den genomsnittliga kranautomationen minska och då också den genomsnittliga tidsreduceringen. Det gör att produktiviteten sänks och produktionskostnaden blir högre per m^3fub . Vid en tidsreduktion på 20 % av alla arbetsmoment där kranen är aktiv varierar produktiviteten mellan 17,8-25,8 $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ för skotningsavstånd på 100-600 m. Vid en tidsreduktion på 20 % av endast arbetsmomenten lastning och lossning varierar produktiviteten mellan 17,7-25,5 $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ för skotningsavstånd på 100-600 m. Det skiljer ca 0,10 $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ vid 100 m och ca 0,24 $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ vid 600 m mellan de olika automationsutnyttjandena (figur 9). Produktivitetsskillnaden är inte stor för varken långa eller korta skotningsavstånd och skillnaden i skotningskostnad är försumbar. Även med den något lägre utnyttjandegraden av automation kommer den delautomatiserade skotaren fortfarande ska vara en lönsam investering jämfört med referensskotaren.



Figur 9. Produktivitet vid skotning med en tidsreducering på 20 % på arbetsmoment där kranen är aktiv eller en tidsreducering på 20 % på endast arbetsmomenten lastning och lossning som funktion av skotningsavstånd.

Figure 9. Productivity when forwarding with a time reduction of 20 % for operations where the crane is active or a time reduction of 20 % for only loading and unloading operations as a function of forwarding distance.

Förarmiljö

Resultatet från litteraturstudien visade att delautomation av kranstyrning har positiva effekter, både fysiska och psykiska, på förarens arbetsmiljö. Dock kan inga kvantitativa slutsatser dras utifrån denna studie. Däremot kan det diskuteras kring vad dessa effekter kan ha för betydelse för förarna. När mer tid finns för att kunna ta bättre beslut kan förarna uppleva mer tillfredsställelse över sitt arbete, vilket i sin tur gör att arbetet känns mer stimulerande och roligt. Inga konkreta siffror på en produktionsförbättring har kunnat redovisas i studien, men indikationer finns att på lång sikt skulle produktionen kunna höjas något tack vare en förbättrad arbetsmiljö. Resultatet visade också att den fysiska belastningen som uppstår vid skotningsarbete med en konventionell skotare kan minskas med en delautomatiserad skotare. När den fysiska belastningen minskar kan också risken för att drabbas av förslitningsskador minskas. Inte heller här kunde några konkreta följder påvisas, men det är inte helt otänkbart

att långsiktigt skulle förarna kunna hålla sig friska och krya längre upp i åldrarna. Det är inte heller helt omöjligt att sjukfrånvaron skulle kunna sjunka tack vare en förbättrad arbetsmiljö.

Resultatet från litteraturstudien påvisade att delautomation minskar inlärningstiden för oerfarna maskinförare. Det gör att skillnaden i prestation mellan nya och erfarna förare sjunker. En av fördelarna med delautomatiserad skotare kan då sägas vara att inlärningstiden för nya förare blir kortare och skillnaden mellan nya och erfarna förare blir mindre. En nackdel med delautomation kan vara att de allra bästa förarna känner sig begränsade av automationen då de inte har full kontroll över skotaren hela tiden. Detta problem kan lösas genom att ha en funktion så att föraren när som helst kan ta kontrollen över kranen igen. Att minska skillnaden i produktion mellan nya och mer erfarna förare, kan också ses som en lönsam investering. Även om det rent ekonomiskt inte skulle vara lönsamt med delautomation så kan det ändå konstateras att ur ett arbetsmiljömässigt perspektiv väger fördelarna upp mot nackdelarna och därför kan skotare med delautomatisk kran vara en "lönsam" investering.

Fortsatta studier

I denna studie byggde tidsreduceringarna på teoretiska antaganden. Fortsatta studier bör inriktas på att fastställa riktiga tidsreduceringar. Det kan göras med hjälp av tidsstudier på maskinprototyper eller i simulatorer.

Slutsatser

Delautomation ger en produktionsökning. Resultatet visade att den ökade produktionen ger en lägre skotningskostnad. Skotningskostnaden korrelerar till stor del med investeringskostnaden. En produktionsökning för den delautomatiserade skotaren gör att den kan ha en högre investeringskostnad än en konventionell skotare, men ändå ha en lägre skotningskostnad. Investeringshöjningen som den delautomatiserade skotaren klarar av och fortfarande ha en lägre skotningskostnad än en konventionell skotare är relativt hög, 24-87 % för tidsreduceringar mellan 10-30 % på arbetsmoment där kranen är aktiv och för skotningsavstånd mellan 100-600 m. Därför kan en delautomatiserad skotare anses vara en lönsam investering.

Delautomation av kranstyrning har positiva effekter, både fysiska och psykiska, på förarens arbetsmiljö.

5. REFERENSER

Anon. (1988). Skogsteknisk forskning och utveckling i Sverige under 50 år. Forskningsstiftelsen skogsarbeten. Redogörelse nr 6, ss. 22-24.

Anon. (2011). Prestationsnormer skotare G₀-h. SCA, januari 2011.

Brander M. & Eriksson D. (2004). Delautomatisering av kranfunktioner på engreppsskördare. Skogforsk. Arbetsrapport 562 2004.

Brander M. & Nordén B. (2004). Utvärdering av automatfunktioner på engreppsskördare med en professionell skördarförare. Skogforsk. Arbetsrapport 573 2004.

Englund M. & Mörk A. UKONF15. Skogforsk. 2015-02-24.

Ernst & Young (uå). Simulering Skotare: Skotare Mellan. Opublicerad maskinkalkyl. Hämtad från Kjell Rönnholm, Komatsu.

Hellström T., Lärkeryd P., Nordfjell T. & Ringdahl O (2008). Autonomus Forest Machines - Past, present and future. Department of Computing Science, Umeå University. UMINF 08.06, ISSN-0348-0542.

Hellström T. Lärkeryd P. Nordfjell T. & Ringdahl O. (2009) Autonomous forest vehicles: historic, envisioned, and state-of-the-art. *International Journal of forest engineering* 20(1):31-38.

Löfgren B. Bergkvist I. Brunberg T. Hallonborg U. Norin K. & Thorsén Å. (2002). Temaprojekt - delautomatisering, Fas 1: Behov och möjligheter. Skogforsk Arbetsrapport 215, 2002.

Manner J., Nordfjell T. & Lindroos O. (2013). Effects of the Number of Assortments and Log Concentration on Time Consumption for Forwarding. *Silva Fennica*, vol. 47 no. 4.

Manner J., Nordfjell T., Palmroth L. & Lindroos O. (2015). Forwarder work task statistics by the TimberLink follow-up dataset. Opublicerat manuskript. Department of Forest Biomaterials and Technology. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

Milne B., Chen X., Hann C. & Parker R. (2013). Robotisation of forestry harvesting in New Zealand - An overview. I. 2013 10th IEEE International Conference on control and automation (ICCA). Hangzhou, ss. 1609-1614.

Nordfjell T., Björheden R., Thor M. & Wästerlund I. (2010). Changes in Technical Performance, Mechanical availability and Prices of Machines Used in Forest Operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25:4, 382-289.

Nordfjell T. (2014). Stencil "Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler 2014".

Nordfjell T. Muntlig kommunikation. 2015-04-15.

Ortíz Morales D., Westerberg S., La Hera P., Mettin U., Freidovich L. & Shiriaev A. (2014). Increasing the Level of Automation in the Forestry Logging Process with CraneTrajectory Planning and Control. *Journal of Field Robotics* 31(3), 343-363, 2014. DOI: 10.1002/rob.21496.

Ortíz Morales D. (2015). Virtual holonomic constraints from academic to industrial applications. Department of Applied Physics and Electronics. Diss. Umeå universitet. Umeå: Print & media.

Skogsstyrelsen (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. Sverige: Swedish forest agency. (ISSN 0491-7847, ISBN 978-91-87535-05-5).

6. BILAGOR

Bilaga 1 – Maskinkalkyl från Komatsu Forest

Simulering Skotare: Skotare Mellan

Exempelföretag

H Sandgren

Avser period:	1-3 år kurskalkyl
Valuta:	kr

INTÄKT

Fast ersättning:	60,05	per m3fub	
Vinstpåslag %:	8,0%		

VOLYMER

Medelskotavstånd årsbasis:	400	
Antal lass/driftstim:	1,20	
Antal m3fub/lass	15,0	
m3fub / tim:	18,0	
m3fub / dygn:	204,1	
Verkliga arb.dagar (dgr):	215	
Arbetsplatstid/dygn (tim):	15,2	
Effektiv körtid/dygn %:	80,0%	
Med hänsyn till maskinflytt:	74,6%	74,6%
Flyttens påverkan på Eff körtid:	5,4%	5,4%

MASKINFLYTT

Antal tim / flytt (tim):	2,0	
Kostnad / tim (kr):	950,0	
Medeltrakt m3fub:	500	
Beräknat antal flytt/år:	88	88
Årskostnad flytt:	167 200	167 200

DRIFTSKOSTNADER

	Förbrukning	kost /enhet	Förbrukning	kost /enhet
4010 Drivmedel:	12,00	11,50		
4011 Hydraulolja:	0,10	43,00		
4012 Övriga smörjmedel, motor, filter mm:	2 438	8,00	2 438	
4013 Däckkostnad:	1	25 000		
4015 Hydraulslang:	20,00	350		
4020 Reservdelar och underhåll, basmaskin:	2 438	40,00	2 438	

Kalkylerat Simulerat Diff

Vinst/Förlust:	195 234	195 234	
Kostnad per m3fub:	55,60	55,60	
Timpenning	1 080,90	1 080,90	
Fast ersättning:	60,05	60,05	
Omsättning/intakt:	2 635 665	2 635 665	
Kostnader:	2 440 431	2 440 431	
Beräknat vinstpåslag %:	8,0%	8,0%	

m3fub / tim:	18,0	18,0
m3fub / dygn:	204,1	204,1
Lass / driftstim:	1,20	1,20

Effektiv körtid/dygn:	11,34	11,34
Volym årsbasis:	43 891	43 891
Antal driftstimmar/år:	2 438	2 438
Antal avlönade årstimmar:	3 616	

Kostnad per flytt:	1 900	1 900
Årskostnad:	167 200	167 200
Beräknat antal flytt/år:	88	88

Totaler

336 499	336 499
10 485	10 485
19 507	19 507
25 000	25 000
7 000	7 000
97 536	97 536

Simulering Skotare: Skotare Mellan

LÖNER

	Bruttolön	Lönebikost. %	Bruttolön	Lönebikost. %				
Anställd maskinförare	255 000	69,40%			Summa bruttolön:	522 000	522 000	
Anställd maskinförare	255 000	69,40%			Sum lön inkl lönebikost:	875 940	875 940	
Ev. administrativ arbetskostnad (företagsledare etc)								
Utbildning	30 000				Lön för adm personal ingår med 40% enligt fördelning Övriga kostnader.			
Traktamenten:					Traktamenten:			
Reseersättning:					Reseersättning:			
Antal heltidsanställda	2,0							
Antal årstimmar/förare:	1 808				Timkost inkl löne- bikostnad och extra:	242,24	242,24	

© Ernst & Young