



# Potential för drivning och vägtransport av rundvirke med drivare, enhetslastbärare och terminalsortering

*Potential for logging and hauling of round wood with harwarder,  
unit load carriers and terminal sorting*

**Henrik Pålsson**

**Arbetsrapport 18 2015  
Examensarbete 30hp A2E  
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:  
Ola Lindroos**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi  
S-901 83 UMEÅ

[www.slu.se/sbt](http://www.slu.se/sbt)

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi



# **Potential för drivning och vägtransport av rundvirke med drivare, enhetslastbärare och terminalsortering**

*Potential for logging and hauling of round wood with harwarder, unit load carriers and terminal sorting*

**Henrik Pålsson**

**Nyckelord: Enhetslast, lastbärare, drivning, transport, drivare**

Arbetsrapport 18 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp  
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

## **Förord**

Denna studie är ett examensarbete motsvarande 30 högskolepoäng i skogshushållning med inriktning på skogsteknologi. Studien är utförd vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi på Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå.

Jag vill tacka min handledare Ola Lindroos som introducerat detta spännande ämne för mig och varit ett stöd under arbetets gång.

Umeå, april 2015

*Henrik Pålsson*

## Sammanfattning

För att svenska industrier fortsatt ska vara konkurrenskraftiga på en global marknad är det av stor vikt att försörjningskedjan från skog till industri är så kostnadseffektiv som möjligt. Under senare år har skogsbrukskostnaderna i Sverige ökat i förhållande till konsumentprisindex. För att kunna bryta trenden och kostnadseffektivisera kedjan krävs kanske helt nya försörjningssystem. I denna rapport gjordes en teoretisk analys av vilken potential det finns för två nya system i den svenska rundvirkesförsörjningen genom att jämföra dem med det konventionella systemet och ett system där drivare används. De nya systemen använder sig av enhetslast genom att rundvirke lastas i lastbärare som kan växlas mellan fordon. För det ena av de båda nya systemen antogs att en skotare lastar ett sortiment per last och det lastade sortimentet följer lastbäraren hela vägen till terminal eller industri. För det andra systemet direktlastas lastbäraren vid avverkning. Lasten följer därefter med lastbäraren till terminal där sorteringen sker. Analysen gjordes genom teoretiskt uppbyggda modeller med en mängd ingångsvärden, där flera av dessa förändrades genom känslighetsanalys. Detta gjordes för att ge en spännvidd av realistiska utfall över vilken potential de respektive systemen har. Resultaten visade att det skulle kunna finnas potential för de båda nya systemen, men också för drivarsystemet. Dock visade känslighetsanalysen att traktförutsättningar i hög grad är avgörande för de nya systemens teoretiska potential. Flera av de osäkerheter som simulerats i känslighetsanalysen visar sig också vara avgörande för de respektive systemens teoretiska potential. Att definiera värden för ingångsvariabler till modellerna är därför av vikt för framtida forskning.

## Summary

It is essential that the Swedish supply chain from forest to industry is as cost-efficient as possible for Swedish industries to continue to be competitive in a global market. In recent years, forestry costs in Sweden have increased in relation to the consumer price index. One way to break the trend increased costs, entirely new supply systems might be considered. In this report a theoretical analysis of what potential there is for two new systems in the Swedish roundwood supply chain were made by comparing them with the conventional system and a system that uses harwarder. The new systems uses unit load by loading roundwood in a cargo carrier that can switch between vehicles. For one of the two new systems it was assumed that a forwarder loading an assortment per load and the loaded assortment follows the carrier all the way to the terminal or industry. The other system combines direct loading, unit load and sorting occurs at terminal instead of the forest. The analysis was done by theoretically constructed models with a variety of input values, where several of these altered in sensitivity analysis. This was made to provide a range of realistic outcomes of the respective system potential. The results indicated that there could be potential for the two new systems presented in the report and also for the harwarder system. However, the sensitivity analysis showed that the stands conditions are highly essential of the new systems theoretical potential. Many of the uncertainties simulated in the sensitivity analysis are also shown to be critical for the respective systems theoretical potential. Defining the values of the input parameters for the models is therefore essential for future research.

## **Innehållsförteckning**

Bakgrund .....	6
Syfte .....	8
Material och metod .....	9
Transport .....	11
Drivning .....	12
Terminal .....	16
Värdeminskning .....	16
Känslighetsanalys .....	19
Resultat .....	20
Känslighetsanalyser .....	21
Traktförutsättningar .....	21
Osäkerheter .....	25
Diskussion .....	29
Resultat .....	29
Styrkor och svagheter .....	31
Andras resultat .....	31
Framtida studier .....	32
Källor: .....	34

## Bakgrund

I Norden och delar av övriga Europa är den helt dominerande metoden att få rundvirke från skog till bilväg ett drivningssystem där en skördare fäller och upparbetar träd till rundvirke, varpå en skotare lastar rundvirket och transporterar det till väg. Vid väg läggs rundvirket sortimentsvis i olika vältor. En timmerbil hämtar sedan rundvirket som är destinerat till terminal eller industri.

Under senare tid har utvecklingen av skogsbrukets kostnader i Sverige i genomsnitt ökat i förhållande till konsumentprisindex (Brunberg 2014). Dessa kostnader består av kostnader för avverkning, administration, skogsvård, vägar mm (Brunberg 2014). För att stärka lönsamhet och konkurrensförmåga är det viktigt att försörjningskedjan från skog till industri utvecklas för att bli så kostnadseffektiv som möjligt.

Genom direktlastning ges en möjlighet till att kostnadseffektivisera en del i försörjningskedjan, det vill säga drivningen. Direktlastning innebär att träd avverkas och lastas direkt i samband med upparbetning av rundvirket istället för att läggas på marken och sedan plockas upp av skotaren. Det har under en längre tid funnits intresse för direktlastning inom skogsbruket, då möjlighet finns att reducera eller eliminera tiden det tar att lyfta rundvirke från marken upp i lastbäraren som ska skota ut rundvirket (Lindroos 2012). Fördelarna med direktlastning är flera. Ledtiden från dess att stammen skiljs från stubben tills virket ligger vid bilvägslager blir kortare och stockarna blir renare då de inte lagras i skogen efter fällning (Ringdahl et al. 2012). Dessutom leder direktlastningen till att all volym som avverkas också skotas ut ur skogen. Med det konventionella systemet finns risk att rundvirke lämnas kvar, exempelvis då det snöas över eller ligger allt för utspritt. Ett annat problem med dagens system är den så kallade sortimentsvandringen, vilket är då skördaren klassat en stock som ett visst sortiment, men att den hamnat i ett annat sortiment då virket kommer in till industri. Snö kan leda till att skotarföraren har svårt att se vad som finns i virkeshögar, vilket ökar risken för felsortering (Karlsson 2011). Denna felsortering kan innebära att virkets fulla värde ej tas tillvara. En stor del av sortimentsvandringen beror på att skotarföraren klassar ner stockar från timmer till massaved efter att ha upptäckt fel som skördarföraren ej sett (Möller & Sondell 2003). Detta är en positiv effekt av sortimentsvandring eftersom färre stockar på så vis behöver vrakas vid sågverk, men de negativa effekterna med sortimentsvandring anses vara övervägande (Karlsson, 2011). Förutom ett minskat virkesvärde kan sortimentsvandring leda till att logistiken blir försvårad eftersom det kan innebära att man inte vet exakt hur mycket virke som är på väg till olika industrier (Karlsson 2011).

Direktlastning anses vara mest intressant i slutavverkning där det ej finns kvarstående träd som, till skillnad från gallring, begränsar arbetsutrymmet (Ringdahl et al. 2012). Vid direktlastning finns möjlighet att använda sig av en drivare. Den fäller och upparbetar träd varpå den lastar det avverkade rundvirket i sin lastbärare för att sedan skota ut det till avlägg. Det finns även möjlighet att använda sig av flera maskiner, där den skördande maskinen lägger avverkat och upparbetat rundvirke i en eller flera transporterande maskiners lastbärare. I ett drivningssystem där flera maskiner interagerar med varandra uppstår ofta väntetider antingen för den maskin som avverkar, eller för den/de maskiner som skotar rundvirket (Lindroos 2012). Detta beror på att det är obalans i systemet. Användning av drivare är den mest konkurrenskraftiga metoden för direktlastning i dagsläget (Lindroos 2012).



En negativ effekt av direktlastning är att olika sortiment blandas i lasten, vilket leder till att föraren behöver lägga ned mycket tid på att sortera rundvirket i olika vältor vid avlägget. För att på ett smidigt sätt kunna lösa problematiken med den tidskrävande sorteringen kan man tänka sig att sorteringen flyttas till ett senare steg i försörjningskedjan, det vill säga till en terminal eller vid industri. Att sortera vid terminal eller industri skulle dessutom leda till att varje stock kan användas till det mest passande ändamålet. Detta antagande baseras enligt Olving (personlig kommunikation 2014) på att sorteringen borde bli bättre, eftersom bättre utrustning skulle kunna användas och färre faktorer försvårar sorteringsarbetet än då sorteringen sker i skogen. Med terminalsortering minimeras sannolikt sortimentsvandring av rundvirke, då användningen av enskilda stockar skulle bestämmas först efter sortering vid terminal.

Om rundvirket inte behöver sorteras vid avlägg skulle det kunna tänkas att rundvirket ligger kvar i drivarens lastbärare, men att hela lastbäraren ställs av och sedan växlar till lastbil för vidaretransport. Lasten skulle alltså kunna hanteras som enhetslast, det vill säga enligt samma princip som för till exempel containersystem. Enhetslast skulle även kunna vara möjligt med ett drivningssystem som använder sig av skördare och skotare. I ett sådant drivningssystem finns möjlighet för skotarföraren att antingen lasta ett sortiment per lass, alternativt blanda sortiment för sortering vid terminal eller industri. En fördel med den här typen av enhetslast är att förare av lastbil och drivare eller skotare slipper att lasta eller lossa rundvirke genom att arbeta med kranen. Eftersom det bara går att hantera en bråkdel av lasten åt gången så är detta kranarbete tidskrävande. För skotningen uppgår enligt Manner et al. (2010) lossning och körning under lossning i genomsnitt till ca 20 % av skotningstiden vid ett terrängtransportavstånd på 600 m (enkel väg) och ökar vid kortare terrängtransportavstånd. Siffran 20 % av skotningstiden gäller för arbete med skotare och antas vara högre för drivare, dels på grund av att det normalt sett skotas flera sortiment per last vid användning av drivare och dels eftersom direktlastningen ger möjlighet till reducering eller eliminering av tid för lastningen (Lindroos 2012). Nackdelen med enhetslast är behovet av enhetslastbärare och en möjlig kostnadsökning i form av sorteringen vid terminal och vidaretransportkostnader från terminal. Om fördelarna överväger nackdelarna är ännu inte undersökt, men det kan vara så att det med enhetslast finns möjlighet till produktionseffektivisering och därmed kanske även kostnadseffektivisering.

Enhetslaster för rundvirke anpassade för både drivningsarbete och transport har testats under fältförsök i Sverige enligt Lennart Olving (personlig kommunikation 2014), som tillsammans med affärspartners har patent på en lastbärare.

Det finns en mängd variationer för hur enhetslaster inom skogsbruket skulle kunna användas. Ett exempel är virkescontainers som kombineras med vanligt virkessläp (VSV 2011). Med en sådan lösning kan lastning av virkescontainer och släp ske med timmerbil alternativt direkt av skotare. När lasten är fylld kan sedan en lastbil som är specialanpassad enbart för att transportera rundvirket och inte lasta det, hämta det färdiglastade ekipaget och köra in till industrin. Specialanpassningen gör att lastbilen, som kallas skyttelbil, har högre lastpotential än en vanlig timmerbil, vilket minskar bränslekostnaden per transporterat ton (VSV 2011). I detta exempel ligger alltså potentialen under transportarbetet, men som tidigare nämnt finns det möjlighet att hantera lasten som en enhet hela vägen från att den lastas i skogen tills den lossas vid terminal eller industri. Vid fallet att en lastbärare används på en drivare eller skotare och lastas om till en lastbil för transport till terminal finns sedan möjlighet till att låta truckar lossa lasten. Det finns även möjlighet att låta lastbilarna själva ställa av sina fyllda lastbärare för att sedan ställa på tomma lastbärare, alternativt kombinera de olika alternativen. Ett exempel på en sådan kombinationslösning skulle kunna vara en lösning där lastbilen själv

lossar sin last om kötiden är lång eller om det saknas möjlighet till assistans från truck, exempelvis under helger. Då det finns kapacitet och då kötiden är kortare kan däremot en truck lossa lasten. Hanteringen vid terminal skulle alltså kunna förändras om lastbärare användes, vilket möjligtvis skulle leda till kortare väntetider för åkare och minskat behov av maskinresurser vid terminal.

Det finns alltså många intressanta möjligheter med enhetslast och terminalsortering, men det finns också flera utmaningar. En utmaning är den stora mängd lastbärare som kan komma att krävas för att systemet ska fungera. De innebär en fast kostnad, samt kan kräva mer plats än ett traditionellt avlägg för att lastning av lastbil ska gå smidigt. Dessutom krävs det att tomma lastbärare transporteras ut till avverkningsplatsen, vilket också kan innebära en extra kostnad om lastbilen ej får med sig en returtransport.

Möjligheter och utmaningar kopplat till enhetslast bör utvärderas och ligga till grund för eventuellt beslut om ett nytt system ska övervägas för att tas i bruk för att helt eller delvis ersätta den befintliga försörjningsstrukturen. Utvärderingen kan ske genom teoretisk jämförelse mellan befintliga system och visioner om hur alternativa system skulle se ut för att undersöka vilken potential de alternativa systemen har under varierande förhållanden.

## *Syfte*

Syftet med denna studie var att genom teoretiska analyser utvärdera det ekonomiska utfallet av olika system för rundvirkesförsörjning från skog till industri. Två befintliga drivnings- och transportsystem jämfördes med två system där enhetslastbärare används med respektive utan terminalsortering. I systemet som använder sig av terminalsortering används enhetslastbärare på drivare och i det andra systemet används enhetslastbärare på skotare.

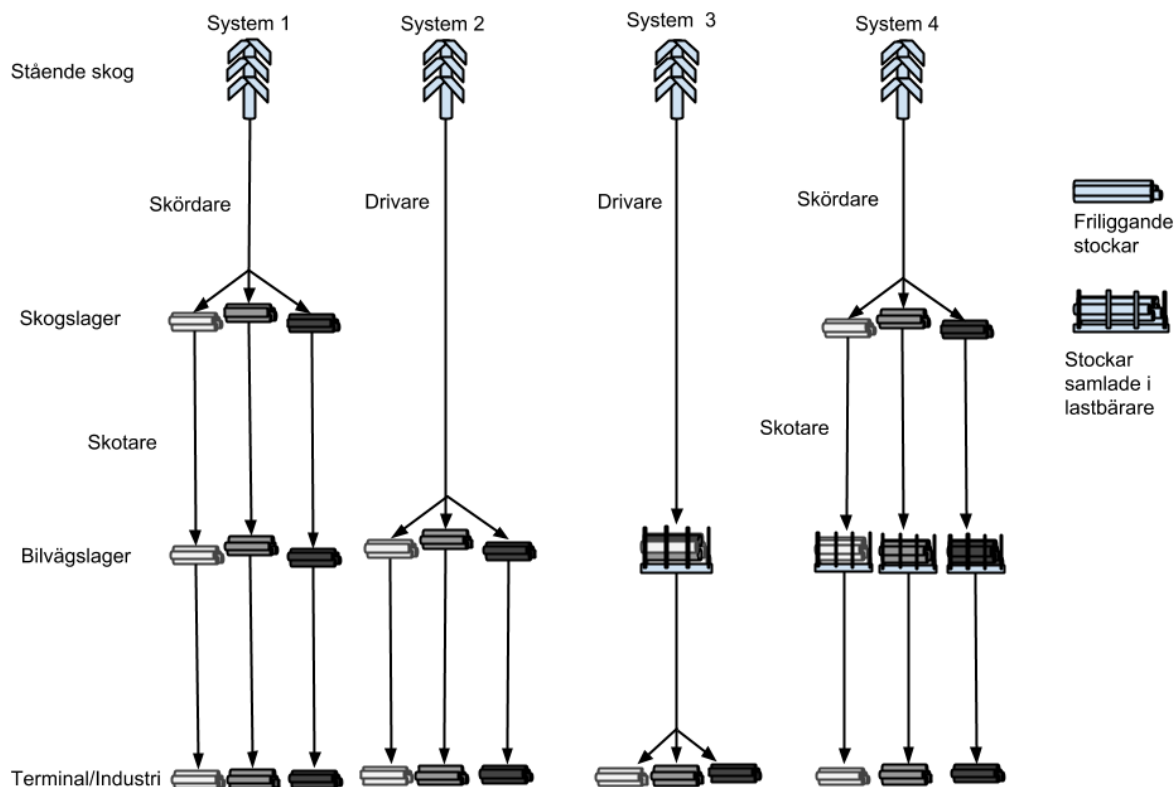
För att kunna genomföra utvärderingen omfattade studien tre delar: Först kartlades och beskrevs konventionella och alternativa system. Därefter skapades modeller för de olika systemen samt att modellernas parametrar tilldelades värden. Slutligen jämfördes systemen under olika förutsättningar. Jämförelserna fokuserade på systemens kostnader per volym virke som levereras till industri.

## Material och metod

En teoretisk jämförelse gjordes mellan fyra system för rundvirkesförsörjning. Jämförelsen fokuserade på att ge kostnaderna per m<sup>3</sup> fub från avverkning fram till dess att rundvirke är inmätt och sorterat vid industri eller terminal. Ett av systemen (system 1) är för Sveriges virkesförsörjning helt dominerande. I system 2 används drivare istället för skördare och skotare. De övriga två (system 3 och 4) är visioner av nya system där rundvirke hanteras som enhetslast genom hela kedjan. En övergripande bild av systemen visas i figur 1.

De fyra systemen är:

1. En skördare avverkar och upparbetar träd till rundvirke, som sortimentsvis läggs i högar längs körstråken i skogen. En skotare lastar rundvirket med sin kran, transproterar det till bilväg där det läggs sortimentsvis i vältor. Därefter lastas rundvirket med kran sortimentsvis på en timmerbil som transporterar till terminal eller industri där rundvirket mäts in.
2. Drivningsarbetet utförs av en drivare istället för skördare och skotare. Rundvirket direktlastas på drivarens lastutrymme, varför lasten blir en blandning av olika sortiment. Drivaren transporterar rundvirket till bilväg och sorterar det vid avlastningen i sortimentsrena vältor. Vägtransporten sker som för system 1.
3. Avverkat rundvirket direktlastas med drivare. Den bär med sig rundvirket i en avställbar lastbärare (hädanefter kallad lastbärare). När en lastbärare är full ställs den vid bilväg och drivaren tar med sig en tom lastbärare för att fortsätta drivningsarbetet. De fulla lastbärarna transporteras sedan till industri/terminal av lastväxlarbilar. När fulla lastbärare hämtas av lastbil ställs tomma lastbärare av vid bilväg för att göra dem tillgängliga för drivarföraren. Tomma lastbärare behöver alltid finnas tillgängliga för drivarföraren, varför en transport av lastbärare per trakt måste ske redan innan drivningsarbetet påbörjas. I detta system blandas de rundvirkessortiment som skördas på lastbäraren, eftersom de direktlastas av drivaren. Sortimenten sorterar i samband med inmätning när lastbärarna anlänt till terminal/industri.
4. En skördare avverkar och upparbetar träd till rundvirke som i system 1. Därefter lastar en skotare med lastbärare enbart ett sortiment per vända. Vägtransporten av sortimentsrena lastbärarna utförs på samma sätt som i system 3, men sorteringen sker alltså redan i skogen vilket gör att rundvirket anländer sortimentsvis till terminal/industri.



**Figur 1.** Schematisk beskrivning av de fyra rundvirkesystemen som ingår i jämförelsen. I transport från bilvägslager till terminal/industri hanteras ett sortiment åt gången i system 1, 2 och 4. I system 3 ligger blandade sortiment på lastbäraren, vilka sorteras vid terminal/industri.

*Figure 1. Schematic presentation of the four roundwood systems included in the comparison. System 1, 2 and 4 handles one assortment in the transport from road inventory to terminal/industry. In system 3 mixed assortments are carried by the carrier, which is sorted at the terminal/industry.*

För de fyra systemen gjordes beräkningar av kostnad per  $\text{m}^3$  fub uppdelat på drivningsarbetet, transportarbetet terminalkostnad och värdeminskning till följd av felsortering och missade volymer.

I jämförelsen utformades ett grundscenari där så mycket som möjligt var lika mellan de fyra systemen. Därefter gjordes känslighetsanalyser för att ge ett spann av realistiska utfall. Vissa antaganden har gjorts i grundscenariot för att ge en enkel och greppbar jämförelse:

Under drivningsarbetet jämfördes maskiner med samma kapacitet. Varje arbetsmoment antogs ta lika lång tid förutom lossning, som antogs gå snabbast med lastbärare (system 3 och 4) och ta längst tid för drivare utan lastbärare (system 2). Hänsyn togs ej till speciella traktförutsättningar, eller det faktum att skotningsavståndet kan variera beroende på om eller hur sortiment samlas vid skotning respektive på om lastbärare används eller ej. Kostnader för lastbärare valdes att läggas på drivningskostnader.

För transporter på bilväg gällde att rundvirket transporteras samma sträcka oberoende av system. Tiden för lastning av lastbil antogs skilja beroende på om lastbärare används eller ej.

Lossning vid terminal antogs däremot ta lika lång tid för alla system. Lastvikterna för de olika systemen antogs skilja sig åt.

Vid terminal antogs kostnaderna vara desamma för alla system i grundscenariot, med undantag för system 3 där inmätningkostnaden antogs vara ca 50 öre högre. Detta motiveras av att all volym i detta system antogs stockmätas eftersom sorteringen sker i samband med inmätning. I de andra systemen antogs i stället att vissa sortiment partimäts (till exempel massaved).

Även värdeminskning till följd av felsortering och till följd av avverkade volymer som ej anländer till terminal/industri togs med i jämförelsen. Felsorteringen antogs vara lägre vid terminalsortering, eftersom förutsättningarna och utrustning för sortering antogs vara bättre vid terminal än i skogen. Omfattningen av kvarlämnade volymer antogs skilja sig mellan systemen eftersom det finns risk att rundvirke missas då direktlastning ej tillämpas, vilket exempelvis kan vara en följd av att rundvirke snöas över. De enda effekterna till värdeminskning som presenteras i arbetet är alltså att skotarförare missar virke som skördarförare avverkat och upparbetat, samt skillnaden i felsortering beroende på om sortering sker i skogen eller vid terminal.

## Transport

Transportarbetet delades upp i två steg: Lastning och lossning, samt vägtransport. Kostnaderna för lastning och lossning uttrycks som  $K_L$  och för transport  $K_T$ .

Per vända och lass ges kostnad för lastning och lossning av ekvation 1.

$$K_L = K_{tid} \times (t_s + t_t) \quad (\text{kr/lastbilclass}) \quad [1]$$

Kostnad för lastning och lossning beror på en given fast tidskostnad ( $K_{tid}$ ), samt den tid som lastbilsföraren lägger ned på terminal och vid avlägg i skogen, vilket är angivet som  $t_t$  respektive  $t_s$ .  $K_{tid}$  togs fram utifrån Gillekalkyl (2013) och uppgår till ca 349 kr/tim.

Kostnad för själva transporten per vända ges av ekvation 2.

$$K_T = 2 \times avs \times (K_{sträcka} + K_{tid}/v) \quad (\text{kr/lastbilclass}) \quad [2]$$

I ekvation 2 är  $avs$  transportavståndet enkel väg, vilken multipliceras med två för att ge transportavstånd per vända. Genomsnittlig körhastighet uttrycks som  $v$  och är beroende av transportavståndet. Förutom tidskostnaden ingår även en sträckkostnad ( $K_{sträcka}$ ), vilken uppgår till 10,2 kr/km. Även sträckkostnaden togs fram utifrån Gillekalkyl (2013).

$$v = 45,86 + 0,2531 avs - 0,000651 \times avs^2 \quad (\text{km/tim}) \quad [3]$$

Ekvation 3 gäller för enkelt transportavstånd upp till 200 km och är framtagen utifrån Gillekalkyls (2013) medelhastigheter vid givna transportavstånd. Enligt skogsstatistisk årsbok (2008) var medelavståndet av rundvirkestransporter med lastbil år 2006 88 km och därmed används detta avstånd i grundscenariot.

Total kostnad för transportarbetet per vända ges av  $K_T + K_L$ . Ekvation 4 gäller för att ge kostnad per  $m^3$  fub och vända ( $K_{TR}$ ).

$$K_{TR} = \frac{K_T + K_L}{l/c_1} + 0 \times \frac{K_T + K_L}{avv_t} \quad (\text{kr}/m^3 \text{ fub}) \quad [4]$$

I ekvation 4  $l$  lastvikt (ton) per transport, vilken divideras med konstanten  $c_1$  (0,93 m<sup>3</sup>fub/ton), för att ge lasten i m<sup>3</sup>fub. Transportfordonets högsta tillåtna bruttovikt uppgår normalt sett till 60 ton (Sveriges åkeriföretag 2013). Enligt Andersson et al. (2014) innebär en bruttovikt på 60 ton att maximal lastvikt på fordon med lastväxlarutrustning och viss typ av lastbärare uppgår till 37,5 ton, varför denna lastvikt använts i grundscenariot för de system som använder sig av enhetslastbärare ( $l^{3\&4}$ ). Varje lastbilsekipage antogs kunna frakta tre lastbärare åt gången. För de system som ej använder sig av enhetslastbärare antogs genom beräkningar i Gillekalkyl (2013) att lastvikten ( $l^{1\&2}$ ) uppgick till 40,9 ton. Avverkningsvolym per trakt är angivet som  $avv_t$ . För system 1 och 2, som ej använder sig av avställbara lastbärare, antar variabeln  $o$  värde noll, men för system 3 och 4, som använder avställbara lastbärare, antar den värde ett. Detta beror på att det sker en extra transport per trakt för att ställa tomma lastbärare på plats innan drivningsarbetet påbörjas i system 3 och 4. Kostnaden för denna transport divideras med traktens hela volym för att ge kostnaden per m<sup>3</sup>fub.

### **Drivning**

Tiden per producerad m<sup>3</sup>fpb i effektiv arbetstid beräknades för skörd och skotning var för sig. Det togs sedan hänsyn till den tekniska utnyttjandegraden ( $TU$ ) för de olika maskinerna för att ge produktivitet per schemalagd timme. Slutligen beräknades kubikmeterkostnaden genom att dividera timkostnader med produktivitet per schemalagd timme. Kostnaden presenteras som kr/m<sup>3</sup>fub trots att beräkningarna för produktiviteten är gjorda utifrån m<sup>3</sup>fpb, vilket kräver en omvandling av volymenheterna via konstanten  $c_3$  (tabell 2). Detta gjordes för att använda samma enhet som kostnaderna för transport, värdeminskning och även kostnader kopplat till terminal är presenterade i. Även kostnaden för flytt av maskiner och kostnaden för lastbärare beräknades och presenteras som kostnad per m<sup>3</sup>fub.

### Skörd

Produktiviteten för skörd ( $Y$ ) vid effektiv arbetstid antogs vara densamma i de fyra systemen (ekvation 5) och baserades på Nurminen et al. (2006).

$$Y = 4,067 + 78,623x - 18,507x^2 \quad (\text{m}^3\text{fpb/tim}) \quad [5]$$

I ekvation 5 är  $x$  medelstamsvolym i m<sup>3</sup>fpb. Formeln gäller för gran, då den enligt Nurminen är statistiskt bättre än den för tall. Vid medelstamsvolym mellan 0,2 och 0,9 m<sup>3</sup>fpb skiljer sig produktiviteten mellan trädslagen tall och gran väldigt lite (Nurminen et al. 2006), varför enbart en ekvation användes. Ekvation 6 beräknar tidsåtgång per skördad m<sup>3</sup>fp ( $tt_{skörd}$ ), vilket behövdes vid kalkylering av kostnad för lastbärare (ekvation 20).

$$tt_{skörd} = \frac{60}{Y} \quad (\text{min/m}^3\text{fpb}) \quad [6]$$

### Skotning

Total tidsåtgång för skotning ( $tt_{skotning}$ ) delades upp i fem moment (Nurminen et al. 2006) och anges i minuter per m<sup>3</sup>fpb (ekvation 7).

$$tt_{skotning}^{1\&4} = t1 + t2 + t3 + t4 + t5 \quad (\text{min/m}^3\text{fpb}) \quad [7]$$

Där  $t1$  är tidsåtgång för körning utan last,  $t2$  är tidsåtgång för körning med full last,  $t3$  är tidsåtgång för körning under lastning,  $t4$  är tidsåtgång för lastning och  $t5$  är tidsåtgång för lossning och körning under lossning. Alla arbetsmoment anges som effektiv tid per hanterad m<sup>3</sup>fpb. Drivare direktlastar i samband med avverkning varför arbetsmoment  $t3$  och  $t4$  exkluderas vid användning av drivare (system 2 och 3).

$$tt_{skotning}^{2\&3} = t1 + t2 + t5 \quad (\text{min/m}^3\text{fpb}) \quad [8]$$

Arbetsmoment  $t1$  och  $t2$  står i direkt relation till skotad volym per lass och skotningsavstånd (ekvation 9). Tidsåtgång för körning med och utan last modellerades enligt Nurminen et al. (2006).

$$t1 + t2 = \frac{0,7123+0,0149 \times tpa}{V_l} + \frac{0,9347+0,0185 \times tpa}{V_l} \quad (\text{min/m}^3 \text{fpb}) \quad [9]$$

I ekvation 9 är  $tpa$  medelterrängtransportavståndet (enkel väg), och det antas att körsträckan tom är lika lång som körsträckan med full last.  $V_l$  är skotningsvolym per last. För grundscenariot är skotningsvolym per last lika för de fyra systemen. Skotningsvolymen är anpassad för att passa i system 3 och 4, där den skotade volymen följer med lastbäraren även för transport via lastbil. Det är därför lastbilens lastkapacitet som bestämmer  $V_l$ . Som tidigare nämnt antogs att varje lastbil kan lasta 3 stycken lastbärare. Utifrån lastbilens lastvikt ( $l$ ) i system 3 och 4 ges att varje lastbärare kan bära:

$$V_l = l^3 \&^4 / 3 / c_2 \quad (\text{m}^3 \text{fpb/skotningslass}) \quad [10]$$

I ekvation 10 är  $c_2$  är en konstant ( $0,8184 \text{ m}^3 \text{fpb/ton}$ ) för att omvandla lastvikten från ton till  $\text{m}^3 \text{fpb}$  som  $V_l$  anges i. Antalet bärare per lastbilstransport är för grundscenariot tre, varför  $l$  divideras med just tre.

Även för beräkning av arbetsmomenten körning under lastning ( $t3$ ) och lastning ( $t4$ ) (ekvationer 11-14) användes beräkningsmodeller från Nurminen et al. (2006), men med viss modifiering för  $t4$  utifrån Lindroos (2012), för att med en ekvation ge ungefärlig tidsåtgång för olika sortimentsblandningar.

$$t3 = \frac{100}{z \times a} \quad (\text{min/m}^3 \text{fpb}) \quad [11]$$

I ekvation 11 är  $z$  virkesdensitet  $\text{m}^3 \text{fpb}$  per 100 m stickväg av det/de sortiment som lastas och  $a$  är den genomsnittliga körhastigheten för körning under lastning, vilken antogs uppgå till 27 m/min.

Variabeln  $z$  beräknades enligt ekvation 12, och är beroende av volym per ha och sortiment som ska skotas ( $b$ ) och den totala stickvägssträckan per ha ( $s$ ), vilken för slutavverkning uppgår till 769 m (Nurminen et al. 2006). Variabeln  $b$  uppgår efter författarens antagande till halva uttagsvolymen per ha, vilket motsvarar  $105 \text{ m}^3 \text{fpb/ha}$ . Värdet på  $z$  speglar alltså fallet då skotarföraren kör ett sortiment per last och det skotas två olika sortiment där uttagsvolymen är lika stor av båda.

$$z = 100 \times \frac{b}{s} \quad (\text{m}^3 \text{fpb/100 m}) \quad [12]$$

Tidsåtgången för lastning ( $t4$ ) beräknades enligt ekvation 13, där  $V_s$  är den volym som ska lastas vid varje stopp.  $V_s$  är enligt ekvation 14 beroende av  $z$  (Nurminen et al. 2006).

$$t4 = 1 + \frac{0,155}{V_s} \quad (\text{min/m}^3 \text{fpb}) \quad [13]$$

$$V_s = e^{-0,447+0,31 \ln(z)} \quad (\text{m}^3 \text{fpb}) \quad [14]$$

Arbetsmomentet avlastning ( $t5$ ) antogs skilja sig avsevärt mellan de olika systemen. För traditionell användning av skotare (system 1), beräknades avlastningstidsåtgången ( $t5_1$ ) enligt ekvation 15, baserat på Nurminen et al. (2006).

$$t5_1 = u1 + u2 + u3 \quad (\text{min/m}^3 \text{fpb}) \quad [15]$$

Enligt ekvation 15 delades avlastningstiden upp på sortering ( $u1$ ), förberedande tid ( $u2$ ) och tid för körning under avlastning ( $u3$ ). Alla  $u$ -variabler är angivna som min per  $m^3$  fpb. Det antogs att skotaren kör ett sortiment åt gången. Beroende på vilket sortiment som skotas skiljer sig värdena för  $u1$  och  $u2$ . Därav användes genomsnittsvärden mellan timmer och massaved för faktisk avlastningstid, sortering och förberedande tid.

Då drivare avverkar ges en blandning av sortiment i drivarens lastutrymme. Eftersom lossningstiden står i relation till antalet sortiment som ska lossas (Manner et al. 2013) är ekvation 15 ej tillämpbar för användning av drivare. För grundscenariot gäller istället, efter författarens antagande att  $t5$  för system 2 beräknas enligt ekvation 16.

$$t5_2 = 2 \times t5_1 \quad (\text{min}/m^3 \text{ fpb}) \quad [16]$$

Enligt ekvation 16 antas avlastningen i system 2 ta dubbelt så mycket tid som för det konventionella systemet (system 1).

För system 3 och 4 lossas hela den fulla lastbäraren som en enhet, varpå en ny tom lastbärare lastas. Här gäller

$$t5_{3 \& 4} = \frac{t_{ll}}{V_l} \quad (\text{min}/m^3 \text{ fpb}) \quad [17]$$

där  $t_{ll}$  är den sammanlagda tiden för lastning och lossning av lastbärare och  $V_l$  är lastvolymen.

Inom de respektive systemen summerades de olika ingående skotningsarbetsmoment för att ge total effektiv tidsåtgång per  $m^3$  fpb ( $tt_{skotning}$ ) för varje system. Därefter beräknades produktiviteten ( $X$ ) per effektiv timme i  $m^3$  fpb/tim genom ekvation 18.

$$X = \frac{60}{tt_{skotning}} \quad (m^3 \text{ fpb}/\text{tim}) \quad [18]$$

### Maskinflytt

För drivningsarbetet tillkom en kostnad för maskinflytt. Flyttkostnaden per maskin ( $K_F$ ) antogs vara konstant. Totala flyttkostnaden per  $m^3$  fpb anges som  $K_{FT}$ .

$$K_{FT} = \frac{m \cdot K_F}{avv_t} \quad (\text{kr}/m^3 \text{ fub}) \quad [19]$$

För att beräkna  $K_{FT}$  dividerades flyttkostnaden av samtliga maskiner i systemet ( $m$ ) med traktens avverkningsvolym ( $avv_t$ ). System 1 och 4 använder sig av två maskiner och system 2 och 3 använder bara en maskin i drivningsarbetet. Desto lägre volym per trakt, desto större skillnad blir det på  $K_{FT}$  mellan systemen.

### Lastbärare

Maskinkostnader beräknades på 2600 schemalagda timmar per maskin och år (Ringdahl et al. 2012), varför även kostnader för lastbärare baserades på den schemalagda tiden.

Timkostnad per lastbärare ( $K_B$ ) beräknades efter inköpspris ( $K_p$ ), restvärde ( $q$ ), räntenivå ( $r$ ) och förväntad livslängd i år ( $y$ ) enligt Fjeld och Dahlin (2005) som:

$$K_B = 1/2600((K_p - (K_p \times q/100))/y + r \times ((K_p - (K_p \times q/100))/2 + (K_p \times q/100))) \quad (\text{kr}/\text{tim}) \quad [20]$$



Antalet lastbärare i systemet anpassades efter produktionen. Det beräknades att det ska finnas ett lager av lastbärare vid avlägg ( $l_s$ ) och vid terminal ( $l_t$ ). Lagernivåerna angavs inte i antal bärare, utan i vilken täckningstid respektive lager har om det ej fylls på med nya lastbärare (exempelvis  $l_s = 7$  tim). Dessutom beräknades att det finns lastbärare på väg till eller från varje avverkningsobjekt.

Hur många lastbärare som i snitt är på väg till eller från varje trakt beror på total tid för varje transport ( $tt_{transport}$ ), samt hur snabbt lastbäraren fylls under drivningen ( $yx$ ). Då drivare används i kombination med lastbärare (system 3) beror tidsåtgången för att fylla och ställa av en lastbärare på produktiviteten i både skördarbetet och skotningsarbetet. Då skördare och en skotare i kombination med lastbärare används (system 4) beror tidsåtgången för att fylla och ställa av en lastbärare enbart på skotningsarbetet eftersom skörd och skotning då görs med olika maskiner. Antalet lastbärare som krävs betecknas som  $n$  och beräknas enligt ekvation 21.

$$n = (tt_{transport} + l_t + l_s) / \left(\frac{V_t}{yx}\right) \quad (\text{st. lastbärare/trakt}) \quad [21]$$

Där  $yx$  skiljer sig mellan system 3 och system 4.

För beräkning av  $yx$  för system 3 gäller ekvation 22.

$$yx_3 = \frac{60}{tt_{skörd} + tt_{skotning}} \times TU_{drivare} \quad (\text{m}^3 \text{ fpb/tim}) \quad [22]$$

För beräkning av  $yx$  för system 4 gäller ekvation 23.

$$yx_4 = X \times TU_{skotare} \quad (\text{m}^3 \text{ fpb/tim}) \quad [23]$$

För beräkning av  $tt_{transport}$  gäller ekvation 24.

$$tt_{transport} = t_s + t_t + 2 \times avs/v \quad (\text{tim}) \quad [24]$$

I ekvation 24 multipliceras avståndet enkel väg ( $avs$ ) med 2 för att ge totalt vägtransportavstånd.

### Kostnad

Maskinkostnader per schemalagd timme (tabell 1) för skördare, skotare och drivare som ej är anpassade för enhetslast erhölls från Ringdahl et al. (2012). I kostnaden ingår fasta kostnader, rörliga kostnader och kostnad för arbetskraft (Ringdahl et al. 2012). Det antogs att viss extrautrustning krävs för de maskiner som är anpassade för enhetslast, exempelvis lastväxlararm och inbyggd våg, varför timkostnaderna per schemalagd timme för de maskinerna i grundscenariot har satts till fem procent högre än för de maskiner som ej är anpassade för enhetslaster.

**Tabell 1.** Timkostnader (kr) för maskiner under schemalagd arbetstid, samt inom vilket/vilka system de respektive maskinerna används

*Table 1. Hourly costs (kr) for the machines during scheduled working hours and which system/systems respective machines are used*

Maskin	System	Timkostnad (kr/schemalagd tim)
Skördare	1 & 4	1028
Skotare	1	770
Skotare enhetslast	4	807
Drivare skörd	2	1073
Drivare skotning	2	906
Drivare enhetslast skörd	3	1127
Drivare enhetslast skotning	3	951

Total kostnad för drivningen ( $K_{drivning}$ ) beräknades enligt ekvation 25.

$$K_{drivning} = \left( \frac{K_{skörd}}{Y \times TU} + \frac{K_{skotning}}{X \times TU} + \frac{K_B \times n}{yx} + K_{FT} \right) / c_3 \quad (\text{kr/m}^3 \text{fub}) \quad [25]$$

Timkostnad för skördarbetet ( $K_{skörd}$ ) och kostnad för skotningsarbetet ( $K_{skotning}$ ) är de som anges i tabell 1 och skilde sig alltså åt beroende på vilket system kostnaden beräknas för. Även  $Y$ ,  $X$ ,  $K_{FT}$ ,  $yx$ ,  $n$  och  $TU$  skilde sig åt beroende på vilket system kostnaden beräknas för. Antalet lastbärare som används per trakt anges som  $n$ , vilket antar värde noll för system 1 och 2. Kostnad för skörd, skotning och lastbärare är angivna per schemalagd timme, varför produktiviteten för skörd och skotning, som är angiven per effektiv timme, multipliceras med  $TU$ . Konstanten  $c_3$  är omvandlingstal från  $\text{m}^3 \text{fpb}$  till  $\text{m}^3 \text{fub}$ .

### Terminal

I terminalkostnad ingår kostnader för vederlagsgrundande virkesinmätning ( $K_{VMF}$ ) och industrins terminalkostnader ( $K_{terminal}$ ) i form av truckar, anläggning för mätplats, lagerplats, personal osv. Alla kostnader kopplade till terminal antogs vara lika mellan systemen med undantag för system 3, där inmätningkostnaderna är något högre eftersom det antogs att all volym behöver stockmätas i stället för att viss volym (ex. massaved) kan mätas partivis.

### Värdeminskning

Vid direktlastning (system 2 och 3) antogs att all volym som avverkas och upparbetas också lastas och levereras till industri. När rundvirket inte direktlastas (system 1 och 4) kan det leda till att avverkad volym lämnas kvar i skogen (glöms bort eller missas). Denna förlust av rundvirke har tagits med och presenteras som en kostnad.

Det minskade virkesvärdet till följd av volymförlust ( $f_V$ ) antogs vara lika med noll då direktlastning används (system 2 och 3). Enligt ekvation 26 antogs  $f_V$  för system 1 respektive 4 uppgå till

$$f_{V^{1 \& 4}} = p_1 \times b_1 \quad (\text{kr/m}^3 \text{fub}) \quad [26]$$

där  $p_1$  är andel av volymen som ej anländer till terminal eller industri och  $b_1$  är en uppskattning av anskaffningsvärdet per  $m^3$  fub. I studien har anskaffningsvärdet baserats på skogsbrukets intäkter och kostnader 2013 (Brunberg 2014) där anskaffningskostnaden för rotköp och avverkningsuppdrag i genomsnitt uppgick till 314 kr/ $m^3$  fub i norra Sverige och 385 kr/ $m^3$  fub i södra Sverige.

Ännu en faktor som kan påverka nettot i slutändan är i vilken grad virkesvärdet för varje stock tas tillvara. För de system som ej använder sig av terminal/industri-sortering är den felsortering som sker innan rundvirke anlånt till terminal/industri en faktor till att virkesvärdet ej tas tillvara fullt ut. Analys över minskat virkesvärde till följd av sorteringsfel ( $f_s$ ) för system 1, 2 och 4 gjordes enligt ekvation 27. Vid terminalsortering antogs  $f_s$  vara lika med noll.

$$f_{s^{1,2\&4}} = p_2 \times b_2 \quad (\text{kr}/m^3 \text{ fub}) \quad [27]$$

Förlust genom sorteringsfel ( $f_s$ ) beror på andelen av volymen som felsorteras ( $p_2$ ), samt uppskattad värdeförlust ( $b_2$ ) per  $m^3$  fub av felsorterad volym.

### Grundvärden

Ingångsvärden för beräkning av ekvationer presenteras i tabell 2. Alla variabler som rör tidsåtgång under drivningsarbetet presenteras i effektiv arbetstid.

Med en lastvikt för lastbil på 37,5 ton för de system som använder sig av lastbärare ( $l^{3\&4}$ ) innebär detta enligt ekvation 10 att skotningsvolymen för alla system uppgår till ca 15,27  $m^3$  fub (oavsett om lastbärare används eller inte).

Kostnaden för en befintlig specifik modell av lastbärare uppgår till 55000 – 60000 kr (Olving 2014). Denna kostnad låg till grund för det inköpspris av lastbärare som användes i grundscenariot.

**Tabell 2.** Grundvärden för ingångsparametrar, samt källa till dessa  
*Table 2. Default values for input parameters and source to each parameter*

Variabel	Värde	Källa
$tpa$	300 m	Författarens antagande
$a$	27 m/min	Nurminen 2006
$b$	105 m <sup>3</sup> fpb/ha	Författarens antagande
$s$	769 m/ha	Nurminen 2006
$t_{II}$	3 min/last	Författarens antagande
$x$	0,34 m <sup>3</sup> fpb/stam	Författarens antagande
$avv_t$	903 m <sup>3</sup> fpb/trakt	Författarens antagande
$u1$	0,51 min/m <sup>3</sup> fpb	Nurminen 2006
$u2$	0,0375 min/m <sup>3</sup> fpb	Nurminen 2006
$u3$	0,008 min/m <sup>3</sup> fpb	Nurminen 2006
$K_{tid}$	349,211 kr/tim	Gillekalkyl 2013
$K_{sträcka}$	10,2 kr/km	Gillekalkyl 2013
$l^1 \& 2$	40,9 ton	Gillekalkyl 2013
$l^3 \& 4$	37,5 ton	Andersson et al. 2014
$K_F$	2000 kr	Lindroos 2012
$K_p$	60000 kr	Författarens antagande
$q$	10 %	Författarens antagande
$y$	10 år	Författarens antagande
$r$	7 %	Författarens antagande
$TU_{skotare}$	90 %	Lindroos 2012
$TU_{skördare}$	80 %	Lindroos 2012
$TU_{drivare}$	75 %	Lindroos 2012
$avs$	88 km	Skogsstatistisk årsbok 2008
$t_s^{1\&2}$	30 min	Gillekalkyl 2013
$t_s^{3\&4}$	10 min	Författarens antagande
$t_t^{1\&2}$	15 min	Anon 2014
$t_t^{3\&4}$	15 min	Anon 2014
$K_{VMF}^{1, 2 \& 4}$	5,06 kr/m <sup>3</sup> fub	VMF syd 2012
$K_{VMF}^3$	5,57 kr/m <sup>3</sup> fub	VMF syd 2012
$K_{terminal}^{1, 2 \& 4}$	25 kr	Anon 2014
$K_{terminal}^3$	25 kr	Anon 2014
$n$	34 st.	Författarens antagande
$l_s$	7 tim	Författarens antagande
$l_t$	5 tim	Författarens antagande
$b_1$	350 kr/m <sup>3</sup> fub	Författarens antagande
$b_2$	175 kr/m <sup>3</sup> fub	Författarens antagande
$p_1$	1 %	Författarens antagande
$p_2$	1 %	Anon 2014
$c_1$	0,93 m <sup>3</sup> fub/ton	Författarens antagande
$c_2$	0,8184 m <sup>3</sup> fpb/ton	Författarens antagande
$c_3$	0,88 m <sup>3</sup> fub/m <sup>3</sup> fpb	Skogsstyrelsen 2013

## ***Känslighetsanalys***

Det finns en mängd ingångsvärden som avgör vilket resultat modellen ger. I känslighetsanalysen ändrades flera av dessa systematiskt för att ge en bild av vilken roll de olika ingångsvärdena spelar, samt för att täcka in den osäkerhet och variation som finns för värdena. Känslighetsanalyserna delades upp i två delar, där den ena delen gjordes över variation i traktens förutsättningar och den andra delen över osäkerheter i ingångsvariablerna. Dels ändrades enskilda variabler och dels ändrades flera variabler tillsammans för att indikera bästa, respektive sämsta, möjliga scenario som följd av användning av de olika systemen.

I känslighetsanalyserna varierades värden för: lagertid för lastbärare, kostnaden för lastbärare, skotningsvolym per last, lastvikt på lastbil, terrängtransportavstånd, vägtransportavstånd, medelstamsvolym, avverkningsvolym per trakt, uttagsvolym per ha, tidskostnad för transport, sträckkostnad för transport, maskinkostnader, tid för lossning och lastning av lastbärare, tid som lastbil spenderar på terminal och vid avlägg i skogen, andel av volym som ej anländer till terminal eller industri, andel av volymen som felsorteras, industrins terminalkostnader och total tidsåtgång för skotning.

## Resultat

Utifrån de antagna grundförutsättningarna visade det sig att kostnaderna totalt sett blir lägst då lastbärare används kombinerat med drivare (system 3) (tabell 3). Kostnaderna för det konventionella systemet (system 1) var något högre än för system 2, där drivare används. För grundscenariot var det system som använder sig av skördare och skotare med lastbärare dyrast (system 4) (tabell 3).

**Tabell 3.** Kostnaderna (kr/m<sup>3</sup>fub) för de olika systemen, dels totalt och dels fördelade på de olika delarna i försörjningskedjan

*Table 3. Costs (kr/m<sup>3</sup>fub) for each system presented as the total sum, distributed on the different parts of the supply chain*

System	Drivning	Transport	Terminal	Värdeförlust	Summa
1	100	69	30	5	204
2	102	69	30	2	203
3	89	75	31	-	195
4	99	75	30	5	210

Terminalkostnaderna var i stort sett lika mellan systemen, med inmättningskostnaderna som enda skillnad. Kostnader kopplade till drivning (tabell 4) och transport (tabell 5) skiljde sig däremot åt mellan systemen. För transporten var förutsättningarna och därmed kostnaderna för system 1 och 2 lika, medan de var högre för system 3 och 4 trots den reducerade tid lastbilen befinner sig i skogen. Detta förklaras av den extravända som lastbilarna behöver göra då lastbärare används, samt den reducerade lastvolymen för vägtransporten. Totalt sett blev kostnaderna för transportdelen 6 kr dyrare per m<sup>3</sup>fub för system 3 och 4 i jämförelse med system 1 och 2 vid ett medeltransportavstånd på 88 km. Kostnaderna för drivningen blev i grundscenariot lägst för system 3, trots att kostnaderna för lastbärarna lagts på drivningen, medan kostnaderna blev högst för system 2. Kostnaderna för värdeförlust uppgick av analysen till ca 5 kr/m<sup>3</sup>fub för båda systemen som använder sig av skördare och skotare.

Kostnaden för varje lastbärare uppgick per timme till 3 kr, vilket motsvarar en kostnad på 3,4 kr/m<sup>3</sup>fub. Denna kostnad blev densamma i både system 3 och 4, trots att lastbärarna fylls snabbare i system 4. Eftersom lagernivån angavs i tid medför ökad produktivitet också behov av fler lastbärare. Transportavståndet, samt timkostnaden per bärare och den tidsangedda lagernivån är avgörande för kostnaden av lastbärare (ekvation 20 och 21). För grundscenariot var behovet av lastbärare per trakt 15 stycken i system 3 och 23 stycken i system 4.

Flyttkostnaden av maskiner uppgick till 2,5 kr per m<sup>3</sup>fub och maskin. Skördeproduktiviteten mätt per effektiv arbetstid var lika mellan de fyra systemen och skillnaden i kostnad per hanterad m<sup>3</sup>fub står därför i relation till teknisk utnyttjandegrad och maskinkostnad per schemalagd timme. Därmed var kostnad för skördarbetet högst i system 3. För skotningen var däremot system 3 billigast. Detta beror på den höga produktiviteten som erhålls då arbetsmomenten lastning och körning under lastning elimineras och hela lasten lossas i ett enda, snabbt moment.

**Tabell 4.** Drivningskostnadens fördelning (kr/m<sup>3</sup>fub)  
*Table 4. Distribution of costs related to logging (kr/m<sup>3</sup>fub)*

System	Skörd	Skotning	Flytt	Lastbärare	Totalt drivning
1	51,0	43,7	5,0	-	99,7
2	56,7	42,9	2,5	-	102,1
3	59,6	23,1	2,5	3,4	88,5
4	51,0	39,8	5,0	3,4	99,1

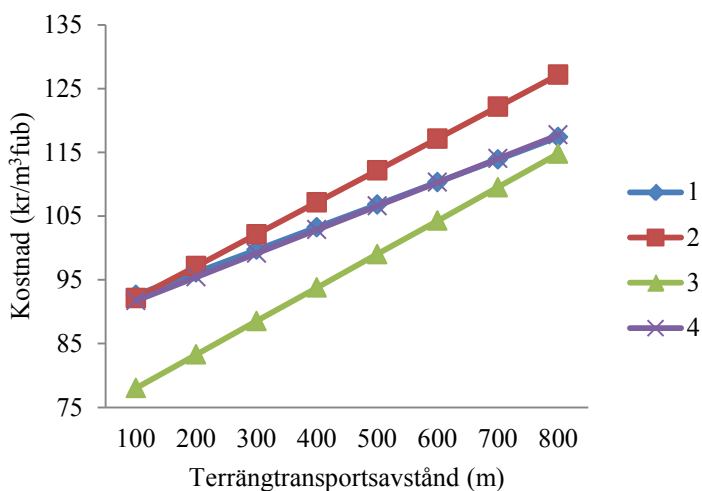
**Tabell 5.** Vägtransportkostnadens fördelning (kr/m<sup>3</sup>fub)  
*Table 5. Distribution of costs related to road transport (kr/m<sup>3</sup>fub)*

System	Extravända	Bil på terminal	Vid avlägg	Körning	Totalt transport
1 & 2	-	2,0	4,0	63,0	68,9
3 & 4	3,1	2,2	1,4	68,7	75,4

## Känslighetsanalyser

### Traktförutsättningar

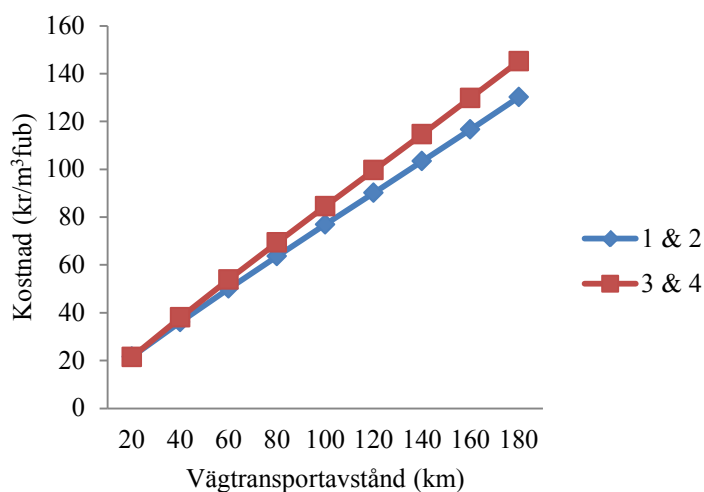
Beroende på traktens förutsättningar visade sig de olika systemen vara olika lämpliga. Terrängtransportavståndet påverkade i större grad de system som använder sig av drivare, än de system som skotar med skotare (figur 2). Detta beror på högre maskinkostnad, samt att de tidsbesparingar som görs med direktlastning, och för system 3 även den snabbare lossningen, fick stor betydelse då terrängtransportavståndet var lågt. Vid ett längre terrängtransportavstånd fick tidsbesparingarna mindre betydelse.



**Figur 2.** Drivningskostnaden beroende på terrängtransportavstånd (enkel väg) för de olika systemen. Observera att linjerna för system 1 och 4 i princip är identiska.

*Figure 2. Logging cost as a function of extraction distance for the different systems. Note that the lines for systems 1 and 4 basically are identical.*

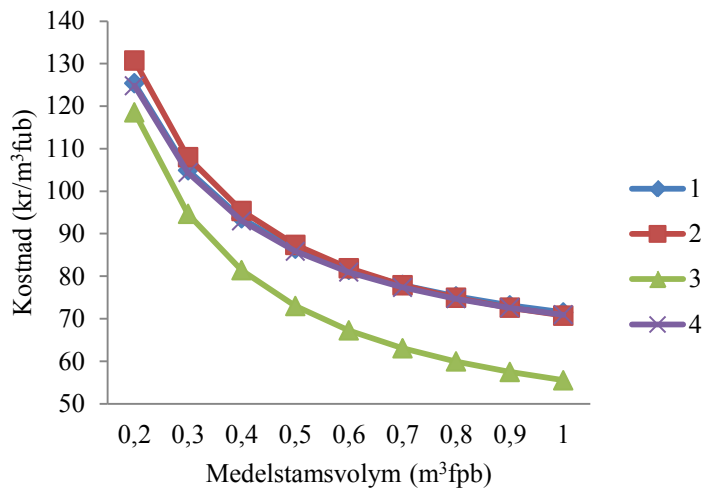
Vid ett vägtransportavstånd på 20 km enkel väg blev vägtransportkostnaden ungefär lika mellan systemen (figur 3). Med ökat vägtransportavstånd blev det något mer kostsamt för de system som använder sig av lastbärare än för de system som ej gör det. Detta beror på att lastkapaciteten antogs vara högre då lastbärare ej används. Att lastning antogs gå snabbare då lastbärare används väger till viss del upp kostnadsskillnaden. Vad som ej framgår i figur 3 är att även kostnaden för lastbärare förändrades med förändrat transportavstånd. Med ett kortare vägtransportavstånd gick transporten snabbare, vilket medför att antalet lastbärare och därmed kostnaden för dessa kunde minska något. Vid ett minskat transportavstånd, från 88 till 10 km innebar detta en minskad kostnad för lastbärarna med 0,5 kr per m<sup>3</sup>fub i jämförelse med grundscenariot. Vid ett längre transportavstånd än grundscenariot blev kostnaden för lastbärarna högre. En lika stor ökad förändring i transportavstånd (från 88 till 166 km) innebar en extra kostnad för lastbärarna med 0,4 kr per m<sup>3</sup>fub.



**Figur 3.** Vägtransportkostnad beroende på vägtransportavstånd (enkelväg) för de olika systemen.  
*Figure 3. Transportation cost as a function of road transport distance (single way) for the different systems.*

Total drivningskostnad berodde till stor del på beståndets medelstamsvolym (figur 4). Med förändrad medelstamsvolym visade sig drivningskostnaderna följa varandra väl för samtliga system utom då drivare använder sig av lastbärare (system 3). Vid lågt värde på medelstamsvolym står skörden för en stor del av drivningsarbetet, medan skörden står för låg andel av det totala drivningsarbetet då medelstamsvolymen är hög. Eftersom kostnaden för skördarbetet var högre för system 3 än för övriga system, samtidigt som kostnaden för skotning var lägre gynnades detta system mer av högre medelstamsvolym jämfört med de övriga systemen.

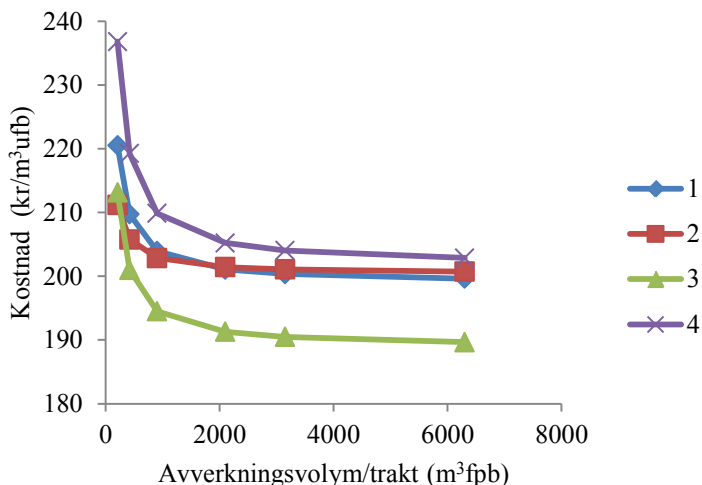




**Figur 4.** Drivningskostnaden beroende på medelstamsvolym för de olika systemen. Observera att linjerna för system 1, 2 och 4 i princip är identiska.

*Figure 4. Logging cost for the different systems dependent on mean stem volume harvested. Note that the lines for systems 1, 2 and 4 are basically the same.*

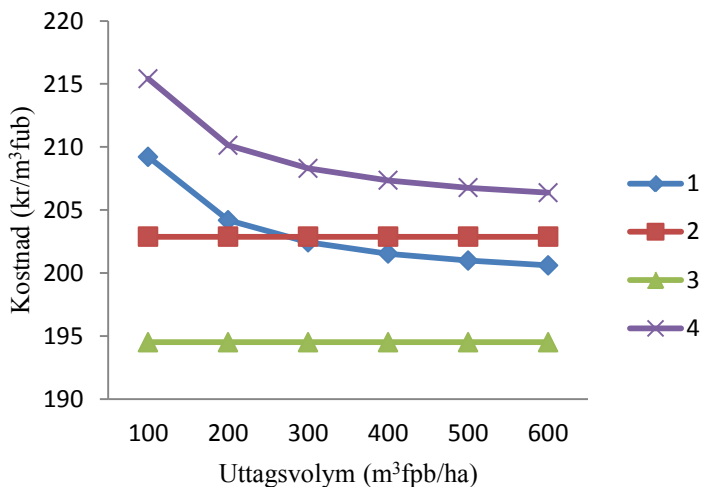
Med varierad avverkningsvolym per trakt förändrades även kostnaderna per levererad m<sup>3</sup>fub (figur 5). I analysen förändrades avverkningsvolym per trakt som en följd av förändrad avverkningsareal, medan uttagsvolymen per ha och även terrängtransportavståndet hölls oförändrade. Eftersom avverkningsvolym förändrades är det dock rimligt att även uttagsvolym per ha och/eller terrängtransportavståndet förändras. Effekt av förändrat terrängtransportavstånd visas dock redan i figur 2 och effekt av förändrad uttagsvolym per ha går att utläsa i figur 6. Enligt figur 5 är system 2 det mest kostnadseffektiva vid låg avverkningsvolym per trakt, vilket delvis beror på att enbart en maskin behöver flyttas. Det beror även på att systemet inte kräver någon transport av tomma lastbärare innan drivningsarbetet påbörjas. Vid högre avverkningsvolym per trakt fås en lägre kostnad per kubikmeter för flytt av maskiner (ekvation 18). Även kubikmeterkostnaden för transport av lastbärare till trakten innan drivningsarbetet påbörjas, som är nödvändig i system 3 och 4, minskar vid ökad avverkningsvolym (ekvation 4). Att värdet förlust genom felsortering och kvarlämnade volymer undviks då drivare och terminalsortering används medför att system 3 är kostnadseffektivt även vid låga avverkningsvolym.



**Figur 5.** Total kubikmeterkostnad beroende på avverkningsvolym per trakt då uttagsvolym per ha är densamma som i grundscenariot (210 m³ fpb per ha).

*Figure 5. Total cost per m³ sub as a function of harvesting volume per stand when harvested volume per ha is the same as in the baseline scenario (210 m³ sob per ha).*

Hur avverkningsvolym per ha påverkar den totala kostnaden presenteras i figur 6. Då arbetsmoment  $t_3$  och  $t_4$  exkluderas vid användning av drivare (ekvation 8) medför detta att avverkningsvolymen per ha ej påverkar kostnaden för system 2 och 3.



**Figur 6.** Total kubikmeterkostnad beroende på uttagsvolym per ha, då avverkningsvolym per trakt är konstant.

*Figure 6. Total cost (kr/m³ sub) as a function of removal volume per ha when harvesting volume per stand is constant.*

Två olika scenarion (scenario 1 och 2) ställdes samman för att se systemens potential under olika förutsättningar. Detta gjordes genom att kombinera traktförutsättningar och vägtransportavstånd från figur 2-6 medan övriga förutsättningar var lika som i grundscenariot. Båda scenariona representerar verklighetstroga scenarion där scenario 1 i första hand syftade till att gynna de båda system som använder sig av enhetslastbärare i förhållande till övriga system och scenario två i första hand syftade till att missgynna de system som använder sig av

enhetslastbärare i förhållande till övriga system. Inget av de båda scenariona syftar till att enbart gynna eller missgynna ett system. Resultatet av scenariona visar således ej på hela spännvidden av kostnadsutfall. Kostnaderna som följer av traktförutsättningarna i de två scenariona presenteras och jämförs med grundscenariot i tabell 6. Scenario 1 innebär ett terrängtransportavstånd på 200 m, ett vägtransportavstånd på 30 km, en medelstamsvolym på 0,6 m<sup>3</sup> fpb, en uttagsvolym på 350 m<sup>3</sup> fpb/ha och en avverkningsvolym på 1500 m<sup>3</sup> fpb per trakt. Scenario 2 innebär ett terrängtransportavstånd på 600 m, ett vägtransportavstånd på 130 km, en medelstamsvolym på 0,2 m<sup>3</sup> fpb, en uttagsvolym på 210 m<sup>3</sup> fpb/ha och en avverkningsvolym på 420 m<sup>3</sup> fpb per trakt. Utfallet från scenario 1 och 2 visar på att kostnaderna mellan de olika scenariona varierar kraftigt och att de olika systemen är olika kostnadseffektiva i förhållande till de övriga systemen beroende på förutsättningar. Detta trots att de olika scenariona ej representerar något slag av extrema förutsättningar eller syftar till att enbart gynna eller missgynna ett system. Överlag innebär scenario 1 att kostnaderna minskar och scenario 2 innebär att kostnaderna ökar.

**Tabell 6.** Kostnaderna (kr/m<sup>3</sup>fub) för de olika systemen för respektive scenario.  
*Table 6. Costs (kr/m<sup>3</sup>fub) for the various systems for each scenario.*

system	Scenario		
	Grund	1	2
1	<b>204</b>	138	274
2	<b>203</b>	137	277
3	<b>195</b>	121	280
4	<b>210</b>	138	290

### Osäkerheter

Förutom kostnadsförändringar kopplat till de varierande traktförutsättningar presenterade i figur 2-5 beror även kostnaderna för respektive system på ännu ett antal förutsättningar. Dessa förutsättningar omfattar även osäkerheter i grundscenariots antaganden. Hur förutsättningarna kan påverka resultatet presenteras i tabell 6. Resultatet anges som kr/m<sup>3</sup>fub och presenteras som förändring av den totala kostnaden för varje enskilt system. Förändringen är beroende av att variabelvärde ändras för enskilda alternativt samtliga system.

Ändring 1 och 2 simulerar att terrängtransportavståndet kan variera mellan de olika systemen.

Ändring 3 simulerar att skotningsvolymen per last kan förändras utan samband med lastbilens kapacitet för de system som ej använder avställbara lastbärare till skillnad från system 3 och 4 som är bundna till lastbärarnas storlek. I ändring 4-9 är det lastvikten på lastbil för system 3 och 4 som avgör skotningsvolymen för samtliga system (ekvation 10), vilket påverkar kostnadsförändringen. Detta för att ej jämföra olika skotningsvolym mellan systemen.

Ändrade lastbärarkostnader (ändring 10-12) och lager av lastbärare (ändring 13-16) visar sig var för sig spela ganska liten roll för det totala resultatet. Då lagertid av lastbärare ökar eller minskar med 6 timmar medför detta en förändring av kostnader på 1,3 kr/m<sup>3</sup>fub.

Stor osäkerhet finns kring hur maskiner anpassade för enhetslastbärare påverkar maskinkostnaderna. Ändring 27-31 visar på att maskinkostnaderna kan ha stor inverkan på de totala kostnaderna. Än större osäkerhet finns kring hur systemen anpassade för lastbärare

påverkar terminalkostnader. Även detta kan få stor inverkan på de totala kostnaderna (ändring 53-59).

Ändringarna 46-48 simulerar olika andel av volymförlust och ändringarna 49-52 simulerar olika andel av felsortering. Dessa parametrar visade sig spela stor roll för de respektive systemens kostnadseffektivitet.

**Tabell 7.** Förändring av totala kostnaden angivet i kr/m<sup>3</sup>fub som reaktion på enskilda förändringar. Grundscenariot (GS) = fet stil.

*Table 7. Change in total cost (kr/m<sup>3</sup>fub) as a reaction to single changes. Baseline scenario (GS)=bold*

Än dri ng	Variabel	Värden i respektive system				Kostnadsförändring (kr/m <sup>3</sup> fub) i respektive system				
		Samtliga system	1	2	3	4	1	2	3	4
1	<i>tpa</i>	<b>300</b>	<b>300</b>	500	500	0	0	10,5	7,4	
2	<i>tpa</i>	<b>300</b>	<b>300</b>	100	100	0	0	-10,5	-7,4	
3	$V_l$		20	20	<b>15,27</b>	<b>15,27</b>	-2,9	-4,1	0	0
4	$l$		38,8	38,8	<b>37,5</b>	<b>37,5</b>	3,7	3,7	0	0
5			<b>40,9</b>	<b>40,9</b>	34,1	34,1	1,2	1,7	9,8	9,2
6		<b>GS</b>					0	0	0	0
7			<b>40,9</b>	<b>40,9</b>	40,9	40,9	-1,0	-1,5	-8,2	-7,6
8			43	43	37,5	37,5	-3,4	-3,4	0	0
9		43					-4,9	-5,6	-12,6	-11,8
10	Lastbärrar	150 %					-	-	1,7	1,7
11	-kostnad	<b>100 %</b>					-	-	0	0
12		50 %					-	-	-1,7	-1,7
13	$l_s + l_t$	36					-	-	5,3	5,3
14		18					-	-	1,3	1,3
15		<b>12</b>					-	-	0,0	0,0
16		6					-	-	-1,3	-1,3
17	$K_{tid}$	+20 %					5,6	5,6	5,8	5,8
18		+10 %					2,8	2,8	2,9	2,9
19		<b>349</b>					0	0	0	0
20		-10 %					-2,8	-2,8	-2,9	-2,9
21		-20 %					-5,6	-5,6	-5,8	-5,8
22	$K_{sträcka}$	+20 %					8,2	8,2	9,3	9,3
23		+10 %					4,1	4,1	4,7	4,7
24		<b>10,2</b>					0,0	0,0	0,0	0,0
25		-10 %					-4,1	-4,1	-4,7	-4,7
26		-20 %					-8,2	-8,2	-9,3	-9,3
27	Maskin-	+20 %					18,9	19,9	16,5	18,1
28	kostnader	+10 %					9,5	10,0	8,3	9,1
29		<b>GS</b>					0,0	0,0	0,0	0,0
30		-10 %					-9,5	-10,0	-8,3	-9,1
31		-20 %					-18,9	-19,9	-16,5	-18,1
32	$t_{II}$				5	5	-	-	3,1	2,2
33					<b>3</b>	<b>3</b>	-	-	0,0	0,0
34					1	1	-	-	-3,1	-2,2
35					0,5	0,5	-	-	-3,9	-2,8

**Tabell 7.** Fortsättning på tabell 7  
*Table 7. Table 7 Continues*

Än dri ng	Variabel	Värden i respektive system				Kostnadsförändring (kr/m <sup>3</sup> fub) i respektive system				
		Samtliga system	1	2	3	4	1	2	3	4
36	$t_t$	25					1,3	1,3	1,5	1,5
37		20					0,7	0,7	0,7	0,7
38		<b>15</b>					0,0	0,0	0,0	0,0
39		10					-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
40		5					-1,3	-1,3	-1,5	-1,5
41	$t_s$	+10					1,3	1,3	1,5	1,5
42		+5					0,7	0,7	0,8	0,8
43		<b>GS</b>					0	0	0	0
44		-5					-0,7	-0,7	-0,8	-0,8
45		-10					-1,3	-1,3	-1,5	-1,5
46	$p_1$		0,05	<b>0</b>	<b>0</b>	0,05	14	0	0	14
47			<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	0	0	0	0
48			0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	-3,5	0	0	-3,5
49	$p_2$		0,1	0,1	0	0,1	15,8	15,8	0	15,8
50			0,05	0,05	<b>0</b>	0,05	7	7	0	7
51			<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	0	0	0	0
52			0	0	<b>0</b>	0	-1,8	-1,8	0	-1,8
53	$K_{terminal}$	+100%					25	25	25	25
54		+50%					12,5	12,5	12,5	12,5
55		+10%					2,5	2,5	2,5	2,5
56		<b>GS</b>					0	0	0	0
57		-10%					-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
58		-50%					-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
59		0 kr					-25	-25	-25	-25
60	$u_{skotning}$	+20%					8,7	8,6	4,6	8,0
61		+10 %					4,4	4,3	2,3	4,0
62		<b>GS</b>					0	0	0	0
63		-10 %					-4,4	-4,3	-2,3	-4,0
64		-20 %					-8,7	-8,6	-4,6	-8,0

Då ändringar kombineras med varandra kan det innebära att de får en annan betydelse än vad ändringarna ger var för sig. Exempelvis kan sägas att om ändring av lastbärarkostnad (ändring 10-12) kombineras med lagertid av lastbärare (ändring 13-16) fås ett annat resultat än om de ändras var för sig. Ändring 10 kombinerat med ändring 13 skulle ge en extra kostnad på 9,6 kr/m<sup>3</sup>fub för de system som använder sig av lastbärare.

Genom att kombinera ändringarna 1, 5, 10, 13, 17, 27, 32, 36, 41, 48, 52, samt 53 i tabell 7 fås ett worst-case scenario för system 3 (worst-case 3). Ändringarna 17, 27, 36, 41 och 53 gäller bara system 3 och 4. Scenariot missgynnar även system 4 förutom genom ändringarna 48 och 52 som medför att samtliga system tar tillvara på det fulla virkesvärdet. Scenariot skulle, då traktförutsättningarna är oförändrade, innebära att kostnaderna för system 3 och 4 ökar avsevärt, medan kostnaderna för system 1 och 2 i stort sett förblir oförändrade (tabell 8).

Två best-case scenarion ställdes också samman. Ett för system 3 (best-case 3) och ett för system 4 (best-case 4). För system 3 har detta gjorts genom att kombinera ändringarna 9, 12, 16, 21, 35, 44, 46, 49, samt 58. Ändring 9 sker i detta fall utan ökad skotningskapacitet för system 1 och 2 medan ändringarna 21 och 44 endast sker för system 3 och 4. Best-case scenariot för system 4 skiljer sig från best-case scenariot för system 3 genom att ändringarna 48 och 52 ersätter ändringarna 46 och 49. Ändringarna berör kvarglömd och felsorterad volym.

De scenarion som presenteras i tabell 8 bygger på de osäkerheter som presenteras i tabell 7, vilket betyder att traktförutsättningarna i figur 2-6 ej tagits hänsyn till för dessa best- respektive worst-case scenarion. Resultatet visar att de osäkerheter som finns kring ingångsvariablerna är väldigt avgörande för vilket system som är mest lönsamt. I bästa fall finns helt klart potential för de båda system som använder sig av enhetslastbärare, men i värsta fall blir kostnaderna långt högre än för befintliga system.

**Tabell 8.** Totala kostnaden (kr/m<sup>3</sup>fub) för de olika systemen i varje scenario. Grundscenariot är skrivet i fet stil.

*Table 8. Total cost (kr/m<sup>3</sup>fub) for each system in each scenario. Baseline scenario is written with bold text.*

System	Scenario			
	Best-case 3	Best-case 4	Worst-case 3	<b>Grundscenario</b>
1	234	199	200	<b>204</b>
2	219	201	203	<b>203</b>
3	158	158	285	<b>195</b>
4	205	170	291	<b>210</b>

## Diskussion

### *Resultat*

I studien analyseras kostnader från avverkning till dess att rundvirke mäts in vid terminal eller industri. Vad som ej ingår i kostnadsberäkningen är att all volym ej nått sin slutdestination. Om rundvirket går via terminal betyder det att all volym ska vidare till industri för samtliga jämförda system, men om det går direkt till industri betyder detta att det tillkommer en kostnad enbart för system 3, vilket beror på att rundvirket för detta system ligger osorterat i lastbärarna och därmed inte ska till samma slutdestination. I grundscenariot är system 3 det billigaste alternativet, ca 8 kr billigare per m<sup>3</sup>fub än system 2. För grundscenariot innebär detta att den extra kostnad som tillkommer för system 3 ej får vara högre än 8 kr/m<sup>3</sup>fub för att systemet ska vara det mest kostnadseffektiva. Detta innebär att system 3 för grundscenariot är kostnadseffektivt om rundvirket skall gå via terminal, men att det blir svårt för systemet att konkurrera med befintliga system om rundvirket går direkt till industri. Åtminstone om flera olika typer av industrier inte ligger i väldigt nära anslutning till varandra.

Under grundscenariot är transportkostnaderna ca 6,5 kr högre per m<sup>3</sup>fub för de system som använder sig av lastbärare än för de system som ej använder sig av lastbärare. Vid ett transportavstånd på 20 km är transportkostnaderna däremot ungefär lika mellan systemen. Känslighetsanalysen visar att om lastkapacitet på lastbil skulle vara lika hög för system 3 och 4 som för de system där enhetslastbärare ej används är transportavståndet ej särskilt avgörande för kostnadseffektiviteten, men utifrån grundscenariot lämpar sig lastbärare bäst för kortare transportavstånd.

Att få till ett system där lastbärare kan placeras på ett bra sätt, med hänsyn till att de ska stå stadigt och vara lätta för lastbilen att hämta, är en utmaning. I praktiken är det möjligt att det tillkommer kostnader för att bereda mark till ytor att ställa lastbärare på.

En fördel som skulle kunna utnyttjas vid rundvirkestransport med hjälp av enhetslastbärare är att lastbilschauffören skulle kunna ställa av sitt släp där utrymme finns för att sedan köra och hämta en lastbärare åt gången som sedan lastas över på släpet tills det är fullt. Samma arbetsmetodik fungerar även utan enhetslastbärare, men kranomlastningen innebär ett tidskrävande arbete med en timmerbil. Arbetsmetodiken med omlastning med lastbärare skulle vara att föredra då det finns ont om utrymme eller då vägens bärighet är låg.

Stor potential kan finnas i det ökade virkesvärde som terminalsorteringen kanske innebär i form av att även ovanliga sortiment kan tas tillvara på, eftersom små volymerna från varje enskild trakt kan samlas ihop vid terminalen. Detta är dock inte knutit till enhetslast, men baserat på resultaten från detta arbete skulle det troligtvis vara det mest kostnadseffektiva att använda terminalsortering kombinerat med enhetslast och direktlastning av drivare.

För att ett system där enhetslast används kombinerat med terminalsortering ska fungera krävs givetvis stora omställningar i nuvarande virkesförsörjningsstruktur. Mottagande terminaler och industrier behöver vara anpassade både för nya och befintliga system. Omställningen till ett system med enhetslastbärare, men där terminalsortering ej används skulle vid mottagande terminal eller industri ej vara lika stor. Vad en omställning på mottagande terminal eller industri skulle innebära är ännu ej klargjort, men utifrån ändringarna 53-59 i tabell 7 kan tydas att kostnad kopplat till terminal eller industri till stor del kan vara avgörande för de respektive systemens konkurrenskraft.

Om något av de analyserade systemen med enhetslastbärare helt skulle konkurrera ut befintliga system skulle det kunna innebära att lager i större utsträckning flyttas från skog och skogsbilväg till terminaler och industrier. Andersson et al. (2014) ser användandet av enhetslastbärare som en möjlighet till minskning av lager och buffertnivåer i den skogliga försörjningskedjan. I rapportens grundscenario är det beräknat att lager av lastbärare vid terminal och i skogen totalt ska räcka för 12 timmars förbrukning. I känslighetsanalysen finns beräkningar för ett lager upp till 36 timmar. I båda fallen skulle det innebära ett lågt lager av rundvirke vid bilväg i förhållande till nuläget, då lagringstid oftast är längre än så. Enligt Lindroos (2014) är två veckor en vanlig väglagernivå, men det kan finnas anledning till att höja buffertvolymen under vissa perioder för att planera för svårigheter. Enligt Lindroos är väglagernivån en kompromiss mellan flexibilitet och kostnader kopplat till lagret. Väglagret används enligt Lindroos som en buffert för att öka flexibiliteten i försörjningsflödet från skog till industri, där ett större lager ger möjlighet till reaktionstid då avvikelser upptäcks. Att se minskning av lager och buffertnivåer enbart som en möjlighet kan, grundat på Lindroos beskrivning av buffertar, vara vanskligt. Det kan tänkas att ett minskande väglager innebär att lager av rundvirke i högre grad måste flyttas till terminal eller industri. Vid terminal och industri begränsas lagringsmöjligheterna av plats för lagret. Därav kan det, för att inte tvinga till låg flexibilitet eller stora lager vid industri, tänkas att enhetslastbärare används kombinerat med befintliga system. På så vis kan ett snabbt flöde från skog till industri utnyttjas med hjälp av enhetslastbärare, samtidigt som buffertar kan skapas med befintliga system.

Låg bärighet på vägar skulle kunna innebära problem vid användning av enhetslastbärare, eftersom dåligt väglag skulle kunna innebära en risk att enhetslastbärare blir omöjliga att hämta eller lämna vid skogsbilväg under vissa perioder. För att till viss del lösa problematiken kan det vara att föredra maskiner som både är anpassade för att skota med hög effektivitet både med och utan enhetslastbärare. En annan lösning skulle kunna vara att användningen av enhetslastbärare anpassas efter olika årstidernas förutsättningar, där större lager av enhetslastbärare används vid ett fåtal trakter under de tider av året då skogsbilsvägar generellt sett är sämre. När förutsättningarna för vägtransport däremot är bra kan ett lägre lager av lastbärare användas vid flera trakter.

Resultaten från grundscenariot tyder på att långa transportavstånd är mer kostsamt för de system som använder lastbärare än de system som ej använder lastbärare. System 3 skulle därför kunna tillämpas på de trakter som har kort transportavstånd till terminal eller industri. För system 4, där volymen från en trakt direkt kan gå till olika destinationer kan en annan metodik användas. En möjlighet som här skulle kunna utnyttjas är att hantera en del av de avverkade sortimenten från en trakt som enhetslast, medan andra sortiment hanteras konventionellt (Svensson 2014). Detta skulle exempelvis kunna utnyttjas då transportavstånden är korta för de sortiment som utnyttjar enhetslastbärare, men längre för andra sortiment, varför de skulle kunna hanteras konventionellt.

Studien har i första hand syftat till att identifiera potentialen hos de system som använder sig av enhetslastbärare, vilket medfört att känslighetsanalyserna i första hand fokuserats på dessa system. Värt att nämna är ändå att det system som använder sig av drivare utan enhetslastbärare enligt denna studie är konkurrenskraftigt jämfört med det konventionella systemet under grundscenariot och även efter ett flertal ändringar genom känslighetsanalyserna.



## ***Styrkor och svagheter***

Studien grundar sig på en teoretisk analys där det för flera arbetsmoment antagits att samma arbete görs lika snabbt oberoende av system. Detta medför att variation i form av traktförutsättningar, teknisk mognad för respektive system och operatörers påverkan undviks. På så vis kan de olika systemens maximala teoretiska potential jämföras under jämbördiga förhållanden. Dessutom möjliggör metoden analys av system som ännu bara är idéer. Då den analys som gjorts är teoretisk är de resultat som ges beroende av de modeller som skapats och därmed ingångsvärdena till dem. För en del av ingångsvariablerna är osäkerheten stor eftersom de praktiska erfarenheterna kring enhetslastbärare är väldigt begränsade och grundar sig på specifika modeller av lastbärare, vilka inte nödvändigtvis är utformade på ett sådant sätt att dess fulla potential uppnås. På grund av osäkerheter och möjlig variation har grundscenariot kompletterats genom känslighetsanalys för att ge en spännvid av realistiska utfall. I de så kallade best- och worst-case scenarion som skapats har fokus legat på de system som använder sig av lastbärare. Resultaten från dessa visar alltså inte spännvidden av realistiska utfall för de befintliga system (system 1 och 2) som varit med i rapporten. Rapporten jämför hela kedjan från avverkning till inmätning vid terminal eller industri, vilket medför att det inom ramen för denna rapport varit svårt att täcka in samtliga osäkerheter. Best- respektive worst-case scenarion har skapats utifrån ändringarna i tabell 7. Om ändringarna skulle kombineras med scenario 1 respektive 2 (tabell 6) hade spännvidden av utfall varit långt mycket större. Detta valdes att inte göras eftersom utfallet av scenario 1 och 2 beror på traktens förutsättningar, medan ändringarna i tabell 7 behandlar osäkerheter i modellens uppbyggnad.

Det är möjligt att den totala kostnaden för de respektive systemen ej är rättvisande. Detta kan vara en följd av att de verkliga ingångsvärdena kan vara andra än de som presenteras i rapporten. Exempelvis antogs det att minskat virkesvärde var lika med noll för det system som använder sig av enhetslast kombinerat med terminalsortering, medan det minskade virkesvärdet för övriga system uttrycktes som en skillnad mellan system 3 och de övriga. Även för system 3 kan det finnas anledning till att virkesvärdet ej tas tillvara fullt ut. Rapporten täcker således ej in samtliga kostnader men belyser ändå skillnader som finns mellan systemen.

## ***Andras resultat***

Forskningen inom enhetslast vid drivning och vägtransport av rundvirke är begränsad. I en fälstudiebaserad undersökning av Andersson et al. (2014) fokuseras det främst på vilka möjligheter och utmaningar som finns med en svenskt framtagna modell av enhetslastbärare i den skogliga försörjningskedjan. Studien fokuserade inte på kostnader kopplat till system som använder sig av enhetslastbärare. I studien gjordes en jämförelse mellan en försörjningskedja där lastbärare användes på skotare och en konventionell försörjningskedja utan lastbärare, det vill säga motsvarande denna studies system 1 och 4. Jämförelsen avsåg, förutom att identifiera möjligheter och utmaningar, resursförbrukning i mantid från hyggets stockar på marken till att lastad lastbil kör från skogen (Andersson et al. 2014). Jämförelsen visade på att resursförbrukningen i mantid var ungefär lika i de båda fallen (2,6 minuter/m<sup>3</sup>). I jämförelsen användes samma lastkapacitet för enhetslastbärare som använts i den här studien, men med en högre lastkapacitet på skotare utan enhetslastbärare.

Andersson et al. (2014) påpekar en praktisk begränsning med lastväxlare, som inte har tagits med här, i och med att de menar att lastväxlare ger skotaren en högre tyngdpunkt. De poängterar dock att den högre tyngdpunkten inte hade någon negativ effekt för skotningsarbetet under deras fältförsök, men pekar också på att terrängen var relativt plan under försöket. Skulle en högre tyngdpunkt påverka skotarstabiliteten skulle det kunna påverka potentialen för lastbärare negativt, eftersom det troligtvis skulle innebära att en mindre volym skulle kunna lastas.

I en tysk studie av Korten och Kaul (2012) analyserades en specifik modell av lastbärare bland annat genom fältförsök. Den analyserade lastbäraren stod på ben, vilket möjliggör att lastbil eller skotare kan backa in under lastbäraren för att lasta på den. I studien framgick att det var möjligt att lasta på stora volymer på just denna lastbärare, men att vissa stocklängder omöjliggjorde hög lastningsgrad och därmed sänkte kostnadseffektiviteten vid användning av lastbäraren. Studien visade på att lastbäraren inte var färdigutvecklad då den ännu ansågs vara för tung. För att möjliggöra lastning och lossning av lastbärare var underlaget tvunget att vara relativt jämnt. Andersson et al. (2014) poängterar att lastbärare på ben kan ha en förmåga att delvis sjunka ner i marken och därmed vara svåra att lasta.

### ***Framtida studier***

Analysmetoden påvisar de olika systemens teoretiska potential, vilket kan ligga till grund för hur resurser används vid framtida forskning. Därför skulle resultaten från studien kunna användas för eventuellt beslut om ett nytt system ska övervägas för att tas i bruk. Studien ger en ungefärlig bild av vilken potential det finns för enhetslast, kombinerat eller ej kombinerat med terminalsortering. För att säkerställa ifall det finns någon potential för enhetslast eller ej krävs dock ytterligare forskning inom ämnet. Då det är hela försörjningskedjor som analyseras krävs det ett väldigt omfattande arbete för att ge en rättvis bild av vilken potential olika system har. Flera frågeställningar återstår att besvarats, vilka bör ligga i fokus i framtida studier. En sådan frågeställning är huruvida det blir mer eller mindre kostsamt att anpassa skogsbilvägar, vändplatser osv, till enhetslast.

Genom de genomförda känslighetsanalyserna ges en bild av vilka parametrar som har störst betydelse för de olika systemens kostnadseffektivitet. Känslighetsanalyserna kan ge en indikation till var framtida forskning behövs. Känslighetsanalysen visar exempelvis att kostnader kopplat till terminal kan ha stor inverkan på lönsamheten hos de olika systemen. Hur de olika systemen påverkar terminalkostnaden är däremot ännu oklart, varför forskning inom ämnet behövs. Även minskat virkesvärde till följd av kvarglömda volymer och felsortering visade sig kunna spela stor roll för kostnadseffektiviteten hos de olika systemen. Preciserade värden över vilka värden olika ingångsvariabler har i verkligheten är ej utrett i denna rapport, varför studier inom området kan vara nödvändig. Det kan tänkas att de modeller som byggts upp ej täcker samtliga avgörande parametrar över vilken potential olika system har, varför fördjupande studier kan vara relevanta att göra.

Troligtvis bör även praktiska fältförsök ligga till grund för att överväga om ett nytt system bör tas i bruk. Genom praktiska försök kan ytterligare möjligheter eller utmaningar kopplat till enhetslast identifieras och frågeställningar som ej legat i fokus under tidigare studier kan uppmärksammas. Genom praktisk erfarenhet skulle även begränsningar för de olika systemen kunna identifieras. En möjlig begränsning skulle kunna vara om vissa stocklängder gör att lastbärarens fyllnadsgrad blir låg.

Antalet lastbärare som krävs i en försörjningskedja är väldigt svårt att spekulera i. Under förhållanden då vägar ej är farbara blir följden under en pågående avverkning att tomma lastbärare förbrukas och att nya inte kan transporteras ut till avverkningsobjektet. För att motverka ett sådant scenario finns alternativen att ha en större buffert av tomma lastbärare vid avverkningsplatsen, att lägga högre kostnader på restaurera och upprusta vägar, eller att låta drivningsarbetet fortlöpa utan hjälp av lastbärare. Olika antal lastbärare har simulerats i känslighetsanalysen, men av alternativen ovan ges att det finns andra alternativ än att öka antalet lastbärare. Vidare forskning krävs kring just antalet lastbärare och kostnader kopplade till alternativa lösningar.

Det finns en mängd varianter av hur direktlastning och enhetslast inom skogsbruket skulle kunna utnyttjas. Denna studie har endast granskat två alternativ vilka visar sig ha viss teoretisk potential jämfört med dagens konventionella system. Ytterligare forskning är därför motiverad för att identifiera ifall det finns ytterligare alternativ som har högre potential än systemen i denna studie.

## Källor:

- Andersson, D., Drott, M., Halldórsson, A., Hulthén, K., Medbo, L., Olving, L. (2014). *Implementering av ny enhetslastbärare i den skogliga försörjningskedjan: Möjligheter och utmaningar* [Elektronisk]. Fordonsstrategisk Forskning och Innovation. Juni 2014  
Delprogram: Transporteffektivitet Tillgänglig:  
<http://www.vinnova.se/PageFiles/751290063/2013-02629%20Imp%20Lastb%C3%A4rare%20sv.pdf>. (2015-05-05)
- Brunberg, T. (2014). *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2013*. Skogforsk nr 69 2014.
- Bäcke, J. (2008) Skogsstyrelsen. Skogsstatistisk årsbok 2008. *Kap 8, Virkestransporter*.
- Fjeld, D., Dahlin, B. (2005). *Nordic logistics handbook – Forest operations in wood supply*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Helsinki University.
- Gille, S-E. (2013). *Gillekalkyl*. (2010). Kostnadsläge 2013. Excelkalkylblad
- Korten, S. & Kaul, C. (2012) *Optimierung der Transportprozesse bei Holzernte und Rundholztransport durch den Einsatz von Wechselbrücken*  
Optimization of extraction and roundwood transportation by using swap bodies  
Slutrapport AiF-Projekt 16503. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 73 S.
- Lindroos, O. (2014). *Planeringsprocessen vid operativ planering av drivning*. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi SLU Umeå. Kursmaterial SH0143 Operativ styrning av virkesleveranser.
- Lindroos, O. 2012. *Evaluation of Technical and organizational approaches of directly loading logs in mechanized cut-to-length harvesting*. Forest Science 58(4):326-341.
- Manner, J., Nordfjell, T., Lindroos, O. 2013. *Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding*. Silva Fennica 47(4): article id 1030.
- Möller, J. J & Sondell, J. (2003). *Betalningsgrundande skördarmätning*. Uppsala: Skogforsk. (Resultat/ Skogforsk, 2003:10).
- Nurminen, T., Korpunen, H., Uusitalo, J. (2006). *Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system*. Silva Fennica 40(2):335–363.
- Ringdahl, O., Hellström, T., Lindroos, O. (2012). *Potentials of possible machine systems for directly loading logs in cut-to-length harvesting*. Canadian Journal of Forest Research 42(5): 970-985.
- Sveriges åkeriföretag (2013). *Åkerihandbok 2013 Kapitel 11 Fordons last och vikt*. [Elektronisk] [www.akeri.se/sites/default/files/ahb\\_2013\\_kapitel11\\_fordons\\_last\\_0.pdf](http://www.akeri.se/sites/default/files/ahb_2013_kapitel11_fordons_last_0.pdf)  
(2015-05-05)
- VSV FRAKT AB. *VSV Skytteln*. <http://www.vsv.se/milj%C3%B6-utveckling-vsv-utvecklingarbete/vsv-skytteln> [2015-02-15]

Personlig kommunikation:

Lennart Olving, Lean Wood Supply, 2014-10-27.

Gunnar Svensson, Doktorand, Skogforsk, Uppsala, 2014-10-22.