



TOMO Hugglink

TOMO link mounted lorry chipper

Tobias Andersson

Arbetsrapport 282 2010
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Iwan Wästerlund

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-282-SE

TOMO Hugglink

TOMO link mounted lorry chipper

Tobias Andersson

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot teknik, 30hp

Jägmästarprogrammet

EX0492

Handledare: Iwan Wästerlund, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Extern handledare: Mikael Forsman, Norra Skogsägarna

Sammanfattning

TOMO Hugglink (TOMO Skog) är en innovation för effektivare skörd och transport av biobränsle. Systemet består av en dragbil, en huggenhet med kran monterad på en link och en flistrailer. Systemet fungerar så att huggenheten ställs av vid avlägget och flisar direkt in i lastutrymmet på flistrailern.

I studien var syftet:

- Att undersöka Hugglinksystemets prestation under olika förutsättningar på avlägget såsom högstorlek, kvalitet på vältan och dess placering.
- Att beräkna kostnaden per råton för två olika fordonskombinationer vid varierande transportavstånd och undersöka effekten av minskad ställtid och ökad lastvikt.
- Att identifiera förbättringsmöjligheter vid arbetet med Hugglinksystemet.

Inom examensarbetet har en tidsstudie genomförts som gjort det möjligt att fastsätta tidsåtgång och produktion. I en efterföljande ekonomisk kalkyl har kostnaden per ton vid olika transportavstånd fastställts för ett system med en dragbil och trailer respektive två dragbilar och trailers. Vidare har effekten av en minskning av ställtiden och en ökning av lastvikten beräknats.

I dagsläget är utnyttjandet av huggen lågt och endast 29 % av systemtiden upptas av flisning. Detta problem kan åtgärdas genom att ytterligare ett dragfordon med trailer används i systemet. Enligt beräkningar kan kostnaden under nuvarande förutsättningar sänkas för objekt med transportavstånd längre än 34 km genom att ytterligare en dragbil och trailer används.

En ökning av lastvikten kan sänka kostnaden i systemet och ger störst effekt på längre transportavstånd. En ökning av lastvikten från 25,6 ton till 28 ton gör att fordonskonstellationen med en dragbil och en trailer är lönsammast på transportavstånd upp till 37 km.

Genom att minska ställtiden per lass med 20 % kan kostnaden för systemet sänkas samtidigt som fordonskombinationen med två dagbilar och två trailers blir lönsammast på ner till avstånd på 31 km.

Nyckelord: GROT, flisning, biobränsle, flistransport

Summary

Tomo Hugglink (TOMO Skog) is an innovation for harvest and transport of biofuels. The system consists of a truck, a chipping unit and crane mounted on a link and a wood chip trailer. The system works in such a way that the chipping unit is disconnected and placed on the site and wood chips are loaded directly into the wood chip trailer.

The aim of this study was:

- To examine the performance of the TOMO Hugglink system under different conditions such as the size, placement and quality of the pile.
- To calculate the cost per raw ton for two vehicle combinations at different transport distances and to examine the effect of a reduction in set-up time and an increase in load weight.
- To identify possible improvements with the TOMO Hugglink system.

A time study was conducted within the thesis work to make it possible to determine production and time consumption. In the subsequent economic analysis the cost per tone at different transport distances was calculated for two different lorry concepts. Furthermore the effect of a reduction in set-up time and an increase in load weight was calculated.

Under current conditions the utilization of the chipper is low and only 29 % of the total system time is occupied by chipping. This problem can be remedied by adding another truck and chip trailer to the system. According to estimates the cost per tone can be reduced for objects with transport distances longer than 34 km by adding another truck and trailer.

An increase in load weight can reduce the cost for the system and the impact is greatest on long transport distances. An increase in load weight from 25, 6 tons to 28 tons results in the configuration with one truck and trailer having lowest cost up to a transport distance of 37 km.

By reducing the set-up time by 20 % the cost can be lowered and the configuration with two trucks and two trailer are cost efficient up to a transport distance of 31 km.

Keywords: GROT, chipping, biofuel, wood chip transport.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Summary.....	3
Inledning.....	5
Mål.....	8
Material och metoder.....	9
Resultat	12
Systemjämförelse 1, en extra lastbil i systemet.....	19
Systemjämförelse 2, minskad ställtid.....	21
Systemjämförelse 3, ökad lastvikt.....	24
Diskussion	26
Referenser.....	29
Bilaga 1 formler.....	30
Bilaga 2 teckenförklaringar	32

Inledning

Examensarbetet har genomförts inom ramen för projektet Bioenergigårdar som har som delmål att utveckla och studera nya system för skörd och transport av biobränsle.

Förbrukningen av trädbränsle i fjärrvärmeverk uppgick till 20 TWh i Sverige under 2006. I Norra skogsägarnas verksamhetsområde har förbrukningen av biobränsle ökat betydligt genom utbyggnaden av Dåva 2 (Umeå energi) och färdigställandet av Hörneborgsverket (Örnsköldsvik). Det genomsnittliga priset för skogsflis levererat till fjärrvärmeverk har ökat från 137 kr/MWh 2005 till 175 kr/MWh andra kvartalet 2009 (Anon. 2009).

Dagens system kan indelas i lösgröt-, flis- och buntsystem. Varianter på systemen förekommer och samtliga används i någon utsträckning vid skörd och transport av biobränsle. Bränslet transporteras vanligtvis med lastbil eller med en kombination av lastbil och tåg till mottagaren.

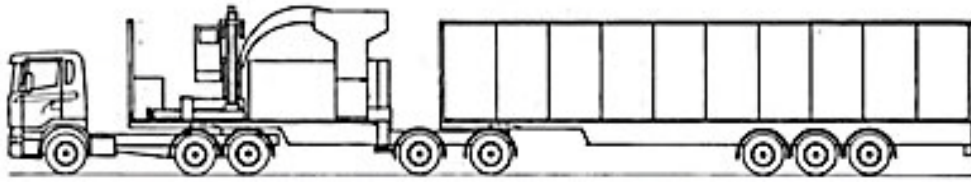
Vid användande av lösgrötsystemet skotas groten till ett avlägg där en lastbil lastar och transporterar groten till terminal eller mottagaren för flisning. Detta tillvägagångssätt gör att lastvikterna blir låga p.g.a. materialets låga densitet och lämpar sig i första hand när transportavstånden är korta. Fördelarna är att kostnaderna hålls nere genom få steg i hanteringen (Engblom 2007).

Flissystemet innebär att groten först skotas till avlägget och därefter flisas av en skotarburen eller lastbilmonterad hugg. Ofta läggs flisen på marken för att sedan hämtas av en skopbil. Systemet innebär att fler fordon är inblandade i produktion och transport av flis. Detta system möjliggör högre lastvikter (Engblom 2007).

Det tredje systemet med buntning av GROT innebär att en skotarburen buntare gör cylindrar av groten direkt på hygget, som sedan transporteras med konventionell skotare till avlägget. Därefter kan buntarna köras med virkesbil till mottagaren. Buntning gör att materialet kan hanteras och lastas enkelt. Dock uppstår en extra kostnad med buntningsmaskinen (Engblom 2007).

I en finsk systemstudie har kostnadsfördelningen för de olika momenten i försörjningskedjan för ett antal olika system för hantering av skogsbränsle undersökts. Studien beaktade hela kedjan och omfattade köp av GROT från markägare, grotanpassning av avverkning, terrängtransport 200 m, flisning, vägtransport 50 km och kostnader för köp- och transportorganisation. För ett lösgrötsystem utgjorde kostnaden för transport och flisning 62 % av den totala kostnaden för bränsleanskaffning. För ett system baserat på flisning vid avlägg var kostnaden för flisning och vägtransport 65 % av den totala kostnaden. För ett system där groten buntades var kostnaden för buntning, vägtransport och flisning 66 % av den totala kostnaden (Savolainen & Berggren 2002).

TOMO Hugglink är en innovation utvecklad av TOMO Skog, Domsjö, för skörd och transport av biobränsle. Systemet består av en dragbil, en Hugglink och en flistrailer (en förare/skift).

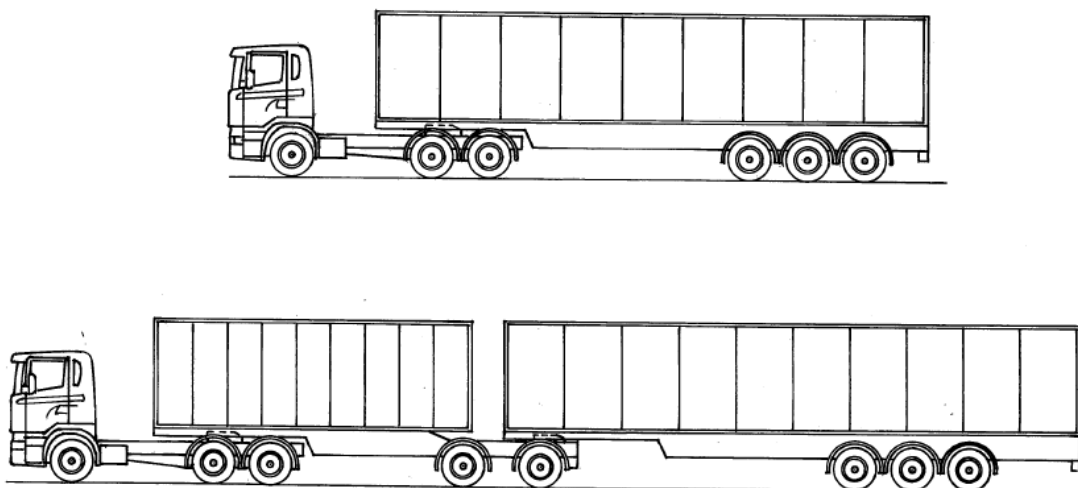


Figur 1. TOMO Hugglink systemet

Figure 1. The TOMO Hugglink system

Dragbilen är en Volvo FH13 med tandemdrift (480 hk). Hugglinken är konstruerad av Vemservice AB, Vemdalen, och består av en 805 CT trumhugg från Bruks AB som drivs av en egen motor på 450 hk. Hugglinken är utrustad med rullmatarbord och en 10 m kran från Cranab, Vindeln. Drift på första axeln i boggi och en fällbar styrframaxel ger möjlighet att förflytta den på avlägget. Hugglinken har även möjlighet att förflytta sig i sidled med hjälp av stödben med 1200 mm slaglängd i höjd och sidled. Flistrailern är utrustad med en trippel axel och har en lastvolym på ca 100 m³s. Ekipaget har en maximal totalvikt på 50 ton och en maximal lastvikt på ca 30,8 ton utan Hugglink tillkopplad. I de fall där inte materialet är mycket blött så är det volymen som begränsar laststorleken. För att kunna vända med hela ekipaget krävs ca 12,5 m radie på vändplan (Kårén 2009 pers medd).

Systemet kan byggas ut med ytterligare ett fordon som betjänas av samma hugg under tiden det första fordonet transporterar och lossar flisen (två förare per skift). Möjlighet finns att använda ytterligare en dragbil och flistraler med samma specifikation som den nuvarande bilen, vilket möjliggör att båda bilarna kan förflytta huggen när objektet är färdigt. Ytterligare ett alternativ inom dagens regelverk med 25,25 m maxlängd är ett fordon bestående av en dragbil, en flistraler och en link med en flisbalja monterad. Detta fordon syns i figur 2 som det nedre ekipaget och får en maximal lastvikt på ca 35 ton och en lastvolym på ca 140 m³.



Figur 2. Två möjliga fordon som kan användas för att komplettera systemet

Figure 2. Two possible lorry concepts that can be used as complement to the system

I en tidigare genomförd produktivitetstudie har Bruks 805 i en annan applikation visat sig ha en genomsnittlig produktion på 23,3 råton/h eller 70 MWh/h vid 37,5 % fukthalt. I samma studie angavs bränsleförbrukningen för Bruks 805 till 51 l/h (Karlsson 2010).

I en studie som genomfördes av Skogforsk jämfördes Hugglinkkonceptet med en skotarburen flishugg avseende produktion per timme på avlägget. I studien producerade den skotarburna flishuggen 74,6 m³/h och Hugglinken 68,3 m³/h. Terminaltiden för Hugglinken uppgick till 14,5 min/lass (Nordén & Eliasson 2009).

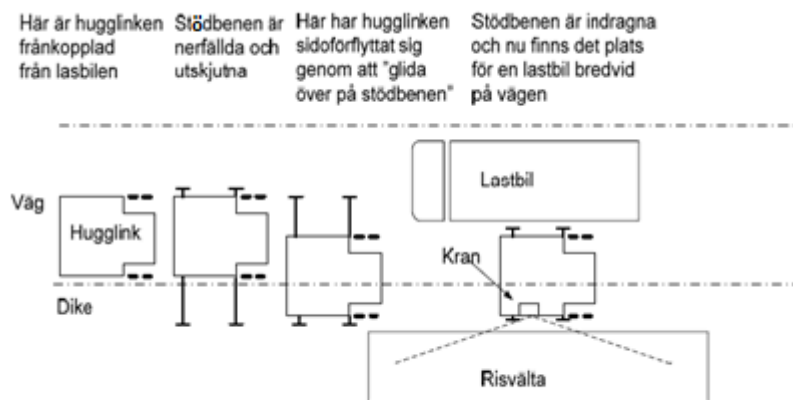


Figur 3. TOMO Hugglink med huggen frångkopplad och produktion till flistrailer

Figure 3. TOMO Hugglink with the chipper disconnected and production to the chip trailer

Arbetsgången vid användning av Hugglinksystemet:

1. Dragbil med tillkopplad Hugglink och flistrailer kör ut till avlägget.
2. Föraren kopplar från Hugglinken och positionerar den.
3. Föraren upparbetar tillräcklig mängd GROT för att fylla flistrailern.
4. Föraren kör dragbil och flistrailer till mottagaren och lossar.
5. Föraren kör åter ut till avlägget.
6. Föraren upparbetar resterande mängd GROT.
7. Dragbil, Hugglink och flistrailer förflyttas till nästa avlägg.



Figur 4. Schematisk skiss över operationer på avlägget

Figure 4. Schematic drawing of the operations on the site

Möjligheten finns att vid små välter flisa med hela ekipaget tillkopplat. Detta förutsätter dock att det finns vändmöjlighet för hela ekipaget och att vältan är placerad så att den kan nås med kranen även när huggen är placerad på vägen. Detta arbetssätt kräver att föraren planerar flisningen så att hela trailern kan fyllas med flis.

Systemet har testats av Norra Skogsägarna och ca 11000 ton flis har producerats med det nya systemet. Flisen har levererats till Ö-vik Energi, Umeå Energi och Skellefteå Kraft (Forsman 2009 pers medd).

Mål

I studien är syftet:

- Att undersöka Hugglinksystemets prestation under olika förutsättningar på avlägget såsom högstorlek, kvalité på vältan och dess placering.
- Att beräkna kostnaden per råton för två olika fordonskombinationer vid varierande transportavstånd och undersöka effekten av minskad ställtid och ökad lastvikt.
- Att identifiera förbättringsmöjligheter vid arbetet med Hugglinksystemet.

Material och metoder

Under våren och sommaren 2009 gjordes en enkel förstudie som innefattade ett antal fältbesök och diskussioner med entreprenör och fordonsförare. Syftet var att samla intryck och idéer inför planeringen av arbetet.

Tidsstudien genomfördes mellan den 17:e oktober och 16:e november 2009. Objekten innefattade avverkningsuppdrag (AU) där Norra Skogsägarna ombesörjt avverkning och grotskotning men även objekt där självverksamma skogsägare avverkat och skotat fram groten. Studien har till största delen genomförts i närområdet kring Örnsköldsvik där Övik energis panna i Hörneborg har varit mottagare. I studien ingår även enstaka lass som körts till Umeå Energis nya panna Dåva 2. Entreprenören kör normalt både objekt som består av träddelar och GROT men studien har inriktats på brun GROT, enstaka stockar röt-ved har dock flisats. Ambitionen var att förutsättningarna skulle vara så verklighetsnära som möjligt.

Väglaget under perioden var stundtals besvärande med dålig framkomlighet som följd. Den varma och regniga hösten medförde också att de objekt som var planerade att köras inte varit tillgängliga på grund av bärighetsproblem.

Vid mottagaren har ekipaget vägt med fordonsvåg vid ankomst och avgång för att erhålla lastvikten. Virkesmättningsföreningens (VMF) personal ansvarade för att ett torrhaltsprov togs på varje lass. Lassets referensnummer har antecknats för att kunna hämta information ur Skogsbrukets datacentral (SDC) datasystem VIOL. Transportavståndet är hämtat ur Norra Skogsägarnas uppdragsbeskrivning.

Studien har gjorts med samma förare på fordonsekipaget. Föraren har kört fordonet i ca ett år och dessförinnan kört både skogsmaskin och timmerbil. Föraren får därför anses vara erfaren. Med anledning av att studien omfattade endast en förare, har delar av data insamlats såväl dagtid som under kvälls- och nattetid.

På avlägget registrerades ett antal variabler som ansågs kunna ha betydelse för systemets prestation. Föraren fick efter att han kört klart ett objekt ge ett betyg på GROT-vältan mellan ett och fem, där fem var bäst. I betyget skulle risets orientering i vältan, fördelningen på stamved och ris och renhet tas i beaktande. För att en välta ska få betyget 5 ska GROT-skotningen vara utförd på ett exemplariskt vis, riset vara upplagt så att arbetet med flisning underlättas, föroreningar förekommer i mycket liten utsträckning och andelen stamved är hög. För att en välta ska få betyget 1 gäller det omvända; undermålig GROT-skotning, föroreningar förekommer rikligt och andelen stamved är låg.

Höjden på vältan avgör hur ofta föraren kommer att behöva flytta huggen för att upparbeta den mängd som krävs för att fylla trailern. I vissa fall har skotarföraren valt att fördela groten på flera mindre högar vilket även det ökade antalet flyttar med huggen.

Systemet kräver väl tilltagna vändplaner alt. möjlighet till rundkörning för att kunna vända med både hugg och trailer tillkopplad. Alternativet är att trailer kopplas från och huggen först placeras på avlägget och föraren sedan hämtar trailern. Vändmöjlighet angavs i tre klasser: möjlighet att vända med hela ekipaget (hela), möjlighet att vända med hugg och trailer var för sig (del) och avlägg som krävde att föraren backade in med hugg och trailer var för sig (backning).

Tabell 1. Momentindelning med beskrivning*Table 1. Moment classification and description*

Moment	Beskrivning
Transport	Påbörjas när hytten sänks ner alt. bilen lämnar mottagaren.
Lossning	Momentet påbörjas när bilen kör in genom industrigrindarna och avslutas när bilen lämnar industriområdet. Innefattar vägning, provtagning och tippning.
Flisning	Inleds när kranarbetet påbörjas och avslutas när hytten sänks ner.
Ställtid	Påbörjas när föraren kopplar från trailer alt. återvänder från mottagare.
Byte av stål	Påbörjas när hytten sänks ner och avslutas med hytt upp.
Avbrott	Övrig tid som ej ingår i ovanstående t.ex. reparation, rensning av trumman och matrast.

Tabell 2. Förutsättningar på avlägget för respektive lass*Table 2. Conditions on the sites for each load*

Referensnummer	Höjd risvälta (meter)	Vändmöjlighet	Betyg (1-5)	Kommentar
6428	2,2	Backning	3	Luftledning
6430	2,2	Backning	3	Luftledning
6770	2,7	Backning	2	Stor andel tall
8153	2,3	Hela	4	Ej AU*
8174	2	Hela	4	Ej AU*. Halt
8222	4	Hela	2	
8234	3,5	Hela	2	
8389	4,5	Del	4	
8406	4,5	Del	4	
8521	4,5	Del	4	
8554	4,5	Del	4	
8647	4,5	Del	4	
8692	4,5	Del	4	
9024	2,5	Del	2	Ej AU*

*AU = Avverkningsuppdrag

För att beräkna kostnaden per timme för de olika fordonskombinationerna har en modell för kostnads kalkylering avseende skogsmaskiner använts som utgångspunkt (Nordfjell 2006).

Den totala systemtiden är beräknad utifrån att förarna arbetar i tvåskift. Något som har försvårat möjligheten till att göra en enkel kostnads kalkyl är att systemtiden för de ingående delarna i systemet varierar med transportavståndet. Därför har systemtiden beräknats för respektive del för ett transportavstånd mellan 0 och 100 km.

För att beräkna tidsåtgång för transport av flis har ett linjärt samband mellan transportavstånd antagits gälla.

Investering, underhållskostnad och bränsleförbrukning har inhämtats genom diskussioner med flisningsentreprenören (Kårén 2009 pers medd). För Hugglinken har dieselpriiset reducerats med 2 kr/liter med anledning av att det för arbetsfordon finns möjlighet att få tillbaka en del av koldioxidskatten (Anon. 2005).

I kalkylen har följande grundförutsättningar använts:

Allmänna förutsättningar

Systemtid	3000 h/år
Dieselnkostnad Dragbil	9 kr/l
Dieselnkostnad Hugglink	7 kr/l
Restvärde	20% av ursprunglig investering
Kalkylränta	4%
Ekonomisk livslängd	5 år
Förelön	320 kr/tim

Dragbil Volvo FH 16

Investering	1 500 000 kr
Fast underhållskostnad	60 000 kr/år
Rörlig underhållskostnad	1,3 kr/km
Dieselförbrukning	0,5 l/km

Flistrailer

Investering	1 250 000 kr
Fast underhållskostnad	8 000 kr/år
Rörlig underhållskostnad	0,3 kr/km

Hugglink

Investering	4 500 000 kr
Fast underhållskostnad	0 kr/år
Rörlig underhållskostnad	12 kr/producerad råton flis
Dieselförbrukning	2 l/producerad råton flis

Resultat

Lassens genomsnittliga torrhalt var under försöksserien 64,8 %. Lassens genomsnittliga energiinnehåll var 80,9 MWh. Den genomsnittliga lastvikten uppgick till 25,6 ton/lass (tabell 3).

Norra Skogsägarnas policy tillåter inte att någon GROT lämnas oupparbetad på avlägget. Dessutom är möjligheterna att samköra flis från flera markägare på samma lass begränsad av att inmätningen vid mottagaren är betalningsgrundande. Detta får till följd att entreprenören får köra lass som inte utnyttjar hela lastkapaciteten på ekipaget.

Tabell 3. Invägd vikt, torrhalt, energiinnehåll och transportavstånd per flislass

Table 3. The measured weight, energy content and transport distance for each load

Referensnummer	Lastvikt (råton)	Torrhalt (%)	Lastvikt (ton torrsubstans)	Energiinnehåll (MWh)	Transportavstånd (km)
6428	35,6	53,3	19	88,1	29
6430	30,5	54,2	16,5	77	29
6770	27,7	78,5	21,7	109,6	55
8153	24,6	59,2	14,5	70	34
8174	18	67	12	59	34
8222	14,7	53,1	7,8	36	32
8234	21,6	57,7	12,5	59,1	32
8389	29,2	68,7	20	98,6	35
8406	17,8	66,4	11,8	57,8	35
8521	29,8	70,3	20,9	103,6	35
8554	27,5	65,5	18	87	35
8647	26,2	74,3	19,5	97,4	35
8692	27,5	75,1	20,6	103,2	35
9024	27,9	64,2	17,9	86,7	46
Totalt	358,3		232,8	1133,1	
Medel	25,6	64,8	16,6	80,9	35,8

Den totala tid som spenderades på avlägget var i genomsnitt 134,2 min/lass men varierade under tidsstudien mellan 47,5 och 303 min. I genomsnitt har 66 minuters effektiv flisning åtgått för att få fullt lass i trailern alternativt upparbeta den mängd flis som fanns kvar på objektet. Ställtiden per lass varierade under studien mellan 5,3 min och 131,4 min. I tre fall har föraren valt att byta huggstål vilket tog i genomsnitt 29,3 min. Avbrott uppstod under arbetet med 6 av lassen i studien och varade i medeltal 14,4 min (tabell 4).

Tabell 4. Arbetsmomentens tidsåtgång för respektive flislass*Table 4. Time consumption for the moments for each load of chips*

Referensnummer	Ställtid (min/lass)	Effektiv flisning (min/lass)	Avbrott (min/lass)	Byte av stål (min/lass)	Total avläggstid (min/lass)
6428	62,2	66,4	0,0	29,8	158,4
6430	29,0	66,1	17,1	0,0	112,2
6770	39,1	75,2	0,0	0,0	114,3
8153	65,2	54,8	12,5	0,0	132,5
8174	69,4	45,4	0,0	0,0	114,8
8222	8,1	36,4	3,0	0,0	47,5
8234	42,6	57,5	0,0	0,0	100,1
8389	54,8	73,3	10,1	26,5	164,7
8406	42,8	39,6	0,0	0,0	82,4
8521	5,3	77,3	0,0	0,0	82,7
8554	41,5	83,5	66,7	0,0	191,7
8647	18,8	80,8	7,8	0,0	107,3
8692	55,0	89,8	22,7	0,0	167,5
9024	131,4	78,0	62,3	31,3	303,0
Summa	665,1	924,2	202,1	87,6	1879,0
Medelvärde	47,5	66,0	14,4	6,3	134,2

I tabell 5 har produktionen per timme beräknats genom att lassets vikt respektive energiinnehåll dividerats med tiden som ägnades åt effektiv flisning för lasset. Förutom förutsättningar på avlägget och förarens prestation påverkas produktionen väsentligt av materialets torrhalt. Produktionen för flisningsarbetet varierade mellan 32,2 råton/tim och 18,3 råton/tim och var i medelvärde 23,3 råton/tim.

Tabell 5. Produktion vid flisning av respektive flislass*Table 5. Production for chipping of each load of chips*

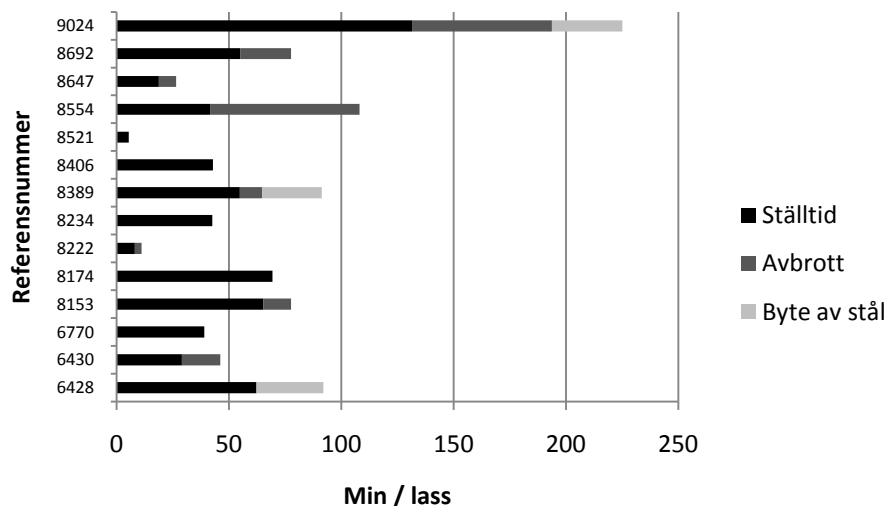
Referensnummer	Produktion (råton/tim)	Produktion (ton torrsubstans/tim)	Produktion (MWh/tim)
6428	32,2	17,2	79,6
6430	27,7	15,0	69,9
6770	22,1	17,3	87,4
8153	26,9	16,0	76,6
8174	23,7	15,9	77,9
8222	24,1	12,8	59,4
8234	22,6	13,0	61,7
8389	23,9	16,4	80,7
8406	27,0	17,9	87,6
8521	23,1	16,3	80,4
8554	19,8	12,8	62,5
8647	19,5	14,5	72,3
8692	18,3	13,8	68,9
9024	21,4	13,7	66,7
Medel	23,3	15,1	73,6

Det genomsnittliga transportavståndet till mottagare för samtliga avlägg som ingick i studien var 35,8 km (tabell 6). Medelhastighet under transport av flis till mottagare och tomkörning tillbaka till avlägget var 57,2 km/h. Tidsåtgången för lossning påverkades i huvudsak av hur många fordon som redan stod i kö för vägning och tippning samt om mottagningsplatsen var tillräckligt bemannad. Under tidsstudien var den genomsnittliga tidsåtgången för lossning 16,6 min/lass.

Tabell 6. Transport och lossning av flisat material*Table 6. Transport and unloading of chipped material*

Referensnummer	Enkel transportsträcka (km)	Körtid (min)	Medelhastighet (km/h)	Lossning (min)
6428	29	81,5	42,7	16,6
6430	15	31,0	56,1	20,0
6770				14,8
8153	34	73,3	55,6	12,6
8222	32	63,1	60,9	17,8
8389	35	63,6	66,1	16,4
8521	35	73,8	56,9	17,7
8647	35	67,4	62,3	17,2
Medel			57,2	16,6

Om produktiviteten under flisning är relativt jämn visar tidsåtgång för ställtid och byte av stål på betydligt större variationer (figur 5).



Figur 5. Tidsåtgång för arbetsmomenten byte av stål, ställtid samt avbrott

Figure 5. Time consumption for the time elements changing steel, set-up time and disruption

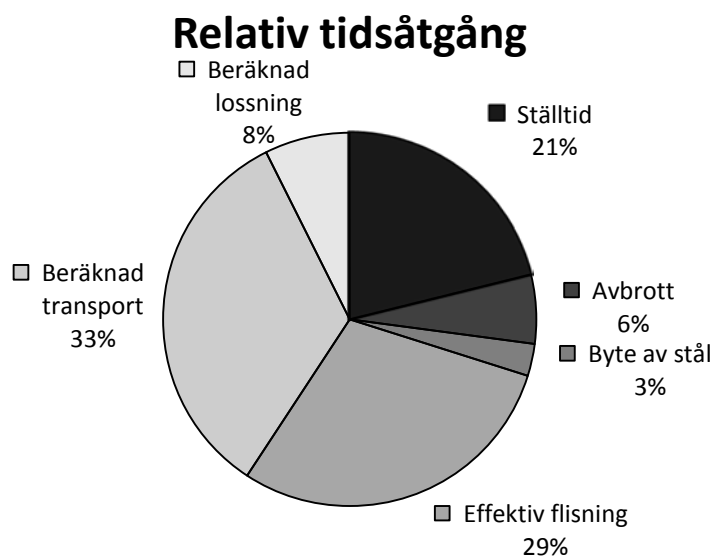
I ett fall har föraren tvingats lägga ner tid på att leta vältorna till följd av bristfälligt kartmaterial, vilket medförde högre ställtid och betydande produktionsbortfall. Under perioden då tidsstudien genomfördes var bärigheten på vägar ett stort problem. Detta gjorde det svårt att långsiktigt planera vilka avlägg som skulle vara tillgängliga och kunna köras. I flera fall har föraren mottagit karta, objektsbeskrivning och transportorder samma dag.

Behovet av att byta stål avgörs till stor del av materialets renhet. Intervallerna mellan byte av stål kunde variera mellan 1 – 10 lass (Selqvist 2009 pers komm).

Möjligheten att vända med hela eller delar av fordonskombinationen spelar även in på ställtiden per lass (Selqvist 2009 pers komm).

Den genomsnittliga ställtiden per lass för de avlägg som tillåter att föraren kan vända med hela ekipaget tillkopplat var 38,7 min. För de avlägg som kräver att föraren vänder med hugg och trailer var för sig var ställtiden per lass 49,9 min/lass. På avlägg som kräver att föraren backar in med hugg och trailer var den genomsnittliga ställtiden 53,5 min/lass.

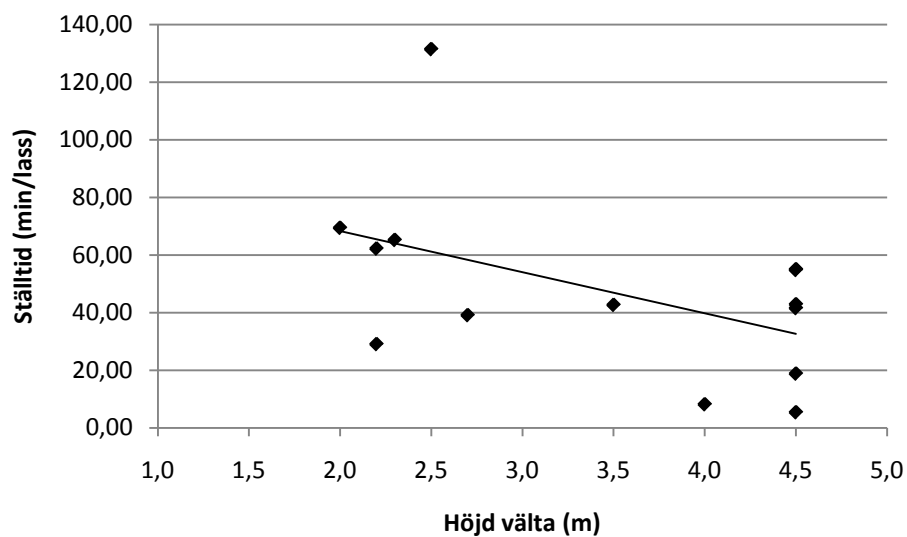
Den relativa tidsåtgången för de olika arbetsmomenten redovisas i fig 6. Tidsåtgången för transport är beräknad med ett linjärt samband mellan transportavstånd och tidsåtgång. Transport och lossning upptog 40,6 % av tiden och arbetet på avlägget 59,4 % av tiden. Den effektiva flisningen utgör endast 29,2 % av arbetstiden. Huggen motsvarar 62 % av kapitalkostnaden för ekipaget men under 70,8 % av tiden utnyttjas den inte.



Figur 6. Tidsåtgången i relativa tal för de olika arbetsmomenten. Transport och lossning är beräknade värden vid ett transportavstånd på 35,8 km

Figure 6. Proportional time consumption for the elements. Transport and unloading are calculated values for a transport distance of 35,8 km.

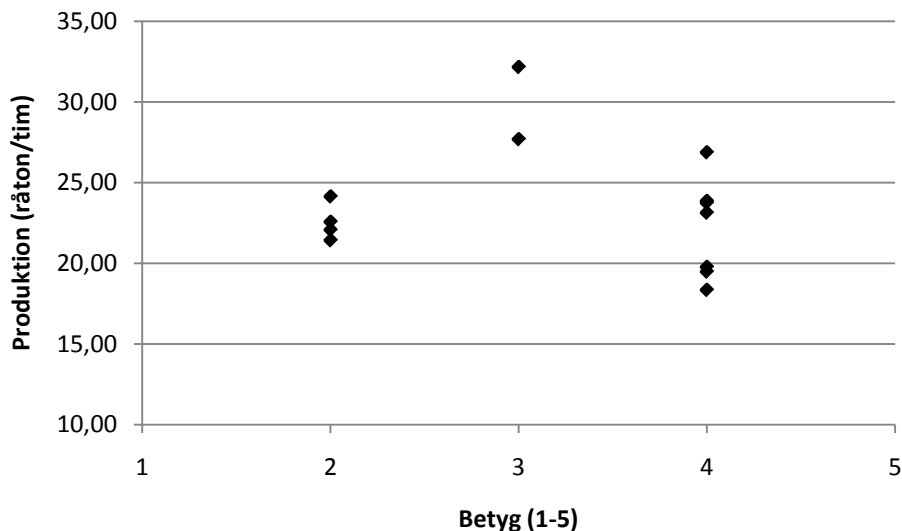
Vältans höjd hade en svag positiv inverkan på ställtiden per lass.



Figur 7. Relationen mellan ställtid och valthöjd

Figure 7. Relation between set-up time and pile height

Den subjektiva betygsättningen av vältans kvalitet hade inget samband med produktionen vid flisningsarbetet.



Figur 8. Relation mellan betyg för vältan och produktion vid flisningsarbete per timme

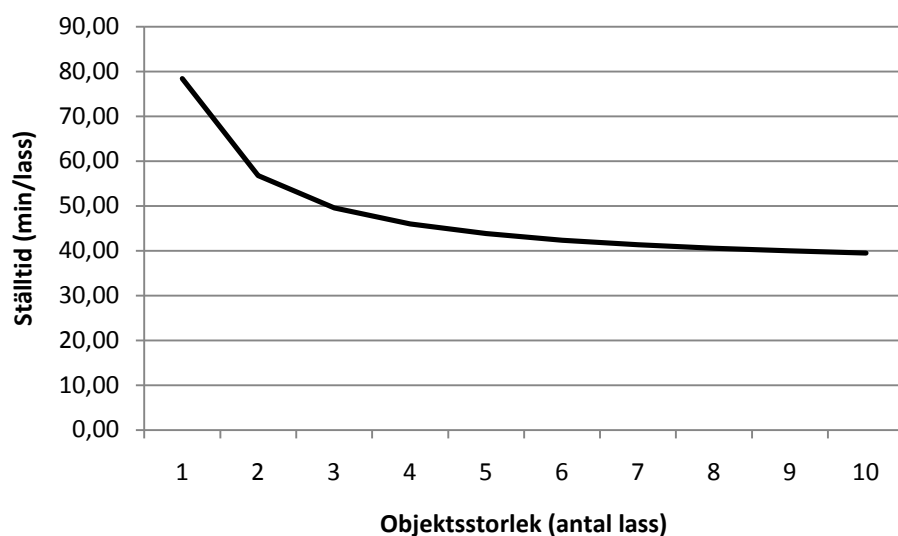
Figure 8. Relation between grading of the pile and production for chipping per hour

Ställtiden varierade beroende på om det var första lasset på objektet eller om huggen redan fanns utplacerad när föraren kom till avlägget (Selqvist 2009 pers komm). Om avlägget inte tillåter att föraren kan vända med hela ekipaget tillkopplat måste föraren koppla från trailern och vända och placera ut Hugglinken först för att sedan hämta trailern. Under antagandet att det första lasset på objektet avviker från de övriga vad gäller ställtid kan den genomsnittliga ställtiden beräknas för olika objektsstorlek. För första lasset på objekten var den genomsnittliga ställtiden 78,4 min per lass och för de övriga lasset var ställtiden i genomsnitt 35,2 min.

Ställtiden per lass vid olika objektsstorlek har sedan beräknats med formeln nedan som åskådliggörs i figur 9:

$$\text{Ställtid i min per lass} = (78,4 + 35,2 \cdot (n-1)) / n$$

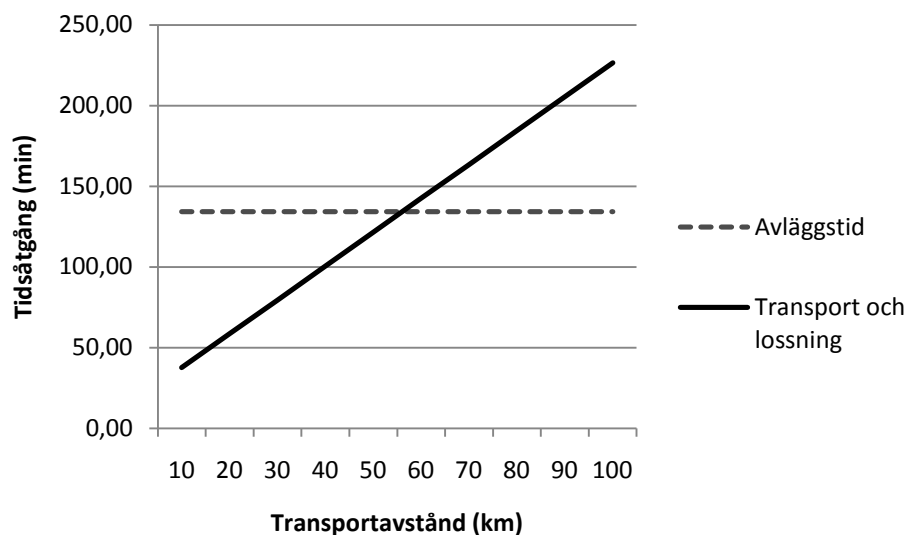
n = Objektsstorlek (antal lass)



Figur 9. Beräknad ställtid per lass vid olika storlek på objektet

Figure 9. Calculated set-up time per load for different object size

Under tidsstudien uppmättes den genomsnittliga tidsåtgången för lossning till 16,6 min/lass och den genomsnittliga transporthastigheten till 57,2 km/tim. Eftersom tidsåtgången på avlägget är oberoende av transportavståndet betyder det att den relativa tidsåtgången för transport och lossning ökar med transportavståndet. Förhållandet mellan transportavstånd och tidsåtgång åskådliggörs i fig 10.



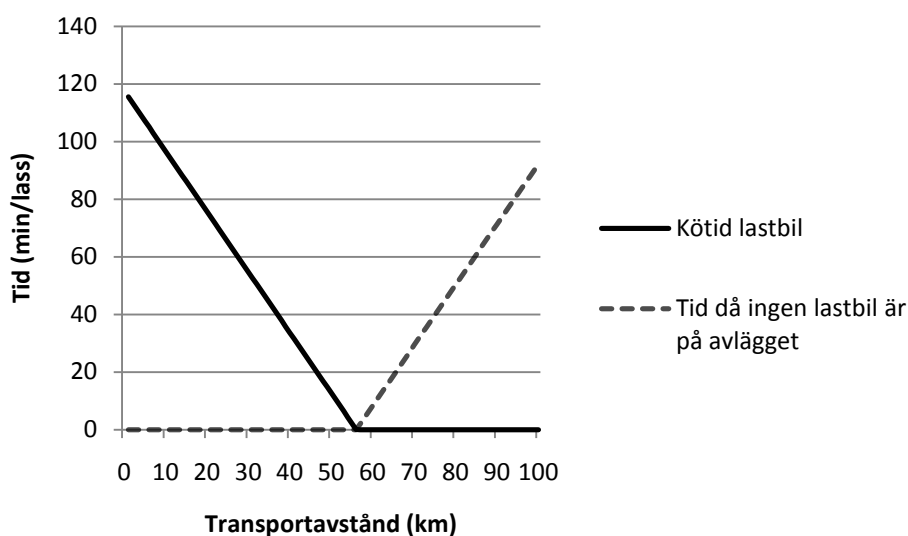
Figur 10. Principiellt förhållande mellan avläggstid och tidsåtgång för transport och lossning

Figure 10. The principle relation between time spent on the site and time for transport and unloading

Systemjämförelse 1, en extra lastbil i systemet

I systemjämförelse 1 har beräkningar utförts utifrån tidsstudiens uppmätta resultat i form av transportavstånd, lastvikt, tidsåtgång etc. En möjlighet för att öka utnyttjandet av Hugglinken är att koppla ytterligare ett fordon till samma hugg.

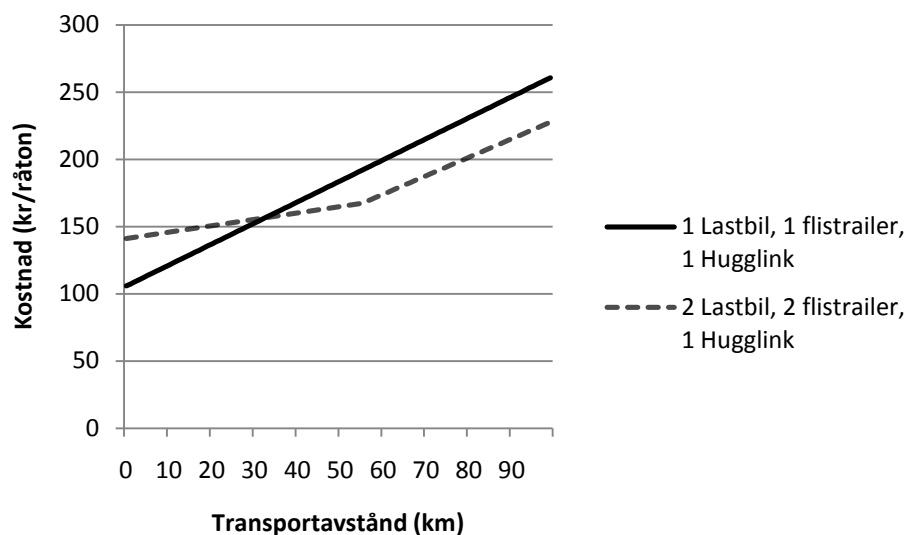
En jämförelse av den tid som huggen är ledig och tiden för att upparbeta ytterligare ett lass är av intresse. Om upparbetningen av ett lass tar längre tid än att transportera och lossa samma lass innebär det att fordonen får vänta på att huggen ska bli ledig på avlägget. Motsatsen innebär att huggen inte utnyttjas till fullo. När Hugglinken utnyttjas hela arbetstiden samtidigt som det inte förekommer kötid är systemet i balans. Kötid respektive tid som det saknas lastbil har beräknats som skillnaden mellan de två linjerna i figur 10, med restriktionen att tiderna ej kan vara negativa, resultatet redovisas i figur 11.



Figur 11. Kötid respektive tid som huggen ej utnyttjas beroende på transportavstånd med två lastbilar i systemet

Figure 11. Time one of two trucks spent in queuing and time chipper not used depending on transport distance

Vid ett transportavstånd över 34 km är det mest lönsamt med två flisbilar (figur 12). Detta betyder att när transportavståndet understiger 34 km är konstellationen med en dragbil, en trailer och en Hugglink den som ger lägst kostnad.



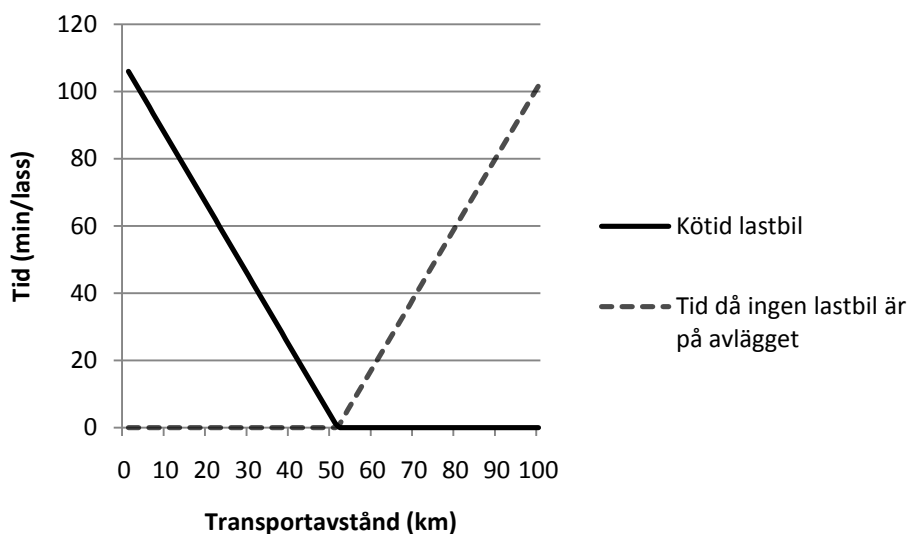
Figur 12. Beräknad kostnad per ton för de två olika systemen med en respektive två flistrailers

Figure 12. Calculated cost per ton for the system with one and two vehicle combinations respectively

Linjen för två flisbilar i figur 12 ändrar riktning vid ett transportavstånd på ca 56 km. Detta beror på att 56 km är det transportavstånd då det råder balans i systemet och vid längre avstånd utnyttjas inte huggen till fullo, jfr Figur 11.

Systemjämförelse 2, minskad ställtid

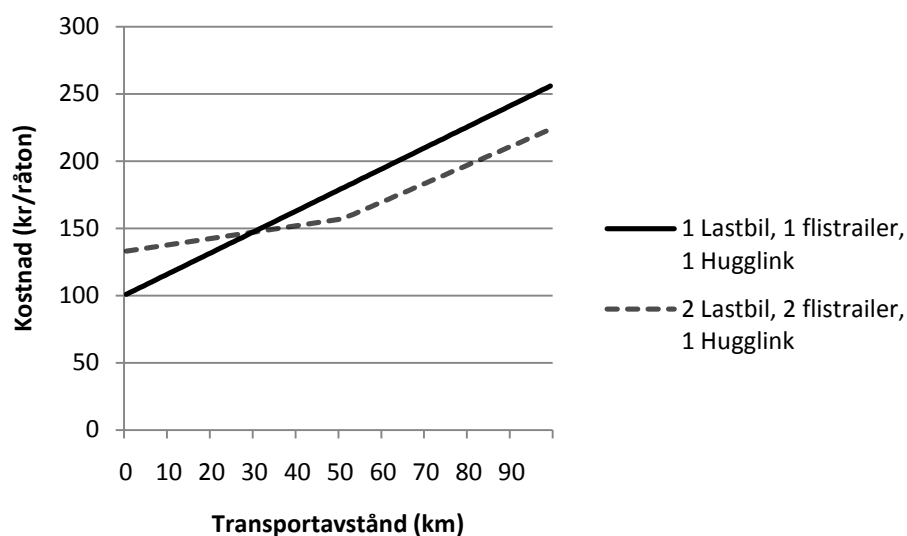
I systemjämförelse 2 har potentiell kostnadsbesparing p.g.a. minskad ställtid och därmed minskad avläggstid analyserats. Ställtiden kan påverkas genom objektsstorlek men även genom väl utförd grotskotning och bra planering. I denna jämförelse gäller samma förutsättningar som i grundfallet med den skillnaden att ställtiden minskats med 20 % från 47,4 min/lass till 38 min/lass. Detta gör att den totala avläggstiden minskar från 134,2 min/lass till 124,7 min/lass. Det transportavstånd som ger balans i systemet ca 51,5 km att jämföra med 56 km i jämförelse 1 (fig 13).



Figur 13. Kötid respektive tid som huggen ej utnyttjas beroende på transportavståndet vid 20 % minskad ställtid.

Figure 13. Time truck spend in queuing and time chipper not used depending on transport distance when set up time is reduced by 20 %.

I systemjämförelse 2 skär de två linjerna varandra vid ett transportavstånd på 31 km (fig 14). En minskning av tidsåtgången på avlägget gör alltså att konstellationen med två dragbilar och två trailers är lönsam på kortare transportavstånd än tidigare. En minskning av ställtiden kan åstadkommas genom att objektstorleken ökar (jmf. fig 9).

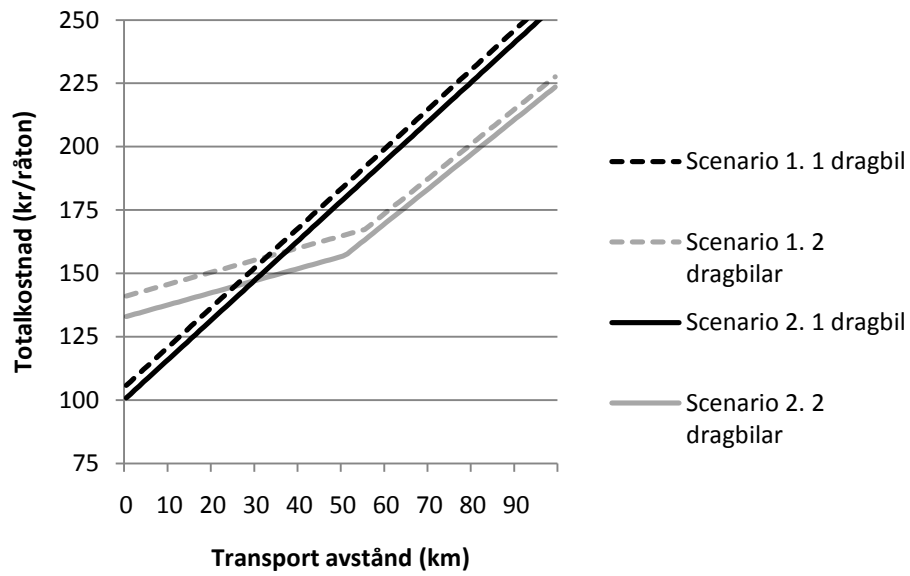


Figur 14. Beräknad kostnad per ton för de två koncepten med en eller två flistrailers till en Hugglink och 20 % minskad ställtid

Figure 14. Calculated cost per ton for the two vehicle combination with one or two trailers and set-up time reduced with 20 %

Systemjämförelse 2 ger 4,9 kr/ton lägre kostnad jämfört med systemjämförelse 1 vid alla transportavstånd med konstellationen med en dragbil och en trailer. Detta motsvarar en kostnadsbesparing på mellan 4,7 % och 1,9 %.

Vid en jämförelse med två dragbilar och två trailers mellan systemjämförelse 1 och 2 varierar kostnadsbesparingen med transportavståndet (figur 15). Vid de kortaste transportavstånden är kostnadsbesparingen 8,11 kr/ton och vid de längre avstånden 4,06 kr/ton. Detta motsvarar en kostnadsbesparing på mellan 5,8 % och 1,8 %.

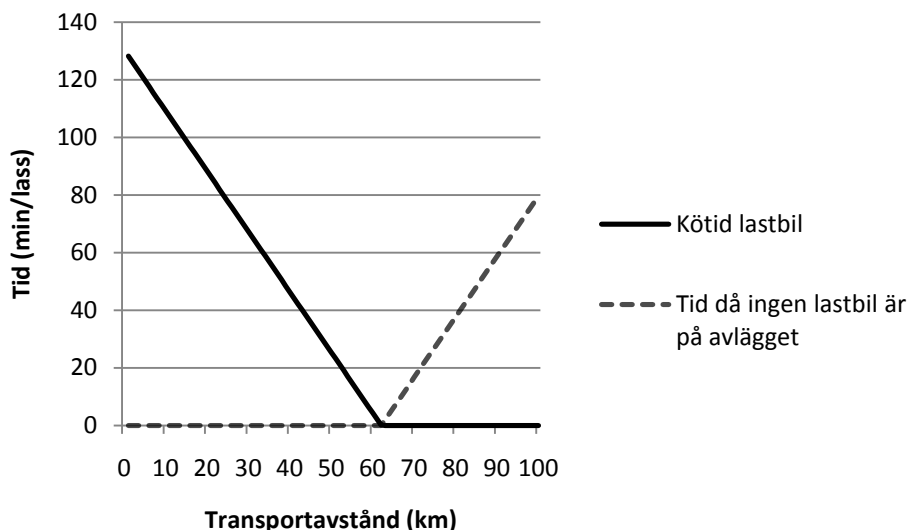


Figur 15. Kostnadsjämförelse mellan systemjämförelse 1 och systemjämförelse 2 beroende på transportavstånd

Figure 15. Cost comparison between system comparison 1 and system comparison 2 depending on transport distances

Systemjämförelse 3, ökad lastvikt

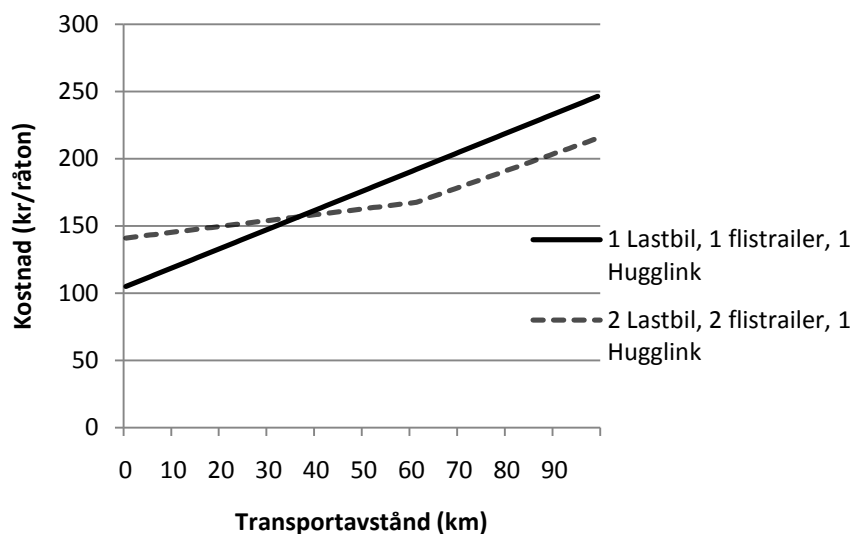
I systemjämförelse 3 undersöktes vilken kostnadsbesparing en ökning av lastvikter skulle kunna medföra. Högre lastvikter kan erhållas genom att avläggens storlek ökas och andelen lass som körs för att tömma avlägg minskar. Lastvikten är naturligtvis också väldigt beroende av torrhalten i det material som flisas. Förutsättningarna är desamma som i jämförelse 1 med den skillnaden att lastvikten ökas från 25,6 ton till 28 ton/lass. Eftersom lastutrymmets volym i de flesta fall begränsar lasstorleken har 28 ton valts som en nivå som kan uppnås under praktiskt arbete även om det är lagligt att köra lass med upp till 30 ton vikt. Tidsåtgången för flisning har beräknats med den genomsnittliga produktionen på 23,3 ton/h. Detta medför att flisningen i denna jämförelse uppgår till 72,2 min/lass. Stålltid, byte av stål och avbrott antas öka med samma proportion medan körtid och lossning är oförändrat. Den total avläggstiden i detta fall uppgår till 146,9 min/lass. Med de nya förutsättningarna är systemet i balans vid ett transportavstånd på 62 km (figur 16).



Figur 16. Körtid respektive tid som huggen ej utnyttjas beroende på transportavstånd vid 28 tons lastvikt

Figure 16. Time truck spend in queue and time chipper not used depending on transport distance at 28 tons load

De två linjerna i figur 17 skär varandra vid ett transportavstånd på 37 km. En ökning av lastvikten innebär alltså att konstellationen med en dragbil och en trailer ger lägst kostnad på längre transportavstånd än vad som var fallet i systemjämförelse 1.

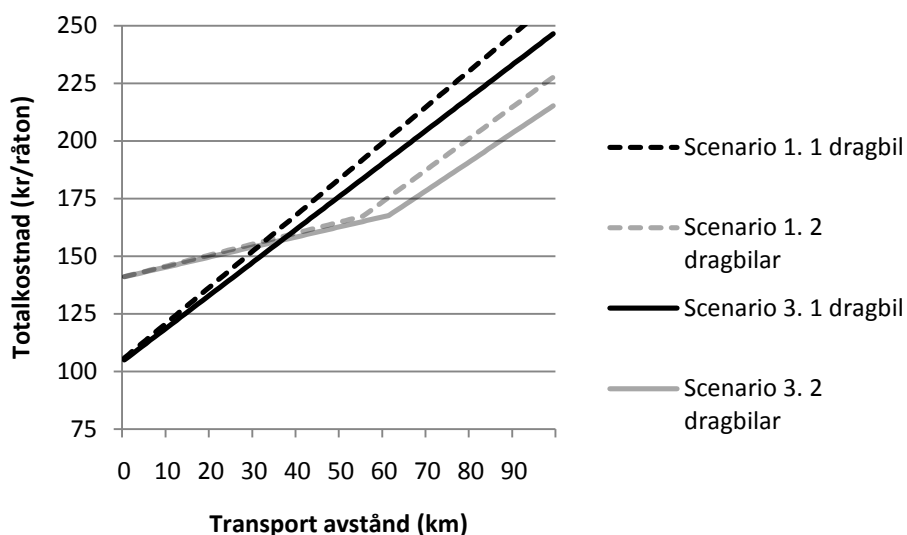


Figur 17. Beräknad kostnad per ton för de två olika fordonskonstellationerna vid 28 tons last

Figure 17. Calculated cost per ton for the two vehicle combinations at 28 tons load

Systemjämförelse 3 ger mellan 0,8 % och 5,5 % lägre kostnad än systemjämförelse 1 vid användande av en bil och en trailer. Den relativa kostnadsbesparingen ökar med transportavståndet.

För konstellationen med två dragbilar och två trailers ger systemjämförelse 3 mellan 0 % och 5,5 % lägre kostnad än systemjämförelse 1.



Figur 18. Kostnadsjämförelse mellan systemjämförelse 1 och systemjämförelse 3

Figure 18. Cost comparison between system comparison 1 and system comparison 3

Diskussion

Urvalet av avlägg som ingick i tidsstudien har varit koncentrerat till Örnsköldsviksregionen. Det kan inte uteslutas att förhållanden kan vara annorlunda på mottagningsplatserna i Umeå och Skellefteå och möjligen kan det även finnas skillnader i förutsättningar på avläggen. Detta gör att ett visst mått av försiktighet måste iakttas när resultatet från studien appliceras på andra områden än Ö-vik.

Tidsstudien har hela tiden genomförts med samma förare av fordonet för att eliminera de skillnader som kan finnas mellan olika förares arbetssätt och skicklighet. En effekt av detta har varit att data till tidsstudien har insamlats under både kvälls- och morgonskift. Möjligen kan mörkret medfört svårigheter att arbeta effektivt med systemet och därigenom påverkat produktionen men detta torde inte vara av avgörande betydelse.

För att beräkna tidsåtgång för transport och lossning antogs att körtiden var proportionell mot transportavståndet. Detta är ett antagande som kan ifrågasättas. Troligtvis ökar andelen väg som möjliggör högre hastigheter med transportavståndet. Detta medför att modellen troligtvis underskattar tidsåtgången på korta transportavstånd och överskattar tidsåtgången på långa avstånd. För dragbilen antogs även att bränsleförbrukningen var 5 liter/mil oavsett lastvikt. Det är troligt att bränsleförbrukningen ökar om totalvikten på ekipaget går från 45,6 till 48 ton som i systemjämförelse 3, men skillnaden torde inte vara av betydande storlek.

För huggen har bränsleförbrukningen, efter diskussioner med entreprenören, antagits vara proportionell mot vikten på den flisade groten (2 liter/ton). Bränsleförbrukningen för Bruks 805 har i ett tidigare examensarbete (Karlsson 2010) uppmätts till 2,18 liter per ton. I systemjämförelse 2 ändrades förutsättningarna genom att ställtiden minskade med 20 %. Detta borde medföra att även bränsleförbrukningen sjunker något men det har inte tagits hänsyn till det i kalkylen.

I en studie på Hugglinksystemet som genomfördes av Skogforsk (Nordén, B & Eliasson, 2009) under mars månad 2009 har lastvikten i medeltal uppmätts till 28,6 ton vid en fukthalt på flisen på 48,8 %. En möjlig förklaring till skillnaden i torrhalt kan vara att tidsstudien till examensarbetet genomfördes under hösten och Skogforsk studie genomfördes under vårvintern.

I Skogforsk studie har terminaltiden beräknats till 14,5 minuter per lass och $1,64 \text{ min/m}^3\text{s}$ vilket är mycket nära terminaltiden för det skotarbaserade system för flisning som används som referens. Vidare har den totala tidsåtgången på avlägget uppmätts till 77,6 min/lass. Stora skillnader i beräknad ställtid per lass och total avläggstid finns alltså mellan studierna. Även i den studien pekas det låga utnyttjandet av huggen ut som ett av systemets problem (Eliasson et al. 2009).

I ett tidigare examensarbete (Karlsson 2010) där prestation vid sönderdelning undersökts för olika maskiner bl.a. Bruks 805, har produktionen uppmätts till 23,3 ton/h och 70,1 MWh/h vid 37,5 % fukthalt. Dessa tal stämmer väl överens med den produktion som uppmättes i denna studie och ger en indikation om rimligheten.

I ett tidigare examensarbete (Engblom 2007) gjordes en systemanalys där bland andra ett system med flisning på avlägg och transport med lastbil ingick. I studien beräknades kostnaden för hela systemet inklusive GROT-skotning för transportavstånd mellan 0 och

200 km. Om skotningskostnaden exkluderas, blir kostnaden för systemet ca 145 kr/ton vid 25 km transportavstånd och ca 200 kr/ton vid 75 km avstånd till mottagare. Detta kan jämföras med TOMO Hugglinksystemet i systemjämförelse 1 där kostanden vid 25 km transportavstånd beräknats till 152,5 kr/ton och kostnaden vid 75 km transportavstånd var 193,3 kr/ton I Engbloms systemanalys hade materialet haft en fukthalt på 50 %, vilket gör att en jämförelse av kostnaden inte kan göras utan att beakta skillnaden i fukthalt mellan de två studierna. Något som ytterligare kan påverka jämförelsen är att det är tre år mellan studierna och prisnivåer på drivmedel, personalkostnader m.m. kan ha förändrats.

Hugglinksystemet kan anpassas med olika fordonskombinationer beroende på förutsättningarna hos uppdragsgivaren. Vid längre transportavstånd är troligtvis fler fordon med större lastkapacitet lönsammast. Examensarbetet har begränsats till att omfatta systemet som det ser ut idag och alternativet med ytterligare en dragbil och flistrailer. Om regelverket kring ETT-fordonet tillämpas är det möjligt att bygga fordon för flistransporter med lastkapacitet upp till ca 200 m³ och 60 tons lastvikt.

Medeltransportavståndet för de avlägg som ingick i tidsstudien var 35,8 km. I systemjämförelse 1 beräknades det minsta transportavstånd där konstellationen med två bilar ger lägre kostnad till 34 km. Under förutsättning att ställtiden kan minskas med 20 % (systemjämförelse 2) förflyttas brytpunkten till ett transportavstånd på 31 km. I systemjämförelse 3 där lastvikten ökades till 28 ton ger två bilar lägre kostnad på transportavstånd som överstiger 37 km.

Eftersom förutsättningar på avlägg och transportavstånd ofta skiljer sig åt mellan uppdrag kan ytterligare ett alternativ vara att leja in en extra flisbil när det finns förutsättningar och behov. När kostnaden vid olika transportavstånd för en respektive två bilar är känd möjliggör detta att redan i den långsiktiga planeringen välja ut objekt där ytterligare fordon behöver sättas in. Detta alternativ förutsätter att det finns transportkapacitet som inte utnyttjas fullständigt och som kan sättas in med kort varsel. Problemet med att göra en korrekt jämförelse för det arbetssättet är frågan om vem som får ta kostnaden för att säkerställa att det finns ledig kapacitet.

Under arbetet med tidsstudien har det blivit uppenbart att effektivitetsvinster kan göras med förändringar i planering och arbetssätt. Som tidigare nämnts har föraren vid flera tillfällen mottagit karta och körorder i samband med att objektet ska påbörjas. I ett fall fick föraren leta vältorna med lastbilen till följd av att kartmaterialet var undermåligt och att det inte funnits utrymme för att rekognosera. En förklaring till den korta framförhållningen i planeringen av vilka objekt som ska köras kan vara att vägarnas bärighet var ett stort problem under den studerade perioden. Ett alternativt arbetssätt vore att entreprenören fick kartor på de objekt som kan vara aktuella men får transportordern vid ett senare tillfälle då det säkerställts att objektet verkligen kan köras. Detta skulle möjliggöra för entreprenören att rekognosera och planera sitt eget arbete på avlägget.

Vändmöjligheten och vältans placering kan antas vara av särskild betydelse på små objekt och de objekt där groten är fördelad på flera mindre vältor. I dessa fall kan föraren spara mycket tid genom att flisa med hela ekipaget tillkopplat och stående på vägen. Detta förutsätter dock att vältan kan nås med kranen från vägen och att föraren inte tvingas koppla ifrån delarna i alla fall för att sedan kunna vända.

Slutsatser

- I nuläget är det låga utnyttjandet av huggen ett problem och endast 29 % av systemtiden upptas av effektiv flisning. En möjlig lösning för att höja utnyttjandegraden är att koppla ytterligare fordon till samma hugg. Enligt genomförda beräkningar kan kostnaden sänkas för lass med transportavstånd som överstiger 34 km under nuvarande förhållanden genom att ytterligare en dragbil och trailer adderas till systemet.
- Genom att minska ställtiden med 20 % kan kostnaden per ton minskas med 4,7 – 1,9 % för fordonskonstellationen med en dragbil och en flistrailer. För konstellationen med två dragbilar och två trailers kan kostnaden minskas med 5,8 % - 1,8 %. En minskning av ställtiden gör att kombinationen med två dragbilar och två trailers ger lägst kostnad även på kortare avstånd.
- Genom att öka lastvikten från 25,6 till 28 ton kan kostnaden per ton minskas med 0,8 % - 5,5 % för fordonskonstellationen med en dragbil och en trailer. För konstellationen med två dragbilar och två trailers är den potentiella kostnadsbesparingen 0 % - 5,5 %. En ökning av lastvikten gör att kombinationen med en dragbil och en trailer ger lägst kostnad på längre avstånd än tidigare.

Referenser

Anon. 2005. Hemsida. [online] (2005-04-04) Tillgänglig: <http://www.skatteverket.se/rattsinformation/stallningstaganden/tidigarear/2005/stallningstaganden2005/13017327905111.5.2132aba31199fa6713e80003385.html?posid=5&sv.search.query.allwords=diesel%20koldioxidskatt> [2010-01-30]

Anon. Energimyndigheten 2009 Prisblad för bibränslen, torv m.m. Nr 3 / 2009
Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Energifakta/Statistik/Energipriser/>

Engblom, G. 2007 Systemanalys av skogsbränsletransporter. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Arbetsrapport 175.

Karlsson, D. 2010 Prestation vid sönderdelning av GROT med olika typer av maskiner. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning. (manus)

Löfroth, C. & Rådström, L. 2006 Resultat nr. 3 Allt lägre bränsleförbrukning i skogsbruket. Resultat nr. 3 Skogforsk, Uppsala

Nordén, B & Eliasson, L. 2009 Arbetsrapport nr. 693. Skogforsk: Uppsala

Nordfjell, T. 2006 Kostnadskalkylering avseende skogsmaskiner. Stencil SLU, Umeå

Savolainen, P. & Berggren, H. 2000 Wood fuels basic information pack. Jyväskylä. ISBN 952-5165-19-1

Muntliga meddelanden

Forsman, M. 2009 Projektledare, Bioenergigårdar.

Kårén, T. 2009 Delägare TOMO Skog.

Selqvist, A. 2009 Fordonsförare TOMO Skog.

Bilaga 1 formler

Kostnads kalkyl 1 dragbil, 1 flistrailer, 1 Hugglink

$$TK_{\text{ton}} = TK_{\text{per lass}}/LV$$

$$TK_{\text{per lass}} = FK_{\text{hl}}*T_{\text{hl}}+FK_{\text{dt}}*T_{\text{dt}}+UR_{\text{hl}}*LV+D_{\text{hl}}*LV+T_{\text{hl}}*F+UR_{\text{dt}}*2TR+D_{\text{dt}}*2TR+T_{\text{dt}}*F$$

$$FK_{\text{hl}} = (K_{\text{hl}}+UF_{\text{hl}})/S_{\text{hl}}$$

$$K_{\text{hl}} = (1-R_n)*A$$

$$RN_{\text{hl}} = R_{\text{hl}}*(1+i)^{-n}$$

$$A = (i_{\text{hl}}*(1+i_{\text{hl}})^n)/((1+i_{\text{hl}})^n-1)$$

$$S_{\text{hl}} = T_{\text{hl}}/T_{\text{tot}}*S$$

$$FK_{\text{dt}} = (K_{\text{dt}}+UF_{\text{dt}})/S_{\text{dt}}$$

$$K_{\text{dt}} = (1-R_n)*A$$

$$RN_{\text{dt}} = R_{\text{dt}}*(1+i_{\text{dt}})^{-n}$$

$$A = (i_{\text{dt}}*(1+i_{\text{dt}})^n)/((1+i_{\text{dt}})^n-1)$$

$$S_{\text{dt}} = T_{\text{dt}}/T_{\text{tot}}*S$$

Kostnads kalkyl 2 dragbil, 2 trailers, 1 Hugglink

$$TK_{\text{ton}} = TK_{\text{per lass}}/LV$$

$$TK_{\text{per lass}} =$$

$$FK_{\text{hl}}*T_{\text{hl}}+FK_{\text{dt}}*T_{\text{dt}}+UR_{\text{hl}}*LV+D_{\text{hl}}*LV+T_{\text{hl}}*F+UR_{\text{dt}}*2TR+D_{\text{dt}}*2TR+T_{\text{dt}}*F+Q_{\text{dt}}*F$$

$$FK_{\text{hl}} = (K_{\text{hl}}+UF_{\text{hl}})/S_{\text{hl}}$$

$$K_{\text{hl}} = (1-R_n)*A$$

$$RN_{\text{hl}} = R_{\text{hl}}*(1+i)^{-n}$$

$$A = (i_{\text{hl}}*(1+i_{\text{hl}})^n)/((1+i_{\text{hl}})^n-1)$$

$$S_{\text{hl}} = S-T_{\text{bs}}/T_{\text{tot}}*S$$

$$T_{\text{bs}} = T_{\text{dt}}-T_{\text{hl}} \quad T_{\text{bs}} \geq 0$$

$$FK_{\text{dt}} = (K_{\text{dt}}+UF_{\text{dt}})/S_{\text{dt}}$$

$$K_{\text{dt}} = (1-R_n)*A$$

$$RN_{\text{dt}} = R_{\text{dt}}*(1+i_{\text{dt}})^{-n}$$

$$A = (i_{\text{dt}}*(1+i_{\text{dt}})^n)/((1+i_{\text{dt}})^n-1)$$

$$S_{\text{dt}} = (T_{\text{dt}}+Q_{\text{dt}})/T_{\text{tot}}*S$$

$$Q_{\text{dt}} = T_{\text{hl}}-T_{\text{dt}} \quad Q_{\text{dt}} \geq 0$$

Bilaga 2 teckenförklaringar

TK_{ton} = Total kostnad (kr/ton)

$TK_{\text{per lass}}$ = Total kostnad (kr/lass)

LV = Lastvikt (ton)

FK_{hl} = Fast kostnad Hugglink (kr/h)

T_{hl} = Tidsåtgång Hugglink (h)

FK_{dt} = Fast kostnad dragbil och trailer (kr/h)

T_{dt} = Tidsåtgång körning och lossning (h)

UR_{hl} = Rörlig underhållskostnad Hugglink (kr/ton)

D_{hl} = Dieselkostnad Hugglink (kr/ton)

F = Förarlön (kr/h)

UR_{dt} = Rörlig underhållskostnad dragbil och trailer (kr/km)

TR = Transportavstånd

Q_{dt} = Kötid lastbil (h/lass)

K_{hl} = Kapitalkostnad Hugglink (kr/år)

UF_{hl} = Fast underhållskostnad Hugglink (kr/år)

S_{hl} = Systemtid Hugglink (h/år)

RN_{hl} = Restvärdets nuvärde Hugglink (kr)

A = Amorteringsfaktor

R_{hl} = Restvärde Hugglink (kr)

i_{hl} = Investering Hugglink (kr)

n = Ekonomisk livslängd (år)

T_{tot} = Total tidsåtgång (h)

S = Total systemtid (h/år)

T_{bs} = Tid som ingen bil finns på avlägget (h/lass)

K_{dt} = Kapitalkostnad dragbil och trailer (kr/år)

UF_{dt} = Fast underhållskostnad dragbil och trailer (kr/år)

S_{dt} = Systemtid dragbil och trailer (h/år)

RN_{dt} = Restvärdets nuvärde dragbil och trailer (kr)

A = Amorteringsfaktor

R_{dt} = Restvärde dragbil och trailer (kr)

I_{dt} = Investering dragbil och trailer (kr)

n = Ekonomisk livslängd (år)

T_{tot} = Total tidsåtgång (h)

S = Total systemtid (h/år)