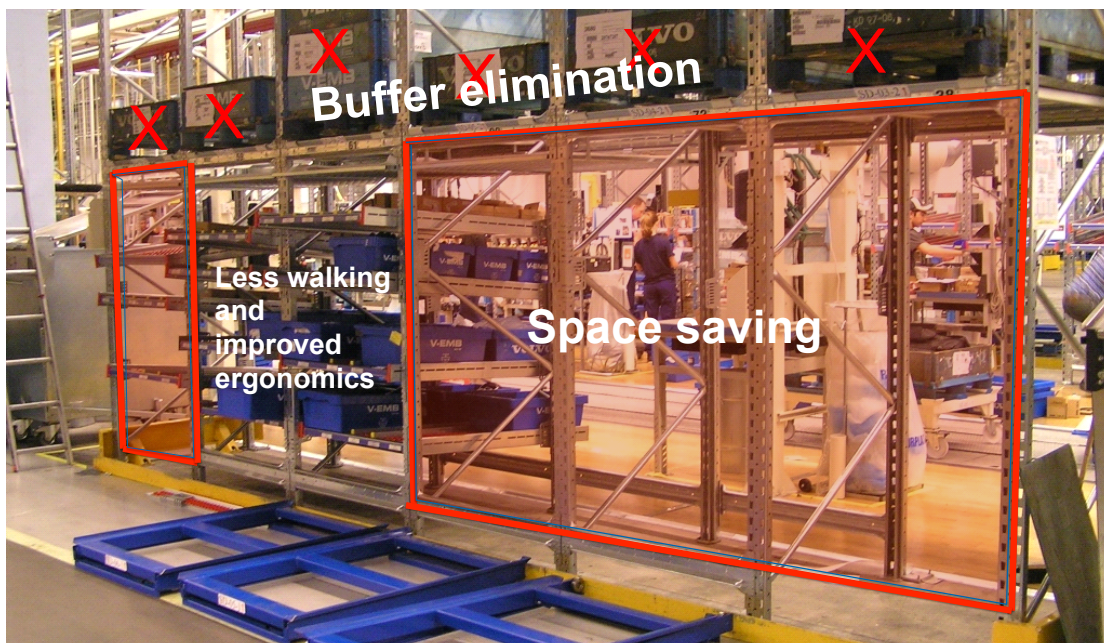


Hållbara och kostnadseffektiva försörjningskedjor



Projekt inom delprogrammet Hållbar produktionsteknik

Carl Wänström, Mats Johansson, Patrik Fager, Henrik Brynzér

2013-09-12

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund.....	4
3. Syfte	7
4. Genomförande	8
5. Resultat.....	8
6. Spridning och publicering	11
6.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	11
6.2 Publikationer.....	12
7. Slutsatser och fortsatt forskning	14
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	17

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften. För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Projektet formades utifrån tre grundläggande observationer, vilka tillsammans väsentligt förändrat kraven vid utformning av försörjningskedjor. Den första att tillämpningen av lean-baserad produktion numera kraftigt styr utformningen av arbetsstationer i produktion, t ex monteringsstationerna. För det andra ger ett ökat fokus på hållbarhet och miljöfrågor drastiskt ökat behov av nya modeller vid utformningen av försörjningskedjor, och för det tredje påvisas stora potentialer i kostnads- och tidsreduktion i försörjningskedjor vid tillämpning av värdeflödesanalys. Detta leder till ett behov av utvärderingstekniker och metoder som täcker en rad olika utformningar av försörjningskedjor, nya designmetoder för försörjningskedjor, samt beslutsstöd för att utveckla lean-baserade och hållbara försörjningskedjor. Således var syftet med projektet att bidra till förståelsen av och metoder för hur utformning och utvärdering av hållbara och kostnadseffektiva försörjningskedjor som stöder lean-baserade produktionsprocesser bör utföras.

Projektet omfattade alla industriella aktörer inom FFI-programmet och förlitade sig till stor del på fallstudier som utfördes hos de deltagande företagen. Dessa studier kombinerade ofta utvecklingen av modeller och metoder med testning och pilot-implementeringar hos företagen. Resultaten spreds bland aktörerna genom workshops och seminarier, vilket ytterligare stärkt resultaten och förståelse av resultatens användbarhet.

Bland de teoretiska bidragen från projektet finns utvecklingen kring begreppet material-exponering, som ett gränssnitt mellan materialförsörjning och montering. Detta gränssnitt realiserar materialförsörjningssystemets produkt i form av en tillgänglig komponent för monteringsystemet, givet de krav som ställs från monteringsystemet och ger ramar för hur materialförsörjningssystemet kan utformas. På detta sätt kan principerna för lean produktion i monteringen stödjas av materialförsörjningen, och samtidigt medge en utveckling mot ett materialförsörjningssystem som i sig självt är lean.

I en fallstudie undersöktes system för omplockning av material mellan förpackningstyper, som kan vara nödvändigt för att uppfylla kraven från monteringsystemet samtidigt som transportkostnaderna hålls nere. Från fallstudien gjordes en klassificering av komponenter som kan hanteras manuellt i denna typ av omplockning, och fem olika typer av komponenter identifierades. Fallstudien fastställde bl a tiden att plocka om komponenter mellan olika typer förpackningar. Dessa resultat har omsatts i fortsatt arbete inom fallstudieföretaget, vid utformning av system för att plocka om material.

En teoretisk modell togs fram för att jämföra hur olika förpackningsval påverkade kostnad och CO₂-emissioner för materialförsörjningen. En fallstudie valde att jämföra två olika förpackningar med principiellt olika karaktäristik, där den ena var en konventionell returförpackning baserad på plast och den andra en engångsförpackning. I detta fall visade sig engångsförpackningen klart fördelaktig ur både kostnads- och miljösynpunkt.

En ny metodik för att beskriva och utvärdera kravuppfyllelsen hos materialflöden utvecklades inom delprojektet Materials Flow Mapping. Denna metodik ger möjligheten att bättre, och i större detalj, studera materialflöden och dess aktiviteter. En sådan

detaljeringsnivå i analysen visade sig värdefull som utgångspunkt vid förbättringsarbete inom materialförsörjningssystemet, där det finns behov av att kunna beskriva de ofta icke-värdeadderande aktiviteter som sker.

Ett delprojekt genomfördes med syfte att utveckla en kalkylmodell för beräkning av kostnaderna för förpackning, transport och logistik inom fabrik i en försörjningskedja från leverantör till montering, samt implementera denna i en mjukvara. Detta är ett viktigt bidrag i utvecklingen av ett *beslutsverktyg för val av materialförsörjningsupplägg*. Modellen utgör ett jämförelsevis snabbt verktyg för kostnadsuppskattningar av olika konfigurationer i materialförsörjningen.

Ett avslutande område har behandlat *materialstyrning*, för att stödja den forskning som gjorts kring de fysiska flödena. Fokus har legat på dragande materialplanering med hänsyn till människa, teknik och organisation (MTO), ett behov som identifierades under projektets gång. Resultatet är tvådelat, där den första delen är en modell bestående av MTO-faktorer som är viktiga att ta hänsyn till i design- och implementeringsfasen av ett dragande system. Vidare har forskningen gett en bättre förståelse för potentiella problem under en implementeringsprocess av ett externt pull-system och klassificerat dessa problem utifrån MTO-dimensioner.

Vid sidan om de direkta resultaten har samverkan inom området väsentligt stärks, bl a genom de gemensamma utvecklingsinsatserna, workshops och företagens besök i varandras verksamheter. Projektet har vidare lett till att behov av fortsatt forskning identifierats. Här kan nämnas att användande av MFM-modellen pekade på betydande potentialer avseende de administrativa aktiviteterna i materialförsörjningen. Här behövs forskning för att identifiera brister i dagens informationssystem, samt normativa resultat kring kravbilderna på lämplig systemutformning. Hur materialexponering och försörjningskedja påverkar produktkvalitet har inte studerats. Informationsaspekten i plockstödet, i alla delar av materialförsörjningen, har visat sig ha hög relevans. Här har nya tekniker utvecklats, men deras effekter i olika situationer är inte utredd. Projektet har också identifierat många ergonomifrågeställningar och vissa framtagna modeller kan kompletteras med denna aspekt.

2. Bakgrund

Projektet "Hållbara och kostnadseffektiva försörjningskedjor" baserades på resultat från MERA-projektet "SwePS - Swedish Production System" (Vinnova Dnr 2006-00124), och på diskussioner inom MERA-programmets industrikuster inom "Logistik och materialhantering", vilket säkerställde teoretisk relevans och behandling av aktuella industriella problem. Projektet bildades utifrån tre grundläggande observationer, vilka väsentligt förändrat kraven vid utformning av försörjningskedjor, och som inte hade tagits omhand inom forskningen:

1. tillämpningen av lean-baserad produktion styr numera kraftigt utformningen av arbetsstationer i produktion, t ex monteringsstationerna, och därmed kraven på materialförsörjningsprocessen.
2. fokus på hållbarhet, i bemärkelsen miljöhänsyn, ökar behovet av nya modeller vid utformningen av försörjningskedjor, där hållbarhetsvariabler är integrerade.
3. stora potentialer i kostnads- och tidsreduktion i försörjningskedjor kan identifieras vid tillämpning av värdeflödesanalys, vilket påkallar förändring.

Projektet studerade leverantörskedjan från de tillverkande företagens perspektiv, för både OEM-företag och leverantörer. Detta innebär att designaspekter och förbättringar av transportsystemet låg utanför projektområdet. Leverantörskedjan studerades som ett antal delprocesser i materialförsörjningen, vilka äger rum inom olika organisationer och på olika platser.

Hållbar utveckling har på senare tid utvecklats som en av de viktigaste frågorna i samhället (Holm, 2007). Världskommissionen för miljö och utveckling definierade hållbar utveckling som en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina egna behov, och innehåller tre spår: ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet (World Commission on Environment and Development, 1987). De grundläggande fundamenten inom lean produktion är liknande definitionerna av hållbarhet, dvs långsiktig filosofi och långsiktigt tänkande för att skapa mervärde för kunderna och samhället som helhet (Liker, 2004). Lewis (2000) behandlar sambandet mellan konkurrensfördelar och hållbarhet, samt användningen av kontinuerlig förbättring (en huvudingrediens inom lean produktion) för att uppnå hållbarhet. Således finns det en god överensstämmelse mellan hållbarhet och filosofin bakom lean produktion.

Hållbarhet har nyligen blivit ett viktigt och betonat forskningsområde inom logistik. Dock har majoriteten av denna forskning tagit utgångspunkt i transportsystemets och transportindustrins perspektiv, vilket innebär att de aktuella frågorna i de tillverkande företagen vid utformning av försörjningskedjor inte kan behandlas i samma grad. Viss forskning finns kring att utveckla leverantörskedjerelaterade förbättringar av miljöprestanda och det finns forskning på temat "grönt inköp", som omfattar val av leverantör och leverantörsutveckling. LCA-modeller har utarbetats, som beaktar både transporter och produktion. Dock är denna forskning inte väl anpassad till beslutssituationerna inom tillverkande företag när det gäller utformning och val av leverantörskedja.

Lean produktion är en filosofi som sträcker sig långt bortom vad namnet antyder, och inkluderar fler områden i ett företag än de primära produktionsprocesserna (Liker, 2004; Monden, 1998, Ohno, 1988). Logistikforskning där lean produktion studeras kan hittas i Baudin (2004), Hines och Rich, (1997), och i Jones, Hines & Rich (1997). I lean produktion är en grundläggande princip värdeflödesorientering, men mest fokus i praktiken såväl som i forskningen har varit på området värdeflöde i produktionen. Däremot är värdeflödesorientering lika viktiga och givande i försörjningskedjor och dess aktiviteter och därför är mer forskning nödvändig kring värdeflödesorienteringens inverkan på försörjningskedjor.

Materialförsörjning och monteringsprocesser är två sammankopplade delar av försörjningskedjan, var och en med egna motivbilder, vilket skapar en ömsesidighet i matchningen mellan krav i monteringen och materialförsörjningsprocessens tolkning av dessa krav. Ur ett lean produktions perspektiv är värdeflödet i fokus inom försörjningskedjan (Womack och Jones, 2003). Enligt ett lean produktions perspektiv bör material levereras utjämnat i små partier, där försörjningen styrs av den faktiska förbrukningen av material på monteringsstationen (Baudin 2002, Liker 2004, Monden 1998). Mindre batcher i försörjningen skapar ett jämnare flöde och synkronisering av dessa med monteringen kan uppnås genom att införa taktid i materialförsörjningen, av samma skäl som takt används i monteringen (Monden, 1998). Detta är dock ofta inte fallet i industrin, där leveransprocesser ofta baseras på principer som motsäger de från lean produktion, vilket innebär lågfrekventa leveranser, stora leveranskvantiteter, omfattande förråd och buffertar, etc. Det finns alltså ett behov av att bättre förstå de konsekvenser som olika utformningar av försörjningskedjan har på effektiviteten och i förhållande till hållbarhetsaspekter.

Inom lean produktion bör en montör endast utföra värdeskapande arbete (Rother och Shook, 2003). Därför bör materialet vid en monteringsstation levereras i ett kontinuerligt flöde och exponeras gynnsamt för operatören, dvs materialexponeringen bör utformas för att hjälpa operatören att skapa värde för slutkunden. Materialförsörjningsprocessen bör utformas med dessa krav i åtanke. Trots ovanstående har monteringsprocesser och materialförsörjningsprocesser ofta utformats separat och med endast liten hänsyn till varandra, vilket leder till suboptimeringar (Tompkins et al., 2003). Istället är materialförsörjningsprocessen ofta utformad med en snävare syn på effektivitet, där materialförsörjningen och speciellt transportprocesserna fokuseras, snarare än den totala verksamhetseffektiviteten i värdeflödet eller för att ta hand om kraven från monteringen (Tompkins et al., 2003). Ett annat exempel på detta är de så kallade "landed cost" modellerna, där många företag försöker balansera inköpskostnader, transportkostnader etc. Dessa modeller har allvarliga begränsningar i sin tillämplighet när monteringsystemet tas i beaktande. Det finns därför ett behov av att bättre förstå hur olika utformningar av processer inom försörjningskedjan påverkar den totala effektiviteten i materialförsörjningen och prestandan för monteringsprocesserna.

Ett transportfokus har varit normen inom logistik och försörjningskedjor, vilket har påverkat valet av materialförsörjningsprocess (Tompkins et al., 2003). Inom svensk fordonsindustri väljer inköpare och produktionstekniker förpackningar nästan uteslutande från ett litet antal standardiserade förpackningstyper, som alla är en modul av EUR-pallen (800 x 1 200 mm). Förpackningar väljs utifrån skalfördelar i förpackningssystemet och med prioriteringen att skydda komponenterna och underlätta transport från leverantören, i stället för att anpassas till de värdeadderande aktiviteterna i försörjningskedjan. Därmed uppfyller det faktiska sättet att utforma materialförsörjningsprocesserna inte kraven som ställs från monteringsprocesserna utan är snarare en konsekvens av det mest effektiva sättet att leverera material sett från ett externt försörjningsperspektiv (Tompkins et al., 2003).

Hines et al. (2004) beskriver suboptimeringar i utformningen av försörjningskedjan och hävdar att optimering av ett sådant system bestäms av det värde som skapas för kunden, och inte av prestanda inom de enskilda delsystemen, såsom produktionsanläggningen eller distributionskanalen. Det är därför mycket viktigt att kunna förstå hur olika utformningar av försörjningskedjan påverkar hela verksamheten. Dessutom visade SwePS-projektet att det förekommer många lagrings- och buffertaktiviteter mellan leverantören och monteringsstationen hos mottagaren av materialet. Varje sådan aktivitet resulterar i sin tur i åtminstone två hanteringsaktiviteter, förlängd genomloppstid, ökad mängd produkter i arbete, utrymmesbehov och minskar flexibiliteten att reagera på förändringar på marknaden, etc. Slutsatsen i SwePS-projektet var att det finns en mycket stor potential till förbättring i försörjningskedjorna inom svensk fordonsindustri.

Beskrivningen ovan visar en stor potential att utforma mer lean-karaktäriserade försörjningskedjor, men detta ställer helt andra krav på nuvarande försörjningskedjor jämfört med det traditionella sättet att leverera material, och innebär stora utmaningar när det gäller förmågan att överväga och värdera miljöprestanda i samtliga designfaser av ett materialförsörjningssystem. Följaktligen ifrågasätts försörjningskedjorna inom fordonsindustrin utifrån det fokus lean produktion har på att maximera andelen värdeadderande tid i värdet flödet och det finns ett behov av utvärderingsmodeller för hur försörjningskedjans utformning påverkar hållbarhet och kostnadseffektivitet i ett värdeflöde.

3. Syfte

I produktionsprocesser inom fordonsindustrin i Sverige sker nu ett stort antal förändringar i syfte att införa lean produktion och svara mot ökade krav avseende miljömässig hållbarhet, och denna anpassning är lika viktigt för företagens försörjningskedjor. När dessa frågor blir av hög prioritet, eller av högsta prioritet, kommer utformningen av försörjningskedjorna att ifrågasättas och alltså måste procedurerna för utformning av försörjningskedjorna vidareutvecklas. Är dagens utformningar effektiva när det gäller att stödja en hållbar utveckling och lean produktion, och är det utformningar som leder till försörjningskedjor som själva kan betraktas som effektiva (lean)? Det är därför nödvändigt att bättre förstå och kunna värdera olika försörjningskedjor utifrån påverkan på hållbarhet och kostnadseffektivitet, vilket innebär ett behov av utvärderingstekniker och metoder, nya designmetoder och beslutsstöd för att utveckla lean-baserade och hållbara försörjningskedjor.

Således är syftet med projektet att bidra till förståelse och metoder för hur man kan utforma och utvärdera hållbara och kostnadseffektiva försörjningskedjor som stödjer lean-baserade produktionsprocesser.

4. Genomförande

Projektet baserade sig på ett antal djupa fallstudier som utfördes i de samverkande företagen. Dessa fallstudier utfördes inom två faser (1 och 3) av projektet. I fas 1, som föregicks av projektets initieringsfas, valdes studierna i syfte att spegla olika och typiska strukturella utformningar av försörjningskedjor som relaterade till omfattningen av projektet och för att inkludera de utmaningar som beskrivs i bakgrundskapitlet. Fas 1 av projektet ledde till en fördjupning och syntetiserande analys i fas 2, som syftade till att ge preliminära svar på forskningsproblemen, fördjupning och eventuell omformulering av problemen, och till att lägga till frågor som under fas 1 fanns vara av stor vikt för att uppfylla syftet. Utvecklingen av generiska modeller skedde parallellt med fallstudierna. Denna fas resulterade i de föreslagna modellerna.

Den andra omgången fallstudier, som utförts i fas 3 av projektet, hade som ändamål att bidra till de omformulerade och fördjupade problembeskrivningar som framkom i de föregående faserna, samt att förfina och validera de föreslagna modellerna.

Fas 4 i projektet behandlade slutförande och spridning av resultat, även om informationsspridning skedde i stor omfattning också under projektets gång. Exempelvis resulterade Fas 1 i detaljerade fallbeskrivningar som var av stort intresse för många företag, och som använts som underlag för workshops inom projektet. Det generaliserade arbetsmönstret i varje studie följde strukturen nedan:

1. Uppstart av fallstudie, inklusive arbetspaket, detaljerade tidsplaner och organisering
2. Huvudstudie och preliminär analys
3. Presentation av preliminära resultat för hela projektgruppen, inklusive representanter från samtliga företag som deltog i projektet, i workshops och projektmöten
4. Insamling av kompletterande data, om nödvändigt, samt fördjupad analys
5. Presentation av resultat inom projektgruppen, inklusive en diskussion kring validering och generalisering, samt identifiering av ytterligare frågor som uppkom av resultaten

5. Resultat

Projektet och dess fallstudier har levererat ett flertal olika resultat på olika nivåer. Fallstudien ”*Packaging downsizing*” studerade hur man internt i den egna fabriken kan plocka om komponenter från större förpackningar anpassade till externa transporter, till förpackningar anpassade till den interna materialförsörjningen och materialexponeringen i montering. Kraven från monteringsstationen kan kraftigt skilja sig från de som gäller den externa transporten. Från fallstudien gjordes en klassificering av komponenter som kan hanteras manuell i denna typ av omplockning, och fem olika typer av komponenter identifierades. Fallstudien fastställde bland annat tiden det tog att plocka om dessa komponenter mellan olika typer förpackningar. Dessa tider har redan omsatts i

vidare arbete inom fallstudieföretaget, dels i nya sätt att plocka om material, dels som utbildningsmaterial och som input till nya förändringsarbeten på företaget.

Fallstudien ”*Val av förpackningssystem utifrån ett hållbarhetsperspektiv*” genomfördes över en hel försörjningskedja från leverantör till förbrukning i en monteringsfabrik. Fallstudien studerade hur förpackningen som valdes ut för materialexponeringen påverkade försörjningsflödet i kostnads- och hållbarhetstermer. En teoretisk modell togs fram för att jämföra hur olika förpackningsval påverkade i form av kostnad för materialförsörjningen och CO₂-emissioner. Fallstudien valde att jämföra två olika förpackningar med principiellt olika karaktäristik, där den ena var en konventionell returförpackning baserad på plast och den andra en engångsförpackning i ett pappbaserat material. Fallstudieresultaten visade på flera intressanta slutsatser. Dels att modellen som utvecklades var användbar och generaliserbar, och dels kunde den ofta etablerade konventionen att det både är miljömässigt och kostnadsmässigt bättre att använda returförpackningar kullkastas. Fallstudien visade med tydlighet att det för det valda fallet var bättre ur både kostnads- och miljöperspektiv att använda en engångsförpackning.

Den multipla fallstudien ”*Utvidgad värdeflödesanalys*” tog sin utgångspunkt i behovet att kunna beskriva de ofta icke-värdeadderande aktiviteter som sker i försörjningsflöden. Vari består dessa aktiviteter av och hur stämmer dessa överens med de krav som finns på flödet? En metodik för att beskriva materialflöden och kartlägga kraven på materialflödet utvecklades i fallstudien, som sammantaget studerade sju flöden med 22 ingående företag. Med hjälp av metodiken kunde fallstudien detaljerat beskriva ett flertal flöden och de krav som etablerats på dessa. Metodiken syftade till att ändamålsenligt kunna beskriva flödena som grund för värdering, utformning och förbättring av dessa. Dessutom visade det sig att genomförandet av studierna, dvs användandet av metodiken, skapade en väsentligt ökad interaktion mellan företagen i försörjningskedjan. Metodiken kom också att användas i de två fallstudierna som beskrivits ovan, samt i ett antal olika studentprojekt.

Flera olika studentarbeten har levererat resultat till projektet, samtidigt som erfarenheter från projektet kunnat spridas inom grundutbildningen. Inom fallstudierna ”ECO-tool”, ”Flöden av returförpackningar mellan Volvo Logistics och kunder” och ”Produktflödesanalys - komponenttillverkning till slutmontering Volvo Powertrain” resulterade det i rapporter som kunde nyttiggöras inom fallstudieföretagen i deras dagliga verksamheter. ECO-tool testade och vidareutvecklade ett IT-baserat verktyg som fallstudieföretaget själva utarbetat. Returförpackningarna hos Volvo Logistics studerades i ett examensarbete, vilket fokuserade på kostnads- och miljöaspekterna i tvätten av returförpackningar. Den senare studien gav också input till fallstudien kring den ovan redovisade modellen för förpackningsval. Hos Volvo Powertrain studerade dessutom en hel kurs med många studenter (Lean Production inom Master in Prod Engng) flera flöden i komponenttillverkningen, och kartlade materialflöden inom denna med den metodik som utvecklades inom den utvidgade materialflödesanalysen. Ytterligare ett examensarbete har studerat användande av förpackning för småmaterial i materialexponeringen och hur dessa påverkar materialflödet från leverantör till line i monteringsfabrik.

En projektgrupp i kursen 'Projects in Production Engineering' analyserade med hjälp av MFM-metodiken produktionsprocesser och materialflöden för fyra produktfamiljer vid Volvo Powertrain i Skövde. Projektet resulterade i fyra förslag, ett för varje produktfamilj, kring hur den dåvarande situationen kunde förbättras. Ett av förslagen implementerades senare i fabriken under ett examensarbete utfört av två av projektgruppens medlemmar.

Ett delprojekt genomfördes med syfte att utveckla en kalkylmodell för beräkning av kostnaderna för förpackning, transport och logistik inom fabrik i en försörjningskedja från leverantör till montering, samt implementera denna i en mjukvara. Avsikten med detta var att bidra till utvecklingen av ett *beslutsverktyg för val av materialförsörjningsupplägg*. Då resultatet från användning av mjukvaran för kostnadsuppskattning beräknas utifrån en databas som är unik för företaget som programmet har anpassats för, är det möjligt att urskilja detaljer såsom transportmetod, avstånd till leverantörerna i form av land och postnummer samt årliga volymer som mottas från en specifik leverantör som utdata i en sammanställning av resultaten. Detta tillåter användaren att erhålla en överblick över olika egenskaper hos den specificerade försörjningskedjan som möjliggör insikt och förståelse av aspekter såsom till exempel hållbarhet. Kostnadseffektivitet är dock den primära utvärderare som används i programmet och de kostnadsuppskattningar som erhållits som resultat överensstämmer med beräkningar gjorda med manuella rutiner hos det samverkande företaget vid tidpunkten för delprojektet. Eftersom tyngdpunkten i programmet är kostnadseffektivitet, tas graden av uppfyllande av kraven på försörjningskedjan inte i beaktande av mjukvaran. Istället är mjukvarans avsedda användning vid den tidpunkt då olika lösningar som redan har verifierats uppfylla kraven jämförs med varandra. En bedömning av överensstämmelse med kraven kan göras med hjälp av MFM-metodiken. Modellen utgör ett jämförelsevis snabbt verktyg för kostnadsuppskattningar av olika konfigurationer. Vid tidpunkten för slutförandet av delprojektet, var programvaran i bruk vid det samverkande företaget. Dessutom har arbetet med att anpassa programvaran för användning vid andra produktionsanläggningar påbörjats i samarbete med forskargruppen.

Ett delprojekt genomfördes med syfte att *testa och utvärdera metoden "Material Flow Mapping"* (MFM). Delprojektet konstaterade att MFM-metoden är en förhållandevis snabb och exakt metod för att upptäcka förbättringsmöjligheter i redan existerande materialhanteringssystem. De så kallade materialflödeskartor över de studerade materialflödena kan användas för att öka kunskapen och förståelsen om den faktiska situationen för de processer som studerats och vidare även för aspekten hållbarhet i försörjningskedjan. Denna kunskap kan i förlängningen användas för att förbättra kommunikationen och medvetenheten om systemet hos både ledning och materialhanteringspersonal vilket är en viktig aspekt av verksamheten om hållbarhet eftersträvas.

Forskningen kring val av materialförsörjningsmetod har visat på vilka faktorer som är viktiga att ta hänsyn till samt vilka faktorer som används inom industrin. I en fallstudie följdes ett företag inom fordonsindustrin (VCE) under deras arbetsprocess kring att ta fram ett verktyg för val av materialförsörjningsmetod för en specifik komponent. Denna

studie gav bättre förståelse för vilka faktorer som är viktiga att ta hänsyn till, men även ökad förståelse kring framtagning av ett sådant verktyg.

Området för *materialstyrning* har startat under den senare delen av projektet för att stödja den forskning som gjort kring de fysiska flödena. Fokus har legat på dragande materialplanering med hänsyn till människa, teknik och organisation (MTO). I ett dragande materialplaneringssystem finns det oftast en hög grad av mänsklig interaktion, vilket innebär att exempelvis montörer, materialplanerare och förrådspersonal inte bara behöver vara fysiskt involverade i systemet, utan även ha en deltagande roll i materialplaneringsprocessen. Detta kan öka risken för fel orsakade av individerna, och kan också bidra till ett mer komplext socialt system eftersom samarbetet mellan avdelningar är nödvändigt. Ännu mer komplext kan ett externt materialplaneringssystem bli, som involverar mer än en organisation. Det är därför av intresse att undersöka hur människa, teknik och organisation interagerar i, och påverkar resultatet i ett sådant system.

Resultatet av forskningen kring design och implementering av ett dragande system är tvådelat. Den första delen är en modell bestående av mänskliga, tekniska och organisatoriska faktorer som är viktiga att ta hänsyn till i en design- och implementeringsfas av ett dragande system. Denna modell kan delvis användas för vidare forskning, men även som en checklista för ledare inom industrin i arbetet med att utforma ett dragande system. Vidare har forskningen gett en bättre förståelse för potentiella problem under en implementeringsprocess av ett externt pull-system och klassificerade dessa problem enligt MTO-dimensioner. Dessutom har studien visat hur fokus i de inledande faserna av implementeringsprocessen kan påverka de senare faserna av processen. Resultaten tyder på att det kan vara svårare att förutse problem som rör människor och organisation, trots att dessa områden i fallstudieföretaget var i fokus under de två första stegen i processen. Dessutom verkar det som om dessa problem tar längre tid att lösa, vilket kan betyda att de är viktiga att inkludera tidigt i genomförandeprocessen. Med andra ord visare resultaten hur viktigt det är att inkludera mänskliga och organisatoriska aspekter tidigt i ett projekt, på samma sätt som man gör med tekniska aspekter. Detta är särskilt viktigt när man utformar ett dragande system som sträcker sig över mer än en organisation.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultat spridning

Resultat och erfarenheter från projektet har, förutom inom projektet vid projektmöten och workshops, förmedlats vid:

- Seminarium, Delft University of Technology, oktober 2009
- Föredragning vid VTI Transportforum, Linköping, januari 2010
- Monteringsforums konferens, presentation, mars 2010
- Seminarium med Smålands produktivitetsförening, Jönköping, mars 2010
- FFI-dag, Scania, april 2010
- Workshop inom fordonskomponentgruppen, Chalmers Lindholmen, maj 2010

- EurOMA konferens Porto, juni 2010
- Workshop med fokus på omplockning och plockstöd, Volvo Cars, september 2010
- Workshop med fokus på kitting, SAAB Automobile AB, Trollhättan, september, 2010
- FFI konferens, Tekniska mässan, Stockholm, oktober 2010
- Workshop på Scania, Oskarshamn, oktober 2010
- FFI-dag på Volvo Cars, Göteborg, februari 2011
- Monteringsforums konferens, Stockholm, mars 2011
- Workshop med inriktning på logistikcenter, DB Schenker, Business Park Arlanda, april 2011
- SPS, Swedish Production Symposium konferens, Lund, maj 2011
- Logistik och transportmässan, Göteborg, maj 2011
- Workshop med fokus på flytt av produktion, Göteborg, maj 2011
- NOFOMA Conference, Harstad, Norge, juni 2011
- EurOMA Conference, Cambridge, Storbritannien, juli 2011.
- ICPR Conference, Stuttgart, Tyskland, augusti 2011
- PLAN's tillämpnings- och forskningskonferens, Norrköping, augusti 2011
- EurOMA Conference, presentation vid konferens och deltagande i doktorandworkshop där projektresultat diskuterades, Amsterdam, Holland, juli 2012
- AB Volvo disseminering inom FFI-projekten, Göteborg, oktober 2012
- Volvo Research Foundation konferens, Projektet bidrog med presentation om materialförsörjning och gemensam problembild med city-logistik, oktober 2012.
- Workshop med Volvo Cars om mjukvara för kostnadsuppskattning av försörjningskedjor, Göteborg, juni 2013
- NOFOMA Conference, Göteborg, juni 2013
- EurOMA Conference, presentation vid konferens och deltagande i doktorandworkshop där projektresultat presenterades och diskuterades, Dublin, Irland, juni 2013

Inom utbildningen vid Chalmers har projektresultat och erfarenheter börjat vävas in i kurserna Production logistics, Lean Production och Projects in Production Engineering, inom masterprogrammet Production engineering, och kurserna Material handling and production flow, Production flow management och Projects in Supply Chain Management inom masterprogrammet Supply Chain Management. Tidigare etablerad fortbildningskurs för industriverksamma bedrivs även fortsättningsvis inom Lean Production och har tillförts resultat från projektet.

6.2 Publikationer

Algestam, S. (2013). Implementation of external pull systems – a case study in the automotive industry. *Proceedings from the 20th EurOMA Conference*, Dublin, June 2013.

Algestam, S., Medbo, L., Wänström, C. (2012). Designing a pull oriented material planning system - human, technical and organizational considerations. *Proceedings from the 19th EurOMA Conference*, Amsterdam, July 2012.

- Algestam, S., Rosenberg, P. (2011) Supplier consequences of variation in demand planning information: An automotive industry case study. *Proceedings PLANs Forsknings- och tillämpningskonferens 2011*, Norrköping, August 2011.
- Andersson, A. and Norman, B. (2013). *Effektivisering av stödprocesser: En studie i lean materialhantering*, Master of Science Thesis, Linköping University (in Swedish).
- Brynzér, H. (2011). *Part Classification & Repacking time calculation in the Downsizing Process*, Internal education document, Volvo Car Corporation.
- Brynzér, H. (2011). *Transport Selection & Optimisation*, Internal education document, Volvo Car Corporation.
- Castillejo, A., Stensson, F., (2011). *Returnable plastic packaging flow in the automotive industry An evaluation of the washing from a green logistics' perspective*. Master of Science Thesis, Report No. E 2011:061, Chalmers tekniska högskola.
- Fager, P. (2012). *Standard Material Flows*, Case study report, Division of Logistics and transportation, Chalmers University of Technology.
- Fager, P. (2013) *Supply Chain Cost Estimation Software*, Division of Logistics and transportation, Chalmers University of Technology.
- Fager, P. (2013) Supply chain cost estimation, Excel-based software, Division of Logistics and transportation, Chalmers University of Technology.
- Fager, P. (2013) *Handbook for Supply chain cost estimation software*, Division of Logistics and transportation, Chalmers University of Technology.
- Farish, M. (2012), In the comfort zone, *Automotive Manufacturing Solutions*, July/August, p. 42-46.
- Finnsgård, C. (2013). *Materials exposure: the interface between materials supply and assembly*. Doktorsavhandling. Publiceras under november 2013, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Finnsgård, C., Medbo, L., Johansson, M. (2011). Describing and assessing performance in material flows in supply chains: a case study in the Swedish automotive industry. *Proceedings from the 4th International Swedish Production Symposium*, s. 329-338, Lund, May 2011.
- Finnsgård, C., Medbo, L., Johansson, M., Wänström, C. (2011) Materials flow mapping: a tool for describing and assessing performance of material flows in supply chains. *Proceedings of the 18th EurOMA Conference*, Cambridge, July 2011.
- Finnsgård, C., Wänström, C., (2012), "Factors impacting manual picking on assembly lines: an experiment in the automotive industry". *International Journal of Production Research*, 51 (6), 1789-1798.
- Finnsgård, C., Wänström, C., Medbo, L., Neumann, P. (2011), "Impact of materials exposure on assembly workstation performance". *International Journal of Production Research*, 49 (24), 7253-7274.
- Fredriksson, A., Wänström, C., Medbo, L., (2010). The impact of outsourcing on materials planning. *Proceedings of the 17th EurOMA Conference*, Porto, June 2010.

- Godarzi, S., Sampka, A., (2010), *Small material replenishment at Volvo Powertrain: Implementation of two-bin system for carton containers at Volvo Powertrain in Skövde*, Sweden, Master of Science Thesis, Report No. E2010:008, Chalmers tekniska högskola.
- Gunnarsóttir, D. R., Valdimarsdóttir, M. G., (2012). *Material availability at point of use - Multiple-case study in the automotive industry*. Master of Science Thesis, Report No. E2012/058, Chalmers tekniska högskola.
- Hanson, R., Finnsgård, C., (2011). Impact of unit load size on in-plant materials supply efficiency. *Proceedings of the 21st ICPR conference*, Stuttgart, July 2011.
- Hanson, R. and Finnsgård, C. (2012), "Impact of unit load size on in-plant materials supply efficiency". *International Journal of Production Economics*, forthcoming, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.010>
- Jeganathan, K. and Mani, M. (2012). *Improving the Material and Information Flow from Subassembly Shop to Multiple Final Assembly Lines*, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology.
- Johansson, R. and Söderberg, E., (2011). *Effektivisering och kvalitetssäkring av plockning på Scania*, Master of Science Thesis, Linköping University (in Swedish).
- Kubota, Y. (2012). *Scania internal supply methods*, Internal document, Scania CV.
- Lindström, K. (2013). *Standardized PRIDE*, Internal document, Scania CV.
- Lööv, P. (2012). *Packaging selection process*, Internal document, Scania CV.
- Lööv, P. (2012). *Supply timing – 1:2:4 method*, Internal document, Scania CV.
- Medbo, P., Johansson, M., (2010). Applicability of pull control principles in non-typical pull environments. *Proceedings of the 17th EurOMA Conf*, Porto, June 2010.
- Münster, G., Jeganathan, K., Mani, M., Sundqvist, M. and Fager, P. (2011). *A Material and Information Flow Investigation of Sub-assembly Operations at Volvo Powertrain*, Project report, Div of logistics and transportation, Chalmers University of Technology.
- Neumann, P., Medbo, L., (2010). Ergonomic and technical aspects in the redesign of material supply systems: Big boxes vs. narrow bins. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40 (5) s. 541-548.
- Pålsson, H., Finnsgård, C., Wänström, C. (2011). An evaluation model for comparing one-way vs. returnable packaging from a supply chain perspective - the case of Volvo. *21st Nofoma conference*, Harstad, June 2011.
- Pålsson, H., Finnsgård, C., Wänström, C. (2013), Selection of packaging systems in supply chains from a sustainability perspective - the case of Volvo. *Packaging Technology and Science*. 26 (5), 289-310.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Flera slutsatser, både teoretisk och praktiska, kan dras från arbetet som bedrivits inom projektet. Bland de teoretiska bidragen finns utvecklingen kring begreppet material-

exponering, som ett gränssnitt mellan materialförsörjning och montering. Detta gränssnitt realiserar materialförsörjningssystemets produkt i form av en tillgänglig komponent för monteringsystemet att montera, givet de krav som ställs från kunden i form av monteringsystemet. Dessa krav styr hur materialexponeringen realiseras och ger ramar för hur materialförsörjningssystemet kan utformas. På detta sätt kan principerna för lean produktion i monteringen stödjas av materialförsörjningen, och samtidigt medge en utveckling mot ett materialförsörjningssystem som i sig självt är lean.

Vid monteringsstationen kan det fastslås att materialexponeringen påverkar prestandan inom tre områden: ytbehov för materialexponeringen, andelen värdeadderande arbete, samt ergonomi. Fallstudierna visade på stor påverkan inom alla dessa kategorier och en förändring av materialexponeringen ledde i en av fallstudierna till 20 % produktivitetsökning i monteringsystemet. På en detaljerad nivå studerades vidare hur ett antal faktorer i materialexponeringen påverkade hur lång tid det tar för en montör att plocka komponenter. Resultatet kan användas för att vid en monteringsstation, eller över ett helt monteringsystem, bedöma potentialen för förbättring eller den förväntade skillnaden mellan alternativa exponeringar. Den faktor som påverkade plocktiden mest var förpackningens utformning, följt av om exponeringen var vinklad eller ej, och som tredje faktor den exponerade komponentens höjd.

Hur materialexponeringen är utformad påverkar också vilka resurser som krävs för att realisera materialförsörjningen. En allmän uppfattning är att stora förpackningar ger den mest effektiva materialförsörjningen. Projektresultaten visar dock att de resurser som krävs inte behöver vara proportionerliga mot förpackningens storlek. Projektets resultat visar att små och för monteringen anpassade förpackningar, med hög leveransfrekvens, kan försörjas lika effektivt som större förpackningar (t ex EUR-pall). Ergonomiska aspekter uppströms materialflödet, till följd av de nya och realiserade kraven, har inte studerats inom projektet men har identifierats som väsentliga för fortsatt forskning.

En ny metodik för att beskriva och utvärdera kravuppfyllelsen hos materialflöden utvecklades inom projektet, Materials Flow Mapping. Denna metodik ger möjligheten att bättre, och i större detalj, studera materialflöden och dess aktiviteter. En sådan detaljeringsnivå i analysen visade sig värdefull som utgångspunkt vid förbättringsarbete inom materialförsörjningssystemet. Den i projektet utvecklade metodiken skulle kunna utvidgas för att inkludera beskrivning och utvärdering även av ergonomi och miljömässiga aspekter på flödet. Modellen kan även vidareutvecklas att inkludera en metodik att utifrån beskrivningen aktivt stödja hur förbättringar ansätts, dvs ”future state” i materialförsörjningssystemet. Vidare pekade projektresultaten vid användande av modellen på betydande potentialer avseende de administrativa aktiviteterna i materialförsörjningen. Här behövs fortsatt forskning för att identifiera brister i dagens informationssystem, samt normativa resultat kring lämplig systemutformning.

En modell utvecklades för värdering och jämförelse av olika förpackningssystem, för att välja den bäst lämpade ur kostnads- och miljösynpunkt. Modellen visar vilka variabler man bör ta hänsyn till vid förpackningsval. Fallstudien visade här stor potential för att kraftigt sänka CO₂-förbrukningen i försörjningskedjan. I dagsläget beräknar man i fallstudieföretagen inte den miljömässiga belastning valet av förpackning ger, och model-

len kan därför ha ett stort värde. I fallstudien av ett materialflöde visade det sig att en engångsförpackning i papp i detta fall var bättre både ur miljö- och kostnadssynpunkt. Per komponent som försörjdes till materialexponeringen i monteringsföretaget var förbättringspotentialen 0.37 Euro och 208 g CO₂. Dessa metodiker och modeller ger tillsammans kraftfulla verktyg till hjälp att designa nya och förbättrade materialflöden inom svensk fordonsindustri, och en hållbar produktion av nya fordon.

Projektresultaten har bidragit till flera nya idéer om fortsatt forskning, dels som fortsatt fördjupning utifrån genomförd forskning, dels som utvidgningar inom studerade områden, samt baserat på nya aspekter utifrån projektresultaten. Forskningen kring hur materialexponeringen påverkade prestanda hos arbetsstationen har identifierat flera behov av fortsatt forskning. En parameter som legat utanför de studier som genomförts är hur materialexponeringen påverkar produktkvalitet på färdig produkt. Vidare kan man utvidga studien om plocktider till att inkludera ytterligare faktorer som kan påverka plocktiden. Studien som genomfördes i det aktuella projektet avgränsades, och de faktorer som tidigare valdes bort kan studeras vidare. Ett exempel är förpackningens egenskaper. En fallstudie skulle kunna undersöka på en mer detaljerad nivå vilka förpackningsegenskaper som påverkar plocktiden. Detta känns väsentligt eftersom de resultat som nu finns pekar på förpackningen som den faktor med enskilt störst påverkan. Likaså bör det vara intressant att vidare studera hur densiteten i materialexponeringen påverkar plocktiden. Hur en exponering av material utan förpackning (s k minomi) påverkar plocktiden kan också ge intressanta bidrag, då det är ett exponeringsätt som vunnit ökat industriellt intresse, men ger en ökning i antalet aktiviteter i försörjningskedjan. Hur totalekonomi och kvalitet påverkas är inte utrett.

Ett ytterligare område som i projektet har visat sig ha mycket hög relevans är informationsaspekten i plockstödet, i alla delar av materialförsörjningen (inkl monteringsstation). Här har nya tekniker börjat få fotfäste, men deras effekter och lämplighet i olika situationer är inte utredd.

Det verktyg för kostnadsuppskattning i materialförsörjningen som tagits fram i projektet visade sig ha hög validitet och medger möjlighet att snabbt värdera olika konfigurationer av försörjningskedjan för enskilda artiklar eller artikelgrupper. En utveckling av mjukvaran bör här vara att samtidigt kunna utvärdera miljöpåverkan, t ex i form av CO₂. Resultatet kan användas som beslutsvariabel förutom kostnaden. Tillgängligheten till sådana uppgifter måste dock utredas. Vidare kan en utveckling ske av standardiserade metoder för insamling till och organisering av mjukvarans databas, samt att ytterligare förfina användargränssnittet och de algoritmer som används för att hantera data.

Resultaten av forskningen kring materialförsörjning och planering har tydligt visat vikten av att samtidigt ta hänsyn till mänskliga, tekniska och organisatoriska aspekter. Även om forskningen främst riktat sig mot dragande styrsystem så bör resultaten även kunna vara applicerbara för andra metoder, även om mänskliga aspekter kan misstänkas ha störst påverkan i dragande system (högre grad av decentralisering och mänsklig involvering). I projektet har inte driftsfasen inkluderats, utan fokus har legat på faserna design och implementering, vilket pekar mot en naturlig fortsättning av forskningen. Vidare bör den modell som byggts upp valideras mot ett större antal fallstudier.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

AB Volvo:	Annika Strömdahl, annika.stromdahl@volvo.com Jonas Håkansson, jonas.hakansson@volvo.com
Fordonskomponentgruppen:	Leif Ohlsson, Leif.ohlsson@fkg.se
Scania CV:	Lennart Lundgren, lennart_a.lundgren@scania.com
Volvo personvagnar:	Henrik Brynzér, henrik.brynzer@volvocars.com
Chalmers tekniska högskola:	Carl Wänström, carl.wanstrom@chalmers.se
Lunds universitet:	Henrik Pålsson, henrik.palsson@plog.lth.se



CHALMERS



LUNDS
UNIVERSITET