

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Ökad hållbarhet i transporter av skoglig biomassa genom konkurrenskraftiga järnvägstransporter	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Gaining sustainability in transportation of biomass from forest by enhancing competitiveness in rail supply systems	
Universitet/högskola/företag Skogforsk	Avdelning/institution
Adress Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala	
Namn på projektledare Skogforsk	
Namn på ev övriga projektdeltagare Mellanskog, Moelven Skog, Vänerbränsle	
Nyckelord: 5-7 st Skogsbränsle, logistik, simulering, terminalhantering, järnvägstransporter, planeringsverktyg, försörjningskedjor.	

Förord

Projektet har finansierats av: Energimyndigheten, Skogforsk, Mellanskog, Vänerbränsle, Moelven Skog, Seydlitz, KSLA samt KK-stiftelsen.

Representanter från de medverkande företagen Mellanskog, Vänerbränsle, Moelven Skog och Skogforsk har deltagit aktivt under hela projektet med att ta fram underlag och delta i studier. Projektet har även haft en referensgrupp kopplad till delprojektet Intern terminallogistik där representanter från Sydved och Stora Enso deltagit. I delprojektet Intern terminallogistik har det också funnits ett nära samarbete med Volvo CE som stöttat med simuleringar i sin programvara Volvo Site Simulation.

Doktorandprojektet har utförts vid Mittuniversitetet. Handedare vid universitetet är Aron Larsson och Leif Olsson. Handedare från Skogforsk är Lars Eliasson och Anders Eriksson. Doktorandprojektet ingår i forskarskolan FORIC som finansieras av KK-stiftelsen.

Ett varmt tack riktas till alla deltagare och finansiärer.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	6
Resultat	8
Resultat AP1 – Kommunikation och samverkan inom försörjningskedjan.....	8
Resultat AP2 – Litteraturstudien.....	10
Resultat AP3 – Försörjning från skog till kund	12
Resultat AP4 – Logistik på utlastande terminal.....	14
Diskussion.....	15
Publikationslista.....	17
Bilagor	17
Referenser	18

Sammanfattning

Projektet visar att det finns goda möjligheter till effektivisering av skogsbränslelogistiken. Det gäller så väl organisation och systemstöd, flisning- och transportplanering som intern terminallogistik. Den största besparingen av fossil energi sker dock när transporter flyttas från väg till järnväg vilket stöds av att effektivisera sådana logistikkedjor.

Projektets huvudsyfte har varit att finna systemlösningar som kan sänka energiförbrukningen och kostnaderna i transportkedjan för skogsbränsle. Vägen dit har varit att ta fram beslutsstöd som kan användas för att utforma och utveckla transportsystemen, i första hand där järnvägstransport med tillhörande terminalhantering ingår.

Arbetet med beslutsstöd har baserats på en omfattande beskrivning av försörjningskedjan som helhet. Detta har skett dels genom en litteraturstudie, dels genom en intervjustudie där aktörer från en specifik försörjningskedja intervjuades. Resultaten från dessa båda studier visar på en stor komplexitet i försörjningskedjan för skogsbränsle som kvantitativa studier behöver förhålla sig till även om inte hela bilden är möjlig att fånga i en modell.

Det beslutsstöd som vidareutvecklats inom projektet simulerar försörjningen av skogsbränsle från avlägg vid skogsbilväg till tre olika mottagare, varav en järnvägsterminal som försörjer en större kund utanför regionen. I syftet låg att skapa en planering som jämnar ut resursutnyttjandet över året, trots de stora säsongsvariationerna i efterfrågan. Detta sker genom att prioritera olika material för leverans under olika årstider baserat på avstånd till mottagaren, prognostiserad fukthalt eller en kombination av dessa. T.ex. tort material nära mottagaren vid hög efterfrågan. Metoden kallas händelsestyrd simulering och studien bygger vidare på tidigare analyser med den så kallade WAFFS-modellen. Modellen har testats på en utvald försörjningskedja där resultaten är under utvärdering. Den kan med vissa modifikationer även användas generellt inom branschen.

För analysen av den interna terminallogistiken valdes att nyttja en kommersiellt använd modell som Volvo CE tagit fram, kallad Volvo Site Simulation. Modellen har ett utvecklat användargränssnitt och är beprövad inom anläggningsbranschen. Detta har flyttat fokus från modellutveckling till skogsbrukets möjligheter att nyttja denna typ av verktyg. Erfarenheterna inom denna del av projektet är goda och datainsamlingen har visat sig vara hanterbar för projektets parter.

De flesta av projektresultaten ligger nära implementering. Modellen för intern terminallogistik är redan kommersiellt tillgänglig och har nu testats och kalibrerats för hantering av flis. Olika modeller för terminalhantering och terminaldesign väntas även bli ett viktigt verktyg i övergången till fossilfrihet då olika varianter av eldrift prövas ut.

Summary

The project reveals opportunities for increasing the efficiency in forest fuel supply systems. This applies to the fields of organization and support systems, chipping and transport planning as well as internal terminal logistics. However, the greatest saving of fossil energy occurs when transports are moved from road to rail, which is supported by streamlining such logistics chains.

The main aim of the project has been to find system solutions that can reduce energy consumption and costs in the supply chain for forest fuel. The method has been to develop decision support tools that can be used to design and develop the transport systems, primarily supply chains where rail transport with associated terminal handling is included.

The simulation analysis has been based on an in-depth description of the supply chain for forest fuel. The methods used were both a literature study and an interview study where actors from a specific supply chain were interviewed. The results from these two studies show a great complexity in the supply chain for forest fuel that quantitative studies must consider, even though it is not possible to capture the whole complexity in any model.

The decision support tool being further developed within this project, simulates the supply of forest residues from forest road landings to three different recipients, one of which is a railway terminal that supplies a larger customer outside the region. The purpose was to better balance resource utilization over the year, despite large seasonal variations in demand. Different planning strategies were tested prioritizing the material based on distance to the recipient and predicted moisture content. The method used was Discrete Event Simulation and the model was developed from an earlier version of the WAFFS-model. The model has been applied on a case study and the results are now under evaluation. With minor modifications the model is applicable also on other forest fuel supply chains.

For the study of terminal operations in detail, a cooperation with Volvo CE enabled the use of their existing simulation tool, Volvo Site Simulation. The model has a developed user interface and is well established in the construction industry. The models usability for the forestry sector were focus for the analysis. The experience of the operating company in the case study has been positive and they have managed to provide necessary data for the analysis.

The project results are generally close to implementation. The model for analysis of terminal operations is an already existing tool that is now also tested and calibrated for woodchip handling. Models for terminal operations and design are also expected to be important tools in future evaluations of electrically powered equipment.

Inledning/Bakgrund

Det här projektet har formats kring en målsättning om att effektivisera transporter av skogsbränsle i stort, men i synnerhet de logistikkedjor som inkluderar järnvägstransporter till fjärrkunder. Genom att utveckla dessa energieffektiva logistikkedjor stärks deras konkurrenskraft samtidigt som direkta energibesparingar görs. Dessutom bidrar effektivare järnvägstransporter till att försörjningen av skogsbränsle möjliggörs på längre avstånd från storstadsregionerna.

Järnväg är ett viktigt trafikslag för skogsbruket i stort. För skogsbränslesortimentet är andelen som går via järnväg fortfarande liten men för vissa stora energianläggningar är dessa leveranser betydelsefulla. För att kunna försörja stora kraftvärmeverk eller bioraffinaderier krävs effektiva transporter med tåg, då mycket av råvaran behöver transporteras långt. Dessutom har tåget en stor potential att öka hållbarheten i transportsystemet. Ett fast leveransschema för tågtransporterna gör materialbehovet relativt förutsägbart, även om störningar i form av inställda tåg kan förekomma. Men leverantörerna försörjer inte endast sina fjärrkunder utan också ett flertal lokala kunder. Kraven på fraktionsstorlekar och kvalitet kan skilja stort mellan stora och små mottagare, samtidigt som samma utrustning för sönderdelning, hantering och transport behöver kunna användas för leverans till olika kunder.

De stora säsongsvariationerna vad gäller fjärrvärmebehovet är en av de stora utmaningarna för branschen då det är dyrt att ha maskiner stående delar av året, och svårt att hålla sig med kompetent personal om inte helårsanställning kan erbjudas. Här finns en viktig roll att spela för bränsleterminaler som både används för säsongslagring och kan vara en transportlänk som möjliggör järnvägstransport och därmed en större marknad. Genom att hålla ett vist säsongslager kan arbetsåret förlängas för entreprenörer som sköter flisning och transport, men lagringen är också förknippad med kostnader. Direkta flöden, utan terminalhantering till lokala kunder, är generellt mer kostnadseffektiva, men studier har visat att terminaler för biobränsle kan ha indirekta positiva effekter för försörjningskedjan så som jämnare leveranskvalité, ökad leveranssäkerhet och jämnare resursutnyttjande (Virkkunen, Raitila et al. 2016). En överblick över de svenska terminalerna för skogliga produkter ges av Kons m.fl. (2014). Direkta studier av intern terminallogistik saknas för svenska förhållanden men skulle kunna ge stora effektiviseringsvinster för de ca 200 skogsbränsleterminalerna i Sverige.

Det finns också möjligheter att i någon mån planera för en jämnare resursanvändning vad gäller flisning och transport av skogsbränsle. Tidigare studier av Eriksson (2017) har visat en teoretisk potential att jämna ut resursutnyttjandet genom att planera vilka vältor med avverkningsrester (objekt) som bör tas under lågsäsong respektive högsäsong. Material som har haft goda möjligheter att torka bra och som ligger nära mottagaren sparas till månaderna

med hög efterfrågan då mycket volym ska köras in. Data från lokala väderstationer används för att prognostisera vilka objekt som torkat bättre eller sämre. Erikssons modell innebär en viktig grund som kan vidareutvecklas för att ge en mer tillämpad användning där fler kunder inkluderas, däribland fjärrkunder som förses via järnväg. Modellen behöver också anpassas för att kunna ta hänsyn till verkligt vägnät i den aktuella geografin och olika maskinsystem för att sedan kunna tillämpas på en fallstudie. De simuleringsanalyser som hittills gjorts av skogsbränslelogistiken har varit på generell nivå.

Det finns alltså utmaningar både i logistiken från skog till terminal och på själva terminalen där materialet lagras och omlastas till järnväg. Projektet inkluderar båda dessa delar.

Projektets övergripande mål har varit att finna systemlösningar som kan sänka energiförbrukningen i den valda transportkedjan samt sänka kostnaderna för flödet som helhet, med bibehållen leveranssäkerhet.

Vägen dit har varit att ta fram beslutsstöd som kan användas för att utforma och utveckla transportsystem för skoglig biomassa där järnvägstransport med tillhörande terminalhantering ingår. Beslutsstödet har baserats på en djupgående beskrivning av försörjningskedjan för skogsbränsle och har under projektiden utvärderats på en specifik försörjningskedja där kunder och leverantörer samarbetat inom projektet. Tanken är att planeringsverktyget, efter vissa anpassningar, ska kunna användas generellt inom branschen.

Den framtagna simuleringsmodellen hanterar kedjan från skog fram till kund eller terminal och kompletteras därför med en analys av effektiviteten i själva terminalhanteringen. Detta för att inkludera en större del av kedjan. I denna del används ett befintligt och kommersiellt tillgängligt beslutsstöd som utvärderar terminaldesign och hantering utifrån bränsleförbrukning och kostnadseffektivitet för att finna förbättringsåtgärder.

Genomförande

Projektet har delats in i fyra huvudsakliga arbetspaket där AP1 och AP2 är inriktade på datainsamling medan AP3 och AP4 innebär analyser med hjälp av olika simuleringsmodeller och bygger på det insamlade materialet och den förståelse som tidigare arbetspaket byggt upp kring försörjningskedjan.

I AP1 intervjuades två driftansvariga för entreprenadföretag som utför flisning och transport av skogsbränsle samt en logistikansvarig på biobränsleföretaget, dvs den person som är länken mellan kunderna och flisnings- och transportentreprenörerna. Intervjuerna genomfördes under 2019 och har analyserats enligt en metod som kallas tematisk analys. Metoden går ut på att forskaren försöker se teman i det renskrivna intervjumaterialet, som sedan namnges och definieras. Fokus har varit på att beskriva kommunikation och förståelse mellan aktörerna i kedjan. Olika sätt att göra studier har olika fördelar. För att vara säker på att slutsatserna gäller generellt i hela sektorn krävs ett stort och representativt urval, men då är det ofta svårt att gå på djupet i intervjuerna. I

den här studien var ansatsen i stället att få en så detaljerad bild som möjligt av en utvald försörjningskedja utifrån intervjupersonernas perspektiv. Materialet kan då tjäna som uppslag och exemplifiera problem som kan uppstå och lösningar på dessa och kan relateras till andra studier inom området.

Intervjustudien har legat till grund för artikeln ” Qualitative Aspects of Communication and Relations Between the Actors in a Supply Chain for Forest Fuel” (Enström 2020) och finns också sammanfattad på svenska (Enström and Gustavsson 2021).

AP2 innehåller datainsamling i två delar. Dels en allmän litteraturgenomgång (AP2a) av tidigare studier inom skogsbränslelogistik och terminalhantering med fokus på Norden. Litteraturgenomgången har legat till grund för en review-artikel i samarbete med finska forskare (Väätäinen, Anttila et al. 2021). Artikeln beskriver de senaste 20 årens forskning inom skoglig logistik, från avlägg till industri i Sverige och Finland. Baserat på 134 artiklar inom området kan läsaren få en bild av trender i utvecklingen liksom av skillnader och likheter mellan länderna. Utöver granskade artiklar inkluderar studien resultat från institutsrapporter från båda länderna, vilka ofta bara varit tillgängliga på det egna språket. Detta projekt har främst bidragit till artikeln utifrån ett svenskt perspektiv inom områdena skogsbränslelogistik, terminalhantering och järnvägstransporter.

Den andra delen av arbetspaketet (AP2b) gäller insamling av kvantitativ data från terminalhantering av skogliga produkter, d.v.s. tidsstudier av tåglastning och fältbesök på terminaler där ytor och stackar har mätts in. Detta är grundläggande data för att kunna genomföra de mer detaljerade terminalsimuleringarna i AP4.

I AP 3 modellerades och analyserades försörjningen för skogsbränsle från avlägg vid skogsbilväg till tre olika mottagare. Mottagarna utgörs av ett mindre lokalt värmeverk, ett större lokalt kraftvärmeverk samt en järnvägsterminal som försörjer en större kund utanför regionen (fjärrtransport). I frågeställningen ligger att skapa en planering som utjämnar resursutnyttjandet över året, trots de stora säsongsvariationerna i efterfrågan. Detta sker genom att pröva olika försörjningsstrategier, bl.a. nyttjande av lokala väderdata. Metoden är händelsestyrd simulering och bygger vidare på tidigare analyser med den så kallade WAFFS-modellen (Eriksson, Eliasson et al. 2017), där väderdata används för att prognostisera torrhalten på vältor i skogen och med hjälp av denna information planera inkörningen.

Utvecklingssteg som tas i detta projekt jämfört med tidigare studier med WAFFS-modellen är att flera mottagare av olika typer inkluderas, ett hett maskinsystem (flisning i lastbil) modelleras och att analysen bygger på verkliga objekt, avstånd och leveransplaner. Studien innehåller även en känslighetsanalys som visar hur begränsningar i planeringsutrymmet påverkar möjligheten att skapa en utjämnande planering. Det kan t.ex. röra sig om begränsningar som att vissa vältor måste plockas tidigt på säsongen p.g.a. att de saknar papp över sig.

AP4 syftade till att analysera och utveckla de interna operationerna på en utlastande tågterminal för skogsbränsle. Det innebär en fördjupning där denna del av kedjan studeras närmare. Efter förstudier och diskussioner i projektgruppen föll valet på att nyttja en kommersiellt använd modell som Volvo CE tagit fram, kallad Volvo Site Simulation. Fördelarna 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 dragningar av körvägar och samspelet mellan olika operationer. Bränsleförbrukning är en viktig del som inkluderas. Modellen har inte tidigare använts för att analysera hanteringen av flis och andra skogsprodukter, utan har fokuserat på tyngre material inom anläggningsbranschen. Fallstudien i samarbete med Volvo CE ger viktig information om vilken potential som finns i denna typ av terminalanalyser, samt vad som krävs i fråga om indata för att kunna dra nytta av ett kommersiellt simuleringsverktyg.

Resultat

Resultat AP1 – Kommunikation och samverkan inom försörjningskedjan

Tidigare studier inom Supply Chain Management (SCM) har pekat på att kommunikation och mänskliga relationer mellan olika aktörer är ett mindre studerat forskningsområde än system och processer i sig. I hanteringen av skogsbränsle är varje operation beroende av de tidigare i kedjan. Materialet förändras i hög grad genom både aktiva och passiva processer och varje avlägg är unikt, vilket ställer krav på kunskap, samverkan och förståelse för nästa led. Detta märks på olika sätt i de tre teman som blev resultatet av intervjustudien.

Personliga relationer och personlig kunskap

Det första temat, som i studien benämns ”Värdefulla relationer”, handlar om att de personliga relationerna värdesätts av samtliga intervjupersoner, att kommunikationen mellan dem är frekvent och att det finns en samarbetsvillig attityd. Likaså är den personliga kunskapen om verksamheten betydelsefull framför allt hos entreprenörerna. Det gäller exempelvis lokalkännedom och förståelse för andra aktörer i kedjan. Det innebär också att det lätt uppstår problem som tar resurser i anspråk när det kommer in ny personal. Flisningsentreprenörerna upplevde det exempelvis som problematiskt när det kom nya skotarförare som de inte haft möjlighet att träffa och utbilda om sin del i kedjan, eftersom de inte fått någon information om att nya skotarförare anställts. Behovet av att kommunicera, exempelvis att flisningsentreprenören ringer upp skotarföraren innan ankomst till en ny trakt, kan också grundas i brister i informationssystemet, det vill säga att uppgifter saknas eller inte går att lita på. Det kan bero på att det inte alltid är skotarföraren själv som fyllt i skotarrapporten

utan någon på kontoret, eller att systemet inte tillåter föraren att ange den uppskattade volymen i annat än m³fub (fast volym under bark). Detta gör att flisningsentreprenören inte vet om den angivna volymen har räknats om till m³fub eller om det är en volym i m³s som har angivits i fältet. Dessa exempel är kanske specifika för företagen i studien men ger ändå viktiga medskick om hur samspelet mellan människor och system fungerar.

Luckor i förståelse och kommunikation

Att kommunikationen ibland brister gav upphov till det andra temat för studien, ”Luckor i förståelse och kommunikation”. Det var tydligt att den logistikansvariga och entreprenörerna ibland hade olika syn på hur saker fungerade. Främst gällande leveransprecision och kommunikation av avvikelser. Entreprenörerna ansåg att veckokvoter var att gå lite för långt i styrningen och de betraktades som en skrivbordsprodukt. Logistikern menade att veckokvoterna gällde och uttryckte även att de situationer som upplevdes som mest olyckliga var om en kund behövde höra av sig och fråga efter material som skulle ha levererats. Logistikern framhöll ändå att samarbetet normalt fungerade bra och att sådana situationer var relativt ovanliga.

Det finns dock goda skäl till att entreprenörerna önskar ha frihet i planeringen. I detta fall arbetade båda entreprenörerna åt flera olika uppdragsgivare, vilket förutom riskspridning kan ge fördelar i att hålla nere kostnader för flyttar och vinterväghållning då entreprenören kan arbeta mot olika kunder i en region. Dessa fördelar minskar med en ökad detaljstyrning, till nackdel för hela försörjningskedjan. Entreprenörerna kan också ha mer information om nuläget på besökta mottagningsplatser än vad logistikern har och de kan ha information om vad som kommit från andra leverantörer till en viss kund och anpassa inkörningen efter det. Men entreprenören har inte direktkontakten med kundens försörjningsansvariga och saknar därför viktig information samt helhetsbilden. Leveransplaneringen är inte heller entreprenörens ansvar. Det går att hitta vägledning i tidigare forskning kring SCM om vad som är framgångsrikt när det gäller att fördela ansvar och befogenheter i en försörjningskedja. En grundtanke är att de enheter som utgör en funktion, exempelvis flisning och transport, ska ha möjlighet att styra sitt arbete så fristående som möjligt från andra enheter. En annan grundtanke är att den som fattar beslut i en försörjningskedja ska ha tillgång till så komplett information som möjligt från alla delar i kedjan. Och naturligtvis att det finns överensstämmelse mellan hur arbetsprocesserna beskrivs och hur de faktiskt utförs. Här tycks alltså finnas ett behov av att tydliggöra vad som gäller, stärka informationsprocesserna och samtidigt inte i onödan begränsa entreprenörernas planeringsmöjligheter. Ett exempel på informationsstöd som nämndes av logistikern var kameror på industrier som direkt kan ge visuell information. Beträffande kraven på leveransprecision är kundperspektivet avgörande och bör klargöras noga inför eventuella processförändringar.

Utvecklingsarbete inom och mellan företagen

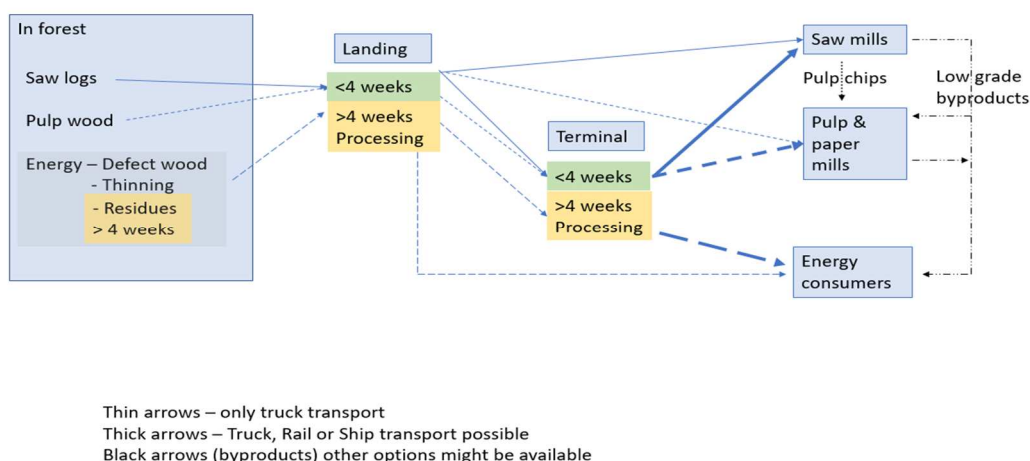
Det tredje temat som identifierades benämndes ”Gemensam utveckling”. Samtliga tre intervjuade uttryckte en positiv syn på utvecklingsarbete och arbetade aktivt med utvecklingsfrågor på olika sätt. För entreprenörerna handlade det mycket om att göra rätt investeringar och välja rätt maskinsystem för verksamheten. För logistikern handlade det främst om att driva en digitaliseringsprocess i samverkan med transportörer och Biometria. Ett större förändringsarbete drevs samtidigt av skogsföretaget vilket innefattade både systemutveckling och förändrade processer. Samtliga inblandade uttryckte stora förhoppningar om vad detta arbete skulle föra med sig. De var dock inte involverade i det vilket skulle kunna ses som en risk.

Skogsföretagen har kommit olika långt i sin systemutveckling på biobränslesidan. De flesta stora aktörer har plattformar där entreprenörerna kan se aktuella objekt på kartan och hämta hem information om dem. Men för entreprenörer som arbetar åt flera uppdragsgivare blir det ändå ett manuellt förarbete när ruttplaneringen ska göras med objekt från olika skogsföretag. Varje PDF-fil måste då öppnas och koordinaterna manuellt skrivas över till det egna GIS-systemet. Ett branschgemensamt verktyg eller ett integrerat GIS-stöd i försörjningskedjan skulle underlätta för entreprenörerna.

Intervjuerna genomfördes under 2019 och många förändringar har skett inom organisationerna under arbetets gång. Metoden innebar att den aktuella försörjningskedjan kunde beskrivas betydligt mer ingående jämfört med om endast kvantitativa data samlats in. Intervjuer är ett vanligt verktyg inom försörjningskedjeutveckling men analysmetoderna är ofta fokuserade på insamling av kvantitativa data och intervjumetodiken är ofta inte fullt ut beskriven.

Resultat AP2 – Litteraturstudien

Logistik för rundvirke och skogsbränsle innefattar en mängd operationer, maskinresurser, lagringsmöjligheter och ett stort antal sortiment med skilda krav. En komplex och varierande miljö med säsongsvariationer och störningar skapar logistiska utmaningar med kostnadsökningar som följd. Figuren visar en generaliserad bild av försörjningskedjan från stubbe till mottagande industri av olika sortiment.



Figur 1. Schematisk bild över de skogliga logistikkedjorna (Väätäinen, Anttila et al. 2021).

Som transportslag dominerar vägtransport i båda länderna, med ca 75 % av volymen i Finland och 85 % i Sverige. Resterande volym transporteras på järnväg (del av sträckan) med undantag för ca 2% av de finska skogstransporterna som sker via inlands-vattenvägarna. Några motsvarande sjötransporter förekommer inte i Sverige.

En viktig förändring på transportsidan under denna period har varit bruttoviktsökningar i båda länderna. Det är tydligt att forskningsresultat som visat på minskad bränsleförbrukning för tyngre och längre ekipage drivit på förändringar i lagstiftning. I Finland skedde ökningen från 60 till 76 tons bruttovikt 2013 och 2019 tillkom en ökning av maximal längd för fordonskombinationer till 34,5 m. I Sverige kom bruttoviktsökningen till 64 ton 2015 och ett vägnät för 74-tonsfordon började succesivt att öppnas från 2017. Omfattande forskning har bedrivits i båda länderna beträffande effekterna av de nya konfigurationerna avseende energieffektivitet, vägslitage, ekonomi och trafiksäkerhet. Resultat som kan väntas ha betydelse för implementeringen i branschen gäller också det viktiga samspelet mellan fordonskonfigurationen och materialets densitet. De tyngre kombinationerna har generellt visat sig fördelaktiga med just tyngre sortiment. Någon utveckling på järnvägssidan motsvarande vad som skett inom vägsystemet, har inte kunnat ses i något av länderna. Men vissa forskningsansatser har dock gjorts för att utreda möjligheter till längre och tyngre godståg.

En ökad tillgänglighet, tillförlitlighet och precision i data liksom utveckling av IT-stöd möjliggör en ökad styrning och kontroll av de skogliga logistiksystemen. Ett stort antal artiklar berör analyser av försörjningskedjor med hjälp av optimerings- eller simuleringsverktyg och i viss mån används sådana verktyg också praktiskt av skogsföretagen för strategisk planering.

Medan logistiken för rundvirke varit relativt oförändrad de senaste 20 åren har det skett större utvecklingar på skogsbränslesidan. Det gäller så väl utvecklingen av maskinsystem och metoder som planering och styrning av försörjningskedjan. Detta förhållande återspeglas tydligt i forskningen genom att strax över 50 % av artiklarna i studien fokuserade på logistik för skogsbränsle medan endast en tredjedel var fokuserade på rundvirkeshantering.

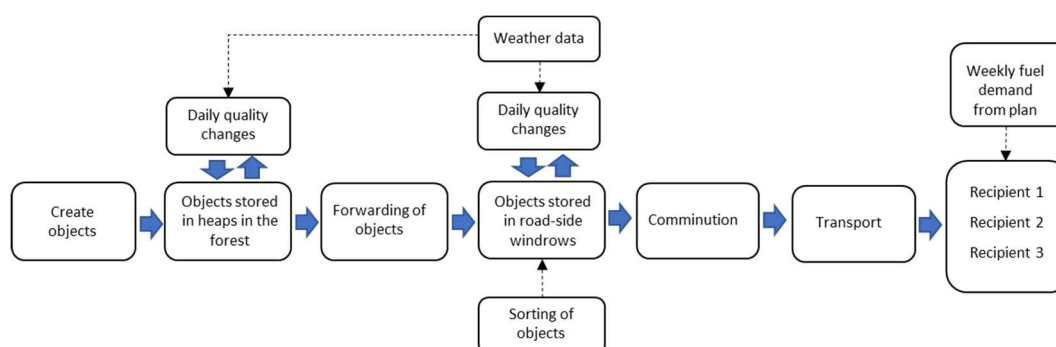
Sammanfattningsvis kan sägas att de största drivkrafterna bakom studierna som ingått i analysen varit: en snabb teknisk utveckling, förändrat regelverk rörande vägtransporter, ökat hänsynstagande till miljö (främst klimataspekten) och ett starkt fokus på att sänka logistikkostnader inom sektorn. Det är också dessa faktorer som väntas driva behovet av ny forskning och utveckling inom den skogliga logistiken framöver.

Resultat AP3 – Försörjning från skog till kund

De slutliga resultaten från fallstudien är ännu inte färdigbearbetade utan kommer att presenteras i form av en vetenskaplig artikel. Modellens uppbyggnad och funktionalitet presenteras däremot översiktligt i denna rapport.

Modellen är byggd med programvaran ExtendSim och är en händelsestyrd simuleringsmodell. Den är en vidareutveckling av den tidigare WAFFS-modellen (Eriksson, Eliasson et al. 2017) och har därför likheter i modulernas uppbyggnad.

Modellen inkluderar hela försörjningskedjan från att grenar och toppar har lagts i högar på ett hygge för torkning, via skotning till grotvälta vid skogsbilväg, sönderdelning på avlägget och slutligen transport till kund eller tågterminal. En styrka i modellen är att också de passiva processerna, materialets kvalitetsförändring under lagring, inkluderas. Dessa processer påverkas av de lokala väderförhållandena, varför historiska data från olika väderstationer i försörjningsområdet är viktiga indata. Figur 2 visar hur flödet i modellen är uppbyggt och hur kvalitetsuppdateringar görs kontinuerligt för lagrat material, både på hygget och i välta.



Figur 2. Flödet genom modellen.

I den utveckling av modellen som gjorts inom projektet är fokus på valet av avlägg att hämta från och transporten till kund eller tågterminal. Dessa delar har därför modellerats på en högre detaljnivå. Det finns många olika maskinsystem för att hantera sönderdelning och transport av skogsbränsle, och i tidigare versioner av WAFFS-modellen modellerades en huggbil som både transporterar och sönderdelar materialet. I detta fall var önskan att modellera en flishugg som sönderdelar materialet direkt i en väntande lastbil. Detta var en anpassning till den aktuella fallstudien och ett system som är vanligt förekommande. Ett hett system där olika maskinresurser är beroende av varandra innebär dock en avsevärd ökning av komplexiteten, både i systemet som sådant och i simuleringsmodellen, men det är också en av styrkorna med händelsestyrd simulering att kunna modellera sådana beroenden.

Ett annat viktigt utvecklingssteg i den nya modellen är möjligheten att hantera olika kunder med varierande behov. Modellen har byggts utifrån det säljande skogsföretagets perspektiv och utgår därför från en individuell leveransplan från varje mottagare som ska uppfyllas varje vecka. Eftersom huvudsyftet med modellen är att pröva strategier som jämnar ut resursutnyttjandet under året, har sådana parametrar gjorts lättillgängliga i utdatat från modellen. Resursernas utnyttjandetid och transporterad sträcka visas vecka för vecka under det år som körningen pågår. För att förenkla jämförelserna har transportresurserna dimensionerats så att det alltid finns tillräcklig kapacitet för att klara efterfrågan. I utdatat syns också vilken fukthalt på material som levererats till respektive kund veckovis, samt fukthalten för det material som ännu inte levererats. Det är viktigt för att exempelvis kunna styra olika kvaliteter på material till olika mottagare och under olika tider på året.

Sortering och val av leveransobjekt

De leveransstrategier som testas bygger på att det objekt (välta vid väg) som ska flisas och transporteras väljs ut från en bank av möjliga objekt baserat på avstånd och fukthalt. Principen är att korta avstånd och torrt material ska kunna prioriteras under perioder med hög efterfrågan. Följaktligen måste också långa avstånd och fuktigt material prioriteras under andra delar av året. Varje objekt har ett avstånd inlagt till samtliga mottagare i modellen framtaget med hjälp av databasen Krönt Vägval. Modellen levererar endast till en mottagare per dag, vilket gör att objekten i kön kan sorteras varje ny dag baserat på den aktuella mottagare vars behov ska uppfyllas. I olika scenarion prövas prioritering efter endast fukthalt, endast avstånd samt kombinationer av dessa. Modellen prioriterar alltid påbörjade objekt framför att öppna nya välter.

Förenklningar av verkligheten

I den verkliga driften finns många ytterligare faktorer att beakta i planeringen. Att objekten bör ligga nära varandra för att minska huggens körtid är en sådan faktor som inte tas hänsyn till i modellen då huggen modelleras på en mer övergripande nivå än transportfordonet. Att objekt grupperas efter avstånd till en specifik mottagare samt efter den väderstation de ligger närmast skapar dock en klustereffekt. Bil och hugg körs också till garage dagligen. Det är därför rimligt

att anta att en planering av detta slag skulle kunna göras utan att öka flyttarna mellan objekt.

Andra faktorer som påverkar valmöjligheterna i det verkliga systemet kan vara vägars tillgänglighet eller att vissa vältor som skotats av mindre markägare saknar papp över sig och därför snabbt kommer att återfuktas under hösten och vintern. Att det verkliga systemet är komplext visas inte minst av intervjustudien i projektet, och att i en modell fånga alla de överväganden som människorna i systemet gör är otänkbart. Däremot kan modellen visa på hur begränsningar av valmöjligheter allmänt påverkar möjligheten till en resursutjämnande planering. I en känslighetsanalys slumpas en angiven procent av avläggen ut som prioriterade för tidig leverans. Dessa prioriteras då oavsett avstånd eller fukthalt när bränslåret startar, vilket minskar effekten av planeringsstrategierna och ger en ökad förståelse för de verkliga förutsättningarna.

Resultat AP4 – Logistik på utlastande terminal

För genomförandet av fallstudien valdes en tågterminal som i huvudsak hanterar skogsbränsle, men som också har möjlighet att hantera timmer och massavedssortiment. Omsättningen på terminalen är ca 100 000 m³ flis årligen, varav huvuddelen lastas ut på tåg. Sortimenten utgjordes dels av skogsbränsle som kommer flisat från skogen (grot), dels av stamved (tex granbarkborreangripen ved) som flisas på terminalen innan utlastning.

Frågeställningarna som värdföretaget hade 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 bränsleförbrukningen och effektiviteten under tåglastningen?
3. Var skulle det vara mest lämpligt att placera en ny asfaltsyta på terminalen?

Utöver att besvara dessa frågor var forskningsprojektets målsättning att undersöka vilken indata som på ett enkelt sätt kan tillhandahållas av värdföretaget (och skogsföretag i allmänhet), samt om det finns ytterligare indata som skulle vara värdefull för analysen. Vi var också intresserade av att se vilka anpassningar som behövdes i programmet för att passa analyser där skogsprodukter hanteras.

Analyserna från fallstudien bearbetas för närvarande, men några preliminära resultat kan ändå nämnas här.

Data över ytor och materialflöden har relativt lätt kunnat tillhandahållas av värdföretaget. Den största svårighet som projektet stötte på i datainsamlingen var att få korrekta siffror över bränsleförbrukningen eftersom maskinerna på terminalen var gamla och därför inte kunde visa sådan information. Att tanka upp maskinerna före och efter en tåglastning för att se förbrukningen var inte heller lämpligt eftersom en fulltankad maskin som lämnas utgör en allt för stor stöldrisk. Äldre utrustning är vanlig på många skogsbränsleterminaler vilket försvårar denna

del av datainsamlingen. En grov siffra över bränsleförbrukningen kunde dock tillhandahållas genom entreprenörens egen tankningsuppföljning vilket var tillräckligt för att kunna kalibrera Volvos data. Volvo har i modellen detaljerade funktioner för sina maskiners förbrukning i varje del av lastcykeln. Men eftersom materialet och arbetet skiljer sig från tillämpningar inom anläggningsbranschen behövdes en kalibrering mot faktisk förbrukning. En annan möjlighet att kalibrera förbrukningen skulle kunna vara att använda data från nyare maskiner på en annan skogsbränsleterminal som utför liknande uppgifter.

I frågan om stackarnas placering framkom under intervjuer och vid besök på terminalen, att det fanns relativt få möjligheter till alternativa placeringar. Detta trots den öppna ytan som till synes kan verka fri att disponera. Delar av ytan var asfalterad och på dessa ytor lagrades flisad stamved. Så långt det är möjligt vill man lägga all flis på asfalt för att minska föroreningar. För stamvedsflis är renhetskraven högre än för grotflis och därför är man extra angelägen om placeringen av denna. Idag ligger vältorna på asfaltsytan vinkelrätt mot spåret och p.g.a. asfaltsytans lutning för avrinning finns ingen praktisk möjlighet att lägga dem på någon annan ledd. Större delen av terminalen saknar dock asfalt och frågan om var en ny asfaltsyta skulle kunna läggas blev istället fokus för analysen.

Maskinerna på terminalen utgörs av Volvos hjullastare L180 och L120 med högtippande skopor. Dessa är designade för att kunna hantera betydligt tyngre material än flis och opererar därför inte optimalt ur bränsleförbrukningssynpunkt. Det finns troligen möjligheter till energibesparingar genom att använda mindre maskiner, men utmaningarna är då att maskinen måste kunna nå upp vid tåglastning och även kunna fördela materialet jämt i containern. Om skopstorleken skulle minskas ökar också antalet vändor som måste köras vid lastning. Att omfördela material i containrarna har dock visat sig tidskrävande och eftersom skopornas bredd idag är ca två tredjedelar av en containerbredd blir det alltid en topp i mitten vid lastning som måste strykas ut. Kommande simuleringar kommer därför pröva effekterna av en skopbredd som är närmare en halv container bred.

Resultatet i sin helhet planeras att publiceras i Skogforsks rapportserie Arbetsrapporter och förhoppningsvis även som vetenskaplig artikel.

Diskussion

Energi från skogen spelar en viktig roll i den svenska energiförsörjningen. Även om den tillförda energin i försörjningskedjan generellt är låg i förhållande till energin som materialet ger är det väsentligt att effektivisera alla delar så långt det är möjligt, särskilt med tanke på att det idag huvudsakligen rör sig om fossila drivmedel. Projektet visar att det finns möjligheter till effektivisering inom så väl organisation och systemstöd, flisning- och transportplanering som intern terminallogistik. Om utvecklingsarbetet fortsätter att bedrivas inom alla dessa områden är det inte orimligt att tro att projektets målsättning om att spara 7–10 % av energin skulle vara möjligt. Den stora besparingen av fossil energi sker dock

när transporter flyttas från en längre lastbilstransport till en kort lastbilstransport för att sedan gå på järnväg.

Genom litteraturstudien och intervjustudien har de kvantitativa analyserna via simuleringsmodellerna kunnat byggas utifrån en djupgående förståelse för systemen som helhet. Dessa inledande studier har visat på en stor komplexitet som är svår att fånga i modeller men som är viktig att känna till för att kunna bedöma resultaten. I båda delarna av det verkliga systemet (flisning och transport respektive terminalhantering) finns begränsningar som gör att planeringsstrategier inte kan användas fullt ut och att upplägget på terminal inte alltid har så stora frihetsgrader som det initialt kan verka. I ett långsiktigt arbete är det dock möjligt att göra förändringar som möjliggör en friare planering, t.ex. arbeta för att fler vältor täcks med papp och att ta med sig erfarenheterna från analyser av terminalplanering när en ny terminal ska anläggas. Därför kan man på längre sikt gå i riktning mot den teoretiska potentialen.

I de flesta modeller för utveckling av försörjningskedjor ingår att intervjua aktörerna inom den valda kedjan för att kunna beskriva nuläget, men ofta är sådana intervjuer inriktade på kvantitativ faktainsamling. Här används en metod som går djupare och som strukturerar allt material, inte bara det kvantitativa. Det är inte troligt att de problem som framkom, gällande olika synsätt mellan aktörerna och brister i interaktionen mellan människa och system, hade framkommit i en mer kvantitativt inriktad intervju eller genom ett enkätförfarande. Studien visar att utveckling av kommunikationssystem och arbetsätt har potential att bidra till effektivisering av transport- och flisningsarbetet och därmed kan även energibesparingar göras.

De flesta av resultaten ligger nära implementering, i synnerhet den del som rör intern terminallogistik. Där finns också möjlighet att dra generella lärdomar av terminalsimuleringarna. För närvarande testas hypotesen att mindre maskiner kan sänka energiförbrukningen i lastningsarbetet. Om detta skulle visa sig stämma är det ett resultat som många företag som bedriver terminalverksamhet kan dra nytta av i sitt utvecklingsarbete.

Modeller för utveckling av terminalhantering blir också ett viktigt verktyg i övergången till fossilfrihet. Att ställa om till eldrift i en verksamhet som sker inom ett begränsat område och med ett ojämnt kraftuttag betraktas som en lågt hängande frukt i jämförelse med att köra eldrivna fordon ut till varierande skogsområden. Det är dock rimligt att tänka sig att de stora vedgårdarna i anslutning till industrier kommer att vara pionjärer snarare än utlastande terminaler som idag ofta använder äldre maskiner. I vilket fall kommer analyser av terminalupplägg och energiåtgång i lastningsarbetet att vara viktiga i en sådan omställning och området bör även vara intressant för vidare forskning.

Publikationslista

Vetenskapliga publikationer inom projektet

- I. Enström, Johanna. 2022. 'A Systems View of Advancements in Biomass Supply Chains', Licentiate thesis, comprehensive summary, Mittuniversitetet.
- II. Väättäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Enström, J., Laitila, J., Prinz, R., & Routa, J. (2021). Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. Croatian Journal of Forest Engineering, volume: 42: 24.
- III. II. Enström, J. Qualitative Aspects of Communication and Relations Between the Actors in a Supply Chain for Forest Fuel. in 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2020.

Manus under arbete, preliminära titlar

- Planning terminal operations using simulation tool – a case study of reloading chipped forest residues on railroad.
- Possibilities and challenges in using weather- and transport-data for transport planning of forest fuel.

Webbartikel

[Olika perspektiv i försörjningskedjan för skogsbränsle – en intervjustudie - Skogforsk](#) (publicerad 2021-03-16)

Bilagor

Bilaga 1. Administrativ bilaga till Energimyndigheten.

Referenser

Enström, J. (2020). Qualitative Aspects of Communication and Relations Between the Actors in a Supply Chain for Forest Fuel. 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM).

Enström, J. and O. Gustavsson. (2021). "Olika perspektiv i försörjningskedjan för skogsbränsle." from <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2021/olika-perspektiv-i-forsorjningskedjan-for-skogsbransle--en-intervjustudie/>.

Eriksson, A., L. Eliasson, L. Sikanen, P.-A. Hansson and R. Jirjis (2017). "Evaluation of delivery strategies for forest fuels applying a model for Weather-driven Analysis of Forest Fuel Systems (WAFFS)." Applied Energy **188**: 420-430.

Fu, J. (2013). Logistics of Earthmoving Operations : Simulation and Optimization. 13:002 Licentiate thesis, comprehensive summary, KTH Royal Institute of Technology.

Kons, K., D. Bergström, U. Eriksson, D. Athanassiadis and T. Nordfjell (2014). "Characteristics of Swedish forest biomass terminals for energy." International Journal of Forest Engineering **25**(3): 238-246.

Virkkunen, M., J. Raitila and O.-J. Korpinen (2016). "Cost analysis of a satellite terminal for forest fuel supply in Finland." Scandinavian Journal of Forest Research **31**(2): 175-182.

Väätäinen, K., P. Anttila, L. Eliasson, J. Enström, J. Laitila, R. Prinz and J. Routa (2021). "Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden." Croatian Journal of Forest Engineering **volume: 42**: 24.