

ARBETSRAPPORT 1188-2024

Systemanalys av flisning och transport av grot

Riktlinjer för planering av transport och sönderdelning av grot
i olika miljöer

Anders Eriksson, Tomas Johannesson, Lars Eliasson



Innehåll

Förord	3
Summary	4
Sammanfattning	5
Inledning	6
Metod	7
Stokastisk simulering	7
Modellbeskrivning	7
Studerade maskinsystem.....	7
Studiedesign	8
Utdata och nyckeltal för simuleringarna	8
Resultat och diskussion	9
Slutsats	13
Referenser	14



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 1 november 2023 av Maria Iwarsson Wide, programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 1 februari 2024.

Redaktör: Caroline Rothpfeffer, caroline.rothpfeffer@skogforsk.se

©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Den här arbetsrapporten är en del av projektet ”Utveckling av beslutsstöd och riktlinjer för lönsammare skogsbränslesystem” som har finansierats av Energimyndigheten och genomförts under perioden 2020–2022. Mer specifikt presenteras här resultaten från den systemanalys som genomförts där alternativ för transport och sönderdelning studerades i olika miljöer med hjälp av simulering. Systemanalysen tar avstamp i den kunskap och de erfarenheter som samlades in genom aktörsdialogerna i projektet vilka gjordes tillsammans med verksamma inom den svenska skogsbränsleindustrin. Både en inre referensgrupp med representanter för fem aktörer inom skogsbränsle, och en yttre referensgrupp med dess utförande entreprenörer deltog. Författarna vill rikta sin tacksamhet till alla som bidragit i de båda referensgrupperna. Ett speciellt tack riktas till Håkan Edh, Södra Skogsägarna, Jonas Olinder, Mellanskog, Jesper Hulterström, Holmen Skog, Anna Svensson, Sveaskog och Fredrik Steineck, Stora Enso Bioenergi.

Uppsala och Strömsund 2023-11-15

Anders Eriksson, Tomas Johannesson och Lars Eliasson

Summary

Today, logging residues is high on the agenda due to an increased focus on energy security, as well as its role as a facilitator in Sweden's extensive climate transition efforts. However, to make use of logging residues from more harvest areas, several challenges must be addressed. In Southern Sweden, the challenge is to increase the volumes, while in Northern Sweden, logging residue activities need to be re-established. In both cases, the goal is to maximise the efficiency. The logging residue activities are not streamlined, and there are several parallel systems. To avoid unnecessary costs and enable increased extraction, there is a need to identify which systems to use in different regions and environments.

The four most common delivery systems were studied through simulation of the wood chipping and transport of logging residues in various test environments with different distances and amounts of logging residues per harvested area. The results show that the chipper truck system is a good choice for all short distances. If the hot systems, namely truck-mounted wood chipper and wood chip truck or tractor-mounted wood chipper and container truck, are well planned, they are competitive in all niches. They are also the obvious choice for the longest distances. The conclusion is that it is more important to avoid the worst combinations of systems and environments than to always strive for the best combination.

Sammanfattning

Idag är inhemska biobränslen såsom grenar och toppar (så kallad grot) högt upp på agendan med anledning av samhällets fokus på energisäkerhet och nationell försörjningstrygghet. Groten ses också som en möjliggörare i Sveriges stora klimatomställningsarbete. Om grot från fler avverkningstrakter ska kunna tillvaratas måste dock en rad utmaningar lösas. I södra Sverige är utmaningen att växla upp uttagsvolymerna av grot, i norra Sverige måste grotverksamheten återetableras. I båda fallen vill man kunna göra det så effektivt som möjligt. Grotverksamheten är inte strömlinjeformad utan det finns flera parallella system. För att inte orsaka onödiga kostnader, och för att möjliggöra ett ökat uttag, finns ett behov av att identifiera vilka system som fungerar i olika miljöer.

I denna studie har de fyra vanligaste leveranssystemen studerats via simulering av flisnings- och transportarbetet i olika testmiljöer och med olika transportavstånd och mängd grot per avverkningstrakt. Resultaten visar att huggbilssystemet är ett bra val då transportavståndet är kort. Lyckas man planera de heta systemen (alltså de system med ett stort beroende mellan hugg- och transportkapacitet), alltså lastbilsmonterad flishugg och flisbil eller traktorhugg och containerbil, är de konkurrenskraftiga i samtliga nischer. De är också det självklara valet för de längsta transportavstånden. Slutsatsen blir att det är viktigare att undvika de sämsta kombinationerna av system och miljö än att alltid sträva efter den bästa kombinationen.

Inledning

I många scenarier och planer för Sveriges omställningsarbete mot ett klimatpositivt samhälle finns ökad biomassaanvändning med som en viktig möjliggörare. Det går att på ett hållbart sätt tillvarata en större andel av restprodukterna från dagens skogsbruk, till exempel i form av grenar och toppar (grot). Ett ökat tillvaratagande av inhemska restprodukter är också extra intressant i dagsläget med anledning av rådande oroligheter på energimarknaden, både på nationell och europeisk nivå. Ökad nationell försörjningstrygghet är en viktig fråga, vilket talar för att grotuttagen bör öka där det är ekologiskt och ekonomiskt motiverat.

Om grot från fler avverkningstrakter ska kunna tillvaratas måste en rad utmaningar lösas. I södra Sverige där det redan idag tas ut betydande mängder grot har många av aktörerna, dvs markägare, entreprenörer och åkare, små ekonomiska marginaler och det är utmanande att öka uttagsvolymerna utan att samtidigt öka kostnaderna. I norra Sverige finns nästan ingen grotverksamhet kvar som en konsekvens av det senaste decenniets vikande efterfrågan där många kunder prioriterat andra bränslen framför grot. Detta gör att verksamheten först måste återetableras. I båda fallen finns ett behov av att peka ut vilka system som fungerar i olika miljöer för att öka effektiviteten och bidra till att hålla kostnaderna nere när de hanterade volymerna ökar.

Oavsett landsdel finns mer grot att hämta om den kan samlas ihop, sönderdelas och transporteras till en kund inom dagens ekonomiska ramar. En komplikation i sammanhanget är att kostnaderna för skogsbränslehanteringen ökar när den uttagna volymen ökar, då en ökad volym ofta innebär att man måste transportera groten längre sträckor från avverkningstrakten i skogen till värmeverket, alternativt hämta den från avverkningstrakter med sämre förutsättningar (Fernandez Lacruz m.fl. 2023). I motsats till övriga skogsbruket har inte utvecklingen för skogsbränslehantering gått mot ett dominerande leveranssystem, utan det finns flertalet alternativ för transport och sönderdelning. Vilket system man ska välja och vilka konsekvenser ett felval kan innebära är inte helt lätt att överblicka. Dessutom är flera aktörer inblandade, vilka påverkar både varandra och slutresultatet.

Syftet med projektet har varit att utveckla ett stöd för att underlätta val av system för transport och sönderdelning av grot till flis i olika miljöer. Det ska mynna ut i utarbetade riktlinjer, vilka är baserade på både aktörsdialoger (Johannesson m.fl. 2022) och den systemanalys som beskrivs här.

I systemanalysen utvecklades simuleringsmodeller för de vanligaste leveranssystemen och ett sätt att skapa testmiljöer där systemen kunde utvärderas. För att göra modellen mer realistisk gjordes den stokastisk för att kunna fånga in de variationer, osäkerheter och slumpartade fel som utförarna stöter på. Lärdomar från aktörsdialogerna användes för att säkerställa att rätt modeller byggdes och att dessa fångar upp de utmaningar som utförarna beskrev.

Metod

I systemanalyserna modellerades fyra huvudmaskinsystem i en simuleringsmiljö där de systematiskt kunde analyseras i de nio olika testmiljöer som skapades. Analyserna gjordes med fokus på att visa hur olika system fungerar på olika platser, samt hur känsliga de är för störningar och variation.

Stokastisk simulering

Vid studier av komplexa processer och flöden, där det finns både stokastiska inslag (slumpmässiga) och aktiviteter som påverkar varandra, har händelsestyrd simulering visat sig vara ett bra verktyg (Opacic & Sowlati, 2017). Det möjliggör att bygga en modell som beter sig som det verkliga systemet och kan ta hänsyn till de variationer och osäkerheter som kan inträffa. Det kan till exempel handla om interaktioner mellan maskiner, haverier och servicearbeten eller att transport- eller flisningsarbetet kan ta olika lång tid att genomföra även om förutsättningarna ser lika ut. Om dessa interaktioner inte beaktas finns det stor risk att resultatet från studien överskattar systemets prestation. En störning kan snabbt få följd effekter och spilla över på andra aktörer i kedjan, vilket påverkar totalekonomin.

Modellbeskrivning

I projektet utvecklades en dynamisk händelsestyrd simuleringsmodell där ett antal maskinsystem modellerades när de jobbade med sönderdelning och transport av grottflis från många avlägg till en mottagare. De studerades var för sig, men under hantering av samma uppsättning objekt, för att möjliggöra rättvisa jämförelser.

Studerade maskinsystem

Nedan listas de fyra huvudmaskinsystem som studerades. Utöver dessa studerades alternativ med olika antal lastbilar i de mer heta systemen, alltså de där flishugg och lastbil är beroende av varandra.

Huggbil (HB). En traditionell huggbil som både flisar och själv sköter transporten av flisen modellerades. Den kan således jobba oberoende av andra maskiner.

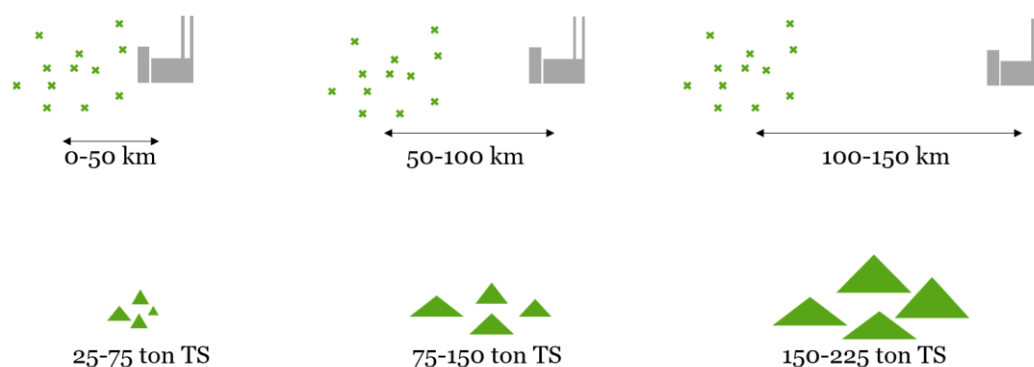
Traktorhugg med skopflisbil för flistransport (TH SB). En skotarmonterad flishugg som antogs tippa av flis vid väkantén, där flisen sedan hämtas av flisbilar som lastar sig själva med en kranmonterad skopa (skopbilar). Alternativen med en, två eller tre skopbilar studerades. Systemet har ett visst beroende mellan flishugg och lastbil, dock med en liten buffert på några flisade objekt som tillåts. Om flisbilarna hamnade för långt efter får flishuggen vänta, och vice versa om flishuggen inte hinner producera flis i tillräcklig takt, får bilarna vänta. Planeringsalternativ med en, två eller tre bilar studerades. Systemet är relativt lättplanerat.

Större lastbilsmonterad flishugg med flisbil för flistransport (LH FB). En större lastbilshugg som är beroende av att kunna flisa direkt i en separat flisbil modellerades. Det är således ett hett system, känsligt för störningar och med krav på god koordination där väntetider ofta förekommer. Andra system som bygger på direktflisning i flisbilar där flishuggen är relativt enkel att flytta mellan objekt, tex Albachsystemet, kan också representeras i det modellerade systemet. Planeringsalternativ med två, tre eller fyra bilar för flistransport studerades.

Traktorhugg med utställda containrar och containerbil för flistransport (TH CB). Det sista modellerade systemet var en skotarmonterad flishugg där flisen tippades i utställda containrar på avlägget. Containerbilar sköter flistransporterna och flyttningen av containrar mellan avläggen. Även det här systemet är hett då huggen ständigt kräver containrar att tippa flisen i. Flishugg och bil är dock till viss del frikopplade sinsemellan då extra containrarna fungerar som en liten buffert. Planeringsalternativ med två, tre eller fyra containerbilar studerades.

Studiedesign

För studien definierades tre olika miljöer med avseende på vilka transportavstånd man antas jobba med och tre olika miljöer med avseende på vilka objektstorlekar (mängd grot per trakt) man typiskt ser (Figur 1). Dessa kombinerades ihop till total nio testmiljöer med samtliga kombinationer av transportavståndstyp och objektstorlekstyp. I studien utvärderades samtliga maskinsystem när de arbetade i de olika nischerna som fås genom kombinationer av objektstorlekar och avståndstyper. Därigenom kan kunskap byggas kring hur olika system presterar i olika miljöer.



Figur 1. Konceptskiss för de olika transportavståndstyperna (korta, medellånga samt långa) samt objektstorlekstyperna (små, medelstora samt stora) som tillsammans kombineras ihop till de nio testmiljöerna.

Maskinsystemen simulerades under en hel veckas arbete där maskinerna tilläts jobba så mycket som möjligt för att efterliknande en höglastvecka under eldningssäsongen. Initialt slumpades en uppsättning objekt fram utifrån den aktuella nischen. Samtliga maskinsystem och kombinationer av dessa hanterade så många av objekten som möjligt under den veckan. De mer högpresterande kommer således hinna hantera fler objekt jämfört med de mindre produktiva systemen.

Utdata och nyckeltal för simuleringarna

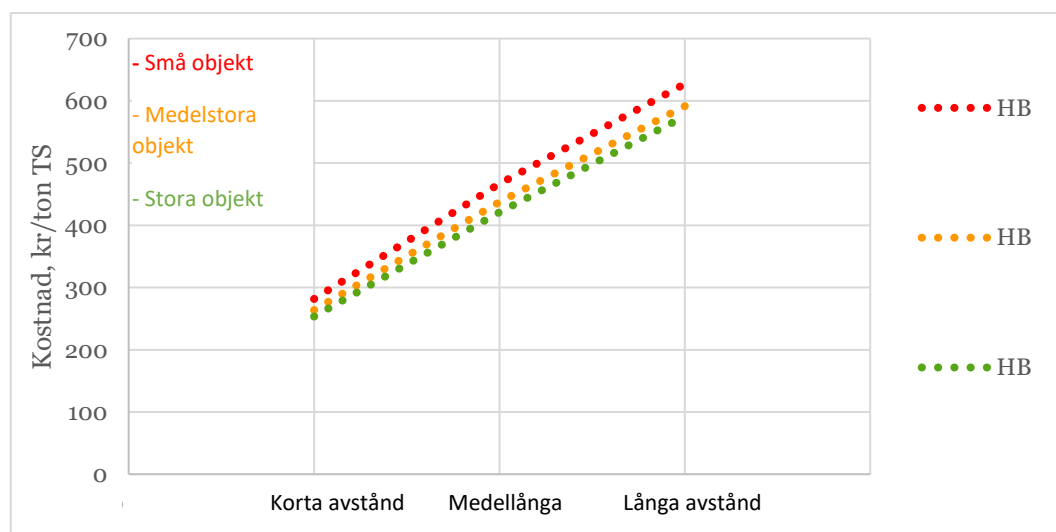
Tiden för alla maskinernas moment och aktiviteter under veckan skrivs över till Excel tillsammans med den levererade mängden grotflis. Oavsett om det är en väntetid i en kö, ett stillestånd för en flishugg, eller om det är mer aktiva aktiviteter kommer all tid att registreras. I Excel översätts tiderna till kostnader och sorteras in under respektive maskin. Därefter fördelas kostnaderna ut på levererad mängd och enhetskostnaden kan anges.

Huvudfokus var att beskriva hur hugg- och transportkapacitet matchar varandra samt hur mycket material (flis) som maximalt kan levereras av de olika alternativen under en vecka.

Resultat och diskussion

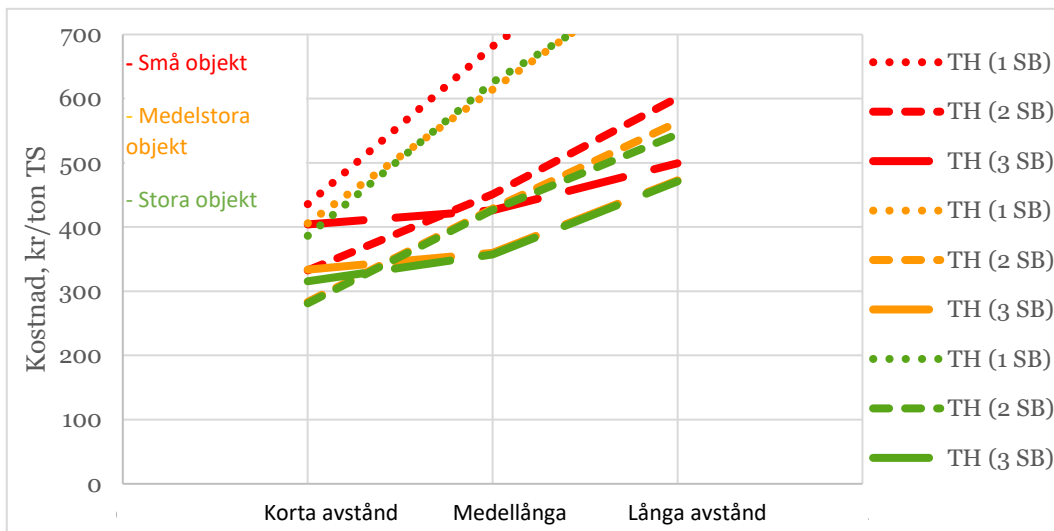
Hur varje huvudsystem samt dess eventuella placeringsalternativ (antal bilar) fungerar i var och en av de nio testmiljöerna sammanfattas i figurerna 2-5 som visar kostnaden per tonTS (ton torrsbstans) för transport och sönderdelning. Röd, orange och grön indikerar små, medelstora respektive stora objekt.

Som förväntat är huggbilsystemet relativt okänsligt för en förändrad objektstorlek, men påverkas väldigt negativt av ökade transportavstånd (figur 2). I studien simuleras alla leveranssystem när de jobbar med flera objekt, ett i taget, mot en och samma kund vilket gör att nyttan med den flexibilitet som huggbilen kan erbjuda inte fullt ut värdesätts. I verkligheten kan den planera sina objekt mer som rutter med flera objekt och kunder vilket inte studerats i modellen.



Figur 2. Leveranskostnad i de nio olika testmiljöerna för ett system med huggbilar (HB).

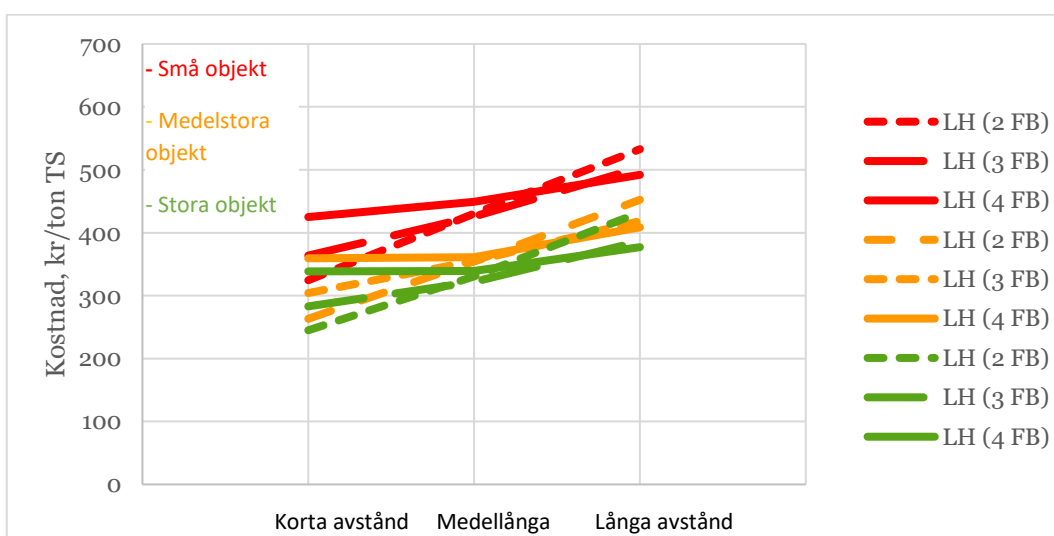
Även systemet med traktorhugg och skopflisbil är relativt lättplanerat. I det modellerade caset paras traktorhuggen ihop med en eller flera skopflisbilar som alltid jobbar tillsammans. I verkligheten finns mer flexibilitet, vilket gör att det blir lättare att balansera dem. En skopflisbil blir dock nästan alltid för lite, oavsett objektstorlek och transportavstånd (figur 3), vilket gör att totalkostnaden genomgående blir högre än för alternativen med två eller tre skopbilar.



Figur 3. Leveranskostnad i de nio olika testmiljöerna för ett system med traktorhugg (TH) och skopflisbilar (SB – en, två eller tre stycken).

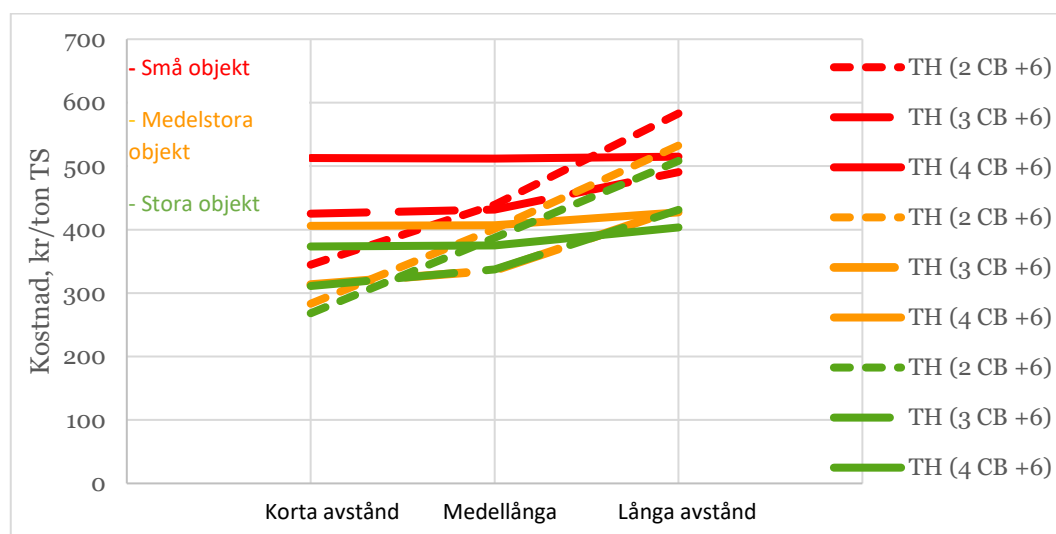
För de två heta systemen (LH&FB och LH&CB), alltså de med ett stort beroende mellan hugg och transportkapacitet, är det mer komplext. Det handlar inte bara om att använda systemet på rätt typ av objekt, utan också om att planera det utifrån de aktuella förutsättningarna. Planeringen och balansen är viktig och kommer påverka kostnaden i stor utsträckning.

För lastbilshuggen med flisbilar spelar antalet bilar ingen stor roll för de medellånga avstånden, oberoende av vilket objektstorlek som avses. Vid de längsta avstånden bör tre eller fyra bilar användas, även om två också är ett gångbart alternativ (figur 4). För de kortaste avstånden däremot, lönar det sig att gå ned i transportkapacitet för att hitta en bättre balans och därigenom minska stillestånd och kötiden för bilarna (figur 4).



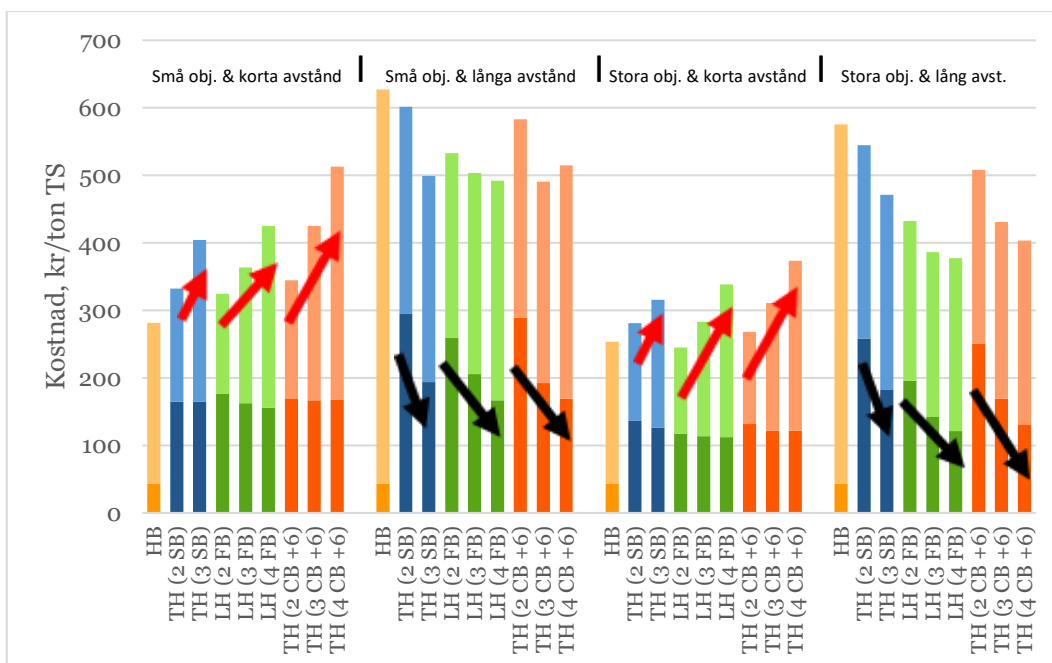
Figur 4. Leveranskostnad i de nio olika testmiljöerna för ett system med lastbilshugg (LH) och flisbilar (FB -två, tre eller fyra stycken).

Systemet med traktorhugg och containerbilar beter sig liknande det andra heta systemet. Dock är det planeringsmässigt mer utmanande, vilket gör att skillnaderna mellan de olika alternativen blir större. Även här är det bra att gå ned i antalet bilar vid korta avstånd för att minska stillestånd och kötid vid avlägg och därigenom sänka kostnaderna. För små objekt är det tydligare att två bilar är fullt tillräckligt. Vid medellånga avstånd bör tre bilar användas, oavsett objektstorlek, även om två också fungerar bra vid de mista objekten. Vid de längre avstånden fungerar tre respektive fyra bilar relativt likvärdigt, oavsett objektstorlek (figur 5).



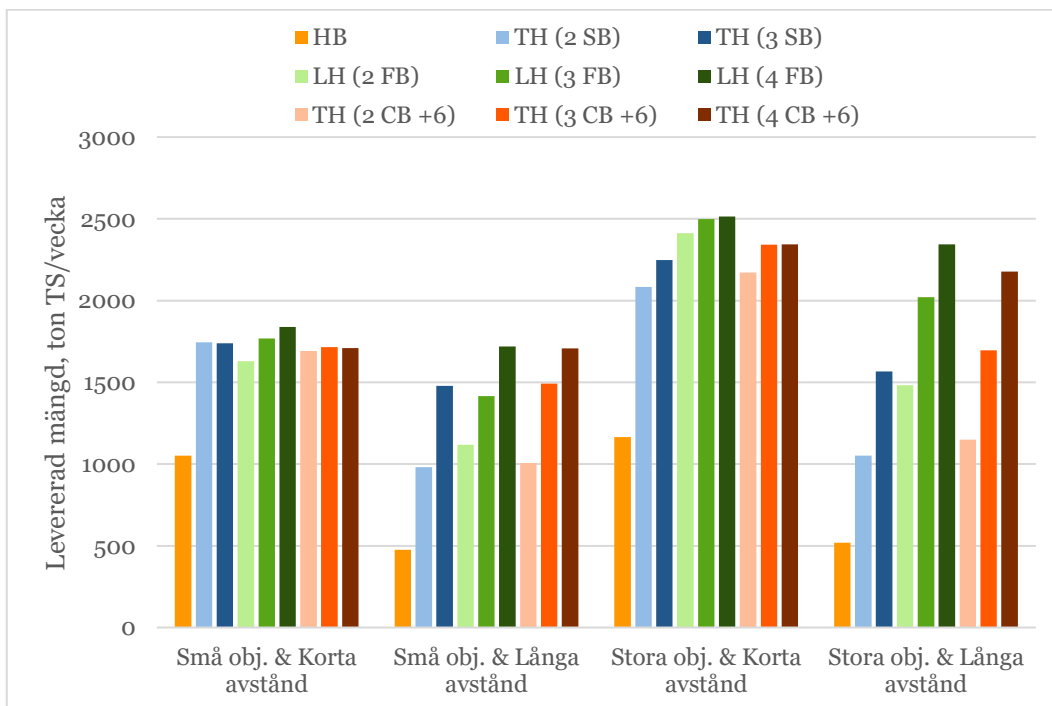
Figur 5. Leveranskostnad i de nio olika testmiljöerna för ett system med traktorhugg och containerbilar (CB - två, tre eller fyra stycken) med 6 extra containrar vid avlägg.

Anledningen till att kostnaderna inom varje huvudsysteem skiljer sig i samma miljö blir tydlig när man delar in totalkostnaden i kostnadskomponenter. Balansen mellan kostnaden för huggdelen (mörkare färg) och transportdelen (ljusare färg) visas i figur 6. För de korta avstånden indikerar en röd pil upp att transportkomponenten blir dyrare då fler bilar adderas. Det beror på den köbildning och överkapacitet som då uppstår. Omvänt visar den svarta pilen effekten för huggen av att addera fler bilar för de långa avstånden, fler bilar gör att huggen sysselsätts i större utsträckning (figur 6).



Figur 6. Kostnadskomponenterna huggkostnad (mörk färg) och transportkostnad (ljus färg) för de fyra ytterligheterna beträffande avstånd och objektstorlek.

Utöver skillnaden i specifik kostnad för transport och sönderdelning kommer de olika systemen också ha olika förmåga att leverera flis under en pressad vintervecka. Det är tydligt att för de långa avstånden innebär extra transportbilar en stor vinst i levererad mängd. För de kortare avstånden är skillnaderna små vilket förklaras av att där är huggen flaskhalsen och inte transportkapaciteten (figur 7).



Figur 7. Maximalt levererad mängd under en vecka för de olika systemen.

Slutsats

För transport och sönderdelning av grot finns idag flera olika alternativa maskinsystem där det här projektet hade som ambition att analysera vilket system som ska väljas var. En huvudslutsats från systemanalysen är att det inte finns en tydlig vinnare som är bäst överallt. Dessutom finns det i många av de utvärderade testmiljöerna flera system som är likvärdiga. Vad man dock kan säga är ett huggbilssystem är ett säkert kort på alla korta avstånd. Lyckas man planera de heta systemen optimalt, alltså lastbilsmonterad flishugg och flisbil eller traktorhugg och containerbil, är de konkurrenskraftiga i alla testmiljöer. De är också det självklara valet för de längsta avstånden. En aktör som har flera system att tillgå och därigenom kan anpassa sin verksamhet efter rådande situation kan arbeta effektivare. Slutsatsen blir att det är viktigare att undvika de sämsta kombinationerna av system och miljö än att alltid sträva efter den bästa kombinationen.

Referenser

Fernandez Lacruz, R., Eriksson, A., Parklund, T., Davidsson, A. & Eliasson, L. 2023. Marginalkostnadskurvor för skoglig biomassa – Vad kan tas ut till vilken kostnad? Arbetsrapport 1174-2023. Skogforsk.

Johannesson, T., Eriksson, A. & Eliasson, L. 2022. Aktörsdialoger för lönsammare skogsbränslesystem En sammanställning av synpunkter och erfarenheter kring olika system och flödesmodeller. Arbetsrapport 1119-2022, Skogforsk.

Opacic, L., & Sowlati, T. 2017. Applications of discrete-event simulation in the forest products sector: a review. *Forest Products Journal*, 67(3-4), 219-229.