

ARBETSRAPPORT 1160-2023

# Simulering av terminallogistik vid utlastning

Johanna Enström, Skogforsk & Stefan Pettersson, Volvo



Flygfoto av terminalen för fallstudien. Google Earth.

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>7</b>
Bakgrund .....	7
Syfte och frågeställningar .....	8
<b>Material och metod</b> .....	<b>8</b>
Verktuget .....	8
Fallstudien .....	9
Ytan .....	10
Maskinerna .....	10
Tåget .....	10
Data över produktivitet med referens från fältstudier .....	11
Scenarier .....	12
Kostnader .....	13
<b>Resultat</b> .....	<b>14</b>
<b>Diskussion och slutsatser</b> .....	<b>18</b>
Hur fungerade datainsamlingen? .....	18
Lastningstidens betydelse och valet av maskinpark .....	18
Design av terminalytan .....	19
Rundvirkeshantering på terminalen .....	19
Reflektioner om verktuget .....	20
<b>Referenser</b> .....	<b>20</b>



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala  
skogforsk@skogforsk.se  
skogforsk.se

---

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 25 mars 2023 av Maria Iwarsson Wide, programchef Värdekedjor. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 22 juni 2023.

Redaktör: Caroline Rothpfeffer, caroline.rothpfeffer@skogforsk.se  
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

# Förord

Detta projekt är ett samarbete mellan Skogforsk, Mellanskog och Volvo CE. Det utgör också ett av delprojekten i det större projektet *Ökad hållbarhet i transporter av skoglig biomassa genom mer konkurrenskraftiga järnvägstransporter*, med finansiering från Energimyndigheten, Stiftelsen Seydlitz MP bolagen, KSLA, Mellanskog och Skogforsk.

Volvo CE, genom Stefan Pettersson, har utfört simuleringarna inom projektet med hjälp av den interna programvaran *Volvo Site Simulation*. Han har även deltagit vid fältstudier. Skogforsk har drivit projektet, genomfört fältstudier och varit delaktig i simuleringarna. Mellanskog har tillhandahållit data och studieobjekt samt varit delaktiga i att formulera projektets frågeställningar samt deltagit i diskussionerna kring resultaten.

Författaren riktar ett varmt tack till projektparterna för ett gott samarbete och till finansörerna för sitt värdefulla stöd.

*Johanna Enström, Skogforsk*

# Summary

The study provides an insight into how a tool for machine simulation can be used to improve handling efficiency at a railway terminal for forest products. The main issues considered were how the terminal area should be used and the most suitable machine fleet for loading wood chips or roundwood onto a train.

A case study for a terminal was analysed using the software, Volvo Site Simulation, which contains detailed functions regarding time and fuel consumption for Volvo machines. Volvo wheel loaders are commonly used for handling wood chips at terminals.

Four scenarios were simulated for how the work of loading of trains is organised:

- Scenario 1. Best Case – current machine fleet. One L90 and two L180 wheel loaders. Products for loading spread along the track.
- Scenario 2. Worst Case – current machine fleet. Products for loading only available in the lower half of the large asphalt area in the middle of the terminal.
- Scenario 3. Best Case – smaller machines. L180 machines replaced with L120 machines.
- Scenario 4. Loading of roundwood (new assortment at the terminal) with an L180 equipped with a timber grapple.

Loading of wood chips took 6 hours and 13 minutes in the Best Case, and 8 hours and 15 minutes in the Worst Case. Timber loading took only 4 hours and 56 minutes because of the larger loading volume per loading cycle.

The simulations show clearly that the capacity of the loading machines is crucial for the loading time, and thereby also for the cost. The L120 machines use less fuel per hour than the L180, but fuel consumption increased by 11 percent in Scenario 3 because more loading cycles were needed.

Data collection was relatively simple because the machine data was already in the model. However, further calibration of the work processes for roundwood handling would be desirable, as there were no practical studies on which to base this case.

There are major advantages associated with testing different strategies using a simulation tool before new equipment is purchased or ahead of investment decisions on asphaltting. The study has also increased understanding of how different factors interact.

# Sammanfattning

Studien ger inblick i hur ett verktyg för maskinsimulering kan användas för att effektivisera hanteringen på en utlastande järnvägsterminal för skogsprodukter. De huvudsakliga frågeställningarna har varit hur terminalytan bör användas och vilken maskinpark som lämpar sig för att lasta tåget med flis alternativt med rundvirke.

En fallstudie för en terminal har genomförts med programvaran *Volvo Site Simulation*, som innehåller detaljerade funktioner gällande tidsåtgång och bränsleförbrukning för Volvos maskiner. Volvos hjullastare är mycket vanliga vid hantering av flis på terminaler.

Det som simulerats är fyra olika scenarier för hur arbetet vid lastning av tåg organiseras;

- Scenario 1. Best case - nuvarande maskinpark. En L90 och två L180 hjullastare. Material finns utspritt längs med spåret.
- Scenario 2. Worst case - nuvarande maskinpark. Material finns endast tillgängligt på nedre halvan av den stora asfaltsytan i mitten av terminalen.
- Scenario 3. Best case – mindre maskiner. L180-maskinerna ersätts med L120-maskiner.
- Scenario 4. Lastning av rundvirke (nytt sortiment på terminalen) med en L180 med timmergrip.

Tidsåtgången för lastningen av flis varierade mellan 6 timmar och 13 minuter i Best case, och 8 timmar och 15 minuter i Worst case. Timmerlastningen tog endast 4 timmar och 56 minuter tack vare en större lastvolym per lastcykel.

Simuleringarna visar tydligt att kapaciteten hos de lastande maskinerna är avgörande för lastningstiden och därmed också för kostnaden. Trots att L120-maskinerna drar mindre bränsle per timme än L180, noterades en 11-procentig ökning av bränsleförbrukningen i Scenario 3 eftersom antalet lastcykler ökade.

Datainsamlingen har genomförts förhållandevis enkelt eftersom maskindata redan fanns i modellen. Dock skulle ytterligare kalibrering av momenten kring rundvirkeshanteringen vara önskvärd då inga praktiska studier finns som grund i det fallet.

Det finns stora fördelar med att testa olika strategier med stöd i ett simuleringsverktyg innan ny utrustning köps in, eller inför ett investeringsbeslut kring asfaltering. Det har också ökat förståelsen för hur olika faktorer samspelar.

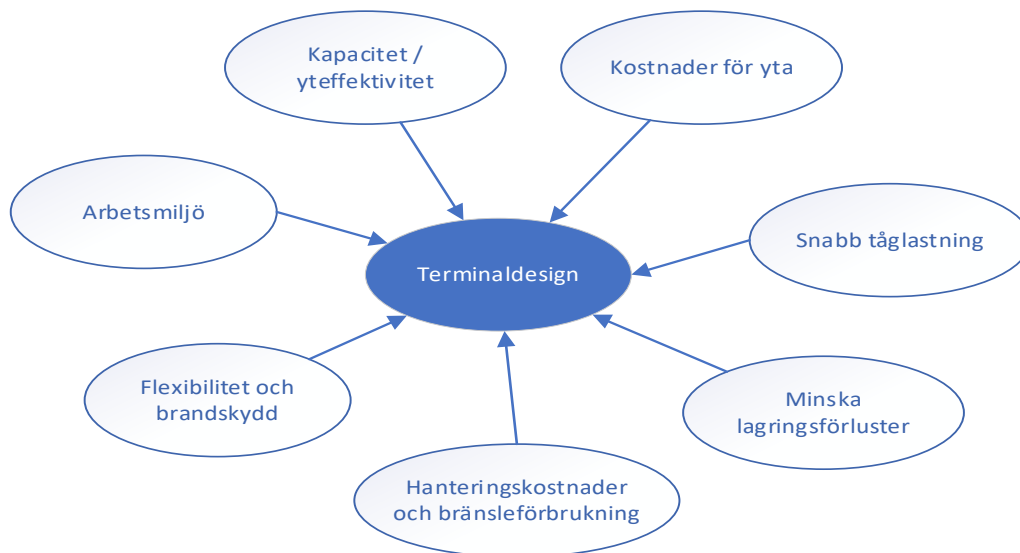
# Inledning

## Bakgrund

Projektet har formulerats utifrån en målsättning att effektivisera skogliga logistikkedjor som inkluderar järnvägstransporter till fjärrkunder. Fokus har legat på biobränslehantering. Genom att utveckla redan energieffektiva logistikkedjor stärks deras konkurrenskraft samtidigt som direkta energibesparingar görs. Dessutom bidrar effektivare järnvägstransporter av skogsbränsle till att försörjning möjliggörs på längre avstånd från storstadsregionerna.

Terminaler har en viktig roll i biobränsleförsörjningen eftersom efterfrågan har stora säsongsvariationer och behovet är som störst under vintermånaderna då förutsättningarna att tillhandahålla ett högkvalitativt bränsle är som sämst för leverantörerna. Terminaler ger möjlighet att sprida ut sönderdelning och transport av skogsbränsle under en större del av året, i syfte att bygga upp ett säsongslager. Järnvägsterminaler möjliggör också mer energieffektiva transporter med tåg (Väätäinen, Anttila m.fl. 2021).

Att få lastning och hantering av biobränslet på terminalen att flyta så effektivt som möjligt är en viktig del av logistikkedjan. Intern terminallogistik är komplex då det finns många olika aspekter att ta hänsyn till (Figur 1). I en studie av en specifik terminal är det rimligt att låta vissa av dessa faktorer utgöra ramar, exempelvis maximalt lager i en flisstack som begränsas av bl.a. brandföreskrifter. Andra faktorer såsom tidsåtgången vid tåglastning, hanteringskostnader och bränsleförbrukning, kan då studeras på ett mer effektivt sätt.



Figur 1. Aspekter som påverkar terminaldesign och val av maskinpark.

Studier av intern terminallogistik har vanligtvis utgått från perspektivet av en vedgård hos en stor industri. Exempelvis har simuleringsverktyg för att analysera vedgårdslogistik tagits fram av Robichaud m.fl. (2014) och Kons m.fl. (2015). Trzcianowska m.fl. (2019) använde istället en benchmarking-metodik för att jämföra teknisk effektivitet hos ett större antal vedgårdar. Resultatet av jämförelsen visade på stor potential i att effektivisera både nyttjande av yta och maskinpark. Mycket av hanteringen på utlastande järnvägsterminaler liknar den på större industrier, men en stor skillnad är intensiteten i

verksamheten och därmed maskinernas nyttjandegrad. Arbetet med att lasta ett tåg så effektivt som möjligt är också speciellt och väl värt att studera närmare.

## Syfte och frågeställningar

Studiens mål var att visa hur verktyg för maskinsimulering kan användas för att effektivisera hanteringen på en utlastande terminal för skogsprodukter. Genom en fallstudie tillsammans med Mellanskog, som driver terminalverksamhet, kunde praktiska erfarenheter delges och potentialen bedömas.

Fallstudien gav också kunskap om vad som krävs i fråga om indata för att kunna dra nytta av verktyget och vilka möjligheter skogsföretag i allmänhet har att tillhandahålla sådan data.

De frågeställningarna som värdföretaget hade inför studien var följande;

1. Finns det något alternativt sätt att placera flisstackarna som skulle kunna effektivisera hjullastarnas arbete under tåglastningarna?
2. Vilken maskinpark är mest lämplig för det aktuella arbetet, både med avseende på bränsleförbrukning och effektivitet under tåglastningen?
3. Hur skulle vedhanteringen kunna inkluderas på terminalen och vilken maskinpark skulle vara lämplig för en sådan hantering?
4. Var på terminalen skulle det vara mest lämpligt att placera en ny asfaltsyta?

## Material och metod

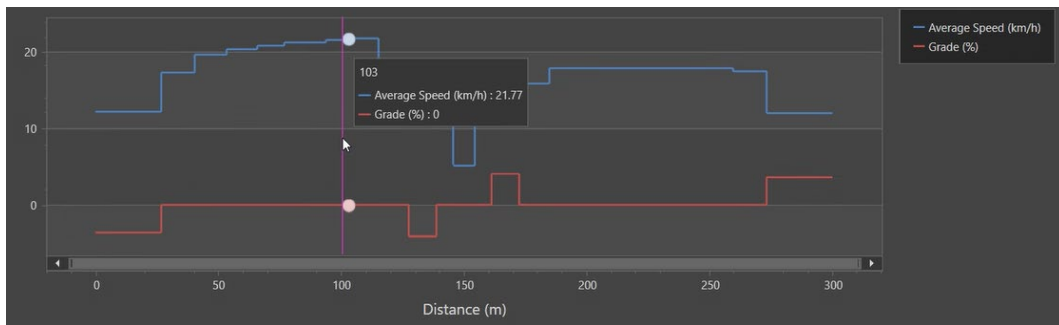
### Verktyget

Den övergripande metoden för studien var en simuleringsanalys med hjälp av Volvo CEs programvara *Volvo Site Simulation*. Programvaran är i sin tur baserad på en simuleringsmiljö från *RPM Global*, som bland annat utvecklar mjukvaror med applikationer inom gruvindustrin. Fördelarna med att använda en kommersiell programvara är att modellen redan finns och underhålls, har ett utvecklat användargränssnitt och är beprövad inom annan verksamhet (Fu 2013). Detta ger möjlighet att fokusera på skogsbrukets potential att nyttja denna typ av verktyg och tar projektet flera steg närmare implementering. Nackdelarna är att programmet inte är fritt tillgängligt.

Modellen har tidigare använts för att optimera maskinflottan vid olika anläggningsprojekt liksom vid dragningar av körvägar och samspelet mellan olika operationer. Detaljerad modellering av bränsleförbrukning är en viktig del. Modellen har endast använts i begränsad omfattning för att analysera hantering av flis.

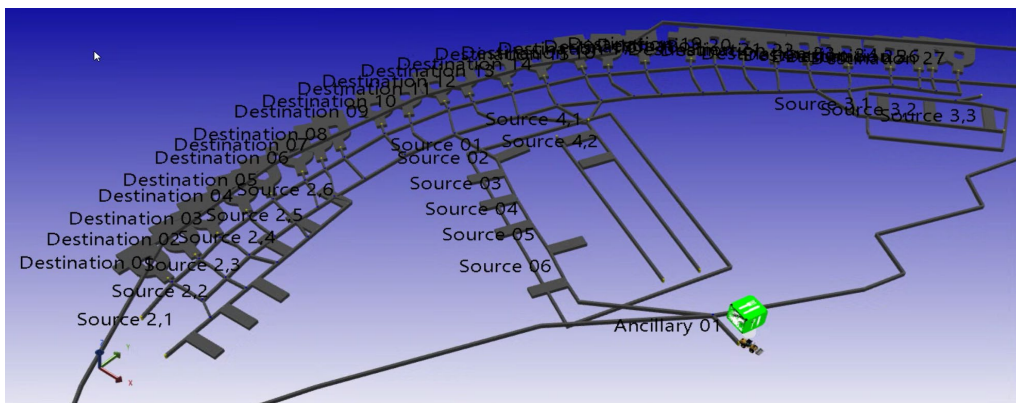
Volvo har i sin modell detaljerade funktioner för maskiners förbrukning i varje del av lastcykeln (*Figur 2*). Men eftersom materialet och arbetet i detta projekt skiljer sig från tillämpningar inom anläggningsbranschen behövdes en kalibrering mot faktisk förbrukning.





Figur 2. Skärmdump från körning i programmet som visar lastmaskinens hastighet under en lastcykel, från det att skopan fylls tills att maskinen tömt skopan och kört tillbaka till stacken.

I simuleringar är det vanligt att låta olika faktorer variera baserat på fördelningsfunktioner (exempelvis tidsåtgången för olika moment). Samma scenario körs då upprepade gånger för att ge en bild av variationen. I den här studien valdes istället ett deterministiskt tillvägagångssätt, dvs. resultatet kommer bli detsamma varje gång så länge indata är den samma. Varje scenario körs därför bara en gång och ingen analys av variationen i systemet görs. Det är en rimlig ansats eftersom simuleringen endast har obetydligt inslag av att flera maskiner påverkar varandra. Många oberoende lastcykler gör också att variationer i tidsåtgången för olika delmoment jämnas ut under en lastning.



Figur 3. Simulering av tåglastning med olika hämtnings- och tippningspunkter.

## Fallstudien

Som objekt för fallstudien valdes en järnvägsansluten terminal som hanterar skogsbränsle och regelbundet lastar ut flisat material på tåg. Sortimenten är dels skogsbränsle (grotflis) som kommer in till terminalen i flisad form, dels stamved som flisas på terminalen innan utlastning. Lager av biobränsle byggs upp under sommar och höst för att levereras till värmeverk under vintersäsongen. Omsättningen är drygt 100 000 m<sup>3</sup>s, varav huvuddelen lastas ut på tåg till fjärrkund medan en delmängd levereras med lastbil till kunder i närområdet.

## Ytan

Terminalen har en yta på ca 3 hektar varav ca 0,9 hektar är asfalterade. För att undvika föroreningar är det önskvärt att lagra allt flisat material på asfalt, men eftersom asfalterade ytor kräver en stor investering läggs skogsbränslet även på en hårdgjord yta med fingrus längs med spåret till vänster (yta 1). Yta 2 och 3 är dock asfalterade. Även stamvedsflis lagras periodvis på terminalen, och då renhetskraven är högre för detta sortiment än för grottflis är man extra angelägen om placeringen av denna. Vid fältstudien var det dock grottflis som lastades från alla ytor.



Figur 4. Flygfoto av terminalen för fallstudien. Stickspåret har ritats in med vitt och asfaltsytorna med blått. I övre vänstra hörnet kommer material in med lastbil och strax under nedre högra hörnet finns järnvägsanslutningen mot huvudspåret. Nedanför den större asfaltsytan (2) finns mätplats och uppställningsplats för maskiner. Huvudytorna för flis har numrerats. Foto: Google Maps.

## Maskinerna

Den maskinpark som idag opererar på terminalen är två L180 hjullastare med högtippande skopa à 13 m<sup>3</sup>, samt en L90 hjullastare med högtippande skopa à 6 m<sup>3</sup>. Samtliga hjullastare är av äldre modell. En virkesgrip finns att tillgå men används endast i undantagsfall. Lastbilarna som kommer med stamved lossar föraren själv i vältor som placeras så att det går att flisa direkt ifrån dem. En extern flismaskin anlitas då dessa vältor ska flisas.

## Tåget

Tågen som lastas är upp till 30 vagnar långa, där varje vagn är 19,64 meter. En vagn rymmer tre öppna containrar med en lastvolym på vardera 57 m<sup>3</sup>. I simuleringarna har vi antagit 27 vagnar. Den maximala lastvolymen är då 4 536 m<sup>3</sup> och den maximala lastvikten för tåget är 1 200 ton. Det innebär en brytpunkt mellan volym och viktbegränsning vid densiteten 265 kg/m<sup>3</sup>. Tågen från terminalen kan variera mellan att vara vikt- eller volymbegränsade beroende på densiteten hos det aktuella materialet. I simuleringarna har densiteten 280 kg/m<sup>3</sup>s konsekvent använts.

## Data över produktivitet med referens från fältstudier

Generellt användes Volvos funktioner för hastighet och tid per moment. Som referens användes dock data från fältstudierna om tidsåtgången för att rätta till material i containern (sista skopan). Även lossningstider för övriga skopor justerades för att matcha tidsstudiedata. Besök på terminalen gjordes i oktober 2022, då lagren var fulla inför säsongen. Några cykler för varje maskintyp filmades och klockades sedan. En tidigare studie från 2019 bidrog med en referensuppgift kring bränsleförbrukningen.



Figur 5. Foto från lastningen vid besöket 2022. Tömning av skopan klockades från den position som bilden visar fram tills att maskinen började backa med tom skopa. Foto: Johanna Enström.

Extratiden för att fördela materialet i containern i samband med att den sista skopan tömts i kallas för "fix". Tiden då maskinen står still, när en container fyllts, för att föraren manuellt ska skriva i lastad vikt och volym, benämns "skrivtid". Dessa ligger tillsammans på omkring en minut per container. Endast ett fåtal observationer gjordes och det är känt att variationen är stor, men uppgifterna ger ändå en bild av hur förhållandena kan se ut (Tabell 1). Det arbete maskinen utför under dessa moment motsvarar ungefär tomgångskörning i intensitet.

Programvaran saknade funktionalitet för att lägga in extra tomgångstid på var tredje lastcykel. Därför valdes en förenklad lösning där fix och skrivtid istället lades på varje arbetstimme. En minut per container beräknades motsvara ca 11 minuter per timme. Utöver det reserverades 10 minuter per timme för raster och andra mindre avbrott där maskinen går på tomgångskörning.

Tabell 1. Observationer vid terminalstudierna.

Tid i sekunder							
Observation	1	2	3	4	5	6	7
Tömning (ej sista skopan)	11	11	12	14	21	14	15
Tömning o fix sista skopan	52	42	50				
Skrivtid	37	13	14				

## Scenarier

Vid fältstudien var terminalen full med material vilket innebar att flis fanns på alla huvudytor, d.v.s. grot-stacken längst till vänster i Figur 3 (yta 1), den stora asfaltsytan i mitten (yta 2) samt den främre lilla asfaltsytan närmast tågväxeln (yta 3). Till den sistnämnda ytan får även räknas den smala stack som är upplagd allra närmast tågväxeln. Materialet var alltså utspritt längs hela tåggets längd.

Allteftersom material lastas ut under säsongen krymper lagret, vilket innebär att materialet i de mindre stackarna (1 och 3) tar slut och att lastmaskinerna måste köra allt material från den stora ytan i mitten av terminalen. Alternativet, att flytta material till de mindre stackarna inför tåglastning, vill man helst undvika. Hanteringen över säsongen rör sig alltså mellan de två ytterligheterna, material på alla ytor utspritt längs spåret (best case) samt material endast i mitten långt ner på ytan (worst case):

Scenario 1. Best case - nuvarande maskinpark. Motsvarar ett återskapande av den lastning som studerades i fallstudien där material fanns tillgängligt längs hela spåret.

Scenario 2. Worst case - nuvarande maskinpark. Material finns endast tillgängligt på nedre halvan av den stora asfaltsytan (yta 2) i mitten av terminalen.

Under fältstudien noterades att en containerlängd motsvarade ca 1,5 skopbredd. Detta innebar att en förhållandevis stor del av arbetstiden gick åt till att fördela ut material som redan tippats i containern, eftersom det alltid blev en stor topp av material i mitten av containern. Även arbetet med att fylla i lastvikten manuellt för varje avslutad container tog tid. Projektgruppen beslöt därför att simulera en lastning med mindre maskiner (L120), med skopbredd på ca en halv containerlängd, som antogs kunna registrera containervolymer med ett enkelt knapptryck. Man kan inte säga i vilken utsträckning tiden för fix verkligen skulle minska med dessa maskiner, men i den målbild som valdes att simulera som Scenario 3, har tiden för fix satts till 5 minuter per timme (en sänkning från 11 minuter). En smalare skopa innebär mindre volym per lastcykel, men genom att specialdesigna skopan så att den blir så djup som möjligt antogs att en skopvolym på 8 kubik kunde vara hanterbar för en L120-maskin. När varje cykel bär mindre last blir köravståndet än mer avgörande och något worst-case-scenario med långa avstånd och små maskiner ansågs därför inte intressant utan följande scenario testades:

Scenario 3 Best case – mindre maskiner. Två L120 med 8-kubiksskopa, en L90 med 6-kubiksskopa. Endast 5 minuter per timme för fix och inget manuellt skrivande av lastvikter.

Möjligheten att periodvis kunna hantera ett rundvirkessortiment och lasta ut detta på tåg var en av frågeställningarna:

Scenario 4. Rundvirkeshantering med befintlig maskin. En L180 med virkesgrip som lastar 14 m<sup>3</sup>fub per cykel. Placering av vältor enligt Figur 6.



Figur 6. De inritade rektanglarna visar placering av rundvirkesvältor i Scenario 4.

En sådan lastning simulerades med en av terminalens L180-maskiner försedd med virkesgrip. Griparean antogs till 3,1 m<sup>2</sup> och utifrån detta beräknades volymen per grip till 14 m<sup>3</sup>fub och vikten till 9,8 ton. Densiteten 0,7 ton per m<sup>3</sup>fub har använts och fastmasseandelen 0,7 för att även inkludera den luft som är mellan stockarna. Ingen tid för "fix och skriv" har lagts in för rundvirkeshanteringen (inga containrar att fylla). Utgångspunkten för tidsåtgången per moment har varit Volvos data, men tiden för att lossa gripen har ökat på för att ge utrymme för ett visst mått av plock och fix (18 sek).



Figur 7. L180 med rundvirkesgrip motsvarande den i Scenario 4. Foto: Volvo CE.

## Kostnader

De maskiner som används på terminalen är alla av äldre modell, vilket är rimligt i en hantering där maskinerna används mycket få timmar per år och i relativt lätt arbete. Tåglastning sker endast varannan vecka under säsong och annat arbete på terminalen (tex snöskottning) är begränsat. L180-maskinerna får heller inte köras på allmän väg och flyttas därför ogärna från terminalen. Mot den bakgrunden har även kostnadskalkylerna baserats på äldre maskiner som köps in till ett lågt pris (Tabell 2).

Tabell 2. Ingångsvärden för kostnadsberäkningen. Livslängden har för alla maskiner satts till 5 år och restvärdet till noll. Även skopor och gripar anses ingå i dessa kostnader för respektive maskin.

	L90	L120	L180
Inköpspris, kr	150 000	225 000	350 000
Service o reparationer, kr/h	100	150	180
Kostnad förare, kr/h	450	450	450

## Resultat

Kostnader, bränsleförbrukning, produktion och körsträcka per lastat tåg visas för varje maskin i tabellerna 3 – 6. Kostnader har delats upp på posterna *Bränsle*, *Operativ kostnad* och *Ägande*, där de operativa kostnaderna inkluderar föraren och servicekostnaden.

Tabell 3. Scenario 1 - Best case. Nyckeltal per lastat tåg.

	Bränsle- förbrukning (L)	Volym (m <sup>3</sup> s)	Körsträcka (km)	Bränsle- kostnad (kr)	Operativ kostnad (kr)	Ägande (kr)	Total kostnad (kr)
L90	58	840	36,7	1 177	2 340	22	3 539
L180 1	95	1 848	34,3	1 911	2 598	106	4 615
L180 2	97	1 848	33,9	1 956	2 565	106	4 627
<b>Totalt</b>	<b>252</b>	<b>4 536</b>	<b>104,9</b>	<b>5 044</b>	<b>5 163</b>	<b>213</b>	<b>10 420</b>

Tabell 4. Scenario 2 - Worst case. Nyckeltal per lastat tåg.

	Bränsle- förbrukning (L)	Volym (m <sup>3</sup> s)	Körsträcka (km)	Bränsle- kostnad (kr)	Operativ kostnad (kr)	Ägande (kr)	Total kostnad (kr)
L90	85	1 008	52,6	1 697	2 906	26	4 629
L180 1	167	1 680	66,6	3 349	3 296	141	6 786
L180 2	165	1 848	61,4	3 307	3 522	141	6 970
<b>Totalt</b>	<b>418</b>	<b>4 536</b>	<b>181</b>	<b>8 353</b>	<b>9 724</b>	<b>308</b>	<b>18 385</b>

I Best case-scenariot (Scenario 1) var lastningstiden med de tre maskinerna 6 timmar och 13 minuter. Avståndet mellan stack och container varierade mellan 53 meter och 115 meter enkel väg. L180-maskinerna gjorde vardera 143 cykler och L90-maskinen 140 cykler. En genomsnittlig cykel tog 2,6 minuter.

I Worst case-scenariot (Scenario 2) ökade lastningstiden till 8 timmar och 15 minuter. Transportavståndet varierade mellan 83 meter och 274 meter enkel väg, vilket gav en ökning av total körsträcka med 72 procent jämfört med scenario 1. Bränsleförbrukningen ökade med 66 procent och totalkostnaden för lastningen med 76 procent. Antalet

lastcykler för L180-maskinerna var 130 respektive 143, medan L90-maskinen, som tilldelats de kortare köravstånden, utförde 168 cykler. En genomsnittlig cykel tog 2,7 minuter (L90), 3,8 minuter (L180) och 3,5 minuter (L180).

Tabell 5. Scenario 3. Nyckeltal per lastat tåg.

	Bränsle- förbrukning (L)	Volym (m <sup>3</sup> s)	Körsträcka (km)	Bränsle- kostnad (kr)	Operativ kostnad (kr)	Ägande (kr)	Total kostnad (kr)
L90	63	840	37	1 264	2 340	29	3 633
L120 1	107	1 848	55	2 145	3 894	44	6 083
L120 2	108	1 848	54	2 166	3 813	43	6 022
<b>Totalt</b>	<b>279</b>	<b>4 536</b>	<b>146</b>	<b>5 575</b>	<b>10 047</b>	<b>116</b>	<b>15 738</b>

I Scenario 3, där L120-maskiner ersätter L180-maskinerna, varierar avstånden mellan stack och vagn på samma sätt som i Scenario 1. Lastningen tog 8 timmar och 31 minuter, dvs något längre än i Scenario 2.

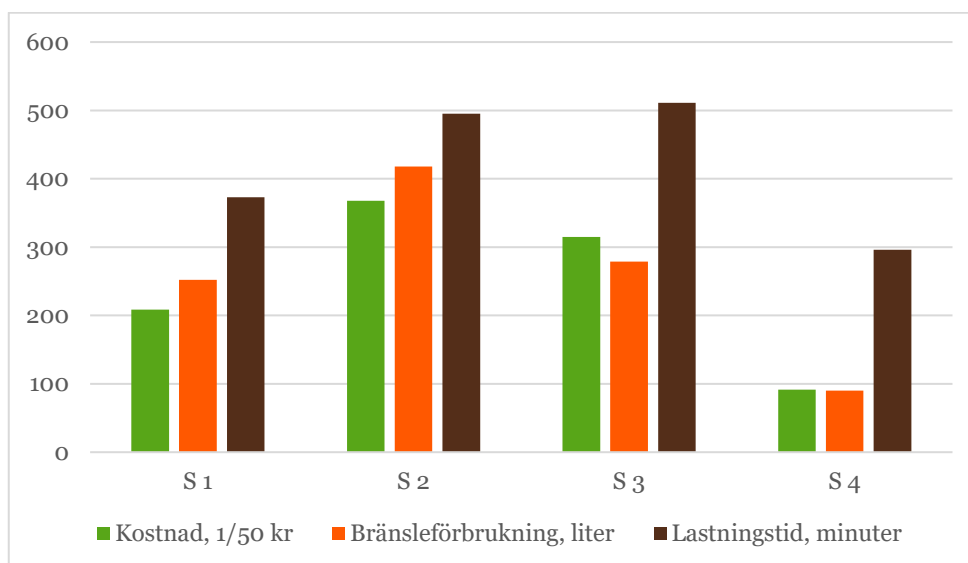
L120-maskinerna gjorde vardera 231 lastcykler och L90 gjorde 140. Orsaken till det låga antalet lastcykler för L90 är att simuleringen inte tillåter att två maskiner lastar samma tågagn. Därför avslutade L90-maskinen lastningen när L120 maskinerna fortfarande hade var sin vagn kvar att lasta. En genomsnittlig cykel tog 1,9 minuter för L120-maskinerna och 2,1 minuter för L90-maskinen.

Bränsleförbrukningen ökade med 11 procent i Scenario 3 jämfört med Scenario 1. Tiden för Fix och Skriv minskar enligt de givna förutsättningarna, men kostnaden är trots det 51 procent högre än Scenario 1.

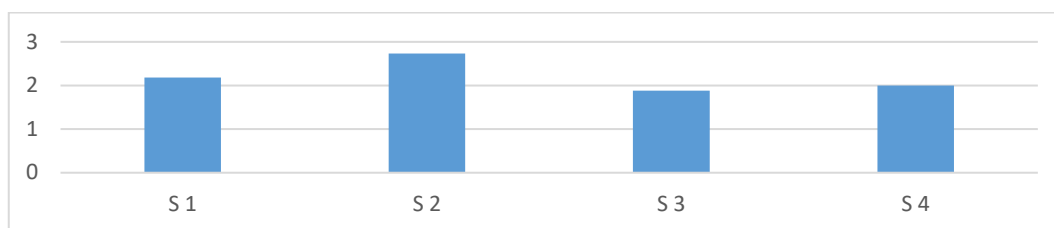
Tabell 6. Scenario 4. Lastning av rundvirke. Nyckeltal per lastat tåg.

	Bränsle- förbrukning (L)	Volym (m <sup>3</sup> fub)	Körsträcka (km)	Bränsle- kostnad (kr)	Operativ kostnad (kr)	Ägande (kr)	Total kostnad (kr)
L180, grip	90,1	1 712	33,5	1 801	2 688	85	4 573

Vid lastningen av rundvirke i Scenario 4 krävdes 128 lastcykler för att fylla tåget. Tidsåtgången blev då endast 4 timmar och 56 minuter. En genomsnittlig cykel tog 2,3 minuter. Totalkostnaden (4 573 kr) är under hälften av kostnaden för det billigaste flisscenariot (Scenario 1).



Figur 6. Jämförelse av kostnad, bränsleförbrukning och lastningstid per scenario. För att underlätta jämförelsen mellan scenarierna har kostnaden delats med 50.

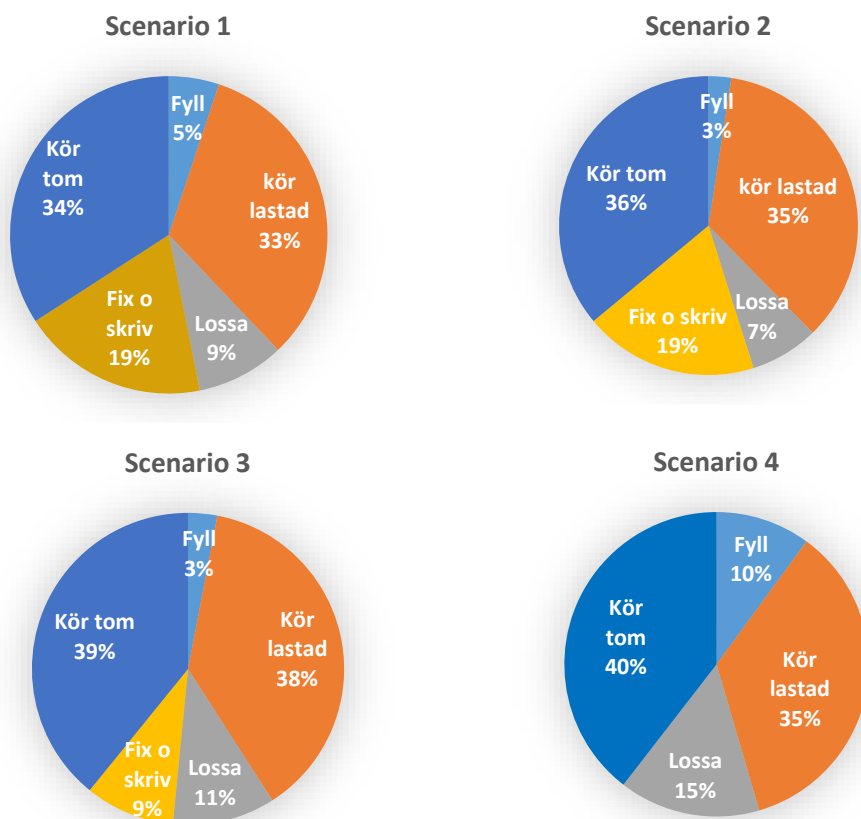


Figur 7. Cykeltid, medel per scenario.

Figur 8 och 9 ger en summerad bild av relationen mellan kostnad, bränsleförbrukning, lastningstid och cykeltid. Framför allt är det anmärkningsvärt hur scenario 4, trots en lång cykeltid, ger låga staplar för samtliga resultatparametrar i Figur 8. Detta visar på den avgörande betydelsen av kapacitet hos lastmaskinen (i detta fall gripstorleken). Resultatet visar också att flisat material är långt mer känsligt för långa köravstånd jämfört med rundvirke vid interna terminaltransporter.

Fördelningen mellan arbetsmoment skiljer sig inte så mycket mellan scenarierna. De mest tidskrävande momenten ökar när lastningstiden ökar, vilket gör att förhållandet mellan momenten hålls relativt stabilt. En viss ökning av körtid i förhållande till annan tid kan dock ses när transportsträckan ökar i Scenario 2 och när tiden för Fix och Skriv minskar i Scenario 3. Även vid rundvirkeslastningen (Scenario 4) ligger förhållandet mellan körtid och övrig tid relativt lika, även om tid för plock och fix har lagts in i momenten Fyll och Lossa.





Figur 8. Fördelning av moment per scenario. Tid då en maskin avslutat arbetet och väntar på att övriga maskiner ska avsluta sitt arbete har inte tagits med i denna figur. Inte heller tider för pauser, vilka konsekvent ingått med 10 minuter per timme i simuleringarna.

# Diskussion och slutsatser

## Hur fungerade datainsamlingen?

*Finns indata i tillräcklig utsträckning?*

*Hur krävande är det att samla in data till analysen?*

Data över ytor och materialflöden har relativt lätt kunnat tillhandahållas av värdföretaget. Flygbilder från Google Earth var tillräckliga i precision för att rita upp de sträckor som mätts in och för att skapa en modell utifrån.

Den största svårighet som projektet stötte på var att få korrekta siffror över maskinernas bränsleförbrukning. Eftersom maskinerna på terminalen var gamla kunde de inte visa sådan information, vilket enkelt tas fram ur menyn på en nyare maskin. Att tanka upp maskinerna före och efter en tåglastning för att mäta förbrukningen var inte lämpligt eftersom risken för bränslestölder är stor om en fulltankad maskin lämnas en längre tid. Dock genomfördes en bränslemätning för den mindre maskinen (L90). Då den erhållna förbrukningen för maskinen låg väl i linje med Volvos generella siffror förutsatte vi att detta även gällde övriga maskiners bränsleförbrukning. En annan möjlighet att kalibrera bränsleförbrukningen är att använda data från nyare maskiner som utför liknande uppgifter på en annan skogsbränsleterminal. Äldre utrustning är vanlig på många skogsbränsleterminaler, vilket försvårar datainsamlingen. Allteftersom utrustning förnyas blir detta en enklare uppgift. Även referenssiffror gällande tidsåtgång per moment vid rundvirkeslastning, saknades i studien. Detta prioriterades inte då rundvirkeshanteringen hade en något sekundär roll i studien.

## Lastningstidens betydelse och valet av maskinpark

*Vilken maskinpark är mest lämplig för det aktuella arbetet, med avseende på bränsleförbrukningen respektive effektiviteten under tåglastningen?*

Simuleringarna visar tydligt att kapaciteten hos lastande resurser är avgörande för lastningstiden och därmed också för kostnaden att lasta. Vi fick en 30-procentig ökning av bränsleförbrukningen när L120-maskiner ersatte L180. Även om de mindre maskinerna drar mindre bränsle per timme kompenserar det inte för det extra arbete som fler lastcykler innebär, inte ens med kortast möjliga transportavstånd. En viktig faktor i sammanhanget är vilken skopstorlek som är praktiskt hanterbar för en L120-maskin. Densiteten på materialet skulle medge en skopa som rymmer mer än 8 kubik, men Volvo vill inte rekommendera det då de bedömer att den skulle bli allt för svårhanterlig. En stor fördel med L120 jämfört med L180 är att de kan köras på allmän väg och därmed blir mer användbara och mindre bundna till terminalen. I vissa lägen kan detta motivera att de används även för lastningsarbeten.

En viktig fråga är vilken betydelse lastningstiden på terminal har för tågsystemet som helhet. I nuläget har tåget alltid nio timmars nattvila på terminalen, och en snabbare lastning än så saknar betydelse. Det finns förhoppningar om att snabba upp förloppet i framtiden, men för att få till ett sådant system behöver planeringen bli mer statisk, dvs. att man alltid kör tåget från samma terminaler varje vecka (Raudsaar, muntligen 2023). När det gäller skogsbränsleverksamheten är det svårt att få till eftersom terminalerna har ett begränsat upptagningsområde och därmed en begränsad volym. Trafikverket kräver

en statisk planering för att skapa sin egna flexibilitet, t ex möjlighet att växelväs hämta från två olika terminaler, kostar i effektivitet.

Att använda mindre maskiner (Scenario 3) ger en i nuläget acceptabel tid för en tåglastning, eftersom tidsfönstret är ca 9 timmar, men ett scenario med stackar på längre avstånd skulle snabbt ge för långa lastningstider med de mindre maskinerna.

## Design av terminalytan

Var skulle det vara mest lämpligt att placera en ny asfaltsyta på terminalen?

I frågan om stackarnas placering framkom, under intervjuer och vid besök på terminalen, att det finns få möjligheter till alternativa placeringar på nuvarande ytor. Idag ligger vältorna på asfaltsytan vinkelrätt mot spåret och på grund av asfaltsytans lutning för avrinning, finns ingen praktisk möjlighet att lägga dem på någon annan ledd. Större del av terminalen saknar asfalt och frågan om var en ny asfaltsyta skulle kunna läggas blev istället fokus för analysen.

Målsättningen bör vara att så många lastningar som möjligt kan göras med förutsättningar liknande Best case-scenariot (Scenario 1). För att åstadkomma det behöver vältorna på båda sidorna om mittenytan (yta 1 och 3) utökas så att lagret där räcker längre under säsongen, hellre än att hålla ett stort lager flis på mittenytan. En så jämn fördelning som möjligt av lagervolymer längs hela spåret ger bästa förutsättningar vid lastning.

För att möjliggöra ökad lagring av stamvedsflis i främre änden (mot växeln) vore det därför lämpligt att utöka den asfalterade ytan närmast växeln. I Figur 3 syns att bränsleved ligger nästan ända fram till spåret på en stor yta mellan dagens två asfaltsytor (på grusunderlag). Eftersom bränsleveden inte ska lastas ut på tåg är det knappast optimalt att den lagras utmed spåret. En asfaltering av ytan närmast spåret, där det nu lagras bränsleved, skulle alltså möjliggöra lagring av stamvedsflis där. Delar av den osönderdelade stamveden skulle istället kunna lagras längst ner på den stora asfaltsytan varifrån den lätt skulle kunna flisas till flisstackar placerade på mittenytan. Alternativt kan mer flis lagras på asfalt vilket, minskar risken för föroreningar.

## Rundvirkeshantering på terminalen

*Hur skulle vedhantering kunna inkluderas på terminalen och vilken maskinpark skulle vara lämplig för en sådan hantering?*

Den förhållandevis höga lastkapaciteten hos L180 med den valda rundvirkesgripen gör att en maskin klarar lastningen av ett tågset på kortare tid än det tar för tre mindre maskiner att lasta ett fliståg. Detta medför att avståndet mellan vältor och tågsvagn får mindre betydelse och att rundvirke alltså inte bör prioriteras när det gäller placering nära spåret. Men om sortimentet lagras under en kortare period innan utlastning kanske utrymme ändå finns för en hantering liknande den i Scenario 4.

Det är viktigt att vara försiktig i slutsatserna kring Scenario 4 eftersom inga praktiska studier ligger till grund för tidsuppskattningarna. Vi känner inte heller till något fall där tåg lastas med denna utrustning och det finns skäl att misstänka att det kan finnas svårigheter i hanteringen, främst eftersom föraren inte får överblick över lasset ifrån en hjullastare (om den inte är försedd med kamera på gripen). Om en stock sedan visar sig sticka ut för mycket långt ner i lasset när tåget inspekteras, måste man kapa stocken eller

i värsta fall lasta om hela traven. Baserat på resultaten kan dock sägas att praktiska tester skulle vara av intresse.

## Reflektioner om verktyget

Det finns stora fördelar med att testa olika upplägg av terminalarbetet med stöd i ett simuleringsverktyg innan ny utrustning köps in eller inför ett investeringsbeslut kring asfaltering. En simulering ökar också förståelsen av hur olika faktorer samspelar. Det gäller i detta fall materialets placering i förhållande till spåret (olika sortiment), maskinernas lastkapaciteter samt hur de utnyttjas.

I huvudsak har prestationsdata tagits från Volvos generella funktioner vilket underlättat arbetet i hög grad. Att på detta sätt kunna jämföra bränsleförbrukningen vid olika hantering har varit extra värdefullt. Det finns dock ett behov av att komplettera med data kring rundvirkeshantering med hjullastare som lastar tåg.

*Volvo Site simulation* möjliggör en mer detaljerad uppdelning av moment än den som presenterats bland resultaten. Exempelvis har tiden precis innan lossning, när föraren saktar in och väljer var hen ska placera maskinen, räknats till "kör lastad" i vår uppdelning, men det kan också ses som ett eget moment eller ett moment tillhörande lossningstiden. Det är dock svårt att avgränsa ett sådant moment exakt vid en tidsstudie.

## Referenser

- Claesson, S., Duvemo, K., Lundström, A. & Wikberg, P.-E. 2015. "Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15 (in Swedish)." Skogsstyrelsen Rapport 10 2015.
- Fu, J. 2013. Logistics of Earthmoving Operations: Simulation and Optimization. 13:002 Licentiate thesis, comprehensive summary, KTH Royal Institute of Technology.
- Trzcianowska, M., LeBel, L. & Beaudoin, D. 2019. Performance analysis of log yards using data envelopment analysis. *International Journal of Forest Engineering* 30(2): 144–154.
- Vachon Robichaud, S., Beaudoin, D. & Lebel, L. 2014. Log yard design using Discrete-Event Simulation: First step towards a formalized approach. MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nancy, France.
- Väätäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Enström, J., Laitila, J., Prinz, R. & J. Routa 2021. Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. *Croatian Journal of Forest Engineering* volume: 42:39–61.
- Muntlig källa:
- Raudsaar Johannes, tågplanerare på Stockholm Exergi. Telefonintervju 2022-12-16.