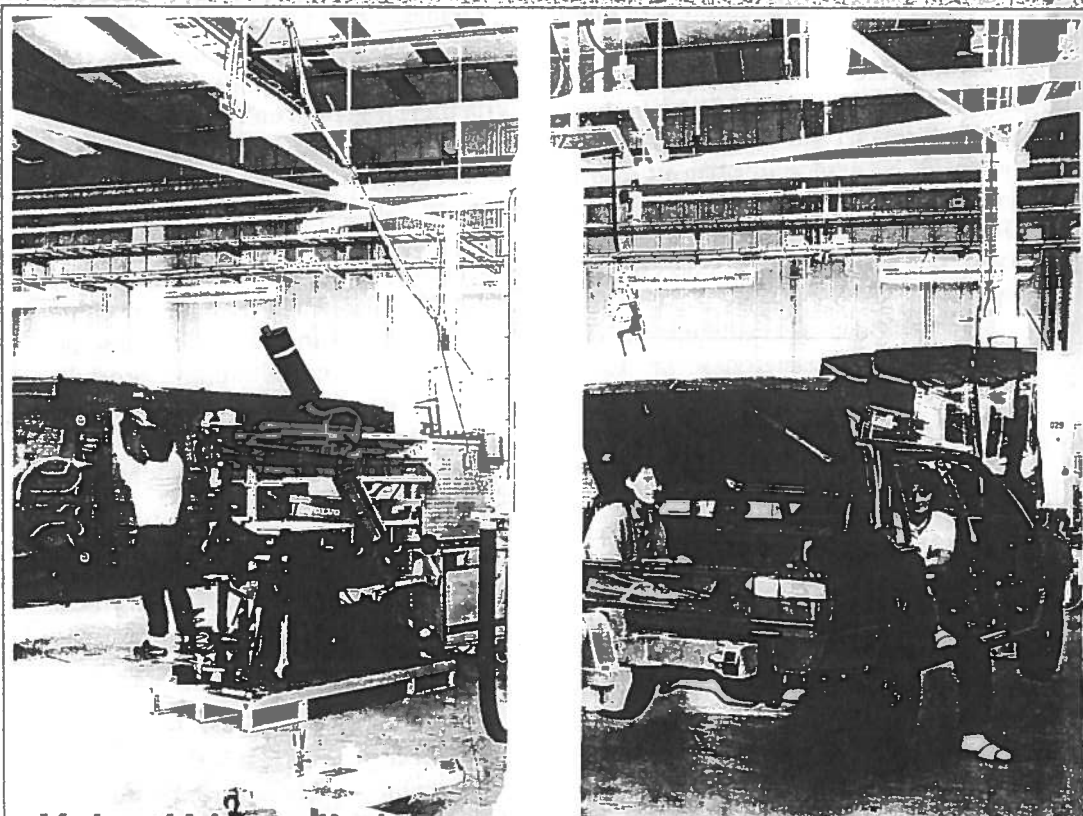


WASTON / FLOIS MTU

4•92

arbete människa miljö



Volvo Uddevalla i graven

Det bästa gick inte att rädda

sid 197

Så minskas olyckorna

sid 209

Fhv-kvalitet

sid 214-221

G.I.31

Materialflödesmönster och effektivitet vid serieproduktion

– förutsättningar för utveckling av det svenska monteringsarbetet

I siffror visar Tomas Engström, Bertil Johansson och Lars Medbo hur otraditionella sätt att ordna materialflödet vid slutmontering av personbilar är effektivare och flexiblare än löpande band.

Det repetitiva arbetet på arbetsstationerna längs ett serieflöde, såsom exempelvis är vanligt vid serieproduktion av fordon (oftast benämnt linemontering eller löpande band), förefaller vid ett första påseende rationellt. Serieflöde innebär att samtliga objekt passerar alla arbetsstationer längs flödet. Förflyttningsintensiteten är därför hög, och identisk i flödets alla olika avsnitt.

Materialflödet är väldefinierat och materialförsörjningsmetoden är känd, arbetsorganisationen är i stort sett självklar, produktionen kan kontinuerligt överblickas även av dem som inte är engagerade i det direkta arbetet.

Under de senaste decennierna har dock en hel del negativa effekter för arbetskraften uppmärksammats. Det repetitiva och monotona arbetet, där produktens förflyttning bestämmer individens arbetstakt s k maskinstyrt arbete ger låg produktivitet och förslitningsskador. Speciellt märkbart vid goda konjunkturer är även hög omsättning av personal, hög sjukfrånvaro och ringa kvalitetsansvar.

Är japanisering enda alternativet?

I samband fordonsindustrins lönsamhetsproblem har under de senaste åren i fackpressen och även i massmedia i övrigt förekommit en slags vulgärdebatt

om lämpliga och möjliga vägar ur krisen.

Gemensamt för en stor del av det material som publicerats om japanska produktionsprinciper implicerar att vi västerlänningar genom en ensidig noggrann kopiering av alla deras beteenden, utan att generell förståelse och teoriunderbyggnad vad gäller utformning av produktionssystem, kan närma oss de japanska framgångarna.

Att det finns väl verifierad forskning som både täcker in det traditionella, de japanska och de nya alternativa produktionssystemen är inte känt eller anses strida mot det vedertagna. Denna forskning visar på produktionssystemens starka och svaga sidor.

Vi vill i denna artikel visa på varför serieflöden, som ju utgör grunden för både de traditionella västerländska och för de japanska produktionssystemen, inte är så effektiva som det förutsätts på många håll.

Dessa produktionssätt är behäftade med förluster av teknisk art, förluster som sammanfattningsvis beror på att:

(1) korta cykeltider medför svårighet att fördela arbetsuppgifter,

(2) en stor andel av arbetscykeln åtgår till att hantera material och

(3) operatörens arbetstakt varierar. Seriekopplas operatörerna längst ett flöde medför detta därför väntetider eller behov av extra kontrollanter och justeringar.

Fler produktvarianter och operatörernas anspråk på mer meningsfulla arbeten bidrar ytterligare till att skapa problem. Dessutom ger behovet av kontroll- och justeringspersonal upphov till förluster. Serieflöden är känsliga för frånvaro i då alla stationer måste vara bemannade. Detta får till följd att ersättare erfordras. Även vid montering i parallelliserade flöden med omfattande arbetsinnehåll förutsättes en viss grundbemanning bl a vad gäller kunskande för att frånvaron inte ska ge problem.

Det har blivit uppenbart att lösningar på många av de problem som är förknippade med kortcykliskt serieflöden inte går att finna utan en radikal förlängning av cykeltiderna. Nya produktionssystem har därför introducerats, system med väsentligt annorlunda teknisk utformning såsom bl a parallelliserade flöden med buffertar (flöden med parallella arbetsstationer där arbetsinnehållet ökats betydligt och produkten är kvar längre tid på arbetsstationen).

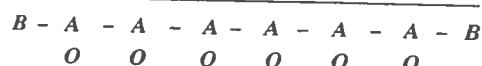
Sådana tekniska åtgärder är en förutsättning för en vidareutveckling av arbetet på verkstadsgolvet och bör kombineras med grupporienterad arbetsorganisation för att bli verkligt effektiv, flexibel och human.

Detta innebär att autonoma grupper monterar tillverkar hela eller stora delar av produkten, i extremfallen färdigställer enskilda operatörer hela produkter, vilket medför att cykeltiderna förlängs väsentligt. Den förlängda cykeltiden medför att speciella åtgärder för att underlätta inlärning och inkörning av produktionssystemen måste vidtagas (detta kommer vi att diskutera i en kommande artikel).

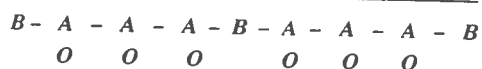
Parallelliserade flöden och möjlighet att buffertera material och produkter gör att enskilda operatörer eller hela arbetsgrupper kan frikopplas så att de själva i högre grad kan påverka sin arbetshastighet/momentana arbetstakt och sin metod.

Volvo-Uddevalla-principen

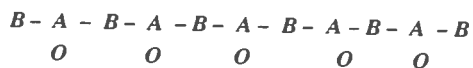
Den allmänna debatten kring alternativ till det löpande bandet har i huvudsak förts av samhällsvetare och ekonomer. Den har fokuserats på antagandet att en social förändring medför sociala effekter. Man har ansett tekniken som inte påverkbar och ointressant att inkludera i diskussionen. Detta har resulterat i att allmändebatten om exempelvis Volvos slutmonteringsfabrik i Uddevalla har



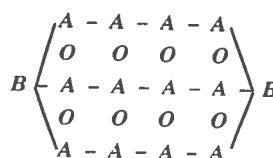
Sex arbetsstationer med buffertar före och efter



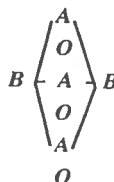
Tre plus tre arbetsstationer med buffertar före, efter och mellan



Fem arbetsstationer med buffertar före och efter varje arbetsstation



Tre parallella flöden med fyra arbetsstationer i varje, gemensamma buffertar före och efter



Tre parallella arbetsstationer med gemensamma buffertar före och efter

Figur 1. Schematisering av serieflöden, buffertar och parallelliserade flöden, vilket är tekniska åtgärder att höja effektiviteten och öka förutsättningarna för motivation och trivsel i arbetet. B = buffert, A = arbetsstation, O = operatör.

förts utifrån alltför ensidiga utgångspunkter och därmed kan slutsatserna ifrågasättas.

Fabrikens utformning har baserats på den nya sociotekniska teorin utkristalliserats under de senaste två decennierna. Teori har verifierats och ytterligare vidareutvecklats i Uddevalla, genom tillämpning av produktionsprinciper innebär en avsevärd teknisk förändring som primärt syftar till högre effektivitet.

Nytt flödesmönster, nytt materialförsörjningssystem med inlärningsunderlättande åtgärder, nya hanteringshjälpmedel och verktyg är de mest framträdande exemplen på förändringen. Denna förändring har medfört och möjliggjort positiva sociala effekter, såsom meningsfullare arbete med större arbetsinnehåll, kompetenta och kunniga medarbetare på alla nivåer inom organisationen, bättre ergonomi i monteringen, etc.

Vissa principer är tidigare kända medan andra är nya. Känt har varit att parallelliserat flöde medför ökad effektivitet genom eliminering av serieflödets förluster. Det är dessa förluster vi i första hand ämnar behandla i denna artikel.

Principerna leder till en fungerande grupporganisation med delegerat ansvar för kvalitet och kvantitet där arbetsgrupper och operatörer stör inte varandra. De tekniska och administrativa förutsättningarna är utformade så att individen strävar efter att bli allt kunnigare eftersom det "lönar" att kunna mer, belöningen är främst en utökad tekniska och administrativ autonomi ("frihet är priset för utökat ansvar", Karlsson 1979).

Volvos fabrik i Uddevalla tillämpar fyra nya unika produktionsprinciper:

1. Organisk flödesmönster istället för semiparallellt eller serieflöde - där det inte är förflyttningmönstret på produkten som beskriver arbetet, utan hur operatörerna i en arbetsgrupp agerar på sin arbetsstation, när de samtidigt arbetar på flera produkter inklusive de förarbets-

stationer (Ellegård et al. 1992).

2. Materialförsörjning med materialsatser per personvagn. I materialsatsen ingår de stora komponenter som har en självklar monteringsposition, liksom även smådetaljer som står för en stor andel monteringsstid. Dessa senare sammanförs veckobehovsvis på ett strukturerat sätt i plastpåsar (Engström 1983, Johansson 1989, Johansson och Johansson 1990).

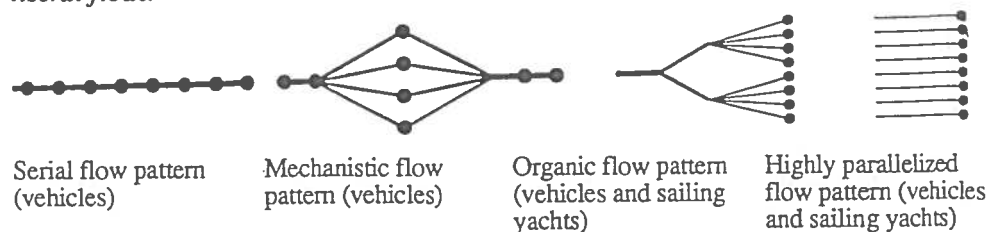
3. Monteringsunderlättande materialgruppering har möjliggjort en effektivare informationsbehandling eftersom monteringslika personvagnar också är materialhanteringslika och beskrivningslika (Engström och Medbo 1991).

4. Naturligt grupperat monteringsarbete, vilket innebär en bibehållen relation mellan materialexponering, administrativ beskrivning och sätt att arbeta. En språk- och begreppsbyggnad där man bl a i större utsträckning än traditionellt utnyttjar det arbete som konstruktören gjort, exempelvis används komponenternas adekvata benämning istället som brukligt enbart artikelnummer (Engström och Medbo 1992).

Vid fordonstillverkning har man den speciella förutsättningen att informationen om produkt och de ingående komponenter är tillgänglig innan det fysiska materialet anländer. Det är därför möjligt att förstrukturera information och material så att dessa är anpassade till monteringen. Här har långcykligt arbete på stillastående produkt den fördelen att produktens inre logik blir förståelig för montörerna på ett sätt som inte är möjligt i traditionella produktionssystem.

Fabriken i Uddevalla har utformats ifrån att människans förutsättningar och marknadens krav på produkt primärt är basen för hur teknik och administrativa system ska vara. Detta i motsats till som tidigare har varit fallet, att låta de traditionella tekniska och administrativa förutsättningarna samt marknadens krav

Figur 2. Serie-, semiparallella, organiska flödesmönster samt fullständigt parallelliserat flöde.



vara givna och sedan försöka anpassa människan till dessa.

Tillämpning av dessa principer har bl a medfört:

- Produktionstekniska fördelar, i form av effektivitet, flexibilitet, minskad behov av överordnat produktionstekniskt stöd, möjlighet till flexibel arbetstidsförläggning där man med minimal ledtid tillverkar personvagnar som är sålda in-

nan montering påbörjas.

- Minskat ytbehov eftersom, p g a parallelliseringen, behovet av transportytor och mellanbuffertar mellan olika produktionssteg minskar.

- Minskat verktygsbehov, p g a (1) det större arbetsinnehållet medför att mekaniseringsgraden kan sänkas och man har fler men "enklare" verktyg. (2) det erfordras färre verktyg av fixturfunktion då

	Serial flow	Semi-parallel mechanistic flow	Parallel organic flow
Percentage balancing loss[5]	30	15	5
Percentage handling loss ¹	25	20	15
Percentage system loss ²	80	30	20
Percentage total loss ³	135	65	40
Throughput time base object (h-)	6	16	7
Possible working up at collective and individual level (min) ⁴	0 0-15 ⁵	20-60 20-60	Unlimited ⁶ 15-100
Space requirement [m ² /(automobile/year)] ⁷	0.6	0.6	0.4
Size of repair area [m ² /(automobile/year)] ⁸	0.2	0.2	0.1
No. of hand tools and mechanized equipment per assembly minute	1.6[20]	1.6	0.6
No. of material supply units per automobile displayed for the workers	5,000	1,800	1,500

Figur 3. Jämförelse mellan tre olika produktionssystem för slutmontering av personvagnar. Som framgår finns det stora skillnader i produktivitet, yt- och verktygsbehov. En fördel med det organiska flödesmönstret är flexibilitet i produktionsvolym och variantmix, men även att marginalkostnaden för att tillverka ytterligare ett antal produkter är marginell, eftersom dessa kan fogas samman på övertid av ett fåtal operatörer (Ellegård et al 1992).

operatören eller arbetsgruppen behärskar hela toleranskedjor (3) dyrbar produktionsutrustning utnyttjas gemensamt av flera arbetsgrupper.

– Effektivare informationsbehandling med hjälp av en "Uddevalla-gemensam" relationsdatabas, som bl a innehåller överskådliga och rimligt omfattande arbetsinstruktioner på en bråkdel av det antal sidor som traditionell krävs. Dessutom har antalet varianter som man vid inplanering för montering behöver beakta minskat från tusentals till ett femtiotal. Denna informationsbehandling och de anställdas höga kompetens har fått till följd överlägset kortare tider vid modellbytte och för löpande ändringsorder.

Produktionsprinciperna har visat sig överlägsna både vad gäller kvalitet, effektivitet och flexibilitet. Det är verifierat att de tillämpade teorierna är relevanta och det finns ytterligare potentialer att vara överlägset alla konkurrerande principer.

Det kan bli avgörande för svensk verkstadsindustris framtid om man vill och förmår utnyttja det utvecklingsförsprång som man genom satsningen på dessa produktionsprinciper fått. Det är ingen hemlighet att tyska och japanska tillverkare visar ett allt större intresse för detta framtidskoncept – ett internationellt intresse har väckts, man börjar nu successivt förstå produktionsprinciperna och inse deras överlägsenhet (Rehder 1992).

Det är diskutabelt om dessa produktionsprinciper, p g a starkt inrotade traditioner och värderingar, från början gått att utveckla i traditionella svenska slutmonteringsfabriker. Vid de försök som hittills gjorts har det inte varit möjligt (Granath 1991). I grunden kanske beroende på paradigmatiska skillnader.

Man kan fråga sig om det blir möjligt att tillräckligt omfattning förändra inriktningen på övriga monteringsfabriker för att på lång sikt överleva, nu när fabriken i Uddevalla läggs ned. Avsaknad av

draghjälp från en existerande och under fortsatt utveckling varande förebild kan bli kritisk.

Ökat ansvar

Grupperna tar ett utvidgat kvantitets- och kvalitetsansvar. Andra arbetsmoment såsom kontroll, transport, underhåll och städning övertages av gruppen. Detta gäller även en stor av sådant arbete som införande av produktändringar och utveckling av arbetsmetoder vilket tidigare utförts av produktionstekniker.

Det har tidigare varit svårt att förändra montering av stora produkter på serieflöden, speciellt vid slutmontering av fordon där produktionshastigheten är hög och/eller materialflödet stort. Avsaknaden av rationella materialförsörjningsmetoder har tidigare utgjort den främsta restriktionen. Notera att montering längs dagens traditionella serieflöden förutsätter ett omfattande arbete att plocka om komponenter till mindre emballage eftersom det p g a det stora antalet varianter är svårt att få plats med materialet längst flödet.

Produktförändringar och att det blandas olika produkter på ett serieflöde innebär i traditionella produktionssystem ett omfattande produktionstekniskt arbete. Man måste flytta arbetsmoment mellan arbetsstationer för att få en jämn arbetsfördelning och försäkra sig om att produkten byggs enligt specifikation.

Semiparallelliserat flöde

Det nya flödesalternativen, som först prövades brukar kallas semiparallelliserat flöde. Detta är en mellanform mellan ett serieflöde och högparallelliserade flöden. Flödet förs i vissa delar samman till ett huvudflöde med arbetsstationer som passeras av samtliga objekt för att därefter åter förgrenas till parallella arbetsstationer. Samtliga objektet behöver alltså inte passera alla arbetsstationer. Flödesintensiteten blir då hög i hu-

vudflödet och lägre i flödets parallella förgreningar. För att autonomi för enskilda arbetsarbetsgrupper ska vara möjlig krävs stora buffertvolymmer.

Semiparallella parallelliserade flöden fungerar i flera avseenden som traditionell serieflödes montering, då man vanligen med rimliga buffertstorlekar inte klarar att förändra sekvensen från inmatningen mellan produkterna i det fortsatta flödet. Detta beror bl a på att förmonterade variantkomponenter såsom motor med växellåda, bakaxlar, dör-rar, etc måste styras till korrekt produkt-individ, vilket i sin tur innebär att man tvingas investera i utrustning som sorterar om dessa komponenter.

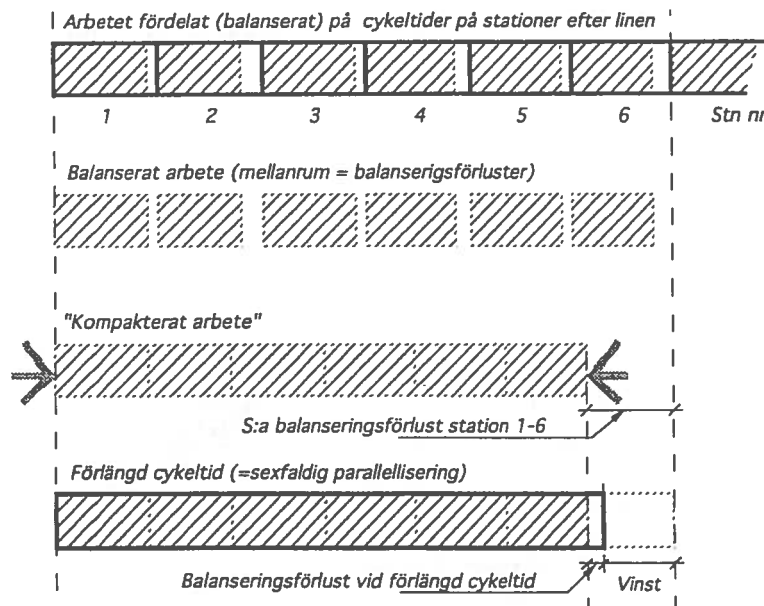
Det krävs även produkter och speciell utrustning som bufferterar dessa mellan produktionsavsnitt. Investeringskostna-den i hanteringsutrustning och lokalyta blir därmed omfattande och vanligen inte försvarbar för produktionssystem med semiparallelliserat flöde.

Fullständig parallellisering som innebär att varje produkt har sitt unika flöde är sällsynt. I praktiken vävs flödena samman till organiska flödesmönster. Detta beror på att det finns gemensamma verksamheter som samtliga produkter måste passera, exempelvis automatiserad utrustning för limning av rutor, rulltestar för provning av färdig vagn, etc.

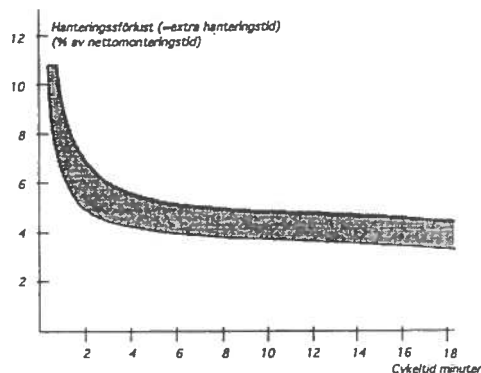
Organiska flödesmönster

Flödet förgrenas successivt i flera steg samtidigt som mekaniseringsgraden stegvis avtar (flödesintensiteten avtar successivt). Hela monteringsprocessen att bli effektivare, störningar i en arbets-grupp behöver inte störa övriga grupper.

Produkten står stilla medan gruppen monterar den helt färdig. Arbetsgruppen har kontroll över sin del av flödet och över sin arbetstakt inom gränserna för sitt planerade produktionsprogram. Där-igenom framträder produktens inre logik – dess struktur – för operatören. Opera-



Figur 4. Balanseringsförlusten för sex respektive en arbetsstation (stationstiden visas som en rektangulär ram i figuren). Summeras de utbalanserade arbetena (balanserna) för de olika arbetsstationerna och jämförs med summan av stationstiderna, ser man hur stor den obalanserade tiden är i de två fallen (arbetstiden har "kompakterats").



o Figur 5. Diagram som visar hur balanseringsförlusterna ändras när cykeltiden ökar (exklusive variantförluster). Att kurvan formar ett fjält beror på att produkter är olika. Det är lättare att fördela arbetet jämnt i tid när det är många små delar i en produkt (Wild 1975).

tören blir successivt blir allt kunnigare och effektivare erhåller därigenom en ökande autonomi. Arbetskamraternas hel- eller halvfärdiga produkter, tillgängliga på närliggande arbetsstationer, kommer att fungera som arbetsinstruktioner. Materialet som av nödvändighet bör levereras som byggsatser, exponeras i dessa så att det stöder själva monteringsarbetet.

Detta medför att inläringstiden för det omfattande arbetsinnehållet förkortas. Dessutom underlättas inläringen av att i monteringsarbetet alla ingående arbetsmoment inte är olika utan är likartade (att dra till slutmoment, att justera, att kontrollera material, etc).

Produktförändringar underlättas eftersom den erfarna operatören själv har kunskap om sammanhanget och lättare kan se konsekvenser av ändringen. Operatörerna använder den tid som de behöver för att göra monteringen korrekt. Eventuellt justeringsarbete utförs av gruppen direkt.

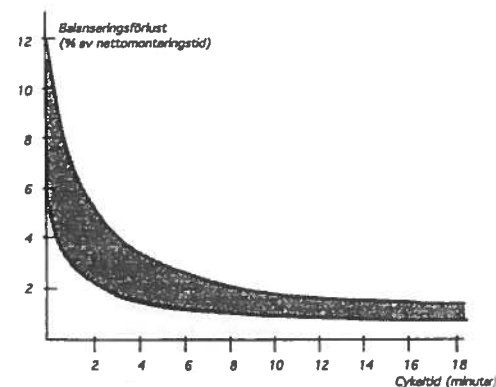
Organiska flödesmönster förutsätter nya materialförsörjningsmetoder. Organiska flöden är flexibla och mindre känsliga för störningar i materialflödet.

De utnyttjar dessutom fabriksytan bättre än andra flödesmönster, eftersom ytor alternativ används för bufferering, montering samt transport (de flesta produkter är åtkomliga för montering, det är små buffertar mellan olika produktionssteg och små svep- och returytor för transportutrustning).

Även i ett organiskt flödesmönster kan det förekomma mekaniserade operationer, ofta med annat utföranden än vid traditionell serieflödesmontering (utrustning som används en ringa del av en arbetsgrupps totala tillgängliga arbetstid gemensamhetsutnyttas av flera grupper, men får då utformas mobil eller också flyttas produkten till utrustningen).

Vi har i figur nedan, jämfört tre olika produktionssystem för slutmontering av personvagnar. Jämförelsen är baserad på empiriska data som normaliserats på så sätt att svårighetsgraden vid monteringen motsvarar den för en svensk personvagn.

Traditionell produktionsteknik använder, när produktionen utformas, medelvärden baserade på tids- och me-



Figur 6. Diagrammet visar hur halteringsförlusterna ändras med ökande cykeltider. Ju kortare cykeltid desto större andel av den tiden går åt för att flytta material, därför kröker kurvan. Material exponeringen har stor betydelse för förlusternas storlek vid en viss given cykeltid. (Wild 1975)

todstudier. Man bortser då från vissa långtgående effekter av sådana individuella variationer som uppstår när en enskild operatör utför ett repetitivt arbete, liksom man bortser från variationerna mellan olika operatörer. Nybörjare och även tränade operatörer arbetar med varierande hastighet och effektivitet.

Vid drivna serieflöden är takten bestämd och därmed är arbetet maskinstyrt. Produkten finns lika lång tid på varje station längs serieflödet. Det är då väsentligt hur de tider fastställs som arbetsuppgifterna vid arbetsstationerna längs serieflödet får ta. Det går naturligtvis inte att anpassa arbetet efter vars och ens individuella kapacitet. Därför används en genomsnittskapacitet vid fördelningen.

Det traditionella sättet att fördela arbetet är att varje operatör beläggs med så mycket arbete som en "normal-operatör" antas kunna utföra under den tid som produkten finns vid hans station.

Inom arbetsstationerna varierar ofta arbetsmängden per produkt beroende på vilken variant som för tillfället är aktuell för montering på stationen ifråga eller på vilka störningar som uppträder.

Resursförbrukning

För att jämföra och bedöma effektiviteten mellan olika produktionssystem beräknar man deras respektive förbrukning av olika resurser. En metod som ursprungligen utvecklades av den engelske forskaren R Wild har visat sig lämplig i sådana sammanhang (Wild 1975).

Metoden utgår ifrån den arbetsmängd som skulle behövas från att operatören fick komponenterna i sin hand exakt när de behövdes tills att de är monterade ("nödvändigt nettoarbete"), kallas nettomonteringstid.

All övrigt resursförbrukning betraktas som förlust och anges i procent av nettoarbetet. Detta medför att olika produktionssystemens effektivitet på ett förhållandevis objektivt sätt kan jämföras.

Flödesteoretiska potentialer

De flödesteoretiska potentialerna är, när det gäller att arbetskraftsbehovet i ett serieflöde, bl a

(1) "kompaktering" av de balanserade arbetsmängderna och av individuella variationer så att väntetider försvinner,

(2) förlängning av cykeltid som i sig självt innebär att förluster minskar.

Notera att buffertar har, utöver sin flödestekniska/produktionstekniska effekter, även en social betydelse genom att de ger möjligheter till teknisk autonomi, d v s genom att man exempelvis kan variera arbetstakt i monteringen kan man ackumulera mikropausar så att operatörerna därmed disponerar längre sammanhängande tider för pauser eller andra verksamheter, s k teknisk autonomi.

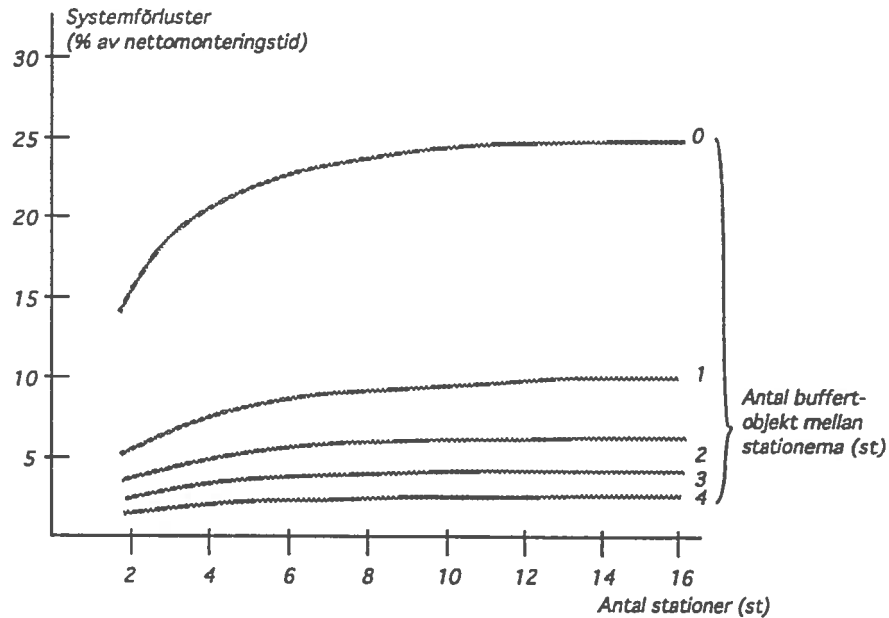
Om man tillämpar de flödesteoretiska resonemangen vi påvisar fullt ut visar det sig att det går att avsevärt minska det totala behovet av buffertar samtidigt som både produktivitet och frikopplingen av operatörerna ökar. I en arbetsgrupp där operatörerna har överlappande kompetens att utföra arbetsuppgifter kan väntetider ytterligare undvikas.

Det är väsentligt att produktionssystem med parallelliserade flöden är rätt utformade. Finns det för många beroenden mellan operatörerna genom att exempelvis arbetsgruppen är för stor, eller om utrustning och produkt är olämpliga, så kan även i ett sådant produktionssystem stora förluster uppstå.

Förluster

I praktiken är det inte möjligt att dela slutmonteringsarbetet i helt lika delar och fördela dem mellan alla arbetsstationerna längs ett serieflöde, eftersom produktens utformning inte medger att arbetsmoment kan flyttas och delas i hur små beståndsdelar som helst.

Dessa förluster kallas balanseringsförluster. Inom de flesta industrier läggs



Figur 7. Systemförlusterna ökar med antalet arbetsstationer efter varandra (på ett odrivit serieflöde) men planar i praktiken nästan ut när man kommer till tio arbetsstationer efter varandra. De mer än halveras genom den ökade frikopplingen mellan operatörerna som uppstår om man har tillgång till en produkt i buffert mellan arbetsstationerna. Ytterligare buffertprodukter ger mindre effekt (Wild 1975).

stora produktionstekniska resurser på att minska balanseringsförlusterna, trots att dessa inte utgör den största av de olika förlusterna.

Olika varianter ger varierande beläggning vid samma cykeltid på ett serieflöde. Detta medför ytterligare balanseringsförlust, ofta kallad variantförlust¹. Ofta får den mest tidskrävande varianten bestämma hur arbetet fördelas på stationerna längs flödet. En metod för reducera denna effekt är att man organiserar ordningsföljden mellan produkter för att jämna ut produkternas tidsspridning, s k sekvensbalansering.

1) Om olika typer av förluster teoretiskt beräknas och summeras. (system-, balanserings-, variant- och hanteringsförluster) för en driven serieflöde utan buffertar med en cykeltid på omkring två minuter och variantförlusten uppskattas till omkring 10%. blir resultatet en summaförlust på omkring 50%. Vid mätningar i verkliga fabriker har det visat sig att man alltid får betydligt högre värden.

Balanseringsförlusterna uttrycks här som procent av nettomonteringstiden.

I nettomonteringsarbetet exkluderas allt som per definition inte är montering. Hantering av material och verktyg i samband med monteringen eller störningar som beror på variationer i arbetstakt hos operatörerna ingår exempelvis inte i nettomonteringstiden.

Det finns två fördelar med att utgå ifrån nettomonteringstid, att räkna "inifrån och ut", i stället för att ange förlusterna med utgångspunkt från cykeltiden, så som man vanligen gör. Dels blir fokus inställt på det som verkligen tillför produkten värde. Dels kan andra förluster direkt jämföras och adderas.

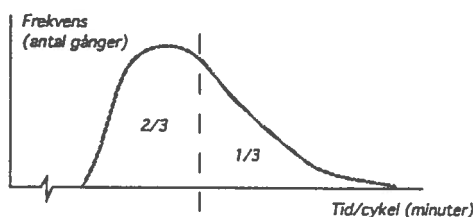
Med hanteringsförlust avses de aktiviteter då operatörerna förflyttar sig mellan olika platser på arbetsstationen och hanterar verktyg och material under arbetets gång. Det är alltså arbetet att "fästa och skruva fast komponenter". Ju kortare cykeltiden är desto större andel av

arbetstiden åtgår för att flytta material och verktyg. Vid cykeltider över ca åtta minuter planar kurvan ut och hante- ringsförlusten förblir konstant.

När cykeltiden förlängs försvinner alltså den extra hantering som behövs för handhavande av material och verktyg vid korta cykeltider. När arbetsinnehållet ökar och cykeltiden förlängs kommer längre sammanhängande tidsperioder att vara tillgänglig för materialhantering, eftersom hanteringsförlusten utgör ett påslag som minskar och planar ut när arbetscykeln längs. Vid grupparbete med långa arbetscykler kan gruppmedlemmar gå och hämta material själva på ett materialtorg, utan att andelen hantering blir lika stor som vid kortcykliskt arbete.

När material satsas av operatörerna själva eller om exempelvis småmaterial levereras i plastpåsar, motsvarande sådana som används i möbelsatser från Ikea som monteras i hemmet. Materialhanteringstiden, materialspill och slarv minskar därmed avsevärt.

När vana operatörer arbetar efter varandra vid ett serieflöde finns det vid varje tidpunkt alltid några bland dem som behöver längre tid än de övriga för att utföra sitt arbete. Detta gäller obero-



Figur 8. Den individbundna medfödda variationen för vana operatörer vid ett icke maskinstyrt arbete visar en "skev fördelning" kring medelvärdestiden (Weibullfördelning). Detta innebär bl a att samma arbetsuppgift i en tredjedel av fallen det krävs längre arbetstid än medelvärdestiden.

de av balanseringsförluster. Det finns alltid en naturlig variation i arbetstakt för varje operatör, som ger negativa effekter vid serieflöden. Dessa kan inte kompenseras vid arbetsstationen.

Det betyder att även en van operatör då och då får svårt att hinna fullfölja sitt arbete. Det därav förorsakade behovet av justering ingår i vad som kallas systemförlust. Dessa förluster har alltså sin grund i operatörens variation i arbetstakt. Denna mänskliga varians är inte direkt påverkbar utan kan endast i viss mån reduceras, exempelvis genom "elitarbetskraft" och bättre konstruktioner. I denna förlust ingår dessutom exempelvis tid för kontroll, jämte personlig fördelningstid och obelagd tid för ersät- tarpool, dvs extra kostnader på grund av produktionssystemets utformning.

Ett serieflöde kan vara drivet eller odrivet. Takten på ett drivet serieflöde styrs av banans hastighet. Ett odrivet serieflöde innebär att operatörerna flyttar produkten till nästa arbetsstation när den är färdig.

Vid ett odrivet serieflöde uppstår väntetid när någon på föregående arbetsstation behöver mer tid för sitt arbete. Väntan uppstår i detta fall för att operatörerna inte får någon ny produkt att montera. Väntan kan också uppstå om operatörerna på den station som ligger närmast efter den egna inte har hunnit arbeta färdigt. Då kan operatörerna på den egna arbetsstationen inte sända vidare den produkt som de är färdiga med. Sådana väntetider, som uppstår när arbetet är uppdelat i korta arbetscykler, upplevs inte som pauser, utan som störningar i arbetsrytmen (Karlsson 1979).

Den slumpartade frikopplingen genom avbrott som uppträder kan inte utnyttjas för att ge produktionssystemet som helhet högre effektivitet.

Vid ett drivet serieflöde uppstår endast väntetider om man är färdig inom cykeltidens ram. Som framgått ovan resulterar det drivna serieflödet i att en del

av monteringen inte hinner utföras. Ibland blir följden att efterföljande arbetsstationer inte kan göra kompletta monteringar. Resterande montering måste utföras av speciella justerare, ofta i en separat avdelning.

För att notera vad som inte monterats färdigt eller korrekt på serieflödet tillkommer dessutom kontrollinsatser på varje produkt. Justeringsarbetet medför dessutom ofta omfattande demontering för att det ska gå att komma åt att åtgärda det som missats tidigare och som byggts in. Behov av efterjustering skapar också behov av åtgärder i andra avseenden, till exempel följsdel i monteringen, materialhantering och administration.

Serieflöden måste således överbemannas eller producera på övertid för att man ska erhålla det förväntade antalet färdiga produkter per dag eller vecka. Väntetiderna gör det nödvändigt att sätta in extra kontroll- och justerarbete på ett odrivet serieflöde, medan ett drivet serieflöde kräver extra kontroll- och justeringsinsatser under eller efter monteringen. Denna överbemannning beräknas som en procentsats extra arbete i förhållande till den nödvändiga arbetet och ingår i systemförlusten.

Systemförlusten ökar när antalet operatörer direkt efter varandra i ett flöde ökar, se figur 7. Ju fler seriekopplade arbetsstationer, desto större är sannolikheten för att produktionskapaciteten minskar. Förlusten planar ut för att i stort sett vara konstant när det är fler än tio seriekopplade arbetsstationer.

Systemförlusterna minskar om det finns buffertar mellan operatörerna. Det första buffertobjektet gör att förlusten mer än halveras medan ytterligare buffertobjekt har väsentligt mindre inverkan (av produktionstekniska skäl är det således inte motiverat att ha alltför stora buffert volymer (diskussioner om kapitalbindning i buffert måste alltså beakta vilken funktion bufferten i fråga har, en olämplig reducering av produkter i arbe-

te kan mycket väl innebära en väsentlig ökning av mantidsbehovet).

Orsaken till systemförlust är alltså att operatörerna inte arbetar med konstant hastighet som hela tiden utför arbetsuppgifterna exakt på de tider som anslags.

Sammanfattningsvis medför otraditionella flödesmönster rätt genomförda vid slutmontering en effektivare produktion med en ökad flexibilitet (m a p variantmix och produktionskapacitet, flexibel arbetstidsförläggning, etc), men dessutom ett totalt sett minskat yt- och verktygsbehov (se figur 3).

Materialhanteringen vid dagens industriella tillämpningar ger totalt sett omfattande materialhanteringstider, det bör dock noteras att aktuella produktionssystem är under inkörning och är inte heller till alla delar färdigutvecklade. Det är således ännu i industriell skala inte konstaterat om denna materialhantering sett mot traditionella produktionssystem totalt minskar eller ökar.

Eventuell ytterligare utveckling av de tillämpade materialförsörjningsmetoderna kommer att resultera i en betydlig effektivisering. Hur detta kan ske har vi idag både det teoretiska kunnande om och på vissa punkter praktisk verifierat.

En eventuellt ökande hanteringen uppvägs dock väl av erhållna vinster i monteringen genom reduktion av balanserings-, hanterings- och systemförluster.

Litteratur

Rehder, R: Building Cars as if People Mattered. Columbia Journal of World Buisnes. Summer 1992.

Ellegård, K; Engström, T; Johansson, B; Johansson, M; Jonsson, D; Medbo, L: Reflective Production in the Final Assembly of Motor Vehicles - An Emerging Swedish Challenge. International Journal of Operations & Production Management. Vol 12, no. 7/8. 1992.

Ellegård, K; Engström, T; Johansson, B; Medbo, L; Nilsson, N: Förändring av industriell verksamhet - nyttiggörande av kunskap om mänsklig användning av teknik. Volvo AB (manus). Göteborg 1992.

Engström, T: Materialflödessystem och serieproduktion. Institutionen för Transportteknik. Chalmers Tekniska Högskola (doktorsavhandling). Göteborg 1983.

Engström, T; Medbo, L: Consequences for Final Assembly, Pre-production and Design of Natural Grouped Assembly Work and Material Handling – Methods and Experience. Achieving Competitive Edge – Getting Ahead through Technology and People. Sixth International Conference. Operations Management Association UK. Birmingham. Springer-Verlag Limited (in press for publication in International Journal of Technology Management). London 1991.

Engström, T; Medbo, L (1992): Pre-conditions for Long Cycle Time Assembly some Experiences. International Journal of Operation Management.

Granath, J-Å: Architecture. Technology and Human Factors – Design in a Socio-Technical

Context. Avdelningen för Industriplanering. Chalmers Tekniska Högskola (doktorsavhandling). Göteborg 1991.

Johansson M: "Product Design and Materials Handling in Mixed-Model Assembly". Institutionen för Transportteknik. Chalmers Tekniska Högskola (doktorsavhandling). Göteborg 1989.

Johansson, B; Johansson, M: High Automated Kitting System for Small Parts – a Case Study from the Uddevalla Plant. International Symposium on Automotive Technology and Automation. Wien 1990.

Karlsson, U: Alternativa produktionssystem till lineproduktion. Sociologiska Institutionen. Göteborgs Universitet (doktorsavhandling). Göteborg 1979.

Wild, R: On the selection of mass production systems. International Journal Production Res. No. 5 1975.



Tomas Engström

*Inst för transportteknik,
Chalmers tekniska högskola,
Göteborg*



Bertil Johansson

*Inst för transportteknik,
Chalmers tekniska högskola,
Göteborg*



Lars Medbo

*Inst för transportteknik,
Chalmers tekniska högskola,
Göteborg*

Sammanfattning

I samband fordonsindustrins lönsamhetsproblem har under de senaste åren i fackpressen och även i massmedia i övrigt förekommit en slags vulgärdebatt om lämpliga och möjliga vägar ur krisen.

Gemensamt för en stor del av det material som publicerats om japanska produktionsprinciper är föreställningen att vi västerlänningar genom en ensidig noggrann kopiering av alla deras beteenden, utan att generell förståelse och teoriunderbyggnad vad gäller utformning av produktionssystem, kunna närma oss de japanska framgångarna.

Att det finns väl verifierad forskning som både täcker in det traditionella, de japanska och de nya alternativa produktionssystemen är inte känt eller anses strida mot det vedertagna. Denna forskning visar på produktionssystemens starka och svaga sidor.

Vi har i denna artikel påvisat förklaringar till varför serieflöden, som ju utgör grunden för både de traditionella västerländska och för de japanska produktionssystemen, inte är så effektiva som det förutsätts på många håll.

