

# Påverkan av kranspetsstyrning på nya skogsmaskinförarens utveckling

Effects of boom tip control on the learning progress of new forest machine operators





## Summary

The aim of the study was to investigate differences in productivity and perceived strain between students who learn to operate a forwarder crane with boom tip control, and those who learn to operate the machine with conventional controls.

With boom tip control, the operator directs the crane movement with a joystick instead of controlling every single crane component. Since 2013, boom tip control has been available for forwarders in the John Deere system, Intelligent Boom Control (IBC).

A vocational upper secondary class learning how to operate a forwarder crane was divided into two groups. One group learned using conventional controls, while the other used IBC. The groups were tested four times during the first term in a crane operation task using a stationary machine. The task consisted of typical movements in the work of a forwarder. After the first term the students switched boom control method and were tested again.

The task was evaluated using time studies, and data was collected from the machine on the movements of the joysticks and boom tips. Analyses included time taken for the work, distance travelled by the boom tip, average maximum height of the boom tip above the stakes, number of changes in direction of the joysticks, number of specific joystick functions, and self-reported strain on the participants.

The results showed that the group that started with the IBC performed the task in a shorter time, operated the crane more efficiently, moved the joystick less, and experienced less strain. Switching crane control method did not seem to cause any problems for those students switching to IBC, but switching from IBC to conventional control seemed to present more of a problem.

The study shows that, for beginners, IBC facilitates and improves the efficiency of work in typical crane movements for forwarding. Switching to IBC for those who can operate the crane in a conventional way would not be difficult.

## **Förord**

Denna studie genomfördes mellan september 2014 och mars 2015.

Tack till alla elever som under den första tiden på sin skogsutbildning med genuint engagemang ställde upp som försöksdeltagare.

Tack till lärarna på Vretagymnasiet för ett gott samarbete och allt arbete för att ge oss bra förutsättningar att genomföra studien.

Tack till John Deere för hjälp med tillgång till maskiner och inspelning av maskindata.

# Innehåll

Summary.....	2
Förord .....	3
Sammanfattning .....	6
Bakgrund .....	7
Skillnader mellan metoderna.....	7
Tidigare studier .....	7
Kommersiellt system sedan 2013 .....	7
Syfte .....	8
Metod.....	8
Försöksdeltagare .....	8
Studieupplägg.....	8
Övningsförutsättningar.....	8
Krankörningsuppgift.....	8
Banans utformning .....	9
Uppgiften i detalj .....	10
Justering av banan.....	10
Maskinen i försöket.....	10
Tidsstudie med filmer .....	11
Synkronisering av maskindata.....	11
Antal riktningssändringar av spakrörelser .....	12
Antal simultana spakfunktioner .....	12
Kranspetsens sträcka .....	13
Gripens höjd över stöttorna.....	14
Subjektiv utvärdering.....	14
Analys i två delar .....	15

Resultat .....	15
Del 1: De första fyra studietillfällena .....	15
Varierad tidsåtgång beroende på styrmetod .....	15
Varierat antal riktningssändringar beroende på styrmetod.....	16
Styrmetoderna jämbördiga i antal samtidiga spakfunktioner.....	17
Kranspetsens sträcka varierade något med styrmetod.....	17
Kranspetsens höjd varierade beroende på styrmetod .....	18
Styrmetod inverkade på subjektiv belastning.....	18
Del 2: Relativ förändring vid byte av kranstyrningsmetod .....	19
Slutsatser .....	19
Övergripande.....	19
Mindre tidsåtgång .....	19
Färre insatser från föraren.....	20
Metoderna likvärdiga i antal samtidiga spakfunktioner .....	20
Kortare sträcka med kranpetsen .....	21
Lägre styrning över stöttorna .....	21
Lägre upplevd belastning.....	21
Diskussion .....	22
Väl fungerande krankörningsuppgift .....	22
Byte av metod för tidsstudie .....	22
Maskindata för bättre förståelse.....	22
IBC ger enklare start på Utbildningen.....	22
Referenser.....	23
Bilaga 1.....	24
Bilaga 2 .....	25

## Sammanfattning

Studiens syfte var att undersöka skillnaderna i prestation och i upplevd belastning mellan elever som lär sig köra skotarkran med kranspetsstyrning och elever som lär sig köra med konventionell styrning.

Kranspetsstyrning innebär att föraren anger kranspetsens rörelseriktning med spakarna istället för att styra varje enskild krandel. Sedan 2013 finns kranspetsstyrning tillgänglig för skotare i form av John Deeres system Intelligent Boom Control (IBC).

Studien utfördes på ett naturbruksgymnasium där två grupper av elever fick lära sig att använda en skotarkran med antingen konventionell styrning eller kranspetsstyrning. På en stationär bana fick de genomföra en standardiserad krankörningssuppgift fyra gånger under första terminen. Uppgiften bestod av rörelser som är typiska för arbetet med en skotare. Efter den första terminen bytte eleverna kranstyrningsmetod och testades igen.

Utförandet av uppgiften tidsstuderades och maskindata samlades in om spakarnas och kranspetsens rörelser. Utifrån insamlade data beräknades olika mått som beskriver förarnas arbete och utförandet av uppgiften. Därefter analyserades tid för genomförandet, kranspetsens sträcka, medelvärde av kranspetsens maximala höjd över stöttorna, antal rörelseriktningsändringar hos spakarna, antal samtidiga spakfunktioner och försöksdeltagarnas självskattade belastning.

Resultaten visade att gruppen som började köra med IBC genomförde uppgiften på kortare tid, körde kranen på ett effektivare sätt, arbetade mindre med spakarna och upplevde lägre belastning.

Att byta kranstyrningsmetod verkade inte innebära några problem för gruppen som bytte till IBC. Byte från IBC till konventionell styrning verkar däremot ha varit mer problematiskt.

Studien visar att för nybörjare underlättar och effektiviserar IBC arbetet vid kranrörelser som är typiska för skotning. De som kunde köra kran på konventionellt sätt hade heller inga svårigheter att byta till IBC.

## Bakgrund

### Skillnader mellan metoderna

Vid kranpetsstyrning anger föraren med spakarna i vilken riktning kranpetsen ska röra sig. En dator kombinerar då rörelser av kranens olika delar för att utföra manövern. I grova drag styrs kranpetsens rörelse i höjddled av en spakrörelse och rörelsen radiellt från kranpelaren av en annan spakrörelse.

För en kran som manövreras på konventionellt sätt måste föraren själv kombinera tre olika input med spakarna för att uppnå en önskad rörelse i kranens plan (Figur 1). Kransväng fungerar på samma sätt för båda styrmetoderna.



Figur 1. Den vänstra bilden visar de möjliga rörelseriktningarna för de olika krandelarna. Vid konventionell styrning av kranen kombinerar föraren de tre delarnas rörelse för att uppnå önskad kranrörelse. Den högra bilden visar de ungefärliga rörelseriktningarna vid kranpetsstyrning som föraren kombinerar för att uppnå önskad kranrörelse.

### Tidigare studier

Kranpetsstyrning har studerats tidigare på Skogforsk. Under åttio- och nittiotalen genomfördes en serie av tre projekt. I de första två projekten utvecklades teori och mjukvara. Givare och styrdator installerades på en ÖSA 260-skotare som användes för att testa kranpetsstyrningen. I det tredje projektet gjordes en större utvärdering, där kranpetsstyrning jämfördes med konventionell styrning med både mer och mindre erfarna förare. Resultaten kunde inte visa på några säkra uppmätta skillnader, men lämnade ändå försöksdeltagare och forskare med förhoppningar om att en utvecklad version skulle kunna leda till ökad produktivitet och mindre belastning på både förare och maskin (Löfgren m.fl. 1994).

En senare studie i Skogforsks maskinsimulator, Troëdsson Forest Technology Lab, undersökte skillnaden mellan grupper av elever på en skogsbruksskola som lärde sig att köra skotare med kranpetsstyrning eller på konventionellt sätt. Resultaten visade att kranpetsstyrningen var lättare att lära sig och innebar lägre belastning på förarna (Egermark, 2005).

Löfgren (2009) utvecklade algoritmerna för kranpetsstyrning och anpassade dem för att kunna användas vid automatiska kranrörelser.

### Kommersiellt system sedan 2013

I och med att John Deere lanserade sitt system "Intelligent boom control system" (IBC) på Elmia Wood 2013 blev kranpetsstyrning på skotare kommersiellt tillgängligt för första gången.

## Syfte

Studiens syfte var att undersöka skillnaderna i prestation och i upplevd belastning mellan elever som lär sig köra skotarkran med kranspetsstyrning och elever som lär sig köra med konventionell styrning.

## Metod

### FÖRSÖKSDELTAGARE

Som försöksdeltagare användes en klass med 16 elever på ett naturbruksgymnasium. Vid studiens början hade de precis börjat första årskursen på ett skogligt program. Alla eleverna skulle under första året lära sig att köra skotare. Klassen delades upp i två grupper som fick börja lära sig att köra skotarkran med antingen konventionell styrning eller kranspetsstyrning.

### STUDIEUPPLÄGG

Det första studietillfället genomfördes i början på höstterminen. Försöksdeltagarna hade innan dess endast haft ett tidigare tillfälle att köra skotarkran. Ytterligare tre studietillfällen genomfördes sedan under hösten med ungefär en månads mellanrum. Efter det fjärde tillfället bytte de som använt IBC till att istället öva på konventionell kontroll och vice versa. Under vårterminen genomfördes två studietillfällen med den för eleverna nya kranstyrningstekniken – det ena alldeles i början av terminen och det andra efter ytterligare två månader.

### ÖVNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Eleverna övade på att köra skotarkran på tre olika sätt. Förutom att de utförde skotningsarbete i skogen övade de på krankörning med fasta kranar och i simulator.

Vid de fasta kranarna fanns en lastbärare och virke att lasta på och av. Maskinerna var inte flyttbara, utan endast till för att öva krankörning. Eftersom de fasta kranarna inte var utrustade med IBC eller kranspetsstyrning i någon annan form, fanns en John Deere-skotare utrustad med IBC tillgänglig på samma villkor under den första halvan av den första terminen.

I skotarsimulatorens fanns många olika krankörningsövningar med både konventionell styrning och IBC som möjliga alternativ. Banan där krankörningsuppgiften skulle utföras fanns också i simulatormiljön.

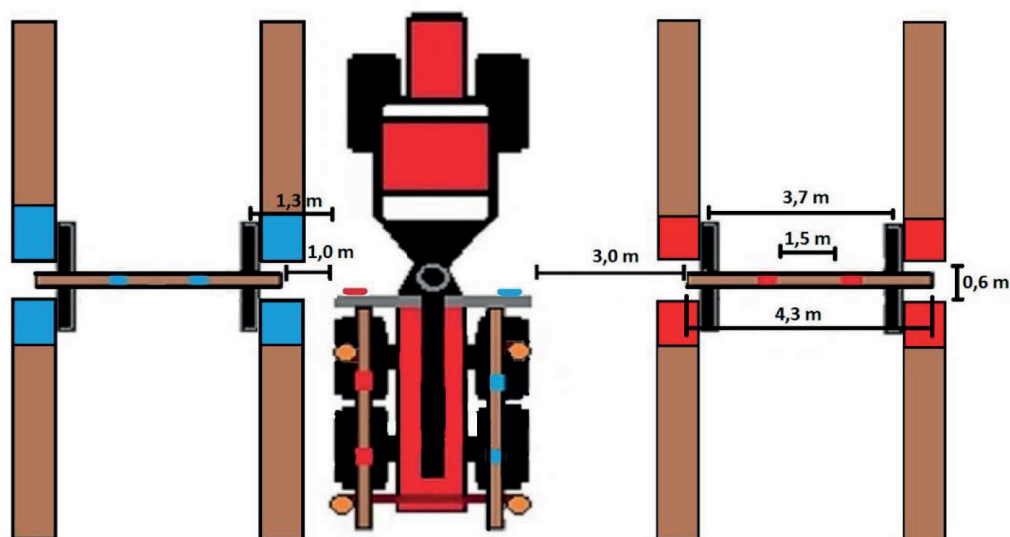
### KRANKÖRNINGSUPPGIFT

En krankörningsuppgift togs fram på en bana där maskinen är stationär. Uppgiften skulle innehålla de kranrörelser och krav på precision som förekommer i arbete med skotare. Den skulle vara enkel att förstå och utföra korrekt. Försöksdeltagarna fick en skriftlig instruktion om hur uppgiften skulle genomföras (Bilaga 1). Vid studietillfällena fick varje försöksdeltagare öva ett varv tillsammans med en studieledare i hytten för att säkerställa att uppgiften hade uppfattats rätt.



## Banans utformning

Banan (Figur 2) bestod av två stockar (blå och röd) och två avgränsade positioner, en på marken och en på lastutrymmet, för respektive stock. Stockarnas längd var 4,3 m och diametern var ca 20 cm i toppändan och ca 23 cm i rotändan.



Figur 2. Schematisk bild av banan. I bilden visas båda positionerna där den blå respektive röda stocken kunde placeras.

Banans utformning innebar att stockarna på marken skulle placeras med en precision av  $\pm 0,3$  m i längdled för att ligga med ändarna på underlaget och inom ett i sidled begränsat utrymme av 0,6 meters bredd. På lastutrymmet skulle stockarna placeras på bankarna på motstående sida jämfört med positionerna på marken. Stockarna och deras respektive positioner på marken och lastutrymmet var märkta med färg för att göra det tydligt för försöksdeltagarna var de skulle placeras.



Figur 3. Översikt av banan.

### Uppgiften i detalj

Försöksdeltagarna fick instruktionen att genomföra uppgiften på så kort tid som möjligt och samtidigt ha god kontroll. Med gripen runt den röda stocken skulle de lyfta och placera den på sin plats på lastutrymmet. Sedan skulle de styra ut kranen, lyfta den blå stocken från marken och lägga den på sin plats på lastutrymmet. Därifrån skulle de styra kranen till den röda stocken, lyfta den från lastutrymmet och placera den på sin position på marken. Kranen skulle sedan styras tillbaka till den blå stocken på lastutrymmet och därifrån lägga den på sin position på marken. Slutligen skulle kranen styras över till den andra sidan av maskinen där den röda stocken ligger och utan uppehåll påbörjas ett nytt varv. Försöksdeltagarna körde banan fyra sammanhängande varv vid varje studietillfälle.

### Justering av banan

Banans konstruktion skiljde sig något från den beskrivning som fanns i instruktionen till försöksdeltagarna (Bilaga 1). Detta berodde på att det var problematiskt att slå ner pålar i marken på det sätt som var tänkt från början. Istället användes stockar för att begränsa utrymmet för stocken i sidled.



Figur 4. Vy från hytten över stockarnas positioner på marken.

## MASKINEN I FÖRSÖKET

Vid studietillfällena användes en John Deere 1510 E utrustad med John Deeres teknik för kranspetsstyrning, Intelligent boom control (IBC). Kranen kunde köras både med IBC och på konventionellt sätt. Maskinen har en hytt som automatiskt roterar för att vara vänd mot kranspetsen.

Systemet har optimerats för att vara effektivt och enkelt att arbeta med i de rörelser som oftast utförs med en skotare. Det innebär till exempel att när kranen styrs ut från maskinen, som när virke ska gripas på marken, rör sig också kranen något nedåt. På så sätt minskas de spakrörelser som föraren behöver göra för att utföra arbetet.

IBC-systemet har endast en övergripande hastighetsinställning. Det går alltså inte att ställa in olika kranfunktioner individuellt när systemet är aktiverat. För den konventionella styrningen ställdes kranen in så att den övergripande hastigheten var samma som hos IBC-inställningarna. Inställningarna gjordes efter en bedömning i samråd mellan en erfaren metodinstruktör och John Deere. Hastigheten sattes på en sådan nivå att det skulle vara osannolikt att någon försöksdeltagare skulle kunna utnyttja den fullt ut.

## TIDSSTUDIE MED FILMER

Tidsstudien genomfördes i efterhand baserat på filmer av försöksdeltagarnas genomförande av uppgiften. För tidsstudien användes videoredigeringsmjukvaran Vegas Pro EDIT, där det på ett enkelt sätt gick att stega fram och tillbaka i filmerna, att markera gränserna för tidsstudiemomenten och att exportera resultaten. Gränserna identifierades med en noggrannhet av 0,1 sekunder. I de fåtal fall då en försöksdeltagare gjorde något fel i utförandet av uppgiften togs tiden för att korrigera felet bort och tidsstudien tog vid när försöksdeltagaren fortsatte med det korrekta utförandet.

De olika momenten i tidsstudien definieras som tiden mellan händelserna att plocka upp och släppa stockarna (Tabell 1). Moment 1 startar med händelse 1 och slutar med händelse 2. Moment 2 startar med händelse 2 och slutar med händelse 3 och så vidare. En händelse är när en stock antingen lyfts från eller placeras på någon av positionerna på marken eller lastutrymmet. De åtta händelserna per varv definierar alltså början och slutet för totalt 32 moment per försöksdeltagare och studietillfälle.

Det åttonde och sista momentet för varje varv, då kranen flyttas utan stock från blå stock på marken till den röda stocken på marken, är exkluderat från all analys. Anledningen är att det bland försöksdeltagarna förekom olika strategier i utförandet av momentet. Gripen fördes av en del den enklare vägen över stöttorna och av andra den kortare vägen mellan stöttorna.

Tabell 1. Beskrivning av de olika händelserna och uppdelningen i varv.

Varv	Händelse	Beskrivning
1	1	Röd stock lyfts från marken
	2	Röd stock placeras i lastutrymmet
	3	Blå stock lyfts från marken
	4	Blå stock placeras i lastutrymmet
	5	Röd stock lyfts från lastutrymmet
	6	Röd stock placeras på marken
	7	Blå stock lyfts från lastutrymmet
	8	Blå stock placeras på marken
2	1	Röd stock lyfts från marken
	2	Röd stock placeras i lastutrymmet
	3	Blå stock lyfts från marken

Osv.

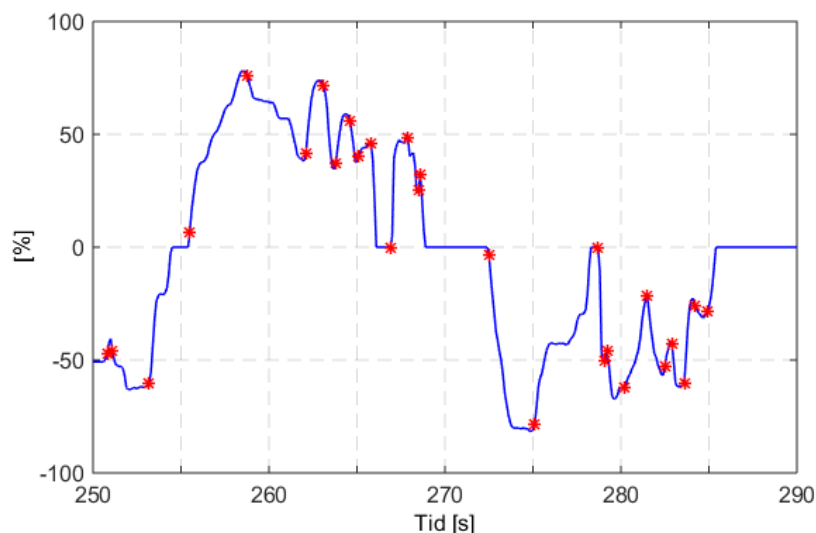
## SYNKRONISERING AV MASKINDATA

I maskinens datorsystem registrerades uppgifter om kranspetsens position och om användningen av styrspakar och vippreglage med en frekvens på 10 Hz. Dessa data synkroniserades med tidsstudierna. Från maskindatat har fyra olika mått definierats. Antalet riktningssändringar av spakrörelserna och antalet samtidiga spakfunktioner beskriver det arbete som försöksdeltagarna utför under genomförandet av uppgiften. Kranspetsens sträcka och medelvärdet av kranspetsens maximala höjd vid lyft över stöttorna beskriver resultatet av försöksdeltagarnas utförande. Med kranspetsen menas änden på utskjutet där rotatorn och gripen är fästa i kranen.

### Antal riktningsändringar av spakrörelser

Måttet "Antal riktningsändringar av spakrörelser" visar antalet gånger som reglagen ändrat rörelseriktning under utförandet av uppgiften. Det analysen tar hänsyn till är alltså åt vilket håll reglaget rör sig (till exempel framåt eller bakåt), och inte på vilken sida om neutralläget (till exempel framför eller bakom) som reglage befinner sig.

Ändringar av rörelseriktningen som var mindre än fyra procent av det maximala spakutslaget tolkades som att de berodde på vibrationer eller oavsiktliga rörelser. De exkluderades därför i analysen.



Figur 5. Del av signalen från rörelsen framåt-bakåt hos vänster styrspak. Riktningsändringarna hos spakrörelsen är markerade med en röd asterisk.

De spakrörelser som har omfattats av analysen är de som påverkade kranfunktioner i IBC-systemet, det vill säga huvudarm, vipparm och utskjut. Med IBC-systemet styr rörelser med vänster spak framåt-bakåt huvudsakligen kranspetsen i riktningen inåt-utåt. Rörelser med höger spak i riktningen framåt-bakåt styr huvudsakligen kranspetsen i riktningen uppåt-nedåt.

Med den konventionella styrningen kontrollerar rörelser med höger spak i riktningen framåt-bakåt rörelserna hos huvudarmen. Vänster spak i riktningen framåt-bakåt styr vipparmens rörelser. Ett vippreglage på vänster spak styr utskjutet.

Färre ändringar av rörelseriktningen under genomförandet av uppgiften indikerar att spakarbetet har varit mer effektivt och inneburit mindre arbete för försöksdeltagaren. Måttet bör tolkas i samband med tidsåtgången för uppgiften.

### Antal samtidiga spakfunktioner

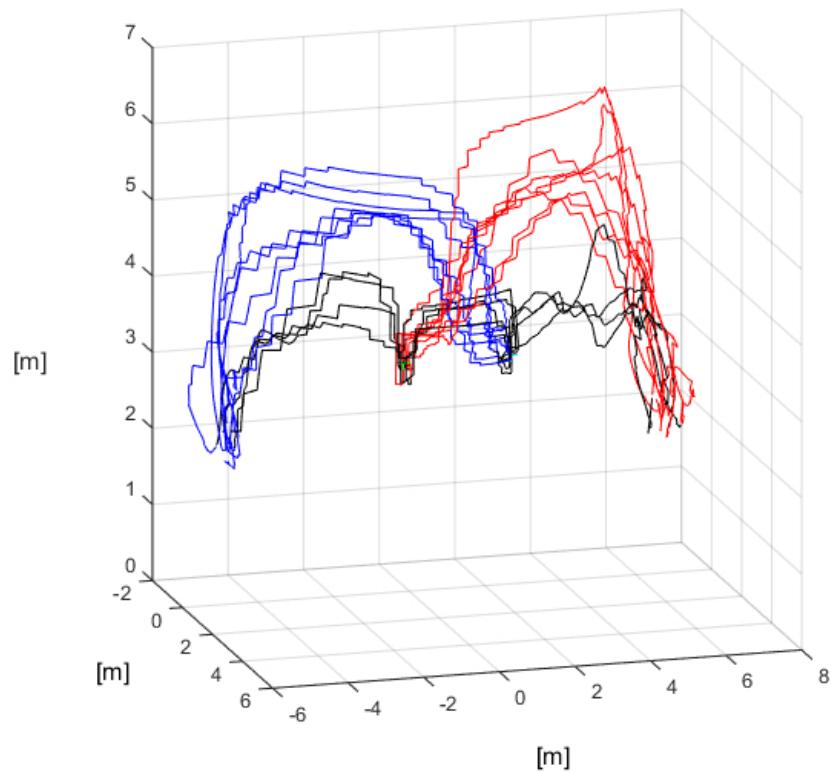
Måttet "Antal samtidiga spakfunktioner" är ett medelvärde av antalet spakfunktioner som var aktiva samtidigt vid varje tidpunkt. Samtliga spakrörelser och vippreglage på spakarna omfattades av analysen. Signaler större än fem procent av det maximala spakutslaget räknades som aktiva. Gränsvärdet sattes för att exkludera oavsiktliga aktiveringar och signaler som låg inom det "döda bandet", det vill säga området kring neutralläget där signalen ännu inte har börjat ge upphov till en respons i hydrauliken.

Fler samtidiga spakfunktioner indikerar att försöksdeltagaren arbetar mer intensivt för att styra kranen och bör tolkas i samband med tidsåtgången för uppgiften.



### Kranspetsens sträcka

”Kranspetsens sträcka” är den sammanlagda sträcka som kranspetsen har rört sig under genomförandet av uppgiften.

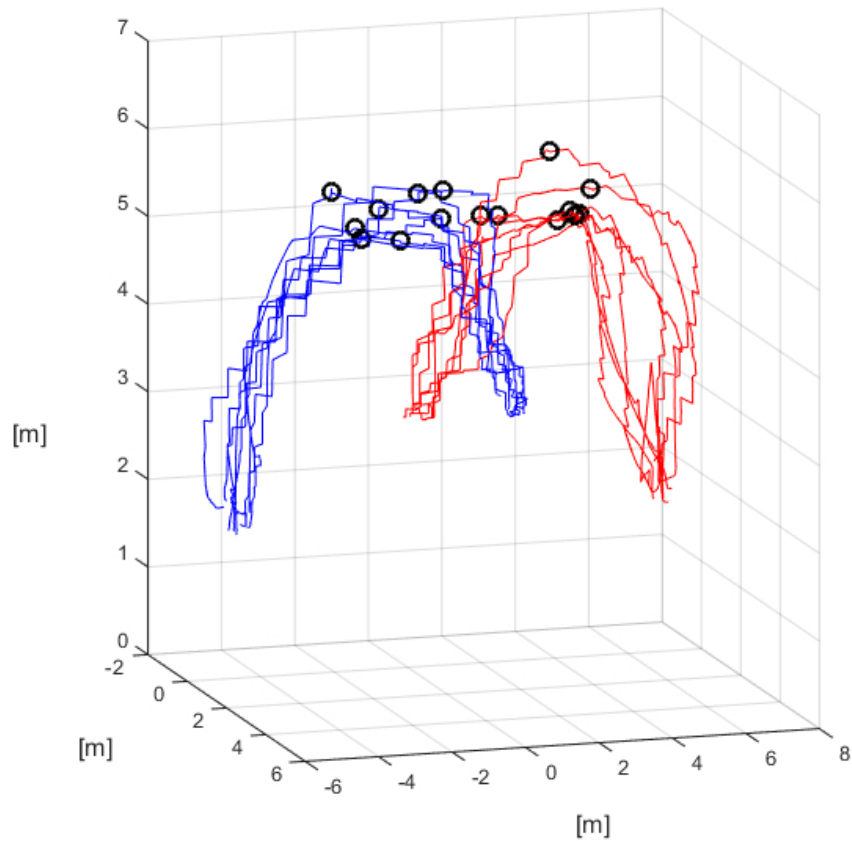


Figur 6. Exempel från en försöksdeltagare vid ett studietillfälle. Kranspetsens väg för alla moment som är inkluderade i analysen. De röda och blå linjerna visar vägen för kranspetsen då röd respektive blå stock hanteras. De svarta linjerna visar kranspetsens väg då ingen stock fanns i gripfen. Perspektivet på bilden är samma som i figur 3.

Tolkningen av måttet är att en kortare sträcka indikerar en effektivare krankörning med bättre kontroll.

### Gripens höjd över stöttorna

"Gripens höjd över stöttorna" är det största vertikala avståndet mellan undersidan av gripen och toppen på stöttorna för alla moment då en stock lyfts över stöttorna.



Figur 7. Exempel från en försöksdeltagare vid ett studietillfälle. De röda och blå linjerna visar vägen för kranspetsen då röd respektive blå stock lyfts över stöttorna. Den högsta punkten för kranspetsen i varje moment är markerad med en svart ring och är den punkt från vilken det vertikala avståndet till stöttorna beräknats. Perspektivet på bilden är samma som i figur 3.

Tolkningen av måttet är att ett mindre avstånd indikerar bättre kontroll och en effektivare krankörning i momentet då stockar lyfts över stöttorna.

### SUBJEKTIV UTVÄRDERING

Direkt efter att försöksdeltagarna genomfört en körning fyllde de i en utvärdering av sina upplevelser (Bilaga 2). Den bestod av skattningsskalor för tre olika orsaker till mental belastning; mental aktivitet, frustration och tidspress.

## ANALYS I TVÅ DELAR

Data som samlades in under studien har analyserats i två separata delar. Den första delen omfattar studietillfällena ett till fyra. Den andra delen undersöker hur de olika måtten förändrades i och med att försöksdeltagarna växlade metod att styra kranen.

Datat från upplärningsfasen, de fyra första mätningarna, har analyserats med en faktoriell ANOVA-modell i statistikprogrammet SAS. I modellen har effekterna av faktorerna kranstyrningsmetod (Konventionell, IBC) respektive studietillfälle (1–4) och den eventuella interaktionen mellan dessa studerats. Interaktionen har uteslutits från den slutliga modellen i de fall då det inte funnits någon signifikant interaktionseffekt. Medelvärden har beräknats som korrigerade medelvärden (minsta kvadratmetoden) för att hantera att alla försökspersoner inte deltog i alla mätningstillfällen.

För de mätningar som gjordes efter att försökspersonerna bytt metod har den relativa förändringen mellan det sista studietillfället och den metod de startade med analyserats med en faktoriell ANOVA på samma sätt som ovan.

$$\text{Relativ förändring} = \frac{\text{Värde mätning}_5}{\text{Värde mätning}_4}$$

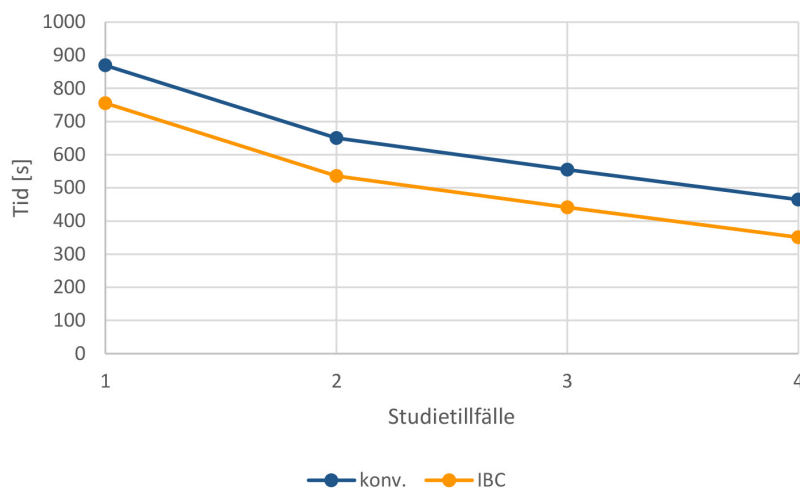
## Resultat

Resultaten redovisas i två delar. Den första delen beskriver varje mått för de fyra första studietillfällena och del två redogör för den relativa förändringen vid bytet av kranstyrningsmetod.

### DEL 1: DE FÖRSTA FYRA STUDIETILLFÄLLENA

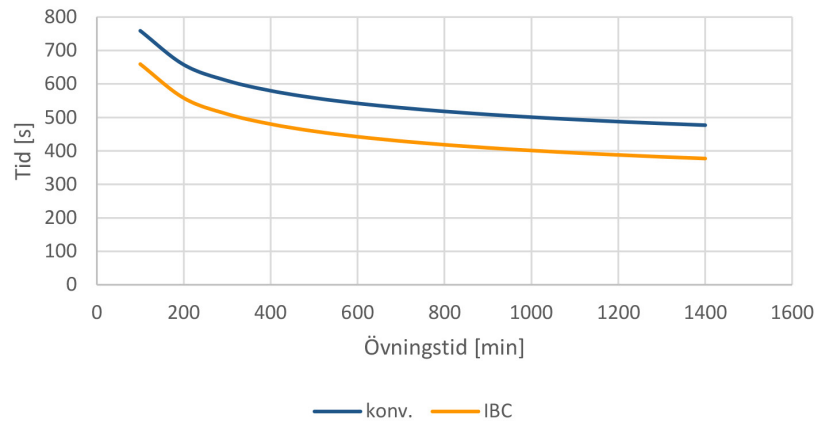
#### Varierad tidsåtgång beroende på styrmetod

Tidsåtgången för genomförandet av uppgiften vid de fyra första studietillfällena varierade både beroende på kranstyrningsmetod och på studietillfälle ( $p < 0,05$ ), men det fanns inga interaktionseffekter. Modellen förklarar 57 procent av variationen.



Figur 8. Tidsåtgången för genomförandet av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC. Eftersom det inte fanns några signifikanta interaktionseffekter, dvs. tidsåtgången utvecklades på likartat sätt för båda grupperna, är de båda kurvorna parallella.

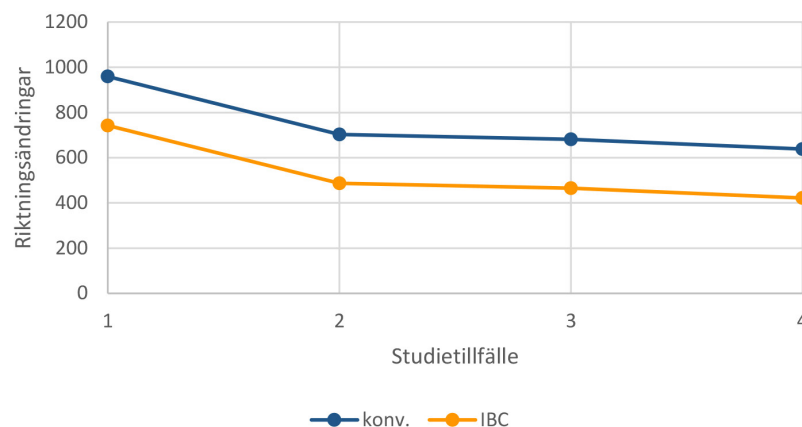
Tidsåtgången för genomförandet av uppgiften analyserades också med försöksdeltagarnas övningstid som oberoende variabel istället för studietillfälle. Till övningstiden räknas alla typer av övning, det vill säga skotningsarbete samt körning med fasta kranar och i simulator. Tidsåtgången varierade beroende på kranstyrningsmetod och på övningstid ( $p < 0,05$ ), men det fanns inga interaktionseffekter. Modellen förklarar 52 procent av variationen.



Figur 9. Tidsåtgångens för genomförandet av uppgiften beroende på övningstid, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC. Eftersom det inte fanns några signifikanta interaktionseffekter, dvs. tidsåtgången utvecklades på likartat sätt för båda grupperna, är de båda kurvorna parallella.

### Varierat antal riktningssändringar beroende på styrmetod

Antalet riktningssändringar av spakrörelserna för de fyra första studietillfällena varierade, både beroende på kranstyrningsmetod och studietillfälle ( $p < 0,05$ ), men det fanns inga interaktionseffekter. Modellen förklarar 62 procent av variationen.

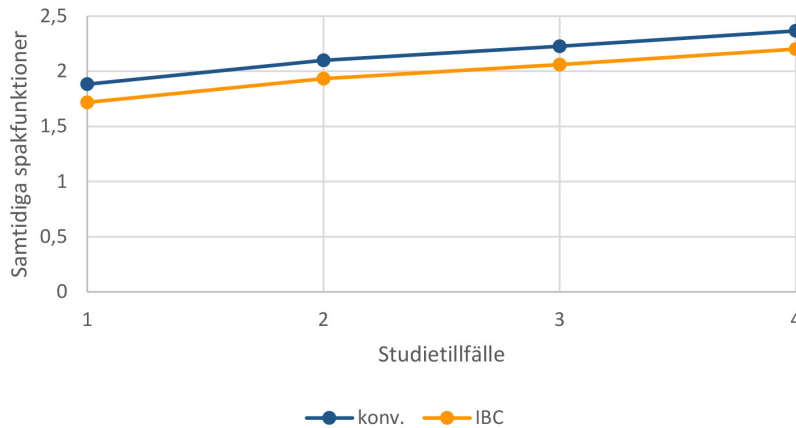


Figur 10. Antal riktningssändringar av spakrörelserna för genomförande av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC. Eftersom det inte fanns några signifikanta interaktionseffekter, dvs. antalet riktningssändringar utvecklades på likartat sätt för båda grupperna, är de båda kurvorna parallella.



### Styrm Metoderna jämbördiga i antal samtidiga spakfunktioner

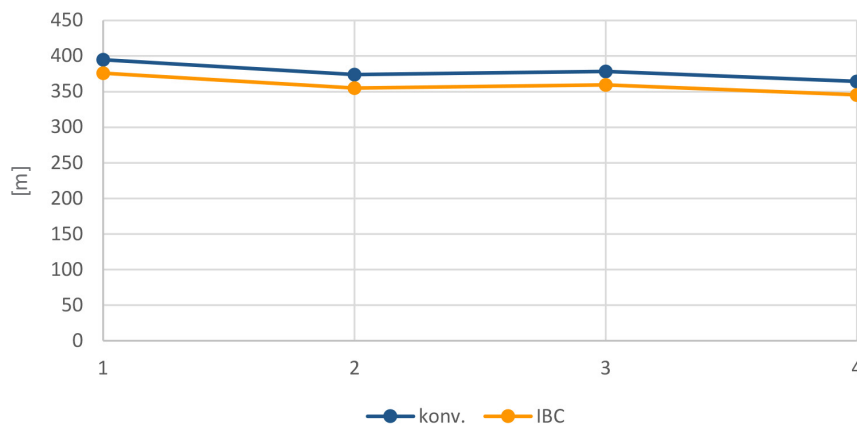
Medelvärdet av antalet samtidiga spakfunktioner vid de fyra första studietillfällena varierade beroende på studietillfälle ( $p < 0,05$ ), men det fanns ingen signifikant skillnad beroende på kranstyrningsmetod och inga interaktionseffekter. Modellen förklarar 16 procent av variationen.



Figur 11. Medelvärdet av antalet samtidiga spakrörelser vid utförandet av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC. Två separata kurvor återges trots att skillnaden mellan grupperna inte var signifikant. Eftersom det inte fanns några signifikanta interaktionseffekter dvs. antalet samtidiga spakfunktioner utvecklades på likartat sätt för båda grupperna, är kurvorna parallella.

### Kranspetsens sträcka varierade något med styrm Metod

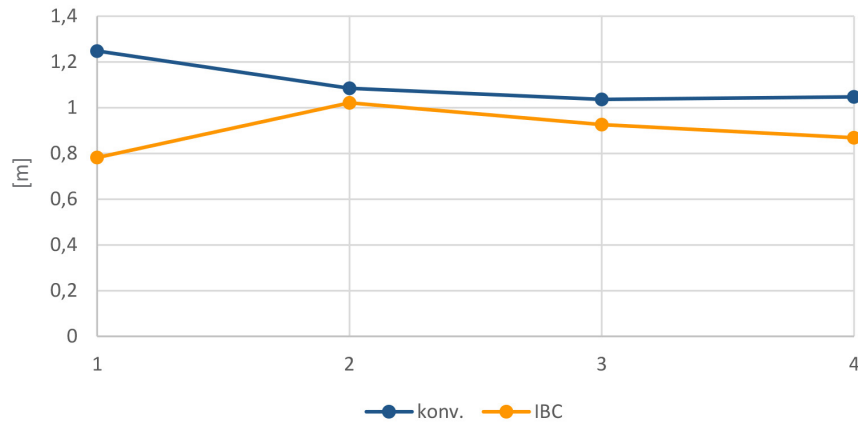
Kranspetsens sträcka under de fyra första studietillfällena varierade beroende på studietillfälle ( $p < 0,05$ ) och möjligtvis också på kranstyrningsmetod ( $p < 0,10$ ), men det fanns inga interaktionseffekter. Modellen förklarar 46 procent av variationen.



Figur 12. Kranpetsens sträcka [m] vid utförandet av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC. Eftersom det inte fanns några signifikanta interaktionseffekter, dvs. kranpetsens sträcka utvecklades på likartat sätt för båda grupperna, är kurvorna parallella.

### Kranspetsens höjd varierade beroende på styrmetod

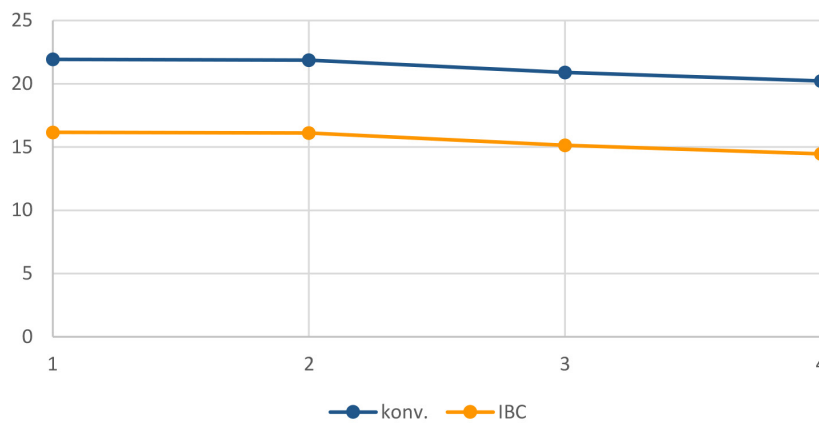
Medelvärdet av kranspetsens höjd över stöttorna under de fyra första studietillfällena varierade beroende på kranstyrningsmetod ( $p < 0,05$ ) men inte på studietillfälle. Det fanns däremot en interaktionseffekt mellan kranstyrningsmetod och studietillfälle ( $p < 0,05$ ). Modellen förklarar 38 procent av variationen.



Figur 13. Gripens höjd över stöttorna [m] vid utförandet av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC.

### Styrmetod inverkar på subjektiv belastning

Den subjektiva belastningen under de fyra första studietillfällena varierade beroende på kranstyrningsmetod ( $p < 0,05$ ) men inte beroende på studietillfälle. Det fanns heller ingen interaktionseffekt. Modellen förklarar 13 procent av variationen.



Figur 14. Försöksdeltagarnas subjektivt uppskattade belastning under utförandet av uppgiften för de fyra första studietillfällena, uppdelat på grupperna konventionell styrning och IBC.

## DEL 2: RELATIV FÖRÄNDRING VID BYTE AV KRANSTYRNINGSMETOD

För att visa på hur lätt/svårt det var för studenterna att byta från den ena kranstyrningsmetoden till den andra har resultaten från det första studietillfället efter bytet av metod (tillfälle 5) jämförts med resultaten från det sista studietillfället innan bytet (tillfälle 4) genom beräkning av den relativa förändringen. Den fortsatta inlärningstrenden efter bytet har inte studerats. Detta beror på att endast två mätningar gjorts efter bytet, tillfälle fem och sex. Det sista studietillfället (tillfälle 6) har alltså inte inkluderats i några analyser.

Tabell 2. Den relativa förändringen av de olika måtten (studietillfälle 5 / studietillfälle 4).

	Bytte till konv.	Bytte till IBC
Tid	1,24	0,89
Riktningändringar av spakrörelser	1,38	0,79
Samtidiga spakfunktioner	1,15	0,99
Kranspetsens sträcka	1,01	0,97
Gripens höjd över stöttorna	1,53	0,83
Subjektiv belastning	1,60	0,90

## Slutsatser

### ÖVERGRIPANDE

Gruppen som använde IBC genomförde uppgiften mer effektivt än de som använde konventionell styrning. De gjorde uppgiften på kortare tid, verkade köra kranen en kortare sträcka och lyfte inte stockarna lika högt över stöttorna på lastutrymmet.

Försöksdeltagarna som använde IBC utförde också mindre spakarbete för att genomföra uppgiften, vilket indikeras av att de hade färre riktningändringar av spakrörelserna.

När försöksdeltagarna bytte kranstyrningsmetod verkar de som bytte till IBC inte ha fått några problem. För de som bytte till konventionell styrning ökade tidsåtgången, krankörningen blev något mindre effektiv, spakarbetet ökade något och belastningen upplevdes något högre än tidigare.

Studien visar att för nybörjare underlättar och effektiviserar IBC arbetet vid kranrörelser som är typiska för skotning.

### MINDRE TIDSÅTGÅNG

IBC innebar en mindre tidsåtgång jämfört med den konventionella metoden. Skillnaden fanns från början och utvecklades i absoluta tal i samma takt som hos de som använde konventionell styrning. Efter en skoltermin fanns alltså skillnaden kvar, men båda grupperna utförde arbetsuppgiften snabbare.

Bytet av kranstyrningsmetod verkade inte utgöra ett problem för gruppen som bytte till IBC. De fortsatte trenden med minskad tidsåtgång. De som bytte till konventionell styrning verkade ha haft mer problem med bytet, då den nedåtgående trenden bröts och tidsåtgången ökade.

För oerfarna förare verkar IBC innebära att de kranrörelser som är typiska för skotningsarbete går snabbare att utföra.

I materialet fanns skillnader i övningstid mellan de individuella försöksdeltagarna inför de olika studietillfällena. Resultatet från analysen av tidsåtgång per övningstid är mycket likt resultatet av analysen per studietillfälle. Detta stärker tillförlitligheten hos övriga analyser som är per studietillfälle.

## **FÄRRE INSATSER FRÅN FÖRAREN**

Antalet ändringar av spakarnas rörelseriktning var färre för de försöksdeltagare som använde IBC och avtog i absoluta tal lika snabbt för båda styrmetoderna. Efter det andra studietillfället verkade utvecklingen plana ut, med IBC fortsatt på en lägre nivå än den konventionella styrningen.

Färre riktningssändringar innebär att det med IBC krävdes färre insatser från föraren för att styra kranen.

Färre riktningssändringar kan också tolkas som en antydning om att kranen körts med bättre kontroll, vilket inneburit att färre korrigeringar gjorts av kranens bana. Den tolkningen haltar dock något i jämförelsen mellan kranstyrningsmetoderna, eftersom den konventionella styrningen kräver användning av vippan på vänster spak för styrning av utskjutet, en kontroll som inte är nödvändig med IBC. Mellan de försöksdeltagare som använde konventionell styrning från början varierade vippans andel av det totala antalet riktningssändringar kraftigt, från 7 till 37 procent. Antalet riktningssändringar hos vippan var överlag färre vid senare studietillfällen.

Att försöksdeltagarna med tiden utvecklar bättre kontroll och behöver göra färre korrigeringar är en rimlig tolkning av den nedåtgående trenden hos båda grupperna.

Om måttet betraktas i samband med tidsåtgången, det vill säga antal riktningssändringar per sekund, blir skillnaden något mindre mellan grupperna. Även här har gruppen som använde IBC ett lägre värde, vilket kan tolkas som att de hade ett mindre intensivt spakarbete.

Vid bytet av kranstyrningsmetod ökade antalet riktningssändringar kraftigt för de elever som bytte till konventionell styrning och minskade för de som bytte till IBC. Detta indikerar att det finns betydliga skillnader i hur mycket spakarbete de olika metoderna kräver.

## **METODERNA LIKVÄRDIGA I ANTAL SAMTIDIGA SPAKFUNKTIONER**

Det genomsnittliga antalet samtidiga spakfunktioner ökade vid senare studietillfällen, men det fanns ingen signifikant skillnad mellan kranstyrningsmetoderna. Den statistiska modellen hade låg förklaringsgrad.

Det verkar som att försöksdeltagarna när de kommit längre i utbildningen använder något fler samtidiga kranfunktioner, vilket borde leda till effektivare krankörning. Ur ett förarperspektiv kan användning av flera funktioner samtidigt på ett meningsfullt sätt tolkas som ett tecken på skicklighet.



Jämförelser av måttet mellan de båda styrningsmetoderna haltar, eftersom det maximala antalet samtidiga spakfunktioner skiljer sig åt. Med IBC sköts styrningen av kranspetsen i höjd och längd av två spakfunktioner (framåt/bakåt på båda styrspakarna) och med konventionell styrning av tre funktioner (vippan på vänster styrspak tillkommer).

## **KORTARE STRÄCKA MED KRANSPETSEN**

Analysen av kranspetsens sträcka visar framför allt att med ökad skicklighet i krankörning minskade sträckan som kranspetsen rört sig i uppgiften. Även om resultaten var något osäkra verkar det som att gruppen med IBC tog en kortare väg med kranspetsen. En stor del av den sträcka som kranspetsen tillryggalägger i uppgiften utförs med kransvängen som styrs på samma sätt i båda kranstyrningsmetoderna.

Skillnaden i sträcka mellan grupperna är betydligt mindre än skillnaden i tidsåtgång. Den kortare vägen med kranspetsen för gruppen med IBC kan därför endast förklara en mindre del av tidsskillnaden. Största delen måste bero på en högre medelhastighet med kranspetsen.

Kranspetsens sträcka förändrades inte mycket för någon av grupperna i och med bytet av kranstyrningsmetod.

## **LÄGRE STYRNING ÖVER STÖTTORNA**

Gruppen som använde konventionell styrning körde kranen högre över stöttorna än gruppen som använde IBC.

Höjden över stöttorna bör inte vara onödigt hög. Men att minimera höjden är heller inte eftersträvänsvärt. För att genomföra ett lyft av en stock över stöttorna är det troligen mest effektivt att ha en viss marginal så att kransvängen kan köras med hög hastighet utan risk för att stocken eller gripen slår i stöttorna.

Eftersom gruppen som använde IBC också genomförde uppgiften på kortare tid har de troligen inte heller kört med lägre hastighet på kransvängen. Den lägre höjden på kranspetsen över stöttorna tyder därför på att försöksdeltagarna i gruppen har upplevt att de haft bättre kontroll över kranen i detta moment men ändå vågat köra kranen med hög hastighet.

Efter bytet av kranstyrningsmetod ökade höjden för dem som bytte till konventionell styrning och minskade något för dem som bytte till IBC.

## **LÄGRE UPPLEVD BELASTNING**

Försökspersoner som körde med konventionell styrning upplevde en större belastning än de som körde med IBC, men den statistiska modellen hade låg förklaringsgrad.

Belastningen låg någorlunda konstant över de fyra första studietillfällena. En möjlig förklaring till varför belastningen inte sjönk i och med att försöksdeltagarna blev skickligare ligger i formuleringen av uppgiften. Försöksdeltagarna skulle genomföra uppgiften så snabbt som möjligt. Därmed ökade tempot i utförandet med skickligheten och belastningen låg kvar på samma nivå.

Det subjektiva belastningsmättet visade stor spridning mellan försöksdeltagarna. Det är alltid en risk med subjektiva skattningar att försöksdeltagare uppfattar skalorna olika. När det som i denna studie även går lång tid mellan skattningarna finns även risken för att skalorna uppfattas olika från en gång till en annan.

Det tydligaste utslaget från den subjektiva belastningen var vid bytet av metod då de som bytte från IBC till konventionell styrning upplevde en tydligt ökad belastning. Gruppen som bytte till IBC verkar ha haft lättare att anpassa sig till förändringen.

## Diskussion

### VÄL FUNGERANDE KRANKÖRNINGSUPPGIFT

Erfarenheterna från genomförandet av studietillfällena var att krankörningsuppgiften fungerade bra. Uppgiften var enkel att förklara och verkade vara lätt för försöksdeltagarna att ta till sig. Bara vid ett fåtal tillfällen hände det att försöksdeltagaren utförde uppgiften fel i något moment, som till exempel att lägga en stock på fel ställe. Det var då enkelt att genom radiokontakt korrigera försöksdeltagaren och ta om momentet.

### BYTE AV METOD FÖR TIDSSTUDIE

Till en början gjordes tidsstudien med en Allegro tidsstudiedator direkt under genomförandet av krankörningsuppgiften. Men det visade sig mycket svårt att använda de önskade momentgränserna med en sådan tidsstudie. Till exempel gick det inte att veta när en stock läggs på marken om föraren är nöjd med placeringen eller om positionen kommer att justeras. Genom att istället basera tidsstudien på en videoinspelning av genomförandet var det möjligt att backa videon för att markera momentgränsen, i de fall den missades vid första avspelingen.

### MASKINDATA FÖR BÄTTRE FÖRSTÅELSE

Syftet med att samla in och analysera maskindata var att bättre kunna förklara och förstå hur eventuella skillnader i genomförandet av uppgiften uppstår. Det finns naturligtvis oändligt många sätt att analysera maskindata på och etablerade mått saknas. De mått som valdes för denna studie uppfattades som relevanta för att de beskriver aspekter av både försöksdeltagarens interaktion med maskinen och de resulterande kranrörelserna.

### IBC GER ENKLARE START PÅ UTBILDNINGEN

Gruppen som började med IBC lyckades bättre med krankörningen från början och kan då antas ha haft en lättare start i skotarutbildningen. Det är rimligt att anta att de i och med den förenklade kranstyrningen även haft mer mentala resurser över till att förstå och utföra andra aspekter av skotarbetet.

Studien kan dock inte ge något fullständigt svar på i vilken ordning eleverna bör lära sig konventionell styrning respektive IBC, eftersom de inte har följts under tillräckligt lång tid. Den sista mätningen kan inte sägas spegla slutresultatet av utbildningen.

## Referenser

Löfgren, B., Attebrant M., Landström M., Nordén B. och Petersson N., 1994. Kranspetsstyrning – en utvärdering. Skogforsk Redogörelse nr 1, 1994

Egermark, T., 2005. Kranspetsstyrning - En jämförande utvärdering av kranstyrning för skogsmaskiner utförd i simulator. Skogforsk Arbetsrapport 594 – 2005.

Löfgren, B., 2009. Kinematic Control of Redundant Knuckle Booms with Automatic Path-Following Functions. Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, Doctoral thesis, 2009.

## Bilaga 1



### Instruktion till studiedeltagare

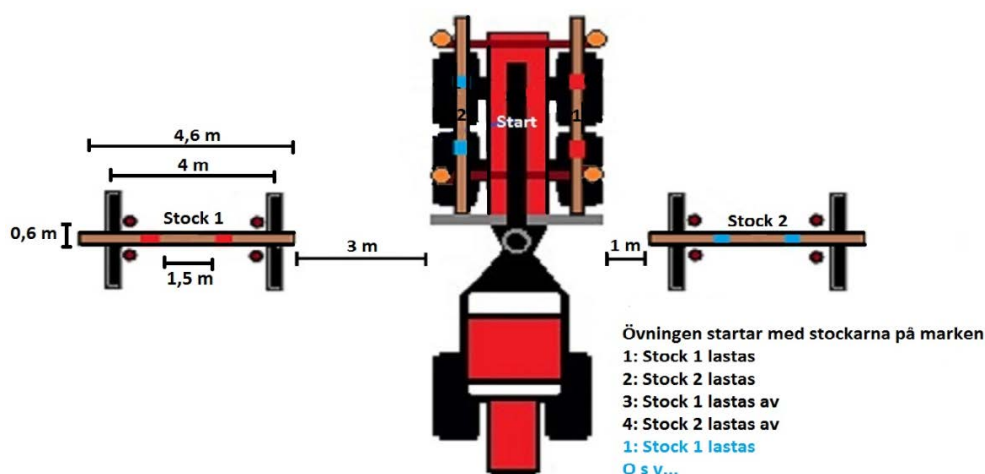
Uppgiften går ut på att först hämta den röda stocken och placera den till höger i lastutrymmet. Därefter hämtas den blå stocken och placeras till vänster i lastutrymmet. Sedan lastas den röda stocken av och läggs tillbaka på sin ursprungliga plats till vänster, och sist lastas den blå stocken av och läggs tillbaka på sin ursprungliga plats till höger. Du har nu kört ett varv.

När båda stockarna har lastats av, kör över kranen till den vänstra sidan för att lasta på den röda stocken igen, och så vidare.

Du ska köra uppgiften fyra varv. Gör inget uppehåll mellan varven. Du behöver inte räkna hur många varv du kört. Vi blåser i en tuta när du ska sluta.

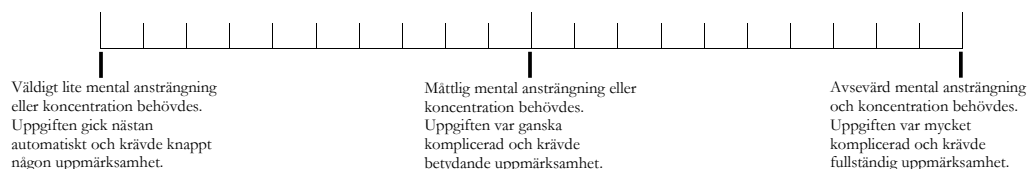
Stockarna ska greppas innanför färgmarkeringarna. På marken ska stockarna läggas på underlaget så att båda ändar ligger mellan pålarna, och på de båda underlagen.

Du ska genomföra de fyra varven på så kort tid som möjligt men samtidigt ha god kontroll. Stockarna ska läggas på plats på ett kontrollerat sätt och gripen ska inte krocka med någon del av maskinen.

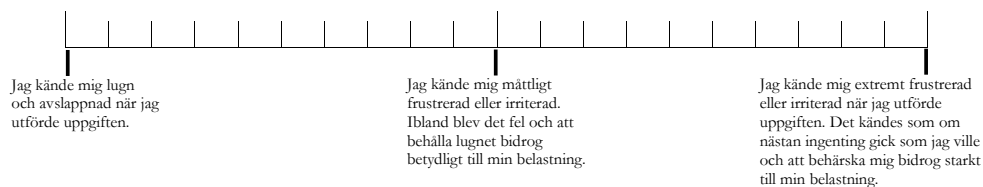


## Bilaga 2

Hur mycket mental aktivitet krävdes, t.ex. tänkande, beslutande, beräknande?  
Var uppgiften lätt eller krävande, enkel eller komplex?



Hur frustrerad eller irriterad kontra lugn och avslappnad kände du dig när du utförde uppgiften?



Hur mycket belastning kände du på grund av tidspresen eller tempot i uppgiften? Var tempot långsamt och makligt eller snabbt och hektiskt?

