

COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING EN OPERATIONS RESEARCH

W.H.M. ZIJM¹**Abstract**

In deze bijdrage wordt kort ingegaan op een aantal recente ontwikkelingen welke een rol hebben gespeeld in de automatisering van produktie en logistiek. Vervolgens wordt toegelicht waarom juist bij een goede invoering van Computer Integrated Manufacturing (CIM) ondersteuning van de besluitvorming maar ook van de operationele besturing m.b.v. kwantitatieve modellen onmisbaar is. Ter illustratie worden enkele voorbeelden behandeld. De tegenhanger van complexe besturingsmodellen, t.w. complexiteitsreductie van het fysieke systeem, komt in de epiloog aan de orde.

¹ Universiteit Twente, Faculteit Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktie- en Operations Management, Postbus 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands

1. INLEIDING

Computer Integrated Manufacturing (CIM) kan gedefinieerd worden als het met behulp van computers, numeriek bestuurd machines en robots voortbrengen van goederen in de ruimste zin. Daarbij wordt niet alleen bedoeld op het feitelijk produceren van goederen maar evenzeer op het totstandkomen van een produktontwerp, de werkvoorbereiding, de produktiebesturing en de distributie. Zoals het voorgaande al aangeeft kent CIM zowel een technische als een administratieve/bestuurlijke component; onder de eerste vallen daarbij b.v. Computer Aided Design en Computer Aided Process Planning alsmede de numerieke besturing van machines en robots, onder de tweede produktiebesturingspakketten als Manufacturing Resources Planning en verschillende voorraadmanagement en shopfloor besturingssystemen.

Elementen of oorzaken die geleid hebben tot de opkomst van Computer Integrated Manufacturing kunnen in feite verdeeld worden in twee groepen. Enerzijds is er sprake van een *technology push*, voortkomend uit de wereldwijd sterk voortschrijdende automatisering. Ontwikkelingen in de robotica en het ontwerpen van CNC (Computer Numerically Controlled) machines voor oorspronkelijk andere doeleinden vragen om toepassingen in de industriële produktie. Van meer belang lijkt echter nog de tweede groep van oorzaken die gekenschetst zou kunnen worden als een *demand pull* en die het best kan worden omschreven als die ontwikkelingen in de markt die snellere responstijden en een constante hoge kwaliteit, naast een sterke kostenefficiëntie, noodzakelijk maken. Bij die ontwikkelingen kan dan gedacht worden aan de sterke groei van de produktdiversiteit en de daaraan gekoppelde korter wordende product life cycles (minder dan negen maanden voor veel consumentenprodukten), kwaliteitsbewustzijn naast lage kosten maar ook de snelle stijging van de lonen in westerse landen.

Flexibiliteit, kwaliteit, efficiëntie en een uitstekende delivery performance zijn sleutelwoorden geworden in zowel de consumentensektor als in de fabricage en assemblage van kapitaalgoederen. Zonder een vergaande technische automatisering zijn de daaruit voortvloeiende doelstellingen nauwelijks nog te realiseren, zeker niet simultaan. De introductie van CNC machines, soms geïntegreerd in Flexibele Fabricage en Assemblage systemen, Automatic Guided Vehicles (AGV's) en geautomatiseerde magazijnen en opslagsystemen (AS/RS = Automatic Storage and Retrieval Systems) biedt dan een mogelijke oplossing. Voor de beheersing van produktie en distributie bieden registratiesystemen, gebaseerd op barcodes, en nieuwe communicatiemogelijkheden (EDI) uitkomst terwijl voor de besturing gebruik kan worden gemaakt van geavanceerde informatiesystemen zoals MRP en DRP.

2. COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING, VOORDELEN EN KANTTEKENINGEN

Zoals gezegd wordt CIM gedefinieerd als het voortbrengen van goederen met behulp van geautomatiseerde hulpmiddelen, zowel ten behoeve van het feitelijke (fysieke) voortbrengingsproces

alsook voor de besturing en beheersing van dat proces. In die zin kan CIM worden gezien als een poging te komen tot integratie van een aantal deels autonome ontwikkelingen die verschillende deeltrajecten in de totale voortbrengingsketen betreffen. Bij die achterliggende ontwikkelingen kunnen we weer een onderverdeling maken in aspecten die bij uitstek de technische automatisering betreffen en aspecten die gerelateerd zijn aan de automatisering van planningsfuncties en beheerstaken. Te denken valt aan:

Technische Automatisering

- Computer Aided Design
- Computer Aided Manufacturing
- Procesbesturing in de procesindustrie
- Automated Materials Handling en Intern Transport
- Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS)
- Automatisch testen en inspectie

Automatisering van planningsfuncties en beheerstaken

- Voorraadbeheersystemen
- Forecasting en lange termijn capaciteitsplanning
- Materiaalstroom coördinatie (b.v. Manufacturing Resources Planning)
- Detailscheduling, monitoring en data acquisitie (Shopfloor Control)
- Automatisering van de werkvoorbereiding (CAPP)
- Automatisering van personele en financiële administratie

Het leidt geen twijfel dat de invoering van deze technieken een sterke vergroting van de *potentiële* flexibiliteit van een productiesysteem heeft bewerkstelligd. Met behulp van een CAD systeem kunnen sneller klant-specifieke ontwerpen worden gemaakt en doorgerekend, terwijl rapid prototyping technieken zoals b.v. stereolithografie eveneens leiden tot een belangrijke verkorting van het innovatietraject. Flexibele productiesystemen kunnen, vanwege het ontbreken van forse omsteltijden, een grote diversiteit aan producten in kleine series produceren zonder verlies aan efficiëncy. Doordat een productieplan snel kan worden geëvalueerd in termen van capaciteitsbezetting kunnen externe wensen en interne haalbaarheid beter op elkaar worden afgestemd. Statistische Procesbeheersing, noodzakelijk in een systeem waarin kwaliteit wordt nagestreefd door het voorkomen van fouten in de voortbrengingsprocessen, is niet mogelijk zonder automatische procesbewaking.

Niettegenstaande deze potentiële voordelen vallen bij de praktische implementaties zoals deze tot nu toe zijn gerealiseerd een aantal kanttekeningen te plaatsen. Wij geven hieronder enkele voorbeelden.

Met betrekking tot de plannings- en beheerssystemen valt op dat deze sterk administratief van karakter zijn en nauwelijks of niet *op automatische wijze* goede planningen of voorstellen voor planningen genereren. De huidige generatie systemen biedt voornamelijk ondersteuning bij het visualiseren van een door de planner in te brengen voorstel en bij het doorrekenen van de consequenties van zo'n plan, bijvoorbeeld in termen van materiaalbehoefte of capaciteitsbezetting. Een voorbeeld is MRP: het Master Production Schedule (MPS) dient te worden ingegeven (waarbij het systeem wel administratieve ondersteuning biedt) terwijl een werkelijk geautomatiseerd planningssysteem automatisch een goede afstemming tussen gewenste en gevraagde capaciteit zou moeten nastreven, waarbij "goed" gerelateerd is aan bepaalde performance criteria, b.v. leverbetrouwbaarheid. Een systeem als MRP is überhaupt niet sterk capaciteitsgeoriënteerd, in feite vormen de zogeheten off-set leadtimes de enige mogelijkheid om aan te geven dat productie een zekere tijd vraagt die langer is dan de feitelijke produktietijd, vanwege capaciteitsconflicten op de korte termijn. Het feit dat deze doorlooptijden op geen enkele wijze werklastafhankelijk zijn vormt een tweede manco; er is weinig kennis van de wachttijdtheorie voor nodig teneinde te kunnen concluderen dat de gemiddelde produktiedoorlooptijd groter wordt naarmate de bezettingsgraad van een systeem toeneemt.

Wat voor MRP systemen geldt gaat evenzeer, zo niet sterker, op voor de ontwikkelde systemen voor shopfloor besturing. In veel gevallen komen de systemen niet verder dan de automatische planbordfunctie, met daarnaast uitstekende rapportagefuncties (bezettingsgraden, levertijdoverschrijdingen, uitval) en mogelijkheden voor statistische overzichten. Echter, schedules dienen nog steeds door de planner zelf te worden ingegeven, al zijn er tegenwoordig pakketten die generatie m.b.v. eenvoudige prioriteitsregels ondersteunen. Met name echter voor sterk geautomatiseerde systemen zien we echter dat de planningsproblemen een multi-resource karakter hebben, naast machinecapaciteit spelen ook de beschikbaarheid van gereedschappen en (modulaire) spanmiddelen en pallets een rol. In een dergelijke omgeving presteren prioriteitsregels slecht en zal van geavanceerde planningsmethodieken gebruik dienen te worden gemaakt, temeer daar ook het handmatig genereren van goede schedules door een planner feitelijk onmogelijk wordt.

Bij de realisatie van fysieke systemen blijkt met name systeemintegratie een zwak punt te zijn. Het installeren en uittesten van numeriek bestuurd machines kost vaak al meer moeite dan verwacht, het integreren van een aantal CNC machines met een geautomatiseerd handling- en transportsysteem leidt niet zelden tot grote problemen. Belangrijker nog lijkt het feit te zijn dat veel bedrijven zich onvoldoende realiseren dat flexibele productie-automatisering de besturingslast aanzienlijk verzwaart, juist vanwege het potentieel grotere aantal vrijheidsgraden die inherent aan het systeem verbonden zijn. Automatische gereedschapwisseling door CNC machines reduceert de omsteltijden aanzienlijk maar er dient wel zorg gedragen te worden voor de aanwezigheid van de geschikte gereedschappen in het aan de machines gekoppelde gereedschapmagazijn. Hetzelfde geldt voor pallets, spanmiddelen en (vaak produkt-specifieke) mallen die, vanwege de grote investeringen die nodig zijn, vaak beperkt beschikbaar zijn. Het is dit, hierboven reeds genoemde, multi-resource karakter dat het genereren van een goede detailplanning tot een complexe aangelegenheid maakt.

Een laatste voorbeeld waar de introductie van automatisering gebrekkig blijft betreft de logistieke besturing van geautomatiseerde magazijnen en distributiecentra, alsmede de besturing van interne transportsystemen. De puur technische interfaces zijn in de regel goed verzorgd maar op het gebied van een goede magazijnindeling en het ontwikkelen van orderpick-strategieën ligt nog een heel terrein braak. Met name de efficiënte en effectieve inzet van automatische SBA's (Stelling Bedieningsapparatuur) vraagt om een goede, werklastafhankelijke aansturing. Scheduling en routing van AGV's vormt eveneens een terrein waarvoor betere methoden dienen te worden ontwikkeld teneinde deze systemen ten volle uit te kunnen nutten. Dimensionering en layoutbepaling van magazijnen in distributiecentra worden mede bepaald door efficiënte strategieën voor voorraadbeheer; desondanks zien we nauwelijks toepassingen van deze strategieën in de aanwezige voorraadbeheersystemen die, zoals we ook voor MRP hebben gezien, voornamelijk administratief ondersteunend van karakter zijn.

Samenvattend kan gesteld worden dat de huidige toepassingen van de automatisering in de productie hetzij puur technisch van aard is hetzij administratief ondersteunend. Werkelijk intelligente zelfplannende systemen en systemen, gericht op een *logistieke* integratie van deelelementen, zijn tot op heden niet of nauwelijks gerealiseerd.

Kwantitatieve modellen en technieken: de rol van de Operations Research

De constatering dat modellen en methoden uit de Operations Research tot op heden nauwelijks worden toegepast bij de ontwikkeling van CIM systemen geeft aanleiding tot de vraag: waarom niet? Daarvoor zijn een aantal redenen te noemen.

De Operations Research heeft zich in het verleden niet altijd onderscheiden door een sterke applicatie gerichtheid. Integendeel, modellen die in eerste instantie ontwikkeld werden vanwege de noodzaak praktische problemen te analyseren gingen snel een eigen leven leiden waarin niet de oorspronkelijke probleemstelling maar het model op zich centraal werd gesteld. Onderzoek binnen de Operations Research richtte zich vervolgens op het ontwikkelen van steeds meer verfijnde methoden zonder de vraag te stellen of de ontwikkelde modellen nog relevant waren. Onmiddellijk dient hier echter aan te worden toegevoegd dat met name de laatste 10 jaren een forse omslag te zien hebben gegeven. Mede onder invloed van externe oorzaken heeft een herbezinning plaats gevonden op de rol van de Operations Research waarbij met name de sectoren productie en logistiek, maar ook de telecommunicatie, de analyse van computer netwerken en ontwikkelingen in de financiële sectoren (banken en verzekeringen) voor een belangrijke stimulans hebben gezorgd.

Een tweede oorzaak voor het gebrek aan appreciatie van kwantitatieve modellen en technieken is hardnekkiger van aard en vindt haar oorsprong in wezen in het abstracte karakter van deze modellen. Een CNC machine of een robot is zichtbaar, een shopfloor besturingssysteem dat een geautomatiseerd planbord visualiseert of zelfs een simulatiepakket dat via animatie een AGV systeem tot leven brengt spreekt aanzienlijk meer tot de verbeelding dan een kwantitatief model.

Daarnaast bestaat er een natuurlijke neiging bij veel bedrijfsmensen om enerzijds de automatisering van de techniek als een vanzelfsprekendheid te accepteren maar anderzijds een verdergaande automatisering van plannings- en beheerstaken als een onmogelijkheid te bestempelen. "Technische processen zijn te automatiseren, de organisatie van die processen echter hooguit in administratief-ondersteunende zin" is een mening die nog steeds veel te beluisteren valt. Terwijl aan de andere kant onmiddellijk wordt gewezen op de complexiteit van veel van de huidige plannings- en beheerstaken die het maken en evalueren van alternatieve beslissingen tot een onontkoombare noodzaak maken. Naarmate de geautomatiseerde "fabriek van de toekomst" dichterbij komt zullen steeds meer taken volautomatisch worden uitgevoerd en derhalve eveneens volautomatisch dienen te worden aangestuurd. In een dergelijke fabriek kan men eenvoudig niet volstaan met ad hoc besturingsregels maar dienen algorithmen, gebaseerd op modelmatige representaties van de fysieke toestand van de onderliggende systemen, te worden aangewend teneinde een overall goede performance te bereiken.

Kwantitatieve modellen, methoden en technieken zullen een onmisbare rol gaan spelen bij het bereiken van een werkelijk efficiënt en flexibel systeem, gericht op de voortbrenging van kwaliteitsprodukten. De voortbrenging van deze produkten wordt immers steeds meer gezien als een keten met weliswaar vele, maar onlosmakelijk met elkaar verbonden, schakels, vanaf marketing en produktontwerp, via werkvoorbereiding en produktie naar distributie, test en installatie. Design for manufacturing, design for assembly, concurrent engineering, total quality management en integrale logistieke beheersing zijn evenzovele pogingen om die integratie te bewerkstelligen. *Het zijn juist de kwantitatieve modellen die bij uitstek zijn gericht op systeemintegratie en systeemanalyse, het is de aard en de taak van deze modellen om vele variabelen in hun onderlinge funktionele verbanden te representeren en hun onderlinge interacties te evalueren teneinde tot uitspraken omtrent het gedrag van het systeem als geheel te komen.* Recente ontwikkelingen binnen de Operations Research m.b.t. de terreinen produktie en logistiek zijn sterk gericht op deze integratie. Als voorbeelden kunnen worden genoemd:

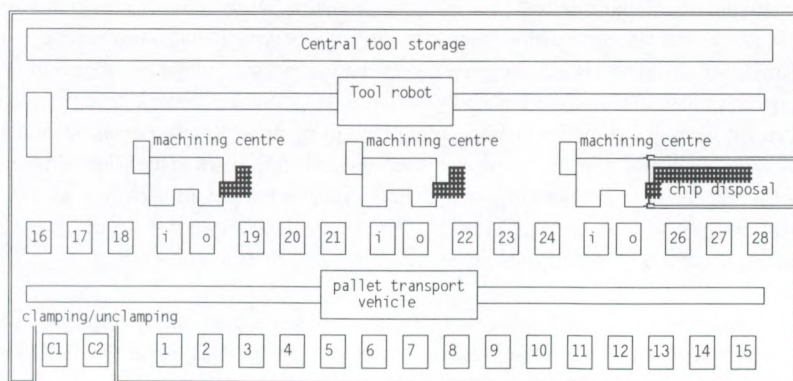
- afwegingen m.b.t. capaciteitsplanning en leadtime management
- globale performance analyse van geïntegreerde fabricage en assemblage systemen
- bepaling van de locatie en grootte van ontkoppelvoorraden in logistieke ketens
- routeplanningssystemen t.b.v. de fysieke distributie
- multi-resource capaciteitsmanagement en shopfloor control
- analyse van de effecten van concurrent engineering (integratie ontwerpen en werkvoorbereiding)
- analyse van de effecten van integratie van Computer Aided Process Planning (werkvoorbereiding) en shopfloor control

Enkele voorbeelden

Binnen de vakgroep Produktie en Operations Management van de Universiteit Twente worden beslissingsondersteunende systemen ontwikkeld voor verschillende toepassingsgebieden. Het onderzoek van de vakgroep kan in drie hoofdthema's worden onderverdeeld, t.w.

- Manufacturing systems analysis, planning and control
- Warehousing and Materials Handling
- Management of Large Repair/Maintenance shops

Binnen het eerste thema verdient de ontwikkeling van een multi-resource detailplanningssysteem voor de werkplaatsbesturing in de kleinseriefabricage bijzondere aandacht. Dit systeem, JobPlanner genaamd, is oorspronkelijk gebaseerd op decompositietechnieken die door Adams et al. (1988) zijn ontwikkeld. Het systeem is primair gericht op het minimaliseren van de levertijdoverschrijding in complexe, hybride job shops. Anders dan in de klassieke job shop kunnen in een hybride job shop voor elke produktiefase verschillende, niet noodzakelijk identieke, machines staan opgesteld. Ook kunnen familiestructuren een rol spelen zodanig dat binnen een familie omsteltijden minimaal zijn terwijl voor overgang naar een andere familie een forse omsteltijd nodig kan zijn. Tenslotte zijn in sterk geautomatiseerde fabricage-omgevingen naast machinecapaciteit ook de beschikbaarheid van de juiste gereedschappen, spanmiddelen en pallets vereist, leidend tot de noodzaak een aantal resources simultaan te plannen. Dit laatste lichten we toe aan de hand van figuur 1, waarin een flexibele fabricagecel van de machinefabriek El-O-Matic in Hengelo, fabrikant van elektrische en pneumatische aandrijvingen voor afsluiters, is afgebeeld. Naast dit bedrijf hebben een aantal andere bedrijven meegewerkt aan de ontwikkeling van JobPlanner, o.a. Stork Plastics Machinery, DAF (plaatcomponentenfabriek), HOLEC Algemene Toelevering en Urenco.



Figuur 1. Een flexibele fabricagecel, bestaande uit drie CNC-bewerkingscentra, automatisch pallet- en gereedschaptransport en palletpool.

De fabricagecel in figuur 1 staat opgesteld voor één productiefase binnen de hybride job shop voor de onderdelenfabricage van El-O-Matic; met name een grote verscheidenheid aan huizen en zuigers van de aandrijvingen wordt hier bewerkt. Naast de aan de machines gekoppelde gereedschapmagazijnen, kenmerkend voor een stand-alone CNC-bewerkingscentrum, is in de cel een centraal gereedschapmagazijn geïntegreerd, met een robotsysteem tussen centraal magazijn en machinemagazijnen. Deze robot is in staat on-line, dus gedurende de uitvoering van de bewerkingen op de machines, aan de achterzijde van de machine-magazijnen gereedschappen te wisselen en te transporteren naar hetzij het centrale magazijn hetzij naar een andere CNC-machine. Vanwege de aanwezigheid van de gereedschaprobot besloot het management van EL-O-Matic vervolgens sterk te bezuinigen op de (vaak buitengewoon dure) gereedschappen, in die zin dat duplicaten van gereedschappen slechts beperkt aanwezig mogen zijn; in het bedrijf zijn meer dan 50% van alle gereedschappen uniek. Als gevolg daarvan echter kunnen geen twee werkstukken gelijktijdig op verschillende machines bewerkt worden wanneer ze hetzelfde, unieke, gereedschap nodig hebben. Eenzelfde opmerking kan gemaakt worden m.b.t. de dedicated palletsystemen waarvan er per type vaak slechts enkele aanwezig zijn, alsmede voor de modulair opgebouwde spanmiddelsystemen. Kortom, naast de machinecapaciteit dienen ook een aantal zgn. auxiliary resources te worden gepland; het ontbreken van slechts één van deze hulpmiddelen verhindert het bewerken van een onderdeel of een groep van simultane onderdelen die op eenzelfde pallet zijn opgespannen.

Binnen JobPlanner zijn technieken geïmplementeerd welke met dit multi-resource karakter rekening kunnen houden, deze technieken zijn gebaseerd op netwerkplanningsmethoden, vergelijkbaar met de Shifting Bottleneck procedure van Adams et al. (1988). In de planning wordt rekening gehouden met release en due-dates voor alle bewerkingen in de flexibele fabricagecel welke afgeleid worden van een decompositie van het totale, hybride job shop scheduling probleem. Daarnaast zijn Branch en Bound methoden ontwikkeld teneinde een trade-off te kunnen maken tussen clustering van produkten binnen eenzelfde familie omwille van efficiency-redenen (set-up tijd reductie) en het op tijd leveren van alle orders. Immers, een vergaande clustering van orders binnen één familie kan een forse levertijdoverschrijding veroorzaken van orders die niet tot die familie behoren; aan de andere kant kan een primair due-date georiënteerd schedule leiden tot zoveel capaciteitsverlies door teveel omstellen dat eveneens problemen rijzen. Tenslotte zijn transportsystemen expliciet in het systeem opgenomen en wordt rekening gehouden met verschillende beschikbaarheidstermijnen (verschillende ploegendiensten) van machines en operators. Voor nadere details verwijzen we naar Schutten et al. (1993) en Meester en Zijm (1993, 1994). Uitbreidingen naar een hoger liggende capaciteitsplanning en orderacceptatieprocedure worden behandeld in Zijm (1994).

Een ander voorbeeld betreft de ontwikkeling van een beslissingsondersteunend systeem voor de besturing van een AS/RS (Automatic Storage and Retrieval System). Met name is hierbij de aandacht gericht op de ontwikkeling van een combinatie van opslag- en orderpickstrategieën. Daarbij kan gedacht worden aan het onderscheid tussen zgn. class-based en item-based storage policies, batch picking of order-based picking, single of dual command cycles voor automatische kranen, het toelaten van meerdere kranen in één gang (zgn. bochtrijdende kranen, vaak leidend tot

een grotere efficiency maar tevens tot complexe schedulingsproblemen) en het aansluiten van een orderpickingsysteem op een daaropvolgend sorteersysteem. Belangrijke criteria in de ontwerpfase zijn primair de throughput of effectieve capaciteit en de responstijd. Met name bij een aantal grote distributiecentra die toeleveren aan supermarktketens zijn korte responstijden (soms van vier uur, voor het uitleveren van ong. 500 artikelen) noodzaak geworden. Ook in dit project wordt met verschillende bedrijven samengewerkt. Met betrekking tot het ontwikkelen van opslag en besturingstechnieken wordt opnieuw zwaar geleund op modellen uit de combinatorische optimalisering; voor het ontwerp van dergelijke AS/RS wordt vaak gebruik gemaakt van modellen uit de wachttijdtheorie. Een overzicht wordt gegeven in Van den Berg (1994).

Tenslotte verdient een onderwerp uit het derde themagebied kort aandacht. Het betreft hier de ontwikkeling van een nieuw bedrijfsbeheersysteem voor de Rijkswerf, één van de drie grote onderhoudsbedrijven van de Koninklijke Marine in Den Helder. In dit onderzoek staat met name de ontwikkeling van resource constrained project management technieken in een multi-project omgeving (elk te reviseren en te modificeren schip is een project) centraal. Daarnaast is er sprake van een complex materiaalcoördinatieprobleem. Met name de keuze tussen "repair on board" en "repair by replacement" verdient daarbij aandacht. De laatste optie omvat de mogelijkheid een niet functionerend subsysteem te vervangen door een gelijkwaardig, functionerend subsysteem, en het defecte systeem later, afhankelijk van de capaciteitsbelasting, te reviseren en op de plank te leggen in afwachting van toekomstig gebruik. Op deze wijze ontstaat een materiaalcircuit van onderdelen en subsystemen dat via de gebruiker, de repair shop en een magazijn loopt. Daarnaast kunnen onderdelen ook aan boord worden vervangen wat de noodzaak van voorraden onderdelen aan boord impliceert. Er is sprake van een multi-indentured, multi-echelon voorraadsysteem, zie b.v. Clark (1981). Het uiteindelijk te ontwikkelen bedrijfsbeheersysteem voor de Rijkswerf zal uiteindelijk zowel de capaciteitsplanning in een multi-project omgeving als de materiaalcoördinatie moeten omvatten.

EPILOOG

In deze bijdrage worden allereerst een aantal belangrijke ontwikkelingen genoemd welke mede tot de opkomst van Computer Integrated Manufacturing hebben geleid. Vervolgens is gesteld dat het woord "Integrated" binnen CIM voorlopig nog tussen haakjes dient te worden geschreven; van een werkelijke integratie van deelautomatiseringen en van technische systemen met plannings- en beheerstaken is voorsnog geen sprake. Kwantitatieve modellen, methoden en technieken uit de Operations Research kunnen hier een uiterst nuttige rol vervullen, juist omdat deze modellen en analyse-technieken bij uitstek zijn gericht op de optimalisering van complexe systemen, afhankelijk van vele elkaar wederzijds beïnvloedende parameters. Tenslotte worden een aantal voorbeelden van projecten, uitgevoerd binnen de vakgroep Produktie en Operations Management, toegelicht die bij uitstek zijn gericht op de integratie van verschillende deelelementen in een overall besturingsmodel.

De veel gehoorde tegenwerping die hier wordt gemaakt is dat men allereerst zou moeten streven naar vereenvoudiging van het werkelijk bestaande fysieke systeem alvorens over de besturing van zo'n systeem te gaan denken. Het sleutelwoord is dan: complexiteitsreductie. Nu is reductie van complexiteit in bepaalde opzichten zeker attractief en heeft het in organisatorisch en in het bijzonder sociotechnisch opzicht belangrijke voordelen. Helaas echter worden de nadelen vaak niet genoemd en deze zijn *buitengewoon wezenlijk*. Complexiteitsreductie leidt inherent tot een inperking van vrijheidsgraden en daarmee tot een vermindering van flexibiliteit. Twee voorbeelden tot slot mogen dit illustreren.

JIT/Kanban systemen werken uitstekend in een stabiele, repetitive manufacturing omgeving. Wanneer echter aan deze condities niet voldaan kan worden presteren deze systemen gewoonlijk slecht en die slechte prestaties zijn inherent aan het karakter van het systeem. Een sterke variabiliteit in de korte termijn vraag sluit toepassing van een Kanban systeem in de regel uit.

Groepsgewijze produktie (cellular manufacturing) is attractief omdat de besturingslast aanzienlijk wordt vereenvoudigd. Echter, ook hier geldt dat korte product life cycles en een sterk wisselende mix leiden tot een sterke onderbezetting van capaciteiten in een groepsgewijze produktiestructuur, en derhalve tot slechte resultaten in termen van leverbetrouwbaarheid. De klassieke job shop wordt voor een externe omgeving, gekenmerkt door een grote vraagdiversiteit en sterk wisselende volumes, steeds meer als een in wezen goed alternatief gezien, mits we door forse omsteltijdredukties in staat zijn om ook kleine series efficiënt te produceren terwijl een geavanceerd besturingssysteem in een dergelijke omgeving een absolute noodzaak is.

De grootste fout die ligt besloten in het debiteren van zogenaamde wijsheden als "Keep it simple" is de onderschatting van de fysieke werkelijkheid van een systeem enerzijds en de gebruiker van dat systeem anderzijds. *Er bestaan geen eenvoudige oplossingen voor complexe problemen*. Iets anders is dat oplossingen transparant dienen te zijn en zo mogelijk dienen aan te sluiten bij de intuïtie van de gebruiker. Maar een complexe werkelijkheid die wordt gekenmerkt door enerzijds veel vrijheidsgraden maar anderzijds veel interacties is nog altijd beter gediend met het optimaal benutten van die vrijheidsgraden dan met de inperking daarvan. In die zin gaat het gebruik van kwantitatieve modellen en technieken uit de Operations Research ook in de produktie en logistiek een veelbelovende toekomst tegemoet.

Noot: dit artikel is een bewerking en uitbreiding van een lezing die op 20 januari 1993 gehouden werd op de studiedag "Logistiek en Operations Research", georganiseerd door de Vereniging van Logistiek Adviseurs, de Nederlandse Vereniging voor Besliskunde en de vakgroep Besliskunde van de Universiteit van Amsterdam, faculteit der Economische Wetenschappen.

REREFENTIES

1. Adams, J., E. Balas and D. Zawack [1988], *The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling*, Management Science 34, pp. 391-401,
2. Clark, A.J. [1981], *Experiences with a multi-indentured, multi-echelon inventory model*, in L.B. Schwarz (ed.): Multi-level production/inventory control systems: theory and practice (TIMS Studies in the Management Sciences 16), North-Holland, Amsterdam, pp. 299-330,
3. Meester, G.J. and W.H.M. Zijm [1993], *Multi-resource scheduling of an FMC in discrete parts manufacturing*, in M. Munir Ahmad and William G. Sullivan (eds.): Flexible Automation and Integrated manufacturing 1993, CRC Press Inc., Atlanta, pp. 360-370,
4. Meester, G.J. and W.H.M. Zijm [1994], *Development of a shop floor planning and scheduling system for hybrid job shops*, this conference,
5. Schutten, J.M., S.L. van de Velde and W.H.M. Zijm [1993], *Scheduling a single machine with release and due dates and family-dependent set-up times*, Working Paper LPOM-93-4, Department of Mechanical Engineering, University of Twente (submitted to Management Science),
6. Van den Berg, J.P. [1994], *Operational control of an Automated Storage/Retrieval System*, 1994 International Colloquium on Materials Handling Research, Grand Rapids, Michigan,
7. Zijm, W.H.M. [1994], *Capacity Planning, Leadtime management and shopfloor control*, Proceedings of the Eighth International Working Seminar on Production Economics, pp. 89-102, Igls.

