

Energi-, kostnads- och tidseffektiva materialförsörjningssystem inom produktion



Författare: Lars Medbo, Robin Hansson

Datum 2013-09-12

Delprogram: Hållbar produktionsteknik

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	3
3. Syfte.....	6
4. Genomförande.....	6
5. Resultat	7
6. Spridning och publicering.....	12
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	12
6.2 Publikationer	13
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	15
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	18

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

Intern materialförsörjnings prestation är av central betydelse för utvecklingen av ett produktionssystem som helhet. Kunskapen om hur interna materialförsörjningssystem bör utformas är begränsad, inte minst i förhållande till de stora förändringar som nu sker i branschen, vilka innefattar ökad användning av principer från Lean produktion. Brist på kunskap utgör ett hinder för utvecklingen av konkurrenskraftiga produktionssystem. Problemet är omfattande och inkluderar energi, kostnads- och tidseffektivitet, samt arbetsmiljö. Projektets mål är att utveckla kunskap för att kunna förstå och utvärdera hur interna materialflöden påverkar effektivitet, flexibilitet och ergonomi i produktionssystem.

Fokus i projektet är de två materialförsörjningsprinciperna "kittning" och "kontinuerlig försörjning" inom intern materialförsörjning till storskalig montering. När det gäller principen kittning, levereras och exponeras komponenter för montering i försorterade satser, där varje sats innehåller komponenter för ett monteringsobjekt. Vid kontinuerlig försörjning, exponeras ett antal komponenter av varje artikelnummer vid monteringsstationen där de ska monteras, vilket innebär att när kontinuerlig tillförsel används vid montering av blandade produktvarianter, där olika monteringsobjekt kräver olika komponenter, behöver montören vid varje monteringsstation hämta rätt delar att montera på varje monteringsobjekt.

Forskningen har bedrivits främst i form av fallstudier vid monteringsfabriker inom den svenska fordonsindustrin. Som komplettering till fallstudierna har även två experiment utförts. I flera av studierna har det varit möjligt att studera både kittning och kontinuerlig försörjning i samma miljö, vilket har resulterat i en utmärkt grund för jämförelse av de två materialförsörjningsprinciperna. Separata studier har gjorts av stödsystem för plockarbete. De andra studierna har istället fokuserat på aspekter inom var och en av de två materialförsörjningsprinciperna, vilket möjliggör en förståelse för hur var och en av de två materialförsörjningsprinciperna kan tillämpas och hur detta kan påverka prestanda.

Forskningsresultaten ger en strukturerad och noggrann redogörelse för kittning och kontinuerlig försörjning samt effekterna av att använda dessa principer, beroende på konfiguration och samband med det interna materialförsörjningssystemet. Detta har tidigare saknats. Den strukturerade och noggranna redogörelse som resultaten uppvisar bidrar till en förståelse för fördelarna och nackdelarna med kittning och kontinuerlig försörjning samt tillämpningen av varje materialförsörjningsprincip. Vidare relaterar resultaten valet mellan kittning och kontinuerlig försörjning till utformningen av ett internt materialförsörjningssystem som helhet och föreslår en struktur för en sådan designprocess.

2. Bakgrund

Projektet berör ett forskningsområde av stor betydelse både för industrin och akademien. Prestationen av intern materialförsörjning är av central betydelse för utvecklingen av ett

produktionssystem som helhet. Trots detta är kunskapen om hur interna materialförsörjningssystem bör utformas idag mycket begränsad, inte minst i förhållande till de stora förändringar som sker i branschen idag, som innebär ökad användning av principer från Lean produktion. Brist på kunskap utgör ett hinder för utvecklingen av konkurrenskraftiga produktionssystem. Problemet är omfattande och inkluderar energi, kostnads- och tidseffektivitet, samt arbetsmiljö.

Projektet bygger på insikten av det interna materialförsörjningssystemet som en integrerad del av ett Lean produktionssystem, med en dragande produktion och kontinuerliga värdeflöden. Sättet på vilket materialförsörjning utförs är viktigt inte bara med avseende på de aktiviteter som utförs inom materialförsörjningssystemet, utan kan också ha en avgörande inverkan på prestationen hos de mottagande processerna inom monteringen (Wänström och Medbo, 2009).

Inom svensk industri har frågor angående stödjande aktiviteter för montering fått mindre uppmärksamhet och utformningen av materialförsörjningssystemet har istället påverkats av en fokusering på skalfördelar. Detta har resulterat i stora transportkvantiteter och komponenter som presenteras vid monteringsstationerna i stor förpackning eller i materialfasader, vilket är i kontrast till strävan efter en Lean produktion som istället bygger på kontinuerligt flöde med små enhetslastar.

Från ett arbetsmiljömässigt och ergonomiskt perspektiv är manuell materialhantering en av de mest studerade riskfaktorerna för belastningsskador (MSD) såsom ländryggssmärta - världens dyraste arbetsplatskada (Bernard 1997). Tidigare forskning inom svensk industri har visat att urvalet och implementeringen av materialförsörjningsstrategier har en betydande inverkan på den biomekaniska belastningen på operatören och därmed även på risken för muskuloskeletal skador (Neumann et al. 2006).

Med tanke på den ökande efterfrågan på fordon med alternativa drivlinor, som är nödvändiga för utvecklingen mot hållbara transport- och trafiksystem, blir kraven på flexibilitet i materialförsörjning allt högre, eftersom antalet produktvarianter monterade i varje produktionsanläggning sannolikt kommer att öka. Således måste utformningen av materialförsörjningssystemet stödja en effektiv hantering av ett stort antal komponentvarianter, både inom materialförsörjningsaktiviteter och inom monteringen.

Bland de olika aspekterna av intern materialförsörjning återfinns valet av materialförsörjningsprincip, där kontinuerlig försörjning (även kallat "line-stocking"), batchning, sekvensförsörjning och kitting (även kallat "set parts system"), är de vanligaste alternativen. Gällande projektet är kontinuerlig försörjning och kitting de alternativ som de deltagande företagen anser vara av störst intresse för den svenska fordonsindustrin.

En viktig aspekt av den interna materialförsörjningen är att möjliggöra flexibilitet i tillverkningen. Expansionsmöjligheter, volymflexibilitet och produktmix-flexibilitet är alla kopplade till det fria utrymme som är potentiellt tillgängligt bland materialfasaderna. Att utnyttja potentiella utrymmesreduktioner kommer leda till högre energieffektivitet.

Kitting är, internationellt sett, något som mer och mer används inom industrin. Det saknas dock kunskap om i vilka situationer och för vilka komponenter kitting bör tillämpas, eftersom de totala effekterna av att använda kitting ännu inte har fastställts.

När det gäller användande av kitting, kan ett extra motiv vara produktens kvalitet, eftersom användningen av kit gör att montören inte av misstag väljer fel komponenter att montera. Ett annat relaterat motiv är inläring med minskad inläringstid av monteringsproceduren, vilket kan förbättras genom användning av kitting (Medbo, 1999). Studier från svenska bilföretag har rapporterat omfattande potential för ökad effektivitet och flexibilitet (t.ex. Wänström och Medbo, 2009, Engström et al. 2004). Det finns också indikationer på att kitting kan resultera i betydande förbättringar ur ett ergonomiskt perspektiv (Wänström och Medbo, 2009, Engström et al. 1995, Neumann et al. 2006).

Det finns, utan tvekan, en stor potential för att förbättra materialförsörjningssystem som används inom den svenska fordonsmonteringsindustrin idag. Det finns ett stort antal alternativ för att utforma dessa system, men kunskapen om flera av alternativen är mycket begränsad.

En framgångsrik och utbredd användning av principer och tekniker såsom kontinuerlig försörjning, kitting, materialtåg, och minomi kräver att förståelsen och kunskapen om koncepten utvecklas. Det finns ett behov av modeller som förklarar hur koncepten påverkar verksamheten.

Utifrån undersökningar av behoven hos de fyra fordonstillverkande företag som deltog i projektet, och i samförstånd med den teoretiska bakgrunden presenterad ovan, har tre huvudområden som är av särskild betydelse för en förbättrad prestation inom materialförsörjningsaktiviteter identifierats:

Långsiktig strategi: Kunskap behövs om hur en långsiktig strategi för det interna materialförsörjningssystemet bör utformas och vilka aspekter som bör ingå.

Kontinuerlig försörjning: Materialförsörjningsprincipen kontinuerlig försörjning är den princip som mest frekvent utnyttjas inom de svenska fordonsmonteringsföretagen (Hanson och Johansson 2007). Ändå, jämfört internationellt, är den svenska industrins tillämpning av kontinuerlig försörjning mindre effektiv. Frågor existerar kring vilka typer och storlekar av förpackningar, om någon, som bör användas och hur de ska hanteras.

Kitting: Intresset för kitting som materialförsörjningsprincip växer inom den svenska fordonsindustrin. Erfarenhet och kunskap är dock begränsad gällande användning och tillämpning av kitting. Olika och delvis motstridiga skäl som har motiverat kitting rapporteras från både näringslivet och forskare. Denna oklara bild av kitting har förstärkt behovet av att ta itu med denna problematik.

Vid utformningen av interna materialförsörjningssystem, inklusive valet av materialförsörjningsprincip, bör prestationen hos materialförsörjningssystemet övervägas med hänsyn till flera aspekter. Effektivitet när det gäller tid och kostnad är en central aspekt för att uppnå en konkurrenskraftig verksamhet. Aspekter gällande arbetsvillkoren (framförallt ergonomi) och energieffektivitet är viktigt, med tanke på ambitionen hos företagen att uppnå hållbara produktionssystem. Flexibilitet att hantera variationer i fråga

om volym- och produktmix, samt produktlanseringar och teknikförändringar är av betydelse. Dessutom med tanke på vikten av det interna materialförsörjningssystemets inverkan på prestationen för hela produktionssystemet, är robusthet en nödvändighet.

3. Syfte

Målet med projektet är att utveckla kunskap för att kunna förstå och utvärdera hur interna materialflöden påverkar följande prestationsområden:

- Kostnad-, tid- och energieffektivitet
- Volym- och variantflexibilitet
- Hälsa, säkerhet och ergonomi
- Stöd till monteringsprocesser

Kunskapen om design av interna materialförsörjningssystem är idag begränsad. Utveckling av teori och modeller kommer att möjliggöra utformningen av interna materialförsörjningssystem med hög prestation. Det är viktigt att inse att materialförsörjningssystemet inte bör ses som en separat enhet, utan bör utformas med avseende på de monteringsprocesser som det är avsett att stödja och även till andra relevanta aspekter av tillverkningssystemet. Det är därför nödvändigt att förstå vilka kontextuella förutsättningar som är av betydelse och hur de påverkar prestationen i materialförsörjningssystemet. I ett Lean produktionsammanhang, där värdeskapande tid i ett värdeflöde är i fokus, bör materialförsörjningssystemet inom anläggningen stödja montering så långt som möjligt utifrån dess behov. Kunskap behövs därför om vilka kraven i monteringen är och hur materialförsörjningssystemet kan möta dessa.

Som identifierats i den tidigare presenterade projektbakgrunden, är en central fråga inom utformningen av ett internt materialförsörjningssystem valet av materialförsörjningsprincip. Detta val har en stor inverkan på i stort sett alla andra aspekter av det interna materialförsörjningssystemet och är också starkt sammankopplad med hur komponenterna presenteras vid de mottagande arbetsstationerna. Det finns därför flera frågor som måste beaktas i samband med valet av materialförsörjningsprincip. Valet av materialförsörjningsprincip innebär utformning av många delar och element såsom förpackningstyp, beställningssystem, transportmedel och hanteringsprocesser, vilka alla måste beaktas.

4. Genomförande

Projektet organiserades genom teoretiska och empiriska studier med utgångspunkt i de deltagande företagens problemområden. Praktiker och forskare som gemensamt formulerade forskningsprojektets ansökan utarbetade en genomförandeplan som innebar att ett antal fallstudier genomfördes vid de olika företagen. Vissa fallstudier genomfördes vid ett enskilt produktionssystem, andra omfattade flera företag och produktionssystem. Fallstudierna valdes utifrån projektets syfte och de forskningsfrågor som formulerades. Genom litteraturstudier har en teoretisk referensram utvecklats som positionerar och relaterar projektets forskning till befintlig känd kunskap och tidigare studier. Att utveckla

den teoretiska referensramen var en pågående aktivitet under hela projektet, även om tonvikten ligger på projektets början. Utifrån referensramen utvecklades olika teoretiska ramverk eller modeller som använts i fallstudierna som hjälp för att förstå, analysera och syntetisera resultaten. Förutom fallstudier genomfördes även två experiment.

Delresultat och slutresultat från fallstudier har diskuterats vid workshops med de företagsrepresentanter och forskare som var involverade i fallstudierna samt vid öppna workshops. Genom att både praktiker och forskare har genomfört fallstudier gemensamt, även om i olika utsträckning, har implementering och nyttiggörande varit ett direkt resultat av de olika fallstudierna. Samtidigt har självklart forskarnas resultat även inneburit vetenskaplig meritering genom publikationer i tidskrifter och presentationer vid konferenser. Som visas i resultatkapitlet nedan har den genom projektet möjliggjorda avhandlingen inneburit att de olika delresultaten knutits samman till såväl praktiskt användbar som vetenskapligt väsentlig kunskap.

Inom de olika områden som projektet behandlat genomfördes följande studier:

- Den första studien utgjordes av ett experiment på Saab där kitting jämfördes med den inom svensk industri vanligt förekommande materialförsörjningsprincipen kontinuerlig försörjning
- Tre studier kring kitting genomfördes på företag som inför kitting i sin montering: Volvo Powertrain, Saab och Scania. Samtliga studier inkluderar kartläggning av montering och materialförsörjning, både före och efter införandet av kitting.
- En kittingfokuserad studie har genomförts med syfte att identifiera hur materialförsörjningssystemets prestation påverkas av var kiten plockas samman. Med hjälp av tre fallstudier från Scania, Saab och Pininfarina har tre principiellt olika placeringar av kitplock studerats och jämförts.
- Fallstudier avseende effektivitet och flexibilitet vid plock och utformning av plockoperationer, både för kitting och för sekvenserade leveranser av enskilda artiklar har genomförts vid Volvo Cars i Göteborg och vid Volvo Construction Equipment i Hallsberg.
- En kartläggning av inom fordonsindustrin använda tekniker för att ge plockinformation till plockare har genomförts. Baserat på kartläggningen utvecklades plockstöd som provas genom experiment.
- Materialstyrning av fysiska flöden har studerats genom fallstudier vid Volvo Construction Equipment och Scania.

5. Resultat

Resultatredovisningen fokuserar på materialförsörjningsprincipen kitting som av projektet bedömts som det både forskningsmässigt och industriellt mest intressanta området. Kitting relateras till den konventionella metoden, kontinuerlig försörjning.

De materialförsörjningsprinciper som används utgör en integrerad del av intern materialförsörjning och kan påverka ett stort antal prestationsområden hos både intern materialförsörjning och montering.

Vid montering kan användning av kitting för att presentera komponenter minska mantidsförbrukningen jämfört med kontinuerlig försörjning. Inom den vetenskapliga litteraturen har två olika aspekter av kitting sagts bidra till minskad mantidsförbrukning: 1) ofta är kitting förknippad med komponenter som presenteras närmare monteringsobjektet än vad som är möjligt med kontinuerlig försörjning, vilket då kan minska eller eliminera den tid som behövs för att gå eftersom ingen tid behöver spenderas på att söka efter komponenter. Projektet har visat att båda dessa aspekter är betydande i förhållande till mantidsförbrukningen vid montering. En av studierna i projektet visade att eliminering av tiden som går åt till att söka efter komponenter har en betydande inverkan på den totala tiden som spenderas på att hämta komponenter, även när antalet komponentvarianter är litet. I andra studier i projektet, innebar användning av kitting, jämfört med användning av kontinuerlig försörjning, minskad mantidsförbrukning i montering främst genom förbättrad materialexponering, på grund av det faktum att då kitting används behöver inte alla artikelnummer presenteras samtidigt, vilket behövs vid kontinuerlig försörjning. Det bör noteras att utrymmesförbrukning för komponenter som levereras av kontinuerlig försörjning, och därmed den tid som används till gång för att hämta dessa komponenter, är nära relaterad till den storlek och typ av enhetslast som används.

Jämfört med kontinuerlig försörjning, innebär plockning av kit i ett materialflöde ytterligare hantering och, förutsatt att plockningen utförs manuellt, ytterligare mantidskonsumtion. Med kontinuerlig försörjning presenteras ofta komponenterna på monteringsstationerna i den originalförpackning som skickas från leverantören, medan med kitting, måste komponenterna generellt sett packas om från sin originalförpackning till kit. När kitting utförs på en annan plats, kan även ytterligare transport av komponenterna behövas. Eftersom kit ofta innehåller färre komponenter än i artikelnummer-specifika enhetslaster, kan den frekvens med vilken kit behöver försörjas vara hög. I de fall som studerats i projektet, var det så att mantidsförbrukningen i den intern-logistiska materialförsörjningen som uppkom till följd av införandet av kitting, var högre än den minskade mantidsförbrukningen i monteringen. Totalt sett ökade således mantidsförbrukning i monteringsfabriken.

Studierna i projektet visade att materialexponering i kit kan ha både positiva och negativa effekter på stödet till montörer, jämfört med när komponenterna exponeras i materialracks vid kontinuerlig försörjning. Montörer fann att monteringsarbetet underlättades av kitting, eftersom det fanns mindre behov av att identifiera vilka komponenter som ska monteras och mindre risk för ta miste på komponenter. Därför kan den förenklade materialexponeringen vid kitting, med avseende på aspekten att endast exponera de komponenter som behövs för varje monteringsobjekt, anses tydligt stödja monteringen. I en av studierna hade vissa svårigheter dock registrerats med avseende på hur komponenterna presenterades i kit. När kätten saknade formell struktur, kunde letande efter komponenter ibland vara nödvändigt och vissa komponenter kunde förväxlas. Det

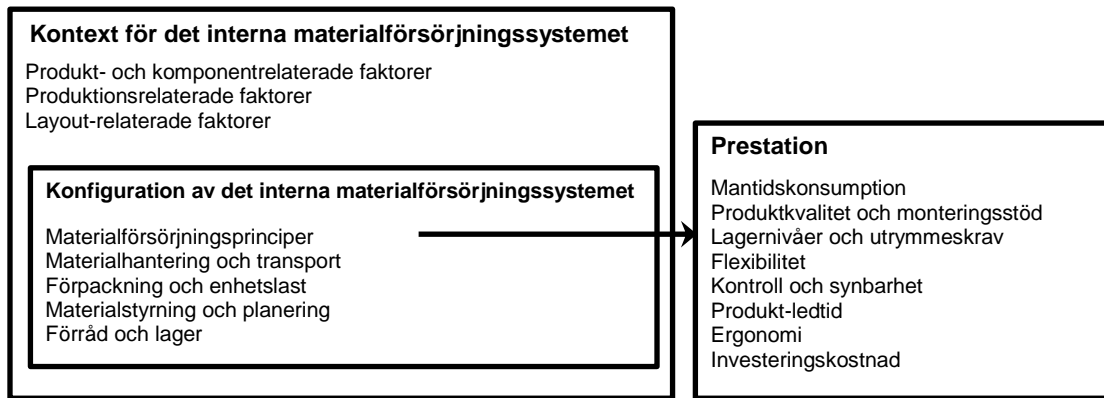
verkar som att ett strukturerat kit kan erbjuda bättre stöd till montörer än ett kit utan formell struktur.

I de studerade fallen hade kit innehållande fel komponenter ibland levererats till monteringsstationerna, vilket förstås kunde ha en negativ inverkan på produktens kvalitet. Även om dessa fel upptäcks och korrigeras vid monteringsstationerna, och därmed inte påverkar slutproduktens kvalitet, krävs resurser för att korrigera misstagen. Jämfört med när delar plockas från materialfasader direkt vid en monteringsstation, krävs mer resurser för att korrigera ett misstag där fel komponenter har plockats i ett kit i ett plockområde, en bit från monteringsstationerna. Därför, för att kit ska kunna ge ett tillförlitligt stöd som kan öka monteringskvaliteten, måste kvaliteten på kitten säkerställas.

I tidigare publicerad vetenskaplig litteratur har kitting sagts vara förknippat med en högre grad av flexibilitet än kontinuerlig försörjning. Resultaten från projektet ger stöd för denna uppfattning. På grund av den utrymmeseffektiva materialexponering som kitting möjliggör, vilket påvisas i flera av projektets fallstudier, verkar det klart att kitting, jämfört med kontinuerlig försörjning, kan öka flexibiliteten för att hantera ett stort antal komponent varianter eller variationer i produktionsvolym. Med kontinuerlig försörjning, kan denna flexibilitet begränsas av utrymmesbrist för att exponera material vid monteringsstationerna, vilket gör det svårt att exponera ett stort antal komponentvarianter. Även om användningen av små enhetslaster vid kontinuerlig försörjning kan minska utrymmesbehovet vid monteringsstationerna har kitting en ännu större potential i detta avseende. Med kitting är det tillgängliga utrymmet på monteringsstationerna inte en begränsning på hur många artikelnummer som kan hanteras på monteringsstationerna.

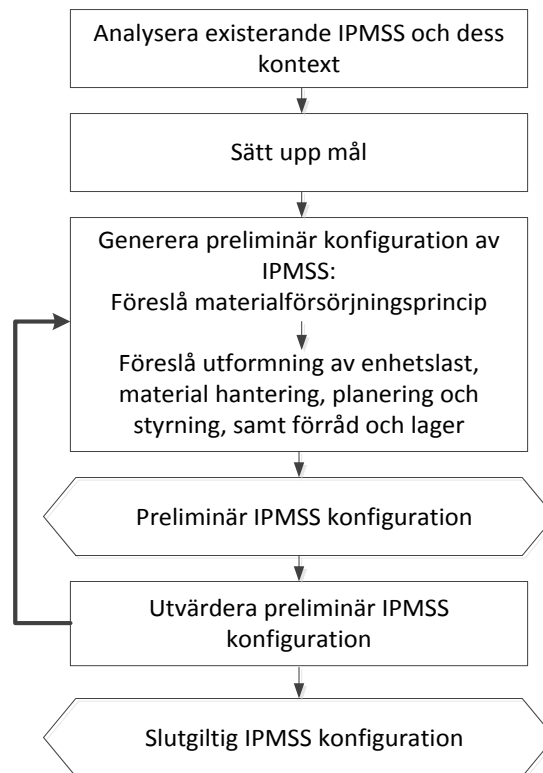
Projektet har vidare funnit att, jämfört med kontinuerlig försörjning, kan kitting vara förenad med en ökad flexibilitet för ombalansering av monteringslinan, eftersom det är möjligt att flytta monteringsarbeten mellan monteringsstationerna utan att behöva ordna om materialfasader. Detta visar sig vara en allmän fördel i samband med kitting, jämfört med kontinuerlig försörjning: eftersom färre materialfasader och komponenter är placerade vid monteringslinan när kitting används, är mindre omorganisering nödvändigt när en ombalansering av monteringslinan sker. Flexibilitetsnivån är dock relaterad till konfigurationen av materialförsörjningssystemet. Det verkar som att desto fler olika kit som används vid en monteringslina, desto mer kommer dess flexibilitet begränsas, särskilt om kitförpackningar används som har specifika, fasta positioner för varje komponent.

Projektet har funnit att påverkan på prestation som kan härledas från vilken materialförsörjningsprincip som används, är starkt relaterad både till den övergripande utformningen det intern-logistiska materialförsörjningssystemet, vars materialförsörjnings principer kan ses som en dimension, samt av kontexten för det internlogistiska material försörjningssystemet. Dessutom är det viktigt att inse att det finns många olika prestationsområden, vilka kan påverkas olika av valet av material försörjningsprincip. Dessa relationer illustreras i figur 1.



Figur 1: Översikt av samband mellan materialförsörjningsprinciper och prestation, med avseende på konfiguration och samband med det interna materialförsörjningssystemet

Utformningen av interna materialförsörjningssystem kan definieras successivt under en iterativ process, som utvecklats i projektet och som illustreras i figur 2. Den iterativa processen bör innefatta en utvärdering av den föreslagna konfigurationen i förhållande till de prioriterade prestationsområdena. Under processen kan förändringar göras både av det föreslagna valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning, så att olika kombinationer mellan de två materialförsörjningsprinciperna föreslås, samt av resterande delar av det interna materialförsörjningssystemet.



Figur 2: Den föreslagna strukturen av en designprocess för ett internt materialförsörjningssystem (IPMSS)

Det är viktigt att överväga om ett val mellan kitting och kontinuerlig försörjning sker i förhållande till ett befintligt internt materialförsörjningssystem, eller i förhållande till ett system som ännu inte har tagits i bruk. I fall utformningen av det interna materialförsörjningssystemet till stor del redan beslutats, måste hänsyn tas till hur väl en potentiell förändring av materialförsörjningsprinciper kan passa med den befintliga konfigurationen, eller vilken kostnad och ansträngning som skulle krävas för att uppnå grundläggande förändringar av hela det interna materialförsörjningssystemet och eventuellt, även av dess kontext. Om i stället valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning gjorts före det interna materialförsörjningssystemet tas i bruk, finns bättre förutsättningar för att nå en övergripande lösning som på bästa möjliga sätt svarar mot de prestationsområden som företaget har prioriterat.

Som nämnts ovan är det väsentligt att rätt komponenter plockas samman till kätten om de positiva effekterna med kitting ska kunna erhållas. Samtidigt är det väsentligt att resursförbrukningen är så låg som möjligt. Eftersom plockning av komponenter i fordonsindustrins materialförsörjning ökar har stöd för effektiva plockoperationer aktualiserats som ett allt viktigare område. Plockningen sker inte bara för kitting utan även främst för sekvensläggning och omplockning till mindre förpackningar. Inom projektet genomfördes studier som visar på stora skillnader i förutsättningar och utformning av olika plocksystem. Syfte var att erhålla förståelse och kunskap om plockoperationerna för att ge underlag till utformning av effektiv plockning, vilket avser såväl operatörens tidsåtgång som kvalitet i plocket.

Kartläggning och studier gjordes av plockprinciper, operatörernas tidsanvändning, fysisk design av plockstation eller förråd, stöd och hjälpmedel för plockoperationerna samt plockkvalitet. Olika metoder för plockstöd studerades, såsom pappersplocklistor, plockinformation på terminaler, trådlös röststyrning och kommunikation (pick-by-voice) och olika typer av upplägg med ljus och lampor (pick-by-light). Resultaten täcker inte området som helhet, men ger ändå vägledning och pekar på områden för fortsatt forskning och utveckling.

Studierna pekade på stora skillnader i prestation mellan de olika plocksystemen. Både kvalitet och resursförbrukning skiljer. Stor skillnad i förutsättningar som typ av komponenter, produktvariation, produktionsvolymvariation, layout och kompetens påverkar i hög grad utfallet. Dessutom är givetvis utformningen av plockoperationerna i sig väsentlig. Det plockstöd som används för att ge information till plockaren varierar, den pågående teknikutvecklingen är snabb och någon gemensam branschstandard eller konsensus, bland praktiker såväl som forskare, kring vad som är det rätta stödet i olika situationer, finns inte. Studier med plockstöd genom både pick-by-voice och pick-by-light har visat på bra resultat. Pick-by-voice metoden är lämplig när komponenterna som plockas (och därmed förpackningarna) är så stora att en plockaren måste gå några steg mellan varje plocktillfälle. Vid små avstånd innebär pick-by-voice-kommunikationen vissa väntetider för plockaren. Pick-by-voice innebär dessutom goda möjligheter till uppföljning av genomfört plock, vilket bland annat utnyttjats för att minska plockfel och tids-balansera plockarbetet. Pick-by-light systemen dominerar i materialförsörjning till monteringsystem i utlandet, vilket projektet studerat i Japansk fordonsindustri. För

layouter och komponenter som givit korta förflyttningsavstånd kunde tidseffektiva plock observeras. Både pick-by-voice och pick-by-light system har dock visat sig ha dålig flexibilitet då förändringar behöver göras, exempelvis när det gäller att flytta eller lägga till komponenter i en plockfasad. Även förbättringsförslag i plockets genomförande från anställda är svåra att implementera vilket kan leda till en avvikelse mellan hur arbetet beskrivs och hur det utförs i verkligheten. De i projektet ingående företagen har infört eller håller på att införa olika typer av plockstöd.

Genom att generera kunskap om vilka prestations-relaterade effekter som kan förväntas av olika konfigurationer av interna materialförsörjningssystem, såsom val av materialförsörjningsprincip, stöder projektet utformningen av effektiva och högpresterande produktionssystem. Specifikt, kan resultaten av projektet stödja ökad kostnadseffektivitet, produktkvalitet och flexibilitet i både den interna materialförsörjningen och produktionen, och därigenom stödja konkurrenskraften och hållbarheten i den svenska fordonsindustrin.

En av de viktigaste fördelarna med materialförsörjningsprincipen kitting, vilken var ett huvudsakligt fokusområde för projektet, är att flexibiliteten kan ökas, både i förhållande till produktionsvolym och produktvarianter. Detta är i linje med det förväntade behovet av produktionssystem att möjliggöra för fordon med olika typer av drivlinor (t.ex. fordon med traditionella förbränningsmotorer, elfordon, hybridfordon) ska kunna monteras i samma lokaler, eventuellt i blandad sekvens.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Genom att projektets genomförande baserats på fallstudier där praktiker och forskare deltagit gemensamt har fallstudiernas genomförande medfört att resultaten automatiskt implementerats i företagets verksamheter. Flera fallstudier har dessutom knutits till olika utvecklingsprojekt på företagen vilket medfört en förväntan om förändring som därmed underlättat implementering av projektresultat. Genom projektmöten har resultat från olika studier diskuterats inom projektgruppen.

Löpande under projektet har ett antal workshops med fokus inom olika problemområden anordnats. Där har projektresultat presenterats och diskuterats med deltagare från hela fordonsindustrin, forskningsinstitut och högskolor. Dessutom har projektresultat presenterats vid branschkonferenser och mässor. Intresset för projektets problemområde har varit och är fortfarande stort. Främsta orsaken är troligtvis att många företag upplever både problem och osäkerhet kring hur dessa problem ska angripas och lösas. Befintliga riktlinjer och standarder leder ofta inte till förbättringar. Dessutom är skillnaderna i hur materialförsörjningssystem utformats mellan Sverige och många andra länder stor, en utveckling som accentuerats under senare år. Dessa skillnader påverkar också intresset i industrin att ta till sig projektresultat.

Inom utbildning har projektresultat löpande förmedlat kunskap till elever vid Chalmers som går kurser givna av Avdelningen för Logistik och Transport. Detta gäller främst kurserna ”Lean Production” vid det internationella magisterprogrammet Production Engineering och den våren 2012 nyutvecklade kursen ”Production flow management” vid det internationella magisterprogrammet Supply Chain Management samt kurser i ”Lean produktion” för yrkesverksamma inom Chalmers Professional Education. Genom kurserna till yrkesverksamma får projektresultaten en bred spridning till såväl stora företag som små- och medelstora. Genom koppling och samarbete med Produktionslyftet ges sju till åtta kurser med vardera 25 deltagare per år runt om i landet.

Exempel på aktiviteter under projektets gång som bidragit till kunskaps- och resultatspridning:

- Presentationer vid Svenskt Monteringsforums årliga konferens i Stockholm
- Deltagande FFI-konferenser.
- Arrangerande av workshops och seminarier
- Deltagande i workshops Fordons Komponent Gruppen (FKG)
- Disputationer och seminarier vid Chalmers
- Presentationer vid vetenskapliga konferenser: European Operation Management (EurOMA), Swedish Production Systems (SPS), International Production Research (ICPR), Industrial Systems och International Scientific Conference on Lean Technologies i Novi Sad.
- Presentationer vid logistikklustermöten
- Seminarier vid branschkonferenser och mässor: Logistik och transportmässan i Göteborg, Transport Efficiency Conference i Göteborg,

6.2 Publikationer

Algestam, S., Medbo, L., Wänström, C. (2012), Designing a pull oriented material planning system - human, technical and organizational considerations. *In: Proceedings from the EurOMA Conference*. 1-4 July, 2012, Amsterdam.

Algestam, S., Rosenberg, P. (2011) Supplier consequences of variation in demand planning information: An automotive industry case study. *PLANs Forsknings- och tillämpningskonferens*, Norrköping, Sweden

Andersson D., Hosseini V., Lindström J., Löfberg N., Moazami, A. and Puranik, N. (2010) *Evaluation of line-side material supply alternatives for Volvo Cars, Torslanda plant*. Project in the course Projects in Supply Chain Management TEK275, Chalmers University of Technology.”

Andersson, A. And Norman, B. (2013) *Effektivisering av stödprocesser: En studie i lean materialhantering*, Master of Science Thesis, Linköping University (in Swedish).

Hanson, R. (2011) The effects of using minomi in in-plant materials supply. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22 (1), pp. 90-106.

Hanson, R. (2012) In-plant materials supply: Supporting the choice between kitting and continuous supply. PhD Thesis, Chalmers University of Technology.

Hanson, R. (2012) Valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning, *Verkstäderna*, 108(7), pp. 34-36.

Hanson, R. and Brodin, A. (2011) A comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply. In: *Proceedings of the 4th International Annual Swedish Production Symposium*. 3-5 May, 2011, Lund.

Hanson, R. and Brodin, A. (2013) A comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply. *International Journal of Production Research*, 51(4), pp. 979-992.

Hanson, R. and Finnsgård, C. (2011) Impact of unit load size on in-plant materials supply efficiency. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Production Research*. 31 July-4 August, 2011, Stuttgart, Germany.

Hanson, R. and Finnsgård, C. (2012) Impact of unit load size on in-plant materials supply efficiency. *International Journal of Production Economics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.010> (in press).

Hanson, R. and Medbo, L. (2011) Kitting and time efficiency in manual assembly. *International Journal of Production Research*, 50(4), pp. 115-1125.

Hanson, R. Medbo, L. and Medbo, P. (2012) Assembly station design - a quantitative comparison of the effects of kitting and continuous supply. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(3).

Hanson, R., Johansson, M.I. and Medbo, L. (2011) In-plant materials supply by kitting – location of kit preparation. In: *Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Industrial Systems*. 14-16 September, 2011, Novi Sad, Serbia.

Hanson, R., Johansson, M.I. and Medbo, L. (2011) Location of kit preparation - Impact on in-plant materials supply performance, *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2(4) pp. 123-129.

Hanson, R., Johansson, M.I. and Medbo, L. (2013) In-plant materials supply by kitting – location of kit preparation, *Journal of Manufacturing Technology Management*, in press.

Hanson, R., Medbo, L., Medbo, P. (2010) Assembly station design - a quantitative comparison of the effects of kitting and continuous supply. In: *Proceedings of the 17th International EurOMA Conference*. 6-9 June, 2010, Porto, Portugal.

Hansson, R. Medbo, L. and Medbo, P. (2010). "Assembly station design - a quantitative comparison of the effects of kitting and continuous supply", in: *Proceedings of 16th International Annual EurOMA Conference: Managing Operations in Service Economies*. 6-9 June, 2010, Porto.

Hellman F., Lindahl, B. and Malmberg, J. (2011) *Mixed-model assembly line at Volvo Construction Equipment*. Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology.

Johansson, M.I., Wänström, C. and Medbo, L. (2012) Flexibility of Materials Supply

Systems, *In: Proceedings of the 5th International Annual Swedish Production Symposium*. 6-8 September, 2012, Linköping.

Johansson, R. And Söderberg, E, (2011) *Effektivisering och kvalitetssäkring av plockning på Scania*, Master of Science Thesis, Linköping University (in Swedish).

Karlsson, E. and Thoresson, T. (2011) *A comparative study of the material feeding principles kitting and sequencing at Saab Automobile, Trollhättan: creation of guiding principles of which articles to be supplied with kitting*, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology.

Neumann, P. and 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) pp. 541-548.

Stenberg, M. and Lundgren, E. (2011) *Picking Station Design Considerations for Improved Sequence Picking: A Case Study at Volvo Cars Torslanda*, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology.

Wu, C., Yao, C., Yavuz, D., Xu, H. and Dzinic, J. (2012), *Kitting of low frequent parts in Volvo Cars Torslanda*, Production Project Work in the course IAR057, Chalmers University of Technology.

Interna företagspublikationer

Brynzér H. (2012) *Interna materialleveranser – Replenishment*, Internal education document, Volvo Car Corporation.

Brynzér, H. (2011) *Part Classification & Repacking time calculation in the Downsizing Process*, Internal education document, Volvo Car Corporation.

Karlsson, R. (2011) *Method development – Secured & efficient kitting and sequencing*, Internal document, Scania CV.

Karlsson, R. (2011) *Quality assured kitting and sequencing: with productivity and ergonomics*, Internal document, Scania CV.

Kubota, Y. (2012) *Scania internal supply methods*, Internal document, Scania CV.

Lindström, K. (2013) *Standardized PRIDE*, Internal document, Scania CV.

Lööv, P. (2012) *Supply timing – 1:2:4 method*, Internal document, Scania CV.

Scania, *Tunga vagnar: utformning och bedömning av tunga vagnar*, Internal document, Scania CV.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

I stor utsträckning har forskningen varit baserad på en strävan att utvidga kunskap om vilka prestationseffekter som kan förväntas baserat på om kitting eller kontinuerlig

försörjning används, och baserat på hur dessa principer används. För att uppnå detta har flera studier gjorts, varav de flesta varit fallstudier. Två experiment har också utförts. Studierna har presenterats i flera publikationer, såsom presenterat i avsnitt 6.2.

Utifrån projektet är det tydligt att både kitting och kontinuerlig försörjning är förknippade med både fördelar och nackdelar. Det är också tydligt att prestation associerad med kitting och kontinuerlig försörjning påverkas både av hur materialförsörjningsprinciper tillämpas när det gäller konfigurationen av det interna materialförsörjningssystemet som helhet, och genom kontexten för det interna materialförsörjningssystemet. Därför, eftersom den relativa prestationen i samband med kitting och kontinuerlig försörjning kan variera mellan olika applikationer, är det inte förvånande att det i den befintliga forskningslitteraturen finns motstridiga rapporter om vilka relativa effekter som kan vara förknippade med var och en av de två principerna.

När ett val görs mellan kitting och kontinuerlig försörjning, och eftersom prestationen för intern materialförsörjning inte bara är beroende av vilka materialförsörjningsprinciper som används, bör en noggrann analys lämpligen göras av hur ett materialförsörjningssystem baserat på varje princip bör konfigureras och vilken typ av prestation som då kan förväntas. Detta gäller både i materialförsörjning och montering. Resultaten av projektet gör ett värdefullt bidrag till denna analys, genom att ge inblick i vilken prestation som kan förväntas när någon utav materialförsörjningsprinciperna används. Projektet har inte bara identifierat den potentiella påverkan på prestation i samband med varje materialförsörjningsprincip, utan har också gett insikt i hur och i vilka sammanhang denna påverkan på prestation uppstår. Därmed har projektet bidragit till industriell praxis. Resultaten av projektet fyller dessutom en lucka i forskningslitteraturen, då få detaljerade studier tidigare funnits som kunde användas för att förutse påverkan på prestation i samband med ett val mellan kitting och kontinuerlig försörjning.

Vidare när ett val görs mellan kitting och kontinuerlig försörjning, är det inte tillräckligt att vara medveten om den påverkan på prestation detta val kommer att ha, utan det är också nödvändigt att prioritera mellan olika prestationsområden. Eftersom de två material-försörjningsprinciperna är förknippade med både fördelar och nackdelar, är det osannolikt att något val kommer att resultera i optimal prestation inom alla prestationsområden. Prioriteringarna är sannolikt relaterade till villkoren för monteringsfabriken i fråga, eller till och med till olika områden inom monteringsfabriken.

Det faktum att kitting och kontinuerlig försörjning ofta kan kombineras har fått viss uppmärksamhet i projektets studier, men bör studeras ytterligare. Inom projektet har de effekter som en sådan strategi kan ha på mantidsförbrukning i montering studerats. Det finns dock flera andra aspekter som bör beaktas i förhållande till hur en sådan kombination bäst skulle kunna uppnås. Eftersom en kombination av kitting och kontinuerlig försörjning har en potential att kombinera fördelarna med båda materialförsörjningsprinciperna, är det troligt att ett sådant tillvägagångssätt kan vara lämpligt i många sammanhang. Stödet inom den befintliga forskningslitteraturen om hur andelen av varje princip bör bestämmas eller vilken typ av komponenter som bör tillhandahållas av vilken princip är dock svagt. Sammantaget finns det ett behov av ytterligare studier som kan stödja utvecklingen av riktlinjer för hur kombinationer av

kitting och kontinuerlig försörjning bör uppnås, i termer av vilka komponenter som ska levereras av vilken princip. Överväganden av detta slag bör innefatta produkt- och komponentrelaterade faktorer, såsom storlek och vikt av komponenterna och antalet olika komponentvarianter, produktionsrelaterade faktorer såsom produktionsvolym samt layout-relaterade faktorer såsom storlek på monteringsstationerna. Det är också viktigt att beakta den potentiella effekten på samtliga prestationsområden. Till exempel, beroende på vilka komponenter som levereras med kitting respektive kontinuerlig försörjning, kan stödet till montörerna variera.

Kitting och kontinuerlig försörjning är inte de enda materialförsörjningsprinciper som existerar. Batchförsörjning och sekvenslagda leveranser av enstaka komponenter kan också användas. I framtida forskning, kan valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning utvidgas till att omfatta även dessa materialförsörjningsprinciper, inklusive potentiella kombinationer av de olika materialförsörjningsprinciperna. Det är inte bara en fråga om att välja rätt materialförsörjningsprincip för enstaka komponenter, men också det att kombinationen av olika försörjningsprinciper i ett komplett materialförsörjningssystem bör vara högpresterande. Idag kan vi se olika försörjningsprinciper som stör varandra vilket resulterar i långa ledtider, hög total resursförbrukning och kvalitetsproblem. Det existerar således ett behov av ökad kunskap och riktlinjer för utformningen av materialförsörjningssystem, som baseras på en kombination av försörjningsprinciper.

Studierna i projektet har visat att mantidskonsumtion i samband med plockningen av kittet är en av de viktigaste nackdelarna med kitting. Det är därför av intresse att studera kit-plockningen vidare, i sökning efter tillvägagångssätt för att minska mantidsförbrukning i dessa operationer. Samtidigt är det viktigt att säkerställa prestation inom andra prestationsområden, såsom produktkvalitet.

Inom projektet var det inte möjligt att fullt ut fastställa de effekter som valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning har på produktens kvalitet. Därför har projektet inte kunnat lämna avgörande bevis på kvalitetsrelaterad prestations påverkan i samband med valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning. Eftersom detta är en potentiellt viktig aspekt i samband med valet, finns ett behov av ytterligare studier som fokuserar på produkternas kvalitet i förhållande till användningen av kitting respektive kontinuerlig försörjning. Klart är att när väl kitting används, är produktkvaliteten relaterad till kvaliteten av kit-plockningen. Kvalitetssäkring i kit-plockningen är ett område som inte har fått mycket uppmärksamhet i forskningslitteraturen, men på grund av dess betydelse i förhållande till utförandet av materialförsörjning genom kitting, bör detta område tas upp i kommande studier.

Den komplexitet som präglar valet mellan kitting och kontinuerlig försörjning gör det svårt att formulera enkla rekommendationer angående vilka materialförsörjningsprinciper som bör användas när. Då både konfiguration och kontext för det interna materialförsörjningssystemet bör övervägas och för att kunna ta samtliga relevanta faktorer i beaktning, kan en fullständig undersökning krävas för varje val som görs. Inom projektet har en skiss gjorts av en formell design process. Skapandet av en mer detaljerad utformning skulle kunna vara en del av framtida forskningsinsatser.

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: Lars Medbo, lars.medbo@chalmers.se



CHALMERS