

De toepassing van micro-elektronica in de werktuigbouwkunde

Citation for published version (APA):

Rietdijk, J. W., Rooij, van, H. W. A. M., Stuyvenberg, P. F., & Vosmer, J. (1983). *De toepassing van micro-elektronica in de werktuigbouwkunde*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPB0036). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1983

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



WPB 0036

**THEMA: DE TOEPASSING VAN
MICRO-ELEKTRONICA IN
DE WERKTUIGBOUWKUNDE**

AUTEURS:

**J. W. RIETDIJK
H. W. A. M. VAN ROOIJ
P. F. STUYVENBERG
J. VOSMER**

INHOUD

Voorwoord dekaan afdeling W	3
Voorwoord begeleiders	4
Inleiding	5
Comité van aanbeveling	7
Subsidiënten	8
Deelnemers	9
Bezochte bedrijven en instellingen in de V.S.	10
Voorstudie	12
<u>FMS & Robotica</u>	
1. Voorstudie	15
2. Beschrijving van de bedrijfsbezoeken	38
<u>MRP (Material Requirements Planning)</u>	
1. Voorstudieverslag MRP	82
2. Verslag excursie Bendix, Warren (MI)	104
3. Verslag excursie Skil, Chicago (IL)	114
4. Verslag bezoek SKF, Hanover (PA)	126
<u>CAD/CAM</u>	
1. Voorstudie	136
2. Resultaten studiereis	158
3. Aanbevelingen voor de Nederlandse industrie	176
4. Eindconclusies	179
<u>Numerieke besturing (Nube)</u>	
1. Geschiedenis van de numerieke besturing	184
2. Signaalverwerking, aandrijvingen en meet-systemen bij numeriek bestuurd machines	186
3. Huidige stand van de numerieke besturings-techniek	194
4. Enkele economische aspecten bij het inzetten van numeriek bestuurd gereedschapswerktuigen	196
5. De verdere ontwikkeling (DNC)	200
6. Slot Nube	207

Voorwoord dekaan afdeling werktuigbouwkunde.

Studiereis van "Simon Stevin"
naar de USA:
Toepassing van de micro-elektronica
in de Werktuigbouwkunde.

prof.dr. P.C. Veenstra
dekaan afd. W.

Hoewel de elektronica in de afgelopen decennia een steeds belangrijker rol is gaan spelen in het werktuigbouwkundig onderzoek en onderwijs - te denken is hier aan de toepassing van het rekentuig bij de analyse van complexe werktuigkundige systemen, maar ook aan beheersing van bedrijfskundige logistieke problematiek en aan meetbesturingsproblemen die toepassing vinden in de automatisering en numerieke besturing - heeft toch de recente razend snelle ontwikkeling van de micro-elektronica de werktuigbouwkunde min of meer verrast, ook wat het onderwijs betreft.

In rapporten van studieverenigingen wordt dan ook gekonstateerd dat in Nederland in vergelijking met belangrijke industrielanden een aanzienlijke achterstand bestaat in de toepassing van de micro-elektronica in de werktuigbouwkunde, vooral daar waar de "chip" of een complete mini-computer in de werktuigkundige constructie als functie-element geïncorporeerd is.

Een exponent hiervan is de industriële robot en het is dan ook niet verwonderlijk dat binnen het gebied van de flexibele automatisering van de productie thans op een groot aantal plaatsen indringend aandacht wordt gegeven aan deze materie.

Maar ook op het veel wijdere terrein van de "computer aided engineering", het ontwerpen en (automatisch) vervaardigen met computer ondersteuning van productie, valt nog onvoorstelbaar veel te doen.

Om deze redenen heeft het bestuur van de afdeling het initiatief van de werktuigbouwkundige studievereniging "Simon Stevin" om een op grondige voorstudie gebaseerde studiereis naar de USA te maken naar vermogen gesteund en met waardering mogen vaststellen dat het KIVI en het bedrijfsleven mede bereid bleken voldoende financiële voorwaarden te scheppen.

Verwacht mag worden dat de ervaringen, analyses en conclusies in het reisverslag een wezenlijke bijdrage zullen leveren tot ontwikkeling van het onderwijsprogramma en bevruchtend zullen werken op de lopende onderzoekprogramma's, afgezien nog van het persoonlijk profijt dat de deelnemers aan de studiereis verworven hebben.

Voorwoord begeleiders.

Van 14 mei tot 5 juni 1983 hebben 20 studenten met 3 begeleiders een studiereis gemaakt in de Verenigde Staten van Amerika, met als thema: "De toepassing van micro-elektronica in de werktuigbouwkunde".

De studie heeft zich niet primair gericht op de micro-elektronica in engere zin. De opgedane indrukken en ervaringen strekken zich veel verder uit, zodat beter gesproken kan worden over elektronische automatiseringen en besturingen. Dit blijkt ondermeer uit de sub-thema's die speciaal zijn bestudeerd, n.l. CAD/CAM, numerieke besturing, robotica & flexibele automatisering en planning & werkvoorbereiding met behulp van computers.

Tijdens het bezoek aan een 13-tal bedrijven en instellingen is gebleken dat de (mini-) computer definitief zijn intrede heeft gedaan in de werktuigbouwkunde. De invoering van één van de vier systemen hebben vooral geleid tot kwaliteitsverhoging. Daarnaast kan men rationeler ontwerpen en produceren.

Het was opvallend dat de invoering van de computer toch betrekkelijk weinig verlies aan arbeidsplaatsen opleverde. Kwaliteitsverhoging en produktiviteitsverbetering deden een sterke concurrentiepositie ontstaan, niet alleen t.o.v. plaatselijke concurrentie maar ook t.o.v. andere landen zoals Japan.

Het is de studiegroep duidelijk geworden dat het niet toepassen van moderne elektronica tot een zekere afbraak van het bedrijf zal leiden. Dit geldt niet alleen voor de USA, doch ook voor Europa en dus ook voor Nederland. Het is te hopen dat de invoering van de elektronica in ons land op een snelle en juiste wijze zal plaatsvinden. De deelnemers van deze studiereis verwachten dat dit verslag hiertoe een bijdrage zal vormen.

ir.C.J. Heuvelman
ing. H.W.A.M.van Rooy
prof.dr.ir.A.C.H.van de Wolf

Inleiding.

Met "Simon Stevin" op een buitenlandse studiereis naar de Verenigde Staten van Amerika met als onderwerp " De ontwikkelingen van de micro-elektronica in de werktuigbouwkunde".

Waarom zover weg?

Waarom dit onderwerp?

Laten we - de organisatie - vraag voor vraag proberen te beantwoorden.

Al gedurende enkele jaren koesteren de besturen van de studie-vereniging "Simon Stevin" de wens om een studiereis te organiseren naar een land buiten Europa. Echter de pogingen die hiertoe werden ondernomen strandden mede door gebrek aan financiële middelen. Totdat ongeveer één jaar geleden het idee naar voren kwam om een studiereis te organiseren naar de Verenigde Staten met als onderwerp de toepassing van micro-elektronica in de werktuigbouwkunde.

Waarbij we gelijk toe zijn aan het beantwoorden van de tweede vraag.

Er is een aantal redenen aan te wijzen die er toe hebben geleid dat we hebben gekozen voor dit onderwerp.

De werktuigbouwkunde ontwikkelt zich op het moment nogal sterk met behulp van de micro-elektronica. Er zijn weinig gebieden waarin de micro-elektronica geen belangrijke rol speelt.

Bovendien is dit gebied betrekkelijk nieuw zodat er nog maar weinig kennis is bij de werktuigbouwers omtrent de toepassingen van micro-elektronische componenten. Hoewel het in het huidige twee-fasen studieprogramma duidelijk wordt ingepast ontbreekt de kennis vaak bij de ouderejaars. Door middel van deze studiereis proberen we dit gemis gedeeltelijk op te heffen. Vandaar dat de studiereis als vak in het studiepakket van de deelnemers is opgenomen.

Een andere reden voor de keuze van dit onderwerp is de plaats van de TH nl. in Eindhoven. Er is een streven van de agglomeratie om van Eindhoven e.o. een centrum te maken van micro-elektronica in Nederland, West-Europa en de wereld. De basis voor zo'n beleid lijkt gelegd met Philips, het World Trade Centre Electronics en de TH in Eindhoven. Het aantal kleine bedrijven in de micro-elektronica en de toepassing ervan neemt bovendien toe in deze agglomeratie.

Het voornaamste doel van onze reis is het vergroten van de kennis op het gebied van de toepassingen van de micro-elektronica bij werktuigbouwers en vooral bij de deelnemers aan de reis naar de Verenigde Staten. De kennis op dit gebied wordt met name vergroot door de voorstudie die die plaats vindt op de aandachtsgebieden.

Een bijkomend voordeel is dat door de intensieve voorstudie d.m.v. lezingen, bedrijfsbezoeken e.d. en het uitgebreide verslag de kennis op de afdeling W op dit gebied groter wordt. De begeleiders, die ook een rol spelen bij de voorstudie, kunnen zo specifieke ideeën opdoen die waardevol kunnen zijn voor de toekomst van de afdeling W.

De voorstudie werd onderverdeeld in vier aandachtsgebieden van het onderwerp micro-elektronica in de werktuigbouwkunde, te weten:

1. Flexibele Automatisering en Robotica (FMS & ROBOTICA). De micro-elektronica maakt het mogelijk om een flexibeler productieproces te verwezenlijken en de robotica zou nooit zo'n vlucht hebben kunnen nemen zonder micro-elektronica.
2. Planning en Werkvoorbereiding (MRP). De micro-elektronica toegepast voor planning taken werkt sterk kostenbesparend door de optimale productiecapaciteits-bezetting en door minimale voorraden.
3. CAD/CAM, computer aided design and manufacturing. Het ontwerpen en fabriceren met behulp van een computer zodat de ontwerp/fabrikage-cyclus verkort wordt. Dit kan een beter doordacht, uitontwikkeld produkt tot gevolg hebben.
4. Machine besturingen, numerieke besturingen (NUBE). De fabricage van ingewikkelde werkstukken wordt hierdoor sterk vereenvoudigd en de mogelijkheden van het fabricageproces worden uitgebreid. (m.n. wat betreft snelheid.)

Tot slot willen wij mede namens de deelnemers onze dank richten tot het comité van aanbeveling van onze studiereis en tot alle bedrijven en instellingen die door hun financiële ondersteuning deze reis mogelijk hebben gemaakt.

De organisatie.

Jan Rietdijk
Henk van Rooij
Paul Stuyvenberg
Jan Vosmer

Comité van aanbeveling voor de studiereis naar de Verenigde Staten van Amerika van 15 mei tot en met 4 juni 1983.

Het comité van aanbeveling voor de studiereis naar de Verenigde Staten van Amerika van de studievereniging Simon Stevin is als volgt geconstitueerd:

prof.dr. S.T.M. Ackermans	(rector magnificus TH Eindhoven)
prof.ir. J. Erkelens	(hoogleraar afdeling der werktuigbouwkunde THE)
prof.ir. W.A. Koumans	(lid raad van bestuur van TNO)
dhr. J.C. van Lanschot	(lid raad van bestuur van F. van Lanschot Bankiers N.V.)
ir. R.D. van Oorschot	(lid raad van bestuur DAF Trucks B.V.)
ir. A.G. Penning	(president van het KIVI)
dr.ir. F.J. Philips	(oud voorzitter raad van bestuur N.V. Philips)
prof.dr. P.A.J.M. Steenkamp	(decaan van de afdeling wijsbegeerte en maatschappijwetenschappen THE)
prof.dr. P.C. Veenstra	(decaan van de afdeling der werktuigbouwkunde THE)
prof.dr.ir. A.C.H. van der Wolf	(hoogleraar afdeling der werktuigbouwkunde THE)

Subsidiënten studiereis Amerika.

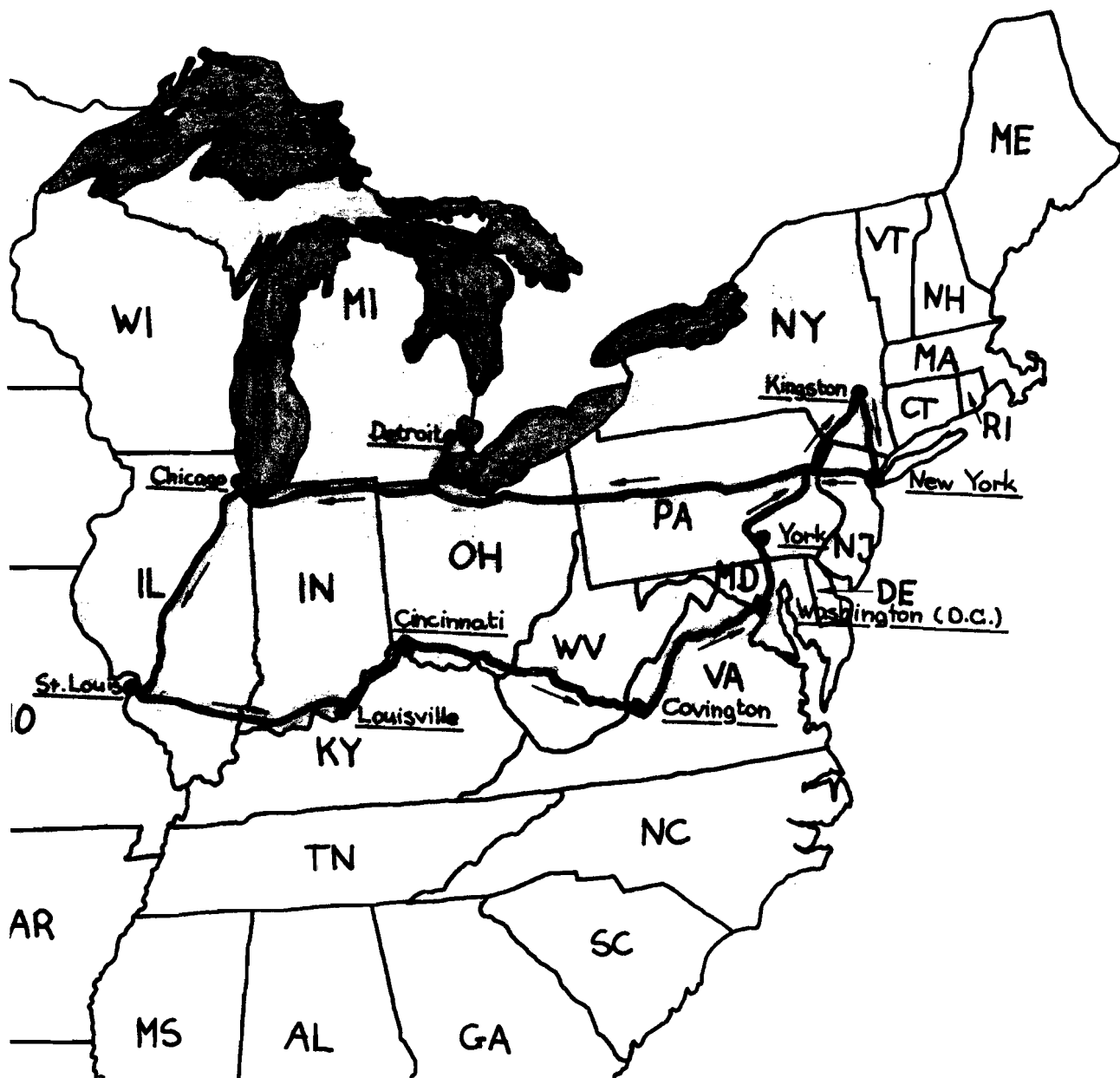
Agglomeratie Eindhoven
ASEA b.v.
ATB technische handelonderneming
Berenschot
Borg Warner
Chicopee b.v.
De Oude Delft
3M Nederland b.v.
Dru b.v.
EBM techniek b.v.
EHF
Esso
Foxboro
Gazelle
General Electric
Hembrug
Hoogeveen v. Luyt
Hydrauldyne Beheer b.v.
IBM
KIVI
Koppens Automatic
van Lanschot Bankiers n.v.
Limoveld b.v.
MCB
MPI
Nagron
Oranje Nassau Groep
SKF
Tektronix
Texas Instruments
THE
Total Nederland
UCN
WTCE

Deelnemers aan de studiereis naar de Verenigde Staten van Amerika.Studenten:

Ing. R. Bijl
L.V.M. van Bommel
P.A.M. Canisius
L.G.H.M. Cartigny
H.M.M.G. Cordewener
Ing. M.J.M. Cuypers
F.S.M. van Dongen
E. Haenen
W.G. Knoop
J.T.W.M. Koenders
J.J.C.M. Krijnen
J.P.J. Kursten
J.W. Rietdijk
H.J.L. Stakenborg
Ing. P.F. Stuyvenberg
N.E. Swierstra
C.R.H. Verrostte
J. Vosmer
P.J.E.M. Vrancken
P. Westmijze

Begeleiders:

ir. C.J. Heuvelman
ing. H.W.A.M. van Rooij
prof.dr.ir. A.C.H. van der Wolf

Bezochte bedrijven en instellingen in de Verenigde Staten.

- 16 mei General Motors Corp., Detroit (MI)
- 17 mei Eaton Engineering & Research Centre, Detroit (MI)
- 18 mei Bendix Corporation, Detroit (MI)
- 20 mei Skil, Chicago (IL)
- 23 mei McDonnell Douglas-McAuto, St. Louis (MO)
- 26 mei Cincinnati Milacron, Cincinnati (OH)

27 mei Metcut, Cincinnati (OH)
Structural Dynamics Research Corp., Cincinnati (OH)

31 mei SKF, Hanover (PA)

1 juni National Bureau of Standards, Washington (DC)

2 juni Lehigh University, Bethlehem (PA)
SI Handling Corp., Eaton (PA)

3 juni General Electric, Schenectady (NY)

Voorstudie.

In het kader van de voorstudie hebben een aantal bedrijven een lezing verzorgd over een van de aandachtsgebieden van het onderwerp. Deze lezingen hebben een goede inleiding gegeven op het vakgebied en gaven, mede door de op de lezing volgende excursie naar een bedrijf, een goede indruk over de stand van de invoering van de micro-elektronica in de Nederlandse industrie.

23 februari: CAD/CAM door dhr. A.A.J. van Driel van Océ van der Grinten.

In deze lezing gaf dhr. van Driel een inleiding in de CAD/CAM terminologie en de geschiedenis van de CAD/CAM systemen. Aan de hand van het CAD/CAM systeem van Océ werd een systeembeschrijving gegeven en de verhouding in ontwikkeling van CAD/CAM systemen tussen Europa en de USA werd beschreven. De lezing werd gevolgd door een excursie naar Océ waar een demonstratie van het systeem werd gegeven.

23 maart: Flexibele Automatisering en Robotica door Ir. J.J.A. Kok van RTS.

In deze lezing gaf Ir. Kok een globaal overzicht van de verhouding tussen Japan - Europa - USA wat betreft de toepassingen en de ontwikkelingen in de robottechnologie. Met het producten overzicht van RTS als leidraad werd een overzicht gegeven van de verschillende robottypen. Een excursie naar RTS verduidelijkte dit alles.

6 april: Numerieke besturing door Ir. T.G. Gijsbers en Dhr. A. van Tooren van Nat. Lab. van Philips.

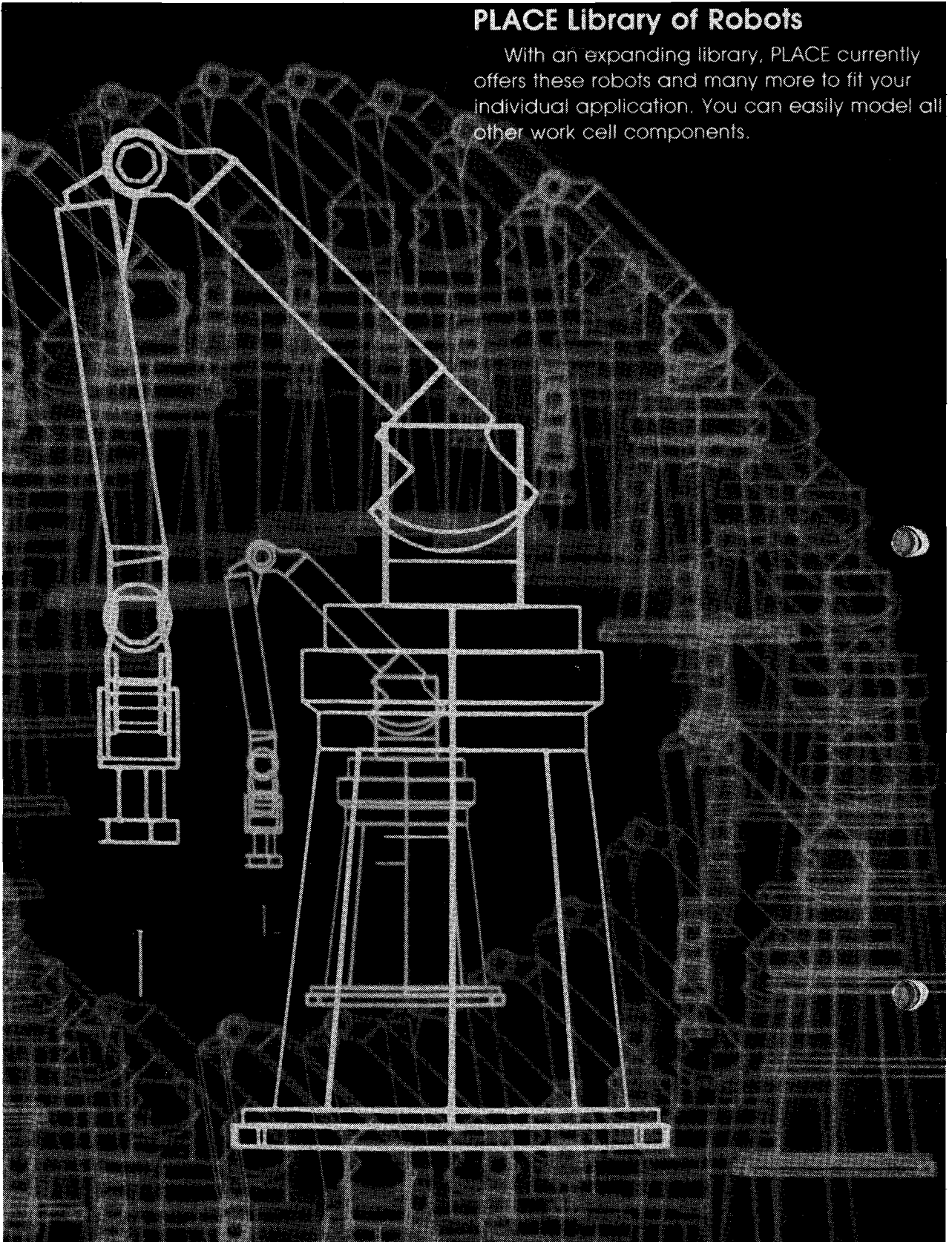
Na een korte inleiding over de historie van de numerieke besturing werd een beschrijving gegeven over de huidige "state of the art". De moderne besturingen werden verduidelijkt waarbij het geheel werd toegespitst op de precisieslijpbank voor asferische optieken, welke wij later gedurende excursie naar het Nat. Lab. hebben gezien.

20 april: Planning en werkvoorbereiding door prof.dr.ing. G. Spur van het Fraunhofer Institut in Berlijn.

In zijn betoog heeft prof. Spur de nadruk gelegd op de koppeling tussen CAD en CAM waarbij de gebruikersvriendelijkheid van besturingen en DNC systemen bijzondere aandacht kregen.

PLACE Library of Robots

With an expanding library, PLACE currently offers these robots and many more to fit your individual application. You can easily model all other work cell components.



InhoudVerslag van de voorstudie:

1. Inleiding	blz. 15
2. Flexibele automatisering	blz. 16
2.1 FMS-systemen	blz. 17
2.2 FMS onderdelen	blz. 17
3. Robotica in de flexibele automatisering	
3.1 Inleiding	blz. 22
3.2 Definitie	blz. 22
3.3 Robotgeneraties	blz. 23
3.4 Klassificatie van robotsystemen	blz. 23
4. Het gebruik van sensoren in FMS-systemen	
4.1 Inleiding	blz. 29
4.2 Indeling van sensoren	blz. 29
4.3 Besluit	blz. 31
5. Besturing en software	blz. 32
6. Toepassing van robots in assemblage	blz. 34
7. Robots in het lasproces	
7.1 Puntlassen	blz. 36
7.2 Baanlassen	blz. 36
8. Literatuurverwijzing	blz. 37

Beschrijving van de bedrijfsbezoeken:

1. The Bendix Corporation, Warren (MI)	
1.1 Inleiding	blz. 38
1.2 Flexibele automatisering	blz. 39
2. McDonnell Douglas- McAuto	blz. 45
3. National Bureau of Standards, Washington DC	
3.1 Inleiding	blz. 47
3.2 Doelstelling van de AMRF	blz. 47
3.3 Systeemopbouw van de AMRF	blz. 48
3.4 Architectuur van het besturingssysteem van de AMRF	blz. 52
3.5 NBS en robotica	blz. 57
3.6 Conclusies	blz. 58
4. Lehigh University, Bethlehem (PA)	blz. 59
5. SI Handling Systems Inc., Easton (PA)	
5.1 Inleiding	blz. 60
5.2 Richtlijnen bij de invoering van een FMS	blz. 60
5.3 Het Cartrac transportsysteem	blz. 62
6. Cincinnati Milacron, Cincinnati (OH)	
6.1 Inleiding	blz. 68
6.2 Flexibele automatisering	blz. 68
6.3 Robotica	blz. 74
6.4 Regelsystemen bij CNC machines	blz. 77
6.5 Overige ontwikkelingen	blz. 80

VERSLAG VAN DE VOORSTUDIE

1 INLEIDING

In deze voorstudie wordt eerst aandacht besteed aan flexibele automatisering in het algemeen, gevolgd door een (korte) beschrijving van een flexibel fabrikage systeem (FM-systeem). Vervolgens wordt een deelgebied van de flexibele automatisering, de robotica, besproken.

Er wordt wat algemene informatie gegeven omtrent robots, gevolgd door beschrijvingen van specifiekere gebieden in de robotica.

Om "het-weten-waar-je-kijken-moet" tijdens de bedrijfsbezoeken wat te vergemakkelijken hebben we voor aanvang van de reis een aantal problemen en probleemgebieden aangeduid, aangevuld met wat vragen waarop we in de VS een antwoord hoopten te krijgen.

2 FLEXIBELE AUTOMATISERING

Om het voor een producent mogelijk te maken om sneller in te spelen op een veranderende vraag van de consument is een zekere mate van flexibiliteit van het productieproces noodzakelijk. Binnen de flexibele automatisering zijn een drietal basissystemen te onderscheiden (zie fig.1):

- 1.- Flexibele transferstraten
- 2.- Flexibele fabrikage systemen (FMS)

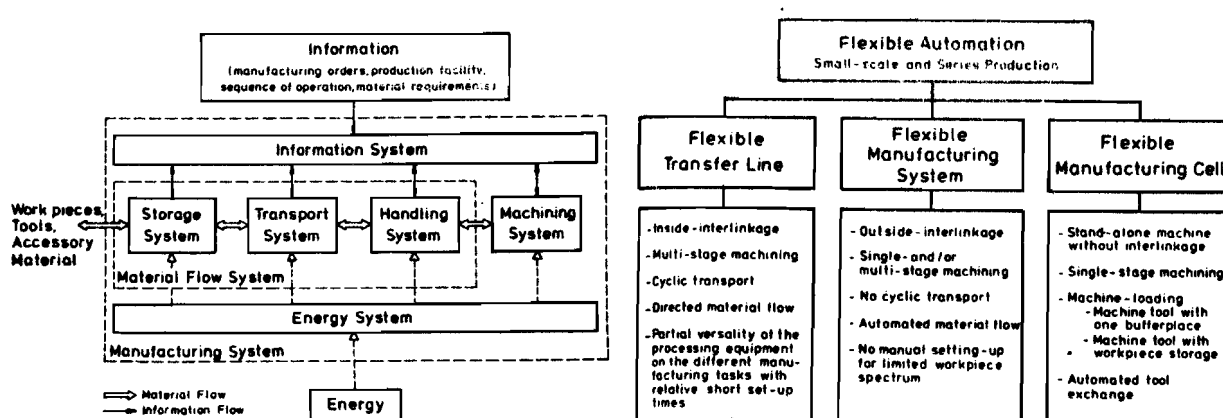


Fig. 1 Basissystemen binnen de flexibele automatisering.

3.- Flexibele fabrikage cellen (FMC)

De laatste tijd zijn de systemen zoals genoemd in punt 2 en 3 sterk in opkomst. Hierop richten we dan ook onze aandacht. Deze flexibele systemen omvatten een veelheid van automatiserings- concepten en technologieën in een systeem. Hier zijn o.a. te noemen:

- automatisch grondstoffentransport tussen machines
- NuBe machines en CNC machines
- computergestuurde machines en materiaaltransport (DNC)
- toepassing van groepentechnologie

Het doel van de invoering van flexibele automatisering is meerledig. Het beoogt dan ook de volgende zaken:

- minder goederen in bewerking
- minder leegloop van machines
- kortere omsteltijden
- kleinere (tussen)voorraden
- kortere doorlooptijden
- sneller inspelen op klantenbehoefte
- konstante(re) kwaliteit

- lagere kostprijs

2.1 FMS SYSTEMEN

Van een FMS systeem kunnen we dan ook zeggen dat "het uit een groepering van machines bestaat, (meestal NuBe) die onderling verbonden zijn d.m.v. een automatisch werkstuk transportsysteem onder controle van een (grote) computer".

Een FMS systeem is dan ook in staat om simultaan een (beperkt) aantal verschillende produkten te fabriceren.

In de praktijk ligt het aantal verschillende produkten veelal tussen 5 en 20, terwijl het aantal gebruikte machines vaak varieert tussen 2 en 15 stuks.

De mate van flexibiliteit wordt afgemeten aan het aantal verschillende produkten dat op een flexibel systeem gemaakt kan worden.

2.2 FMS ONDERDELEN

Binnen een FM-systeem zijn een aantal hoofdcomponenten te onderscheiden:

- produktiemachines
- transportsysteem
- computergestuurd controlesysteem

2.2.1 DE PRODUKTIEMACHINES

Over het algemeen zal het gaan om NC machines, maar het komt ook voor dat voor de verwerking van een bepaalde produktgroep speciale machines toegepast worden.

In de meeste gevallen gaat het om verspanende machines (draaibanken) waarbij de 4 of 5 assige bewerkingscentra de meeste flexibiliteit bieden. Deze machines hebben veelal een "automatic pallet changing" systeem (APC).

Toepassingen van niet-verspanende produktiemachines in FMS zijn er nog niet zo veel.

PROBLEEMGEBIEDEN:

- universele gereedschapswisselsystemen
- gereedschapstoestandbewaking
- interface machinebesturing/procescomputer

2.2.2 HET TRANSPORTSYSTEEM

Het transportsysteem verzorgt de verbinding tussen de machines onderling. Deze verbinding kan op verscheidene manieren tot stand gebracht worden. Voorbeelden hiervan zijn o.a.:

- rollenbanen met verschillende soorten produkt dragers
- robots, voor het laden en lossen van gereedschapsmachines
- wagens, geleid door rails
- wagens, geleid door een elektrische leiding in de fabrieksvloer (snuffelkarren)

Omdat het een zekere mate van flexibiliteit moet bezitten dienen er een aantal eisen aan gesteld te worden:

- Willekeurige, onafhankelijke beweging van de gepalleteerde halffabrikaten tussen de diverse werkstations in een FM-systeem
- Er moet een tijdelijke opslag aanwezig zijn, zodat ieder station een bepaalde voorraad heeft.
- Het moet makkelijk toegankelijk zijn voor laden en lossen. Dit natuurlijk van twee kanten.
- Het moet te interfacen zijn met de procescomputer
- Uitbreiding van het transportsysteem moet eenvoudig mogelijk zijn
- De diverse gereedschapsmachines moeten toegankelijk blijven voor reparatie, etc.
- Het moet goed kunnen functioneren in een produktieomgeving, dus bestand zijn tegen spanen, olie, vuil, etc.

Enkele vragen die bij het bekijken van het eisenpakket van een dergelijk transportsysteem opkomen zijn de volgende:

- Hoe groot moet de positioneringsnauwkeurigheid van de pallets zijn en hoe wordt die gerealiseerd
- Hoe worden de pallets gecodeerd
- Wat voor sensoren worden gebruikt
- Hoe is het transportsysteem aan de procescomputer gekoppeld
- Hoe houdt het controlesysteem bij waar de afzonderlijke pallets zich bevinden
- Hoe geschiedt de communicatie tussen de robots en het transportsysteem

2.2.3 HET COMPUTERGESTUURD CONTROLESYSTEEM

Binnen een FM-systeem moet het controlesysteem voor de uitvoering van een aantal functies zorgdragen. Deze zijn in het kort als volgt te omschrijven:

- Opslag van de NuBe- en robotprogramma's in een massa-geheugen
- Verzenden van de diverse NuBe- en robotprogramma's naar de juiste NC machine of robot, op het juiste moment en in het juiste formaat.
- Controle van de produktie. Regeling van de materiaalstroom binnen het systeem, zodat een optimale machinebenutting verkregen wordt
- regeling van de bewegingen van de produkt dragers binnen het systeem
- Bijhouden van de toestand van de produkt dragers en de diverse produktsoorten.
- Coördinatie tussen het palletsysteem en de machines die zorgen voor het beladen en lossen van de produktiemachines
- Controle van de gereedschappen, zowel v.w.b. waar ze zich bevinden als de standtijd
- Het bijhouden van de prestaties van het systeem en het genereren van rapporten hieromtrent

Het computersysteem heeft dus tot taak te coördineren en te controleren. Binnen het totale systeem zijn een aantal nivo's te onderscheiden. Er is dus een zekere hiërarchie te onderkennen. Zie

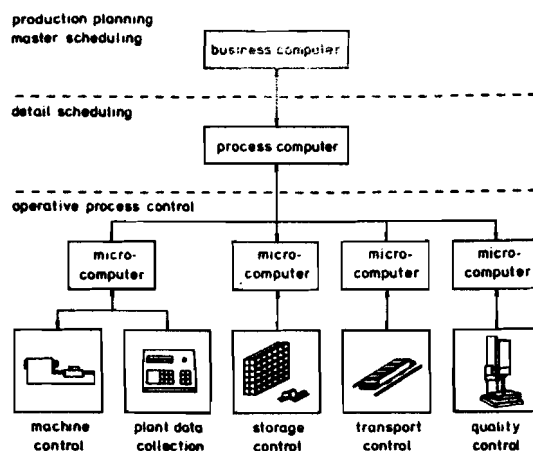


Fig. 2 Het computergestuurde controlesysteem.

fig. 2 en 3.

Het aantal nivo's zal nagenoeg nooit groter zijn dan vier (tot op heden veelal drie). Een korte omschrijving van de diverse nivo's ziet er als volgt uit:

NIVO 1

Dit is het laagste nivo. Hier bevinden zich de besturingen van de diverse deelsystemen zoals robot-, vision-, CNC-, en P(L)C-besturing. Op dit nivo zijn de meeste sensoren te vinden.

NIVO 2

Op dit nivo wordt de toestand van de systemen op nivo 1 waargenomen en gecontroleerd. De besturing kan gerealiseerd worden met microprocessorsystemen.

Via dit nivo worden de robots en NuBe machines van hun programma voorzien. Hier kan de omzetting van programma's naar het juiste formaat voor een bepaalde machine plaatsvinden.

NIVO 3

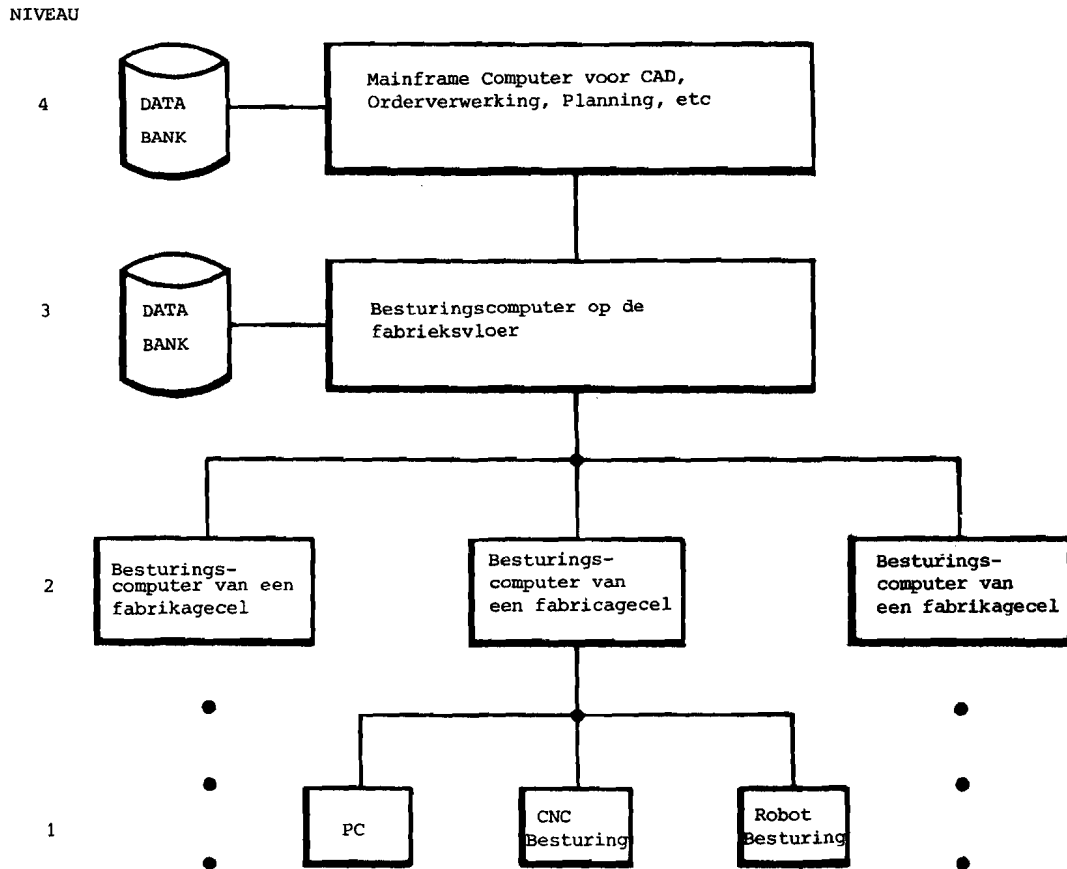
Hier bevindt zich de procescomputer op de fabrieksvloer. Hier worden de zaken geregeld zoals de produktiekontrolle, besturing van het transportsysteem, gereedschapskontrolle en het genereren van statusrapporten.

NIVO 4

De laatste schakel is de mainframe-computer die gebruikt zou kunnen worden voor CAD, orderverwerking, planning, administratie, etc. De computers op nivo 3 en 4 zullen een databank hebben om hun informatie in op te slaan.

Enkele vragen bij het controlesysteem zijn de volgende:

- Hoeveel tijd wordt besteedt aan de ontwikkeling van de software van een FM-systeem
- Welk percentage van de kostprijs maakt dat dan uit
- Wordt de software "in-house" ontwikkeld of gebeurt dat door externe software houses
- Wat voor interface problemen ontstaan er bij de koppeling van de diverse deelsystemen
- Hoe wordt het systeem beveiligd tegen storingen



Hiërarchische besturingsstructuur van een computergestuurde fabriek

Fig. 3 De verschillende niveau's in het controlesysteem.

3 ROBOTICA IN DE FLEXIBELE AUTOMATISERING

3.1 INLEIDING

Een deelgebied binnen de flexibele automatisering is de robotica. Dit gebied is de laatste tijd sterk in opkomst en een groot aantal firma's zijn dan ook bezig met het ontwikkelen van robotsystemen. In de VS waren in 1981 al ca. 50 firma's actief op robotgebied. Onder een robot wordt hier een "industriële robot" (IR) verstaan.

In de ontwikkeling van robotsystemen komen een aantal technologieën te pas. Enkele daarvan zijn:

- computertechniek
- kinematika
- meet- en regeltechniek
- besturingstechniek
- aandrijftechniek
- sensortechniek

Het zal duidelijk zijn dat het samenspel tussen de werktuigbouwer en de elektrotechnicus bij de ontwikkelingen van robotsystemen heel belangrijk zal zijn.

3.2 DEFINITIE VAN EEN ROBOT

Het "Robot Institute of America" (RIA) hanteert de volgende definitie van een IR:

"A reprogrammable multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks"

De "Japan Industrial Robot Industry Association" (JIRIA) denkt er iets anders over:

"An all purpose machine equipped with a memory device and a terminal, capable of rotation and replacing human labor by automatic performance of movements"

3.3 ROBOTGENERATIES

Men kan een drietal generaties onderscheiden:

1e GENERATIE

Dit type robot is algemeen bekend en het meest verbreid. Het is een betrouwbaar en duurzaam systeem, maar heeft geen enkel contact met de buitenwereld omdat het niet voorzien is van sensoren.

2e GENERATIE

Dit type robot heeft sensoren tot zijn beschikking, waardoor het proces verbonden kan worden met de besturing van de robot. Het systeem kan op grond van de aangeboden sensorinformatie beslissingen nemen, waardoor het zich aanpast aan zijn omgeving. Robots van deze generatie beginnen de ontwikkelingsfase te ontgroeien.

3e GENERATIE

Dit is de meest intelligente robotvorm. Deze robot heeft behalve sensors, ook de mogelijkheid om de sensorinformatie te onthouden en te gebruiken in een leerproces. Hier is dus sprake van leervermogen. Dergelijke robotsystemen bevinden zich nog in hun ontwikkelingsfase, en zijn nog niet commercieel inzetbaar.

3.4 KLASSIFIKATIE VAN ROBOTSISTEMEN

Volgens JIRIA zijn robotsystemen in een zestal klassen te verdelen:

1.- MANUAL MANIPULATOR

Manipulator, bediend door een operator

2.- FIXED SEQUENCE ROBOT

Een manipulator die in een vaste volgorde een aantal bewegingen uitvoert. De bewegingsinformatie kan niet of nauwelijks veranderd worden.

3.- VARIABLE SEQUENCE ROBOT

Als 2, echter nu is de bewegingsinformatie wel te veranderen.

4.- PLAYBACK ROBOT

Een manipulator die vanuit een geheugen bewegingen maakt die in eerste instantie onder menselijke controle ingevoerd zijn. De informatie kan repeterend uitgevoerd worden.

5.- NC ROBOT

Een manipulator die zijn taak uitvoert volgens de volgorde, condities en posities, zoals die geprogrammeerd zijn in numerieke data.

6.- INTELLIGENT ROBOT

Deze manipulator is uitgerust met sensoren (vision/tactile) en kan zelf veranderingen in zijn werkomgeving constateren, en vervolgens een beslissing nemen over hoe zijn taak verder uitgevoerd dient te worden onder de gegeven omstandigheden.

Merk op dat volgens de RIA definitie alleen de typen van klassen 3 t/m 6 robots zijn, terwijl volgens de JIRIA definitie alle 6 klassen robots zijn.

DISTRIBUTIE

JIRIA definitie		RIA definitie	
Japan	38	Japan	58
USA	25	USA	20
Frankrijk	22	West-Duitsland	6
West Duitsland	7	Zweden	3
Zwitserland	4	Overig	12
USSR	2		
Overig	2		

(De getallen stellen procentuele frakties voor).

In beide gevallen voeren Japan en de USA de lijst aan.

In aantallen krijgen we de volgende verdeling, uitgaande van het volgende onderscheid in robots:

- programmable, servo-controlled, continuous path
- programmable, servo-controlled, point-to-point
- programmable, non-servo robots for general purpose
- programmable, non-servo robots for die casting and moulding
- mechanical transfer devices (pick and place)

land	type	a	b	c	d	e	totaal
Japan			6899	1700	7347	53189	67435
USA		400	2000	1700	600	40000	44700
W-Duitsland		290	830	200	100	10000	11420
Frankrijk		120	500			38000	38620
Nederland		48	3	5		15	71
TOTAAL		1774	10924	2584	8299	150452	177386

Verdeling van robots naar toepassing

toepassing	lassen	verven/ afwerken	assem- blage	loading/ unloading	gieten/ persen	div.
JAPAN	4500	481	9602	14003	2300	
USA *)	1500	540	100	850	840	600
W-DUITSLAND	998	231	55	250	142	
FRANKRIJK	400	70	15000	10000	10	
NEDERLAND	20	20		10		

*) exclusief pick & place units

Door de diverse instituten wordt overigens driftig gegoocheld met deze cijfers. Ze zijn dus alleen te gebruiken om een globale indruk van de verdeling van robots over de wereld te krijgen.

Bronnen: -Robot Institute of America
-Robot Industry Association

De verwachting is dat de robot top drie er in de nabije toekomst als volgt gaat uitzien:

- 1- assemblage
- 2- loading and unloading
- 3- MIG-lassen

Behalve op de JIRIA-manier kan men ook klassificeren door te kijken naar bepaalde bijzonderheden van het robotsysteem.

Een dergelijke klassificatie ziet er dan als volgt uit:

1. Vorm van de werkruimte (fig. 4)
 - kubisch (fig. 5)
 - cilindrisch (fig. 6)
 - sferisch (fig. 7)
 - torusvormig (fig. 8)
2. Soorten aandrijving
 - hydraulisch
 - pneumatisch
 - elektromechanisch
3. Soorten besturingen
 - non-servo besturing
 - servo besturingen
 - * point-to-point (PTP)
 - * baansturing of continuous path (CP)

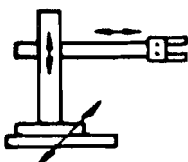
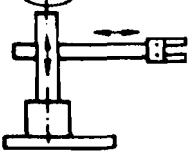
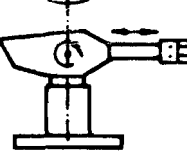
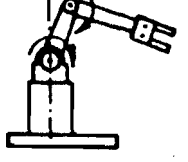
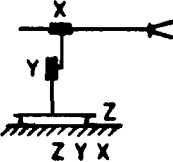
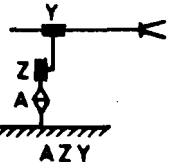
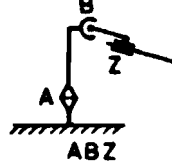
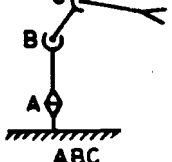
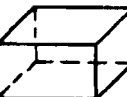



KINEMATISCHE OPBOUW BEWEGINGS- ASSEN	 <p>TTT</p>	 <p>RTT</p>	 <p>RRT</p>	 <p>RRR</p>
SCHEMATISCHE AANDUIDING MET ASSEN- NOMENCLATUUR	 <p>ZYX</p>	 <p>AZY</p>	 <p>ABZ</p>	 <p>ABC</p>
WERKRUIJTE	 <p>KUBISCH</p>	 <p>CYLINDRISCH</p>	 <p>SFERISCH</p>	 <p>TORUSVORMIG</p>

Fig. 4 Belangrijke IR configuraties.

4. Verschillende toepassingen
 - pick and place robot
 - universele robot
 - special purpose robot

5. Manieren van programmeren
 - d.m.v. handinvoer
 - lead-through (PTP en CP robots)
 - walk-through (leren door voordoen)
 - off-line programming
 - * NC programmering
 - * d.m.v. simulatie
 - * programmeertaal (b.v. VAL)

6. Soorten meetinrichting
 - analoog
 - * resolvers
 - * potentiometers
 - digitaal
 - * absoluut
 - * incrementeel

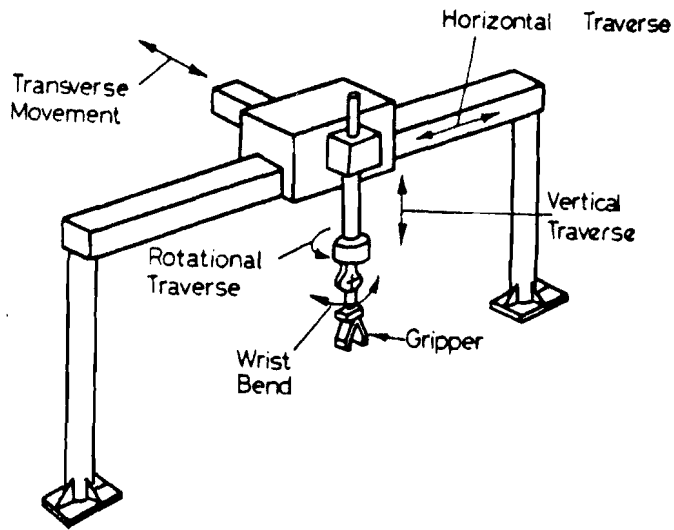


Fig. 5 Kubische vorm van de werkruimte.

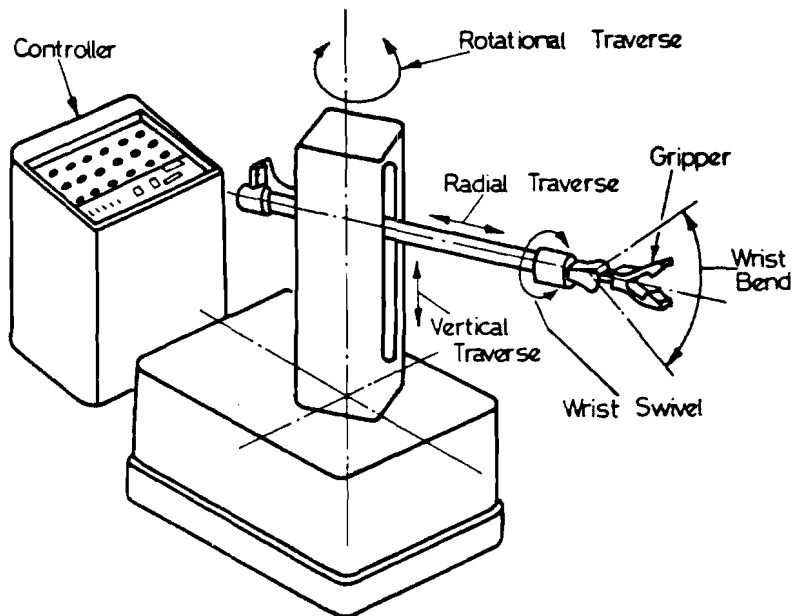


Fig. 6 Cilindrische vorm van de werkruimte.

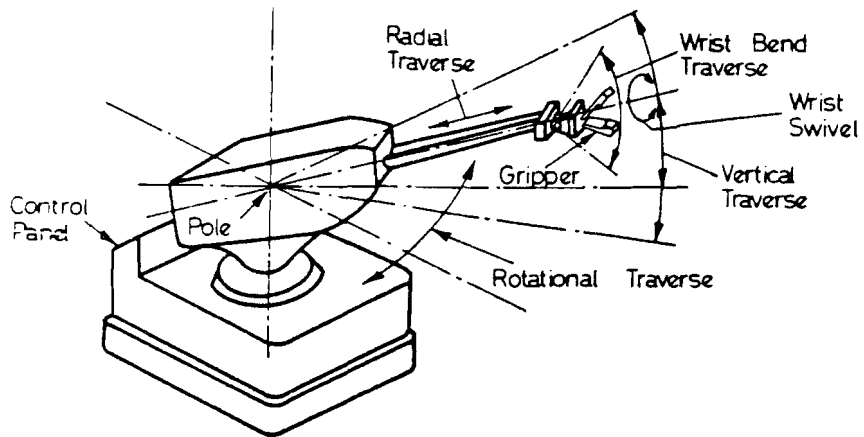


Fig. 7 Sferische vorm van de werkruiimte.

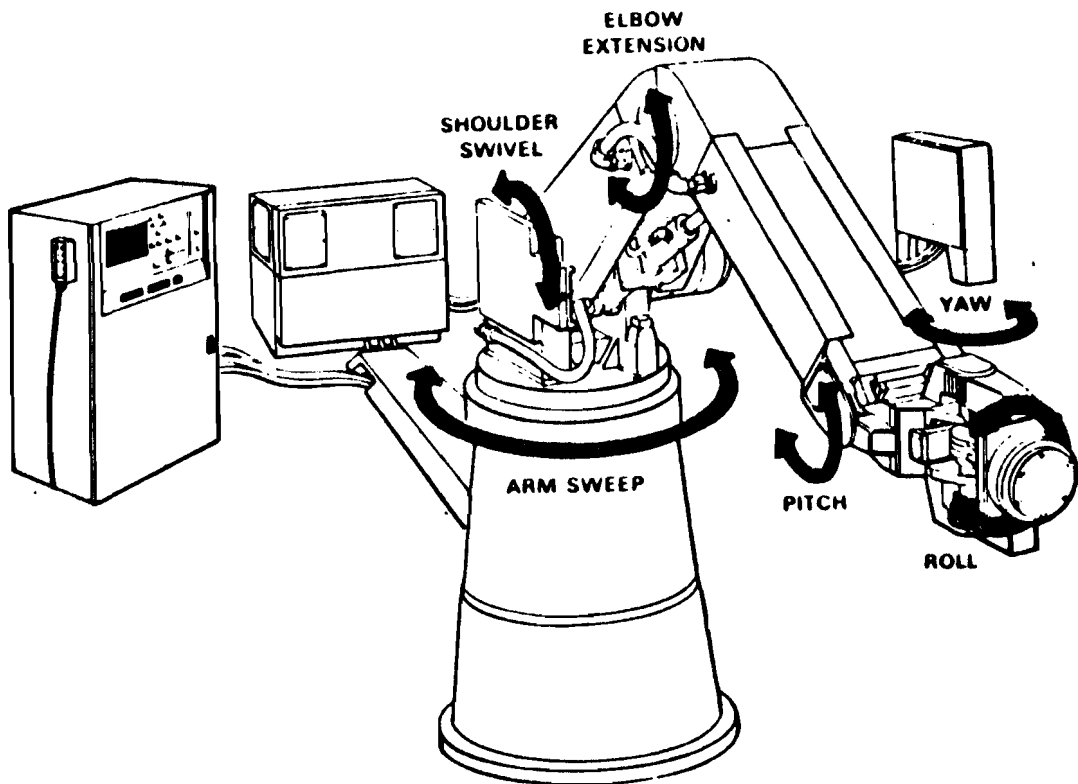


Fig. 8 Vorm van de werkruiimte is torusvormig.

TOEPASSINGSGEBIEDEN

In de nu volgende paragrafen gaan we wat dieper in op enkele aspecten van de robot en het robotgebruik. Het betreft o.a.:

- het gebruik van sensoren
- het besturingssysteem van de robots
- robots in assemblage
- robots bij het lasproces

4 HET GEBRUIK VAN SENSOREN IN FMS

4.1 Inleiding

Sensoren zijn instrumenten, die in staat zijn om een te meten fysisch verschijnsel te transformeren naar een ander gewenst fysisch signaal.

Bovenstaande is een algemeen gehanteerde definitie van sensoren. Het gewenste fysisch verschijnsel zal bij toepassing van de sensor in een FMS door de logica van dit systeem geïnterpreteerd moeten worden. Vaak zal dit gewenste fysische signaal daarom een of meerdere stroom- of spanningssignalen zijn, digitaal, dan wel analoog. Bij naslag in de vakliteratuur blijkt dit ook:

Nagenoeg alle sensoren of sensorsystemen die op commerciële basis zijn gefabriceerd, geven als uitgangssignaal een elektrisch signaal. Een indeling van de verschillende sensortypen zal om bovenstaande redenen worden gemaakt op basis van de onderscheidbare te meten fysische verschijnselen waarvoor de sensoren zijn ontworpen.

4.2 Indeling van sensoren

Het nu volgende is een opsomming van alle meetbare verschijnselen. Hierdoor wordt dus tevens een indeling gegeven van de beschikbare sensoren. Op een deel van deze verzameling namelijk heeft de commerciële exploitatie van de sensortechniek zich geworpen.

4.2.1 Elektrische grootheden

- Stroommeting
- Spanningsmeting
- Ladingsmeting
- Impedantiemeting
- Capaciteits- en zelfinductiemeting
- Frekwentie- en fasemeting
- Vermogensmeting

4.2.2 Optische grootheden

- Meting van brekingsindex
- Golflengtemeting
- Meting van spectrale stralings- en lichtintensiteit
- Meting met gepolariseerd licht

4.2.3 Temperatuur en warmte

- Temperatuurmeting
- Warmtemeting (calorimetrie)
- Warmtegeleidingsmeting

4.2.4 Mechanische grootheden

- Lengte
- Massa
- Tijd
- Hoek
- Oppervlakte
- Dichtheid
- Bewegingssnelheid
- Versnellingen
- Krachten
- Oppervlakte spanning
- Diffusieconstante
- Osmotische druk
- Viscositeit
- Etc.

4.2.5 Kernstralingsmeting

4.2.6 Microgolf- en resonantiespectroscopie

4.3 Besluit

Naast een literatuurstudie zal de studiereis naar de Verenigde Staten van Amerika inzicht verschaffen over de mate waarin dit tot nu toe is gerealiseerd. De industrie heeft zich tot nu toe voornamelijk beziggehouden met de meting van mechanische grootheden, zelfinductiemetingen en absolute lichtmetingen. Echter, de nieuwste ontwikkelingen betreffen relatieve lichtintensiteitsmetingen (verschillende grijswaarden onderscheidbaar) en kleuronderscheidingen.

5 BESTURING EN SOFTWARE

De besturing van een FMS (Flexible Manufacturing System) geschiedt veelal door een computer, als hart van een centrale besturing. Deze staat in nauw contact met de specifieke (dit is apparaatgebonden) machinebesturingen, zoals die van NC-machines of die van robots.

Er zijn in de ontwikkeling van de benodigde besturingssoftware diverse tendensen waar te nemen. Men streeft onder andere naar een modulaire opbouw en wel zodanig dat naar wens gemakkelijk programma-modules verwijderd of toegevoegd kunnen worden. Tevens lijkt het wenselijk daarmee algemene, goed gestructureerde FMS-besturingsprogramma's te ontwikkelen, die voor een bepaald FMS en zelfs een produktserie binnen redelijke tijd respectievelijk snel zijn aan te passen. Enkele van de voordelen zouden kunnen zijn, dat het gebruik ervan minder specifieke programmeerkennis vereist en dat dergelijke programmapakketten op den duur betrekkelijk goedkoop zouden kunnen worden. Programmatuur kan ook rond een zogenaamde data base ontwikkeld worden, waarin in theorie alle informatie kan worden opgenomen, die bij de programma afhandeling nodig is.

De realiteit is echter, dat de meeste systemen specifieke programmatuur hebben, in vele verschillende talen. Standaardisatie is zeer wenselijk.

Bij de voorstudie voor de Amerika-reis ligt één van de accenten van de flexibele automatisering bij de robot. Deze kan deel uitmaken van een al dan niet omvangrijk FMS, zodat de voorgaande beschouwing ook voor robots geldt. We willen de besturing van een robot nauwgezetter bekijken.

Door het aanbrengen van sensoren ("zintuigen") en het terugkoppelen van de gemeten baan van het kinematische systeem, kan de besturing automatisch correcties uitvoeren. Dit heeft ook gevolgen voor de robot-gebonden software, met name voor de complexiteit ervan.

Ingewikkelde robots met vele graden vanvrijheid, de beveiliging van de werkomgeving tegen ongewenste acties, het door het robotsysteem verzamelen en uitwisselen van nuttige informatie ten behoeve van bijvoorbeeld een centrale besturing en de programmeerflexibiliteit (bijvoorbeeld het aanleren van bewegingspatronen) zijn enkele van de problemen, die voornamelijk voor rekening van de programmatuur komen.

Tijdens de studiereis hopen we wat meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden en moeilijkheden, die samenhangen met het gebruik van robots, met name in de besturingssfeer.

Tenslotte een vragenlijst:

- in hoeverre is flexibiliteit gewenst en/of voor-/nadelig?

- zal algemene of specifieke software de overhand krijgen bij FMS-besturing ?
- wordt er bewust een data base opgebouwd of probeert men kleine data bestanden (dus meer specifiek) op te bouwen?
- hoe wordt een robot geprogrammeerd en wie levert de programmatuur?
- welke problemen van de besturingstechniek zijn nog verre van een acceptabele oplossing?
- zijn studenten tijdens de opleiding voldoende toegerust om besturingsproblemen op te lossen?

6 TOEPASSING VAN ROBOTS IN ASSEMBLAGE

De toepassingen van de robots in de assemblage waren tot op heden vrij beperkt. Werd in 1980 van het totale aantal robots slechts circa 1/6 deel in de assemblage toegepast, voor 1990 schat men dit aantal al op 1/3.

Het toepassingsgebied van robots binnenhet totaal van assemblagewerkzaamheden wordt afgebakend door een minimale assemblagetijd van circa 15 sec. per station. Boven deze grens kunnen robots over het algemeen goed toegepast worden. Robots zullen voornamelijk ingezet worden in de assemblage van kleine series van kleine produkten met veel varianten en typen, waarbij snelle seriewisselingen kunnen voorkomen.

Een aantal belangrijke obstakels voor robottoepassingen in de assemblage zijn:

1. Toevoerinrichtingen voor robots zijn duurder als voor special purpose- assemblagemachines. De toevoersnelheden van onderdelen voor robotassemblage zijn namelijk minder hoog, vanwege de serieproductie van de robot (per machinecyclus wordt slechts een onderdeel toegevoegd).
2. Het assemblageproces bestaat uit een aantal moeilijk te automatiseren deeltaken, zoals bijvoorbeeld visuele inspectie en adaptief optreden bij kwaliteitsgebreken van de onderdelen.
3. Het produktontwerp is in veel gevallen niet afgestemd op assemblage met robots.

De robots die voor assemblage gebruikt worden stellen geen eisen aan het toe te passen coördinatensysteem. Zowel cilindrische coördinaten, als bolcoördinaten (knikarmtype en geschutskoepeltype), als ook carthesische coördinaten (bijvoorbeeld poortaaltype) komen voor. De meeste assemblagerobots hebben servopositierегeling, terwijl de besturing zowel point-to-point als ook continuous path kan zijn. Een veel toegepast concept is een pols met compliantie. Hierdoor wordt de vereiste positioneer-nauwkeurigheid verminderd, doordat bijvoorbeeld bij pen-in-gat montage een automatische uitlijning vanuit de pols gerealiseerd wordt. Het belangrijkste kenmerk van assemblagerobots is echter de aanwezigheid van contact-sensoren (kracht, koppel en gevoel) en/of visuele sensoren, ten behoeve van positiebepaling en onderdeelherkenning.

Resumerend kan bij de beoordeling van assemblagesystemen met robots gelet worden op de volgende punten:

- Hoe zijn de toevoerinrichtingen uitgevoerd?
- Is het produktontwerp aangepast aan assemblage met robots?
- Waar ligt het compromis tussen stijfheid (positioneer-nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid) en anderzijds lichte konstruktie i.v.m. snelheid ?
- Zijn de toegepaste grijpers universeel?
- Hoe worden grijperwisseltijden geminimaliseerd?
- Hoe intelligent reageert de robot op onderdelen van minder goede kwaliteit?
- In welk coördinatensysteem werken de assemblerobots?
- Welke besturingsmethode is toegepast: PTP of CP?
- Hoeveel vrijheidsgraden heeft de robot?
- Is het compliantieprincipe toegepast?
- Welke sensoren worden toegepast en waarvoor?
- Hoe lang duurt een machinecyclus?
- Welke produktafmetingen en -gewichten kunnen gehanteerd worden?
- Hoe is de koppeling tussen gerobotiseerde en manuele assemblagestations?
- etc.

7 ROBOTS IN HET LASPROCES

Van alle toepassingsgebieden voor robots mag lassen toch wel tot een van de grootste gerekend worden. In de USA staan lasrobots op de eerste plaats. In 1981 waren hier 1500 robots, oftewel 36 procent van de totale robot-populatie betrokken bij puntlassen (spot-welding). Het lassen in een baan werd tot voor enkele jaren niet commercieel toegepast. Hierin kwam verandering na 1975, toen tegelijkertijd met de opmars van het MIG (Metal Inert Gas) lassen het gebruik van robots voor MIG-lassen opkwam.

7.1 Puntlassen

- mens :zwaar lichamelijk werk, het verplaatsen van een zware lastoorts over grote afstanden en het nauwkeurig positioneren (concentratie).
- robot:Niet zo snel als een mens, wel veel vermogen nodig. Er staat tegenover , een grote uniforme "spot location", nauwkeurigheid en een hoge laszuiverheid.

7.2 Baan lassen

Voornameijk MIG-lassen (arc-welding). Het grote probleem bij het MIG-lassen met robot is: het op juiste afstand houden van de lastoorts tot de lasnaad. Er worden dus hoge eisen gesteld aan de nauwkeurigheid en de flexibele positionering. De toegepaste robots zijn dus voornamelijk sensor gestuurde robots met vijf tot zes vrijheidsgraden. De voordelen van het MIG-lassen met robots zijn:

- hoge lassnelheden,
- geen concentratieverliezen,
- geen personen meer in gevaarlijke en smerige werkomstandigheden.
- vermindering van kosten voor veiligheidsmaatregelen.

Op het moment gebruikt vrijwel iedere grote fabrikant van automobielen en vrachtwagens robots voor het puntlassen. De verwachting is, dat de MIG-lasrobots in 1990 15 procent van de robotverkoop in de USA zullen uitmaken en dat zij de puntlasrobots voorbij zullen streven in aantallen.

Er zijn volgens de Robotics Industry Directory list van 1982 op dit moment 42 robot-modellen van 22 robotfabrikanten leverbaar voor laswerk. Grote Amerikaanse fabrikanten zijn onder andere:

- Cincinnati Milacron
- General Electric Company
- Unimation Inc.

8 LITERATUURVERWIJZING

Proceedings of the 1st International Conference on Flexible Manufacturing Systems. - Brighton 20-22 okt 1982.

Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing - Mikell P. Groover.

Industrial Robots - William R. Tanner.

Robots in Industry - Richard K. Miller.

Diverse vakbladen, zoals:

- Sensor Review
- The Industrial Robot
- Assembly Automation
- The FMS magazine

BESCHRIJVING VAN DE BEDRIJFSBEZOEKEN

Op het gebied van de Flexibele Automatisering en Robotica was het bezoek aan de volgende bedrijven interessant.

1. BENDIX Cooperation - Warren (MI)
2. McAUTO (McDONNELL DOUGLAS) - St. Louis (MO)
3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS - Washington DC
4. LEHIGH UNIVERSITY - Bethlehem (PA)
5. SI HANDLING INC. - Easton (PA)
6. CINCINNATI MILACRON - Cincinnati (OH)

1 THE BENDIX CORPORATION, WARREN (MI)1.1 Inleiding

Het Bendix concern omvat circa 30 divisies, waar in totaal circa 63.000 mensen werkzaam zijn. Het concern heeft een jaarlijkse omzet van meer dan 4 miljard dollar. Het werkgebied ligt voornamelijk in de automobielen-industrie, de ruimtevaart en defensie.

Op het gebied van flexibele automatisering en robotica kan BENDIX complete systemen leveren. Omdat men op een groot aantal gebieden actief is (zie tabel 1), heeft men de expertise in huis om deze complete systemen op te zetten. Voor de fabricage van machines, die in FM systemen te gebruiken zijn, werkt BENDIX samen met enkele andere bedrijven:

Draaibanken en boormachines	: Warner & Swasey
	: G.A. Gray
Slijpmachines	: Warner & Swasey
	: Bendix Besly
Plaatbewerkingsmachines	: Wiedemann
Robots	: Comau
	: Yaskawa (Japan)
Meetmachines	: Imperial Prima (Italië)

In het nu volgende deel van dit verslag zal allereerst ingegaan worden op het werk dat BENDIX doet op het vlak van de flexibele automatisering, daarna zal besproken worden wat BENDIX doet met betrekking tot de robotica.

1.2 Flexibele automatisering

Tijdens de rondleiding zijn geen FM-systemen bekeken, echter wel een maquette van een FMS. Hiervan werd de besturingscomputer gedemonstreerd. Omdat het eigenlijke proces niet aangesloten was, kon men niet alle mogelijkheden van de software laten zien. Het pakket was volledig "menu-driven". De keuze in een bepaald menu wordt gemaakt door met de wijsvinger de betreffende plaats op het beeldscherm aan te raken en verloopt dus niet via een toetsenbord. In dit systeem wordt gebruik gemaakt van het MODVIEW systeem van Modicon, om de grafische weergave van de (deel)processen te realiseren (real-time). Veel gebruikte PLC systemen bij BENDIX zijn de PLC-3 van Allan Bradley en de MOD 584 van Modicon.

1.2.1 Batch Manufacturing System

Tijdens de, in 1982 in Chicago gehouden, International Machine Tool Show (IMTS '82) demonstreerde BENDIX een FMS-opstelling voor de fabricage van een drietal verschillende assen: het BENDIX Batch Manufacturing System. Figuur 1 toont een lay-out van het systeem.

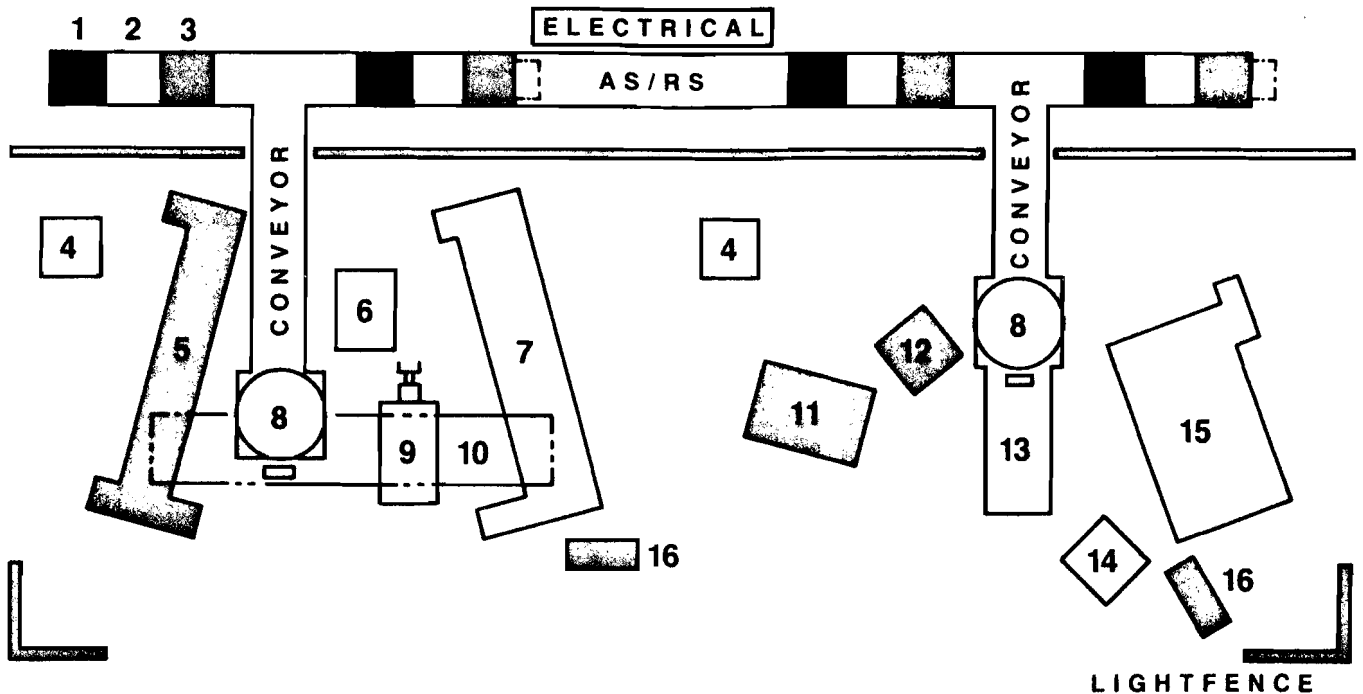
De werking van het systeem is als volgt:

De onderdelen worden in het systeem gebracht met behulp van een automatisch magazijn (AS/AR system), dat bestuurd wordt door het computersysteem. De onderdelen bevinden zich in groepen van vier stuks op pallets, die door middel van een barcode gecodeerd zijn (1, 2 en 3). Wanneer de pallet bij de draaicykel aankomt, wordt deze naar een index station (8) gestuurd, waar de barcode gelezen wordt en daarmee de identiteit vastgesteld. De onderdelen bevinden zich nu binnen het bereik van de AA-160 CNC robot (9). De robot is bevestigd aan een hydraulisch bestuurd portaal (10), om zo de cel te kunnen bedienen. Het onderdeel wordt naar de frees en centreermachine (5) gebracht, waar de voorbereiding plaats vindt. Vervolgens brengt de robot het onderdeel naar de draaibank (7), waar het afdraaien volgt.

Na de draaibewerking gaat het werkstuk naar de booreenheid (6), waar een gat geboord wordt ten behoeve van de slijpbewerking. Hierna brengt de robot het onderdeel terug naar de pallet, die vervolgens 180 graden gedraaid wordt en nu via de transportband terug naar het magazijnsysteem gestuurd wordt.

Het eindproduct van de draaicykel vormt nu het uitgangsmateriaal voor de slijpcel. Ook hier bepaalt de computer weer het verloop: hij selecteert de pallets met produkten en bepaalt de juiste bewerkingsovergang, stuurt het juiste programma naar de diverse machines en roept dan een pallet op uit het magazijnsysteem voor bewerking.

Het zal duidelijk zijn, dat de maximale doorlooptijd bereikt wordt als de pallet van de draaicykel meteen naar de slijpcel gestuurd wordt. De barcode scanner kijkt of het juiste produkt afgeleverd is en activeert de programma's.



The parts seen running through this system are undergoing simulated machining in order to minimize viewing time. Bendix turning and grinding machines can be seen cutting these parts in separate stand-alone configurations in the Bendix exhibit.

System Key; 1 Red Pallet, 2 Yellow Pallet; 3 Blue Pallet; 4 Industrial Controls Division DynaPath[®] System 5AR Robot CNC; 5. Mill and Center Machine 6 Drillunit, Inc., drillunit; 7. Warner & Swasey WSU-12; 8 Bendix Machine Tool Corporation 180-degree index station turntable; 9. Robotics Division AA-160 CNC Robot. 10. Gantry Finite Element Analysis by Bendix Research and Development; 11. Heat Treat; 12. Wash Station; 13. Robotics Division ML-360 CNC Robot. 14. Automation & Measurement Division gage. 15. Stepmaster Grinder, 16. Annunciator Panels. Manchester cutting tools and Scully Jones tool holding devices provided by Bendix Industrial Tools Division. **Pallet Sequence is: Red, Yellow, Blue (although it doesn't matter to the AS/RS. ***All Bendix Components Coded Blue, All Other Components Coded Green.

Fig.1 Lay-out Batch Manufacturing System.

De ML-360 robot (13) pakt een produkt van de pallet en leidt het vervolgens door een reinigungsstation (12), een electron beam hardingsinstallatie (11) en door een slijpbank (15). Zodra het eerste produkt de slijpmachine verlaten heeft, komt het in een meetstation (14) terecht, waar de diameters gemeten worden. De uit de meting bepaalde afwijkingen dienen als offsetwaarden voor de besturing van de slijpmachine, zodat deze ze in de volgende cyclus verwerken kan. Nu wordt het onderdeel uit de meetmachine gehaald, naar de pallet gebracht, 180 graden gedraaid en vervolgens teruggestuurd naar het magazijnsysteem.

1.2.2 Automobielfabrikage

In samenwerking met de italiaanse firma COMAU levert BENDIX fabrikagesystemen voor de automobiellindustrie. In een toelichtende film over dit onderwerp worden een aantal assemblagesystemen getoond, waarbij onder andere de COMAU SMART 6.50 robot (zie figuur 2 en tabel 2) puntlassen maakt. Het transport van de auto's-in-wording gebeurt met computergestuurde robotcars. De plaats waar elke wagen zich bevindt, wordt bijgehouden in het computersysteem. Het traject is verdeeld in een aantal zônes en in elke zône mag zich hooguit een robotcar bevinden. Iedere zône zendt een signaal uit van een bepaalde frekwentie. Het computersysteem geeft aan het transportsysteem door waar de robotcar naar toe moet. De besturing van het transportsysteem zorgt er nu voor, dat de robotcar het signaal van de juiste frekwentie(s) volgt, om zo op de goede plaats aan te komen. Door het lezen van de codering op de draagblokken herkent het systeem het type wagen op het draagblok en schakelt de robot over op het daarbij behorende puntlasprogramma. De programma's zijn dus al in de robot aanwezig en worden niet vanuit de hoofdcomputer overgezonden naar de robotbesturing.

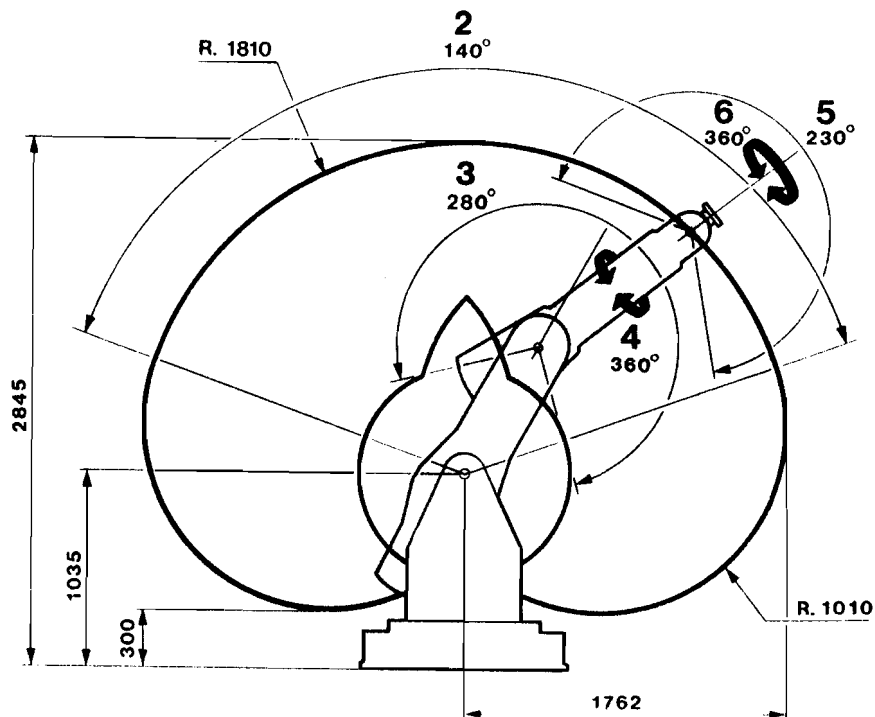


Fig. 2 De Comau Smart 6.50 robot.

1.2.3 Robotica

Hoewel tijdens de rondleidingen geen toepassingen van robots getoond konden worden, verricht BENDIX toch werkzaamheden op het gebied van de robotica. Hiertoe werkt het concern samen met de volgende firma's:

- General Motors : ontwikkeling spuitrobot
- Comau (Italië) : SMART robots
- Yaskawa (Japan) : MOTOMAN robots
- Machine Intelligence : Vision systemen

BENDIX zelf produceert enkele typen robots, te weten de ML-360 CNC robot (hydraulisch) en de AA-160 CNC robot (elektrisch). Beide typen zijn 6-assig en worden bestuurd door middel van de BENDIX System 5 besturing. In ontwikkeling is de XL-50 robot (50 kg draagvermogen), die 3 of 5-assig uitgevoerd kan worden, en die speciaal bedoeld is voor parts-handling en assemblage. De aandrijving van dit type gebeurt elektrisch via tandwielkasten. Nadere gegevens over dit robottype ontbreken nog.

Bendix: building productivity through product, process and systems technology.

Automated Systems	Welding Materials Handling Metal Cutting Assembly Machines	Flexible Machining Measuring Fabricating
CNC Metal Cutting	Turning Machines/horizontal and vertical/single and multiple spindle Horizontal Boring Machines Broaching Machines	Grinding Machines/disc and cylindrical Machining Centers Transfer Lines
CNC Metal Forming	Punch Presses Shears Panel Benders	
Controls	Computer Numerical Control Systems Manual Data Input Controls	
Inspection	Coordinate Measuring Machines Inspection Centers Autometrology Manual Production Gaging	Surface Finish and Geometry Inspection In-Process Gaging
Material Handling	CNC Multi-Axis Robots Automated Load and Unload Mechanisms Automated Storage and Retrieval Systems	
Accessories	Automatic Tool Changers Anti-Friction Bearings Chip Conveyors Cutting Fluid Filtration Systems	Cutting Tools and Accessories Including Laser and Plasma Arc Technology Drilling Machines
Services	Custom Software Design Engineering Services Replacement Parts and Contract Services Industrial Finance and Leasing	Computer Programming Services for Machine Tools Eli Whitney Laboratory Services for Gage Inspection, Calibration, and Certification
Construction Related	Telescoping Boom Hydraulic Excavators Telescoping Boom Hydraulic Material Handlers	
Energy Related	Pipe Bending and Fabrication	
Miscellaneous	Gray Iron, Ductile Iron, and Ni-Resist Castings	



BENDIX INDUSTRIAL GROUP
11000 CEDAR AVE.
P.O. BOX 94531
CLEVELAND, OHIO 44101
(216) 432-4000

82-12

Tabel 1



SMART 6.50 GENERAL DATA		
Robot Type	All-electric, articulated anthropomorphic configuration	
Number of Axes	6 axes (1 or 1T, 2, 3, 4, 5, 6)	
Axes Motion Range and Speed	1-Axis	Base Rotation: 270° (76°/sec)
	1T-Axis	Base Traverse: 2.5 m (or multiples) (1 m/sec) Option
	2-Axis	Arm Motion: 140° (80°/sec)
	3-Axis	Fore-Arm Motion: 280° (100°/sec)
	4-Axis	Fore-Arm Roll: 360° (137°/sec)
	5-Axis	Yaw/Pitch: 230° (137°/sec)
6-Axis	Tool Roll: 360° (137°/sec)	
Reach	Horizontal 1917 mm, vertical 3000 mm	
Repeatability	± 0.4 mm	
Base Floor Space	1150 x 1150 mm	
Load Capacity	Static Load	50 kg (400 mm from wrist center), or 60 kg (330 mm)
	Moment of Inertia	5-Axis: 8 kgm ² - 6-Axis: 1.125 kgm ²
	Static Torque	5-Axis: 200 Nm - 6-Axis: 75 Nm
Drive	Electric DC servo motors with transistor PWM amplifiers	
Position Transducers	3 KHz resolvers mounted on motor shafts	
Axes Counterbalancing (1)	Pneumatic for the 2-Axis and weight for the 3-Axis (floor and roof mounting only)	
Axes Counterbalancing (2)	Weight for the 2 and 3 Axes (universal position mounting) Option	
Safety Flange	Available (for wrist overload protection) Option	
Axes Travel Limits	Programmable software limits	Option
	Electrical limit switches for 2 and 4 axes	Option
	Adjustable limit switches for 1 and 3 axes	Option
	Energy absorbing stops for 1, 2, 3, 4, 5 axes (1 and 3 may be adjusted)	
	Stops for 6-Axes	Option
Robot Fine Calibration Device	Available Option	
Pins kit for Robot Lifting and Rotation	Available Option	
Provision for Fork-Lift Hoisting	Standard	
Computerized Control System	Multi-microcomputer configuration	
Serial Interface	Available for host computer and/or sensor subsystems connection (RS232 or RS422) Option	
Diagnostics	Wide range of controller diagnostic functions	
Controller Size	1250 x 1580 x 900 mm	
Controller Doors Interlocks	Available Option	
Program Storage	RAM CMOS with battery back-up (minimum 40-days retentivity)	
Program Storage Capacity	16, 32, 48, or 64K bytes. Number of programs limited only by memory capacity 16K standard	
I/O Interface	14 Inputs, 9 Outputs user programmable standard	
I/O Interface Extension	5 additional I/O modules available (32 Inputs or 18 Outputs per module) Option	
Back-Up Recording Unit	Portable cassette tape unit Option	
Printer for Program Listing	Available Option	
Operator's Panel	9" CRT, Alphanumeric Keyboard, and Control Panel	
Control Panel	Electronics and Motor Drives ON/OFF, Emergency Stop, Feed Hold, Axes Zero, Feed Rate Selector, Program Execution Mode Selector, Cycle Start	
Programming Terminal (Pendant)	Microcomputer based. Includes key-pad, display, emergency stop, and dead-man switch Option	
Emergency Manual Control Box	Available Option	
Programming Method (1)	Teaching through the Programming Terminal (motion, interlocks, tool functions)	
Programming Method (2)	Manual Data Input (MDI) through the Operator's Panel using the PDL Programming System	
Programming Method (3)	Edit/Teach by MDI and teaching of key-positions	
Motion Mode (1)	Point-to-Point in the Robot Coordinate System	
Motion Mode (2)	Controlled Path (straight line) in the Robot Base Cartesian Coordinate System Option	
Motion Mode (3)	Controlled Path (straight line) in the Tool Cartesian Coordinate System Option	
Selection of Motion Mode	From Program, Programming Terminal, and Operator's Panel	
Program Execution	Forward and Backward Jogging, Automatic, Step-by-Step, Continuous Repeated	
Power Requirements	380 V three-phase + 10%, - 15%, (or others on request), 48-62 Hz, 14 KVA	
Air Supply	8 bar	
Environmental Operating Range	0-45°C	
Robot Weight	1600 kg	

cod. 8200 - 2/83 - reatigro/termone & c. - Printed in Italy - PRENSA ADVERTISING



21238 Bridge Street
Southfield, MI 48034

All specifications are subject to change without notice.

Tabel 2

2 McDONNELL DOUGLAS - McAUTO

Bij het bezoek aan McAuto, een dochteronderneming van McDONNELL DOUGLAS, die zich bezighoudt met automatisering, is op het gebied van flexibele automatisering het systeem "PLACE" getoond.

PLACE staat voor Positioner Layout and Cell Evaluator.

PLACE is een 3-dimensionaal grafisch systeem dat toegepast kan worden bij:

- het ontwerpen van een cel
- het simuleren van het gedrag van een cel
- het veranderen van een cel
- het onderzoeken van verschillende ontwerpen
- het vergelijken van de prestaties van verschillende robots in gelijke omstandigheden, of van een robot in verschillende omstandigheden.

Hierdoor kan men een goed beeld krijgen van de mogelijkheden van een cel voor men tot aanschaf van de cel overgaat.

Het systeem beschikt hiertoe over een aantal faciliteiten:

- simulatie van de robotbewegingen
- een driedimensionaal grafisch systeem om de componenten van de cel te kunnen manipuleren en te positioneren
- continue weergave van de stand van de robotgewrichten met de mogelijkheid overschrijding van de grenzen op te merken.
- de mogelijkheid aanzichten te transleren, te roteren, of van schaal te veranderen
- gebruik van perspectief
- definitie van bewegingsvolgorden om de cel te analyseren en om botsingen van onderdelen op te merken
- een voortdurend uitbreidende bibliotheek met robots en celcomponenten
- een eenvoudige communicatiemogelijkheid tussen het systeem en de operator
- de mogelijkheid hard-copy's te maken

In de bibliotheek waren op het moment van het bezoek 16 robots van verschillende makelij aanwezig. Het geometrisch model van een robot kan m.b.v. een CAD-systeem ingevoerd worden, aan de hand van de gegevens van de robotfabrikant. Er wordt een kinematische analyse gemaakt van de robot, welke in de vorm van bewegingsvergelijkingen in de data-bank opgenomen wordt. De mogelijkheid bestaat om als klant zelf de bibliotheek uit te breiden, ook met andere cel-componenten dan robots. Het verwerken van de gegevens van een nieuwe robot in de data-bank

vergt ca. zeven dagen.

De geometrische modellen die door PLACE gebruikt worden komen van een ander McAUTO-systeem, nl. UNIGRAPHICS. Wil men een ander CAD-systeem gebruiken, dan dient men gebruik te maken van een IGES-interface.

Het is momenteel nog niet mogelijk meerdere robots gelijktijdig te laten bewegen. Ook is het nog niet mogelijk rekening te houden met dynamische verschijnselen.

Er wordt een "neutral path" geprogrammeerd en later volgen de aanpassing voor de massa's van het werkstuk en de robotonderdelen, etc.

Men streeft ernaar in de toekomst met het systeem robots te kunnen programmeren op het ontwerpstation i.p.v. op de werkvloer (off-line programming). Ook streeft men ernaar dat het systeem in de toekomst zelfstandig een keus kan maken uit de bibliotheek. PLACE werkt op het McAUTO R-100 werkstation, bestaande uit CRT's, een functietoetsenbord, een controlebord, een data-tablet en een alfa-numeriek toetsenbord. Het werkstation is aangesloten op de standaard VAX 11/780 en de VAX 11/750.

Mogelijke gebruikers van het systeem zullen zijn:

- grotere bedrijven
- bedrijven die zich bezighouden met systeemintegratie
- robotfabrikanten
- bedrijven die te maken hebben met cellen waarvan de lay-out of de functie vaak verandert.

3 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, WASHINGTON (DC)

3.1 INLEIDING

De enige overheidsinstelling, die tijdens de reis door Amerika bezocht werd, was het National Bureau of Standards (NBS) te Washington DC. NBS heeft als overheidsinstelling een wettelijk vastgelegde taak, die letterlijk als volgt luidt:

- a. The custody, maintenance and development of the national standards of measurement, and the provision of means and methods for making measurement consistent with those standards.
- b. Coöperation with other government agencies and with private organizations in the establishment of standard practices, incorporated in codes and specifications.

In het kader van deze taakstelling wordt er bij NBS momenteel gewerkt aan een nieuwe onderzoek faciliteit: the Automated Manufacturing Reseach Facility (AMRF). Met deze faciliteit, die volgens plan in 1986 gereed dient te komen, wordt het mogelijk het functioneren van flexibele fabriekcellen in een geautomatiseerde fabriek te simuleren, of beter, te emuleren. Hierbij komt dan voornamelijk het interfaceprobleem en het onderzoek naar in-proces meettechnieken aan de orde. In het nu volgende deel van dit verslag, zal de AMRF uitvoerig besproken worden, waarna tevens aandacht besteed zal worden aan het werk, dat er bij NBS op het gebied van de robotica verricht wordt.

3.2 Doelstelling van de AMRF

Als eerste doelstelling voor de AMRF is in het voorgaande het onderzoek naar in-proces meettechnieken vermeld. Het zoeken naar andere meetmethoden, dan de klassieke, op statistical sampling gebaseerde methoden, werd ingeleid door de introductie van numeriek bestuurde machines, van groepen technologie en van het concept van Flexible Manufacturing Systems (FMS). Vooral de snelle ontwikkeling van FMS overtuigde NBS ervan, dat toekomstige kwaliteitscontrole systemen gebaseerd dienen te zijn op kennis van het proces, op het meten en controleren van machineparameters en op adaptieve controle. Hiervan uitgaande werd onderzoek verricht aan een NC machining center met het doel de produktafmetingen te beheersen door calibratie van de produktiemachine. De zo ontwikkelde calibratie technieken en software correctie algoritmen voor statische fouten bleken goed toepasbaar op gereedschapswerktuigen in fabrieksomgeving. Alleen deze technieken leverden al een vijf keer zo hoge nauwkeurigheid op. Verder onderzoek zal verricht worden naar correctie

algoritmen voor dynamische fouten, zoals afwijkingen ten gevolge van inwendige warmteproductie of ten gevolge van snijkrachten. Ook zal aandacht besteed worden aan gereedschapsslijtage- en -breukverschijnselen. De AMRF zal onderzoek naar integratie van deze meettechnieken op cel-nivo (multi work station level) mogelijk maken.

De tweede doelstelling van de AMRF is het scheppen van testomgeving voor het onderzoek naar de noodzakelijke interface standaarden voor de verschillende componenten van geïntegreerde produktiesystemen, zoals een FMS. Alleen interface standaarden kunnen het mogelijk maken, dat componenten willekeurig aan een systeem toegevoegd kunnen worden en dat de structurele opbouw van het systeem naar behoeven veranderd kan worden. Met andere woorden interface standaarden zijn onmisbaar bij de realisering van flexibele, modulaire systemen, waarvan de componenten van verschillende fabrikanten kunnen zijn, zoals dat bij een FMS vaak voor zal komen. Gestreefd wordt naar een standaard, die analoog is aan de IGES (Initial Graphic Exchange Standard), zoals die voor CAD/CAM systemen mede door NBS ontwikkeld is (zie voor IGES het verslag van de CAD/CAM groep).

3.3 Systeemopbouw van de AMRF

Daar de AMRF zich beperkt tot de verspanende bewerking, de produkten, die nu door de NBS Instrument Shop gefabriceerd worden, door het systeem vervaardigd kunnen worden. Uit een groepentechnologie studie bleek dat deze produktengroep karakteristiek was voor een doorsnee produktiefabriek. De produktengroep wordt afgebakend door de volgende begrenzingsen:

- Gewicht: minder dan 50 kg
- Afmetingen: - 300x300x300 mm³ voor prismatische produkten
 - rond 250 mm x 250 mm voor cilindrische produkten
- Seriegrootte: 1 tot 1000 stuks
- Complexiteit: tot en met 4 assen prismatisch
- Materialen: (roestvast) staal, aluminium, messing, gietijzer en lucite

De AMRF is zodanig ontworpen, dat het grootste gedeelte van de produkten, die nu door de NBS Instrument Shop gefabriceerd frezen, boren, ruimen, tappen, kotteren, draaien, vlakken, draadsnijden, schoonmaken, afbramen en inspecteren. De AMRF is opgebouwd uit werkstations, ieder met een gedefinieerd aantal functies, die als stand-alone machine dienst zouden kunnen doen. Volgens het huidige plan zal het systeem uit acht, meer of minder complexe, stations gaan bestaan:

1. Horizontal machining station
2. Vertical machining station
3. Draai station
4. Schoonmaak- en afbraamstation
5. Inspectiestation
6. Materiaal opslag station
7. Transport systeem (of station)
8. Huishoud systeem (of station)

De verschillende stations (of systemen, wanneer de functies niet plaatsgebonden zijn) zullen kort worden besproken:

- 1,2 en 3: De gebruikte gereedschapswerktuigen zullen representatief zijn voor de special-purpose gereedschapswerktuigen, zoals die in de USA gebruikt worden. Iedere machine zal samen met een robot een werkstation gaan vormen. De gebruikte robots, zowel als de gereedschapswerktuigen zullen van verschillende fabrikanten zijn, om het ontwikkelen van universele interfaces te kunnen realiseren. NBS is er, in tegenstelling tot analoge Britse (ASP plan) en Japanse (MUM of FMC plan) projectgroepen, dus niet van uitgegaan, dat bestaande componenten, vooral gereedschapswerktuigen ongeschikt zouden zijn voor integratie in een FMS.
- 4: Er is toch voor een afzonderlijk afbraam- en schoonmaakstation gekozen, ondanks het feit dat zoveel mogelijk afbraamwerk door de verschillende werkstations verricht wordt, vanwege het belang van deze functie voor de automatische inspectie.
- 5: Als inspectiestation is gekozen voor een 4 assige horizontale arm meetmachine met een robot als load/unload station. Ten behoeve van de flexibiliteit zal de besturing van de meetmachine analoog zijn aan de besturing van de werkstations.
- 6: Het materials inventory station zal fungeren als buffer voor automatische produktie gedurende enkele dagen en als automatisch magazijn over langere termijn gezien. Het systeem zal gebruikt worden voor opslag van uitgangsmaterialen, gereedschappen en geassembleerde gereedschapshouders, speciale opspanstukken en van halffabriekaat en eindprodukt.
- 7: Het transportsysteem voor produkten, gereedschappen en opspanstukken zal bestaan uit een carrousel (tevens fungerend als deel van het opslagstation) en uit robotcars ofwel automated guided vehicles (AGV).
- 8: Het huishoudsysteem zal zorg dragen voor het afvoeren van spanen ten behoeve van het goed functioneren van sensoren, inspectie en het fixeren van werkstukken door de robots.

Figuur 3 geeft een beeld van de maquette van de AMRF, hetgeen een idee geeft over hoe het systeem in 1986 gerealiseerd zal zijn.

In het centrum van het systeem bevinden zich rijen file cabinets, die samen de carrousel van het transportsysteem vormen. De drie robots aan de linkerzijde vormen een gedeelte van het afbraam- en schoonmaakstation. De afgezonderde ruimte rechtsvoor is het inspectiestation. Er zijn verder vier werkstations zichtbaar, die ieder bestaan uit een gereedschapswerktuig, een robot, een plaatselijke opslag voor gereedschappen, fixeringen, grijpers, meetprobes en interfaces voor het transport- en huishoudsysteem.

Tengevolge van de totale opzet van het systeem zullen eisen aan gereedschapswerktuigen en robots worden gesteld, die vragen naar verdere ontwikkelingen van deze componenten. De functies, die gereedschapswerktuigen en robots, als onderdelen van een werkstation of cel moeten gaan vervullen, zijn:

Voor de robot:

1. Loading en unloading van het werkstuk
2. Loading en unloading van het gereedschap
3. Fixering van produkt of assemblage van fixatie
4. Spaanbeheersing en spaanafvoer
5. Visuele inspectie van fixering en produkt
6. Initiële produkt- en gereedschaplocalisering
7. Grijperkeuze en grijperwisseling
8. Afbramen en schoonmaken indien nodig voor de volgende bewerking
9. Veiligheid
10. Self-monitoring

Voor de gereedschapswerktuigen:

1. Verspanen
2. Product localiseren
3. Sensoring van gereedschapslijtage en -breuk
4. Gereedschapsinstelling en controle
5. Monitoring van het verspaningsproces
 - a. Dynamisch
 - b. Thermisch
 - c. Hydraulisch
 - d. etc.
6. Self-monitoring
7. Afbramen en schoonmaken (als deel van de bewerking)
8. Adaptieve controle

NBS stelt zich als taak vast te stellen welke gebieden verder ontwikkeld dienen te worden, te stellen welke gebieden integratie van de verschillende componenten tot een FMS. NBS onderzoekt de huidige stand van de techniek in de bewuste onderzoeksgebieden en initialiseert, indien gewenst, verder onderzoek, dat kan leiden tot de gewenste doelstellingen.

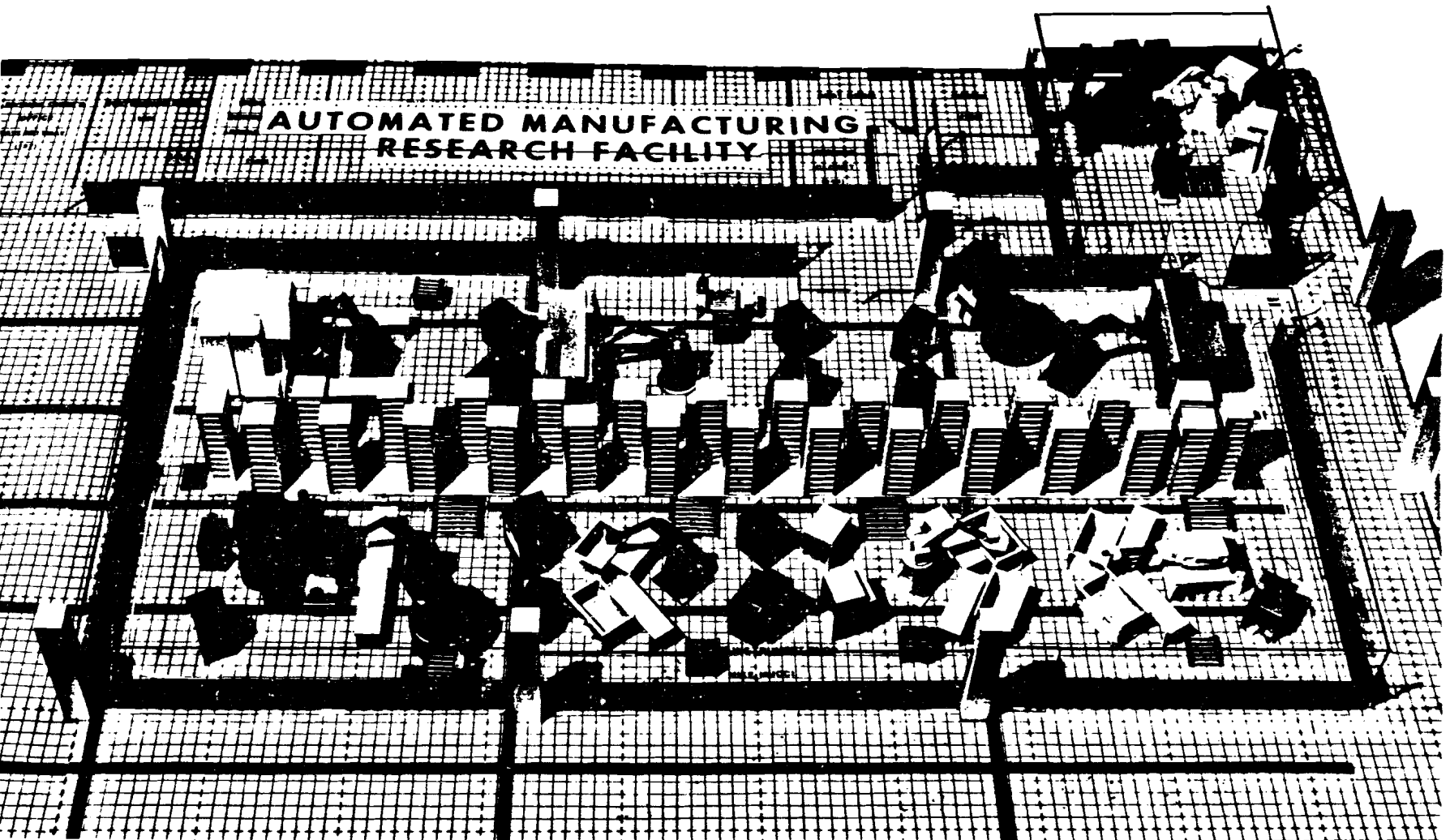


Fig. 3 Maquette van de AMRF.

Momenteel lopen er twee projecten bij NBS, te weten in het vlak van de robotica en op het gebied van precisiebewerkingen, die een bijdrage zullen leveren tot de ontwikkeling van subsystemen voor de AMRF.

3.4 Architectuur van het besturingssysteem van de AMRF

De eisen aan het besturingssysteem van de AMRF zijn zeer hoog, vanwege de grote verscheidenheid in te fabriceren produkten en vanwege de noodzaak snel systeemveranderingen aan te kunnen brengen. Het grootste probleem is echter de besturing van de samenwerking van vele machines, die elk een veelheid aan sensorinformatie over status, prestatie, fouten en onregelmatigheden van hun eigen procesdeel leveren. De enige mogelijkheid een dermate complex besturingssysteem te ontwikkelen ligt in een hiërarchische opbouw van software modules. Deze hiërarchische opbouw zal bij de AMRF zeven of acht lagen bevatten.

Figuur 4 toont het schema van het besturingssysteem van een "slimme" robot. Het besturingssysteem van de AMRF zal een analoge logische en tijdsafhankelijke opbouw vertonen. In de figuur zijn een organisatie-, een berekenings- en een gedragshiërarchie te onderscheiden.

In de top van de organisatiehiërarchie worden de lange termijn plannen geformuleerd ten behoeve van onder andere prioriteitenbepaling. Op ieder nivo worden de commando's van het bovenliggende, zogenaamde predecessor-nivo ontleed en gecombineerd met sensorfeedbackinformatie van dat nivo of van lagere nivo's. Aan de hand hiervan worden een reeks van commando's gegenereerd voor een set van onderliggende, zogenaamde successor-nivo's. Het is duidelijk dat de commandostroom uitsluitend van boven naar beneden verloopt.

De berekeningshiërarchie bestaat uit drie parallele rangorden, te weten een taakontledings-, een sensorverwerkings- en een wereldmodel-hiërarchie.

De taakontledingshiërarchie bepaalt uit de commando's van de predecessornivo's en uit de sensorinformatie een reeks commando's voor de onderliggende lagen. De wereldmodelhiërarchie heeft à priori kennis omtrent de opdracht, de produkten en de werkomgeving. Deze hiërarchie bepaalt aan de hand van die kennis welke sensorinformatieverwerkingsalgoritmen gebruikt moeten worden. De te verwachten sensorinformatie kan voorspeld worden en deze voorspelling kan gecorreleerd worden aan de werkelijk binnenkomende informatie. Aan de hand van eventuele discrepanties kan de taakontledingshiërarchie de te nemen actie aanpassen, om zodoende overeenkomst tussen verwachtingen via het wereldmodel en de werkelijkheid te realiseren. Ook kan het wereldmodel uitgebreid worden door het toevoegen van nieuw geleerde informatie.

Door het uitzetten van de coördinaten van alle vrijheidsgraden van het systeem als functie van de tijd, ontstaat de laatste hiërarchie uit de figuur: de gedragshiërarchie. De symbolische commando's, die op ieder nivo door de taakontleding

ORGANIZATIONAL HIERARCHY

COMPUTATIONAL HIERARCHY

BEHAVIORAL HIERARCHY

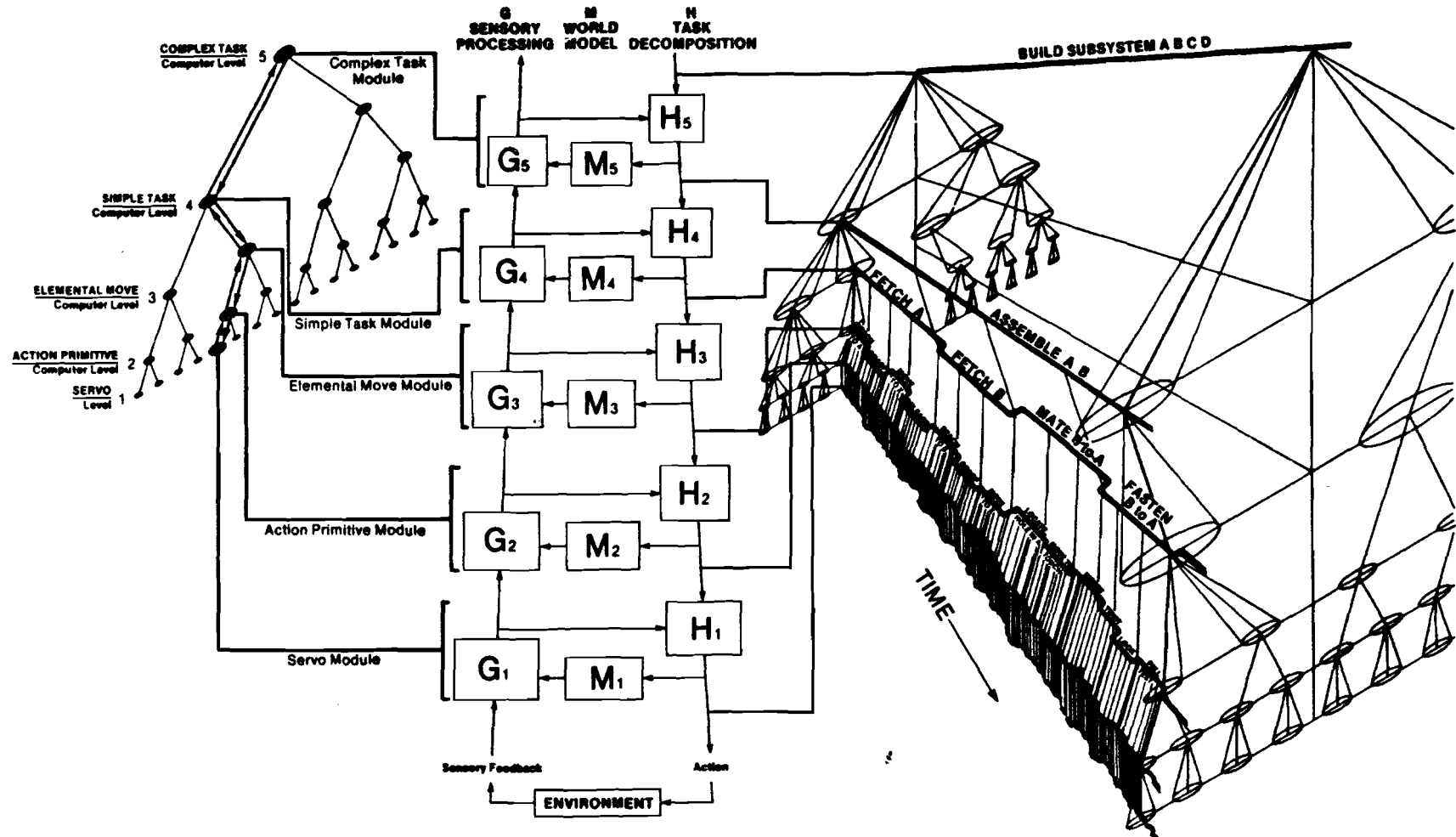


Fig. 4 Schema besturingssystem intelligente robot.

gegenereerd zijn, worden op deze manier uitgezet in een zogenaamde state-space. Aangezien een reeks commando's op elk afzonderlijk nivo een programma voorstelt, moet er dus voor elk nivo een unieke programmeertaal bestaan.

Het besturingssysteem is zo opgebouwd, dat, per tijdsincrement, door iedere berekeningsmodule aan de hand van zijn gesampled input (commando's en sensorfeedback) een output berekend wordt via relatief eenvoudige functies en regels. Zodoende wordt de complexe besturingsstructuur gereduceerd tot het eenvoudig zoeken naar een zogenaamde state-transition table. Dit is een tabel, waarin voor alle mogelijke toestanden (states) een exact gedefinieerde, eenduidige actie bestaat. Op deze manier kan het systeem ook eenvoudig bijleren, door voor nog onbekende situaties een nieuwe state-transition regel te definiëren. Een verder voordeel van dit state-machine concept is de mogelijkheid de status van het gehele systeem in ieder tijdsincrement op te vragen, ten behoeve van statusrapporten, debuggen, single stappen en prestatiecontrole.

Figuur 5 is een blokdiagram van het geplande besturingssysteem voor de AMRF. De taakontledingsmodules worden voorgesteld door de vierkante blokken. De commando's voor de werkstationmodules kunnen de volgende vorm hebben: <bewerk onderdeel X>. Het bewerkingsstation ontleedt zijn opdracht in taken voor zijn ondergeordende machinebesturingen, zoals bijvoorbeeld: <haal onderdeel X op>, <plaats X in fixering Y>, <voer draaiprogramma Z uit>, <verwijder spaanafval>, etc.

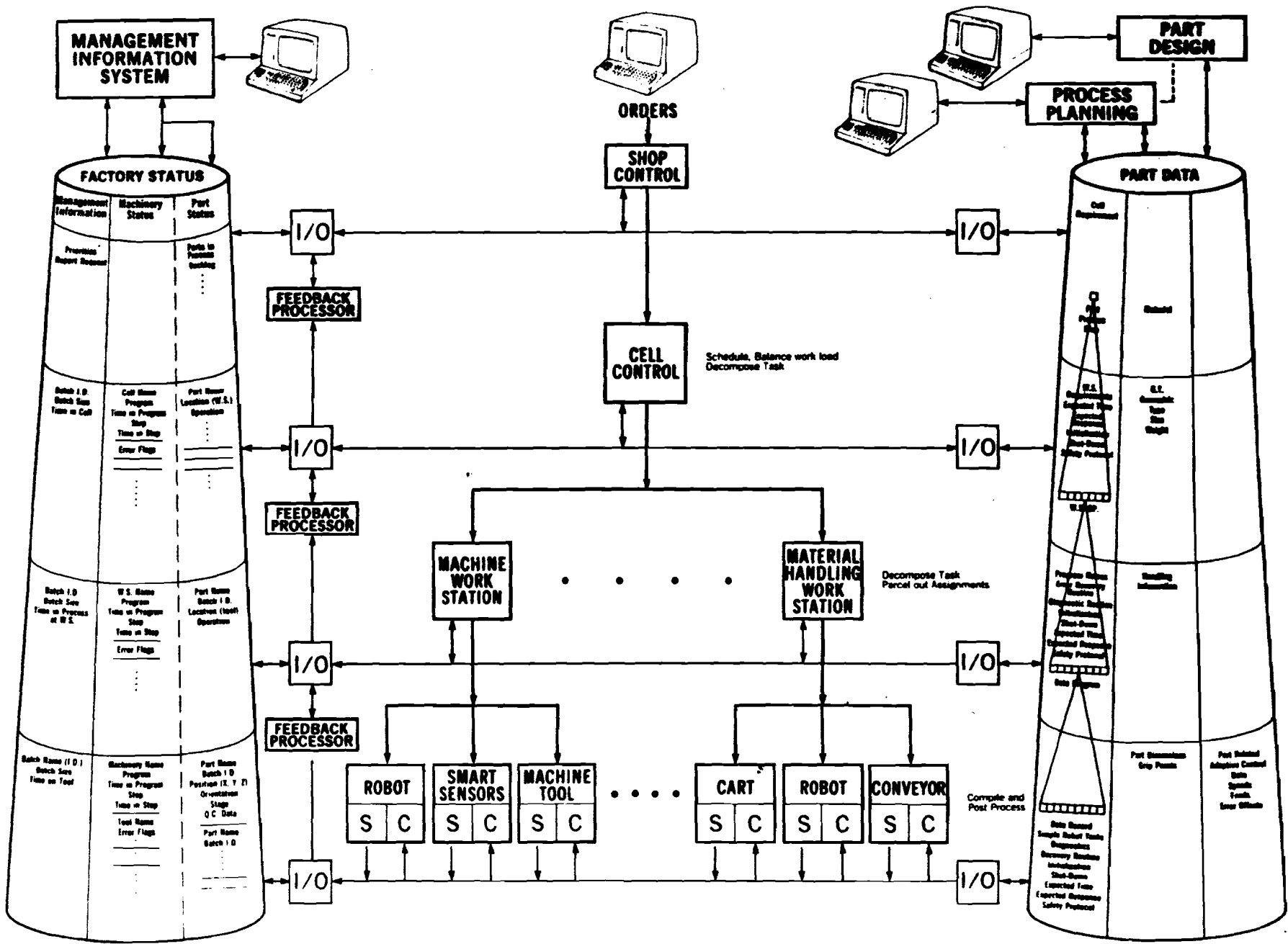
De celbesturing plant de verschillende jobs, verdeelt ze over de verschillende beschikbare machines en zorgt ervoor, dat de juiste onderdelen en gereedschappen op tijd bij de juiste machine aanwezig zijn. Op het hoogste nivo bevindt zich de fabrieksbesturingseenheid, die het commando kan hebben over verschillende cellen.

Er zijn twee data-bases gepland: depart data-base en de factory status data-base.

De part data-base bestaat uit drie secties:

- a. Een sectie bevat ontwerp data, zoals afmetingen, materiaal- en gereedschapseisen, codes voor groepentechnologie, grijpvlakken voor hantering door middel van robots, etc.
- b. De tweede sectie is in feite een programmabibliotheek, die de programma's voor de verschillende besturingsmodules, per hiërarchische laag bevat.
- c. De derde sectie bevat gegevens over procesgrootheden, bij het verspanen bijvoorbeeld aanzetten en snijsnelheden, die in afhankelijkheid van de sensorinformatie uit het proces, aangeroepen kunnen worden.

Fig. 5 Blokiagram besturingssysteem voor de AMRF.



De factory status data base bestaat ook uit drie sekties:

- a. De management informatie en besturings data base biedt het management de mogelijkheid het hele systeem te monitoren, statusinformatie op te vragen en eventueel prioriteiten ten aanzien van bewerkingsvolgorden te veranderen.
- b. De tweede sekte bevat de exacte status van elke systeemcomponent (gereedschapswerktuigen, robots, transports- en opslagsystemen en computers), vooral met betrekking tot de vorderingen van het besturingsprogramma.
- c. De laatste sekte bevat de statusinformatie van de produkten in het systeem, bijvoorbeeld met betrekking tot de pallet, waarop het produkt zich bevindt, de positie en de oriëntatie van het produkt ten opzichte van die pallet, de plaats waar de pallet zich in het systeem bevindt, etc.

Van belang is te onderkennen, dat specificatie van de genoemde data bases een impliciete specificatie van de besturingsinterfaces inhoudt. De enige eis aan de afzonderlijke systeemcomponenten met betrekking tot de interface mogelijkheden, is de mogelijkheid met de verschillende data bases te kunnen communiceren. Dit resulteert in de hoogst mogelijke flexibiliteit ten aanzien van het vervangen, toevoegen, verplaatsen of weglaten van een bepaalde systeemcomponent.

Tenslotte dienen de emulatiemogelijkheden van het besturingssysteem van de AMRF genoemd te worden. De software van het geheel is zodanig opgebouwd, dat het systeem, of gedeelten van het systeem, real-time gesimuleerd kunnen worden op de computer. Op het beeldscherm van een grafische terminal worden de modules afgebeeld, zoals in figuur 5. Tussen de blokken worden op ieder tijdsincrement de commandostromen aangegeven. Het geheel geeft dan een duidelijk overzicht over de momentane status van het systeem: welke opdrachten door de verschillende modules worden uitgevoerd, welke machine momentaan het commando over welke werkstationmodule heeft overgenomen, welke produkten op de verschillende machines verwerkt worden en hoever voor ieder produkt het bewerkingsproces gevorderd is, waar verschillende onderdelen en/of produkten zich in het transportsysteem bevinden, etc. Met deze emulatiesoftware is het mogelijk nieuwe produktieprogramma's te ontwerpen, te testen en te debuggen. Nieuwe systeemcomponenten kunnen afzonderlijk ontwikkeld worden, waarbij de totale systeemomgeving niet hardware aanwezig is, doch software gesimuleerd wordt. Op deze manier wordt de hoogst mogelijke flexibiliteit verkregen.

Zoals reeds vermeld werd, is de realisering van de AMRF gepland voor 1986. Tijdens het bezoek aan NBS kon men ons slechts de besproken maquette tonen. In de faciliteit zelf had men op dat moment pas een draaiautomaat en de bijbehorende robot geïnstalleerd. Men was bezig deze twee componenten op elkaar af te stemmen, zodat ze later samen een werkstation kunnen vormen. De merken en typen van de verschillende andere robots waren al bepaald, er waren echter pas enkele robots bij NBS aanwezig. De realisatie van de hardware staat dus nog in de beginfase. Wat software betreft was men al verder, wat aangetoond werd door de

demonstratie van de emulatieprogrammatuur. Ook hierbij waren de verdere ontwikkelingen echter nog in volle gang.

3.5 NBS en robotica

De aandacht die NBS aan robotica schenkt, ligt meer op het vlak van interfaces en sensors ten behoeve van robotica, dan op de ontwikkeling van robots zelf. Dit blijkt al uit het toepassen van verschillende robotmerken binnen de AMRF, bijvoorbeeld de Unimate Puma 600, de Cincinatti Milacron T3, een Bendix robot, etc. Wel doet men onderzoek naar programmeermethoden voor robots. De in de praktijk het meest gebruikte teach-in of lead-through programmeermethode is, voor toepassing binnen een FMS in het algemeen en binnen de AMRF in het bijzonder, niet geschikt. NBS doet daarom onderzoek naar off-line programmeermethoden, waarbij het concept van de state-table programmering, zoals voor de AMRF besproken is, op de voorgrond staat. Met de tot nu toe ontwikkelde programmatuur is het bijvoorbeeld mogelijk een nieuw programma te testen, door de baan van de robotarm in drie dimensies te plotten, waarbij dan tevens de bijbehorende snelheden afgebeeld worden.

Een ander project van NBS is de ontwikkeling van een computervision systeem. Bij dit systeem wordt een camera op de robotarm gemonteerd en worden tevens twee vlakke lichtbundels, die een kleine hoek met elkaar maken, vanaf de robotarm naar het werkstuk gestraald. Uit de snijlijnen van deze lichtbundels met een object op het werkvlak, kan door waarneming met de camera, de grootte en de orientatie van het object, alsmede de afstand van de robotarm tot het object, berekend worden. De werking werd zeer fraai getoond door een film, waarin de laboratoriumrobot, een Unimate Puma 600, een object, dat door een mens via een zeer grillige baan snel verplaatst werd, zeer snel en op zeer korte afstand kon volgen.

Het laatste project, dat hier genoemd wordt betreft het zogenaamde cell-spot systeem. Hierbij wordt de exacte positie van de robotarm bepaald door camera's, die aan de rand van het werkgebied van de robot opgesteld staan. Deze positie wordt vergeleken met de gewenste positie en het verschil wordt teruggekoppeld naar de servomotoren. Het voordeel van deze methode, boven de conventionele methode, waarbij de positie berekend wordt uit de hoekverdraaiingen van de servomotoren van alle vrijheidsgraden (in veel gevallen vijf tot zes), is de verhoogde positioneernauwkeurigheid. Wanneer de robot doorbuigt ten gevolge van een zware belasting in de grijper, gaat met het conventionele systeem de positioneernauwkeurigheid verloren, tenzij er ingewikkelde correctiesoftware wordt toegepast. Het cell-spot systeem is een mogelijke oplossing voor dit probleem.

3.6 Conclusies

Er is veel aandacht aan de AMRF geschonken, omdat dit systeem van zeer groot belang is voor de ontwikkeling van FM-systemen. De AMRF dient een extra grote flexibiliteit te bezitten, vergeleken met andere FM-systemen, omdat de faciliteit voor ontwikkelingsdoeleinden gebruikt zal gaan worden. Vooral de hiërarchische en modulaire opbouw van de besturingssoftware en de communicatie met de data bases zijn de grondstenen voor deze hoge flexibiliteit. Voor de uiteindelijke resultaten en conclusies zal men moeten wachten tot 1986, daar de gehele AMRF op dit tijdstip slechts in een beginstadium van ontwikkeling verkeert. Wel kan men op dit moment al veel leren van het concept van de AMRF, als men bezig is met de ontwikkeling of implementatie van geïntegreerde produktiesystemen. De aanpak, zoals NBS die hanteert is namelijk voor dit soort uiterst complexe besturings- en controleproblemen de enige juiste.

4 LEHIGH UNIVERSITY, BETHLEHEM (PA)

Aan deze universiteit wordt op beperkte schaal en sinds korte tijd aan robotica gewerkt. De universiteit bezit een robotlaboratorium, waar zich de volgende robots bevinden:

1 PUMA, 2 mini-robots, namelijk de RHINO X1 en de TECH-MOVER en een HERO-1 robot. De RHINO-X1 is een model van een robot, waarin alle overbrengingen door kettingen gerealiseerd worden. Hij wordt bestuurd door een APPLE-computer, waarop met de programmeertaal FORTH, de VAL-programmeertaal, waarmee onder andere de PUMA werkt, gesimuleerd wordt.

De HERO 1 (Heath Educational Robot) is een robot voor educatieve doeleinden op het gebied van robotica, sensoren, industriële elektronika, computers en servomotoren. De robot is verrijdbaar op drie wielen, waarbij een wiel door een DC-motor aangedreven wordt. De arm van de HERO 1 heeft 5 vrijheidsgraden, het hoofd 1 vrijheidsgraad en het sturen van het aandrijf wiel betekent ook een vrijheidsgraad. De HERO 1 heeft in totaal dus 8 motoren, waarvan er 7 stappenmotoren zijn. De HERO 1 bevat verder een spraaksynthesizer, een ultrasone bewegingsdetector, een geluidsdetector, een lichtdetector en een ultrasoon sonar systeem. Programmeren gebeurt door teach in ofwel in de machinetaal van de Motorola computer (gebaseerd op de 6808). Zolang de HERO 1 bedoeld is als een leermiddel om de beginselen van de robotica en het programmeren te doorgronden, is het een aardig systeem. Wil men echter meer diepgaande kennis van industriële robots verwerven, dan is men gauw op de HERO 1 uitgeleerd.

Verder bezit Lehigh University een hydraulische IBM-RS1 portaalrobot, die door bedrijfskunde studenten voor assemblagedoeleinden getest wordt. Er wordt door deze studenten ook aandacht besteed aan produkontwerp ten behoeve van assemblage met robots, met name is men bezig het ontwerp van een regelprinter aan te passen.

Concluderend kan gesteld worden, dat het programma bij Lehigh beperkt blijft tot het aanleren van de basisprincipes van de robotica en het oefenen met het programmeren. Verdere diepgang is er op dit moment nog niet in zicht.

5 SI HANDLING SYSTEMS INC., EASTON (PA)5.1 Inleiding

Het bezoek aan SI maakte deel uit van het bezoek aan de Lehigh University in Bethlehem (PA). Het bedrijf is opgericht in 1958 en heeft nu een omzet van 225 miljoen dollar per jaar. SI levert en installeert computergestuurde transportsystemen ten behoeve van fabricage en distributie. Een dergelijk transportsysteem is een belangrijke component van FM systemen. SI heeft daarom dan ook een lijst met wenken en raadgevingen samengesteld, die men dient na te komen, wanneer men een geïntegreerd productiesysteem in een bedrijf wil invoeren. In dit gedeelte van het verslag wordt hierop allereerst ingegaan. Daarna zal het Cartrac-transportstelsel besproken worden.

5.2 Richtlijnen bij de invoering van een FMS

Over de invoering en planning van FMS en wat dat voor de bedrijfsleiding betekent, heeft SI HANDLING een aantal richtlijnen opgesteld. Deze kunnen als volgt samengevat worden:

- 1: Zorg voor voldoende inzicht in de huidige state-of-the-art in flexibele fabricage technieken en besluit dan of het bedrijf daarvan kan profiteren.
- 2: Stel een hoog gekwalificeerde man aan om het FMS programma te begeleiden.
- 3: Vorm een FMS-team, dat zorg draagt voor de uitvoering van de volgende taken:
 - Zichzelf opleiden met betrekking tot FMS technologie.
 - De juiste andere mensen van het bedrijf opleiden in FMS technologie.
 - Een FMS planning maken op lange termijn.
 - Coördineren van het construeren van FMS prototypes en het testen daarvan, evenals het evalueren van de resultaten.
 - Coördineren van het operationeel maken en opstarten van het FMS systeem.
- 4: Stel doeleinden vast voor verhoogde produktiviteit, machinebezetting en produktkwaliteitsverbetering ten gevolge van de implementatie van FM systemen. Een dergelijke lijst zal richtwaarden voor onder andere de volgende items moeten bevatten:
 - Produktiviteitsverhoging per werknemer.
 - Verhoging van machinebezetting.
 - Verhoging van de kwaliteit van uitgangsmateriaal,

- onderdelen en gereed produkt.
 - Vermindering van de aanlooptijd van orders.
 - Verminderen van goederen in bewerking.
 - Vermindering van benodigd vloeroppervlak.
 - Verhoging van flexibiliteit met betrekking tot produktaanpassing aan veranderende marktvraag.
 - Verminderde omsteltijd.
 - Verbetering van het produktontwerp, zodat het beter geschikt is voor automatische fabrikage.
- 5: Verhoog de financiële rechtvaardiging van FMS door:
- Er op toe te zien, dat factoren, zoals voorraadreductie, kwaliteitsverbetering en vermindering van benodigd personeel erin betrokken worden.
 - Er rekening mee te houden, dat de invoering van het eerste FM systeem meer geld kost ten gevolge van het leerproces en de ontwikkeling van het benodigde besturingssysteem. Bij invoering van meerdere FM systemen zullen deze kosten dalen.
- 6: Maak een lange termijn FMS plan, dat het volgende omvat:
- Layout en concept-beschrijving van potentiële FMS toepassingen.
 - Een FMS implementatie planning, waarin ook het op kleine schaal testen van FMS prototypen vervat is.
 - Schatting van de kosten en berekening van de terugverdientijd.
 - Het programma dat nodig is om voor FMS benodigde technische vaardigheden te verkrijgen, zoals:
 - Het ontwerpen van real time computersystemen.
 - Simulatie op de computer.
 - Het ontwerpen van een automatisch transportsysteem.
 - Robotica.
 - Groepentechnologie.
 - "Kan Ban" planning systeem (Kan Ban -Japans voor "net op tijd"- is een systeem, dat de hoeveelheid goederen in bewerking sterk reduceert, doordat uitgangsmateriaal, onderdelen en subsystemen slechts in kleine hoeveelheden, maar wel als ze nodig zijn, in het productieproces aangeboden worden).
- 7: Neem besluiten over waar de verantwoordelijkheden liggen tussen het bedrijf en de leveranciers bij de implementatie van het FM systeem. Kies partners voor:
- Automatische produktie en inspectie machines.
 - Robotica.
 - Automatische produktiesystemen.
 - Besturingen.

5.3 Het Cartrac transportsysteem

Aangezien (automatische) opslag en transport een zeer belangrijke faktor in een FMS is wordt hier aandacht besteed aan het CARTRAC en MINI-CARTRAC systeem, waarvan SI HANDLING de leverancier is.

Het onderscheid tussen beide systemen zit alleen in de maximale toegestane belasting van het systeem (Mini-Cartrac maximaal 90 kg belasting), het werkingsprincipe is verder hetzelfde.

5.3.1 Het werkingsprincipe (Mini-Cartrac)

De voortbeweging van de losse pallets berust op een

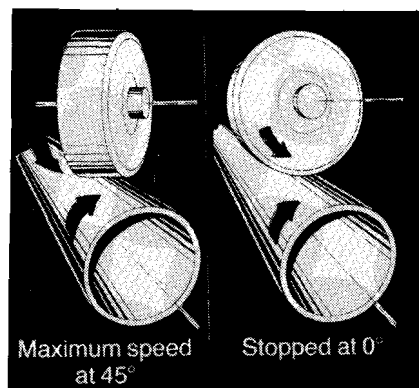


Fig. 6 Aandrijfmechanisme Cartrac.

eenvoudig principe (zie figuur 6).

De pallet bevindt zich op een spoor, waar een , middels een platte snaar aangedreven, buis deel van uitmaakt (zie figuur 7). Deze buis draait met een constant toerental. Onder iedere pallet zijn twee aandrijfwielen bevestigd. De hoek die de hartlijn van het wiel met de hartlijn van de buis maakt, kan door middel van een hefboom gevarieerd worden tussen 0 en 45 graden (zie figuur 8). Bij een hoek van 0 graden zal de pallet stil staan en zal het wiel met de aandrijfvas meedraaien. Wanneer de hoek toeneemt, zal een zijdelingse kracht de pallet in beweging brengen. De kracht is maximaal bij een hoek van 45 graden. Door het variëren van de hoek gelijkmatig te laten verlopen, wordt de pallet gelijkmatig versneld of vertraagd, waardoor schokkende bewegingen vermeden kunnen worden.

Aan de achterzijde van elke pallet is een oplooptraject aangebracht (zie figuur 8), zodat een achterop komende pallet automatisch tot stilstand gebracht zal worden, waardoor botsen

nauwelijks voorkomt.

Het systeem is modulair van opbouw en omvat de volgende componenten (zie figuur 9):

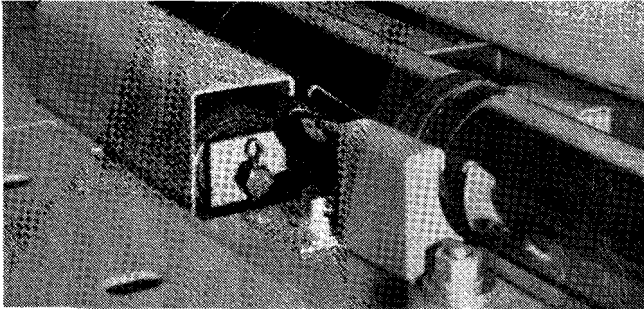


Fig. 7 Draaiende buis.

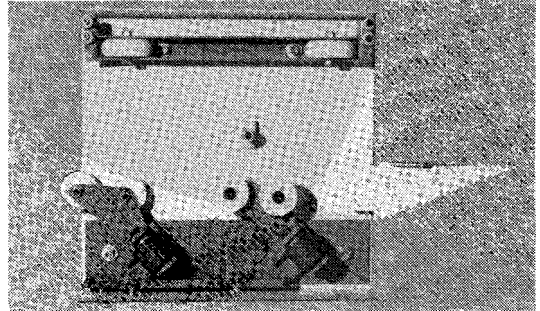


Fig. 8 Onderkant pallet.

- rechte sekties
- bochten
- draaitafels (90 of 180 graden)
- wissels
- verticale liften
- hellingen
- normale en speciale pallets

De pallets kunnen in een aantal verschillende uitvoeringsvormen gemaakt worden. Figuur 10 geeft enkele voorbeelden.

5.3.2 Het controlesysteem

Het tijdens het bedrijfsbezoek gedemonstreerde transportsysteem wordt bestuurd door middel van enkele PLC systemen van het merk Allan Bradley, terwijl het tracken (bijhouden van de posities van de pallets binnen het systeem) door middel van een 16-bits microcomputersysteem (8086) gerealiseerd wordt. De posities van de pallets binnen het systeem worden op een terminal grafisch weergegeven. Het processorsysteem krijgt zijn informatie van de PLC's en is dus niet rechtstreeks met het transportsysteem verbonden. De software werkt niet op interruptbasis. Omdat bijna alle transportmodules een eigen aandrijfmotor hebben, is het geheel al in een aantal zônes ingedeeld, die vanuit de PLC bestuurd worden. Zônes waarin zich geen pallets bevinden, of waar de pallet een tussenpositie bereikt heeft, worden uitgeschakeld om energie te besparen.

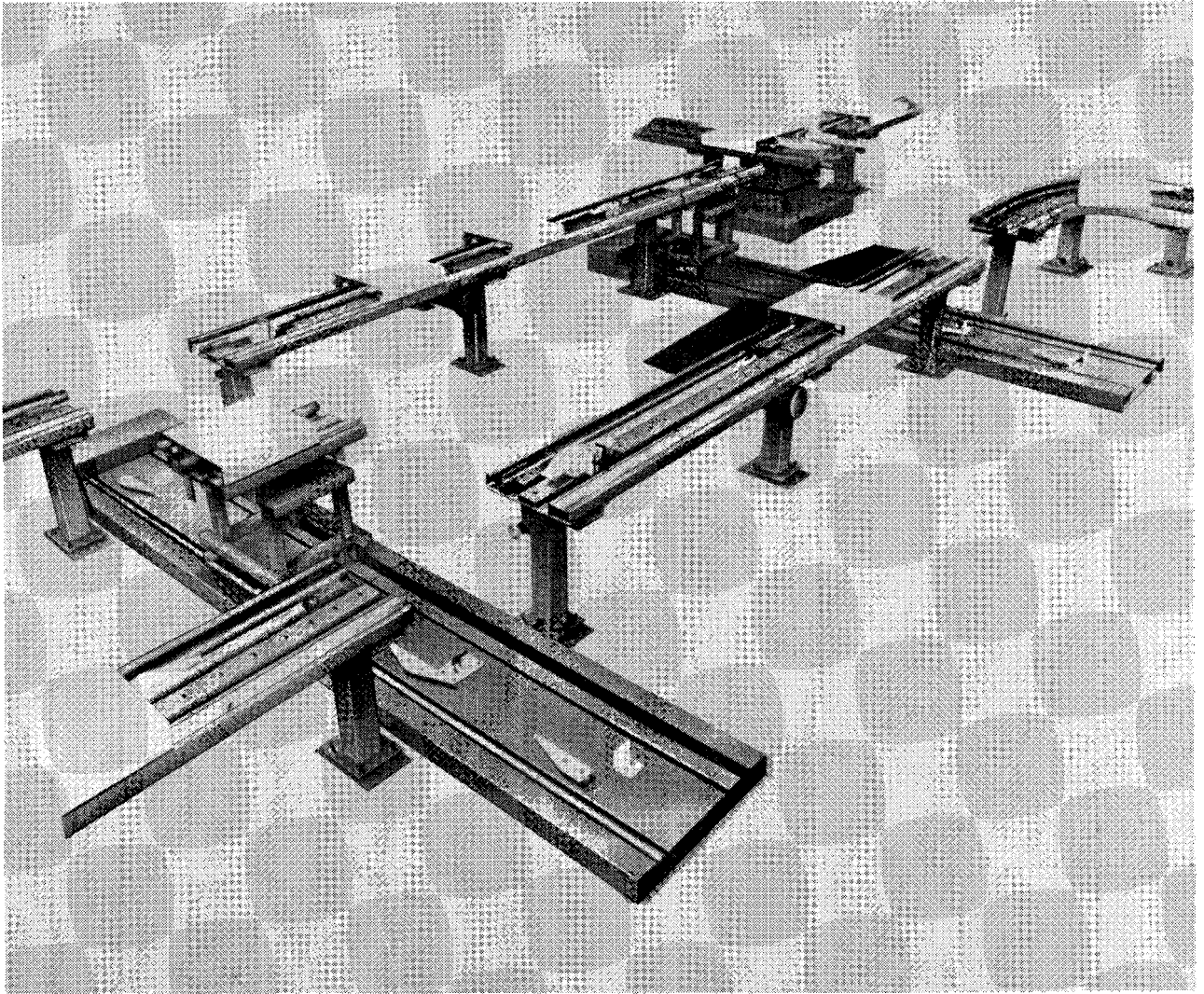
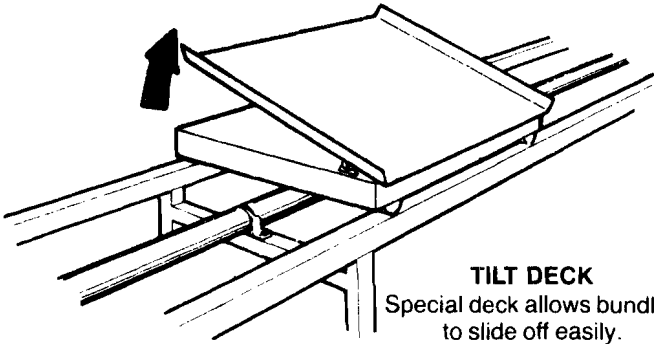


Fig. 9 Systeem modules.

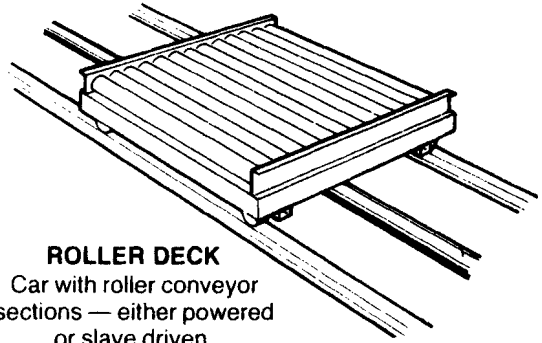
De afzonderlijke pallets hebben (nog) geen eigen codering, maar dat zou door toepassing van bijvoorbeeld de barcode goed mogelijk zijn.

Het zal duidelijk zijn, dat iedere toepassing zijn eigen wensen zal stellen aan het controlesysteem en de daarbij behorende software. Het ontwikkelen van de software bij het demonstratie-model heeft circa 3/4 jaar geduurd.

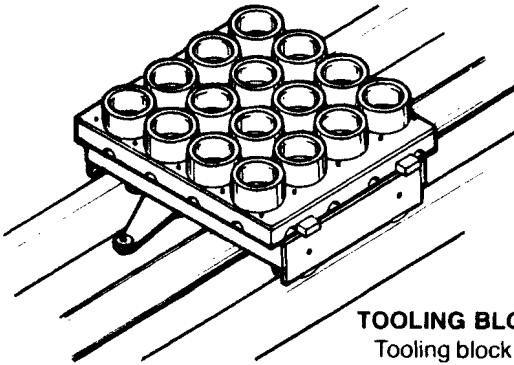
De meest eenvoudige besturing is het Block Control System, dat zorgt voor een betrouwbare verkeersstroom door het systeem. Meer geavanceerde systemen met een adresseermogelijkheid stellen het systeem in staat te bepalen waar een pallet naar toe moet, welke weg hij moet volgen, wat er op de plaats van bestemming moet gebeuren, etc. Dit is het Address Control System.



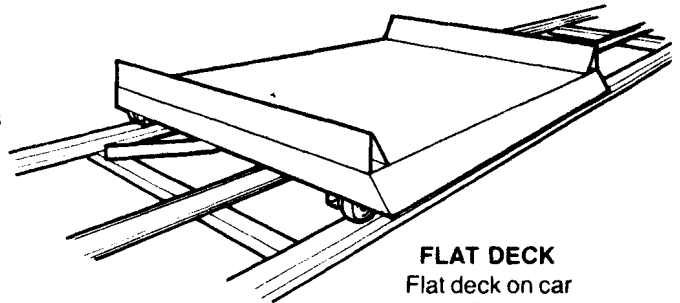
TILT DECK
Special deck allows bundles to slide off easily.



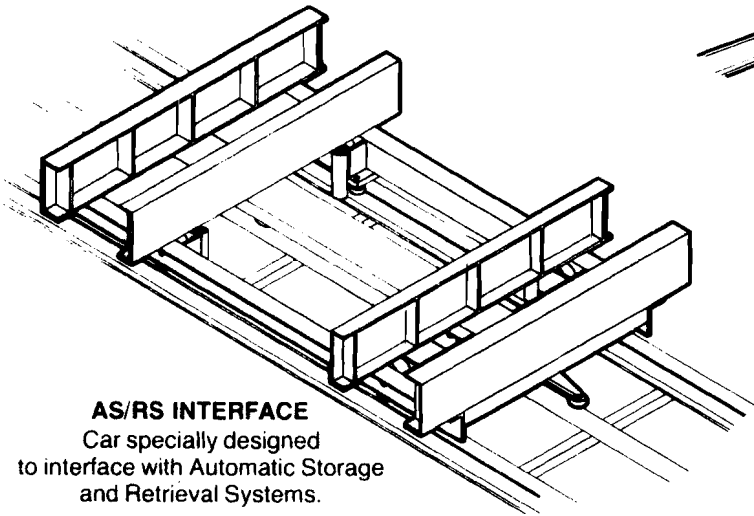
ROLLER DECK
Car with roller conveyor sections — either powered or slave driven.



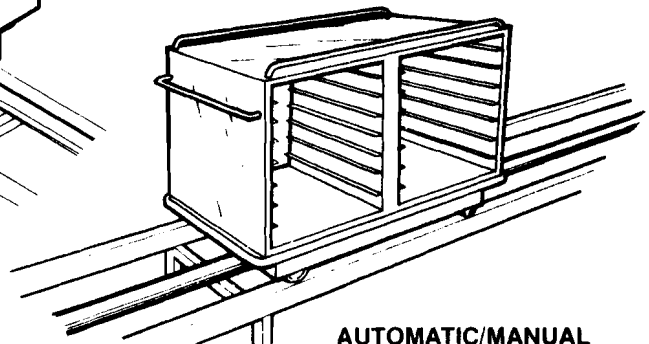
TOOLING BLOCK
Tooling block on CARTRAC holds work pieces through processing.



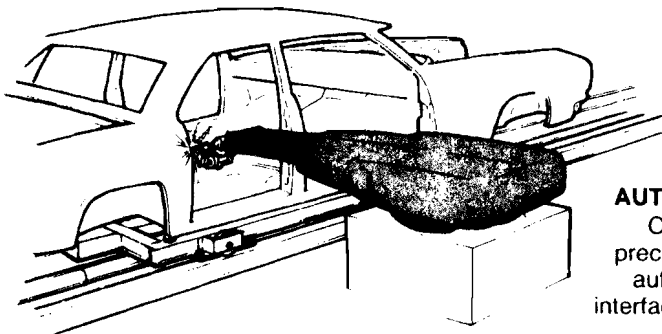
FLAT DECK
Flat deck on car accepts pallets or special fixtures, etc.



AS/RS INTERFACE
Car specially designed to interface with Automatic Storage and Retrieval Systems.



AUTOMATIC/MANUAL
CARTRAC drive wheel assembly is applied to a standard "push cart" to permit automatic transfer of the cart over long distances and manual handling in corridors, etc.



AUTOMOTIVE FIXTURE
Car is provided with precision fixtures to locate auto body precisely for interfacing with robot welders.

Fig. 10 Toepassingsmogelijkheden Cartrac.

5.3.3 Opmerkingen

Dit type transportsysteem is geschikt voor gebruik in een niet al te vuile omgeving, omdat anders het aandrijfsysteem tussen buis en pallet het af zou kunnen laten weten. Hierbij kunnen we denken aan assemblage, (punt)lassen, materiaaltransport, gebruik in automatische magazijnen, transport van auto's in wording, etc. Indien er hoge eisen aan positioneernauwkeurigheid gesteld worden en er sprake is van bewerkingskrachten, is een klemrichting nodig. Deze klemrichting maakt normaal geen deel uit van het transportsysteem. In figuur 10 zien we een gestileerde toepassing van het CARTRAC systeem.

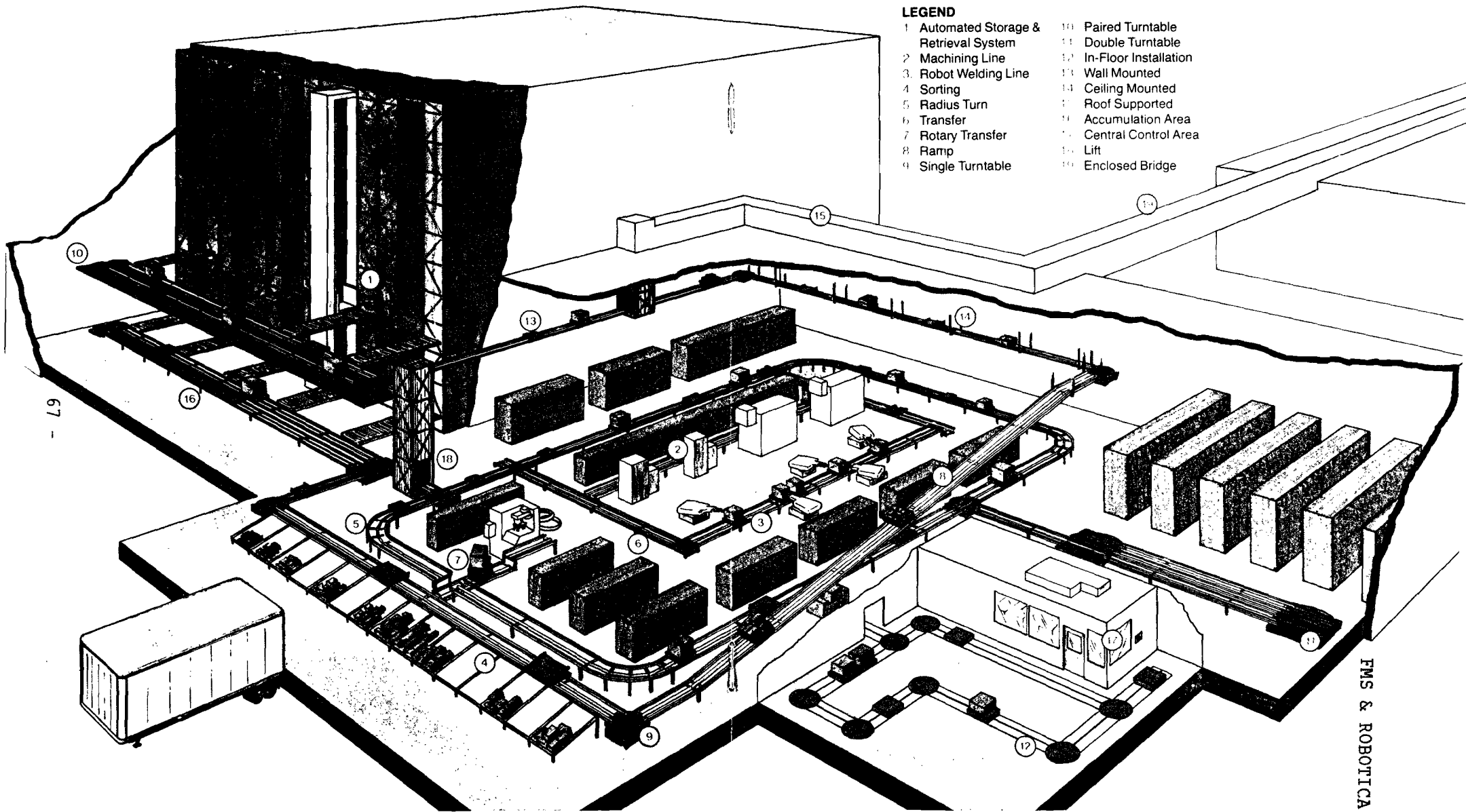


Fig. 11 Toepassing Cartrac system.

6. CINCINNATI MILACRON - CINCINNATI (OH)

6.1. Inleiding

Cincinnati Milacron bestaat uit een drietal divisies, welke ieder een bepaald produktiepakket verzorgen. Deze divisies zijn de volgende:

1. Machine Tool Division
2. Plastic Machinery
3. Industrial Speciality Products

Tijdens de excursie werd een bezoek gebracht aan de Machine Tool Division en aan de Industrial Speciality Products Division.

6.2. FLEXIBELE AUTOMATISERING

Op het gebied van flexibele automatisering levert dit bedrijf een aantal interessante produkten. Enkele hiervan zijn:

1. De CINTURN fabricage cel welke bedoeld is voor het fabriceren van kleine tot middelgrote series as- en schijfvormige produkten.
2. De T3 robots, voor toepassing in o.a. bovengenoemde fabriekcel.
3. Een FMS systeem dat modulair van opbouw is, zowel in hardware als in software, en dat de naam VARIABLE MISSION SYSTEM ofwel VMS gekregen heeft.

In dit gedeelte gaan we wat dieper in op dat VMS systeem, omdat dit tijdens het bezoek een van de onderwerpen was die aan de orde kwamen.

6.2.1 HET VARIABLE MISSION SYSTEM (VMS)

Het VMS systeem heeft de basiseigenschappen van een FMS systeem: Het bestaat uit een aantal NC gereedschapsmachines en/of werkstations, onderling verbonden met een transportsysteem, en bestuurd door een computer.

Het is bedoeld onderdelen in een willekeurige volgorde te fabriceren. (Random parts manufacturing)

De voornaamste eigenschappen van het systeem zijn:

1. Het op afstand versturen van NC programma's en datafiles naar de diverse besturingen van de gereedschapswerktuigen.
2. Het onderhouden en opbouwen van NC programmabibliotheken
3. Het op afstand verwerken van NC programma's via telekommunikatie.
4. Geautomatiseerd transport van onderdelen naar de diverse werkstations.
5. Simuleren van het totale systeem om zo tot hulpmiddelen te komen om de gewenste produktie te halen.
6. Bijhouden van bestanden van data omtrent pallets, gereedschappen en opspanmiddelen.

7. Besturen van de elementen van het systeem door toepassing van het werkorder-concept.
8. Tabelleren, voorbereiden en op rij zetten van werkorders zodat ze op het juiste moment en op de goede volgorde in het systeem komen.
9. Het bijhouden van het verloop van de werkorders in het systeem.
10. Het uitvoeren van diagnostische routines t.b.v. onderhoud en troubleshooting.
11. Het verzamelen en ordenen van data uit het systeem om hiermee management rapporten te genereren.

Omdat het systeem zowel in hardware als software modulair van opzet is, kan het in fasen opgestart worden. De computer die het geheel bestuurd is een DEC PDP-11.

In figuur 12 zien we een schematische voorstelling van het systeem.

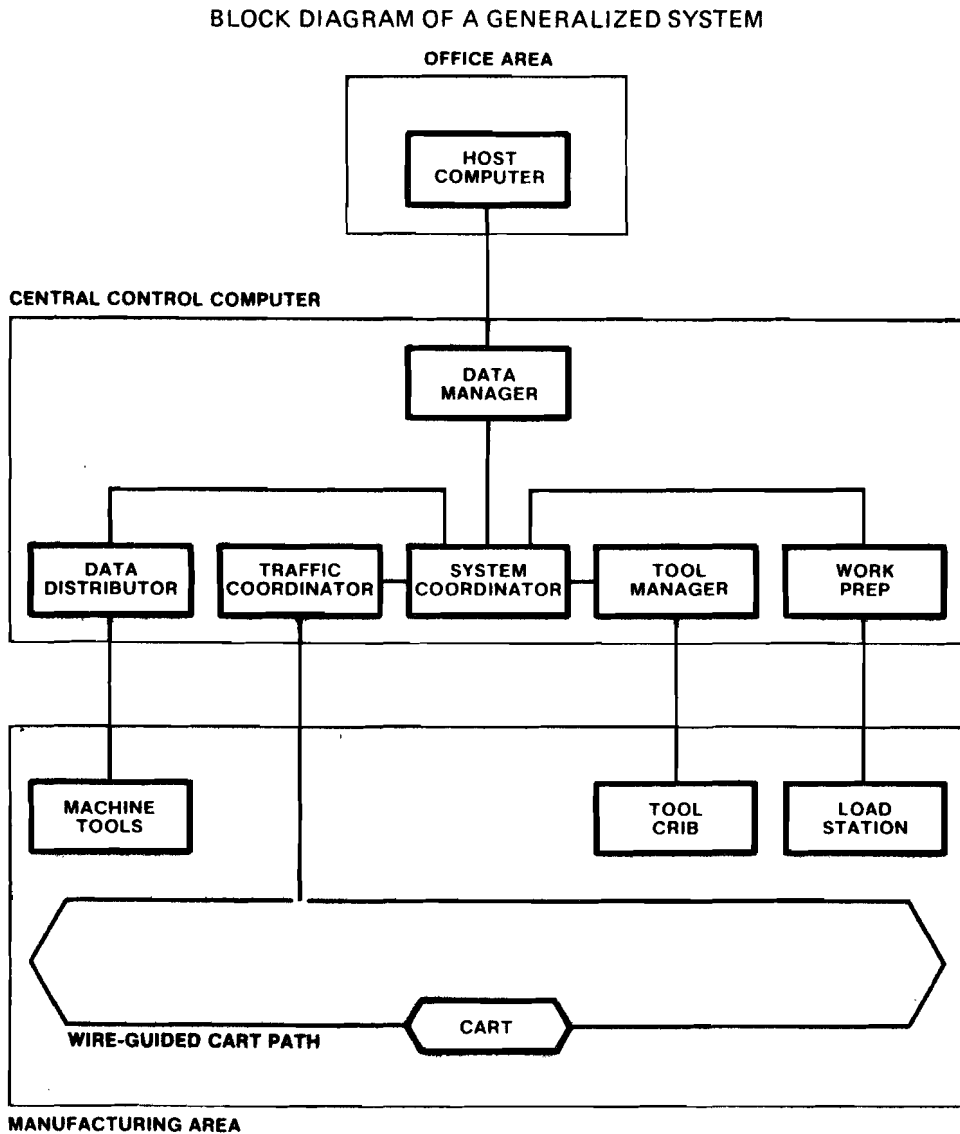


Fig. 12 Schema VMS.

De centrale computer bevat een aantal basisprogramma's die elk een specifieke functie hebben. Naarmate het systeem uitgebreid wordt kan men een aantal optionele functies toevoegen.

Alle functies maken gebruik van dezelfde databank en worden meestal vanaf een der systeemterminals opgestart.

De basisfuncties voeren de volgende taken uit:

1. Data Distributie

Deze functie verzorgt het dataverkeer van en naar de machinebesturingen. Er wordt hier vanuit gegaan dat de CNC besturingen van het merk Cincinnati zijn en via de Cincinnati Milacron Intelligent Interface Terminal met het computersysteem verbonden zijn, of in ieder geval dit protocol volgen.

NC programma's en boodschappen voor de operator(s) worden rechtstreeks vanuit de centrale besturingscomputer verzonden.

Deze unit bevat ook de data management functie die nodig is voor de overige softwaremodules.

2. Traffic Coördinator (Verkeersregeling)

Zodra een pallet het systeem binnenkomt wordt deze functie geactiveerd. Hij kiest de beste bestemming voor de betreffende pallet, en geeft vervolgens het besturingssysteem van de robotcars de opdracht de pallet op de bepaalde plaats af te leveren. Als de robotcar op die plaats aangekomen is wacht hij op een nieuwe opdracht.

Voordat het onderdeel verwerkt wordt, wordt het palletnummer gelezen (magnetische code) en geverifieerd. Hierna wordt het juiste NC programma uit de bibliotheek van de centrale computer overgestuurd naar de betreffende NC machine, zodat het onderdeel zijn bewerking kan ondergaan.

Na bewerking wordt het onderdeel weer vrijgegeven, waarna een robotcar het komt halen en naar de volgende bestemming brengt.

3. Work Order (Werkvoorbereiding)

Deze module wordt gebruikt om groepen van werkstukken te beschrijven in een werkorder en om routing informatie te genereren.

Een werkorder bevat de informatie zoals werkstukidentificatie, seriegrootte, geplande begin- en afleverdatum en de transportvolgorde door het systeem. De transportvolgorde geeft een indicatie omtrent de bewerkingen die op de serie producten uitgevoerd moet worden.

Deze functie heeft de controle over de werkuitgifte en bestuurd het simultaan verwerken van meerdere orders. Ook wordt de voortgang van de individuele orders bijgehouden en wordt statistische informatie verzameld.

4. Staging (Laden/lossen)

Het tijdstip waarop bepaalde werkstukken in en uit het systeem gaan bij het laad/los station wordt hier geregeld. Ook de interactie tussen de operator op het laad/los station en systeem wordt door deze module verzorgd. Voordat de robotcar met daarop het werkstuk in het systeem komt voert de operator via een

terminal de nodige gegevens in. Vervolgens wordt de traffic control functie aangeroepen om het transport van het onderdeel uit te voeren.

5. Cimgen (Het softwarematig genereren van het systeem)

Voordat het VMS systeem in bedrijf gesteld wordt moet het aan de wensen van de klant voldoen. Omdat de software modulair van opzet is, is deze later op de werkvloer eenvoudig aan te passen aan nieuwe omstandigheden. De klant kan dit zelf doen, zonder tussenkomst van mensen van Cincinnati Milacron.

Het samenstellen van de software van een VMS systeem gebeurt in twee fasen. De eerste fase gebeurt in de fabriek. Hier wordt de sourcecode van de door de klant gewenste functies geassembleerd.

(Met uitzondering van de Scheduling en Simulation functies)

Wanneer het systeem bij de gebruiker staat en het DEC RSX-11M+ operating system actief is kan de gebruiker de CIMGEN functie gebruiken. Hiermee kan hij de hardware van het systeem in de software definiëren, waardoor de programmatuur op de hoogte gesteld wordt van de aanwezigheid (van delen) van de hardwareconfiguratie. D.m.v. een vraag en antwoordspel brengt de gebruiker de nieuwe gegevens in de databank. Met deze functie is het mogelijk het totale systeem in fasen op te starten en/of uit te breiden.

Om de intelligentie van het totale systeem op te voeren zijn een aantal andere softwaremodulen verkrijgbaar. Dit zijn:

1. Simulation

Om na te gaan of de planning binnen het systeem goed is kan de loop van de werkorders door het systeem gesimuleerd worden. Door de 'trial and error' methode of bijv. door gebruik te maken van de Batch Planning optie kan men een optimale planning bereiken. Simulatie van een periode van 8 uur gebeurt in ca. 1 minuut

2. Batch Scheduling

Hiermee kan de gebruiker groepen produkten plannen in de juiste verhouding zodat leverdata aangehouden kunnen worden en er een redelijke bezettingsgraad van het systeem bereikt wordt.

De nieuw ontwikkelde planing zal uiteraard in de lopende planning ingepast moeten worden. Hierbij kan het simulatieprogramma benut worden om de juistheid van deze planning te evalueren.

3. Tool/operation Allocation

Het verdelen van gereedschappen en bewerkingen over het systeem is een taak die met dit programma aangepakt kan worden.

Uitgaande van de route door het systeem, NC programma's, beschikbare gereedschappen en beperkingen van de diverse machines v.w.b. de gereedschappen, geeft het aan hoe de gereedschappen en bewerkingen aan de diverse machines toegekend zouden kunnen worden. Het programma houdt hierbij rekening met gemeenschappelijke, overbodige en dubbele gereedschappen, evenals de in de machines reeds aanwezige gereedschappen.

4. Remote Job Entry (RJE)

Het postprocessing werk van een NC programma kan op een andere computer plaatsvinden. Het resultaat van dit werk kan naar de VMS computer overgestuurd worden. Het wordt dan opgeslagen in de NC bibliotheek voor later gebruik. Dit heeft als bijkomend voordeel dat er geen ponsbanden ingelezen hoeven te worden. De RJE functie verzorgt de communicatie tussen de VMS computer en de NC processing computer.

5. Tool Management

Deze, nog niet verkrijgbare optie, is bedoeld om de data van gereedschappen binnen het systeem bij te houden. Op een meetstation worden de offsetwaarden gemeten en samen met de overige relevante informatie opgeslagen in een bestand.

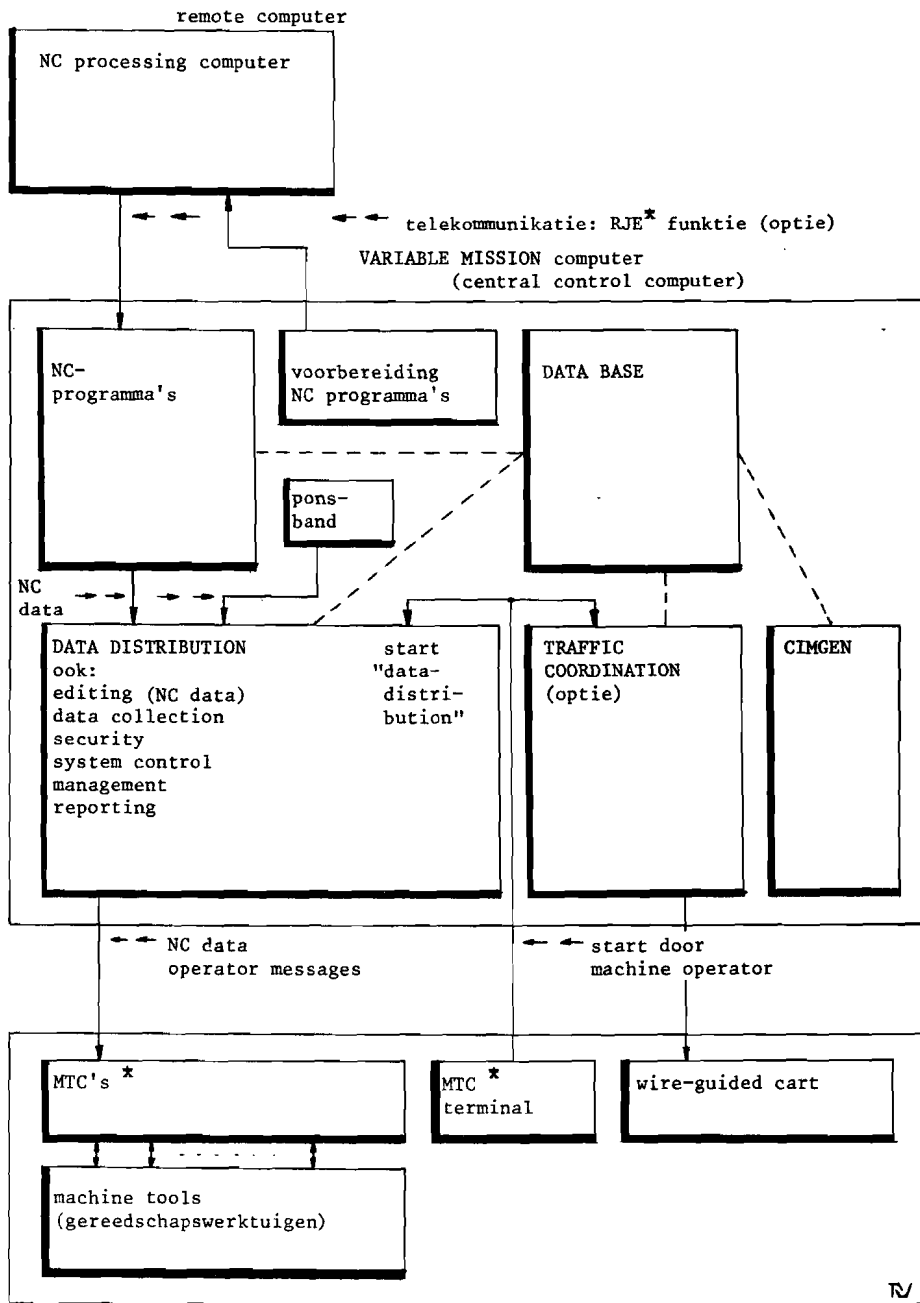
Bij een NC programma dat door de postprocessor verwerkt is zit een gereedschapslijst. Wanneer de operator de gereedschappen in het gereedschapsmagazijn plaatst heeft hij niet meer de bijbehorende gereedschapsinformatie op de terminal in te geven omdat deze reeds in een bestand aanwezig is. Hij legt hier alleen de link tussen het gereedschapsnummer in het programma en de plaats waar het zich bevindt in het gereedschapsmagazijn.

Een verdere uitbreiding van deze functie kan het aanbrengen van de barcode op de gereedschapshouder zijn, zodat fouten bij het invoeren van het gereedschapsnummer vermeden worden.

Omdat het VMS systeem in veel opzichten modulair van opbouw is, zal het makkelijk met de wensen van de gebruiker mee kunnen groeien.

Informatie over de toestand van de CNC machines wordt verkregen door het gebruiken van Surface Sensing Probes en het Torque Controlled Machining System welke nog nader aan de orde zullen komen in een ander deel van dit verslag.

Het overgrote deel van de software is geschreven in FORTRAN.



* MTC: machine tool controller
RJE: remote job entry

Fig. 13 Informatiestromen in VMS.

6.3. ROBOTICA

Tijdens de trip door de USA is gebleken dat de ontwikkelingen binnen de robot-industrie in volle gang zijn. Bij zeven van de twaalf bezochte bedrijven en instellingen werd onderzoek gedaan aan robots en robotsystemen.

De indruk is ontstaan dat de robotfabrikanten zoals Cincinnati Milacron en Bendix zich voornamelijk richten op de aanpak van praktische problemen, korte termijnwerk dus, terwijl de grotere instituten zoals NBS, Lehigh University en General Motors meer research op langere termijn bedrijven.

Helaas hebben we niet op alle bezochte plaatsen iets kunnen zien van het werk dat aan robots gedaan werd.

Belangrijke onderzoeksaspecten op dit moment zijn o.a.

- vision systemen
- betere en uitgebreidere besturingen
- krachtigere software en off-line programmering
- standaardisering van interfaces en protocollen
- ontwikkeling van programmeertalen

Ook op het robotica gebied is Cincinnati Milacron erg actief. Daar wordt hier iets verder op ingegaan.

Van alle servo-bestuurde robots is de toepassing als lasrobot de meest voorkomende in USA. Ze zijn meestal elektrisch of hydraulisch aangedreven. De hydraulische aandrijving wordt voor de zwaardere toepassingen gebruikt, terwijl de elektrische aandrijving in situaties gebruikt wordt waar een nauwkeuriger besturing en een hogere herhalingsnauwkeurigheid gevraagd worden.

Er zijn in principe drie categorieën servo-robots te onderscheiden, in oplopende 'intelligentie':

1. Point to point (PTP)
2. Continuous Path (CP)
3. Controlled Path (CTRP)

6.3.1 Point to point (PTP)

Bij PTP zijn alleen het begin- en eindpunt van de af te leggen weg gedefinieerd. Alles wat daartussen ligt is onbekend. De baan die de robot zal doorlopen is afhankelijk van de beweging der afzonderlijke assen. Leggen we de punten maar dicht genoeg bij elkaar dan is er een baan te programmeren, maar dat kost in de regel veel tijd en geheugenruimte. Toepassingen vinden we dan ook in gebieden waar de eindpunten van de baan belangrijk zijn, zoals bijv. het puntlassen.

Het programmeren van een dergelijk soort robot geschiedt op het moment met de 'teach and lead-through' methode, waarbij de operator de robot van punt naar punt beweegt m.b.v. een 'teach pendant'. (Draagbaar kastje met knoppen) De coördinaten van elk afzonderlijk punt worden in het geheugen opgeslagen en later, bij de uitvoering van het programma weer opgeroepen.

De snelheid waarmee de robot tijdens het programmeren beweegt is niet gerelateerd aan de uiteindelijke bewegingssnelheid bij de uitvoering van het programma.

Dit is wel het geval bij de servo-robots uit de beide overige categorieën,

6.3.2 Continuous Path (CP)

Bij de continuous path robot pakt de operator de robot-arm, of een lichtere 'programmeer-arm' en leidt deze door de uiteindelijk te beschrijven baan. Hij dient dit dan ook met de gewenste snelheid te doen. Tijdens dit proces neemt de besturing van de robot met vaste tussenpozen (in de orde van milliseconden) samples van de posities van alle coördinaten. De baan wordt dus bemonsterd, en in digitale vorm vastgelegd in het geheugen. Dit betekent dat de uit te voeren beweging binnen een bepaalde tijd voltooid moet zijn, afhankelijk van de geheugencapaciteit van de besturing.

Een nadeel van dit systeem is natuurlijk dat eventuele onregelmatigheden tijdens het invoeren van de baan, tijdens de playback fase ook uitgevoerd worden. Heeft de operator trillende handen dan zal de robot dit naderhand feilloos imiteren. Korrektes zijn alleen uit te voeren door de beweging weer opnieuw voor te doen.

6.3.3 Controlled path (CTRP)

Bij deze methode werkt de operator weer met een 'teach pendant', maar nu heeft hij echter veel meer mogelijkheden tot zijn beschikking. De programmering is hier weer point-to-point, maar nu is de baan tussen de gedefinieerde punten ook definieerbaar. In de meeste gevallen zal die baan zich nog beperken tot een rechte lijn, maar circulaire interpolatie en het benaderen volgens andere gedefinieerde curven hoort in de toekomst waarschijnlijk tot de standaard mogelijkheden.

Als de operator uiteindelijk alle punten heeft ingevoerd, zorgt de computer ervoor dat er rechte lijnen tussen deze punten getrokken worden. De bewegingen kunnen uitgevoerd worden met de robot of met het gereedschap als referentie: Men kan een Tool Center Point (TCP) definiëren. Dit TCP moet uiteindelijk de geprogrammeerde baan uitvoeren. (Belangrijk bij het MIG/TIG-lassen) In dit TCP wordt een assenstelsel gedefinieerd, en alle bewegingen die de robot uitvoert worden nu aan dit assenstelsel gerelateerd, en niet aan het assenstelsel van bijv. de robotvoet. Dit heeft tot gevolg dat bewegingsopdrachten zoals omhoog/omlaag en links/rechts voor de toeschouwer op de vaste wereld een onverwachte uitwerking kunnen hebben.

Het TCP zal de bewegingen van het gereedschap volgen. Het gereedschap kan ook t.o.v. het TCP verschoven worden. Van belang is steeds dat de oriëntatie van het gereedschap t.o.v. het werkstuk in orde is.

De ontwikkeling van vision systemen voor gebruik bij de robot zijn nog in een laboratorium stadium, zodat de meeste robots nog steeds in het donker hun weg moeten vinden. Dit stelt natuurlijk eisen aan de

positioneer- en herhalingsnauwkeurigheid van het systeem. Op dit gebied blijken elektrisch aangedreven robots superieur te zijn aan hydraulisch aangedreven robots.

Vandaar dat bij het MIG/TIG lassen voornamelijk elektrisch aangedreven robots gebruikt worden.

Bij Cincinnati Milacron heeft men een lasnaadvolgsysteem ontwikkeld waarmee kleine afwijkingen van de geprogrammeerde baan gecorrigeerd kunnen worden. Dit 'seam tracking' systeem gaat uit van afwijkingen in de lasstroom gekoppeld aan het 'weaven' van de lastoorts. Dit weaven houdt in dat op de geprogrammeerde baan een slingerende beweging gesuperponeerd wordt (blok golf of driehoek golf). Door nu met tussenpozen de lasstroom te meten en deze te relateren aan de positie van de lastoorts kunnen afwijkingen gekonstateerd en gecorrigeerd worden.

Een tweede manier van 'tracken' wordt toegepast wanneer de robot zijn taak uitvoert aan de lopende band. De robot staat hierbij stil, terwijl het object op de lopende band een resolver bedient die de positie van het werkstuk doorseint aan de computer. Omdat de lopende band meestal de absolute Y-as van de vaste robot voorstelt, wordt de resolver informatie als Y-as correctie in de kinematische vergelijkingen gestopt. Op deze wijze wordt elke 10 msec een correctie op de geprogrammeerde baan uitgevoerd. Het is van belang hierbij te bedenken dat er niet alleen op de snelheid van de beweging gecorrigeerd wordt, maar dat de kinematische vergelijkingen tevens de servobewegingen opwekken om het gereedschap goed georiënteerd te houden t.o.v het werkstuk.

Het off-line programmeren van robots, zoals dat nu mogelijk is bij NC machines is nog niet mogelijk, maar dat zal binnen afzienbare tijd te realiseren zijn. Dit stelt de gebruiker dan makkelijker in staat programma's aan te passen en te veranderen, zonder dat men de robot zelf bij de hand hoeft te hebben.

6.4. REGELSYSTEMEN BIJ CNC MACHINES

De Machine Tool Division van Cincinnati Milacron produceert voornamelijk gereedschapswerktuigen die een of meerdere verspanende functies te vervullen hebben. Deze gereedschapswerktuigen zijn vaak zeer complexe 'machining centres' die in staat zijn zelfstandig een groot deel van de wordingsgeschiedenis van een produkt te verwezenlijken.

Anderzijds worden in, vooral militaire, toepassingen ook zeer specialistische gereedschapswerktuigen ontwikkeld zoals bijv. een machine voor het boren van kanonlopen. De gewenste nauwkeurigheid van de boring in radiale richting wordt bereikt m.b.v. versnellingsopnemers op de omtrek van de boorkop. De signalen van deze opnemers worden na verwerking gebruikt om een gedeeld hydrostatisch lager, dat zich vlak achter de boorkop in de kanonsloop bevindt, te verstellen, zodat correcties in radiale richting uitgevoerd kunnen worden.

De machining centres kunnen worden beschouwd als onderdelen van een FMS systeem. Omdat het kapitaalintensieve werktuigen zijn, is het noodzakelijk dat de effectiviteit zo hoog mogelijk is.

Hiertoe heeft Cincinnati een aantal regelingen ontworpen die de werkstuknauwkeurigheid vergroten, produktietijd verkorten en gereedschaps- of werkstukgebreken vaststellen.

Deze systemen zijn:

1. Precision Surface Sensing
2. Torque Controlled Machining
3. Adaptive Milling

6.4.1 Precision Surface Sensing

Dit is een meet- en regelsysteem met de mogelijkheid voor geprogrammeerde intelligentie. Een probe, op microswitch basis, tast het werkstuk af en is zodoende in staat informatie te vergaren over:

- aanwezigheid van het werkstuk
- setpoint van bewerkingen
- juistheid van afmetingen
- positionering van oppervlakken
- nauwkeurigheid van bewerkingen

De probe wordt tussen de andere gereedschappen in het gereedschapsmagazijn van de machine geplaatst. Indien de verwerking van de meetresultaten afkeur van het werkstuk nodig maakt, zal het werkstuk afgevoerd worden en een volgend werkstuk behandeld worden.

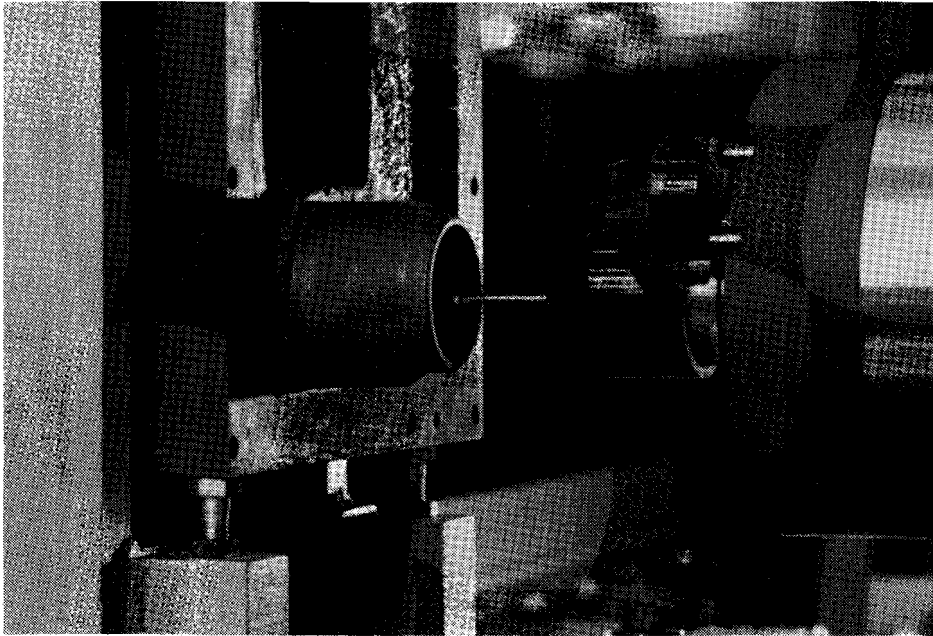


Fig. 14 Precision Surface Sensing Probe.

6.4.2 Torque Controlled Machining (TCM)

Het tweede door Cincinnati ontwikkelde systeem, Torque Controlled Machining, werkt als volgt:

Bij het verspaningsproces wordt getracht het koppel dat gevraagd wordt constant te houden door de aanzet te variëren. Het gemeten koppel wordt vergeleken met een richtwaarde die bij die bepaalde bewerking geldt. Het voordeel hiervan is dat de optredende krachten op het gereedschap de statische breuk- of vermoeiingsgrenzen niet overschrijden. Bij eventueel toch optredende breuk, of bij afwezigheid van het werkstuk, zal het optredende koppel ver beneden de verwachte waarde liggen, waardoor deze fout geconstateerd kan worden. De responsietijd van dit meetsysteem is ca. 10-15 msec, terwijl de responsietijd van het regelsysteem ca. 150 msec. bedraagt.

Een tweede voordeel betreft de benodigde bewerkingstijd. In geval dat bijv. een boorbewerking plaatsvindt met constante aanzet, zal tijdens de doorbraak van de boor het benodigde koppel met ca. 33% toenemen. De aanzet wordt daarom zo gekozen dat de boor tijdens doorbraak in ieder geval heel blijft. Dit houdt in dat bij het normale verspanen de toegestane aanzet veel te laag zal zijn. Het toelaatbare koppel zou 33% hoger mogen liggen!

Bij het koppelgestuurd boren wordt de aanzet verhoogd tot de ingestelde maximale waarde bereikt is.

Onderstaande figuur geeft een indruk van de invloed van het TCM systeem bij een boorbewerking.

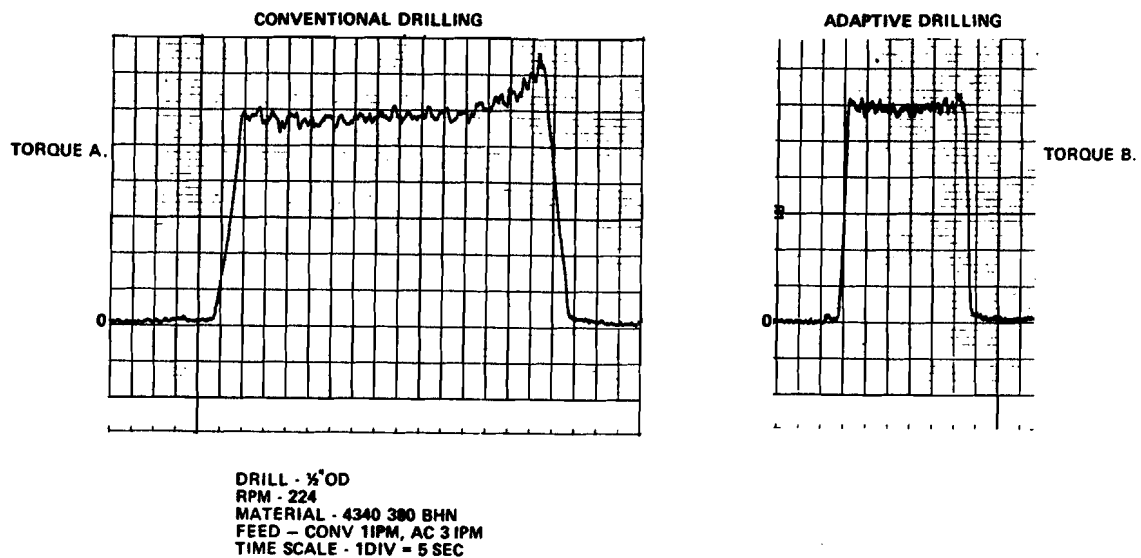


Fig. 15 De invloed van TCM op een boorbewerking.

Het koppel wordt bepaald door het elektrisch ingangsvermogen te meten en te delen door de hoekfrequentie van de hoofdspil. Het resultaat van deze manipulatie wordt met een rendementsfactor vermenigvuldigd (0.79), waardoor de overbrengingsverliezen gecompenseerd worden

6.4.3 Adaptive Milling

Het meest complexe interactieve systeem heet 'Adaptive Milling'. Hierbij meten sensoren het opgenomen elektrische vermogen en de elastische vervorming van de hoofdspil. Het op te nemen elektrische vermogen is gelimiteerd, zodat de aandrijfmotor beveiligd is tegen doorbranden. Ook in dit geval wordt weer geregeld met een aanzet-variatie.

De elastische vervorming van de hoofdspil wordt in principe gelimiteerd door drie onafhankelijke criteria:

- a. Maximale belasting van het snijgereedschap (vanuit statisch- of vanuit vermoeiingsoogpunt gezien)
- b. De toelaatbare geometrische onnauwkeurigheid van het werkstuk.
- c. Overbelasting van het gereedschapswerktuig in de ruimste zin des woords.

In alle voorkomende omstandigheden zal een van bovengenoemde criteria limietbepalend zijn.

Een van de problemen bij dit proces is het feit dat snijgereedschap gemaakt van carbiden niet bruikbaar zijn op machines uitgerust met 'Adaptive Milling Control'. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat het

regelsysteem te traag reageert bij een beginnende verspaning. De hoge naderingssnelheid van het snijgereedschap t.g.v. de afwezigheid van een koppel wordt niet snel genoeg verminderd als het verspanen begint. Dit heeft gereedschapsbreuk tot gevolg.

Het voornaamste toepassingsgebied van zelfcorrigerend frezen is bij gebruik van machining centres in de vliegtuigindustrie, waar veelal titaan en staal verwerkt wordt.

6.5. OVERIGE ONTWIKKELINGEN

Verdere ontwikkelingen bij de Machine Tool Division om te komen tot intelligente regelingen van verspaningsprocessen zijn:

- Er is een onderzoek naar 'acoustic sensing' gestart, waarmee men hoopt slijtage van beitels te kunnen vaststellen. Wanneer een beitel goed verspaant in een bepaald materiaal zal het een bepaald trillingspatroon teweeg brengen. Naarmate de beitelslijtage oploopt zal het patroon anders worden. Door het optredende trillingspatroon regelmatig te vergelijken met de 'ideale' toestand zou men een maat voor de beitelslijtage kunnen afleiden. ('Signature Analyses')
In de praktijk blijkt deze methode nog heel wat haken en ogen te hebben, zodat men dit project voorlopig in de ijskast gezet heeft.
- De overige manieren waarop men beitelslijtage vast probeert te stellen zijn:
 - * krachtmeting, afgeleid uit de elastische vervorming
 - * maatnauwkeurigheid van het werkstuk
 - * de 'klassieke' standtijdbeplanning
- Een ander aandachtsgebied is het ontwikkelen van 'Recovery Strategies'. Hiermee wordt de reactie van het systeem op een zekere foutconditie bedoeld. Een kapotte beitel kan de machine doen stoppen, maar er zou ook een automatische beitelwisseling kunnen volgen.

Inhoud

Hoofdstuk 1.	Voorstudieverslag MRP.	
	1.1. Wat is MRP?	blz. 82
	1.2. MRP Schematisch.	blz. 83
	1.3. Enkele relatieverende opmerkingen.	blz. 91
	1.4. MRP klassifikatie.	blz. 93
	1.5. Programmatuureisen.	blz. 94
	1.6. Introductie van MRP en de daaruit volgende opleidings- behoeften.	blz.101
Hoofdstuk 2.	Verslag excursie naar Bendix Machine Tool Corporation in Warren (MI).	
	2.1. Inleiding.	blz.104
	2.2. Magazijnsysteem van BMTC.	blz.104
	2.3. Computer Assisted Proposal and Estimating.	
	2.3.1. Inleiding.	blz.106
	2.3.2. CAPE beschrijving.	blz.107
Hoofdstuk 3.	Verslag excursie naar Skil in Chicago (ILL).	
	3.1. Algemeen.	blz.114
	3.2. Orderverwerking.	blz.114
	3.3. Planningsysteem.	blz.120
	3.4. MRP cq. COPICS.	blz.121
Hoofdstuk 4.	Verslag excursie naar SKF in Hanover (PA).	
	4.1. Algemeen.	blz.126
	4.2. MRP systeem.	blz.126
	4.3. Resultaten tot nu toe.	blz.129
	4.4. ABCD checklist.	blz.131
	4.5. Konklusies.	blz.132
	4.6. Advies SKF.	blz.132

Hoofdstuk 1.

Verslag van de voorstudie over Planning en Werkvoorbereiding Manufacturing Resources Planning

1.1. Wat is MRP?

MRP is een stelsel, dat de beheersing van de goederenstroom centraal stelt in het bedrijfsgebeuren. Door MRP wordt de mogelijkheid geschapen voor een betere samenwerking tussen de diverse bedrijfsactiviteiten, doordat ze zich kunnen richten op het vooraf overeengekomen ondernemingsdoel.

MRP is een afkorting van Manufacturing Resource Planning. Onder Manufacturing wordt hier verstaan alle activiteiten, die nodig zijn om produkten naar klanten te leveren, zoals de klant dat wenst. Onder Resources wordt alles verstaan, dat op een of andere manier een bron is om Manufacturing mogelijk te maken. Het woord Planning koppelt het gebruik van de Resources aan de doelstelling van Manufacturing en richt zich naar het betrouwbaar en snel voldoen van de klantenwensen.

Hoe worden door MRP de doelstellingen gerealiseerd?

In de eerste plaats door het opstellen en uitvoeren van het hoofdproduktieplan. In feite wordt in het hoofdproduktieplan vastgelegd, wat door de onderneming in de naaste toekomst gerealiseerd zal worden. Het plan zal dan ook realistisch (d.w.z. haalbaar) moeten zijn.

Al degenen die de Manufacturing Resources beheren, zijn betrokken bij de opstelling van het hoofdproduktieplan. Zij zullen daarvoor dan ook de verantwoordelijkheid moeten nemen en zich in de uitvoering daarnaar richten. Dat kan alleen wanneer het hoofdproduktieplan nauwkeurig en doorzichtig is opgesteld.

Ondernemingen zijn tamelijk vaak opgebouwd uit afdelingen, die elk hun eigen specifieke functie vervullen. Elke afdeling heeft zijn eigen specifieke taak en wordt daarop beoordeeld. Het hoofdproduktieplan legt een dwarsverbinding door al deze afdelingen heen. Doordat de uitvoering van het hoofdproduktieplan een structuur vereist langs de produkt-as van een bepaald produkt wordt de gezamenlijke taak: de klant voorzien van door hem gewenste produkten.

Daarbij worden de prestatie-maatstaven afgeleid uit de realisatie van het hoofdproduktieplan. Voor afzonderlijke afdelingen kan dit betekenen: extra inspanningen of afdelings-verliezen aksepteren, wanneer dat nodig is voor het totaalresultaat.

De planning-uitwerking van MRP vereist een snelle verwerking van gegevens. De huidige computertechnieken stellen ons daartoe in staat.

De voornaamste karakteristieken van MRP zijn:

- MRP is produkt-georiënteerd, d.w.z. gaat in de eerste plaats uit van de te leveren eindprodukten.
- MRP kijkt naar de toekomst, d.w.z. de toekomstige klantenbehoeften staan centraal en niet de uit extrapolaties verkregen behoeften aan onderdelen.
- MRP stelt tijdsgefaseerd behoeften vast, d.w.z. er wordt besteld en gefabriceerd voor de behoeften in een periode. De voorraden worden daarop afgesteld.
- MRP bepaalt en controleert prioriteiten en capaciteiten.
- MRP maakt simulaties mogelijk om alternatieven te kunnen kiezen.

M.R.P. I/II

De afkorting M.R.P. heeft de laatste tijd (1981) 2 betekenissen gekregen. Orspronkelijk staat de afkorting voor Material Requirements Planning (M.R.P. I). Hiermee wordt in principe de voorraadbeheersingstechniek voor de zgn. afhankelijke vraag bedoeld. Met de ervaringen bij het gebruik van deze techniek, inclusief de daarvoor benodigde software, kwam men tot de ontdekking dat, wil men een volledig productiebesturings- en voorraadbeheersingssysteem hebben, ook andere aspecten dan alleen de materiaalbeheersing moesten worden opgenomen. Dit heeft er toe geleid dat ook o.a. capaciteitsplanning en voortgangsbewaking in het geheel werden opgenomen. Dit gehele stelsel kreeg de naam van Manufacturing Resource Planning (M.R.P. II).

Onze aandacht gaat uit naar het gehele produktie besturingsproces, het M.R.P. II. systeem, zodat we zowel MRP-I als MRP-II bekijken.

Wanneer we in de loop van dit verslag het woord MRP gebruiken bedoelen we het gehele systeem dus MRP II, alleen wanneer er misverstanden kunnen optreden zullen we gebruik maken van de meer nauwkeurige benaming.

1.2. MRP schematisch.

De laatste jaren zijn er vooral twee ontwikkelingen geweest die de aandacht voor MRP rechtvaardigen:

- het langzamerhand ontstaan van een systeem voor beheersing, waarbinnen alle technieken passen,
- het langzamerhand ontstaan van werkelijk bruikbare computers, die inderdaad een netwerk van mensen kunnen ondersteunen.

In het nu volgende gedeelte wordt nader ingegaan op een systeem van beheersing, zoals het in het laatste boek van Plossl en Welch voorkomt. Dit is in tenminste drie opzichten een integraal systeem:

- het koppelt planning en besturing op verschillende termijnen,
- het koppelt de verschillende afdelingen in het bedrijf,
- het geeft de mogelijkheid voor een goed samenspel tussen mensen en computer.

MRP is een samenhangend stelsel van in de praktijk getoetste ideeën m.b.t. de beheersing van fabricage en verwervingsactiviteiten, in een assemblage-industrie, en ideeën m.b.t. de functies van de informatie-hulpmiddelen die deze beheersing moeten ondersteunen.

Daarom komt nu eerst de opzet van het hele systeem aan de orde en daarna wordt enige aandacht gegeven aan de afzonderlijke deelsystemen. Het systeem van MRP kan het beste beschreven worden aan de hand van een blokschema, zie fig 1, dat ontleend is aan Plossl en Welch. Elk element is een blokje met een verhaal erin.

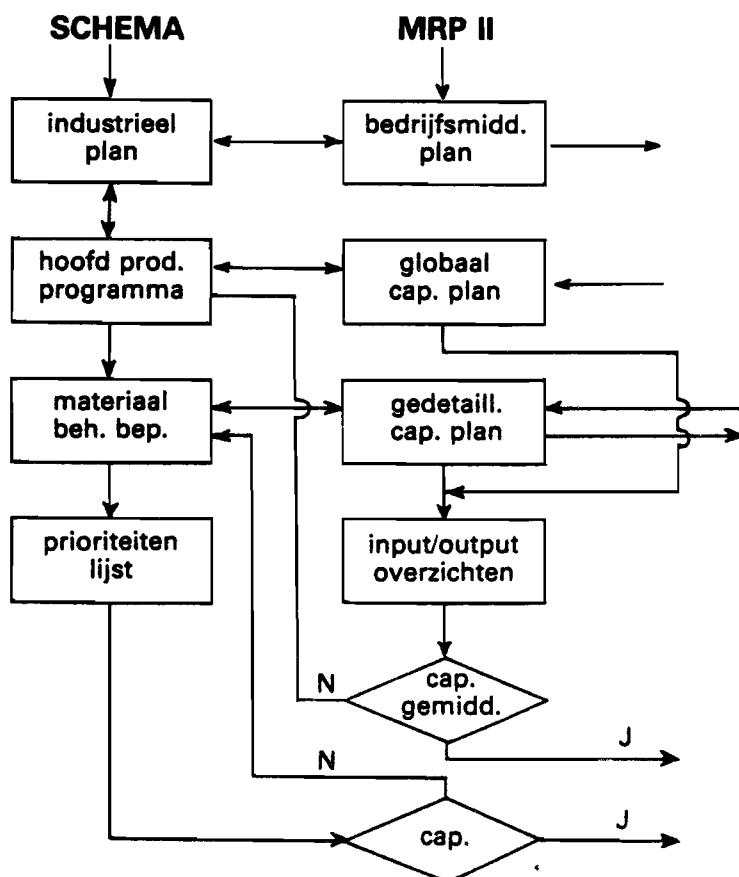


fig. 1 het schema voor het beheersingssysteem MRP naar Plossl en Welch.

Op langere termijn en op hoog aggregatie niveau van tijd, capaciteit en produkten, vinden in onderlingen samenhang twee activiteiten plaats:

- het opstellen van een industrieel plan, dat mededeelt welke soorten produkten zullen worden gemaakt en in welke aantallen,
- het opstellen van een bedrijfsmiddelenplan, om te weten of het industrieel plan haalbaar is met de aanwezige en de eventueel nog te creëren capaciteit.

Binnen dit kader worden meer frequent en meer gedetailleerd de volgende twee activiteiten uitgevoerd:

- het opstellen van een HPP, hoofdproductieprogramma of -plan, dit geeft alleen voor eindprodukten, de geplande aantallen, b.v. per week, aan,
- het opstellen van een globaal capaciteitsplan om te zorgen dat ook dit HPP een realistisch, haalbaar programma is en niet een vroom wensplan, gezien de aanwezige capaciteit.

Tenslotte komen we toe aan de voorbereiding van de uitvoering, d.i. van de fabricage.

- Het bepalen van de materiaalbehoefte. Dit verschaft de startdatum en leverdatum van de fabricage- resp. koopopdrachten voor alle benodigde componenten, onderdelen etc. en stelt dus de onderlinge prioriteiten vast.
- Het opzetten van een gedetailleerde capaciteitsplanning, teneinde de capaciteit wat bij te sturen of desnoods via terugkoppeling de voorafgaande plannen te wijzigen.

Voor het in gang zetten van de uitvoering zelf dienen tenslotte:

- prioriteitenlijsten te worden opgesteld, deze geven per capaciteitsgroep en b.v. per week aan, aan welke opdrachten moet worden gewerkt,
- input/output overzichten te worden gemaakt, teneinde de werkelijke input en output per capaciteitsgroep en per week, in termen van capaciteit te bewaken.

Merk op, dat links in figuur 1 de activiteiten staan, die betrekking hebben op afzonderlijke orders en opdrachten en dus op prioriteiten, rechts in het schema staan de activiteiten, die betrekking hebben op de capaciteiten.

Hiermee is het systeem als geheel beschouwd, namelijk welke deelsystemen er zijn en welke relaties daartussen bestaan.

Zoals ook het het boek van Plossl en Welch staat vermeld zijn er vijf voorwaarden waaraan voldaan moet zijn wil men met succes met MRP kunnen werken, en deze vijf voorwaarden zijn even belangrijk.

- Een realistisch HPP.
- Betrouwbare bestanden.
- Goed opgeleid personeel.
- Goed teamwork.
- Een goed systeem.

Het opstellen van een industrieel plan. ((master) production plan)

Dit plan wordt tegelijk met het bedrijfsmiddelenplan gemaakt. Het opstellen van een industrieel plan houdt vooral drie zaken in.

- Het op elkaar afstemmen van enerzijds de behoefte van de markt, zoals die blijkt uit de reeds ontvangen klantenorders en uit marktvoorspellingen, en anderzijds de beschikbare capaciteit van de eigen fabriek en de toeleveranciers (d.i. de reeds aanwezige en op de beschouwde termijn nog te plannen middelen).
- Het voorraadbeleid definiëren.

- Het afstemmen op de beschikbare financiële middelen.

Als ingangssignaal zal men dus vooral nodig hebben:

- klantenorders en voorspellingen,
- gegevens over beschikbare en geplande capaciteit en geld.

Het industrieel plan deelt mee welke produkten, in hoofdgroepen, gaan we maken, hoeveel, over welke periode gesommeerd en tegen welke voorwaarden. Het zicht kan b.v. één à twee jaar zijn.

Het opstellen van een bedrijfsmiddelenplan.(resource planning)

Dit plan bepaalt de benodigde capaciteit. Door dit tegelijk met het industrieel plan op te stellen, weten we dat het resulterende industrieel plan haalbaar is. Dit bedrijfsmiddelenplan zal tevens een opdracht tot actie ten gevolge (kunnen) hebben v.w.b. wijzigingen (b.v. uitbreidingen) van de capaciteit: kapitaal, mensen, machines, gebouwen, installaties alsmede wellicht het reeds bestellen van capaciteit bij toeleveranciers. Het plan kan erg concreet en gedetailleerd zijn: geld lenen, machines kopen, mensen aannemen.

Het opstellen van een hoofdproduktieprogramma.(master production schedule)

Dit plan wordt opgesteld binnen het kader van het industrieel plan. Het heeft uitsluitend betrekking op de eindprodukten of op dat, wat men voor deze planning als eindprodukten wenst te beschouwen. Indien een bedrijf als werkelijk uiteindelijk produkt aan de klant levert: auto's, tractors, stalen meubelen, etc. zal dat eindprodukt wellicht talloze variaties vertonen door verschillende uitvoeringsvormen. In het hoofdproduktieprogramma kan men dan beter de hoofdkomponenten opnemen, waaruit het uiteindelijke produkt in de eind-assemblage wordt opgebouwd. Het hoofdproduktieprogramma zal dus niet vermelden: in week 36 gaan we maken: een lijst met vele regels waarvan regel 1 luidt: 3 tractors, zwart zadel, 60 kW motor, etc., om zo totaal te komen op 100 tractors. Maar het zal luiden: in week 35 moeten gereed komen:

- 85 motoren 60 kW,
- 15 motoren 80 kW,
- 60 zwarte zadels (evt. 70),
- 40 rode zadels (evt. 50) etc.

Het hoofdproduktieprogramma geeft voor die eindprodukten, gefaseerd in de tijd aan, wat, hoeveel, wanneer. Ook hier wordt uiteraard gelet op de capaciteit en in samenhang hiermee wordt de globale capaciteitsplanning uitgevoerd. Een HPP moet regelmatig gemaakt worden, bijv. elke maand, De tijd is verdeeld in b.v. wekelijkse perioden en het zicht is bijv. enkele maanden, de langste kumulatieve doorlooptijd.

Het HPP is niet de uitvoer van een automatische computerberekening, maar een kompromis tussen managers. Een goed HPP is het resultaat van werkelijk teamwork van marketing, verkoop, fabricage, ontwerp en ontwikkeling en de financiële afdeling. Het HPP is de motor voor de verdere planning en besturing; men kan het gebruiken om de reele

levertijdsbeloften te doen aan de klanten. Nogmaals : het HPP moet realistisch zijn!

Het opstellen van een globaal capaciteitsplan.(rough cut cap. plan)

Het maken van dit plan dient er dus toe om te zorgen dat het HPP inderdaad een realistisch, een haalbaar plan is en niet een wensplan. De vraag is, of de gemiddelde capaciteit, intern en extern, van de kritische capaciteitsgroepen toerijkend is , d.w.z. gemiddeld over de tijd. Als ingangsgegevens zijn hier dus nodig:

- een HPP in concept vorm,
- de gegevens over de beschikbare capaciteit.

Het resultaat van deze planning is:

- een afgestemd HPP en capaciteitsplan,
- geplande produktieniveau's, in termen van capaciteit voor de kritieke capaciteitsgroepen.

Dit kan met ruwe middelen, soms gebeurt dit heel ruw met de omzet in geld.

Materiaalbehoeftebepaling.(material requirements planning, MRP I)

MRP I heeft ten onrechte veelal de meeste aandacht gehad van alle systemen en te zeer centraal gestaan. De materiaalbehoeftebepaling vertaalt het HPP in de opdrachten voor fabricage van componenten en onderdelen resp. de bestellingen aan derden, die nodig zijn voor het HPP. Ook moeten van reeds uitgegeven fabricage-opdrachten resp. bestellingen de prioriteiten worden bijgesteld. Voor de goede orde zet ik de gang van zaken bij de materiaalbehoeftebepaling in hoofdlijnen uiteen. De hoofdzaken zijn: explosie, bruto-behoefte omzetten in netto-behoefte, doorlooptijden, alles gefaseerd in de tijd beschreven. Wat we doen is in principe een boekhouding opzetten van de toekomst. Er wordt aangenomen dat alles met zekerheid zo zal gaan gebeuren als gepland wordt. Het volgende voorbeeld zal dit illustreren.

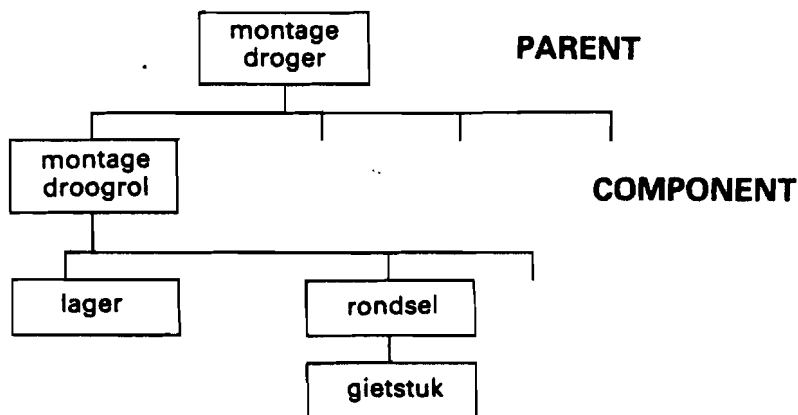


fig. 2 voorbeeld gedeelte van een explosie.

Figuur 2 toont een gedeelte van een stuklijst voor de montagen van een droger, de hoofdkomponent van een automatische filmprocessor. Deze stuklijst, in explosie vorm, wordt gebruikt om uit te rekenen hoeveel delen van een lager niveau nodig zijn als bekend is hoeveel stuks er nodig zijn van een montage op hoger niveau. In deze stuklijst kan men, voor elk niveau opnieuw, zien, welke componenten er rechtstreeks in een bepaalde "parent" gaan en hoeveel stuks per component.

De drogermontage komt voor als hoofdkomponent in het HPP (MPS). De berekening begint dan bij dat niveau en gaat exploderend naar beneden toe tot het laagste niveau (gietstuk) toe. Op elk niveau en voor elke periode wordt de netto behoefte bepaald: bekend is wat er nodig is, bekend is wat er op dit moment voorradig is, bekend is voor elke week welke reeds uitgegeven orders worden verwacht. Nu kan dus worden nagegaan wanneer de eerste nieuwe aanvullingsorder nodig is, zie fig. 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8
droger montage								
H.P.P.		20	30	25	35			
droogrol montage		lot/lot		dt=1				aanw 10
behoefte			20	30		25		35
ontv. vrijgeg.		10	10	0	-30			-35
beschikbaar	10	10	0	0	-30	-25		-35
gepland ontv.				30	25	25		35
gepland vrijgave							35	
rondsel		lot/lot		dt=2				aanw 0
behoefte			30	25				35
ontv. vrijgeg.		0	0	0	-25			-35
beschikbaar	0	0	0	0	-25	25		-35
gepland ontv.			25	35	35			35
gepland vrijgave								
gietstuk		q=100		dt=4				aanw 90
behoefte			35	25	-20	-10	-30	-10
beschikbaar	90	80	70	35	25	-20	-10	-30
gepland ontv.					100			
gepland vrijgave		100						

fig.3 behoeftestaat van de toekomst.

Het is nuttig om voor U zelf figuur 3 regel voor regel na te gaan. Boven de kolommen staan de weeknummers. "Lot for lot" betekent: geen samenvoeging van weekhoeveelheden tot grotere series. "DLT" betekent doorlooptijd. "Ontv. vrijgeg." betekent: geprogrammeerde ontvangst van een reeds vrijgegeven order. Voor het gietstuk is een extra vraag van 10 stuks per week verondersteld aan derden.

Let vooral op het moment, waarop een fabrikage-order wordt vrijgegeven: dat is de overgang van "planned release" naar "scheduled". Merk op dat hier een horizon gebruikt wordt van 8 weken. Op dit moment is het montageplan voor de droger montage voor week 8, dat is over 2 maanden, reeds is het HPP vastgelegd. En het principe van MRP is, om dat alleen in noodgevallen te wijzigen. Indien men dus het uiteindelijk produkt met een korte leverperiode wil leveren, zal men een voorraad van hoofdkomponenten zoals de drogermontage moeten opbouwen, om de levertijd aan klanten te kunnen realiseren zonder steeds het HPP te wijzigen. Op precies dezelfde wijze kunnen we voor elk "level" nagaan, wanneer fabrikage-orders moeten worden uitgegeven en hoe groot. Ziehier: een boekhouding van de toekomst.

Startdata en leverdata voor alle fabrikage-orders en inkoopopdrachten (of afroepen) worden zo berekend. Iedere keer, als men de materiaalbehoeftebepaling weer uitvoert, bijv. elke week, worden alle gegevens aangepast aan de meest recente informatie. Zo komen alle delen op de juiste tijd en in de geplande aantallen ter beschikking (programma-bestuurd). Men kan op elk niveau veiligheidsvoorraden inbouwen. De meeste MRP-experts raden aan, dat alleen voor het hoogste niveau te doen. Toch blijkt dat niet altijd mogelijk, zoals bijvoorbeeld bij SKF waar ze buffervoorraden inbouwden om de onderdelen van de lagers te kunnen "matchen", bij de eindmontage.

Het is duidelijk, dat een dergelijke behoeftebepaling al voor een betrekkelijk klein assortiment en niet erg ingewikkelde produkten toch al computervermogen vraagt om dat frequent, tijdig en foutloos te doen. Een paar punten, die van groot belang zijn, zijn niet aangeraakt en worden nu in het kort aangestipt.

- Wanneer op een bepaald niveau voor een bepaald item behoefte ontstaat uit verschillende "parents" kan dat natuurlijk voor elke week worden gesommeerd.
- De seriegrootte is een verhaal apart. In het voorgaande werd alleen geschreven over "lot for lot" en "vaste seriegrootte".
- Het is niet gezegd dat men alle delen in de MRP berekening meeneemt. Uitzonderingen (voorraadbestuurd) zijn mogelijk, bijv. bij goedkope universele produkten met zeer lange lever-tijden.
- De behoefte aan een bepaald item kan hier een zeer onregelmatig karakter hebben. Men kan dat tevoren berekenen. Dat had men nooit kunnen voorspellen door op dit niveau extrapolatiemethoden toe te passen. Dit is nu "dependant demand" d.w.z. de vraag die rechtstreeks afhankelijk is van wat er in andere voorraadpunten gebeurt. Eventueel HPP desnoods herzien, n.a.v. MBB.

Gedetailleerde capaciteitsplanning (capacity requirements planning)

Nu de materiaalbehoeftebepaling er ligt, let wel released en planned, kunnen we natuurlijk ook meer gedetailleerd, per week en per capaciteitsgroep de benodigde capaciteit bepalen. Aangeraden wordt, te bepalen wat gemiddeld over de tijd nodig is en dat te vergelijken met de beschikbare capaciteit. Het resultaat van deze gedetailleerde capaciteitsplanning is:

- informatie voor het bijsturen van de capaciteit en desnoods MBB of zelfs HPP,
- een gepland produktieniveau t.b.v. input/output bewaking.

De informatie voor het bijsturen van de capaciteit leidt dus in de eerste plaats tot actie om te proberen die capaciteit wel te krijgen door overwerken, uitbesteden, mensen verschuiven, alternatieve bewerkingen etc..

Pas daarna zal men eventueel de materiaalbehoefteplanning wijzigen en alleen in uitzonderingsgevallen het HPP. Er is nu informatie beschikbaar over alle capaciteitsgroepen en over reeds uitgegeven plus geplande orders.

Deze gedetailleerde capaciteitsplanning is eigenlijk een gemoderniseerde versie van het oude "shop loading" met "Gantt charts".

Het is zeker mogelijk om gedetailleerde capaciteitsplanning uit te voeren door de MBB, die gedetailleerd is, om te rekenen naar capaciteit. Dat is heel precies en nauwkeuring, maar het gaat niet over alle benodigde capaciteit. Men moet daarom goed opletten, dat ook de zgn. opgeplande capaciteitsbehoeften worden meegeteld, zoals uitval, reparaties, onderdelen voor service, fabrikage-proeven etc.. Dat deel van de capaciteitsbehoefte kan niet zo precies en nauwkeuring bepaald worden. Het is soms te verdedigen, om ook het andere deel iets globaler en daardoor met minder inspanning te bepalen. De zgn. "bills of labor" worden daarvoor wel aanbevolen alsmede het werken met "prototypen".

Opstellen prioriteitenlijst.(priority list, dispatching)

Deze lijsten kunnen in feite één van de outputs zijn van de Materiaal Behoeft Bepaling; ze geven per periode (week) en per capaciteitsgroep aan, welke opdrachten moeten worden afgeleverd en met welke relatieve prioriteit. Ze kunnen worden verstrekt aan elke capaciteitsgroep, althans aan elke belangrijke (kritieke) capaciteitsgroep, en eventueel aan toeleveranciers. Zij zorgen er voor, dat de aanwezige capaciteit op de juiste wijze aan opdrachten wordt toegewezen. Nu kan de uitvoering van de fabrikage volgen. Er wordt nu gewerkt met opdrachten, die zijn vrijgegeven (released) volgens MBB. De filosofie is, dat doorlooptijden per opdracht zeer flexibel zijn en dat men met een juiste prioriteitenlijst de ene order kan voortrekken ten koste van een andere, zolang de gemiddelde doorlooptijd maar gehandhaafd blijft, en dat is het geval als de capaciteit voldoende is. De prioriteitenlijsten zijn tevens de uitgangsgegevens voor de input-bewaking.

Het opstellen van input/output-overzichten.(input/output capacity control)

De input/output-bewaking moet er voor zorgen dat de doorlooptijden inderdaad binnen de geplande perken blijven. Om dat te bereiken moeten immers input en output binnen de geplande toleranties blijven. Deze input/output-bewaking vindt plaats in termen van capaciteit en per capaciteitsgroep.

Voorts moet natuurlijk ook t.b.v. de periodieke materiaalbehoefteplanning (MBP) het gereedkomen van fabrikage-opdrachten regelmatig worden gemeld. Uit de input/output bewaking kunnen signalen komen die tijdelijke en plaatselijke knelpunten signaleren. Ook nu weer: eerst proberen de gewenste output te realiseren. Lukt dat echt niet dan terugmelden naar MBP of zelfs HPP. Deze bewaking kan in tabelvorm gebeuren of grafisch. Een kumulatieve grafiek is een goed bruikbaar middel.

N.B. was al de gemiddelde capaciteit gecontroleerd toch kan het voorkomen, dat de specifieke capaciteit tekort schiet in een bepaalde week.

Alle deelsystemen zijn nu beschouwd met hun onderlinge samenhang. Nogmaals: het is beter een goed uitgebalanceerd totaal te hebben dan een van die deelsystemen eenzijdig te ontwikkelen.

Resultaten van dit beheersingssysteem:

- Het voornaamste effect is de beheersbaarheid, immers werkelijke beheersing vereist:
 - weten in welke situatie men thans verkeert,
 - weten waar men heen wil,
 - beschikken over inzicht en middelen om daar te komen.
- In het bijzonder wordt met dit systeem een werkelijke beheersing van de doorlooptijden en de levertijden gerealiseerd. Voor een goede besturing moeten werkelijke en geplande gemiddelde wachttijden het zelfde zijn. Dat is een kwestie van capaciteiten en van input/output. De werkelijke en geplande doorlooptijden per afzonderlijke order hoeven echter niet het zelfde te zijn. Dat is een kwestie van beheersen van de prioriteiten. De doorlooptijden worden in feite als geregelde grootheid beschouwd. Veel van de opzweep-effecten kunnen zo worden voorkomen.

Samenvattend kan worden gezegd dat de doelstellingen van de ondernemingen beter bereikt kunnen worden, t.w.:

- goede klantenservice,
 - lage investeringen,
 - rendabele operaties,
- en dat in de gewenste combinatie.

1.3. Enkele relativiserende opmerkingen.

De kritiek en de waarschuwingen richten zich vooral op het belang en de positie die binnen MRP II veelal gegeven werd en wordt aan MRP I (MRP in de oude zin). Het recente boek van Plossl en Welch neemt een deel van deze kritiek weg. Er zijn alternatieve methoden voor materiaalbehoeftebepaling. In plaats van MRP I (programmabestuurd) kan men ook bestelniveau-methoden (voorraadbestuurd) gebruiken. "In plaats van" betekent hier: er zijn situaties waarin het beter is een deel van de onderdelen met MRP te besturen en een ander deel (goedkoop en/of universeel en/of lange levertijd) met voorraadbestuurde methoden, soms als SIC (Statistic Inventory Control) aangeduid. Er zijn ook situaties, waarin men geheel zonder MRP I zou kunnen doen: het ene extreem: projekt planning voor eenmalige projekten, zoals het geval is bij Bendix Machine Tool Corporation; het andere extreem: massafabrikage of zeer grote series, waar men eigenlijk continue stromen bestuurd, zowel van eindprodukten als van onderdelen.

In de Amerikaanse literatuur op dit gebied wordt vaak erg simplistisch geschreven over voorraadbestuurde methoden. Dat doet onvoldoende recht aan het hele base-stock systeem, aan technieken als de runoutlist, de Kanban-methode van Toyota, het vast- en aanvulprincipe. Ook heeft men weinig oog voor mengvormen. Men kan b.v. met MRP I het verbruiksniveau

van een komponent bepalen en daarop het bestelniveau baseren voor een voorraadbestuurd bestelsysteem.

MRP I is vooral daar op zijn plaats waar er veel specifieke of vrijwel specifieke onderdelen zijn, waar de montage van samengestelde eindprodukten in weinig frequent voorkomende en niet te lange series wordt verricht. Voorts ook daar waar "eindprodukten" vaak gewijzigd worden of geen erg lang leven hebben. Wat men beter uit MRP I weg kan laten, tenzij aangetoond, dat het voordeel groter is dan de nadelen, zijn een aantal schijnbare verfijningen en (theoretische) optimalisaties, die erg geavanceerd en sophisticated lijken. Een waarschuwing is op zijn plaats tegen z.g. dynamische aanpassing van seriegroottes, veiligheidsvoorraden en doorlooptijden. Indien deze mogelijkheden als automatismen zijn ingebouwd in computer-programmatuur waarbij dan bovendien frequent "rescheduling" plaatsvindt, kan dit de voornaamste oorzaak worden van de nervositeit waaraan veel MRP toepassingen schijnen te leiden.

Wat men soms met vrucht aan MRP I kan toevoegen zijn een aantal technieken die de menselijke beslissers ondersteunen.

- De mogelijkheid om z.g. "pegged requirements" te gebruiken, zodat de planner desgewenst kan zien, waartoe een bepaald onderdeel thans gefabriceerd moet worden, voor welke serie eindprodukt en wanneer.
- Het gebruik van z.g. "firm planned orders", dat zijn orders die weliswaar "planned" zijn en nog niet "released" maar die desalnietemin niet door een computerprogramma automatisch, buiten de planner om, heen en weer geschoven kunnen worden.
- Er zijn gevallen waarin het z.g. tevoren lijfelijk uitzetten van onderdelen en komponenten voor montage vervangen kan worden door tevoren schriftelijk reserveren. "Allocation" vlak voordat de fabriek order wordt vrijgegeven.
- Wat ook aan MRP zou moeten worden toegevoegd is de mogelijkheid om, ook per codenummer, gedempt te reageren en niet de aangetaste veiligheidsvoorraad voor 100% te herstellen.

Hoe moet men met MRP werken? In de school van Plossl Welch Wight en Mather vindt men een aantal geboden.

- Gij zult niet steeds weer het HPP wijzigen, tenzij alle andere oplossingen onmogelijk bleken.
- Gij zult niet de werkelijke beslissingen aan een computer overlaten.
- Gij zult geen wensdromen verheffen tot HPP.
- Gij zult Uw doorlooptijden zo kort mogelijk houden of " only short lead times can be reliable".

Ten slotte is het goed te bedenken dat weliswaar in een bestaand MRP systeem terugkoppeling bestaat, maar dat de stabiliteit van het gedrag van het systeem bij terugkoppeling onvoldoende bekend is en nadere studie nodig heeft. Men heeft in de praktijk daardoor nog wel moeilijkheden met sterk wisselende belasting van de capaciteiten en opzwiepeffekten in de voorraden, met name als de horizon zo groot is dat HPP ten dele gebaseerd wordt op voorspelling.

1.4. MRP klassifikatie.

Afgezien van het feit dat de MRP aanpak verschilt van bedrijf tot bedrijf kunnen MRP systemen worden ingedeeld naar de doelgebieden die zijn geïntegreerd in het systeem.

<u>Klasse</u>	<u>Karakteristieken.</u>
MRP II	Een CLASS "A" systeem dat gekoppeld wordt met het industrieel plan. Produktieplan, marketingplan, financieel-plan en ontwerp-, ontwikkelplan worden gecoördineerd en geïntegreerd. Financiële cijfers worden afgeleid uit het produktieplan. Het produktieplan stelt de grenzen voor het marketingplan.
CLASS "A" MRP	Het MRP systeem funktioneert in een gesloten kring. Het hoofdproduktieplan en prestaties worden gestuurd gedurende een feedback/evaluatie/kontrolere proces. De verbinding met het industrieel plan is volledig gesloten. Management speelt een rol in het HPP proces. De produktie en de leveranciers worden gepland via het formele systeem. De data-integriteit is hoog.
CLASS "B" MRP	Het management is maar tot op bepaalde hoogte betrokken in het HPP proces. Produktieplanning geschiedt met de gegevens uit het formele systeem, maar wordt aangevuld met: "hot lists", lijst met tekorten en spoed lijsten. Kapaciteitsplanning en -kontrolere wordt geprobeerd, maar is nog niet effectief, de kring is nog niet gesloten. Aan de juistheid van de gegevens kan nog veel verbeterd worden.
CLASS "C" MRP	In de essenties wordt het formele MRP systeem alleen gebruikt om orders te maken. De produktie en de leveranciers worden gepland en gekontrolereerd met het informele systeem, spoedorders en een extra inspanning aan het einde van de periode zijn noodzakelijk om volgens plan te kunnen blijven werken. De minder effectieve gebruikers stellen het HPP op en passen dit maar zelden en altijd te laat aan. MRP wordt alleen gebruikt om voorraden te bestellen. Meestal zijn er problemen met de juistheid van de gegevens.
CLASS "D" MRP	MRP werkt alleen in de computerruimte van het bedrijf. Het systeem wordt niet gebruikt op kantoor of in de fabriek en wordt beschouwd als een computer aangelegenheid. De opgeslagen gegevens zijn over het algemeen niet juist en vaak moeilijk toegankelijk. De planning bestaat uit het uitgeven van spoedorders. Management in crisis, met als gevolg nog meer crisis, is de overheersende stijl.
CLASS "Z" MRP	Er is geen MRP systeem aanwezig met als gevolg dat het informele systeem (met een bestelmoment of een ander kenmerk) als basis dient voor het crisis management.

Indien gedurende de voorbereidingen voor een MRP project blijkt dat de hoogste fase van MRP, MRP II, waarop men zich heeft gericht niet haalbaar is binnen twee jaar verdient het de aanbeveling om zich op een MRP systeem te richten van een lagere klasse, b.v. CLASS "A". Wanneer zo'n systeem van een lagere klasse geïmplementeerd is kan men altijd nog overwegen of de invoering van een MRP II systeem wenselijk, haalbaar is. Op deze manier wordt het uiteindelijke doel, MRP II, bereikt via een spiraal beweging zoals in figuur 5 is aangegeven.

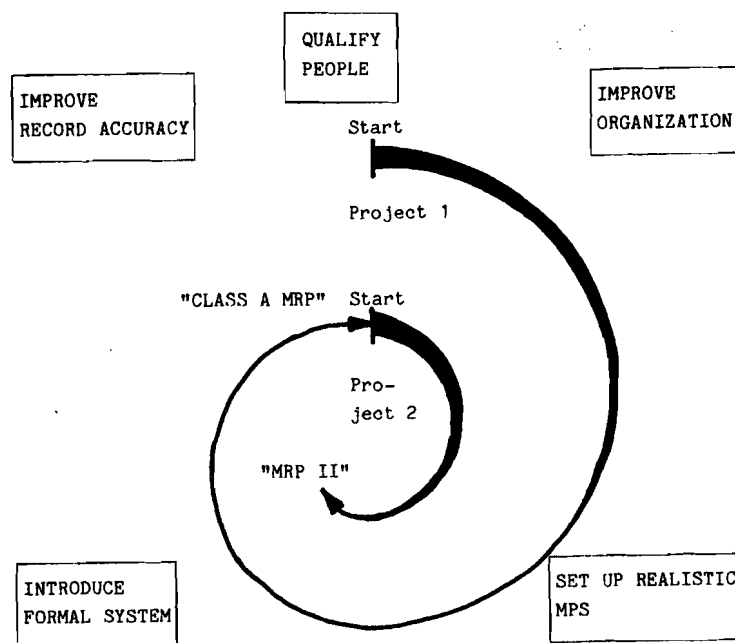


fig 5. spiraalbeweging.

In deze figuur zijn er vijf activiteiten die de loop van het project omgeven. Dit zijn de minimum voorwaarden, zie 1.2., die nodig zijn voor het slagen van het MRP project.

1.5. Programmatuureisen.

Factoren rond MRP.

Wil men volgens de MRP concepten te werk kunnen gaan dan zal aan een aantal voorwaarden moeten zijn voldaan. Men zal moeten beschikken over een realistisch HPP, over stuklijsten en over een voorraadregistratiesysteem. Een en ander moet onderbouwd zijn met betrouwbare gegevens en de planning en uitvoering moeten worden verricht door geschoold personeel. Het (top)management zal bij het geheel betrokken moeten zijn. De verantwoordelijkheden zijn duidelijk vastgelegd en plannen moeten kunnen worden uitgevoerd in teamverband.

Tenslotte moet men kunnen beschikken over een compleet informatiesysteem, dat voorziet in procedures en transakties, en waarmee, eventueel door gebruikmaking van software met bijbehorende data-base en data-elementen, een optimale berichtgeving tot stand gebracht kan worden. Het laatste vooral om te benadrukken dat MRP een werkwijze is, "MRP is not a destination but a journey", waarbij men als hulpmiddel gebruik zal maken van zo'n informatiesysteem dan wel van software.

De MRP-softwarepakketten zijn geen panacae voor ieders logistieke problemen. Bij een juiste toepassing kan men er een nuttig gebruik van maken in de diverse functies ter ondersteuning van de besluitvorming. Men hoede zich echter voor automatisme; het gehele MRP-gebeuren is gebouwd op mensen en niet op computers. In dit verband is wellicht tevens reeds een waarschuwing op zijn plaats tegen een overhaaste keuze van een softwarepakket.

Het huidige aanbod op dit gebied (ongeveer 90 mogelijkheden) met vaak zeer rooskleurig geschetste vooruitzichten is overweldigend.

Beoordelingscriteria voor MRP-softwarepakketten.

Bij het opstellen van criteria ter beoordeling van MRP-softwarepakketten kan in principe worden uitgegaan de drie volgende hoofdkategorien, t.w.:

- functionele criteria,
- technische criteria,
- leveranciers criteria.

Aan de eerste categorie zal verder in dit gedeelte aandacht geschonken worden.

Bij technische criteria denken we aan zaken zoals hard- en software, welke eisen worden er aan de machine gesteld, zoeken we naar software dat op een bepaald type machine gedraaid kan worden etc., online/real-time faciliteiten, operatie, zijn de runkosten veroorzaakt door een overdaad aan features niet te hoog geworden, veiligheid, onderhoud en uitbreidbaarheid.

Als derde categorie kunnen we onderscheiden de zogenaamde leverancierscriteria. Hierbij gaat het onder andere om veroorzaakte totale kosten, eigendomsrecht, zal men gaan huren of kopen, beschikbare dokumentatie, het hiermee gemoeide bedrag kan oplopen tot 40% van de initiele kosten van de leverancier, gebruikerstraining, ondersteuning, bedrijfskarakteristiek en continuïteit, op een niet meer bestaand softwarebureau kunnen geen aanspraken meer worden gemaakt .

Funktionele indeling van MRP-software pakketten.

Als voorbeeld van een indeling waarbij een groot aantal deelfuncties goed tot hun recht komen kan het volgende overzicht getoond worden, zie fig.6. Het gaat in dit voorbeeld om de realisatie van systemen opgebouwd uit componenten of modulen die via een voorraadplaats gaan. Boven de goederenstroom ziet men afgebeeld de verschillende functies die voor een groot gedeelte samenvallen met de functies zoals die in de meeste softwarepakketten onderscheiden kunnen worden.

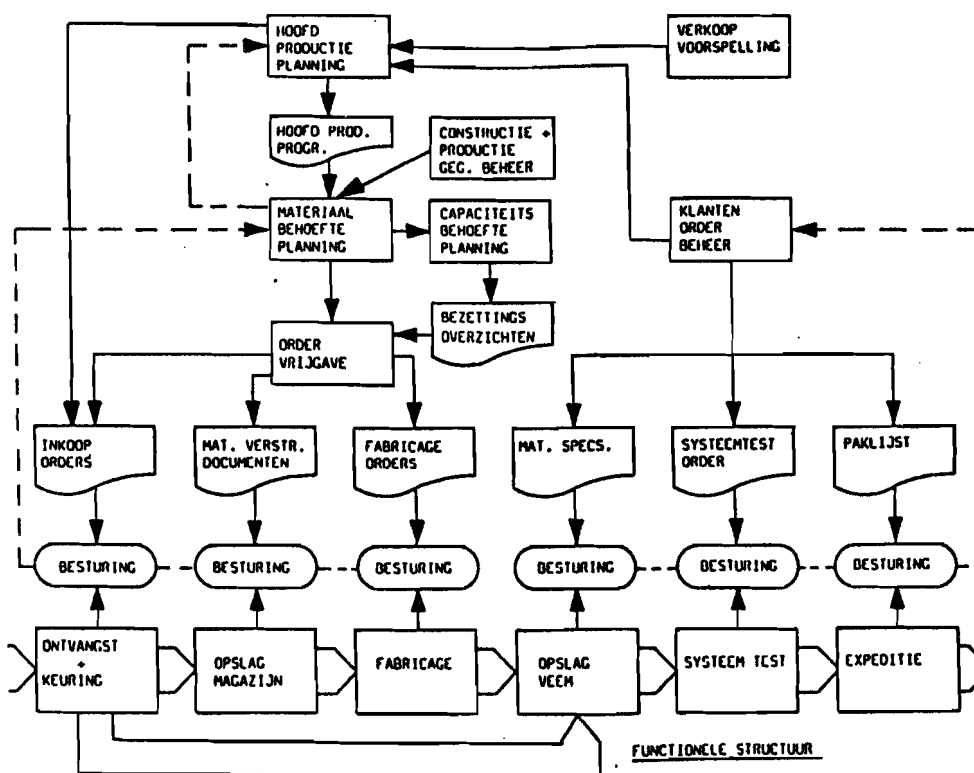


fig. 6 functionele structuur.

Bij wijze van overzicht kunnen nu de volgende functies worden genoemd.

- Stuklijst en artikelgegevens (Bill of Material sub-systeem). Deze zeer belangrijke functie verzorgt de stuklijst relaties, omvat alle artikel-gegevens en is uitgangspunt voor het wijzigingsbeheer.
- Voorraad registratie (Inventory Control sub-systeem). Het vastleggen van alle mutaties op voorraadplaatsen.
- Hoofdproductieprogramma (Master Production Schedule sub-systeem). Deze functie zal veelal handmatig worden vervuld. Het gaat hierbij om een kompromis tussen klantenorders, verkoopvoorspellingen, het voorraadbeleid en de mogelijkheden van de resources.
- Klantenorderbeheer (Customer Order Processing). De samenstelling van klantenorders, het verwerken van financiële gegevens met koppelingen aan het debiteurenbestand.
- Materiaalbehoefteplanning (Material Requirements Planning). Deze functie kan nog steeds gezien worden als de kern van een MRP-software programma. Op de inhoud wordt later teruggekomen.
- Kapaciteitsbehoefteplanning (Capacity Requirements Planning). Essentieel in het MRP denken is dat de materiaalbehoefteplanning de prioriteit van de verschillende orders bepaalt en dat met behulp van de capaciteitsbehoefteplanning, de capaciteitsbehoefte wordt berekend zonder capaciteitsbeperkingen als

- zodanig in ogenschouw te nemen; op het moment van order-vrijgave wordt de juiste capaciteitsbehoefte op het juiste tijdstip bepaald.
- Order-vrijgave (Order Release). Hoewel deze softwarefunctie veelal niet als zelfstandige functie binnen een pakket wordt onderkend is zij van uitermate groot belang voor een totaal MRP-systeem.
 - Inkoop-sub-systeem (Purchasing). Dit sub-systeem registreert en volgt alle inkooporders en heeft aansluiting op de krediteurenbestanden.
 - Bewerkingsvolgorde-sub-systeem (Process and Routing). Hiermee beheerst men onder andere de standaard routing van een produkt waarbij tevens de mogelijkheid bestaat om afwijkingen aan te geven. Deze informatie vormt de basis voor zowel de capaciteitsbehoefteberekening als ook voor de fabrikageorderbeheersing.
 - Beheersing fabrikageorders (Shop Floor Control System). Het gaat hierbij met name om het volgen van orders en het aangeven van prioriteiten van de orders per bewerkingsplaats, rekening houdend met bepaalde prioriteitsregels.
 - Verslaggeving (Reporting). Deze functie verzorgt overzichten van afleveringen en van geleverde prestaties, gerealiseerde versus geplande resultaten.

Het bovenstaande overzicht is uiteraard niet dekkend voor alle in de praktijk geboden mogelijkheden en indelingen. Zo zou men bijvoorbeeld nog als afzonderlijke functies of modulen kunnen onderscheiden die voor de vraagvoorspelling of de distributieplanning. Ter verduidelijking zij nogmaals opgemerkt dat bovenvermelde functies veelal overeenkomen met afzonderlijke modulen binnen een MRP-standaard softwarepakket.

Vervolgens zal ter illustratie wat meer in detail ingegaan worden op enkele deelsystemen.

De stuklijst processor.

De meest belangrijke funktionele eisen die aan deze functie of module gesteld kunnen worden zijn de volgende.

- Het kunnen opslaan en onderhouden van de verschillende samenstellingen en komponentrelaties.
- Het presenteren van een- en meertraps stuklijsten.
- Het bijhouden van een low-level-code, dit is het laagste niveau in een produktstructuur waarop een bepaald onderdeel of een bepaalde subsamenstelling kan worden aangetroffen.
- Het bijhouden van effectiviteitskriteria voor de stuklijstrelatie, zowel op datum als op ordernummer.
- Het kunnen uitvoeren van een zgn. "maatregel van bestuur", het in een keer vervangen van een onderdeel a in onderdeel b in het gehele produktiepakket.
- Het hebben van een equivalente structuur.

Voor een goed gebruik van de stuklijstprocessor binnen een MRP-systeem moeten aan de organisatie een aantal extra eisen worden gesteld. Zo geldt bijvoorbeeld ten aanzien van de artikelidentifikatie dat ieder

voorraaditem een unieke identifikatie moet hebben, dat ieder kode-nummer de inhoud van een item duidelijk definieert en dat de structuur van de stuklijst in feite een weergave is van de materiaalstroom. De stuklijst dient niet opgevat te worden als een gegeven maar als een middel; een middel tot bestuur en tot planning. De stuklijstprocessor van een computersysteem is een hulpmiddel voor het opslaan en onderhouden van artikelrelaties. De structuur moet door de gebruiker zelf worden bepaald, zodanig dat zoveel mogelijk de algemene van de specifieke materialen gescheiden zijn en dat het mogelijk is zgn. opties in het produktenpakket apart te plannen en te besturen.

Voorraadregistratie.

Hieraan kunnen de volgende eisen worden gesteld.

- Het sub-systeem moet alle ontvangst en uitgifte mutaties verwerken.
- Het sub-systeem dient ter ondersteuning van de telopdrachten-routine.
- Het sub-systeem verzorgt overzichten van de verwerkte transakties.

Het aspect voorraadbetrouwbaarheid speelt een belangrijke rol. Wil men met recht kunnen spreken van een effectief MRP systeem, dan zal men een hoge betrouwbaarheid, meer dan 95%, moeten eisen. Hiervoor moesten door de organisatie de nodige maatregelen worden getroffen, zoals gesloten magazijnen, aparte dokumentatie per transactie, turn-around dokumenten, het regelmatig verrichten van metingen, het duidelijk toewijzen van verantwoordelijkheden, kortom het bevorderen van een klimaat voor hoge betrouwbaarheid.

Van optredende afwijkingen dienen niet alleen de oorzaken nagegaan te worden, ook moeten direkt maatregelen worden getroffen. Met name zaken als indeling en ordentelijkheid van een magazijn zullen in deze van groot belang blijken te zijn.

De Materiaalbehoefte planning.

Nogmaals zij opgemerkt dat de meeste heden ten dage aangeboden MRP systemen in feite kunnen worden gezien als uitgegroeide materiaalbehoefteplanningssystemen. Vandaar dan ook dat deze module veelal een centraleplaats in een standaard softwarepakket blijft innemen. Een aantal zaken treden hierbij steeds naar voren. Zo is er steeds de logika waarlangs men uitgaande van bruto-behoeften, ingegeven door het hoofdproduktieplan, terecht zal komen bij de in de tijd gefaseerde netto-behoeften. De logika is in figuur 7 in beeld gebracht. Verder kan worden genoemd de kenmerkende output-matrix, zie figuur 8. Hierin wordt op overzichtelijke wijze per periode aangegeven wat de behoefte is, wat de geplande en de vrijgegeven orders en wat de geplande ontvangsten zijn.

Bij de materiaalbehoefteberekening wordt steeds gezocht naar een evenwicht in de behoefte aan en de beschikbaarheid van de verschillende items.

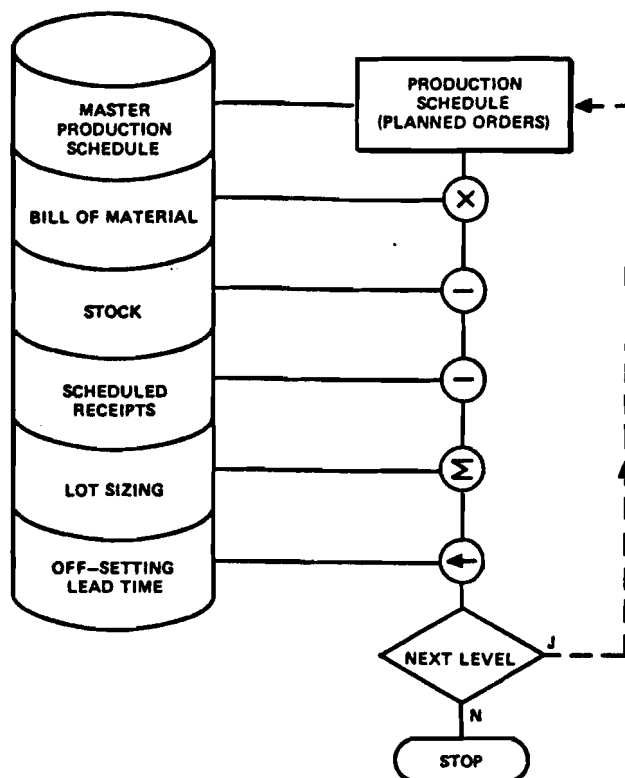


fig. 7 logika van de materiaalbehoeftebepaling.

Opgepast moet worden voor een te grote vorm van automatisme. Een goed MRP-mechanisme zal vrijgegeven orders nooit automatisch herplannen, maar zal signaleren wanneer er onbalans is tussen behoefte en beschikbaarheid. De gebruiker moet zelf beoordelen wat mogelijk is.

MRP matrix

REFILL ASSEMBLY ON HAND-12 LEAD TIME-2 ORD QTY-10

WEEK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROJ. REQTS	10		5	10			8		5	10
SCHED. RECPTS			10							
PROJ. AVAIL	2	2	7	7	7	7	9	9	4	4
PLND RECPT				10			10			10
PLND RELS		10			10			10		

fig. 8 MRP-matrix.

Ook moet kunnen worden aangegeven waar de oorsprong van een bepaalde vraag te vinden is. Deze optie wordt aangeduid met de term "pegging", aangevend de naast-hogere samenstelling die de bruto-behoefte veroorzaakt. Als laatste kan hier nog ten aanzien van de materiaalbehoefteplanning worden opgemerkt dat deze in principe op gezette tijdstippen

bijgewerkt kan worden door alle gegevens opnieuw door te rekenen (regeneratief) of door alleen de eventueel opgetreden veranderingen aan te geven (net change).

Hoe te komen tot een programma van functionele eisen?

In het voorgaande is aandacht besteed aan enkele punten waaraan standaard softwarepakketten te behoeve van produktiebesturing en voorraadbeheersing moeten voldoen. Tevens is daarbij enig inzicht verschaft in de mogelijke functionele indeling van een dergelijk pakket, waarbij enkele modules wat meer in detail zijn besproken.

De vraag is nu hoe men, gegeven de eigen bedrijfssituatie, het best te werk kan gaan om te komen tot een programma van eisen. Elke situatie biedt zijn eigen mogelijkheden en beperkingen en zal daarom vragen om een degelijke bezinning over het al dan niet invoeren van een bepaald softwarepakket.

Zeker geldt in elk geval dat men zich moet realiseren dat er hierbij niet sprake is van een probleem dat slechts de data-processing-afdeling aangaat of de materiaal-managementorganisatie. Ook de inbreng van produktie-, ontwikkelings- en administratieve afdelingen is zeker vereist. Vandaar dat men er goed aan doet een projectteam te vormen van verschillende gebruikers, waarin de diverse disciplines zijn vertegenwoordigd. Tevens verdient het de voorkeur deze mensen samen een MRP-kursus te laten volgen, teneinde een ieder de principes van MRP goed te laten begrijpen. Ook de reeds door anderen opgedane ervaringen kunnen hier van grote betekenis blijken te zijn. Men denke aan consultants, de beschikbare literatuur op dit gebied en vooral aan andere gebruikers. In verband met dat laatste is er wellicht voor de NEVEM een belangrijke taak weggelegd die vergelijkbaar is met het werk dat gedaan is door de Amerikaanse organisatie APICS (= American Production and Inventory Control Society), welke kursussen verzorgt en ondersteuning geeft bij het invoeren van een MRP-systeem, zie ook hoofdstuk 3.4..

Als hulpmiddel bij het formuleren van functionele eisen kan het door het Amerikaanse bureau MSSSI opgestelde Standard System een zeer goede mogelijkheid vormen. Dit Standard System beschrijft hoe een MRP-systeem er functioneel uit zou moeten zien.

Dit rapport is door het bureau gebruikt om diverse bestaande pakketten functioneel te evalueren. Ook kan het goed gebruikt worden om de eigen situatie beter in kaart te brengen.

Tot slot van dit gedeelte kunnen puntsgewijs een aantal stappen worden aangeduid in de selectieprocedure van een softwarepakket.

- Definieer de gewenste systeemkenmerken.
- Bepaal enkele hoofdselectiekriteria.
- Verzamel informatie van mogelijke pakketten.
- Beperk het aantal mogelijkheden.
- Evalueer en vergelijk nog eens.
- Spreek met de leveranciers.

- Spreek met de gebruikers.
- Vraag en analyseer voorstellen van leveranciers.
- Maak een voorlopige keuze.
- Maak testen, doe ervaring op.
- Onderhandel en maak een kontrakt.

1.6. De introductie van MRP en de daaruit volgende opleidingsbehoeften.

De introductie van MRP in een onderneming kan slechts plaatsvinden in stappen, die min of meer van elkaar te scheiden zijn. Er is een behoorlijke aanloop nodig naar het uiteindelijke doel. De volgende fasen kunnen worden onderscheiden.

- De bewustwordingsfase.

Er zal enige tijd besteed moeten worden om zich bewust te worden dat de problemen, waarmee men heeft leren leven, met behulp van MRP opgelost kunnen worden. Het bewust worden zal veelal gebeuren door middel van voorlichting door specialisten op het gebied van MRP. De modules uit een MRP opleidingspakket kunnen hierbij gebruikt worden. Er moet een goede selectie uit gemaakt worden en er moet een passende presentatiemethode gebruikt worden. Facetten van deze fase zijn:

- * ontdekken, dat de eigen problematiek niet uniek is, maar ook door anderen zo wordt ondervonden,
- * zich losmaken van de zelf gevonden oplossingen, die maar een deel van het probleem oplossen,
- * zich bewust worden dat MRP wellicht de goede oplossing biedt,
- * besluiten om meer over MRP te willen kennen teneinde oplossingen te vinden voor eigen problemen.

- De studie/beslisfase.

Het doel van deze fase is de besluitvorming over het al of niet invoeren van MRP. Daartoe is nodig:

- * het opdoen van diepgaande kennis over het MRP stelsel,
- * toetsing van de mogelijkheden voor de eigen situatie,
- * overweging wat nodig is voor de invoering.

Voor het opdoen van diepgaande kennis kan een MRP-opleidingspakket goede diensten bewijzen. In zekere abstractie worden de praktijkproblemen in hun onderlinge samenhang en de MRP oplossingen aangedragen. Bij de behandeling van de leerstof moet voldoende gelegenheid worden gegeven om de huidige praktijk en de mogelijkheden van MRP tegen elkaar af te wegen.

Het is daarom noodzakelijk, dat de opleider in deze fase alles afweet van MRP en goed op de hoogte is met de onderneming van de deelnemers.

Aan het eind van deze studie/beslisfase moet ruim aandacht worden genomen om vast te stellen, hoe men denkt MRP te introduceren.

De volgende vragen moeten daarbij beantwoord worden.

- * Hoe de hoofdproduktieplanning de centrale plaats te geven in de onderneming, die nodig is?
- * Hoe iedereen te laten meewerken in het formele stelsel, dat voor MRP noodzakelijk is?
- * Hoe de gegevens, die nodig zijn, nauwkeurig te krijgen en te houden?
- * Hoe de medewerkers op het door MRP vereiste peil te brengen?
- * Hoe de organisatie om te buigen en te richten op de doelstellingen van MRP?

- De specificatiefase.

Na het besluiten om MRP in de eigen onderneming in te voeren volgt de fase van de voorbereiding.

De toepassing van MRP in een onderneming wordt bepaald door de wensen, mogelijkheden en beperkingen van de eigen bedrijfs-situatie, met behoud van de voorwaarden door MRP gesteld. Dat betekent het volgende.

- * Het uitwerken van MRP in oplossingen voor de eigen bedrijfssituatie en het invullen van de algemene voorwaarden in het bedrijf, met name:
 - + de functie van het hoofdproduktieplan,
 - + de bijdrage die daarvoor van de betreffende afdelingen gevraagd wordt,
 - + het formele besturingsstelsel en de meet en regel-punten daarin,
 - + de keuze van het informatiesysteem.
- * Het opdelen van het totale project in deelprojecten met elk hun eigen begrenzing en eisen, waaraan ze moeten voldoen. Het bepalen van de volgorde en het tijdschema.
- * Het uitwerken van deelprojecten in gedetailleerde specificaties. Het specificeren is de verantwoordelijkheid van de betreffende ondernemingsleiding. Als hulpmiddel kunnen dienen de over MRP gepubliceerde implementatiemodellen.

Om de voor het eigen bedrijf gekozen oplossingen en procedures te kunnen bespreken, moeten deze aan het algemene MRP opleidingspakket worden toegevoegd. Daartoe is het noodzakelijk dat degene die belast is met de opleidingen in het eigen bedrijf, hieraan meewerkt, zodat een opleidingspakket ontstaat dat aansluit bij de behoeften van het bedrijf.

- De trainingsfase.

Dit is de fase van het vaststellen van en het voorzien in de behoefte aan opleidingen. In de vorige fasen was, zoals aangegeven, opleiden ook al noodzakelijk, maar hier is de vorm anders. Voorafgaand aan de implementatiefase moet worden beslist, welke groepen vanaf heden moeten worden opgeleid, wat zijn de leerdoelstellingen voor deze groepen en wat is de specifieke leerinhoud? In welke volgorde moet worden opgeleid en wat is de koppeling met de voortgang van de implementatie? De uitvoering hiervan kan het beste geschieden door de begeleider die meegewerkt heeft aan de specificatiefase. De MRP

opleidingsmodulen zijn het basis materiaal aangevuld met de toepassingen in eigen situatie.

- De implementatiefase.

De medewerkers zullen na de opleiding in de toepassing van MRP enige tijd nodig hebben om te wennen aan de nieuwe situatie. Automatisch zal het geleerde nog niet toegepast worden. Daarom zijn herhalingsessies nodig om de echte praktijk nogmaals te toetsen aan de uitgangspunten.

Behalve dat de chef goed op de hoogte moet zijn van het gekozen stelsel en de specificaties daarin, moet hij ook goed weten wat zijn ondergeschikten geleerd hebben en wat de daarbij gebruikte middelen zijn geweest.

Naast de opleider zal daarom de chef van de deelnemers mee moeten doen in deze opleidingen om eventuele knopen door te hakken. De eerder gebruikte MRP opleidingsmodulen kunnen hierbij opnieuw gebruikt worden.

Hoofdstuk 2.

Verslag excursie Bendix Machine Tool Corporation, Warren (Michigan) 18-5-1983.

2.1. Inleiding.

Bendix Machine Tool Corporation (BMTC) is een dochter van Bendix Corp. en fabriceert transferstraten voor m.n. de automobiellindustrie. Een transferstraat is een niet-flexibele aaneenschakeling van produktiemachines die een produkt, meestal geheel automatisch produceert. Toen wij een bezoek brachten aan BMTC waren ze juist begonnen met de produktie van een transferstraat voor drijfstanen van dieselmotoren. De drijfstanen worden in de transferstraat bewerkt van ruw smeedstuk tot montageklaar eindprodukt. De afmetingen van de transferstraat werden ongeveer 100 meter bij 20 meter.

Voor ze met dit projekt begonnen hadden ze een transferstraat gemaakt die 4-cilinder automotoren monteerte. Bij deze volautomatische montagestraat waren twee controleurs nodig om de zuigers op krassen te controleren. De motor werd vanuit losse onderdelen geheel afgemonteerd zodat de motor na de transferstraat direkt op de proefbank kon. Er werd elke 14 sec. een nieuwe motor afgeleverd.

Aangezien de produktie bij BMTC in projekten, met een geheel eigen karakter, is gerangschikt maken zij geen gebruik van een uitgebreid MRP II systeem met MRP I zoals besproken is in het voorstudieverslag, zie 1.3..

BMTC maakt bij het maken van offertes gebruik van hun zelf-ontwikkelde programma CAPE (= Computer Assisted Proposal and Estimating). Een beschrijving van CAPE staat in hoofdstuk 2.3.. Hoewel dit systeem maar weinig aandacht heeft gekregen tijdens de excursie, geeft het verslag toch een goed overzicht van de voordelen en de mogelijkheden die zo'n systeem biedt bij produktie in projektvorm.

2.2. Magazijnsysteem van Bendix.

Zoals in de inleiding reeds staat maakt BMTC geen gebruik van een uitgebreid MRP systeem zoals besproken is in het voorstudieverslag aangezien hun produktie is opgedeeld in grote projekten.

Met de computer worden voor een produkt een stuklijst (list of contents) en een onderdelen-tijdschema gegenereerd met daarop alle maaddelen en alle koopdelen. Per projekt worden dan de bestellingen gedaan rekening houdend met de levertijd en het tijdstip waarop het onderdeel benodigd is. Er wordt dus niet gewerkt met een minimum- of een maximum-voorraad maar er wordt besteld wat er per projekt nodig is. Op deze wijze verwacht BMTC hun voorraadinvestering te minimaliseren.

Eenmaal per week is er een "schedule review talk" betreffende het onderdelen-tijdschema, waarbij alleen besproken wordt wat er nog niet is.

Iedere te fabriceren transferstraat krijgt een jobnummer met bijbehorende subassemblenummers. Van alle onderdelen van de subassemblies is bekend waar ze liggen in het magazijn, dit staat in de gecomputeriseerde voorraadadministratie.

De man op de vloer dient 24 uur van te voren een formulier in te vullen, zie fig.1, van de onderdelen die hij nodig heeft en dit formulier geeft hij af bij het magazijn.



MATERIAL REQUIREMENTS (AUTOMATED RETRIEVAL SYSTEM)

REQUESTED BY: _____ (NAME) _____ (DATE) _____ (TIME) _____ A.M.
P.M.

JOB No.: _____ S/A No.: _____ POINT No.: _____

PART NUMBER
(IF APPLICABLE)

QTY.

---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---

FORWARD TO: _____ P.O. No.: _____
(IF APPLICABLE)

REQUIRED BY: _____ (DATE) _____ (TIME) _____ A.M.
P.M.

PULLED BY: _____ (NAME) _____ (DATE) _____ (TIME) _____ A.M.
P.M.

PLEASE CHECK IF:

- REPLACEMENT ITEM
- OMITTED FROM B/M

COMMENTS:

fig.1 orderformulier.

Via de terminal komt de magazijnbediende erachter waar het betreffende onderdeel ligt en hoeveel er nog op voorraad zijn. Eventuele mutaties moeten dan worden ingevoerd. De terminal geeft een magazijncode op. Deze code wordt ingevoerd op het bedieningspaneel van een (Lyon Machine) gemechaniseerd magazijnsysteem, waarbij het betreffende onderdeel door het systeem wordt gepakt. Het systeem mag slechts door twee operators bediend worden.

De onderdelen worden dan naar de produktieplaats getransporteerd waar ze nodig zijn.

2.3. Computer Assisted Proposal and Estimating (CAPE)

2.3.1. Inleiding.

BMTC heeft programmatuur (CAPE) voor het maken en verwerken van offer-tes en het maken van een voor-kalkulatie ontwikkeld. Van dit systeem is op de volgende pagina's een beschrijving te vinden.

BMTC maakt een produkt met veel verschillende maar in vele gevallen standaard onderdelen, en vaak zijn er bij een voorstel verschillende opties mogelijk.

De voor-kalkulatie geschiedde met de hand met als gevolg dat er voor de specifieke onderdelen per onderdeel weinig tijd beschikbaar was.

Dit leidde tot een minder nauwkeurige bepaling van de kostprijs van het produkt. Dit brengt grote risico's met zich mee bij grote projek-ten; als het eindbedrag te laag gekalkuleerd wordt kan dit een strop opleveren voor BMTC, maar wordt aan de andere kant het gekalkuleerde bedrag te hoog dat zoekt de klant een andere leverancier.

Hoewel er een aantal standaard systemen op de markt zijn die soortge-lijke functies verrichten heeft BMTC toch besloten om hun eigen pro-gramma CAPE te ontwikkelen, om de volgende redenen.

- CAPE controleert de werkelijke kosten beter die gemaakt worden bij de produktie.
- De structuur van CAPE is zodanig dat CAPE ook gebruikt kan worden voor toekomstige produkten, mocht BMTC zijn produktie-pakket wijzigen.
- Door een groot systeem te creëren wordt gebruik gemaakt van slechts één data-base zodat er geen misverstanden kunnen ontstaan bij het vertalen tussen twee of meer computer-systemen.
- CAPE is geïntegreerd met een CAD/CAM systeem .

De grootste voordelen die CAPE biedt zijn hieronder vermeld.

- Het ontwerp wordt sneller en nauwkeuriger gemaakt, zodat het nu mogelijk is om meer verschillende varianten te maken binnen een zekere tijd. Het ontwerp zal dus gefundeerder tot stand komen.
- De voor-kalkulatie gaat sneller zodat meer tijd besteed kan worden aan bepaalde onderdelen. Hierdoor wordt de voor-kalkulatie nauwkeuriger, wat voor grote en gekompliceerde

machines van groot belang is gezien de miljoenen die ermee gemoeid zijn. Financiële stroppen voor zowel BMTC als de klant kunnen hierdoor voorkomen worden.

- Er treden geen onduidelijkheden meer op door een eenduidige naamgeving van produkten en door gebruik te maken van één data-base.
- Het systeem is voor elk produkt toepasbaar wat in de toekomst van belang kan zijn.
- Er is een betere controle over de werkelijke kosten van een machine omdat iedereen een schatting krijgt van de kosten van elk onderdeel. Hierdoor is snel na te gaan welk onderdeel te duur was. Daar wordt dan bij de volgende voor-kalkulatie rekening mee gehouden.
- Er is ook een schatting gemaakt van het moment waarop de bepaalde uitgaven gedaan moeten worden voor materiaal en arbeid.
- Er kan sneller begonnen worden met het maken van een voorstel voor een klant.
- Het is mogelijk een aanvraag voor een offerte sneller en grondiger te verwerken zodat de klant-responsietijd kleiner wordt.
- De kennis van de ontwerp- en ontwikkelafdeling en van de voor-kalkulatie is in het systeem ingebracht zodat er geen kennis verlies optreedt bij vertrek van een werknemer.
- De opgeslagen kennis wordt onder andere gebruikt bij het opleiden van nieuw personeel voor de (voor-)kalkulatie, "estimators".

CAPE beschrijving.

Een klant informeert bij een verkoop-ingenieur van BMTC naar de mogelijkheden voor ontwerp en fabricage van een transferstraat, zie fig. 2.

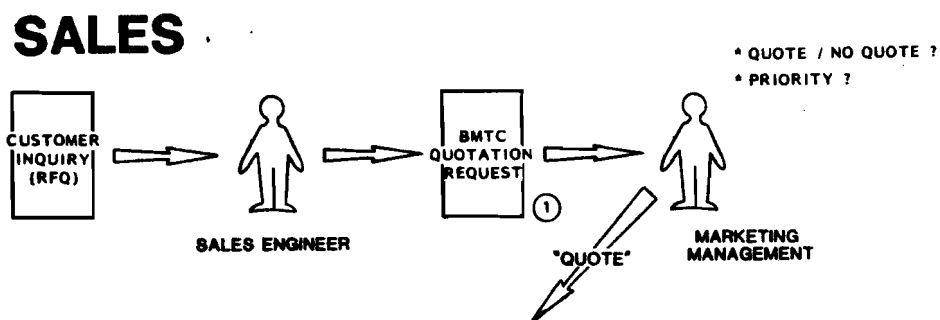


fig.2 eerste contact klant en BMTC.

De basisgegevens wat betreft produkt, ruimte e.d. worden aan de verkoop-ingenieur van BMTC gegeven. De verkoop-ingenieur dient bij het marketing-management een verzoek in tot het maken van een offerte. Het marketing-management beslist dan of deze offerte wordt gemaakt en welke prioriteit eraan gegeven zal worden. De opdracht tot het maken van een offerte gaat dan allereerst naar de afdeling "proposal" waar een voorstel wordt gemaakt voor de transferstraat, zie fig. 3.

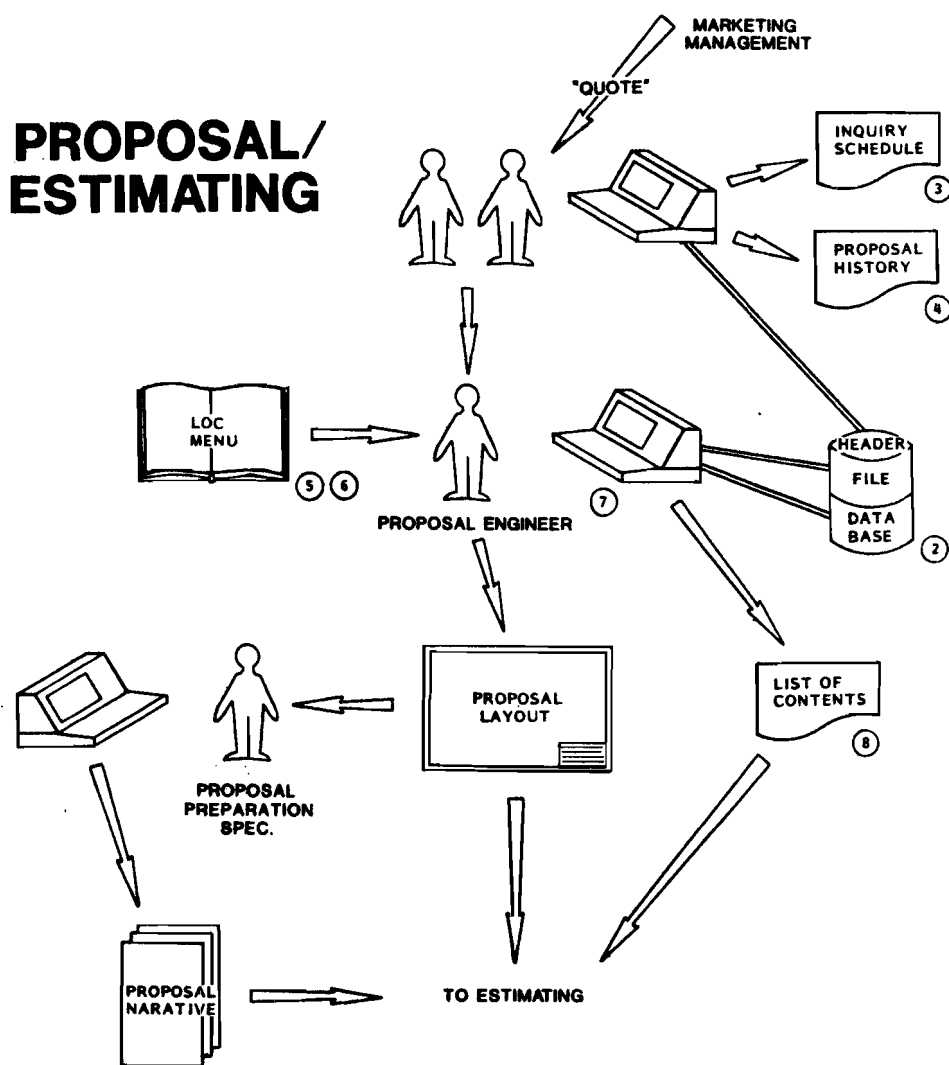


fig. 3 afdeling "proposal".

Allereerst wordt met de klant aan de hand van een vragenlijst, de "inquiry schedule", een overzicht gekregen van het probleem waarvoor de offerte wordt gemaakt.

Dan worden van dit voorstel een aantal belangrijke gegevens opgeslagen in de "proposal history" van het totale systeem. Behalve dat deze gegevens gebruikt worden bij het maken van de offerte en eventueel later wanneer wordt overgegaan tot produktie kunnen deze gegevens bij toekomstige aanvragen gebruikt worden als "uitgewerkte voorstellen". Wanneer aan de hand van het eerder genoemde "inquiry schedule" een overzicht is gekregen van het eisenpakket van de klant kan de "proposal engineer" beginnen.

Met de in vele gevallen standaard componenten, die aanwezig zijn in de data-base van het CAD/CAM systeem kan de "proposal engineer" een voorstel maken voor de layout van de transferstraat.

Dit voorstel bestaat uit een aantal tekeningen en een stuklijst met alle onderdelen en units, deze stuklijst wordt gelijktijdig door het CAD/CAM systeem gegenereerd.

Dit tekeningen pakket wordt verder gespecificeerd en er wordt een rapport geschreven over dit voorstel, de "proposal narrative", waarin het functioneren van de transferstraat wordt beschreven.

Dit rapport gaat samen met het tekeningen pakket en de stuklijst naar de voor-kalkulatie ("estimating").

Wanneer de "estimator" de voorstellen krijgt van de "proposal engineer", zie fig. 4, zal hij deze voorstellen nakijken en speciale aandacht besteden aan de volgende punten.

- De algemene konstruktie van de transferstraat. Is het niet mogelijk om met een andere opstelling hetzelfde resultaat te realiseren voor een lagere prijs.
- Knelpunten in het ontwerp. Soms is het niet mogelijk om van alle onderdelen van de transferstraat een nauwkeurige, op voorkennis gebaseerde, voor-kalkulatie te maken. Het is belangrijk de knelpunten, die deze onderdelen kunnen vormen, te onderkennen en hier bij de voor-kalkulatie rekening mee te houden door b.v. een veiligheidsmarge in te bouwen.

ESTIMATING

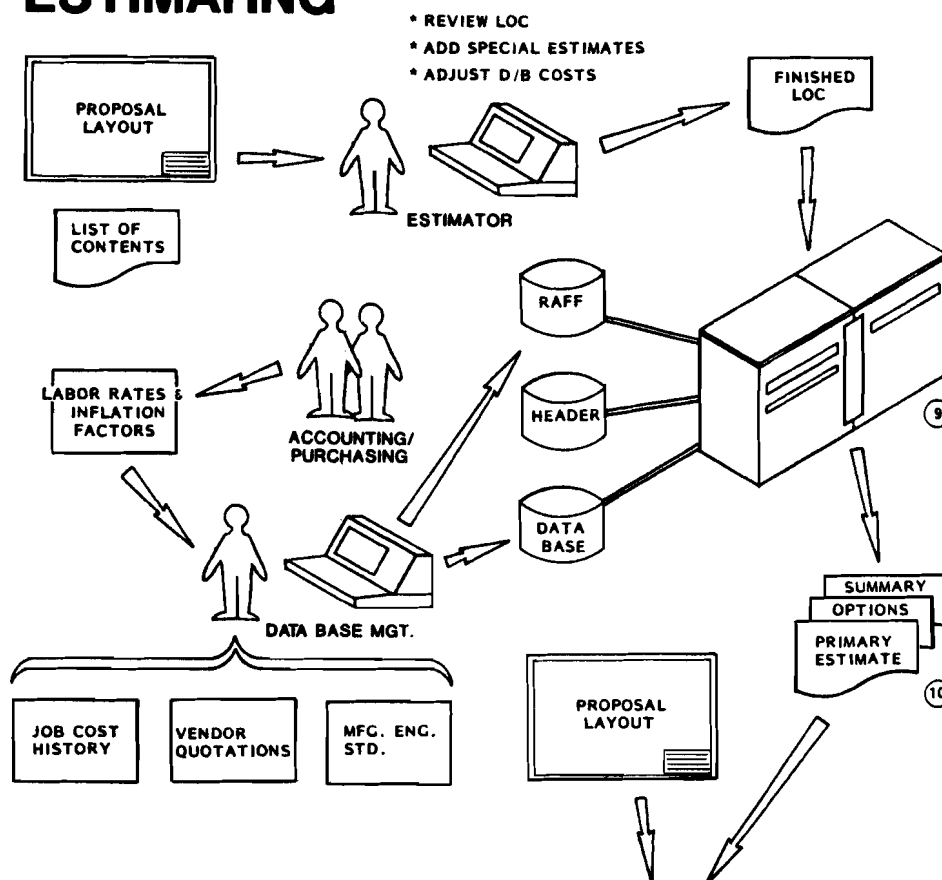


fig. 4 de voor-kalkulatie.

- Het aanpassen van teken-, basis- en ontwikkelkosten. Dit gebeurt aan de hand van de hoeveelheid nieuwe ontwikkeling die nodig was om dit voorstel te maken.

Het voorstel, dat nu is besproken door de "proposal-" en de "estimating-" afdeling, wordt in de computer verwerkt tot:

- een samenvatting van het probleem en de aangedragen oplossingen(en),
- opties of veranderingen in de transferstraat die leiden tot prijsdaling en/of kwaliteitsverhoging,
- een eerste voor-kalkulatie van de kosten die aan het project zijn verbonden.

De gegevens over kosten die de computer hiervoor gebruikt worden up-to-date gehouden door het data-base-management. Het data-base-management krijgt informatie over:

- reele kosten van vorige opdrachten,
- offertes van leveranciers die onderdelen zullen leveren voor het fabrikage proces,
- fabrikagestandaards die gebruikt zullen gaan worden voor de fabrikage van dit produkt,
- arbeidskosten en inflatiefactoren.

Deze gegevens voor het data-base-management worden verstrekt door de afdelingen boekhouding en inkoop.

Na de voor-kalkulatie wordt het complete voorstel voorgelegd aan het management, in de zgn. "pricing meeting", waar een beslissing wordt genomen over de te volgen strategie, zie fig. 5.

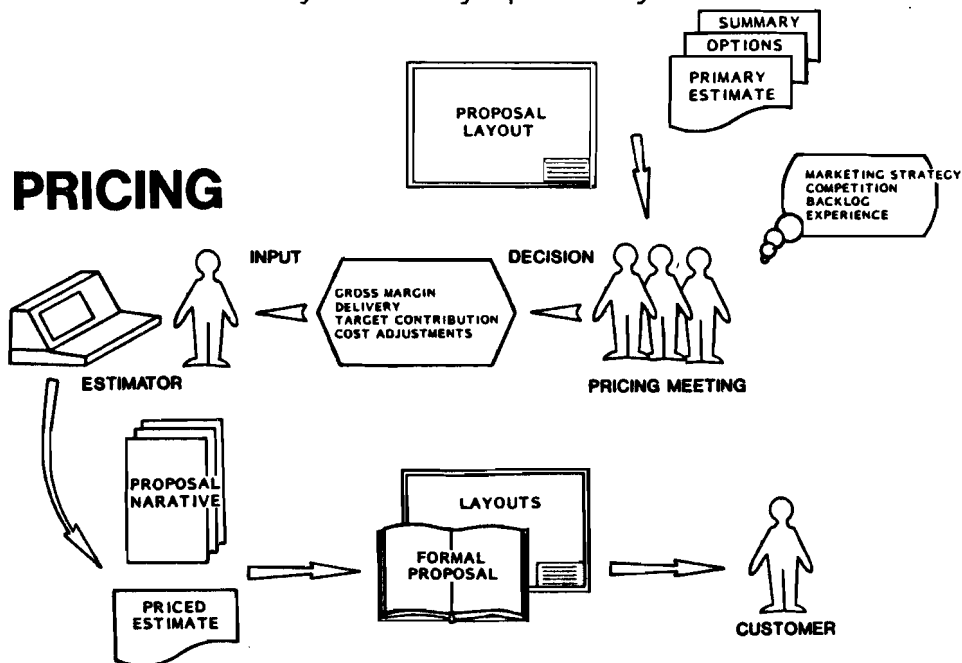


fig. 5 de "pricing meeting".

De punten die een belangrijke rol spelen bij het tot stand komen van deze beslissing zijn:

- de marktstrategie die door de direktie is uitgezet en bepalend is voor de toekomst van BMTC,
- de konkurrentieoverwegingen die van groot belang zijn bij het vaststellen van verkoopprijs en levertijd,
- de orderportefeuille. Indien er voldoende werk voor handen is zal er minder interesse zijn voor een opdracht dan bij een minder gevulde orderportefeuille,
- en kennis. Door het uitvoeren van een opdracht kan een hoeveelheid specifieke kennis binnengehaald worden die gebruikt kan worden om de konkurrentiepositie te versterken en andere markten in de toekomst te bewerken.

Onder andere met bovenstaande criteria wordt door het management in de "pricing meeting" een beslissing genomen over:

- de "winstmarge" op de door de voor-kalkulatie geschatte kosten,
- de levertijd voor een opdracht die afhankelijk is van de mogelijkheden in de fabriek en de te stellen prioriteiten,
- de bijdrage die deze opdracht kan leveren aan het realiseren van de strategie die is uitgezet door de direktie,
- de doorberekening van kosten. Hier wordt bepaald in welke mate de verschillende produktie/ontwikkelkosten worden doorberekend aan de klant en of toekomstige, onverwachte, kostenstijgingen ten laste komen van de producent alleen of van producent en klant samen.

Al deze gegevens zijn van belang voor de toekomstige onderhandelingen met de klant en zullen de mate aangeven waarin de vraagprijs zou kunnen dalen.

Deze gegevens gaan terug naar de "estimator" die met de computer een uiteindelijk voorstel maakt voor de klant met een schatting van de kostprijs. Dit uiteindelijke voorstel, de offerte, wordt aan de klant gegeven.

Besluit de klant over te gaan tot aanschaf van het aangeboden produkt, met eventueel bepaalde veranderingen daarin, dan wordt door "project control" het gehele projekt voor de produktie voorbereid, zie fig. 6.

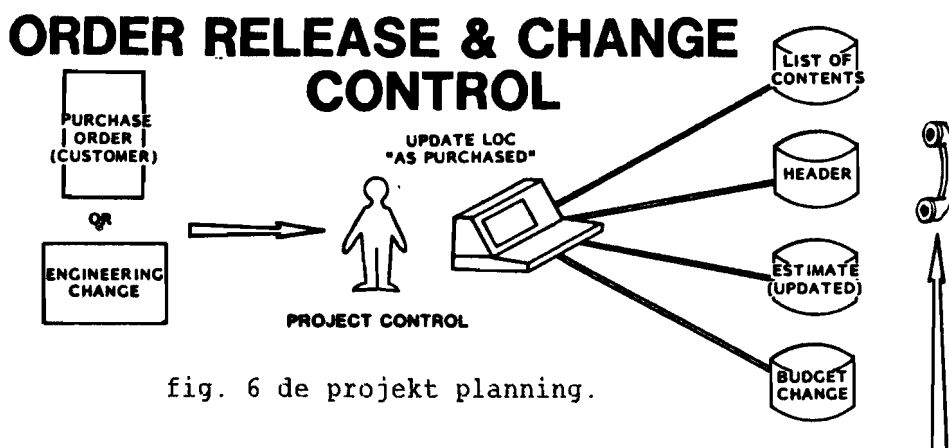


fig. 6 de projekt planning.

Alle gegevens over een bepaald project worden dan van de CAPE computer overgestuurd naar de computer van het "Management Information System" (MIS) die de kosten en de voortgang van een bepaald project in de gaten houdt.

De MIS computer maakt uit de gegevens van een bepaald project een definitief budget en maakt een tijdsgefaseerde output voor alle afdelingen waarop staat welke opdrachten voor/in welke perioden moeten worden vervuld, zie fig. 7.

COST CONTROL

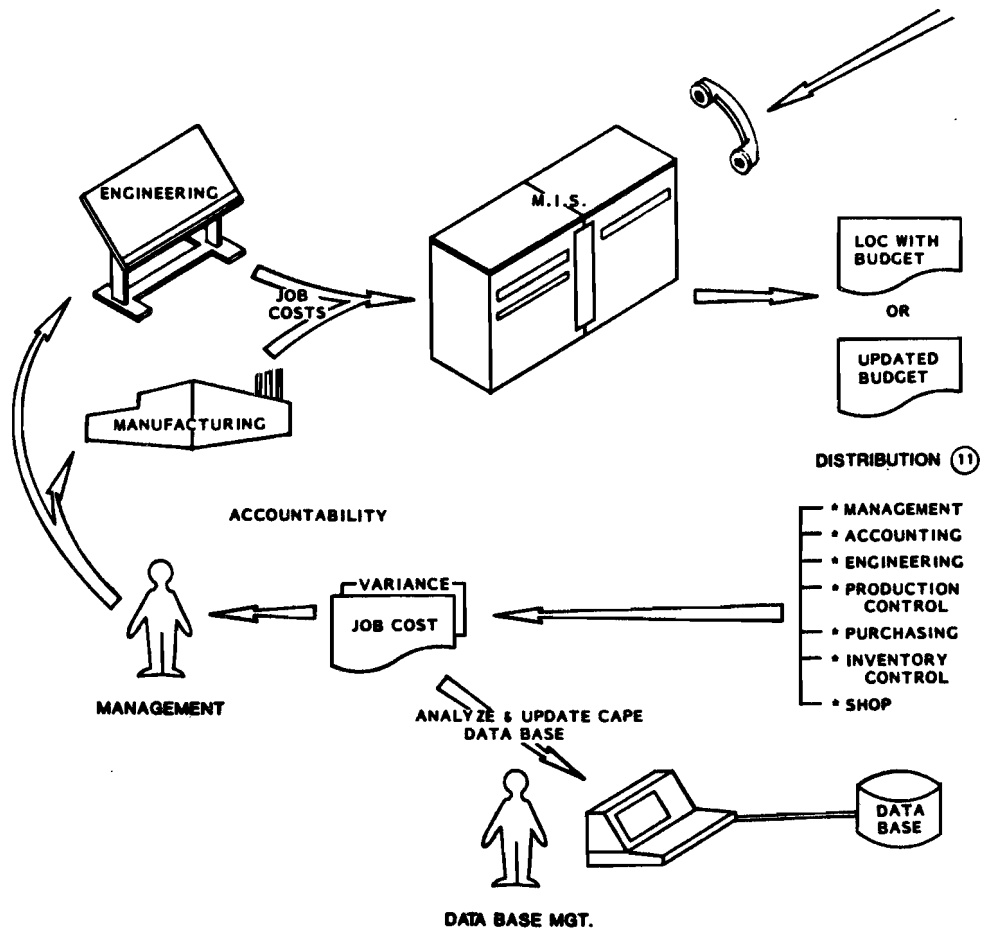


fig. 7 kosten en voortgangskontrolle.

Deze output gaat naar:

- het management, voor een algemeen overzicht van de loop van een bepaald project,
- de boekhouding, voor het signaleren van budgetoverschrijdende kosten,
- de ontwerp- en ontwikkelafdeling, voor een overzicht van de loop van een project, met de taken die "engineering" daarin moet verrichten en de termijn waarop deze taken klaar moeten zijn,
- de productiebesturingsafdeling, "production control" zal voor de voortgang van een project moeten zorgen en de knelpunten

- tijdig signaleren en deze zelf of met hulp van andere afdelingen oplossen,
- inkoop, om ervoor te zorgen dat alle inkoopdelen op tijd in het productieproces aanwezig zullen zijn,
 - voorraad beheer, zodat bekend is welke onderdelen in welke periode bij een bepaalde productieplaats aanwezig moeten zijn en indien er tekorten zijn om dan bij inkoop te informeren of de levering op tijd heeft plaatsgevonden of zal plaatsvinden,
 - de werkvloer, voor het uitdelen van de werkorders en het in het oog houden van een bepaald projekt.

Wanneer de kosten gedurende het productieproces veranderen wordt de oorzaak van deze verandering geanalyseerd en onder andere doorgegeven aan het data-base-management.

Het data-base-management zal de data-base van CAPE updaten zodat bij volgende offertes een precieser beeld van de kosten kan worden verkregen.

Bovendien wordt de variatie gemeld aan de ontwerp- en ontwikkelafdeling en de productieafdeling. Beide afdelingen maken schattingen van de kosten van bepaalde handelingen in het productieproces, deze schattingen worden doorgegeven aan het MIS, en moeten daarom op de hoogte gehouden worden van kostenwijzigingen.

Wanneer CAPE globaal wordt gezien kan het geheel van kommunikatielijnen zoals ze bestaan in het systeem worden weergegeven in fig. 8.

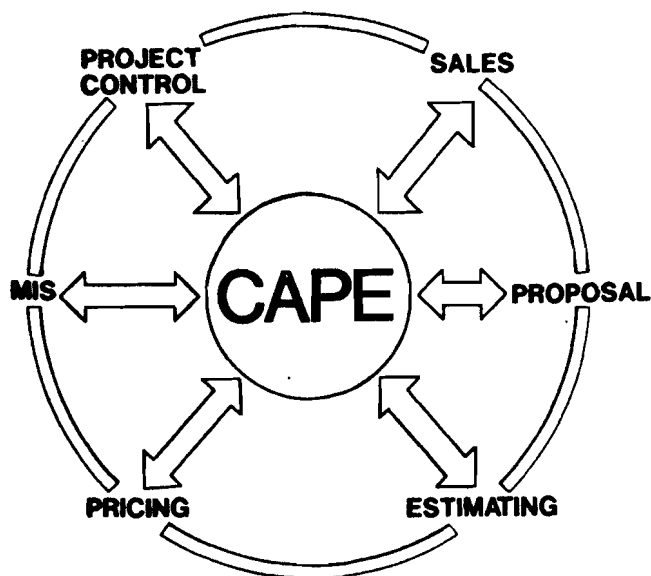


fig. 8 CAPE van BMTC.

Hoofdstuk 3.

Verslag excursie Skil, Chicago (Illinois) 20-5-1983.

3.1. Algemeen.

Skil maakt voornamelijk "consumer products" (= DHZ-artikelen) en industriële produkten. Deze laatste zijn vooral bestemd voor de hout-industrie (zagen etc.).

De produkten kunnen onderverdeeld worden in:

- tools; complete gereedschappen,
- accessoires; accessoires (bijv. zaagbladen),
- service parts; reparatie onderdelen, 90% van de onderdelen, in totaal zijn er ongeveer 10.000 verschillende onderdelen en produkten.

In de V.S. heeft Skil 3 fabrieken en 3 distributiecentra. Twee fabrieken bevinden zich in Arkansas en één fabriek bevindt zich in Chicago. Het grootste distributiecentrum bevindt zich in Chicago. Vanuit dit distributiecentrum worden het midden van de Verenigde Staten, de service-centra en de export-distributie verzorgd. Bovendien worden vanuit dit centrum de twee andere distributiecentra in de Verenigde Staten bevoorrad. Het distributiecentrum in Reno (Nevada) verzorgt de distributie over het westelijke deel van de Verenigde Staten en het distributiecentrum nabij New York (New York) zorgt voor de distributie over het oostelijke deel van de Verenigde Staten.

Dagelijks komen 2 à 3 trucks met produkten van de produktie-fabrieken bij het distributiecentrum in Chicago aan. Het magazijn in Chicago heeft 21.000 verschillende locaties met een gewichtsomzet van 30 mln. pounds per jaar (d.i. ongeveer 13.500 ton per jaar).

Het verwerken van de klantenorders, het zgn. "Customer Order Processing", gebeurt nu nog off-line. Nog dit jaar gaat men over op een zelfontwikkeld on-line systeem.

Het verschil tussen het huidige systeem bij Skil en het nieuwe systeem is dat de "order editing" (zie de beschrijving van de order-verwerking) die nu nog met de hand gebeurt voortaan met/aan de terminal zal gebeuren, waar in directe communicatie met de computer de klantenorder wordt verwerkt. Er is dan een mogelijkheid tot het direkt nazien van leveringsvoorwaarden met koppelingen aan het debiteurenbestand.

De klant zal dan wanneer hij zijn order telefonisch plaatst direkt een bevestiging kunnen krijgen.

Bovendien ligt het in de bedoeling om in de nabije toekomst de twee andere distributiecentra aan te sluiten op de centrale Burroughs mainframe-computer.

3.2. Order-verwerking.

Skil heeft een gecomputeriseerd orderverwerkingssysteem dat door Skil zelf is ontwikkeld.

De order komt bij Skil binnen in de vorm van een brief of per telefoon. De order wordt genoteerd waarbij tevens aandacht wordt geschonken aan prijs, leveringsvoorwaarden en speciale aanbiedingen, deze kunnen per klant verschillen op basis van speciale overeenkomsten tussen Skil en de klant.

De order wordt genoteerd op een speciaal formulier dat daarna wordt ingevoerd op de computer, zie fig.1.

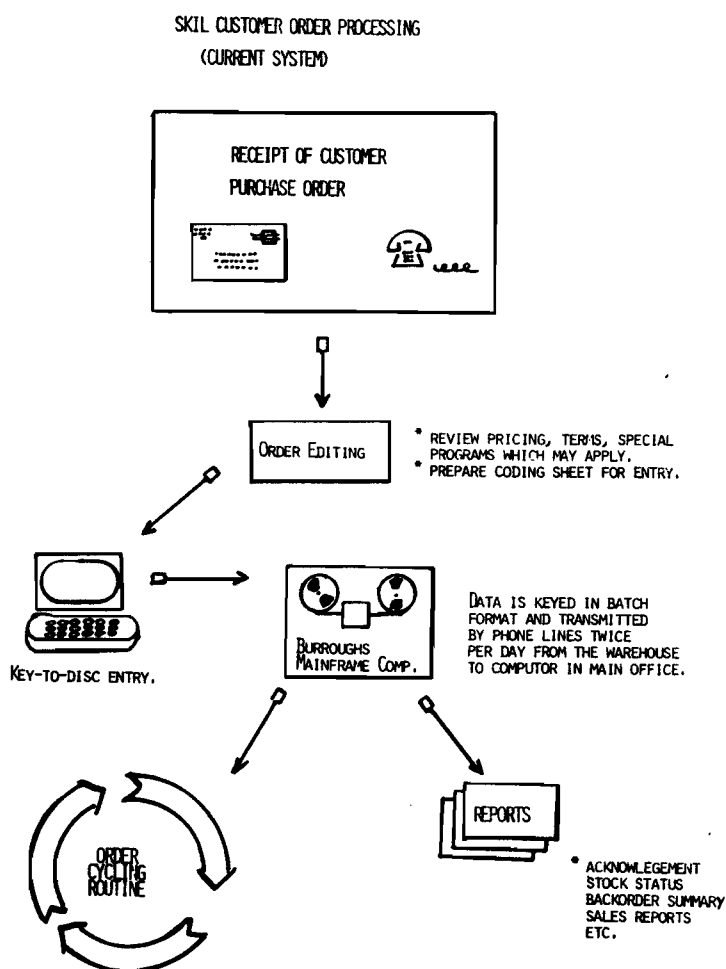


fig. 1 Order-verwerking.

De gegevens worden in batch-vorm opgeslagen in het magazijn, waar de orders worden ontvangen, en twee maal per dag met de telefoon overgestuurd naar de Burroughs mainframe computer in het hoofdkantoor. Deze Burroughs computer zorgt voor het verdere afwerken van de order de zogenaamde ordercirculatie, de "order cycling routine". De Burroughs genereert bovendien verschillende soorten rapporten, w.o.:

- order bevestiging,
- voorraadstaat,
- achterstallige orders,
- verkoopcijfers van produkten.

De verdere afhandeling van de order kan op twee manieren geschieden, of met de "5 day cycle" of met de "3 week cycle". Of een bestelling in de "5 day cycle" wordt geplaatst of in de "3 week cycle" hangt af van de waarde van de order. Overschrijdt de waarde een bepaalde minimum grens, nu \$300.-, dan wordt de bestelling in de "5 day cycle" geplaatst. Ligt de waarde onder dit minimum bedrag dan wordt de bestelling in de "3 week cycle" gezet.

5 day cycle:

- Houdt een order vast totdat de verzenddag van de klant komt, dit kan maximaal 5 dagen duren. Skil heeft voor verzending de Verenigde Staten opgedeeld in vijf gebieden (vijf groepen van staten). Elke dag van de werkweek worden de gevraagde producten verstuurd naar een groep van staten. De klant moet dus maximaal vijf dagen wachten voordat zijn order wordt opgestuurd.
- Ongeveer eenvijfde van de totale orders wordt dagelijks verzonden zodat het werk gelijkmatig verspreid is over de werkweek.
- De verzending wordt gestuurd door de woonplaats van de klant.
- Deze order-cirkulatie kan op vier manieren worden gewijzigd, namelijk door:
 - * "special shipment": speciale verzending die nog dezelfde dag wordt gemaakt, m.n. wordt hier veel gebruik van gemaakt voor reserve-onderdelen,
 - * "released-order shipment": speciale zending die onafhankelijk van de woonplaats van de klant de volgende dag wordt verstuurd,
 - * "manual-release": een order die al eerder in het systeem is ingevoerd in de ordercirkulatie wordt nu met de hand uit deze cirkulatie genomen om te worden verzonden,
 - * "re-arrange cycle": de ordercirkulatie die tot nu toe bestond wordt veranderd, met als gevolg dat van een aantal klanten de specifieke verzenddag verandert.

3 week cycle:

- Houdt een order met een waarde beneden een zeker minimum bedrag, nu \$300.-, vast tot drie weken na bestelling. Wanneer de order na drie weken de minimum waarde nog niet heeft overschreden wordt deze order verzonden door de order in de "5 day cycle" te plaatsen.
- Indien de waarde van de bestelling boven het minimum bedrag uitkomt dan wordt de order in de "5 day cycle" geplaatst.
- Deze "3 week cycle" kan op dezelfde manieren worden gewijzigd als de ordercirkulatie bij de "5 day cycle".

In het algemeen geldt dat aan elke zending prioriteit gegeven kan worden.

Skil heeft een aantal vuistregels volgens welke prioriteit wordt gegeven aan orders.

- Producten worden toegewezen aan een order zodra deze wordt ingegeven in de centrale Burroughs computer. Bij het toekomstige on-line systeem zal dit direkt kunnen gebeuren, wanneer

de klant telefonisch een bestelling doet. Door het toewijzen voorkomt men dat een bestelling, die als gevolg van een verschil in staat eerder verzonden wordt, de "laatste" produkten uit het magazijn krijgt toegewezen. Deze willekeur wil Skil voorkomen omdat wordt uitgegaan van een "first come - first serve" principe.

- Aan een bestelling van produkten voor levering in de nabije toekomst, wat een reservering is, worden pas produkten toegewezen wanneer deze bestelling wordt vrijgegeven en in de ordercirkulatie terecht komt.
- Bestellingen van onderdelen die onder de garantie vallen krijgen altijd prioriteit wat betreft de toewijzing van onderdelen.
- Indien levering voor een specifieke datum kritiek is, wat het geval kan zijn bij levering aan vakbeurzen of van monsters, kan worden besloten om zo'n bestelling prioriteit te verlenen.

Deze ordercirkulatie biedt de volgende voordelen.

- Uit het verleden blijkt dat de bestellingen erg onregelmatig binnen komen verspreid over een week. Op maandag en vrijdag komen er zeer veel bestellingen binnen maar in het midden van de week komen er maar reletief weinig bestellingen binnen. Met deze ordercirkulatie is het mogelijk om het verzenden veel regelmatiger te laten plaatsvinden, zie fig. 2. Dit leidt tot een reductie in de arbeidskosten omdat nu volstaan kan worden met een bezetting voor een gemiddelde vraag.

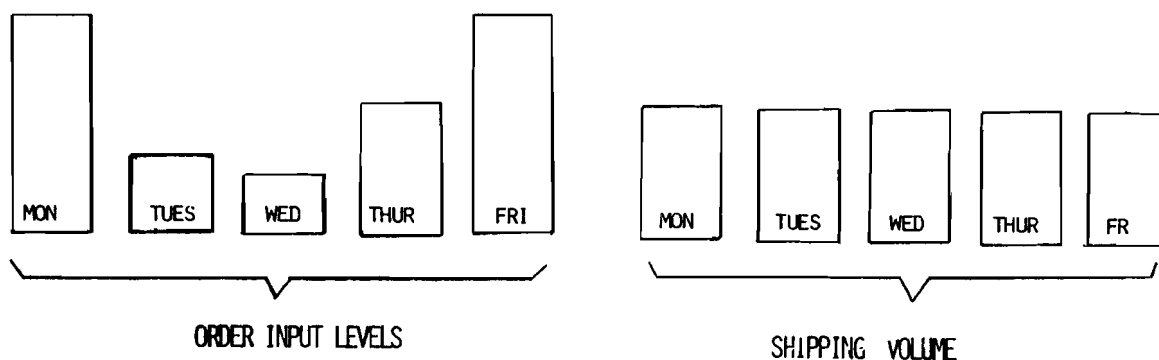


fig. 2 belasting a.g.v. input en output in één week.

- Een ander voordeel van dit systeem is dat achterstallige orders per klant worden samengevoegd, en gezamenlijk worden verzonden. Dit samenvoegen gebeurt ook wanneer een klant een nieuwe bestelling doet terwijl zijn vorige bestelling nog in het ordercirkulatiesysteem zit. Zo voorkomt het systeem verschillende zendingen naar een klant binnen één week, zie fig. 3. Als gevolg van dit samenvoegen gaan de administratie en verzendkosten omlaag, wat zowel voor Skil als voor de klant voordelig is.
- Kleine bestellingen worden in eerste instantie vertraagd en er wordt gewacht of zo'n kleine bestelling wordt uitgebreid. Zo

wordt geprobeerd om vele kleine leveringen te combineren tot enkele grote leveringen wat voor de Skil en de klant voordelig is. Bovendien kan dit de klant er toe brengen om zijn bestelling in waarde net boven het minimum bedrag van \$300.- te brengen en produkten te bestellen die "toch wel verkocht zullen worden".

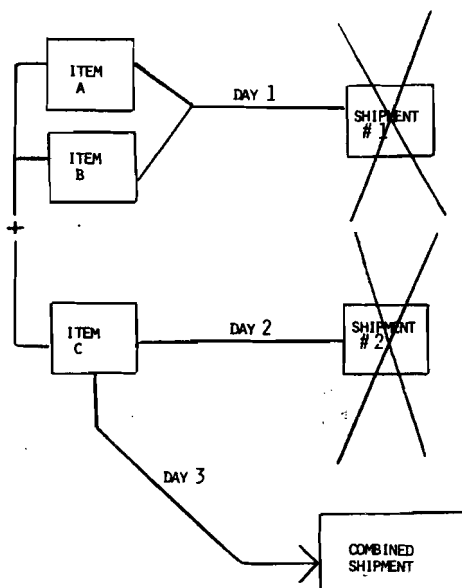


fig.3. combineren van zendingen in één week.

Wanneer de verzenddag bereikt is, deze dag wordt bepaald door het ordercirculatiesysteem, voorzover dit systeem niet "overruled" wordt, worden drie soorten lijsten gegenereerd door de computer en daarna verstuurd naar het magazijn.

- "Bill of lading": De lijst met de totale hoeveelheid goederen die gepakt en verstuurd moeten worden.
- "Pick list": Dit is de paklijst voor gebruik in het magazijn. Hierop staat per klant wat er geleverd moet worden en waar de produkten zich in het magazijn bevinden.
- "Pack list": Per order worden er van deze lijst twee exemplaren naar het magazijn gestuurd met daarop welke produkten er geleverd moeten worden. Een lijst wordt samen met de produkten verpakt en naar de klant verstuurd. De andere lijst wordt gebruikt voor verwerking op de centrale computer.

In het magazijn worden de benodigde produkten gepakt en verpakt met één exemplaar van de "pack list". Bovendien worden nog enkele kleine administratieve handelingen verricht. De bestelling wordt dan verzonden naar de klant.

De tweede "pack list" wordt verwerkt op de centrale computer die, rekening houdend met eventuele speciale overeenkomsten tussen Skil en de klant, de rekening opmaakt en verstuurt aan de klant, zie fig. 4.

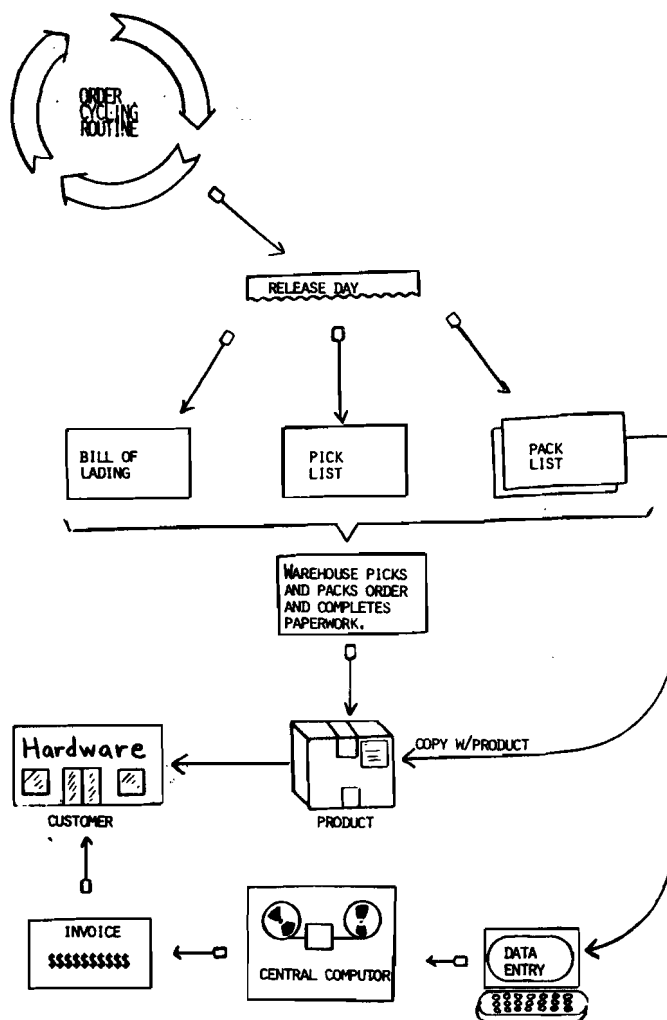


fig. 4. uiteindelijke verzending.

Hieronder volgen nog enkele opmerkingen over de orderverwerking.

- Het lijkt onlogisch om het distributiecentrum erg ver van de fabrieken af te leggen. Doch dit is gedaan om de produkten van alle fabrieken te combineren en ze gezamenlijk te versturen. Dit blijkt efficiënter te zijn, bovendien is het kenmerkend voor de V.S. dat grenzen en afstanden van minder belang zijn.
- Seizoenspieken (vaderdag en kerstmis) worden opgevangen door vroegtijdige bestellingen van klanten en door overwerken.
- Nog liggende orders worden aan het eind van elke maand afgewerkt eventueel door overwerk.
- Zoals gezegd zal een nieuw systeem de order-invoer gaan automatiseren. Onderdeel van dit nieuwe systeem is een uitgebreide dataopslag van:

- * tabellen met gegevens over de verschillende staten, service centers (voorraad aanwezig), klanten,
- * gegevens betreffende de produktiekosten,
- * produkt/prijs gegevens,
- * gegevens over orders.

Hierdoor is snel na te gaan of een product aanwezig is en zijn bepaalde gegevens over een klant snel op te zoeken. Belangrijke informatie betreffende een klant kunnen zijn kredietwaardigheid zijn en het genieten van een eventuele speciale behandeling zijn.

- Skil gaat overstappen van een Burroughs computer naar een IBM computer.
- De programmeertaal die ze gebruiken is COBOL.
- Het programmapakket is door Skil zelf ontwikkeld omdat een bestaand pakket (COS van IBM) voor hun niet voldeed. Het lijkt overigens wel veel op het pakket van IBM.
- Bepaalde wijzigingen en informaties kunnen alleen door de juiste afdelingen ingevoerd worden, doordat de cursor afhankelijk van de lokatie van de terminal bepaalde velden overslaat. Hierdoor is de mogelijkheid tot misbruik van het systeem sterk beperkt.

3.3. Planningsysteem.

Een afzetvoorspelling wordt gedaan aan de hand van een voorspelling voor elk marktgebied. De "field-tradesman" is verantwoordelijk voor de voorspelling van zijn marktgebied. Deze marktgebieden worden bekeken vanuit Chicago en vier steunpunten. De steunpunten zijn in Canada, Venezuela, Australie en Nederland (Breda).

Deze voorspellingen worden samengevoegd en vergeleken met de totale en toekomstige voorraad van elk produkt. Deze voorraad bevat de voorraad van elke fabriek en reserveringen van lopende bestellingen.

Maandelijks wordt uit de totale voorspelling en de totale voorraad de master production schedule samengesteld. Met dit hoofd productieplahet hoofdproduktieplan (master production schedule) samengesteld. Met dit hoofdproduktieplan worden twee dingen gedaan:

- 1) via de bill of materials wordt er de MRP mee gevoed,
- 2) er wordt een voorspelling van de onderdelen-voorraad mee gemaakt.

Deze voorspelling wordt grafisch vergeleken met de actuele voorraad van 1983 en de actuele voorraad van 1982 van de complete onderdelen. Hiermee kan men een schatting maken van de nog benodigde voorraad in 1983.

Vervolgens worden de machine bezettingsgraden bepaald voor de betreffende fabriek. De fabriek kan ook andere produkten vervaardigen, waarbij deze andere produkten zoveel mogelijk een anticyklisch marktgedrag moeten hebben. Dit wordt echter overgelaten aan het management van de fabriek. Hierdoor kan ervoor gezorgd worden dat de fabriek een ongeveer konstante bezetting heeft.

Skil streeft ernaar om voor een fabriek een konstante produktiehoeveelheid per dag per produkt te eisen, tegen vastgestelde prijzen, het zgn. Pull-systeem.

Aan de hand van een programma kan men voorspellingen doen over:

- geldstromen,
- bezettingsgraden,
- magazijnvoorraden.

Door de MRP is de behoefte aan de diverse onderdelen bekend.

Het lijkt op dit punt dat het belangrijk is om de onderdelen te standaardiseren; dus bijvoorbeeld overal dezelfde schakelaar toe passen. Hierdoor kunnen de series groter worden en hoeven er minder verschillende produkten op voorraad te liggen.

3.4. MRP en COPICS.

Bij Skil gaat men op korte termijn het IBM-pakket COPICS invoeren, ter vervanging van het zelf ontwikkelde MRP pakket.

Aan het eind van dit hoofdstuk is een korte omschrijving van COPICS gegeven.

Hieronder volgen nog enkele opmerkingen over MRP in het algemeen en over COPICS in het bijzonder, zoals ze bij Skil aan de orde kwamen.

- Het MRP rapport bevat een aflevermoment en een produktiemoment. Onderdelen moeten aanwezig zijn voor het produktiemoment.
- Het MRP-systeem is gebaseerd op termijnen ter grootte van kwartalen.
- De voordelen van het on-line werken zijn:
 - * direkt antwoord b.v. over bepaalde behoeftes,
 - * fouten en resultaten zijn direkt zichtbaar,
 - * er komen minder mensen aan te pas dus een kleinere papierloop. "Paperless planning" werkt geldbesparend.
- Voor MRP is een goede database vereist met:
 - * goede stuklijsten (BOM),
 - * goede routingschema's,
 - * goede kennis van wat er waar en wanneer gebeurt,
 - * goede kennis van wat er gemaakt moet worden.
- Een erg groot voordeel is dat er een grote reaktiesnelheid is zonder een grote veiligheidsvoorraad. De veiligheidsvoorraad is ondervangen door gebruik te maken van spoedorders. dit duidt op een zekere vervoortijd van het systeem die gedeeltelijk wordt veroorzaakt door het typisch Amerikaanse streven naar een minimalisering van de voorraadkosten met als gevolg kleine, misschien wel te kleine, veiligheidsvoorraden. de problemen die als gevolg hiervan ontstaan worden opgelost met spoedorders.
- Problemen geven vaak de mensen die ermee moeten werken: "Can you handle what it is telling you to do".
- In het streven naar een continue produktiestroom, wordt er meer gewerkt met tussenvoorraden. Het is niet van belang voor

de produktie waar een onderdeel is. Hierdoor worden de wachttijden kleiner.

- Betrouwbare informatie over de verkopen aan uiteindelijke klanten krijgt men via de garantiekaarten.
- Bij het invoeren van het systeem laat men het nieuwe systeem twee weken parallel lopen met het oude systeem voordat het oude systeem wordt afgedankt.

In de Verenigde Staten vindt de toepassing van MRP een erg grote stimulans door de vereniging voor MRP APICS (= American Production and Inventory Control Society). Deze geeft kursussen en ondersteuning bij het opzetten van een MRP systeem.

COPICS.

Het "Communications Orientated Production Information and Control System" (COPICS) is een door IBM ontwikkelt concept om een structuur te creëren voor een geïntegreerd, op een computer gebaseerd produktie-kontrole- en produktiebesturingssysteem.

Een produktiebedrijf moet effectief een grote hoeveelheid informatie verzamelen, doorleiden en interpreteren om zijn activiteiten te besturen.

Hoewel de ingewikkeldheid van de gegevens en de hoeveelheid aan gegevens enorm is toegenomen in de loop van de tijd hebben de meeste bedrijven hun produktiebesturingssysteem niet overeenkomstig aangepast.

COPICS gebruikt de computer, i.h.b. de mogelijkheid van de computer om veel informatie te verwerken in een relatief korte tijd, om het bedrijf van dit probleem te verlossen:

- op strategisch niveau: door het geven van toegang voor het management tot data die van belang zijn voor het effectief kunnen formuleren van een bedrijfsstrategie,
- op taktisch niveau: door het gebruik van kommunikatie-apparaatuur, b.v. display terminals en shop floor terminals, de management strategie uit te voeren,
- op uitvoerend niveau: door de produktie activiteiten vast te leggen en te besturen en door informatie te verzamelen.

Toepassingsgebieden van COPICS.

De COPICS-structuur is gericht op produktie en daarmee samenghangende fabrikage toepassingen. COPICS is niet gericht op andere gedeelten van het bedrijf zoals boekhouding, marketing of personeelsadministratie hoewel de data die COPICS verzamelt wel van belang kunnen zijn voor deze afdelingen.

De toepassingsgebieden(=modulen) van COPICS, zoals geïllustreerd in fig. 5, kunnen als volgt worden beschreven.

- "Engineering and production data control": fundamentele konstruktie- en produktiebestanden worden gekreeerd en up-to-date gehouden.

- "Customer Order Servicing": klantenorderbeheer verbindt het verkoopinformatiesysteem met de produktieafdelingen. Klantenorderinvoer en -kontrolle van de order gedurende het produktieproces is mogelijk.
- "Forecasting": Deze module voorspelling zorgt voor technieken om de vraag naar produkten in de toekomst te voorspellen.
- "Master production schedule planning": Hoofdproduktieplanning kan ruwweg laten zien wat het gevolg is van een alternatief produktieplan op de capaciteit en de hoeveelheid grond- en hulpstoffen, die nodig zijn. Het resultaat is meestal een realistisch hoofdproduktieplan wat gebruikt gaat worden voor de gedetailleerde planning.

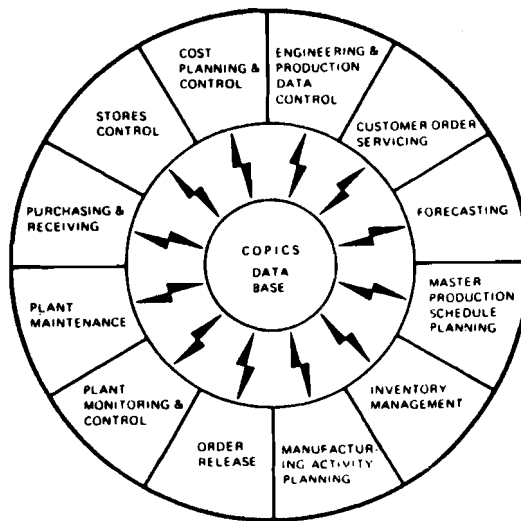


fig. 5 toepassingen van COPICS.

- "Inventory management": Voorraadbeheer bepaalt hoeveel en wanneer er produkten nodig zijn. Dit gebeurt voor zowel inkoopdelen als voor fabrikagedelen, zodat voldaan kan worden aan het hoofdproduktieplan.
- "Manufacturing activity planning": Produktieplanning wordt gebruikt voor een gedetailleerde capaciteitsplanning en maakt het mogelijk om de orderuitgiftedatum te wijzigen wanneer dit leidt tot een betere capaciteitsbenutting. Dit gebeurt met het doel om een redelijke en gelijkmatige bezetting te krijgen en om tussenvoorraden, die op kunnen treden bij een slechte planning, en doorlooptijden te minimaliseren.
- "Order release": Werkuitgifte verzorgt de koppeling tussen de produktieplanning en de werkelijke produktie. Op de geplande uitgiftedatum geeft deze funktie opdracht tot produktie of inkoop van de benodigde materialen of componenten.
- "Plant monitoring and control": Produktiekontrolle en -sturing gaat de voortgang na van elke werkorder wanneer deze wordt uitgevoerd. Door het systeem worden veel ondersteunende activiteiten gekoördineerd, zoals de inspectie, het onderdelen-

magazijn en het gereedschapsmagazijn. Direkte computerbesturing van de verschillende fasen in het produktieproces valt hieronder.

- "Plant maintenance": Fabrieksonderhoud zorgt voor onderhoudspersoneelplanning, rekening houdend met de beschikbare capaciteit, het versturen van de werkorders en het bijhouden van de onderhoudskosten. Bovendien kan deze module zorgen voor de planning van preventief onderhoud.
- "Purchasing and receiving": Inkoop en ontvangst onderhouden de huidige inkoop offertes, creëren inkooporders en volgen het verloop van de order vanaf de offerteaanvraag via goedkeuring, follow-up, ontvangst, kwaliteitscontrole en opslaan in het magazijn.
- "Stores control": Magazijn controle houdt bij waar de materialen zijn en bepaalt waar nieuwe materialen opgeslagen moeten worden. Het doel van dit deel is een optimale volumebezetting van de opslagruimte te realiseren, om pakfouten en paktijd te verminderen. Geautomatiseerde magazijnsystemen kunnen hieraan worden gekoppeld.
- "Cost planning and control": Kostenkalkulatie en -controle wordt in het bijzonder gebruikt voor de kalkulatie, zowel voor- als nakalkulatie, en de boekhouding en zorgt ervoor dat informatie, die gemaakt en in stand gehouden wordt voor de produktie, kan worden gebruikt voor budgettering en boekhouding.

In fig. 6 is een overzicht gegeven van de functionele samenhang tussen de verschillende modules van COPICS.

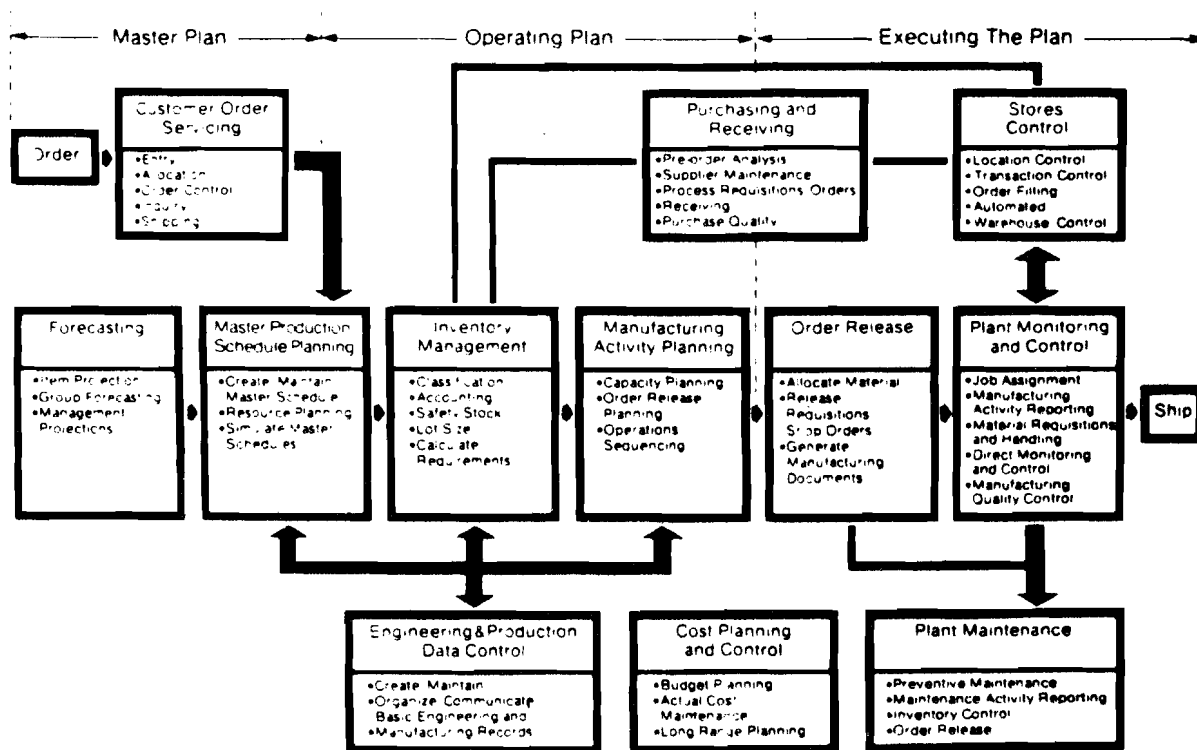


fig. 6 functionele samenhang van COPICS.

COPICS is een concept, een ontwerp en een structuur voor een geïntegreerd systeem van produktiegerichte applicatieprogramma's. Sinds begin van de zeventiger jaren heeft COPICS als structuur gediend voor IBM klanten voor de ontwikkeling van hun eigen toepassingsprogramma's. Nu is het voor klanten die liever de kosten en de tijd, wat voor het schrijven van eigen programma's nodig is, sparen mogelijk om bepaalde COPICS functies te implementeren door gebruik te maken van COPICS toepassingsprogramma's.

De COPICS programma's zijn ontworpen om de implementering van COPICS te versnellen en hebben de volgende eigenschappen.

- COPICS architectuur is de basis voor het ontwerp. COPICS programma's zijn gericht op activiteiten met speciale aandacht op integratie van de toepassingen en ondersteuning van de individuele gebruiker.
- COPICS programma's zijn gemaakt om te functioneren op het niveau waar functionele communicatielijnen bestaan en de programma's leggen een nadruk op deze verbanden.
- De COPICS produktie-data-base is gedefinieerd op een zeer gedetailleerd, segment/veld, niveau om de overkoepelende activiteiten en het opereren van het COPICS systeem goed mogelijk te maken.
- COPICS toepassingsprogramma's zijn ontworpen om de produktiviteit te verhogen en het integreren van programma's krijgt hierbij extra aandacht.

Op dit moment zijn er programma's beschikbaar die toepasbaar zijn voor de meeste toepassingsgebieden van COPICS waaronder inkoop.

Hoofdstuk 4.Verslag van het bezoek aan SKF in Hanover (Pennsylvania) d.d. 31-05-'83.4.1. Algemeen.

De door ons bezochte fabriek van SKF in Hanover (PA) bestaat sinds 1968. Het is één van de acht Amerikaanse SKF vestigingen. Er werken 400 mensen die samen 1/5 deel van de totale wereldproductie aan tonlagers vervaardigen.

In 1949 begon men hier met het ontwikkelen van een MRP systeem onder het motto: "MRP use it to create more bussiness".

4.2. MRP systeem.

De produktieplanning moet bij hun één jaar vooruit gebeuren omdat de voor de tonlagers benodigde smeedstukken, die uit Zweden worden geïmporteerd, een erg lange levertijd hebben.

Vroeger had iedere afdeling binnen het bedrijf zijn eigen voorraadlijsten. Mutaties werden door diezelfde afdeling verwerkt en de jaarlijkse inventarisatie werd gebruikt om al die verschillende voorraadlijsten te vergelijken en te korrigeren.

Ook de werkorders waren voor iedere afdeling anders.

Hierdoor ontstonden een aantal problemen, t.w.:

- niemand wist precies wat er op voorraad lag,
- kommunikatie tussen de verschillende afdelingen was moeilijk in verband met de verschillende systemen die gehanteerd werden, met als gevolg dat:
 - * er veel te grote voorraden waren,
 - * de levertijden vrijwel altijd overschreden werden,
 - * het leveren van kleine hoeveelheden voor de vervangingsmarkt slechts moeizaam en traag ging.

Hoe men dit wilde oplossen wordt aangegeven in de volgende doelstellingen:

BUSINESS SYSTEMS OBJECTIVES

- * DEVELOP A SET OF COMPUTER BASED OPERATING SYSTEMS WHICH WILL ENABLE US TO PROVIDE ADEQUATE CUSTOMER SERVICE WITH PRODUCT COSTS WHICH ARE COMPETITIVE AND KNOWN AND WHICH WILL YIELD AN ADEQUATE PROFIT AND RETURN ON INVESTMENT.
- * UTILIZATION OF CORPORATE DP STAFF
- * HIRE OUR OWN DP STAFF
- * ACQUIRE A COMPUTER

- * OPERATE FROM A COMPUTERIZED DATA BASE OF INFORMATION.
- * SYSTEMS TO ACCOMPLISH:
 1. MRP AND MASTER SCHEDULING
 2. RECORDS ACCURACY
 3. CAPACITY PLANNING
 4. FORECASTING
 5. SHOP FLOOR REPORTING
 6. DETAILED SHOP PRIORITIES
 7. JOB COSTING
 8. FINANCIAL CONTROL
- * DEVOTE MAJOR PORTION OF DP RESOURCES TO THESE TASKS.

Het uiteindelijke doel was sneller leveren bij een lager voorraadpeil, van ruwe materialen, onderhanden zijnd werk en onderdelen, met kortere aanlooptijden.

Men wilde af van de jaarlijkse inventarisatie en met het MRP programma blijkt het voldoende te zijn om "cycle-counting" toe te passen. Dit is het steekproefsgewijze tellen van voorraadartikelen of de produktie-aantal van één onderdeel.

Dat "cycle-counting" efficiënt werkt blijkt uit de volgende grafiek.

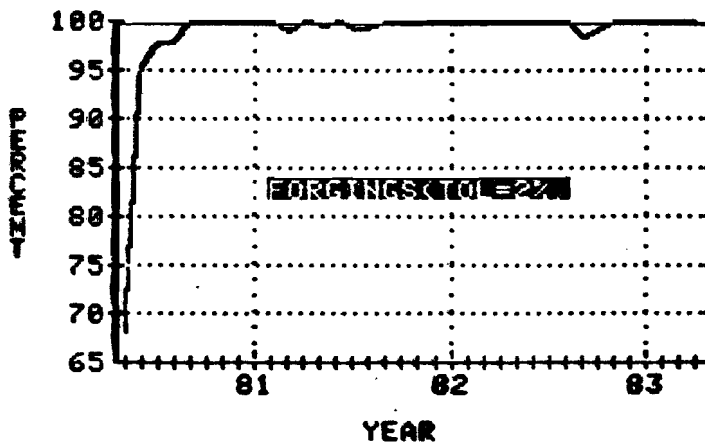


fig. 1 percentage artikelen werkelijk op voorraad t.o.v. de computer voorraad.

Er wordt in de data-base bijgehouden hoe de leveringsgewoonten van de leveranciers zijn. Dit wordt verwerkt in het HPP zodat SKF een zo groot mogelijke zekerheid krijgt van levering wanneer SKF een order plaats bij een leverancier. SKF streeft er naar om de leverperformance van de leveranciers op 95% te krijgen.

In fig. 2 staat de leverperformance van de leverancier van smeedstukken uitgedrukt in percentage leveringen op tijd uitgezet tegen de tijd.

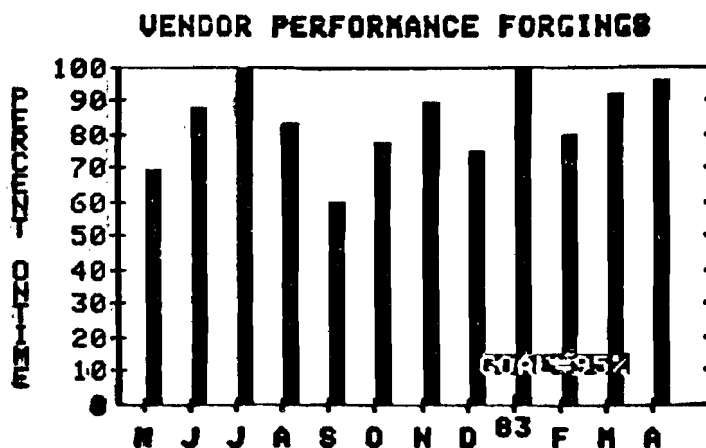


fig.2. leverperformance leverancier.

Naast het schrijven van de software was het nodig om zeer nauwkeurige stuklijsten en routingschema's voor de te vervaardigen produkten te maken.

Bovendien werd het personeel op alle niveau's ingelicht over de op handen zijnde veranderingen om te voorkomen dat het oude systeem weer langs sluikwegen terug zou komen.

De mensen op de fabrieksvloer dienen te begrijpen waarom het nodig is dat de vervaardigde onderdelen nauwkeurig geteld moeten worden en waarom er vastgehouden moet worden aan computervoorraadlijsten.

De mensen van planning en die van marketing moeten met de computervoorraadlijsten werken om onderlinge kommunikatie te bevorderen en om fouten te voorkomen.

Het MRP programma dat ze ontwikkeld hebben noemen ze een management systeem dat gebruik maakt van stuklijsten, inventarisatielijsten, routingschema's en een hoofdproduktieplan om:

- de benodigde gegevens en hoeveelheden voor ruw materiaal en onderdelen te bepalen om de produkten uit het hoofdproduktieplan te kunnen vervaardigen,
- tijd en plaats gefaseerde capaciteitsbehoefte te bepalen,
- management een stuk gereedschap te geven voor beheersing en besturing.

Men streeft met het programma niet zozeer naar een optimale capaciteitsplanning maar naar minimale voorraadkosten. In de Verenigde Staten streven bedrijven in de meeste gevallen naar minimale voorraadkosten i.p.v. naar een optimale capaciteitsplanning zoals in Nederland en West-Europa meestal het geval is. Dit heeft ongetwijfeld te maken met het feit dat de faktor arbeid in de Verenigde staten veel gemakkelijker gewijzigd kan worden dan in Nederland en West-Europa.

Planning voor het hoofdproductieplan doen ze nu in samenwerking met hun vaste klanten, die de SKF tonlagers gebruiken als onderdelen voor hun produkten.

Deze grote klanten plannen een voorlopige bestelling bij SKF nu 14 maanden vooruit. Op deze manier is SKF minder gevoelig voor fouten in de extrapolatie van de vraag. Het toegepaste MRP-systeem zal door deze demping minder nerveus zijn.

SKF verwerkt de gegevens van alle klanten tot een HPP en 16 weken voor de leveringsdatum moet de geplande order bevestigd of geannuleerd worden.

4.3. Resultaten tot nu toe:

- De voorraadkosten van SKF zijn sterk afgenomen wat blijkt uit de waarde van de artikelen op voorraad die vermeld staat in tabel 1.

<u>voorraad</u>	<u>vroeger</u>	<u>nu</u>
smeedstukken	\$ 9 mln	\$ 4.5 mln
buffermagazijnen	\$ 3 mln	\$ 2 mln

tabel 1. waarde voorraad bij SKF.

- Levering van series aan grote klanten:

SKF krijgt een gedeelte van de orders van grote klanten reeds veertien maanden van te voren binnen (zie 4.2.). Bij SKF heet dit de order "PER ORIGINAL PROMISE" (per orig prom). De andere orders van grote klanten komen "PER REQUEST".

In fig 3. staan het percentage orders uitgezet, onderverdeeld in orders "per original promise" en orders "per request", die te laat werden geleverd aan de klant, tegen de tijd.

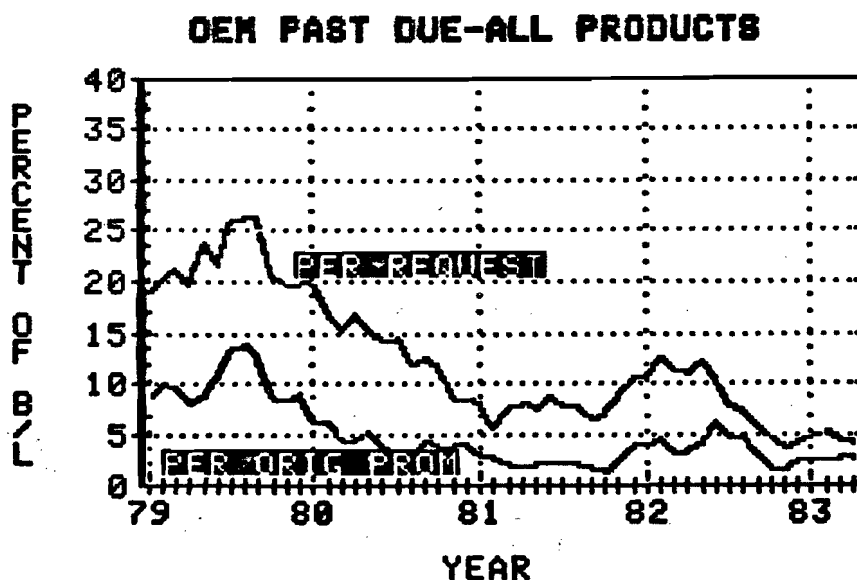


fig. 3 levering series aan grote klanten.

De bovenste lijn stelt een percentage orders voor welke niet van tevoren waren ingepland en waarvan het ruwe materiaal dus uit voorraad moest worden geleverd.

De onderste lijn stelt het percentage orders voor welke al vooruit besteld en ingepland waren.

Uit deze grafiek blijkt dat de leverperformance van SKF nu vrij goed is. Van een vooruit bestelde opdracht weet de klant nu voor minstens 97% zeker dat deze order geleverd gaat worden. Bovendien weet de klant dat als hij nu besteld er een leverzekerheid is van minstens 95%.

- Levering van lagers voor de vervangingsmarkt.

Dit soort leveringen bestaat meestal uit één of enkele lagers die gebruikt worden als reserve-onderdelen. Er zit meestal veel spoed achter de levering om stilstand van het werktuig waarvoor het lager, de lagers, bedoeld is, zijn, te beperken. Deze lagers worden dan ook, indien mogelijk, uit voorraad geleverd. De "warehouse fill rate" is een maat voor de mate waarin voldaan kan worden aan orders voor de vervangingsmarkt. De "warehouse fill rate" geeft het percentage aan van orders voor de vervangingsmarkt die uit voorraad geleverd konden worden, zie fig. 4.

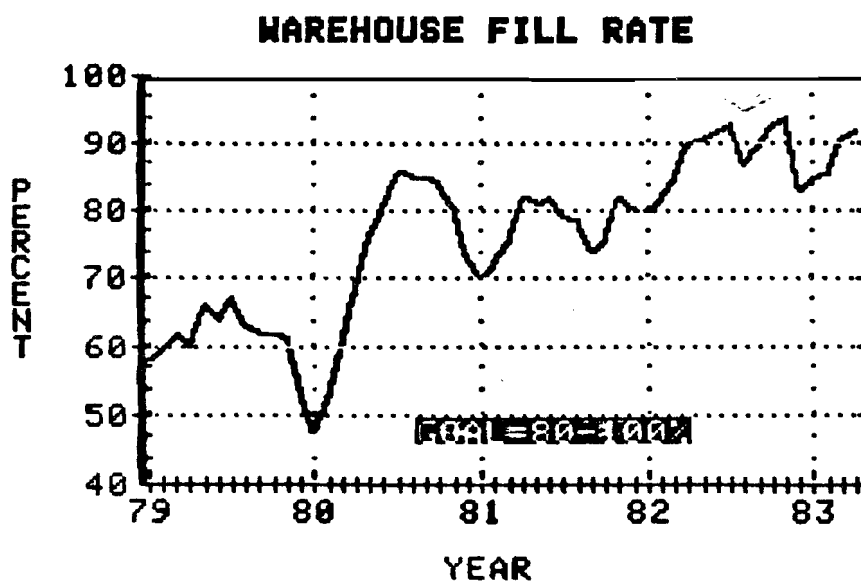


fig.4. de "warehouse fill rate".

SKF streeft naar een "warehouse fill rate" tussen de 80 % en 100% om toch aan een zo groot mogelijk gedeelte van de orders voor de vervangingsmarkt te kunnen voldoen maar om tegelijkertijd de voorraadkosten toch enigszins beperkt te houden zodat het totaal resultaat zeker niet negatief zal zijn. Zoals uit fig. 4 blijkt kan SKF nu in redelijke mate voldoen aan orders voor de vervangingsmarkt wat in de periode '79-'80 veel minder het geval was.

4.4. ABCD checklist.

De mensen die de MRP-programmatuur ontwikkeld hebben hebben een "ABCD-checklist" samengesteld. Met deze ABCD checklist kan een bedrijf toetsen of ze een dergelijk systeem succesvol zouden kunnen toepassen.

De "ABCD checklist" is vertaald en hieronder weergegeven.

Juistheid van de gegevens: ja nee

- | | | |
|---|---|---|
| 1. Voorraadadministratie voor 95% of meer correct | - | - |
| 2. Stuklijst gegevens zijn voor 98% of meer korrekt | - | - |
| 3. Produktieschema is vvoor 95 % of meer korrekt | - | - |

Opleiding:

- | | | |
|--|---|---|
| 4. Tenminste 80% van de werknemers heeft een basis-
opleiding | - | - |
| 5. Er is een lopend bedrijfsopleidingsprogramma | - | - |

Technisch:

- | | | |
|---|---|---|
| 6. Tijdsperioden voor hoofdproduktieplanning en
materiaalbehoefteplanning zijn weken of kleiner | - | - |
| 7. Hoofdproduktieplanning en materiaalbehoefte-
planning wordt minstens een keer per week gedaan | - | - |
| 8. Het systeem bevat een mogelijkheid om orders vast
te plannen en plaatselijk opdrachten vast te zetten | - | - |
| 9. Het hoofdproduktieplan wordt met de hand en niet
automatisch gemanaged | - | - |
| 10. Systeem bevat capaciteitsplanning | - | - |
| 11. Systeem kan voor een dagelijkse verzendlijst
zorgen | - | - |
| 12. Systeem bevat een input en output besturing | - | - |

Gebruik van het systeem:

- | | | |
|--|---|---|
| 13. De lijst met artikelen die er tekort zijn is niet
meer nodig | - | - |
| 14. Leveranciersperformance is 95% of beter | - | - |
| 15. Bij het bepalen van het besteltijdstip wordt niet
alleen rekening gehouden met de toegezegde lever-
tijden | - | - |
| 16. Werkzaamheden binnen het bedrijf worden voor
minstens 95% op tijd uitgevoerd | - | - |
| 17. Het hoofdproduktieplan wordt voor minstens 95%
gehaald | - | - |
| 18. Er zijn regelmatig (zeker elke maand) productie-
plannings bijeenkomsten met de general manager
en zijn staf waaronder: productie, marketing,
financiering en boekhouding | - | - |

- | | | |
|--|---|---|
| 19. Er is een vastgestelde hoofdproduktiestrategie waar niet vanaf geweken wordt | - | - |
| 20. Het systeem wordt gebruikt voor plannen en bestellen | - | - |
| 21. MRP wordt goed begrepen door de centrale mensen bij produktie, marketing, engineering, financiering, boekhouding en het top-management | - | - |
| 22. Het management gebruikt het MRP echt om te managen | - | - |
| 23. Veranderingen uit de engineering afdeling worden effectief geïmplementeerd | - | - |
| 24. Gelijktijdig zijn verbeteringen opgetreden in minstens twee van de volgende gebieden: voorraad, produktiviteit, klantenservice | - | - |
| 25. Het systeem wordt ook gebruikt voor financiële planning | - | - |

Wanneer een groot gedeelte van deze bovenstaande vragen met ja kan worden beantwoord zijn er met dit systeem weinig veranderingen aan te brengen in Uw bedrijf. Maar indien een groot gedeelte met nee moet worden beantwoord dan verdient het de aanbeveling om het systeem dat SKF gebruikt nader te bestuderen en te zien of eenzelfde systeem misschien ook U voordelen kan brengen.

4.5. Konklusies:

SKF heeft met zijn MRP systeem bereikt dat:

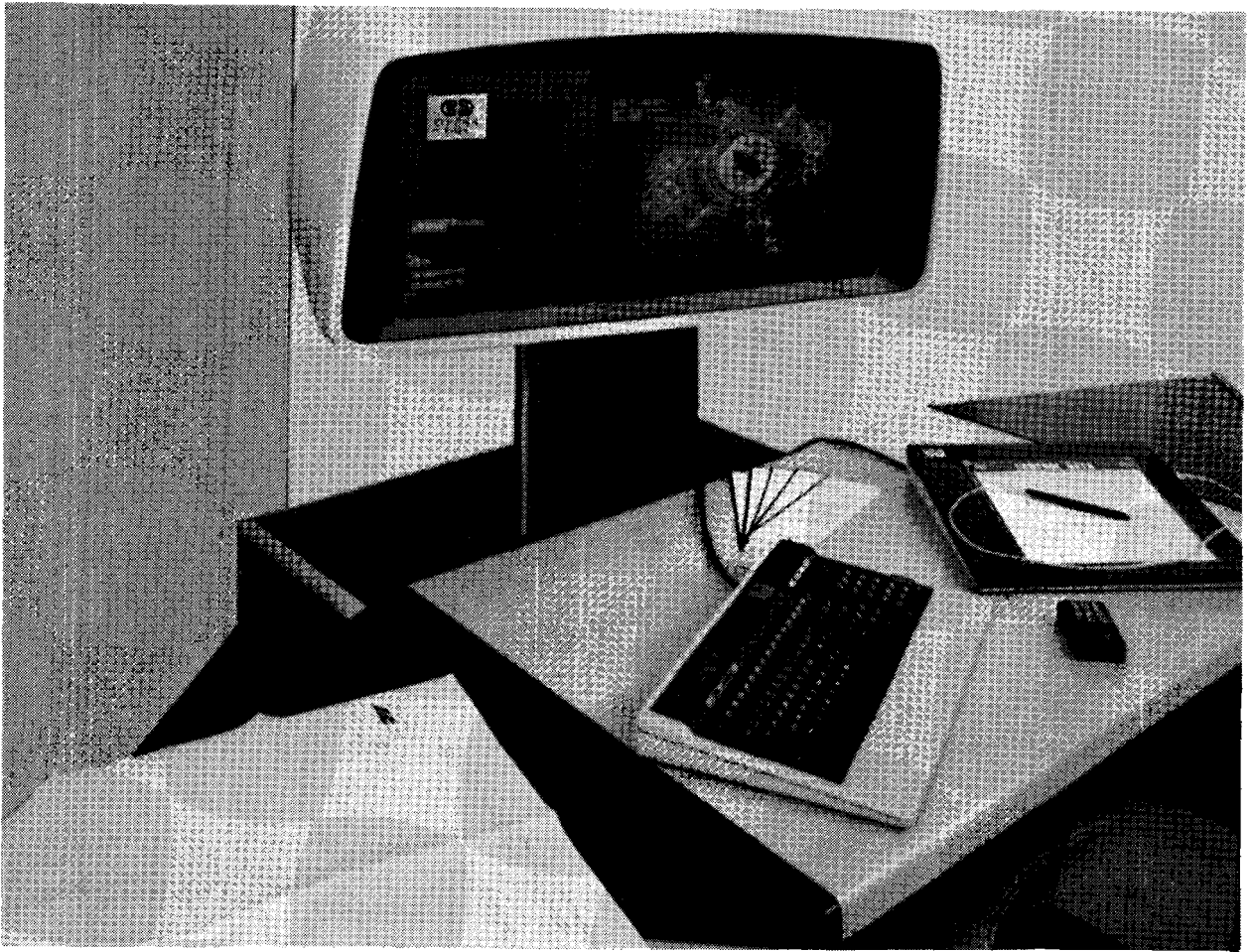
- grote orders beter op tijd geleverd worden,
- de vervangingsmarkt beter voorzien kan worden,
- de voorraadkosten aanzienlijk kleiner zijn geworden.

Een probleem dat met het MRP systeem niet op te lossen valt is dat van de assemblage. Door de toleranties in het produktieproces is het noodzakelijk dat de onderdelen "gematched" worden, bij assemblage. De buffervoorraden die hiervoor nodig zijn, zijn met het MRP programma niet te bepalen. Buffervoorraden blijven in dit geval noodzakelijk.

4.6. Advies van SKF:

Zij hebben ongeveer 10 manjaren gestoken in het ontwikkelen van hun MRP programma. Inmiddels zijn er voor veel minder geld betere programma's beschikbaar.

Volgens hen is het verstandiger om een softwarepakket te kopen bij een onafhankelijk softwarebureau i.p.v. het aan te schaffen bij een hardware fabrikant.



CAD/CAM

By all means don't say "If I can",
say "I will".
Determine that the thing can and
shall be done,
and then we shall find the way.

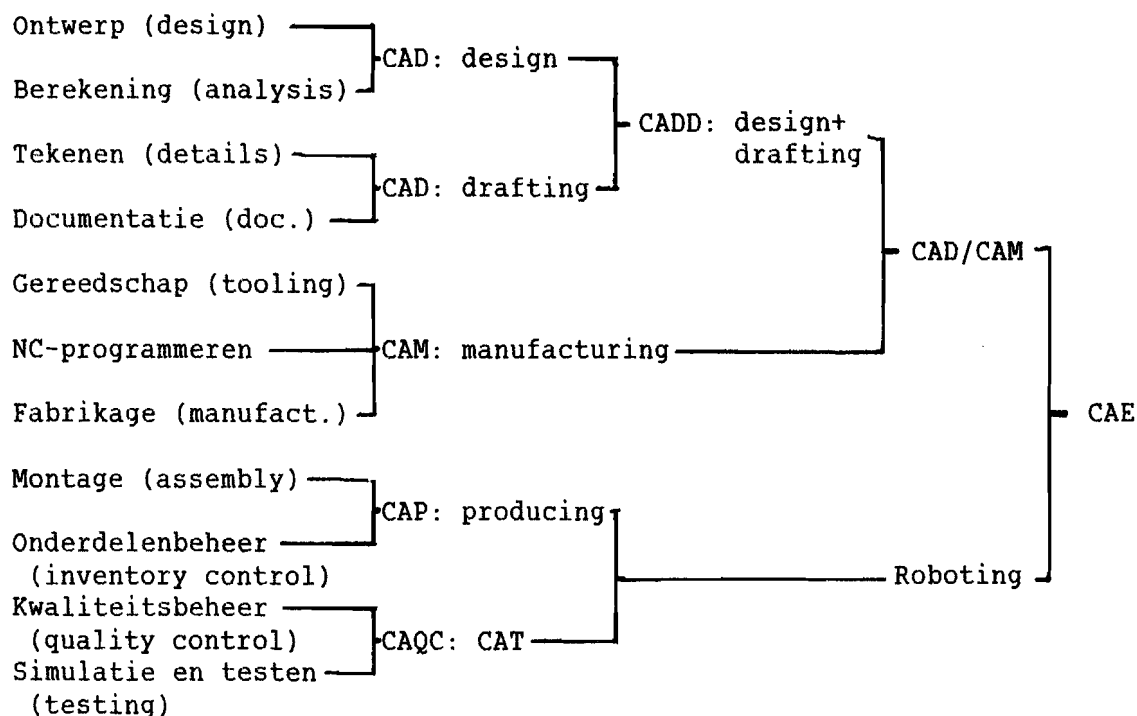
Abraham Lincoln

Inhoud

	blz.
1. Voorstudie:	
-Inleiding	136
-De benodigde hardware in de CAD	137
-Software van CAD en CAM systemen	147
-CAD in het ontwerpproces en op de tekenkamer	149
-Economie van CAD/CAM systemen en infrastructuur	153
-Gevolgen van het toepassen van CA-technologieën	154
2. Resultaten studiereis:	
-Inleiding	158
-General Motors Technical Centre	159
-Eaton Engineering & Research Centre	161
-McAuto	162
-N.B.S.	166
-Bendix Machine Tool Corporation	167
-SDRC	169
-Lehigh University	173
-Cincinnati Millacron	175
3. Aanbevelingen voor de Nederlandse industrie	176
4. Eindconclusies	179

1. VOORSTUDIEINLEIDING

Een precieze omschrijving van het begrip CAD/CAM te geven is, evenals een juiste definitie te formuleren, nauwelijks mogelijk. Echter, CAD/CAM is een deelgebied van het alles omvattende CAE : Computer Aided Engineering. Het volgende overzicht geeft de plaats van CAD/CAM weer, waardoor toch een bepaalde afbakening duidelijk wordt.



Nadruk bij CAD/CAM ligt op de A: de computer is slechts een hulpmiddel. CAD is ontstaan als een "special purpose" rekenprogramma d.w.z. de nadruk ligt op het berekenen van constructies. Eén programma kon slechts één onderdeel, b.v. vliegtuigvleugel of scheepsschroef, berekenen. Deze rekenprogramma's werden ontwikkeld in technisch hoog ontwikkelde industriën en universiteiten waar men voldoende kennis en geld ter beschikking had. Ook waren nog grote computers vereist. Tegenwoordig echter zijn CAD/CAM systemen ook bereikbaar voor kleinere bedrijven, vooral omdat de computer (hardware) goedkoper en krachtiger geworden is. Redenen waarom CAD/CAM nu voor een groter "publiek" bereikbaar is:

- hardware wordt goedkoper, vooral geheugens,
- hardware wordt krachtiger (8 bits, 16 bits, 32 bits),
- computer wordt kleiner mini, micro,
- verbetering van invoer-media, lichtpen, tablet e.d.,
- grafische representatie op beeldscherm mogelijk (3D-techniek),
- betaalbare plotters,
- software wordt uitgebreider,

- software wordt gebruiksvriendelijker, betere training en cursussen, ook communicatie met machine via lichtpen en tablet, "3D"-weergave,
 - turnkey systemen beschikbaar (direct klaar voor gebruik) en
 - computer wordt reeds in opleiding geïntroduceerd,
- Verder geeft onderstaande tabel een overzicht van de invloed van CAE op de diverse disciplines.,

De invloed van CAE op verschillende ingenieurswerkzaamheden

Werkzaamheden	CAE-toepassingen
Produktplanning	Simulatie van de produktie, opdrachtanalyse, financiële analyse
Ontwerpen en analyse	Eerste conceptueel ontwerp, oppervlakte-definitie, lay-out, eindige-elementen-analyse, warmte-analyse, tolerantie-vaststelling, interferentie-analyse
Tekenen, onderdelen	Produktie van tekeningen, opdrachten voor NC-machines, positionering snijwerk
Enkelstuks-fabricage	Herontwerp, routing, gereedschapplanning, toepassing groepen technologie
Industriële produktie	Standaardisering van arbeids- en machinetijd, analyse machine-benutting
Infrastructuur	Lay-out van fabrieken en gereedschappen, ontwerp gereedschappen
Bewaking	Kwaliteitscontrole, meten coördinaten programmering machines, foutenanalyse

Een schets van de mogelijke invloed van de computer en het vakgebied van computer-aided engineering op de ingenieurspraktijk. De in de tabel aangegeven mogelijkheden zullen echter niet een twee drie gerealiseerd worden.

Tabel 1. de invloed van CAE op verschillende ingenieurswerkzaamheden.

DE BENODIGDE HARDWARE IN DE CAD

Inleiding

Een CAD-systeem bestaat uit een mini- of microcomputer met de daarbij behorende randapparatuur en de programmatuur. Bij de keuze van de hardware moet men dat systeem vooral bekijken op de mogelijkheid van interaktief werken en op de betrouwbaarheid van het systeem. Dit laatste wordt bevorderd doordat de laatste trends zich richten naar kleinere, weinig plaats innemende eenheden met weinig werkstations. De hier direkt mee verbonden voordelen zijn tweërlei:

1. de aanschafprijs ligt lager
2. bij het uitvallen van een apparaat zijn niet direkt alle werkstations buiten werking.

Op het moment wordt gewerkt aan een betere ergonomische opbouw van deze werkstations. De huidige werkstations bestaan uit een grafisch beeldscherm, een toetsenbord en een menutab. Daarnaast staan meestal nog opgesteld: een alfanumeriek beeldscherm, een hard-copy eenheid en eventueel een digitizer. De plotter staat meestal apart opgesteld.

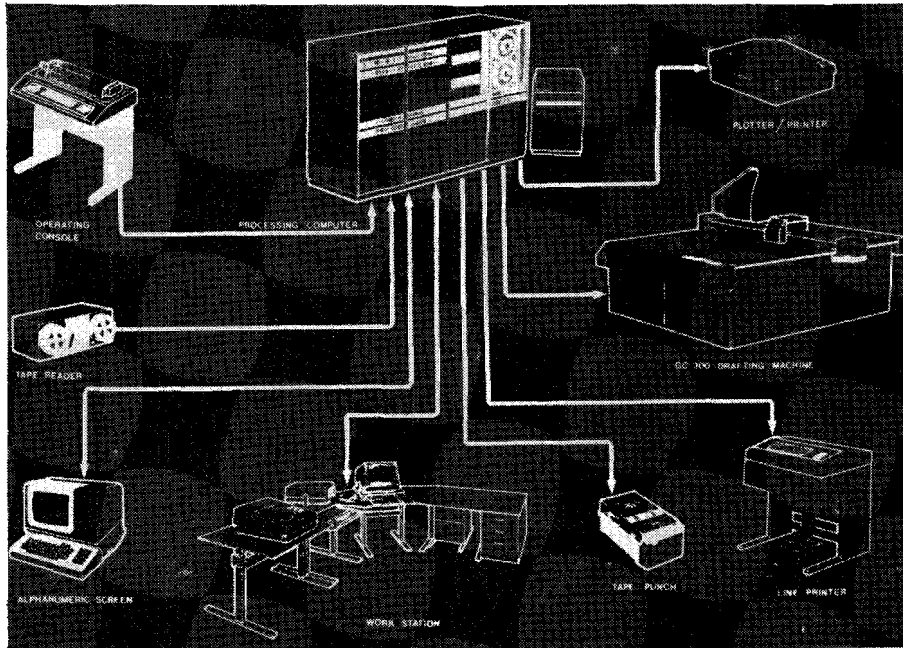


fig. 1. hardware van een CAD-systeem

Achtereenvolgens zullen beschreven worden:

1. Rekensystemen
2. Invoersystemen
3. Uitvoersystemen
4. In- en uitvoersystemen
5. Databuffers

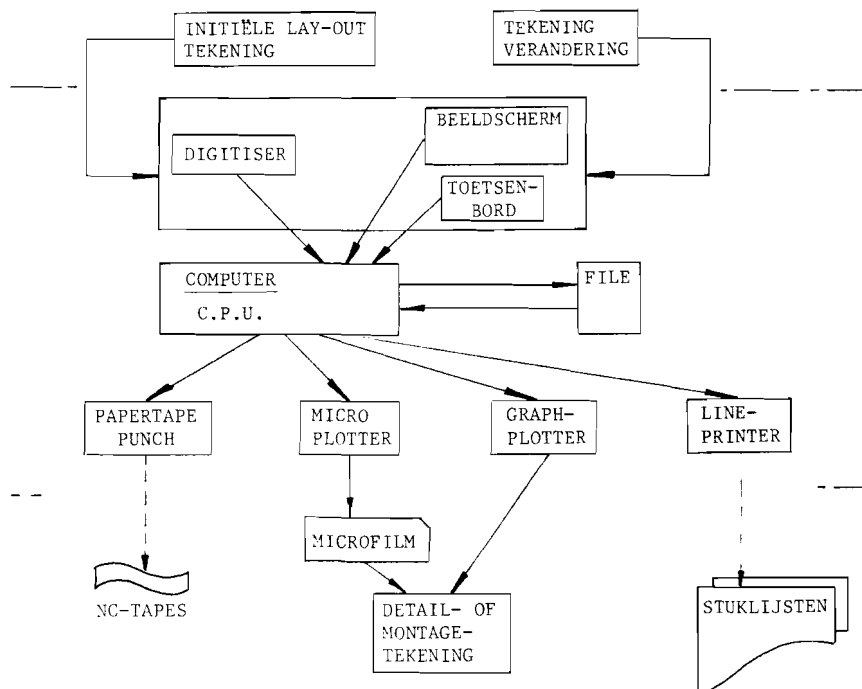


fig. 2. hardware van een CAD-systeem schematisch weergegeven

Rekensystemen

De eerste CAD/CAM-pakketten lieten zich alleen verwerken op grote computers. Naderhand werden de programmasystemen geschikt voor minicomputers, welke toendertijd opgebouwd waren rond 16-bitsprocessoren. Door de ontwikkeling van 32-bits rekenmachines bestaat de mogelijkheid ook uitgebreide CAD/CAM-programma's op minicomputers te verwerken. De grens tussen micro- en minicomputers verdwijnt bij zulke applicaties volledig.

Enkele 32-bits processoren zijn de Motorola 68020, National 16032 en de aangekondigde Zilog Z 80000. Het voornaamste voordeel van het werken met de zgn. dubbele woordbreedte (32 bits) is de hogere verwerkings-snelheid. De adresseringsmogelijkheden nemen toe alsmede de mogelijkheid tot verwerking van complexere programma's, bijvoorbeeld in hogere programmeertalen. De meeste fabrikanten bieden een hele familie aan van 32-bits computers. De software is in vele gevallen uitwisselbaar binnen zo'n familie wat doorgroei naar meer werkeenheden of meer grotere eenheden minder kostbaar maakt. Overstappen op een ander systeem blijft altijd een groot probleem.

Invoersystemen

De tekening die we op het beeldscherm willen zien kan op twee manieren ontstaan; door het invoeren van een bepaalde tekening via een digitizer of door het uitwerken van de gedachte van de constructeur op een grafische terminal.

Een tekening kan op verschillende manieren in het systeem gebracht worden:

1. Via het alfanumerieke toetsenbord.
Hiermee kunnen niet alleen niet-grafische data ingevoerd worden, maar kan ook een cursor bewogen worden.
2. Via een zgn. lichtpen kunnen we rechtstreeks op het refresh-beeldscherm tekenen. In de punt van de pen zit een lichtgevoelig element. Per refreshcycle (elke 1/50 s) wordt het element belicht door het scherm. Door de hieraan verbonden schakelingen wordt het op het scherm aangestipte puntje opgenomen in het geheugen en per cycle opgelicht. Op deze manier kan men dus een lijn tekenen.
3. Via een menutablot met een stift. Door met de stift bepaalde voorgedefinieerde hokjes op de tablet, de menu's, aan te tippen wordt automatisch op de aan dit hokje toegekende functies overgegaan. Het is een voordeel als gelijktijdig met het aantippen van de menu's op het alfanumerieke scherm de functies toegelicht worden. Dit neemt de constructeur veel werk uit handen. De tablet is opgebouwd uit een draadrooster, waarbij door het plaatselijk drukken een kleine capaciteit tussen stiftpunt en rooster ontstaat. Hierdoor wordt de positie van de stift eenduidig vastgelegd. Het oplossend vermogen van de tablet is 0,1 mm, wat betekent dat er bij een gangbaar formaat als A4 ongeveer 6 miljoen onderscheidbare punten zijn. Het voordeel van een menutablot is, dat eigen functies gemakkelijk definieerbaar zijn. Een variant op het losse menutablot is het projecteren van het menutablot op het beeldscherm. Hiertoe wordt een draadrooster onzichtbaar boven op de beeldbuis aangebracht. Door het met

de vinger indrukken ontstaat een kontakt, dat via de aansturingselektronika van de buis verwerkt kan worden. De opbouw van dit menutabiet geschiedt door de software van een programma.

4. Via een funktietoetsenbord. De werkwijze is te vergelijken met het menutabiet, waarbij in plaats van een stift en draadrooster een drukknop wordt ingedrukt, die een ingebouwd lampje laat oplichten om aan te geven dat het signaal doorgeleid is.
5. Via een stuurknuppel, kartelwielletjes of een zgn. "trackerball" is een tekening aan te passen die reeds in het systeem zit. Hiertoe wordt een kruisdraad over het scherm verschoven tot bepaalde punten, waarna bepaalde instructies gegeven kunnen worden.
6. Via een digitizer is het mogelijk bestaande tekeningen punt voor punt in het systeem in te voeren. Deze zeer precieze apparaten hebben een oplossend vermogen tot 0,025 mm. Dit apparaat bestaat uit een platte tekentafel waarop capaciteef of inductief gemeten posities elektronisch worden verwerkt. Het probleem is echter dat lijnen enkel als een serie punten bemerkt worden.

Bij de verschillende fabrikanten treft men deze systemen aan. Bij Kongsberg kan men de eerste methode zien, bij Aristo de derde, terwijl Mc Auto met het aparte funktietoetsenbord werkt. Stuurknuppels en digitizers zijn bij de meeste systemen nog extra aan te koppelen. Wat betreft de toekomst kunnen we de invoermogelijkheden via mondelinge opdrachten, via spraakverwerkers dus, via videocamera's en 3D-meetmachines verwachten.

Uitvoersystemen

Stel: we hebben de tekening opgebouwd in de rekenmachine. Deze kunnen we via berekeningen testen en via simulaties beproeven. Dan willen we, na verloop van tijd, toch werktekeningen hebben om het produkt te kunnen maken. Denkt men dat in de toekomst ook in de werkplaats een beeldscherm zal worden geïnstalleerd, de realiteit is dat we nog altijd tekeningen nodig hebben voor de aanmaak van NC-ponsbanden of andere databuffers ten behoeve van NC-machines. We kunnen tekeningen uit laten plotten op verschillende plotters, maar we kunnen ook via een normale televisie-monitor of via een filmplotter de tekening zichtbaar maken.

De plotters zijn te onderscheiden in electromechanische en electrostatistische. Hiernaast zijn de Ink-Jet plotters, laser plotters, filmplotters en hardcopy-units bekend.

De electromechanische plotters werken met pennen die over het papier bewegen. We kennen:

1. De drumplotter, waarbij het papier over een roterende trommel loopt. Samen met de loodrechte beweging hierop van de pennen krijgen we dus de mogelijkheid krommen te tekenen, echter slechts in een beperkt aantal richtingen. De curven worden opgebouwd uit stappen van 0,1 mm of 0,2 mm. De kwaliteit voor werktekeningen is redelijk, maar de tekeningen zijn niet zo netjes. Drumplotters hebben twee voordelen: de relatief hoge snelheid waarmee getekend wordt en de mogelijkheid "oneindig" lange tekeningen te maken.
2. De flatbed-plotter, waarbij op een tafel een papiervel wordt gelegd. Hierover kan een wagen met pennen bewegen. Het oplossend vermogen bedraagt tot 0,025 mm, wat beduidend nauwkeuriger is dan wat de drumplotter kan. Voor technische tekeningen zijn plotters van formaat A1 en A0 gebruikelijk. Grotere machines tot

2m X 7m zijn ook leverbaar. Herhalingsnauwkeurigheden zijn, volgens de fabrikant tot 0,025 mm mogelijk. Voorgedrukte tekenvellen kunnen heel precies gepositioneerd worden. Een nadeel van de flatbed-plotters is de tekensnelheid. Hier komen we later nog op terug.

3. Bij de electrostatische plotter wordt een electrostatisch gevoelig vel papier tussen electroden en de schrijfkoppen doorgevoerd. Bij spanningsdoorgang gedurende korte tijd wordt lading overgedragen overeenkomstig de grafische structuur. Hierna wordt het ladingsbeeld door een chemische vloeistof, zgn. toner, gezwart en gefixeerd. Deze plotters kunnen desondanks toch tien maal zo snel werken als de electromechanische plotsystemen. Net als bij de drumplotter wordt ook hier het papier over een trommel geleid, wat "oneindige" tekeningen mogelijk maakt.
4. Een moderne ontwikkeling is de Ink-Jet plotter, die kleurenplaatjes kan maken. In verschillende flacons zijn de gewenste kleuren voorhanden die door aangepaste sproeiers op het papieroppervlak gebracht worden.
5. Laserplotters bieden een heel groot oplossend vermogen, dit speelt bij het ontwerpen van electronische componenten een grote rol.
6. Filmplotters leggen de tekeningen vast op film, waarvan microfiches gemaakt worden.
7. Een speciale plotter is de zgn. hardcopy-unit, waarmee de inhoud van beeldschermen kan worden afgedrukt op A4-formaat.

Zoals genoemd bij flatbed-plotters is het nadeel de tekensnelheid. Bij andere plotters treedt dit verschijnsel ook in meer of mindere mate op. Daarom is het overwegen waard om plotters "off-line" te gebruiken. Hierbij wordt een deel van de grafische software naar de grafische stuurapparatuur overgebracht. De voordelen van deze methode zijn:

- a. de hoeveelheid computergeheugen nodig voor verwerking wordt kleiner,
- b. de "process-time" kan gereduceerd worden en
- c. door geschikte structurering van de data kan dataverwerking efficiënter geschieden.

Bij "off-line" systemen wordt na verwerking de data opgeslagen op magneetband of andere media. Op een ander tijdstip kan deze data door de plotter opgevraagd worden ter verwerking. Zo kunnen 's nachts de tekeningen vervaardigd worden, terwijl overdag de computer geheel beschikbaar is voor verwerking van rekenprogramma's.

In- en uitvoersystemen

Zowel voor interactieve grafische input- als output-procedures is een grafische terminal nodig, die veel sneller werkt dan een plotter. Het belangrijkste onderdeel hieruit is het beeldscherm, in het engels "cathode-ray-tube" (CRT).

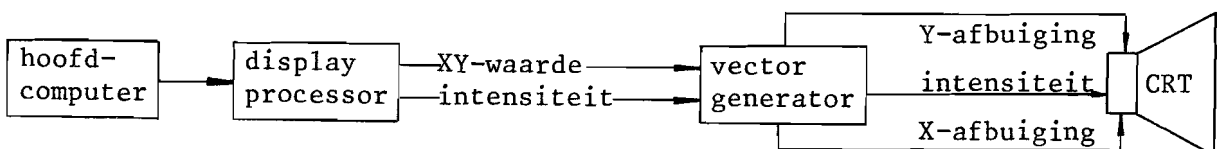


fig. 3. in- en uitvoer van grafische gegevens m.b.v. een beeldscherm

We kennen voor beeldschermen twee afbuigtechnieken, ook hier weer electromagnetisch en electrostatisch. Gezien de eerste methode roept deze een kleinere spot op, wordt dit scherm beter adresseerbaar, gevoeliger en sneller. In CAD-schermen treft men dan ook alleen electromagnetische afbuiging aan. Bij een vectorbeeldscherm wordt de electronenstraal direkt gestuurd, terwijl bij een rasterbeeldscherm een deelmatige afbuiging met een contrast-sturing van bepaalde rasterpunten geschiedt.

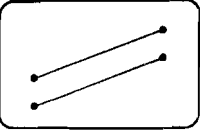

Ablenk- Technologie → Bildröhren- Technologie ↓	Vektor  Direktablenkung	Raster  Zeilenablenkung
Bildwiederholröhre („Refresh“-Technik)		
Speicherbildröhre („Storage-Tube“-Technik)		

fig. 4.verschillende soorten beeldschermen en afbuigtechnieken

Voor de beeldbuizen kennen we daarnaast drie soorten: de refresh-beeldbuizen, de storage-buis en de storage-refresh buis. De laatste is een buis, waarin getracht wordt de voordelen van de twee andere systemen te combineren.

Bij de refresh buizen worden de vectoren in het algemeen 50 maal per seconde op het beeldscherm herhaald weergegeven, om een flikkervrij beeld samen te stellen. Het voordeel zit hierin, dat een hoge mate van interactie mogelijk is. Het flikkeren, wat vooral bij complexe tekeningen optreedt, wordt als groot nadeel beschouwd.

Bij de storage buizen wordt een fosforlaag beïnvloed, waardoor deze, tot ca. 1 uur na de beeldvorming licht uitzendt. Het beeldscherm kan zeer exact werken, maar is echter trager bij veranderen van tekeningen. In zo'n geval moet de gehele tekening opnieuw afgebeeld worden. Een ander nadeel is de contrastarme weergave, waardoor in liefst weinig verduisterde ruimten gewerkt moet worden.

Een oplossing voor de genoemde problemen heeft men getracht te vinden in de zgn. storage-refresh tube. Hierbij werkt een deel in refresh vorm, nl. het onderhanden werk, terwijl de andere delen in de storage vorm werken.

Een andere oplossing wordt gevonden door de toepassing van een "multiplexer", waarbij de besturing geschiedt door de computer zelf waardoor overdracht van grafische informatie behoorlijk versneld wordt.

Het probleem bij rasterschermen is het oplossend vermogen. Deze schermen worden in punten aangestuurd, waardoor afhankelijk van de buis meer of minder trapvormige lijnen ontstaan. Via software heeft

men getracht het oplossend vermogen schijnbaar te vergroten. Het oplossend vermogen kan verhoogd worden door een verbetering van de hardware. De wensen voor grotere geheugenruimten kunnen bevredigd worden door een dalende prijs van deze hardwarecomponenten. De toekomst ligt dus geheel open voor de rasterbeeldschermen. De toekomst van het rasterbeeldscherm wordt nog meer zeker gesteld door de mogelijkheden kleuren toe te passen bij het ontwerpen.

De huidige kleuren rasterbeeldschermen hebben een grootte van 1200 x 1200 punten. Als minimale eis voor grafische CAD-beeldschermen worden groottes genoemd van 1000 x 1000 punten, wat betekent dat op het moment kleur nog niet interessant is. Zwart-wit schermen hebben op het moment tot 8192 x 8192 punten voor heel grote systemen beschikbaar.

Kleurenbuizen werken met drie kanonnen voor de drie hoofdkleuren rood, groen en blauw. Door menging ontstaan meer kleuren. Voor de technisch grafische weergave heeft men een betere buis nodig dan in de normale TV-ontvanger. Door de betere weergave en lagere kosten ligt op het moment de Precision-In-Line-buis (PIL) beter in de markt dan de raster-scanning-color-graphics-systemen. Ook deze hebben problemen met het oplossend vermogen.

De huidige buizen worden gekenmerkt door een fosforlaag, waarvan bepaalde plaatsen gevoelig zijn voor bepaalde kleuren, of met andere woorden die slechts door een bepaald kleurenkanon beïnvloed kunnen worden. De intensiteit van de drie kleuren wordt gestuurd vanuit de "refresh-controller". De frame buffers waarin de grafische gegevens opgeslagen zijn, hebben drie velden elk, voor iedere primaire kleur één.

De hoofd-CPU kan bij kleurenweergave zowel de intensiteit als de kleur specificeren. Voor "full color" heeft men echter drie keer zoveel bits nodig als voor zwart-wit, dus dan heeft men per picture-element ("pixel") 18 tot 24 bits nodig. De prijs is er naar! Daarom werkt men op het moment liever via color-maps, geheugens waar kleurencombinaties gespecificeerd staan. De frame-bufferwaarde wijst een bepaald adres aan in de "color-map", die de "kleuren" op dat adres doorgeeft aan de digitaal/analoog converter van de electronenkanonnen.

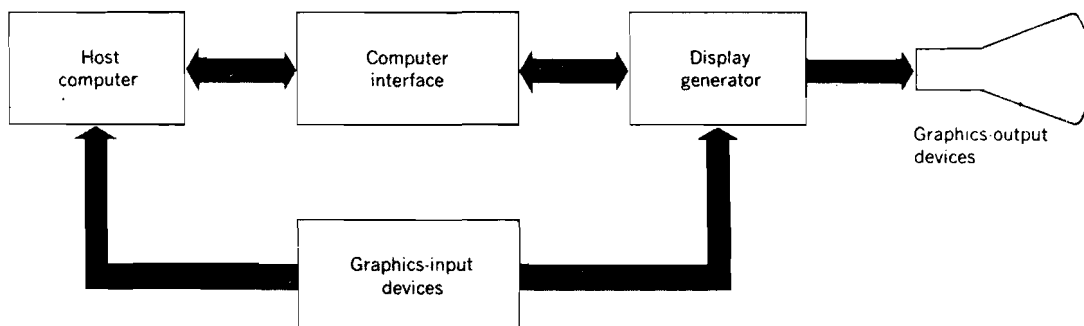


fig. 5.verloop van in- en uitvoergegevens

Tot slot nog een opmerking over de gewenste display kenmerken zoals deze door een Tektronix-marktonderzoek gevonden zijn.

Display feature requirements for graphics applications.

FEATURE	CAD/E	CAM	CART	MIS	OAC	CAI
SCREEN SIZE	4	3	5	2	4	5
BRIGHTNESS	2	4	3	2	4	4
CONTRAST RATIO	2	3	3	2	4	4
COLOR CAPABILITY	1	1	4	3	5	2
GREY LEVELS	1	1	0	0	3	3
LINE QUALITY	5	3	5	1	1	1
SELECTIVE ERASE	4	2	4	0	1	1
PICTURE DYNAMICS	3	1	0	0	2	3
FLICKER FREE CONTENT	5	4	5	2	2	2
PRICE	2	3	2	4	2	5
TYPICAL MTBF	4	4	4	4	5	4
HARDCOPY	5	5	5	5	2	2
RESOLUTION	5	3	5	2	2	2
AREA FILLING	2	2	4	4	4	3
MEMORY COST/BIT	2	3	2	4	2	5

Key: 5 Critical
 4 Necessary, but can be compromised
 3 Important, but not necessary
 2 Would enhance operation, but not necessary
 1 Nice to have, but no enhancement
 0 No need or desire for this

Source: Tektronix Information Display Marketing Studies

tabel 2. gestelde eisen aan displays voor grafische toepassingen

Databuffers

In de voorgaande hoofdstukken is ingegaan op de verwerkings- en transporteenheden. Hierbij was er steeds sprake van buffers die behoorden bij bepaalde processoren. In deze geheugens stond de programmatuur voor de processoren.

Voor de opslag van tekeningen worden andere apparaten gebruikt, zoals disc- en tapedrives. De data wordt hierbij gecodeerd opgeslagen volgens bepaalde systemen. Door plaatsen op het medium al dan niet te magnetiseren wekt men fluxveranderingen op in de spoeltjes in lees- en schrijfkoppen.

Enkele codes zijn:

NRZI (non-return to zero one or non-return to zero invert)

PE (phase-encoding)

FM (frequency-modulation)

Deze codes worden gebruikt om zgn. bitcellen te activeren op het medium.

We kennen als opslageenheden:

- a. Discs. Dit zijn schijven van aluminium met daarop een coating van magnetiseerbaar materiaal. In het apparaat wordt de schijf continu rondgedraaid. De koppen om te lezen en te schrijven staan dicht bij het schijfoppervlak maar raken deze niet. Zodoende wordt slijtage vermeden, maar is de overdracht van data slecht. Men kiest daarom voor de systemen met flying-head. Door de rotatie van de schijf onder de stilstaande kop wordt deze laatste door de wind opgetild tot een hoogte van 0,5 tot 3 um. In de zgn. Winchester-drives kan de kop dalen en stijgen op een, overigens gesmeerde, disc. Hierdoor kan een kleinere "vlieghoogte" aangehouden worden, hetgeen de mogelijkheid biedt

meer data op de disc te bewaren. Er is hierbij wel grotere precisie vereist in de geleiding van de kop.

Bij discs is er een onderscheid te maken tussen fixed-head en moving-head configuraties. Bij de laatste is het mogelijk discs uit te wisselen.

- b. Floppy-discs. Deze schijven hebben een kleinere diameter (19,7 cm) dan de grotere discs (38 cm) en zijn flexibel. De schijf wordt minder snel geroteerd. De koppen raken de schijf nooit, behalve bij lezen en schrijven. Oorspronkelijk was slechts één zijde beschikbaar, nu is dubbelzijdig gebruik mogelijk. De koppen zijn als moving-head uitgevoerd, die door een "heli-drive" met een stappenmotor ge-positioneerd worden. De zgn. "discettes" zijn uitwisselbaar, om de laag te beschermen zit deze schijf in een plastic omhulsel met alleen gaten voor de koppen en voor de aandrijving.
- c. Mini-floppy's. Deze hebben een diameter van 12,7 cm en zijn eveneens flexibel. De snelheid is nog lager, evenals de capaciteit die omtrent het kwart is van een normale floppy. De prijs is echter het laagst. Een nog nieuwere ontwikkeling is de mini-disc met een diameter van 3,5 i.p.v. 5 inch.
- d. Tapes. Per spoor is hier een lees- en schrijfkop aanwezig. De breedte is 0,5 of 1 inch, bij een spoeldiameter van 10,5 inch.
- e. Cassettes.
- f. Digitale cassettes, de zgn. Cartridges. Terwijl cassettes tot 1 Mega bytes kunnen opslaan, kunnen cartridges dit tot het twintig-voudige.

De codering op discs is vnl. PE-code, terwijl op floppy's en mini's FM-codering favoriet is. Voor tapes wordt vooral de NRZI-code gebruikt.

Cassettes en cartridges kunnen als een interessante ontwikkeling gezien worden, mede als een soort vervanging van de NC-tape.

De apparatuur wordt bestuurd vanuit tape- en disccontrollers die typische instructies kunnen geven ten behoeve van de adressering en de bediening.

Een kritisch punt bij zowel discs als tapes is de manier van opslag van gegevens. De reeds genoemde vlieghoogte staat in geen verhouding tot de vervuilingmogelijkheden. Vingerafdrukken of sigarettenas laten al twee keer de vlieghoogte zien als kenmerkende grootte. Extreme zuiverheid is dus geboden. Na verloop van tijd wordt de magnetiseringsgraad van de schijf of band minder. In dat geval is herschrijven noodzakelijk. Voor de toekomst kunnen we optische lees- en schrijfmiddelen als beeldplaten met laseraftasting tegemoet zien.

Tabel 3 geeft een overzicht van de algemeen gangbare computer-graphics terminologie.

Many computer-graphics phenomena are perceived subjectively, and definitions of commonly used terms may vary somewhat among manufacturers and users. The terms defined in this section relate to a number of fundamental graphics concepts that play key roles in computer-graphics systems (see illustration).

Color—Embodies the characteristics of light, other than brightness or luminance, by which a human observer may distinguish between two structure-free patches of light of the same size and shape.

Cathode-ray tube (CRT)—An electron-beam tube in which the beam, or beams, can be focused to a desired cross section on a surface and varied in position and intensity to produce a visible or otherwise detectable pattern.

Display generator—An electronic device that interfaces computer-graphics display information with a graphics-display device. Typically, the interface is made between a digital computer and a CRT. In general, a display generator for raster-scan display contains four subsystems: display controller, display processor, refresh memory, and video driver.

Display processor—A component of the display generator used to add "intelligence." Typically, the device is a microcomputer with stored programs that perform high-level graphics functions.

Flicker—The sensation of image intermittence or of brightness or color variation. Flicker occurs when the frequency of the observed variation is less than the screen's *flicker fusion frequency*.

Kell factor—A deficiency inherent in the scanning process of analog television data converters that effectively reduces the number of raster-scan lines by about 30 percent. Since the scanning beam is of finite dimensions, and the input information is applied independently of the scanning beam, the beam misses information elements smaller than a certain size.

Pixel—Picture element, a term used to describe the information contained in one unit of display surface.

Raster—A predetermined regular pattern of scanning lines that provides substantially uniform coverage of an area.

Refresh—Repeated writing of display frames on the CRT display surface. Since the image is retained by nonstoring phosphor for only short intervals, it must be continually rewritten (refreshed) in order to remain visible.

Resolution—A measure of ability to delineate picture detail; also, the smallest discernible or measurable detail in a visual presentation. Resolution may be stated in terms of modulation transfer function, spot diameter, line width, or raster lines.

Spectral characteristic—The relation, usually shown by a graph, between the emitted radiant power per wavelength interval and the wavelength.

Spot—The smallest luminescent area of the screen surface instantaneously excited by the impact of an electron beam.

Spot distortion—Undesirable asymmetry or defect in the spot shape.

Storage CRT—A CRT that can retain a visual image for some length of time so that it is not necessary to refresh to avoid flicker. Thus, the picture can be written at a slower rate. The absence of refresh eliminates the refresh memory, and reduces display-deflection and video-bandwidth requirements. The resultant system is available at a price below that of most other systems. However, it does have deficiencies such as low luminance and contrast, and the need to rewrite an entire picture if any element is changed.

Time of persistence—The time that elapses between the instant of removal of the excitation and the instant at which the luminance or radiance has dropped to a stated fraction of its initial value, usually 10 percent.

Trace line—The visible or recordable path traced on the screen by a moving spot.

tabel 3.definitie van computer-graphics jargon

Software van CAD en CAM systemen

Allereerst iets over CAD. In de inleiding is reeds genoemd dat er verschillende criteria zijn waarom een bedrijf een CAD/CAM pakket aan zal schaffen. De eisen aan de software zijn dan ook grotendeels hiervan afhankelijk. We onderscheiden 3 gevallen:

1. tekenprogramma's
2. rekenprogramma's
3. een compleet systeem, rekenen en tekenen.

Indien we de bestaande in de handel zijnde CAD pakketten bekijken, blijkt het merendeel uit zuivere tekenprogramma's te bestaan. De nadruk ligt vooral op het eenvoudig en snel invoeren van de tekening. Ook de uitvoer via de plotter is belangrijk, maar verwerking en herberekening speelt geen rol.

ad 1. Tekeningprogramma's leiden tot zekere randapparatuur zoals een grafisch beeldscherm, een lichtpen of tablet met pen en een plotter. Al het tekenwerk dat tot nu toe met de hand gedaan werd moet sneller en eenvoudiger kunnen m.b.v. de computer, ook reeds bestaande tekeningen moeten eenvoudig in te voeren zijn. Het is dus noodzakelijk dat men over verschillende lijntypes en lijndikten kan beschikken, arcering en maataanduiding moeten zoveel mogelijk automatisch kunnen. Ook andere tekentechnieken zoals het trekken van cirkelbogen en hartlijnen, het maken van afrondingen moeten ter beschikking staan. Een eigenschap van de computer die we goed kunnen benutten, is het feit dat alle reeds bestaande tekeningen direct (snel) beschikbaar zijn. De mogelijkheid om delen van bestaande tekeningen samen te voegen tot een nieuwe, kan tot een aanzienlijke besparing leiden. We kunnen zo een bibliotheek van standaardoplossingen maken. Vroeger was al het geautomatiseerde tekenwerk 2-dimensionaal, twee aanzichten van een zelfde onderdeel werden als twee onafhankelijke tekeningen beschouwd. Tegenwoordig begint er vraag te komen naar 3-dimensionale (3-D) systemen waarbij vanuit b.v. het vooraanzicht het systeemzicht zoveel mogelijk automatisch geconstrueerd wordt. Een wijziging in het ene aanzicht leidt dan tot automatische aanpassing van elk ander aanzicht. In zo'n geval wordt het dan mogelijk een ruimtelijke 3D weergave te produceren. Het 3D weergeven van gekromde oppervlakken is tegenwoordig in ontwikkeling. Er wordt dan gebruik gemaakt van schaduwwerking op een kleurenmonitor, het verwijderen van "onzichtbare" lijnen die achter het oppervlak liggen of het aanbrengen van een raster over het oppervlak. In het bovenstaande verhaal zijn enkele punten genoemd die tot eisen aan de software kunnen leiden, om algemeen een eisenpakket op te stellen is moeilijk. Voordat een bedrijf overgaat tot aanschaf van een CAD systeem moet men goed nagaan wat men eigenlijk nodig heeft, teveel eisen leidt tot dure en gecompliceerde systemen. Aanschaf van een CAD systeem moet daarom eerst voorafgegaan zijn door een onderzoek naar de te stellen eisen en natuurlijk deskundig advies.

Ad 2. Rekenprogramma's zijn b.v. berekeningsmethoden volgens "eindige elementen methode", het kiezen van een lager uit een lagerbestand, berekenen van een as, construeren van een nok e.d.

Ook optimalisatie-programma's behoren hiertoe. Een CAD-systeem voor het zuivere rekenwerk stelt minder eisen aan de invoermogelijkheden; arceringen, maatlijnen e.d. zijn niet nodig. Meestal wordt er gerekend aan een bestaand ontwerp dat op tekening staat of afkomstig is van een ander deel van het CAD-systeem. Een rekenpakket bestaat vaak uit een aantal losse programma's die elk hun eigen invoer hebben en geheel onafhankelijk van elkaar zijn. Het veranderen van een aslengte leidt dan tot het opnieuw aanroepen van de asberekening, lagerkeuze, nokberekening etc. Als gebruiker zou men willen dat alle consequenties van een verandering ook meteen in de hele constructie doorwerken. Helaas is zo'n systeem nog vere toekomst. Ervaring van de constructeur zal een belangrijke rol blijven spelen bij het construeren en wijzigen. Zoals genoemd is invoer bij een rekenprogramma meestal beperkt, de nadruk ligt op het rekenproces en de uitvoer van resultaten. De resultaten zijn namelijk in de vorm van getallen die moeilijk te interpreteren zijn. Het is daarom gewenst de resultaten op een "gebruikersvriendelijke" wijze weer te geven. De uitvoer moet bestaan uit grafieken, plaatjes van vervormingen en een enkele tabel. Het moet niet zo zijn dat een gebruiker verplicht is alle mogelijke uitvoer door te worstelen, hij wil alleen die uitvoer die hij nodig heeft.

- Ad.3. Als we nu overstappen naar het 3e punt: een combinatie van tekenen en rekenen, dan is het duidelijk dat zowel de teken- als de rekenfaciliteiten aanwezig moeten zijn. Het probleem is de koppeling! Een detailtekening moet eenvoudig als invoer voor een rekenprogramma kunnen dienen. En andersom, een berekend onderdeel moet eenvoudig in een tekening ingepast kunnen worden. Deze koppeling zijn wij in onze voorstudie niet tegengekomen, we hopen in de V.S. toch enkele (toekomstige?) ontwikkelingen in deze richting te vinden.

Tenslotte nog enkele opmerkingen m.b.t. CAM:

- CAM is de koppeling tussen ontwerp en de NUMeriek BESTuurde werktuigen, de navolgende werkvoorbereiding en produktie worden hier buiten beschouwing gelaten. In het onderdeel "Planning en Werkvoorbereiding" wordt dit laatste behandeld.
- Het doel van CAM is het aansturen van de numeriek bestuurd machine, eisen aan de CAM-programmatuur zijn dus grotendeels bepaald door de numerieke besturing. Ook deze Nube is, zoals uit het onderdeel "Machinebesturingen" blijkt, steeds in ontwikkeling. Een van deze ontwikkelingen is het integreren van een "CAM-computer" in de besturing. De geometrie-beschrijving, enkele gereedschaps- en materiaalgegevens zijn dan voldoende om de numeriek bestuurd machine te voeden. Indien deze ontwikkeling zich voortzet kan de CAM grotendeels overgenomen worden door de numeriek bestuurd bank. Het is dan alleen nog noodzakelijk dat het CAD-systeem geometrie-definitie aflevert op ponsband, magneetband of direkt aan de besturing van een machine. Tegenwoordig bestaat de meeste CAM-software uit een aantal losse programma's. Vooral de "APT-taal" en zijn varianten zijn bekend en veel toegepast.
- Integratie in CAD-systemen is beperkt, de meeste CAM-programma's zijn bestaande programma's die onafhankelijk van CAD-systemen

ontwikkeld worden. Terugkoppeling tussen CAD en CAM is niet nodig, het CAD-systeem hoeft alleen de juiste gegevens in de juiste vorm aan het CAM-systeem aan te bieden. De keuze welk CAM-systeem, moet iets b.v. gedraaid of gefreesd worden, is nog een menselijke beslissing.

Voor verdere gegevens wordt verwezen naar de onderdelen:

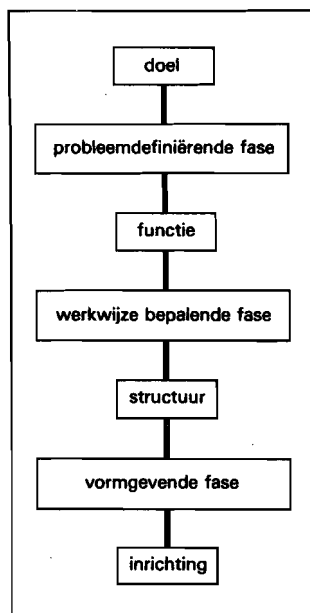
- "Machine Besturingen"
- "Planning en Werkvoorbereiding"

CAD in het ontwerpproces en op de tekenkamer

In het kort zal hier behandeld worden hoe CAD in het ontwerpen kan worden toegepast en wat de invloed hiervan is op de organisatie van de tekenafdeling.

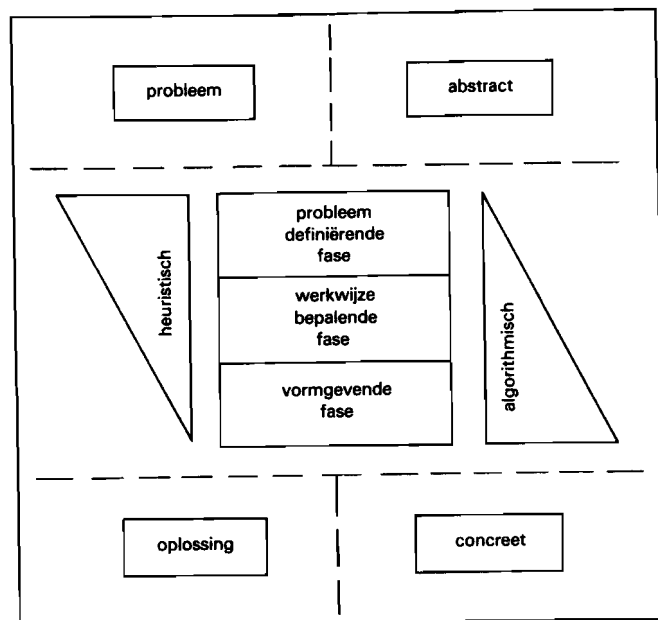
CAD in het ontwerpproces

Het ontwerpproces kan worden onderdeeld in 3 fasen, nl. de probleemdefiniërende-, de werkwijze bepalende- en de vormgevende fase.



methodiek van het ontwerpproces

fig. 6

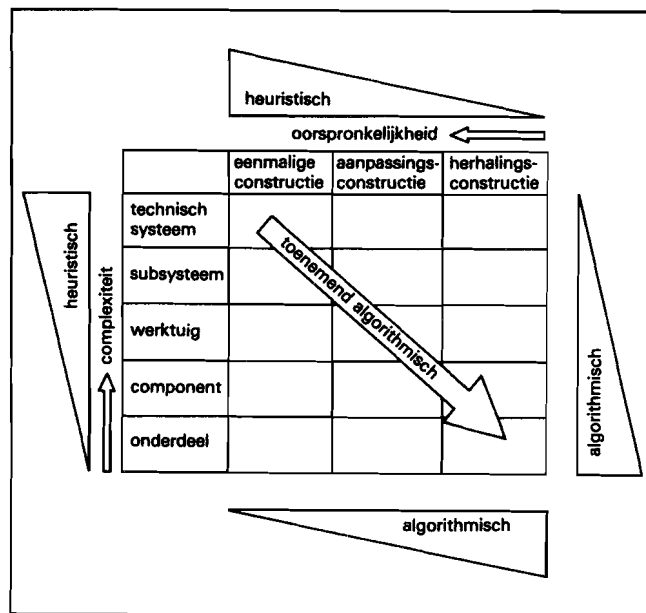


Verdeling van algoritmische en heuristische activiteiten

fig. 7

In iedere fase springt de ontwerper heen en weer tussen twee denkwijzen, nl. de "heuristische"- of "intuïtieve" denkwijze, en een "algoritmische"- of "analytische" denkwijze. Deze laatste denkwijze is rationeel en systematisch en zou derhalve door computergebruik kunnen worden geautomatiseerd. Naarmate het ontwerp meer en meer vorm krijgt tijdens het ontwerpproces, neemt het aandeel van de heuristische denkwijze af en het aandeel van de algoritmische denkwijze toe. Uit bijgaande afbeelding blijkt dat vooral in de vormgevende fase

(en in mindere mate in de werkwijze bepalende fase) de computer een belangrijk deel van de ontwerpwerkzaamheden zou kunnen ondersteunen. Tot en met de eindfase blijft er echter behoefte aan nieuwe ideeën en aan creativiteit; dit zal van de constructeur zelf moeten komen. Bovenstaande gedachtengang heeft in zijn totaliteit betrekking op het ontwerpen van een geheel nieuw produkt. Hiervan zal echter in de praktijk lang niet altijd sprake zijn. Er bestaan nl. verschillende types van constructies, nl. een nieuw ontwerp, een aanpassingsontwerp en een variantontwerp (of herhalingsconstructie).



algoritmische en heuristische ontwerpactiviteiten, afhankelijk van oorspronkelijkheid en complexiteit van het ontwerp

fig. 8

Bij een nieuw ontwerp moet men beginnen met het zoeken naar een principe oplossing en een ontwerpstructuur; hiervoor is een zuiver heuristische denkwijze noodzakelijk.

Voor een aanpassingsconstructie zijn zowel de hoofdfunctie als de principeoplossing bekend, doch d.m.v. constructieve wijzigingen dient het ontwerp te worden aangepast aan nieuwe eisen. Bij het streven naar standaardisering en typeindeling wordt een verzameling variantontwerpen opgebouwd, die allen een identieke ontwerpstructuur bezitten. Het zal duidelijk zijn, dat vooral bij deze laatste categorie de variantconstructie, doch ook bij de aanpassingsconstructie, het gebruik van een computer tot werkelijke voordelen zal leiden; terwijl voor nieuwe ontwerpen het gebruik van CAD een vraagteken zal blijven, of men dient hier een computersysteem te hanteren dat interactief werken toelaat. Er kan dus gesteld worden dat toepassing van CAD produktafhankelijk is en tevens afhangt van de fase waarin het ontwerpproces zich bevindt. De volgende tabel geeft een overzicht van het CAD-karakter als functie van het ontwerp in het proces.

	Karakter van CAD	Deeltaken in ontwerpproces		
		Probleem definiërende fase	Werkwijze bepalende fase	Vormgevende fase
Nieuw ontwerp	hoofdzakelijk optimaliserend/zoekend	opbouw van specificatiebestanden	genereren van/kiezen uit alternatieven voor principe-oplossingen/ontwerpstructuren	dimensionering (rekenkundige analyses) keuze uit materiaal en fabricagemethoden
aanpassings ontwerp	zowel optimaliserend/zoekend als procedureel	mutaties in specificatiebestanden	genereren van/kiezen uit structuuralternatieven binnen gegeven principe-oplossing	dimensionering van nieuwe onderdelen + controle van gehele constructie
variant ontwerp	hoofdzakelijk procedureel	mutaties in specificatiebestanden (beperkt)	genereren van varianten binnen gegeven werkwijze/ontwerpstructuur	dimensionering door wijziging van schaalgrootte en/of hergroepering bestaande onderdelen

tabel 4. karakter van CAD als functie van het soort ontwerp

CAD in de tekenkamer en de gevolgen voor zijn organisatie

Van belang voor de teken- en ontwerpafdeling, is te weten welke werkzaamheden door de constructeur worden verricht. Van 456 ondervraagde constructeurs kwamen de volgende opgaven:

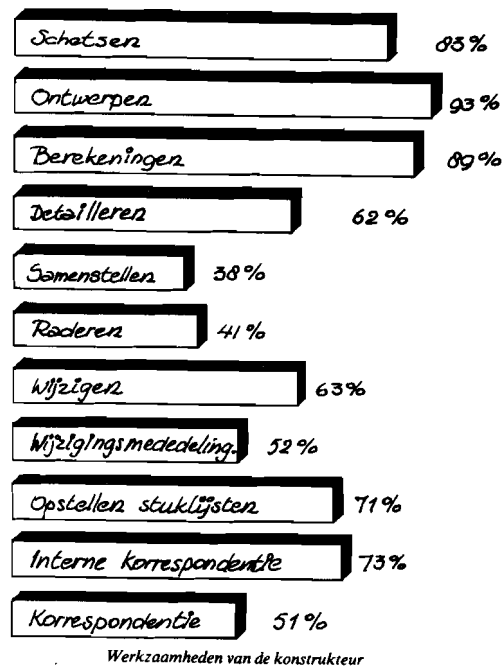


fig. 9. werkzaamheden door constructeur verricht

Uit het oogpunt van constructeurswerkzaamheden lijkt het beter om tijdrovend routinewerk (detailleren, samenstellen, raderen, wijzigen etc.) uit handen van de ontwerper te nemen, waardoor deze meer tijd krijgt om zijn creativiteit, zijn inzicht en capaciteit in te zetten. Het maken van tekeningen zal vermoedelijk wel blijven bestaan, want de werktekening is natuurlijk een communicatiemiddel bij uitstek onder technici. Veel werk dat nu gaat zitten in het handmatig tekenen en beschrijven van ontwerpen kan echter geautomatiseerd worden of zelfs worden ondergebracht in bepaalde functiegroepen. Een voorbeeld van tijdsbesteding op een tekenkamer toont het volgende beeld:

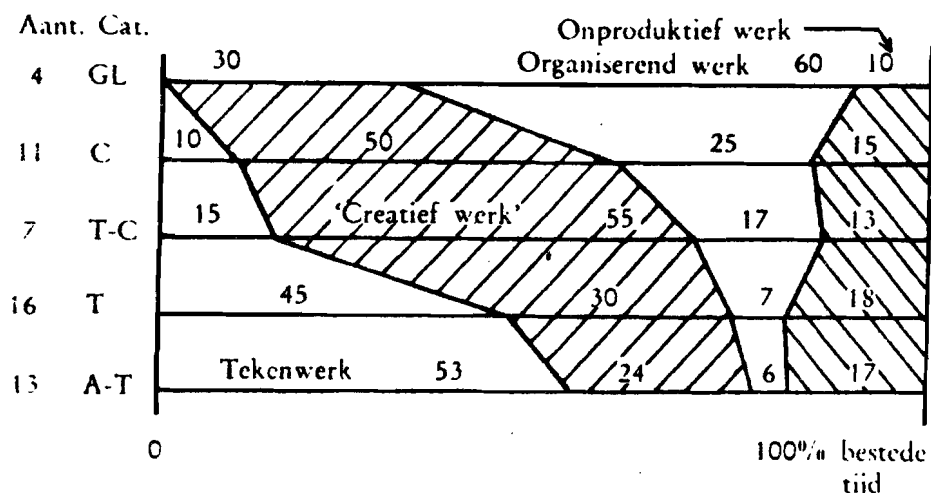


fig. 10. tijdsbesteding van werknemers op de tekenkamer

Wat het tekenwerk betreft, schat men, dat met de huidige generatie CAD-teken-systemen een versnelling van 1 op 2 à 3 mogelijk is. De taak van de technisch tekenaar zal dan ook gestadig veranderen. Daarentegen zal de tekentafel niet verdwijnen; deze zal juist gebruikt gaan worden voor het voorbereidend werk dat moet gebeuren voordat de ontwerper achter het beeldscherm gaat zitten. Ter indicatie:

Bij ZF in Duitsland, fabrikant van versnellingsbakken voor vracht- en personenauto's, past men gedurende enkele jaren op beperkte schaal CAD toe. Hier houdt men een maximale tijdsbesteding achter het beeldscherm aan van 2 uur per dag voor elke constructeur.

Resumerend kan worden gesteld dat, v.w.b. computergebruik op de tekenkamer het volgende geldt:

- Voor de tekenaar (en evt. aspirant-tekenaar) zal er in de toekomst steeds minder plaats zijn, aangezien deze functie door computers voor een groot deel kan worden overgenomen,
- De toekomst zal niet tot een totale verdwijning van het handwerk leiden, doch wel tot een overname van veel repeterend werk door b.v. de plotter,
- Alle werkzaamheden, vallend onder "creatief werk", blijven voor een gedeelte normaal bestaan.

Organisatie van de tekenkamer

Organisatorisch zal het mogelijk worden het tekenwerk tot plotterwerk te herleiden en een onderscheid te maken tussen het tekenproces en het ontwerpproces. Hierdoor zal men in de toekomst op de tekenkamer ontwerpgroepen en plottergroepen kunnen onderscheiden, waarbij er dan echter niet een directe verbinding zal zijn tussen deze plottergroepen en de CAD-constructeurs.

Invoering

Aangezien CAD/CAM door sommige deskundigen wordt aangeduid als een "nieuwe methode van werken en organiseren", heeft de invoering van een CAD/CAM systeem bij een bedrijf nogal grote gevolgen voor de infrastructuur van zo'n bedrijf. Men dient een invoeringsstrategie te hanteren, die uitgaat van een analyse van het bestaande proces van ontwerpen en produceren. Deze analyse moet erop gericht zijn om te bepalen of en zo ja, waar in het hele bedrijfsproces van idee tot eindproduct de hoogste rendementwinst kan worden behaald. Dit is dan een voorstudie die veelal een geheel jaar in beslag neemt. Indien er uiteindelijk besloten is om een CAD/CAM systeem in te voeren, moet men niet vergeten voor goede opleidingen te zorgen. Evenzo is best mogelijk dat het hele invoeringsproces moet worden aangepast aan de eisen van het computergereedschap, met alle sociale en bedrijfskundige gevolgen van dien. Het gevaar is nl. niet denkbeeldig dat bij invoering, de computerwerkwijze de organisatie gaat bepalen. Middelgrote- en kleine bedrijven, die vaak niet de mankracht en deskundigheid hebben om een systeem in te voeren, dienen zich te laten adviseren. Liefst door een onafhankelijk adviesbureau.

Economie van CAD/CAM systemen en infrastructuur

Een compleet systeem inclusief rekencapaciteit en grafische werkstations komt al gauw op één tot anderhalf miljoen gulden aan investering, inclusief opleiding, invoeringsanalyse e.d.. Afgeschreven in vijf jaar komt dat per jaar neer op een slordige 3 ton. Tellen we daar nog onderhoud bij van 80.000 gulden per jaar dan is het duidelijk dat voor de meeste bedrijven CAD eenvoudigweg niet haalbaar is.

Er bestaan in Nederland zo'n dertigduizend bedrijven die zich bewegen in de sfeer van ontwerpen en industriële produktie. Van die dertigduizend bedrijven heeft 68% minder dan 10 mensen in dienst. Op grond van deze cijfers valt nu reeds op te maken dat het merendeel van de bedrijven de boot mist, v.w.b. aanschaf en gebruik van grote systemen. Duidelijk is dat het in het nederlandse bedrijfsleven ontbreekt aan een infrastructuur voor CAD/CAM. Niet alleen op macroschaal, doch ook op microschaal. Waar in de USA computersystemen rendabel worden gemaakt door in ploegendienst te werken, blijkt dit in Europa door o.a. CAO's en vakbondsbemoeienissen niet mogelijk. Het rendabel maken van dure CAD/CAM apparatuur is dan ook één van de vele struikelblokken. De overheid zou een rol kunnen spelen bij het scheppen van een infrastructuur, doch zij heeft weinig middelen voor een middellang termijn beleid gericht op de versterking van de infrastructuur.

Onderzoekcijfers uit de machinebouw geven aan dat globaal gesproken de bedrijfskosten voor 5 a 10% door het ontwerpen en voor 45% door de fabricage wordt bepaald. Ontwerpen is dus een "goedkope" activiteit. Daartegenover staat dat de kosten van het te maken produkt al voor 75%

in de ontwerpfase worden vastgesteld, terwijl de invloed van fabricagemethoden voor slechts 15% in de produktkosten wordt teruggevonden. Het grote aandeel van het ontwerpen in de beïnvloeding van de produktkosten wordt veroorzaakt door het feit dat het ontwerpen in sterke mate de efficiency van de produktie bepaald. Nu is echter bij CAD niet duidelijk aan te geven, wat de bijdrage aan de produktiviteitsverhoging is, alhoewel de 70% produktkosten in de ontwerpfase enig licht hierop doet schijnen. Deze onduidelijkheid (door sommigen vergeleken met kunstmest: welk gedeelte van de plantengroei moet nu precies worden toegeschreven aan de kunstmest?) is er de oorzaak van, dat voor bepaalde bedrijven de "merites" van een eventuele CAD/CAM-toepassing dubieus zijn.

Gevolgen van het toepassen van CA-technologieën (voor de groot-serie montage/fabricage-industrie)

CAD-systemen

ontwerpgroepen/afdeling:

Het ontwikkeltraject wordt versneld en ontwerpen worden kwalitatief beter.

Standaardisatie wordt noodzaak:

- Minder codenummers
- Minder produktwijzigingen
- Wanneer er toch wijzigingen doorgevoerd zullen worden, dan vergen deze minder tijd en dus minder geld.

produktie-engineering:

Deze groepen hebben een "vertaal"-functie; informatie uit het tekeningenpakket wordt vertaald en op maat gemaakt voor een specifieke produktie-aktiviteit bv: het maken van aparte tekeningen t.b.v aanmaak van mallen en gereedschappen. Het aanlooptraject wordt aanzienlijk verkort (gunstig voor de flexibiliteit).

materiaalkosten:

Besparing op materiaalkosten, door vermindering van het aantal verschillende soorten materiaal.

CAM

produktieafdeling:

- korte doorlooptijden,
- hoge constante kwaliteit,
- lagere loonkosten en
- produktie flexibeler omdat CAD/CAM-systeem veel produkten en produktie-informatie reeds in digitale vorm bezitten.

CAT (computer aided testing)

produktieproces:

- sneller meten met computer gestuurde apparatuur,
- foutzoeken gaat sneller en

-reparatiewerk neemt af doordat produktieproces beter wordt beheerst.

Weer te bereiken dankzij computermeetapparatuur.

produktie-engineering:

-een CAT-systeem kan een grote diversiteit aan elektrische circuits testen; er zijn niet steeds nieuwe specifieke meetopstellingen nodig.

kwaliteitsdienst:

-kwaliteit van het meten wordt beter, CAT-systeem kan meetresultaten direkt statistisch verwerken waardoor een snelle terugkoppeling met het produktieproces, en als gevolg daarvan een snelle bijsturing mogelijk wordt. Kwaliteitsbewaking zit dus voor een groot deel in het geautomatiseerde proces zelf ingebakken, daardoor is minder kwaliteitscontrole nodig.

after-saleskosten:

-door het introduceren van modulair opgebouwde meetsystemen in de belangrijkste service-werkplaatsen, alsmede door de hogere meetnauwkeurigheid in de produktie, worden de after-saleskosten lager.

CAL (computer aided logistics) = koppeling tussen de verschillende computersystemen.

-aantal codenummers kan met de helft verminderd worden m.a.g. besparingen op materiaalvoorzieningskosten en magazijnkosten.

lager kader:

-een (groot) deel van de werkzaamheden van het lager kader; het beslissen wat en wanneer en door wie geproduceerd gaat worden, komt hierdoor te vervallen. Dit geldt ook voor de personen die zich bezighouden met administratieve besturing van de produktieafdelingen.

materiaalkosten:

-als gevolg van verdere standaardisatie zullen de materiaalkosten afnemen.

after-saleskosten:

-zullen afnemen. Service-documentatie wordt goedkoper, omdat deze m.b.v. CAL eenvoudiger samen te stellen is. Door standaardisatie, verminderen van het codenummerbestand en het aantal wijzigingen worden ook de servicekosten minder.

CAD/CAM en de gevolgen voor structuur en functioneren van de onderneming.

Accentverschuiving in richting van de produktie:

De concurrentieslag zal zich meer en meer toe spitsen op verbetering van produktietechnieken en pas in de tweede instantie op innovatie van het produkt zelf.

Het Japans succes vindt zijn oorzaak in produktie, niet in de produkt innovatie.

Europese bedrijven : wel veel produkt innovatie, nieuwe produktie-technieken om de produkt innovaties tijdig om te zetten in produkten ontbreken echter vaak.

Design for automation:

Het produkt ontwerp moet aangepast zijn aan de produktie, alleen zo kan flexibele automatisering optimale resultaten leveren. De steeds verder geautomatiseerde en kapitaalintensieve produkties die voor de optimale benutting veel meer uren per jaar moeten draaien, houden ook in dat er sterker dan voorheen gezocht moet worden naar markuitbreiding. Computergestuurde technieken moeten zoveel mogelijk integraal (met elkaar verweven) worden toegepast: het geheel levert meer op dan de som van de delen. Anders gezegd: het integraal toepassen van de verschillende computergestuurde technieken levert grotere voordelen op dan de afzonderlijke technieken. Integrale aanpak betekent wel een grotere onderlinge afhankelijkheid tussen de verschillende afdelingen.

Speculatie over CADD ontwikkelingen in nabije toekomst

Een tendens is reeds nu in, 1983, merkbaar: CAD/CAM systemen worden in de nabije toekomst gedecentraliseerd opgebouwd. Decentraal betekent in dit geval dat de afzonderlijke arbeidsstations intelligenter worden, zodat zij ook zonder achtergrondcomputer kunnen werken. Dit laatste heeft twee voordelen:

1. De gebruiker kan met een beduidend lagere investering dan nu het geval is starten. Het wordt dan eerder rendabel om een systeem met één of twee arbeidsplaatsen in te voeren.
2. Er zal gewerkt kunnen worden met een grotere arbeidszekerheid omdat men minder gevoelig is voor overbezetting van of storingen in de achtergrondcomputer.

Kleinere bedrijven zullen de mogelijkheid hebben om zich aan te sluiten op een "openbaar" CAD/CAM-net. De achtergrondcomputer, die ontlast wordt van lokale beeld-manipulaties en rekenfuncties kan gaan fungeren als centrale database met zowel technische als niet-technische dataverwerking. Het zal volgens schattingen nog ca. 15 jaar duren voordat alle tekenplanken vervangen zijn door beeldschermen.

Een tweede tendens is de uitgaande integratie van CAD en CAM, bv. in de vorm van DNC (= direct numerical control).

Software trends

Binnen korte tijd zullen alle belangrijke CAD-systemen over een zgn. "Festkörper-" of "Volumemodel" beschikken. Men zal immers op den duur graag een echte afbeelding van de te construeren geometrische vormen op het beeldscherm genereren. Door het gebruik van zo'n model zal mogelijk een nieuwe manier van construeren ontstaan, nl. een ontwerp-wijze die veel lijkt op het modelleren (bv. met gips), zoals dat door "designers" (=industriële vormgevers) vaak wordt toegepast. Alleen is de aan de massa te geven vorm, bv. het gips, vervangen door een natuurgetrouwe afbeelding van de constructie op het beeldscherm. Ook zal de arbeidsplaats achter het beeldscherm steeds meer gaan fungeren als een proefstand. In de toekomst zal steeds meer software beschikbaar komen, die simulatie van allerlei processen mogelijk maakt.

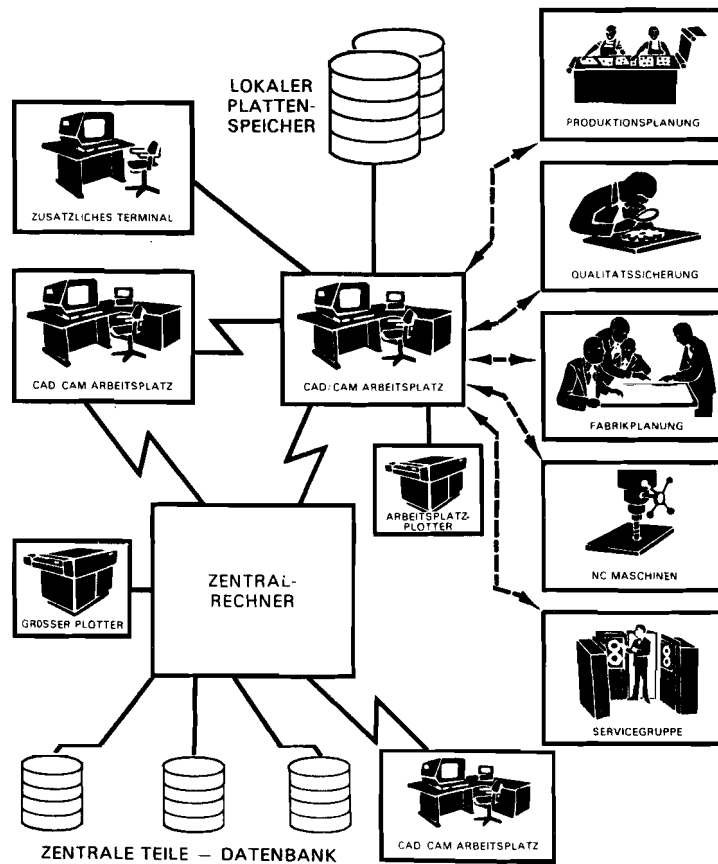


fig. 11. software op vele plaatsen in de onderneming beschikbaar

TOEKOMSTVISIE CAD/CAM OVER 5 a 10 JAAR IN GROOTSERIE
MONTAGE/FABRICAGE PRODUKTIE-AFDELING

- klein aantal mensen op de werkvloer aanwezig,
- veel werk verricht door computergestuurde systemen, waakrobots, die alleen of in groepjes assembleren,
- grote voorraden zijn er niet, doorlooptijden zijn erg kort,
- mensen houden zich voornamelijk bezig met bewaken van proces en reageren op storingen,
- door modulair systeem gemakkelijk vervanging mogelijk,
- montageproces opgesplitst in blokken,
- computersysteem is dus geen groot gecentraliseerd geheel, maar bestaat uit "onafhankelijke blokken" met goed gedefinieerde interfaces,
- uitgangspunt inkoop: Continue goederenstroom,
- volcontinudienst in verband met rentabiliteit van de machines, wel kortere werktijden.

2. RESULTATEN STUDIEREIS.

Inleiding.

In het algemeen wordt CAD/CAM wel omschreven als: "Het met behulp van computers ontwerpen en fabriceren", doch dit wordt al gedaan sinds de vijftiger jaren, en in dit opzicht is CAD/CAM dus niets nieuws. Een nauwkeurige omschrijving van het begrip CAD/CAM vereist derhalve nog enkele toespitsingen en deze zijn:

- De toepassing van "computer-graphics". Dit is de mogelijkheid om 2- of 3-dimensionale objecten op grafische beeldschermen weer te geven.
- Er wordt gebruik gemaakt van computersystemen die interactief zijn, die dus snel reageren op de activiteiten van de gebruiker.
- Er vindt decentralisatie plaats. Terminals of grafische werkstations staan opgesteld op de werkplek.

Men kan stellen dat CAD/CAM de informatieoverdracht omtrent vorm, afmetingen en fabricage van produkten automatiseert. De laatste tijd lijkt zich in de Verenigde Staten een nieuwe tak te ontwikkelen aan de "Computer-aided-..."-stamboom, en wel Computer-Aided-Engineering (CAE). Deze CAE is een andere benadering van het ontwerpproces. Terwijl CAD/CAM in feite enkel een vorm van automatisering van enkele delen van het ontwerpproces is, omvat CAE ook de fundamentele ontwerptaken die voorafgaan aan het tekenen en het fabriceren. CAE omvat derhalve:

- Advanced Communications
- System Modelling
- System Simulation
- Mathematical Prototypes
- Computer Testing
- Data Bases
- Data Acquisition
- Project Management

Verder constateerden we dat er nogal wat verschil bestaat in het hanteren van "CA-..."-termen tussen de Verenigde Staten en Europa.

In de Verenigde Staten trekt men een duidelijke scheidingslijn tussen CAE enerzijds en CAD/CAM anderzijds, waarbij CAE betrekking heeft op het ontwerpproces als zodanig en CAD/CAM veel meer slaat op automatisering van het tekenen en fabriceren. Er is hier dus duidelijk sprake van CAE/CAD/CAM.

In Europa bedoelt men met CAD/CAM de automatisering van het gehele ontwerp- en fabricage-proces (rekenen, tekenen en maken), terwijl de term CAE in feite alle aspecten van het "Computer-Aided-..."-gebeuren omvat (zie voorstudie).

General Motors Technical Centre.

GM Technical Centre is het onderzoekscentrum van het GM-concern waar ongeveer 6000 mensen werken, verdeeld over vijf secties, te weten: Research Laboratories, Engineering, Design, Manufacturing en Environmental Activities.

Nadat men in 1962 is gestart met de ontwikkeling en toepassing van CAD/CAM, heeft men nu de beschikking over het CGS (Corporate Graphics System). CGS is een, op basis van Nastran door GM ontwikkeld softwarepakket, wat de software van verschillende leveranciers samenvoegt.

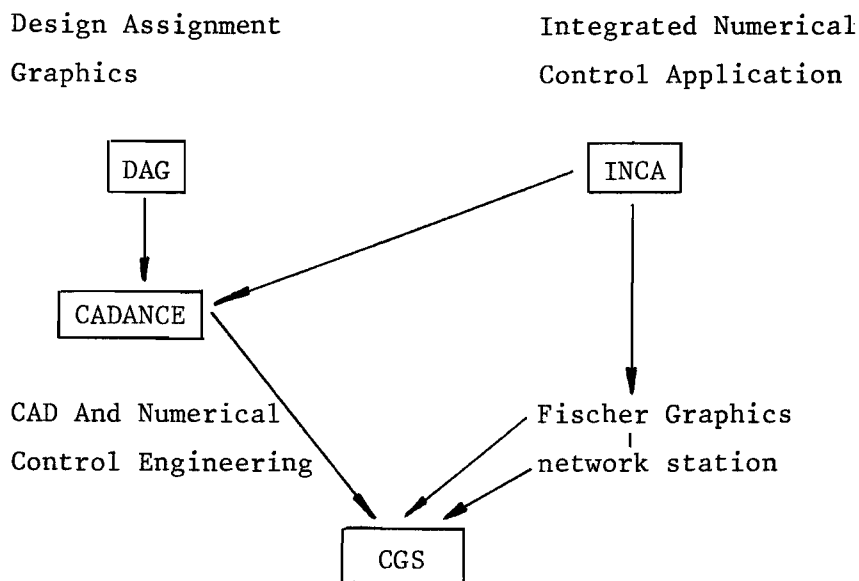


fig. 12. opbouw van het "Corporate Graphics System"

Het CGS is een zgn. "plug-compatible system", d.w.z. er wordt overall gebruik gemaakt van één en dezelfde taal, hardware en software. Het CGS wordt dan ook enkel binnen het GM-concern gebruikt; binnen het Research Centre is CGS zelfs voorgeschreven. Enkele CGS toepassingen zijn:

1. Body Sculpture Surface
 - Body surfacing
 - Body mechanical
 - FEM-analysis (voor dunne platen)
 - Die-layout
 - Die-design
 - Die-machining
2. Chassis and Powertrain General Engineering
 - Solid Construction
 - Hybrid Construction
 - FEM-analysis (NASTRAN)

Momenteel wordt bij GM gebruik gemaakt van 17 verschillende systemen (welke via CGS zijn gekoppeld), waarbij 3000 terminals voor grafische toepassingen worden gebruikt. Doordat GM een grote afnemer is van

computerapparatuur, kan zij eisen stellen aan haar toeleveranciers. Deze eisen komen op het volgende neer:

- De toeleverancier dient te voldoen aan de IGES-specificatie,
- Alle CGS-mogelijkheden dienen op de te leveren apparatuur realiseerbaar te zijn.

Op dit moment is het namelijk een rommeltje in de wereld van de computer-graphics, d.w.z. bijna geen enkel systeem is compatibel. GM hoopt, door het opleggen van haar eisen en de IGES-specificatie dat er daardoor algemeen aanvaarde, internationale standaarden zullen ontstaan. Momenteel bestaat er een grote behoefte aan een "automated mesh-generator", aangezien de invoer voor FEM-analysis nog steeds met de hand gebeurt.

Enkele andere punten van belang:

1. 3D-modelling en Solid-modelling zal volgens GM ertoe leiden dat in de toekomst nieuwe ontwerpen sneller en efficiënter gemaakt kunnen worden. Hiervoor zijn echter wel 2D-3D-transformers nodig.
2. Over 10 tot 15 jaar voorziet GM de realisatie van read-only-consoles op de werkvloer. Dit houdt in dat dan nog maar 10-15% van het nu benodigde tekenpapier gebruikt zal worden. Volgens GM is er een sterke tendens naar de "drawingless society".
3. Bij 30% van alle ontwerpen wordt nu gebruik gemaakt van CADD (tekenwerk), en bij slechts 5% van alle ontwerpen wordt ook daadwerkelijk CAM toegepast. Er is op dit moment nog duidelijk weinig sprake van een gelijke verdeling van CAD en CAM. GM verwacht echter dat er over 5 jaar, dus rond 1988, sprake zal zijn van een geheel geïntegreerde CAD/CAM. Aan het eind van deze eeuw zal volgens GM de zgn. "full-automation" (een automatiseringsgraad van 90-95%) gerealiseerd kunnen zijn.
3. Momenteel bedragen voor GM de totale kosten voor het gebruik van het CGS-systeem \$ 100 a 125.000,- per console. Deze kosten kunnen in de toekomst aanzienlijk worden gereduceerd door het leasen van rekentijd en consoles aan toeleveranciers van GM.
4. Door het toepassen van computermodellen en aan de hand daarvan berekeningen uit te voeren, wordt het prototype overbodig, of dient pas in een veel later stadium gemaakt te worden.

Eaton Engineering & Research Centre.

Eaton is een firma die zich bezighoudt met de produktie van truck-komponenten, zoals assen, versnellingsbakken en remmen, automobiel-komponenten, systemen voor materialshandling (Yale-heftrucks), zgn. industrial devices en defensiesystemen.

Na in 1911 te zijn opgericht, is het bedrijf uitgegroeid tot 170 locaties over de gehele wereld waar meer dan 50.000 mensen werken. Veel machines worden zelf ontwikkeld, fundamentele research als bij GM is echter niet mogelijk, wel toegepaste research.

Op de tekenkamer heeft men vier Applicon-terminals staan, waarvan er twee kleurmogelijkheden bezitten. De eerste terminal is vijf jaar geleden in gebruik genomen tezamen met een kleine CPU (kosten ca. \$ 80.000,=). Anderhalf jaar geleden zijn de resterende drie systemen aangeschaft (kosten hiervoor ca. \$ 400.000,=). De tijd die nodig was om een gebruiker er redelijk mee overweg te kunnen laten gaan, was drie maanden.

Voor specifieke problemen spreekt Eaton van een produktiviteitsstijging van 400 à 500%. In het algemeen wordt echter slechts 250 % stijging bemerkt. Hierbij dient opgemerkt te worden dat elke Eaton-divisie zijn eigen uitrusting heeft. Bij het bezoek werd ook meege-deeld dat men meer personeel heeft aangetrokken, daar op deze manier meer varianten op ontwerpen doorgerekend kunnen worden, iets wat paradoxaal lijkt met de relatief lege tekenkamer. De Applicon-terminals worden in 2-ploegendienst bediend.

Bij de demonstratie van het systeem bleek dat arcering niet automatisch mogelijk was. Het aanroepen van een FEM-pakket als zodanig was ook nog niet mogelijk. Het was wel de bedoeling deze mogelijkheid binnen een half jaar te realiseren. Indien men nu een FEM-pakket wil gebruiken, moeten de geometriegegevens in een zgn. picture-file naar een DEC-VAX-11/780 mainframe gezonden worden, via het netwerk, wat we later zullen toelichten. Na het verzenden wordt 2D-meshing uitgevoerd. 3D-meshing acht men niet noodzakelijk, hoewel men dan toch verwacht te kunnen rekenen op een werkbesparing van 70 a 75%. Door de levendige kommunikatie met Applicon worden gezamenlijk veel software-problemen opgelost. In het verleden heeft Applicon nl. enkele programmeurs tijdelijk bij Eaton gestationeerd, om enige software voor vibration-analysis te ontwikkelen.

Zoals reeds vermeld bezit Eaton een geheel computer-netwerk. Gezien de kosten die hieraan verbonden waren (kabel a \$ 0.30/ft) heeft men over het gehele bedrijf binnen 7.5m afstand een aansluitingsmogelijkheid op het net. Naast de DEC-mainframe-computer heeft men hier ook tal van microcomputers, die bij proefstanden behoren, op aangesloten. Door 8 lijnen te multiplexen staat men in verbinding met het Eaton-computercentrum in Cleveland (OH) voor het grotere werk. De modem en networkcontroller werden geleverd door 3M. De proefstand-computers zijn real-time-laboratory systemen, waarbij 24 uur per dag CAT, computer-aided-testing, kan plaatsvinden.

McAUTO

McAUTO is ontstaan uit de vliegtuigfabriek McDonnell-Douglas. Vanuit de vliegtuigfabrikage groeide de behoefte aan een sneller, efficiënter ontwerp- en tekenproces. In 1969 werd de eerste stap gezet in de richting van computer-aided-design: In dat jaar werd namelijk het eerste 2-dimensionale CAD tekensysteem ingevoerd in de tekenkamers van McDonnell-Douglas. Vier jaar later werd een 3-dimensionaal CAD tekensysteem geïntroduceerd. Vooral in de vliegtuigbouw is het gebruik van 3D-tekensystemen van groot belang. Vanaf 1976 werden ook CAM-systemen, gebaseerd op APT, op steeds grotere schaal toegepast in fabriekswerkplaats. Niet lang daarna werden de CAD en CAM-systemen met elkaar gekoppeld. Omdat er bij de industrie een grote belangstelling voor de geïntegreerde CAD/CAM-systemen bleek te bestaan, riep McDonnell-Douglas een aparte divisie in het leven: McAUTO.

In eerste instantie is McAUTO een "automating division", die de automatisering van alle andere divisies binnen het McDonnell-Douglas-concern verzorgt. Dit is overigens typerend voor de meeste grote concerns, nl. een aparte CAD/CAM-divisie die zorg draagt voor de ondersteuning van de andere divisies, en zelfs begeleiding geeft in geval een divisie besluit zelf CAD/CAM op beperkte schaal te gaan toepassen. McAUTO is begonnen om de geïntegreerde CAD/CAM-software onder de naam "UNIGRAPHICS" op de markt te brengen. Dit systeem is een (volledig) geïntegreerd CAD/CAM-systeem. De gebruiker kan op interactieve wijze grafische ontwerpen maken, modellen analyseren, werktekeningen maken en N.C.-machine-data genereren.

Hardware.

De hardware van een werkstation bestaat hoofdzakelijk uit twee beeldschermen (een grafisch en een alfanumeriek scherm), twee toetsenborden (een functietoetsenbord en een alfanumeriek toetsenbord) en een computer. Het alfanumerieke beeldscherm geeft eenvoudige, directe instructies en een lijst met opties die de gebruiker in staat stellen om het ontwerpproces snel uit te voeren op de grafische terminal. De ontwerp-instructies worden ingegeven m.b.v. de functietoetsen op het functietoetsenbord. Het alfanumeriek toetsenbord wordt gebruikt om teksten bij de tekeningen te zetten.

Het UNIGRAPHICS-systeem (hardware en software) kent twee verschillende uitvoeringsvormen, nl. het "Central System" en het "Autonomous Design Station". Bij het Central System zijn er diverse werkstations (tot een maximum van ongeveer tien) op een centrale computer, zoals de DEC VAX 11/780, aangesloten. Bij het Autonomous Design Station daarentegen heeft elk werkstation een eigen basiscomputer, bijv. de Data General 3140. Vooral het laatste systeem is interessant voor de kleinere, minder kapitaalkrachtige ondernemingen. De totale kosten van een autonoom systeem bedragen ca. \$ 120 a 150.000,=. McAUTO biedt bedrijven de mogelijkheid om gedurende een jaar een Autonomous Design Station te leasen. Na dat jaar kan dan beslist worden of al dan niet tot aankoop van het geleaste apparaat overgegaan wordt.



fig.13.Unigraphics autonomous system

Software.

De software van het UNIGRAPHICS-systeem is opgebouwd uit diverse modules:

Basic Software:

- UGRAF (Unigraphics) bevat het tekenprogramma. De gebruiker kan hiermee interactief punten, lijnen, cirkelbogen en vlakken definiëren om zijn ontwerp samen te stellen.
- GME (Graphics Machining and Editing Module) zet de data uit UGRAF om in CAM-data (punt-punt-besturing).

CAD-modules:

- GSM (Graphics Schematics Module) maakt het mogelijk om complexe elektrische en hydraulische schema's en stuklijsten te genereren.
- GFEM (Graphics Finite Element Module) gebruikt de data uit UGRAF voor een FEM-analyse van het ontworpen object.

CAM-modules:

- GLM (Graphics Lathe Module) genereert interactief CAM-data voor NC-draaibanken.
- GMM (Mill Module) genereert interactief de data voor 2- en 2.5-assige NC-machines.

- GMAX (Graphics Multi Axis Module) genereert data voor het bewerken van complexe oppervlakken m.b.v. een 3- en 5-assige NC-machine.
- GRIP, wat staat voor Graphics Interactive Programming, stelt de gebruiker in staat om in een hoge programmeertaal programma's te schrijven voor het uitvoeren van ontwerp-procedures en NC-instructies. Hieronder vallen bijvoorbeeld de zgn. "Family of Parts"-programma's, waarbij een specifiek "family member" (bijv. een as) eenvoudig gegenereerd kan worden door de waarden in te geven van bepaalde parameters (bijv. de lengte en diameter van die as).

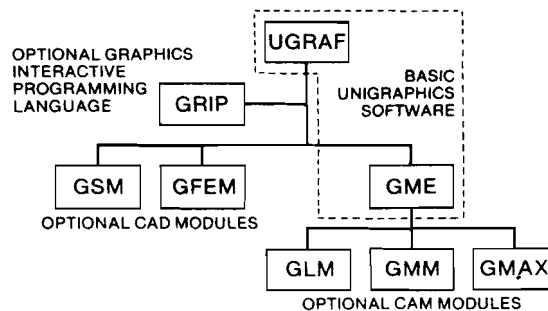


fig.14. software van het Unigraphics systeem

Van de andere software-systemen die McAUTO levert, is PLACE wel de meest interessante. PLACE (Positioner Layout And Cell Evaluator) is een pakket voor de simulatie van de bewegingen van robots en voor het ontwerpen van de werkplaats-layout. Door de robot bij een "machining center" te plaatsen en alle benodigde bewegingen op een beeldscherm te laten uitvoeren, kan men vrij snel een optimale robotuitvoering en machining-centre-layout bepalen. Er bestaat reeds een bibliotheek van diverse robot-types (Unimate, Asea, T-3) waarmee verschillende bewegingen te simuleren zijn. Een speciaal kenmerk van PLACE is, dat het botsingen van b.v. de robotarm met een tafel kan voorkomen. Tevens wordt aangegeven in hoeverre de diverse scharnieren van de robot worden gebruikt.

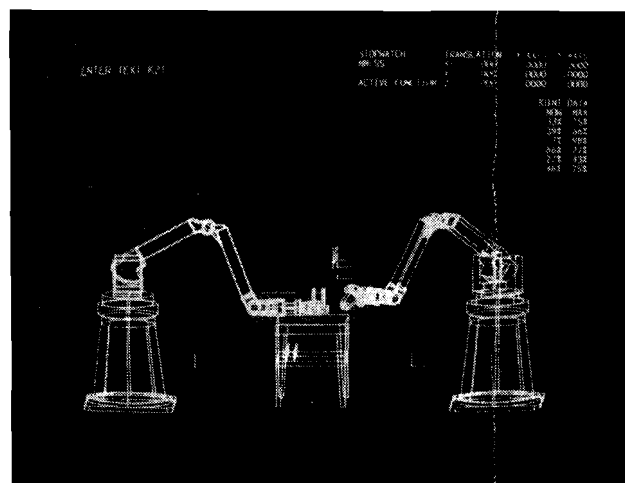


fig.15
PLACE

Verder levert McAUTO systemen voor:

- architectuur
- wegenbouw:
 - COGO - COordinate GeOmetry
 - ROADS - ROadway Analysis and Design System
- bedrijfsvoering:
 - MRCS - Multiple Report Creation System
 - CREWS - Construction Reporting, Evaluating and Work Scheduling
- verzekeringswezen:
 - GCPS - Groups Claim ProceSsing.

Ontwikkelingen in de nabije toekomst:

- "Solid Modelling" zal de huidige "wire-frame" modellen gaan vervangen,
- advanced file Management. Het ordenen en efficiënt opslaan van data wordt steeds belangrijker.
- het beschermen van data tegen ongewenst gebruik wordt steeds belangrijker,
- het transport van grote hoeveelheden data zal steeds sneller en efficiënter moeten verlopen (bijvoorbeeld m.b.v. infraroodlicht),
- een gehele robot zal op een werkstation kunnen worden ontworpen.

N.B.S. (National Bureau of Standards)

Het N.B.S. is een instelling die normen opstelt op industrieel gebied. Dit gebeurt meestal in samenwerking met enkele grote bedrijven die veel ervaring in een bepaald vakgebied hebben.

Tijdens ons bezoek aan het N.B.S. werd ons "The Automated Manufacturing Research Facility" getoond. Dit is een produktie-laboratorium waar fabricage, meet- en transport-apparatuur zo geplaatst en gestuurd worden, dat er een maximale flexibiliteit ontstaat, wat betreft produktie van een grote range van produkten. Het N.B.S. onderzoekt in samenwerking met enkele grote fabrikanten hoe de informatieverwerking tussen apparatuur onderling het best kan geschieden en stelt hiervoor normen op. Zo ontwierp het N.B.S., in samenwerking met 45 firma's uit de VS, een norm voor informatie(-verwerking en)transport tussen verschillende CAD-systemen. Deze norm, IGES (Initial Graphics Exchange Specification) genaamd, maakt het mogelijk geometrische data uit te wisselen tussen twee verschillende typen computer aided design-systemen of tussen een CAD- en een CAM-systeem. IGES geeft dus toegang tot de geometrische databank van een CAD-systeem zonder de noodzaak een tekening te produceren.

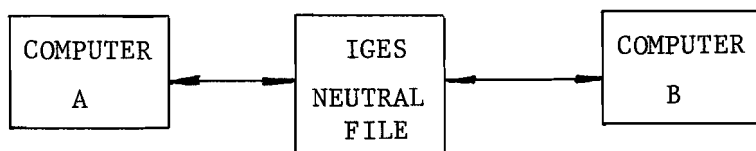


fig.16.informatieoverdracht tussen computers d.m.v. een IGES "neutral file"

De eerste publikatie van deze norm dateert van 1980, waarna in september 1981 de IGES-norm opgenomen werd in een "National Standard". Op dit moment maken vele bedrijven, waaronder McAUTO, Audi en BMW, gebruik van deze norm. Verder verwacht het N.B.S. dat binnen twee jaar een volledige internationale standaardisatie van computer-graphics een feit zal zijn.

Bendix Machine Tool Corporation.

Bendix heeft als fabrikant van machining-centers, transfer-lines en geautomatiseerde montage-systemen een groot aantal kleine series (3-5) van verschillende machines. Deze machines bestaan voor ongeveer 80% uit standaardcomponenten en deze worden opgebouwd uit zgn. modules. De aard van de ontwerpwerkzaamheden is derhalve anders dan bij bv. General Motors, waar grote aantallen van één en hetzelfde produkt worden vervaardigd. Dit heeft er toe geleid dat Bendix voor het overgrote deel zelf de benodigde software ontwikkelt, toegespitst op hun eigen specifieke ontwerpmethodiek. Het gehele ontwerpgebeuren wordt hier samengevat onder de term CAE, oftewel Computer-Aided-Engineering. Deze CAE bestaat uit:

- Conceptual Design
- Detail Design
- Structural Analysis
- Functional Analysis
- Simulation
- Bills of material

De afbeelding op de volgende pagina toont de onderlinge samenhang van de diverse systemen binnen het Bendix-concern. Hierin vervullen de diverse onderdelen van het CAE-systeem de volgende functies:

-Conceptual Design (CAD).

Vanuit een aanvraag van een klant wordt, in overeenstemming met de aanvraagspecificaties, een algeheel concept van de te ontwerpen machine opgebouwd. Hierbij wordt uiteraard zo veel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande modules. Met de computer kan dit bijzonder snel gebeuren, waardoor de mogelijkheid bestaat om in een kort tijdsbestek een aantal varianten te beoordelen.

-Detail Design (CAD).

Alle modules, waaruit een bepaalde machine is opgebouwd, worden samengesteld en detailberekeningen worden uitgevoerd. Het "conceptual design" en het "detail design" zijn aan elkaar gekoppeld d.m.v. een database. Resultaten en gegevens van het "detail design" zorgen grotendeels voor het aanvullen van deze database, welke op zijn beurt het "conceptual design" ondersteunt. Tevens wordt bij de produktieplanning gebruik gemaakt van dezelfde gegevens uit de database.

-Structural Analysis.

Deze bestaat in hoofdzaak uit FEM-Analysis.

-Functional Analysis.

Controle of de machine aan de gestelde eisen en specificaties voldoet. Deze specificaties hebben dan hoofdzakelijk betrekking op aspecten zoals nauwkeurigheid en produktiesnelheid van de machine.

-Simulation.

Het gehele bewerkingsproces van een machine kan worden gesimuleerd, waardoor de invloed van storingen ed. geanalyseerd kan worden. Zo is het mogelijk om een effectieve bewerkingsduur van twee weken, in één uur te simuleren.

-Bills of material.

Voor de vervaardiging en assemblage van een machine worden formulieren, voor het te bestellen materiaal en de evt. te bestellen onderdelen, automatisch opgesteld.

Enkele belangrijke punten:

- Bendix ontwikkelt zelf veel "single-purpose" programma's. Zo bestaat er een programma om diverse tandwielsets zodanig aan de kopzijde van een draaibank onder te brengen, dat de aldaar aanwezige ruimte optimaal wordt benut. Tandkrachten, lagerkrachten, lagers, assen etc. worden tevens berekend.
- Optimaliseringsprogramma's hebben voor Bendix weinig zin, aangezien de series klein van omvang zijn. Optimalisatieprogramma's hebben in het algemeen zin, indien men denkt aan fabricage van grote aantallen.
- Een systeem dat in anderhalf jaar tijd door Bendix zelf is ontwikkeld, is het zgn. CAPE (Computer Assisted Proposal and Estimating). Hierin wordt de verkoopprijs van een bepaalde machine geschat aan de hand van enkele aanvraagseisen, waarbij rekening wordt gehouden met de heersende materiaalprijzen en lonen op het moment van daadwerkelijke productie.
- Bendix is ongeveer 7 jaar geleden begonnen met CAD/CAM, door allereerst een mainframe aan te schaffen met slechts één werkstation. In de loop der tijd heeft men dit alles langzaam uitgebreid, waarbij men zelf bijzonder veel ervaring heeft opgedaan.
- Gedurende de gehele CAD/CAM-periode heeft het zwaartepunt gelegen op CAD, zodat Bendix nu pas bezig is de "link" tussen CAD en CAM te leggen.

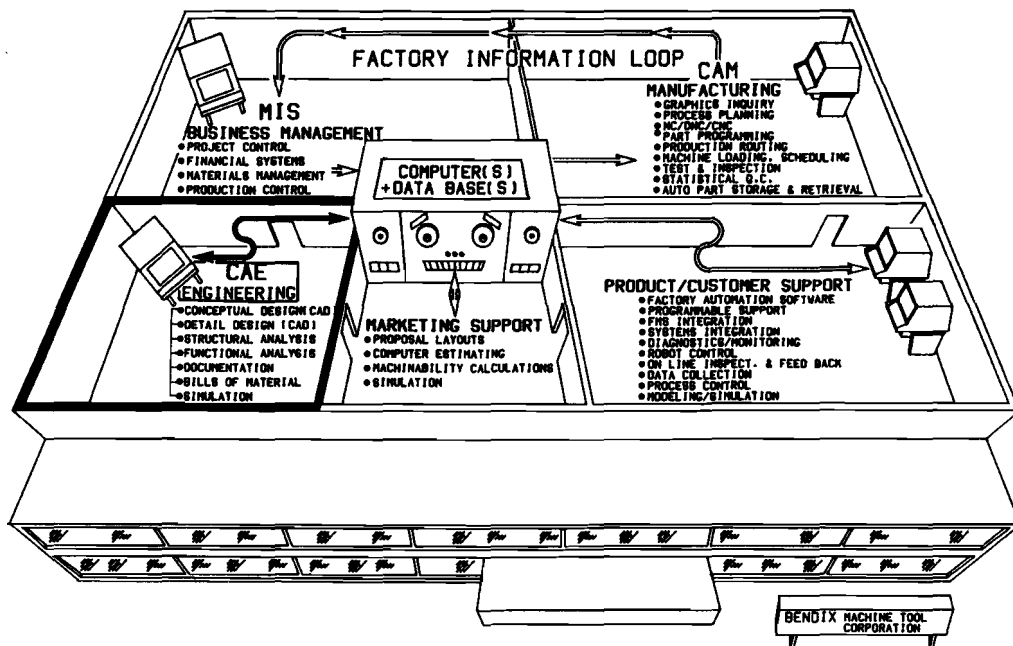


fig.17.mogelijkheden van het Bendix software pakket

SDRC (Structural Dynamics Research Corporation)

SDRC is in 1967 begonnen als zelfstandig ingenieurbureau, gespecialiseerd in CAE (Computer Aided Engineering) voor produktontwerp en "Problem-Solving". Tegenwoordig is SDRC voor 50% in het bezit van General Electric.

Men heeft voor eigen gebruik diverse computerprogramma's ontwikkeld, die nu ook te koop zijn. In het verleden heeft SDRC zich vooral gericht op de ontwikkeling van software, waarbij bestaande programmagemogelijkheden zijn uitgebreid en vooral programma's zijn gemaakt voor ontwerpers. Volgens SDRC is CAD/CAM enkel en alleen een automatisering van de ontwerpwerkzaamheden. CAE daarentegen is een methode om het gehele ontwerpproces in de computer door te spelen; pas in het allerlaatste stadium dient men te denken aan detailontwerp en het maken van tekeningen. In deze zin is CAE dus duidelijk op te vatten als een ontwerpproces voor produktontwikkeling. Onderstaande figuur toont een ontwerpmatrix, waarin een nieuw ontwerp zijn weg moet vinden vanaf concept tot uiteindelijk produkt.

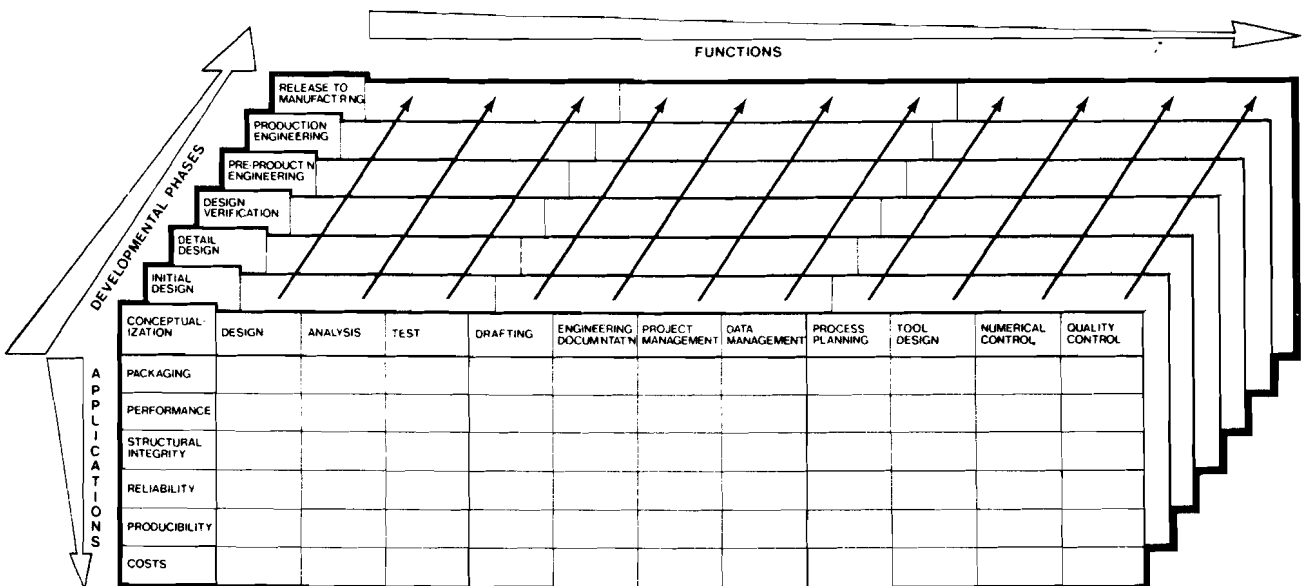


fig.18.verloop van een nieuw produkt door het ontwerp- en fabrikageproces

Met de bij SDRC aanwezige software is het mogelijk om een geheel "Mechanical Design System" op te bouwen:

- Graphics System
 - Supertab FEM-Processing Module
 - Output Display Post-Processing Module
- SUPERB
 - Finite Element Analysis
- FRAME
 - Analysis System for Structures

- IMP
- Analysis System for Mechanisms
- Trouble Shooting System
- MODAL-PLUS
- FATIGUE
- SABBA

SABBA is een interactief systeem-analyse programma, dat de eigenfrequenties en modes, alswel de dynamische respons van complexe machines kan bepalen.

Tegenwoordig wordt de tekening hoofdzakelijk gebruikt als communicatiemiddel tussen de ontwerp- en de produktieafdeling. In de toekomst, maar ook nu al gedeeltelijk, zullen alle afdelingen gebruik maken van één en dezelfde database, waarin alle gegevens zijn opgeslagen. Net zoals de tekening dan overbodig zal zijn geworden in de communicatie, zo zal ook het prototype overbodig worden, of pas in een veel later stadium gemaakt behoeven te worden. Alle functies van het prototype kunnen worden overgenomen door een computermodel; dit computermodel wordt dan op een beeldscherm weergegeven.

Met behulp van het Trouble-Shooting System kan de ontwerper het bestaande prototype testen (trillingen, lawaai, vermoeiing en gewicht), een systeemmodel van de resultaten maken en de structuur van het prototype modificeren door gebruik te maken van computersimulatie. Hierdoor kunnen vrij snel verschillende alternatieven worden uitgetest, alvorens wordt besloten wijzigingen aan het prototype aan te brengen.

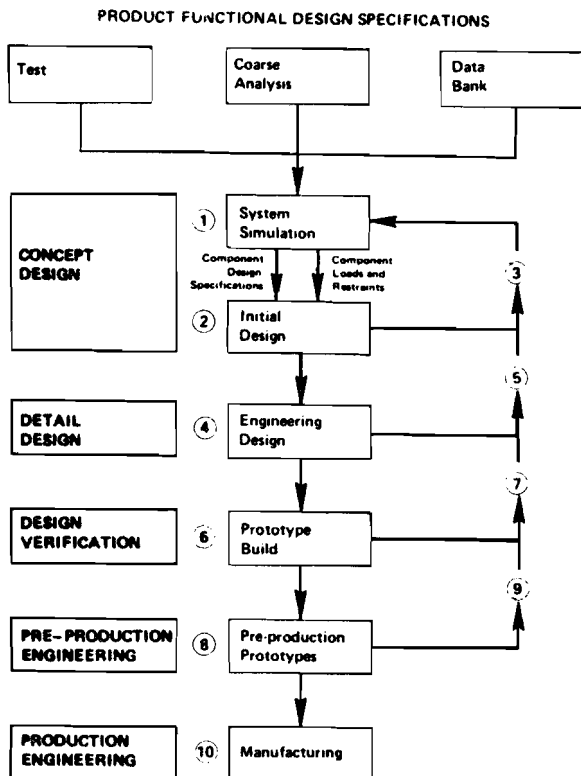


fig. 19

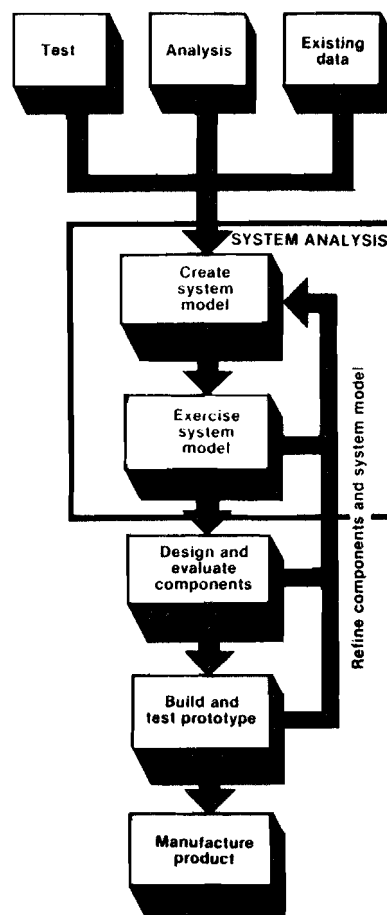


fig. 20

Bovenstaande figuur laat zien hoe het systeemmodel in de drie verschillende ontwerpfasen wordt gebruikt voor optimalisering van het ontwerp. In de computer wordt het systeemmodel gevormd aan de hand van testresultaten, FEM-analyse en data-base informatie. Dit systeemmodel simuleert de karakteristieke eigenschappen van het ontwerp in de computer. Hierna worden van het systeemmodel de eigenfrequenties en bijbehorende modes bepaald, alsmede de bedrijfsbelasting op de componenten. Daarna wordt er een prototype gebouwd om het computerontwerp te verifiëren.

Zoals reeds aangegeven, is er een design-database nodig om het systeemmodel te vormen. Dit kan geschieden door bestaande gegevensformulieren in deze database in te voeren. Een andere mogelijkheid is om deze database enigermate gestructureerd op te bouwen, waarbij gebruik wordt gemaakt van: algemene ervaring met het produkt; gegevens verzameld uit tests en FEM-analyse, wat is er bekend van andere produkten. Een duidelijk voorbeeld van de gang van zaken bij het opzetten van een database voor het ontwerpen op vermoeiing, toont het volgende schema.

ESTABLISHING A DATA BASE FOR DURABILITY DESIGN

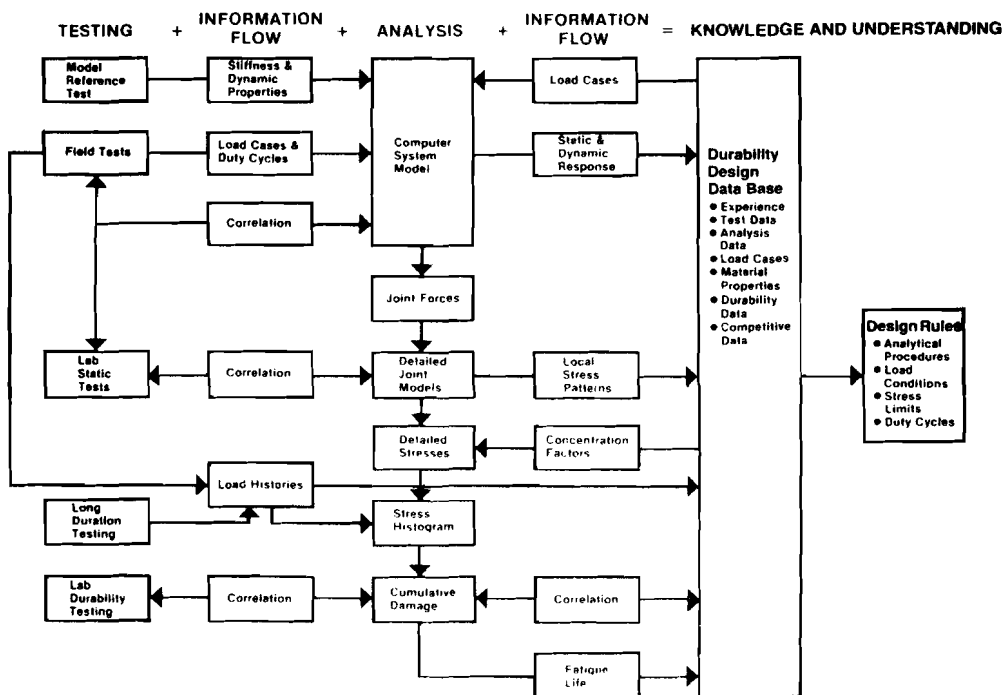


fig.21. het opzetten van een database voor het ontwerpen op vermoeiing

De belangrijkste kenmerken van CAE zijn:

- System modelling.
- Data management.
- Computer simulation.

Door toepassing van CAE kan de ontwerper verschillende computer-prototypes bouwen en testen; het maken van echte prototypes is tot in

een laat stadium van het ontwerpproces overbodig. Het is duidelijk dat CAE in allereerste instantie daar wordt toegepast, waar de bouw van prototypes hoge kosten met zich meebrengt zoals in de vliegtuigbouw, de automobieliindustrie en de plasticindustrie. Men zou CAE volgens het SDRC-concept kunnen vergelijken met "de gehele research afdeling in een computer". Een voorbeeld van de mogelijkheden bij het ontwerpen van een auto:

- windtunnelsimulatie,
- geluidsanalyse in de cabine,
- blikveldbepaling vanaf de chauffeursplaats,
- modale analyse van het chassis,
- optredende krachten op onderdelen.

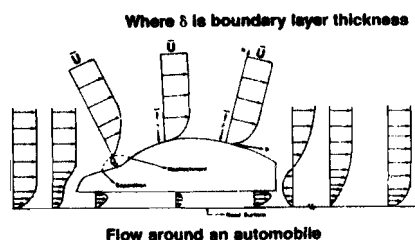
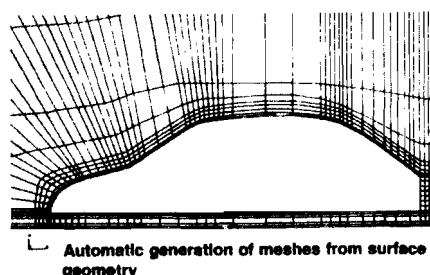


fig.22
windtunnelsimulatie



Verder bestaat er een 3D-modelleringsprogramma, waarmee een ontwerp in de computer kan worden ingevoerd. Men is bij SDRC van mening dat de traditionele werkwijze (waarbij enkele 2D aanzichten worden getekend) in feite onnatuurlijk is, aangezien de ontwerper een 3D-constructie in gedachte heeft. SDRC besteedt daarom ook veel aandacht aan de mogelijkheid een ontwerp op het beeldscherm te roteren. Bij het modelleren maakt men gebruik van enkele standaard 3D-lichamen. Door nu hier (Boolean-) operaties op toe te passen, kan aan het ontwerp de gewenste vorm worden gegeven. Het probleem bij het 3D-modelleren is, dat er veel rekenwerk verricht moet worden waardoor de responstijd sterk toeneemt. SDRC heeft daarom gekozen voor twee modelleeralgorithmen; de één werkt exakt doch langzaam, terwijl de ander snel en minder precies werkt. Het effect hiervan is bijvoorbeeld dat de doorsnijing van een cilinder met een schuin vlak geen echte ellips is, doch een veelhoek die op een ellips lijkt.

De bij SDRC aanwezige hardware bestaat oa. uit: in totaal 4 VAX 11/780 minicomputers, Evans & Sutherland PS300 werkstations, intelligente kleuren-rasterschermen (Lexidata). Ook hier werd duidelijk dat de werkstations steeds meer capaciteiten krijgen, waardoor de centrale computer ontlast wordt. Zo is er bij SDRC een kleurenterminal aanwezig, die bij 3D-kleurweergave zelf voor de schaduwwerking zorgt.

Lehigh University

Lehigh University heeft als één van de weinige universiteiten zowel een zgn. Educational Program, als wel een Industrial Program op het gebied van CAD/CAM.

De twee hoofdaspekten van het Educational Program zijn:

- het opleiden van studenten in CAD/CAM en
- het toepassen van CAD/CAM-technologie als een stuk gereedschap, ipv. het ontwikkelen van nieuwe hard- en software.

Bij het tweede aspekt moet men vooral denken aan vraagstukken als: wat is de invloed van 3D-graphics en kleurweergave op het menselijke leerproces en welke invoermogelijkheden zijn er verder nog te hanteren i.p.v. enkel het toetsenbord ?

Het doel van het CAD/CAM-programma is:

- De studenten kennis laten maken met systemen waarbij de nadruk ligt op de integratie van CAD en CAM. Hierbij is het genereren en toepassen van een database een zeer belangrijk aspekt.
- Te voorzien in vergaand interactieve instructiemodules voor gebruik als instructiestof in het computerlab en als leerstof in de leslokalen.
- Door scholing en training van CAD-operators een aansluiting te behouden op het CAD/CAM-gebeuren.

Wel dient er duidelijk te worden gesteld, dat research op de bij Lehigh University aanwezige apparatuur weliswaar toegestaan is, doch in principe ongeschikt is aan educatieve toepassingen.

Het Educational Program bestaat uit twee fasen, te weten het Undergraduate en het Graduate.

-Undergraduate Program.

Dit is hoofdzakelijk een Engineering-Graphics-cursus. Hierin besteedt de student de ene helft van de tijd aan het tekenbord, terwijl de andere helft aan een CAD-systeem wordt doorgebracht. De opzet van de Undergraduate-cursus is zodanig, dat het denken in 3D wordt gestimuleerd. Tevens vindt een allereerste kennismaking plaats met een "integrated CAD/CAM-system" door een NC-gereedschapspad voor een te vervaardigen onderdeel te genereren.

-Graduate Program.

In dit tweede gedeelte worden door de student enkele specifieke deelonderwerpen diepgaander behandeld, zoals bv. het m.b.v. CAD/CAM ontwerpen van een robothand, de visualisatie van een stromingspatroon op een beeldscherm.

Het Industrial Program is er in eerste instantie op gericht, om CAD/CAM-cursussen te verzorgen voor de industrie. Tevens kan Lehigh door de industrie worden geraadpleegd voor het oplossen van specifieke problemen, en op deze wijze worden dan weer praktijk-relevante opdrachten gevormd voor studenten. Een overzicht van de CAD/CAM-partners van Lehigh University, alsmede een lijst van op de universiteit aanwezige hardware geeft een idee van de systeemomvang. Men is in 1978 begonnen met de opbouw van het systeem, waarbij het vermeldenswaardig is, dat Lehigh zelf een VAX-supermini heeft moeten kopen, terwijl de tweede VAX 11/780 en de rest van de apparatuur door de diverse firma's voor niets, of tegen een sterk gereduceerde prijs, geleverd is. De bij Lehigh aanwezige software is zeer uitgebreid en beslaat vrijwel alle verkrijgbare software van McAuto, Applicon, IBM,

SDRC, Cosmic, General Software, alsmede de door Lehigh zelf ontwikkelde software.

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.	HERSHEY FOODS
AMERICAN CAN COMPANY	IBM CORPORATION
AMP	INFLIGHT SERVICES, INC.
APPLICON INC.	INGERSOLL-RAND COMPANY
BETHLEHEM STEEL CORPORATION	KOPPERS
ALVIN H. BUTZ, INC.	M.A.G.I.
CHRYSLER	MC DONNELL DOUGLAS AUTOMATION COMPANY
CONTROL DATA	MEGATEK CORPORATION
DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION	MOBIL FOUNDATION, INC.
DOW CHEMICAL	OZALID
E. I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY	SI HANDLING
EVANS AND SUTHERLAND	STRUCTURAL DYNAMICS RESEARCH CORPORATION
FAIRCHILD	TEKTRONIX, INC.
GENERAL ELECTRIC	UNIMATION, INC.
GENERAL MOTORS	WESTERN ELECTRIC
W. R. GRACE	WESTINGHOUSE

Computers:

Digital Equipment Corporation VAX 11/780
 Digital Equipment Corporation PDP 11/34 (two)
 IBM 4341

Stand-Alone minicomputers:

Digital Equipment Corporation MINC
 Digital Equipment Corporation PDP 11/23

Terminals:

2 color and 2 black & white Applicon graphics work stations
 6 Tektronix 4014 Unigraphics work stations
 6 Digital Equipment Corporation VS11 color terminals
 5 Digital Equipment Corporation VT100 black & white terminals
 1 Tektronix 4027 color terminal
 1 Evans & Sutherland PS300 black & white work station
 8 IBM 3277 display stations
 4 IBM 3251 graphics terminals
 1 Tektronix 618 graphic display terminal

Additional Equipment:

2 Calcomp 960 plotters
 8 hardcopy units
 1 Tektronix 4663 plotter
 1 Tektronix 4631 hardcopy unit
 1 Benson 1000 plotter
 1 Tektronix 8550 Microcomputer Development Lab

tabel 5
 CAD/CAM partners
 Lehigh University

tabel 6
 hardware
 Lehigh University

Cincinatti Milacron.

Aangezien Cincinatti Milacron zelf robots ontwerpt en fabriceert, ligt hier nu juist een gebied waarbij CAD/CAM en robotica elkaar enigszins overlappen. We zullen ons hier enkel beperken tot het gebruik van CAD/CAM voor het ontwerpen van robots en robotsystemen. Met behulp van het McAuto systeem PLACE (zie hiervoor de beschrijving van McAuto) worden de benodigde handelingen en bewegingen van de robot op een optimale wijze gerangschikt. Tevens wordt bepaald uit welke armen, grijpers e.d. de robot dient te worden opgebouwd. Opvallend is echter dat daarna alle gegevens van het bewegingspatroon op een ponsband worden gezet, met deze ponsband wordt dan de robot geprogrammeerd. Dit laatste is een nieuwe manier van robot-programmering, welke door Cincinatti Milacron zelf is ontwikkeld. In feite is dit een analogie van het tot nu toe bekende CAD/CAM-systeem, waarbij alle gegevens van een ontwerp of een object op een ponsband worden gezet, welke dan de bewerkingsmachine bestuurt. In de niet al te verre toekomst zal er een directe koppeling tussen ontwerp-terminal en robot mogelijk zijn. Hierdoor kan men dan de gegevens van de op het beeldscherm afgebeelde simulatie, direct naar de (on-line)robot sturen, waardoor deze op de werkvloer de benodigde handelingen in de juiste volgorde uitvoert.

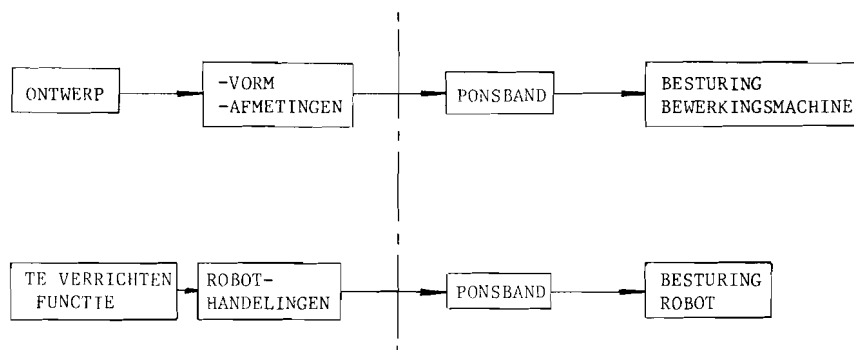
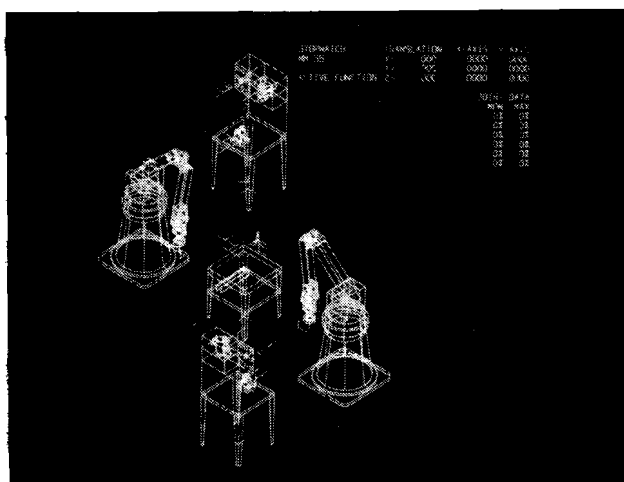


fig.23.verschillende manieren van besturing

fig.24
PLACE

3. Aanbevelingen voor de nederlandse industrie.

Een van de belangrijkste konklusies van de voorstudie was, dat het in Nederland ontbreekt aan een structuur voor toepassing van CAD/CAM. Van het aantal bedrijven die zich begeven op het gebied van produktontwerp en -fabrikage, blijkt ongeveer 2/3 minder dan 10 personeelsleden in dienst te hebben. Bij deze bedrijven ontbreekt het veelal aan financiële middelen en mankracht om CAD/CAM toe te passen. Wel dient te worden vermeld dat de samenstelling van de industrie in de Ver. Staten niet al te grote verschillen zal vertonen met die van Nederland. In de "discrete parts-industry" heeft 87% van de bedrijven minder dan 50 mensen in dienst. Onze indruk is, dat het grote verschil tussen de Nederlandse- en de Amerikaanse industrie hoofdzakelijk gelegen is in het feit dat er relatief meer grote bedrijven zijn en dat deze veel toeleveranciers hebben. Deze toeleveranciers nu, zijn veelal kleine ondernemingen. Niet alleen de samenwerking tussen afnemer en leverancier is groter, doch tevens wordt het onderlinge vertrouwen hoog in het vaandel geschreven. Hier volgt een opsomming van mogelijkheden voor kleine ondernemingen, om toch nog mee te kunnen doen in de gehele CAD/CAM-ontwikkeling:

1. Time sharing toepassen.

Grote firma's kunnen aan hun toeleveranciers terminals en rekentijd ter beschikking stellen (leasen). Voor de grote bedrijven levert dit extra inkomsten op, waarmee de kosten van hun CAD/CAM-systeem enigermate kunnen worden gereduceerd. De kleine ondernemingen kunnen zonder grote financiële offers gebruik maken van een CAD/CAM-systeem en hiermee ervaring opdoen om in een eventueel later stadium zelf een systeem gemotiveerd te kunnen aanschaffen. Op deze wijze snijdt het welbekende mes aan twee kanten.

2. In uitbreiding op het eerste, is een intensievere samenwerking tussen een groot bedrijf en een kleine dochteronderneming of toeleverancier ook mogelijk. De grote firma dient dan echter wel enkele voorzorgsmaatregelen te treffen om te voorkomen dat:

- de gebruiker toegang krijgt tot het gegevensbestand
- de gebruiker geen ander werk dan noodzakelijk uitvoert op het grote systeem. Dit zal moeten leiden tot een systeem, waarin beveiliging van vitale informatie mogelijk is.

3. Verschillende toeleveranciers van een grote firma vormen samen een conglomeraat, om dan gezamenlijk toegang te krijgen tot de rekenfaciliteiten van deze firma.

4. Verschillende bedrijven uit een bepaalde tak van de industrie vormen samen een vereniging waarbij elk bedrijf een financiële bijdrage levert, overeenkomstig een bepaalde verdeelsleutel. Deze vereniging koopt dan een CAD/CAM-systeem, wat door alle deelnemende bedrijven kan worden gebruikt.

5. Kleine bedrijven kunnen bepaalde CAD/CAM-problemen onderwerps-gewijs door een grote firma laten oplossen, waarbij één of meerdere personen van zo'n kleine onderneming dan kunnen meewerken. Op deze wijze kan een kleine firma dan een goed idee krijgen van de wijze waarop met CAD/CAM wordt gewerkt.

6. Er kunnen speciale "Leasing-bureaus" in het leven worden geroepen die aan bedrijven rekentijd en terminals uitlenen, alsmede ondersteuning verlenen bij de toepassing van CAD/CAM. Hieraan zit echter een nadeel verbonden, nl. dat het startkapitaal van zo'n leasing-bureau dermate hoog dient te zijn, dat het nog maar de vraag is, of deze instellingen wel kunnen starten.
7. Firma's die van plan zijn een CAD/CAM-systeem aan te schaffen, dienen eerst in overweging te nemen of het de moeite loont een klein systeem (hierbij valt bv. te denken aan het Autonomous System van McAuto) aan te schaffen. Veelal zijn 3D-tekensystemen en kleurweergave geheel en al overbodig. 3D-tekensystemen zijn duur en vragen veel tijd van het centrale geheugen.
8. De prijs van hardware zal naar verwachting gedurende de eerste 10 jaar ongeveer halveren (of de prijs blijft gelijk, doch de mogelijkheden zullen toenemen). Dit houdt in, dat het steeds meer aantrekkelijk zal worden om kleine systemen aan te schaffen. Hierbij kan men denken aan een mini- of uitgebreide micro-computer, die in staat is om het grootste deel van de in de praktijk benodigde berekeningen uit te voeren. Wij hebben het vermoeden, dat voor een groot deel van de nederlandse industrie juist deze kleinere systemen een goede mogelijkheid bieden om gedeelten van het ontwerp- en tekenwerk te automatiseren.

Indien de Technische Hogescholen in Nederland zelf ook een actieve bijdrage willen leveren aan de ontwikkelingen op het CAD/CAM-gebied, dan lijkt het wenselijk dat zij, net zoals Lehigh University dit doet, een gestructureerd CAD/CAM-programma op touw zetten waarbij samenwerking met de industrie en met leveranciers van apparatuur van essentieel belang zal zijn.

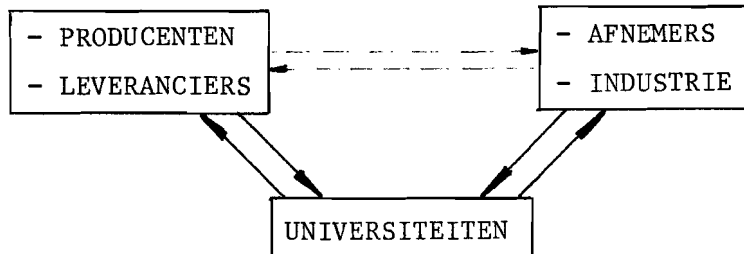


fig.25. samenwerkingsverband tussen universiteiten, producenten en afnemers

De aldus te vormen driehoeksverhouding tussen industrie, leveranciers van CAD/CAM-apparatuur en universiteiten zal als volgt te karakteriseren zijn. Leveranciers van CAD/CAM-systemen stellen apparatuur ter beschikking aan een Technische Hogeschool en bieden door hen zelf gemaakte software aan om deze te laten uittesten. De industrie klopt bij deze Technische Hogeschool aan om specifieke deelproblemen te laten oplossen, al of niet in samenwerking met deze Hogeschool. Deze Technische Hogeschool zorgt voor het testen en eventueel verder ontwikkelen van door leveranciers geleverde software; lost specifieke problemen voor de industrie op en geeft de opgedane ervaring door aan de leveranciers en de industrie. Het aantrekkelijke van zo'n systeem

ligt in het feit dat alle drie de partners profijt hebben van een dergelijke werkwijze, nl. de leveranciers kunnen via de Technische Hogeschool op een indirecte manier hun apparatuur demonstreren aan potentiële afnemers uit de industrie, terwijl de industrie hiermee een mogelijkheid heeft om zonder al te hoge kosten een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijkheden van CAD/CAM-systemen, om zodoende in een later stadium een goede keuze te maken bij de aanschaf van een systeem. De TH zelf heeft dan de mogelijkheid om een actieve bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van CAD/CAM.

4. EINDCONCLUSIES.

Gedurende ons bezoek in de Ver. Staten is het ons duidelijk geworden dat er door de gehele CAD/CAM-problematiek een rode draad loopt. Derhalve lijkt het ons verstandig om de belangrijkste kenmerken, alswel enige toekomstwijzende aspecten van het CAD/CAM-gebeuren zoals zich dat in de USA afspeelt, samen te vatten in enkele conclusies.

1. Toepassing van CAD/CAM, wil veelal zeggen dat slechts een klein gedeelte (30%) van alle ontwerpen ook daadwerkelijk gebeurt met behulp van CAD/CAM.
2. CAD en CAM zijn bijna nergens gelijk verdeeld, d.w.z. CAD wordt redelijk intensief toegepast, terwijl nauwelijks sprake is van CAM. Anders gezegd: de inpassing van CAM loopt duidelijk achter op die van CAD.
3. Dit houdt tevens in dat er ook nauwelijks sprake is van echte geïntegreerde CAD/CAM.
4. CAD-systemen zijn hoofdzakelijk tekensystemen, oftewel Computer Graphics. CAD-systemen die geschikt zijn voor het echte ontwerpen zijn echter nogal dungezaaid.
5. Bij produktie-gerichte bedrijven wordt weinig gebruik gemaakt van FEM-Analysis bij CAD; hier geschied enkel het tekenen en modelleren van onderdelen.
6. Terwijl men in Europa ontwerpssystemen, waarbij men d.m.v. het veranderen van ontwerpparameters en deze via optimalisatieloops uiteindelijk een optimaal ontwerp laten berekenen, veel nuttiger schijnt te vinden; is dit in de Ver. Staten niet het geval. De CAD/CAM ontwerpmethodiek die daar veelal wordt toegepast, is het (d.m.v. computer graphics) getekende ontwerp m.b.v. een FEM-Analysis door te rekenen. Indien het allereerste ontwerp niet bevalt, wordt dit gewijzigd en weer m.b.v. FEM-Analysis doorge-rekend, totdat een ontwerp ontstaat dat aan gestelde eisen voldoet (zie tekening).

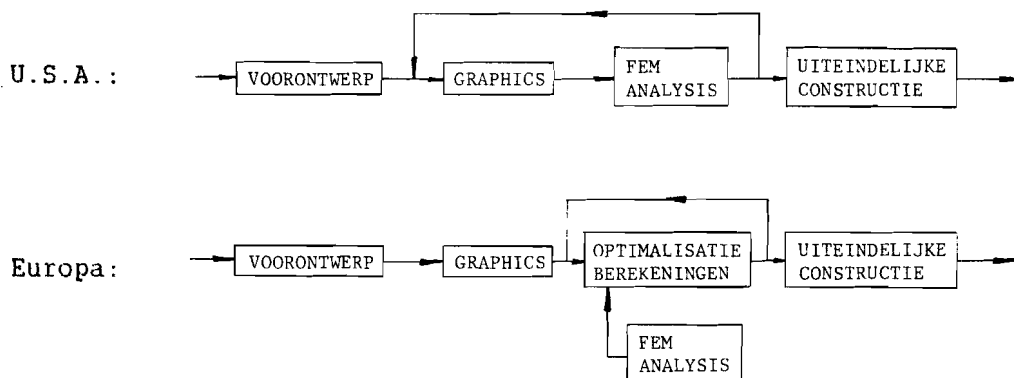


fig.26.CAD/CAM ontwerpmethodiek in de U.S.A. en Europa

7. In vrijwel elk bedrijf heeft men ervaring met een computer. Is het niet met een mainframe, dan in ieder geval met een personal computer.

8. De meeste bedrijven die een uitgebreid CAD/CAM-systeem in huis hebben, blijken ongeveer een 7-tal jaren geleden hiermee te zijn begonnen.
9. In het allereerste begin werd een klein systeem aangeschaft. Na enige jaren van ervaring en inzicht in het gebruik, werd een gerichte uitbreiding van het systeem aangekocht. Elke verdere uitbreiding bleek steeds sneller te worden gerealiseerd.
10. De gewenning van het personeel blijkt, in tegenstelling met ervaring in Nederland, bijzonder snel te verlopen. Zelfs vakbonden zijn hierover optimistisch.
11. Teneinde de aangeschafte apparatuur enigermate rendabel te maken, wordt er in 2-ploegendienst aan de terminals gewerkt.
12. Verreweg de meeste tekensystemen zijn 2D-systemen. 3D-teken-systemen (solid modelling) zijn wij alleen tegengekomen bij leveranciers van apparatuur; voor wat betreft de industrie blijkt de toepassing van 3D-systemen toch nog een open vraag.
13. In de eerstvolgende 10 jaar is het te verwachten dat de hardware ongeveer voor de helft van de huidige prijs verkrijgbaar zal zijn, tevens wordt de hardware "slimmer".
14. Er is een sterke tendens te bespeuren naar de "drawingless society", waarbij de informatieoverdracht via papier tot een minimum zal worden beperkt.
15. In navolging op Japan, heeft men in de U.S.A. ook grootscheepse plannen gelanceerd om in de 90'er jaren uit te komen met de zgn. 5e-generatie computers, welke worden gekenmerkt door kunstmatige intelligentie en expert-systemen.

Fifth generation computer system structure

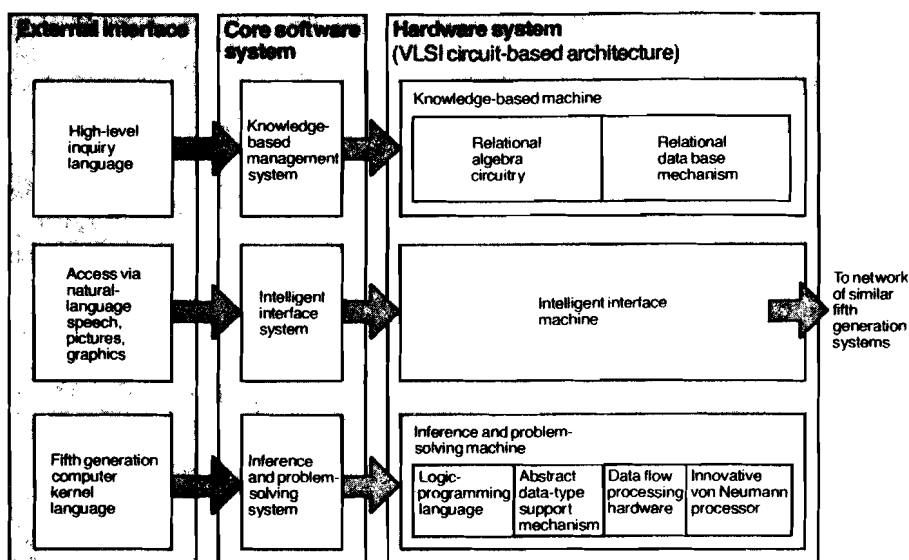
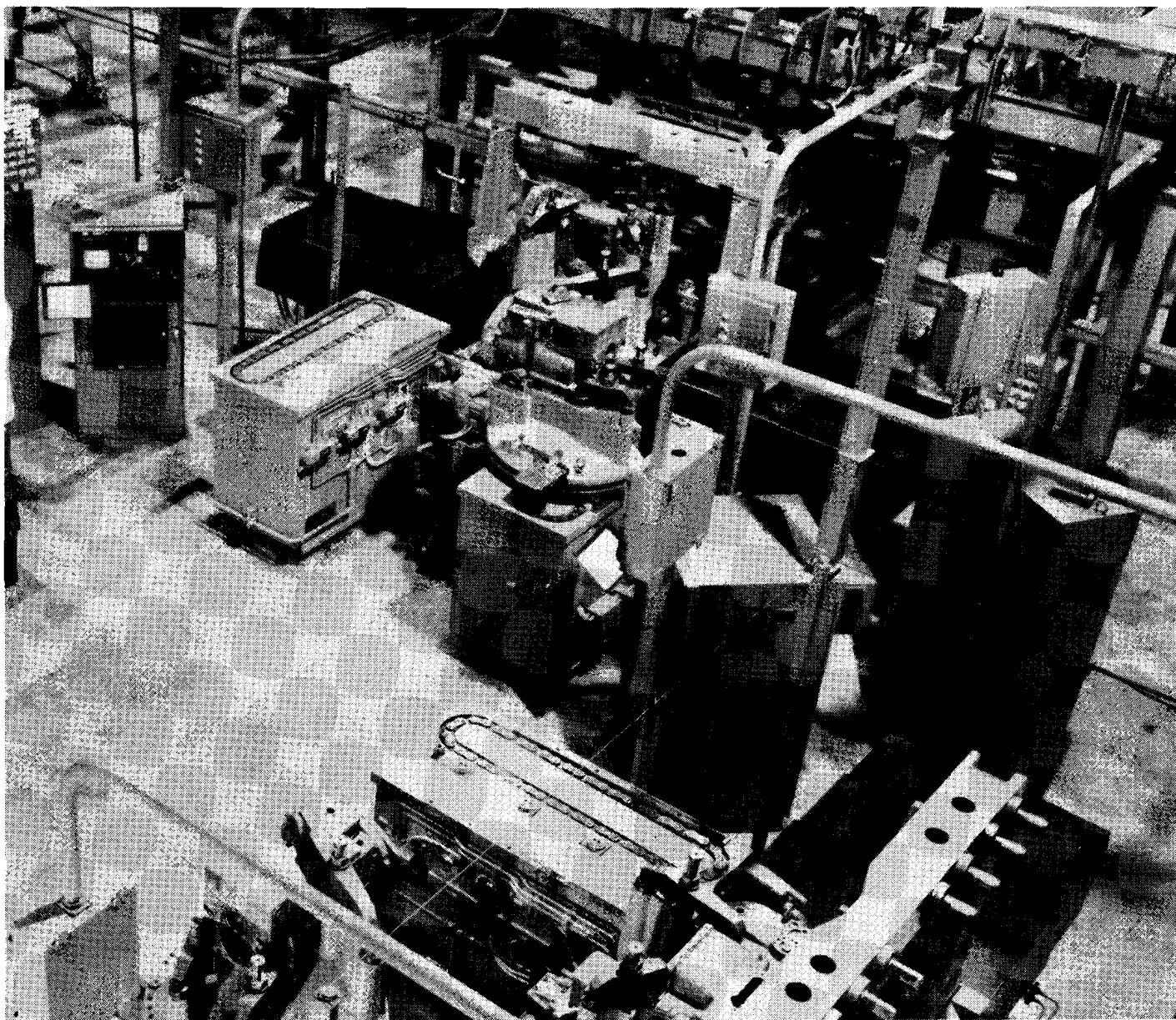


fig.27. systeem structuur van de 5e-generatie computers

16. De manier waarop enkele universiteiten samenwerken met de industrie en met leveranciers, is tekenend voor de gedegen Amerikaanse aanpak.

17. De stand van de techniek m.b.t. CAD/CAM is in de VS beslist niet hoger dan die in Europa, doch door de manier van aanpak heeft men in de VS een voorsprong op Europa.
18. Qua aantal gebruikte systemen, gerelateerd aan het aantal produkten, loopt Nederland duidelijk achter op de Ver. Staten, waardoor in de toekomst de produkten relatief duurder zullen worden.
19. Bij enkele baanbrekende softwarebedrijven valt duidelijk de tendens waar te nemen naar Computer Aided Engineering, en vooral naar geïntegreerde CAE, waarbij alle aspecten van het produktontwerp en de produktontwikkeling worden geïntegreerd.
20. Het gebruik van Artificial Intelligence blijft bij de huidige generatie computers enkel beperkt tot het hanteren van bepaalde beslissingsregels, of tot het opzetten van een database, waardoor de ervaring e.d. van konstruktors voor het bedrijf bewaard blijft.
21. In tegenstelling tot datgene wat velen denken, n.l. dat iedereen met de hulp van CAD/CAM zou kunnen konstrueren, is het niet mogelijk om met CAD/CAM innovatieve konstrukties uit te denken. Dit zal altijd voorbehouden blijven aan de niet vervangbare menselijke geest. Een bedrijf met slechte konstruktors in huis zal, nadat het een uitgebreid CAD/CAM-systeem heeft aangeschaft, beslist geen wezenlijk betere konstrukties kunnen realiseren.



Inhoud

Hoofdstuk 1.	Geschiedenis van de numerieke besturing	blz.184
Hoofdstuk 2.	Signaalverwerking, aandrijvingen en meetsystemen bij numeriek bestuurd machines	
	2.1. Signaalverwerking	blz.186
	2.2. Aandrijvingen	blz.188
	2.3. Meetsystemen	blz.192
Hoofdstuk 3.	Huidige stand van de numerieke besturingstechniek	blz.194
Hoofdstuk 4.	Enkele economische aspecten bij het inzetten van numeriek bestuurd gereedschapswerktuigen	
	4.1. Algemeen	blz.196
	4.2. Kwalitatieve keuzekriteria	blz.196
	4.3. Kwantitatieve keuzekriteria	blz.198
Hoofdstuk 5.	De verdere ontwikkeling (DNC)	
	5.1. Algemeen	blz.200
	5.2. Het huidige DNC concept	blz.200
	5.3. Vergelijking tussen het oude en nieuwe DNC-bedrijf	blz.203
	5.4. Toepassingsgebieden van DNC-systemen	blz.204
	5.5. Aanschaffing van een DNC-systeem	blz.205
Hoofdstuk 6.	Slot Nube	blz.207

Hoofdstuk 1.

Geschiedenis van de numerieke besturing.

De eerste gedachte aan numerieke besturing ontstond in 1949 in de Verenigde Staten toen men numeriek berekende vliegtuigonderdelen direct vanuit de berekeningen wilde gaan vervaardigen, zonder daarvoor kopieerinrichtingen te gebruiken. De digitale computer had reeds in 1946 haar intrede gedaan. Op het Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) werd in de jaren 1950 tot en met 1952 een driedimensionale baanbesturing in een freesmachine gebouwd (Parsons).

De invoering van numerieke besturing in de V.S. had snel succes op het gebied van de boormachines. Vooral omdat de bijbehorende besturingen eenvoudige puntsturingen waren. Daarnaast waren in de V.S. complexe besturingen voor 5-assen beschikbaar (Bendix, General Electric). Al snel begreep men dat het niet alleen mogelijk was complexe geometrieën te bewerken, maar dat het ook mogelijk was, door verandering van datadragers, tot een hogere flexibiliteit te komen. Door invoering van automatische gereedschapwisselaars kon men de flexibiliteit nog meer verhogen.

Tijdens de tentoonstelling van werktuigen in Parijs (1959) werden de eerste numeriek bestuurde machines verkocht in Europa. In 1959 had de firma Burckhardt & Weber het eerste bewerkingscentrum met automatische gereedschapwisselaars. Desalniettemin werden de numeriek bestuurde machines slechts aarzelend in gebruik genomen in Europa. Dit had ondermeer de volgende oorzaken:

- men was bezig conventionele machines te verbeteren,
- men beschikte niet over de financiële middelen om een Nube-machine aan te schaffen,
- door de gelijktijdige eerstmalige toepassing van elektronische bouwstenen ontstonden er problemen met betrekking tot de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid,
- maar bovenal werd het Nube-gebeuren als "Spielerei" beschouwd.

Juist dit laatste, het pionierswerk heeft een grote aanzet gegeven tot de ontwikkeling van Nube. Met name ASEA en Philips dienen hier genoemd te worden, omdat zij inzagen dat numerieke besturing een aparte discipline zou worden.

Terwijl de eerste Amerikaanse besturingen opgebouwd waren uit buizen, relais etc. ontstond er rond 1960 een tweede generatie besturingen met halfgeleider componenten. Door het grote aantal verschillende bouwstenen en door de verbindingstechnieken ontstonden problemen met de betrouwbaarheid. Deze werden pas opgelost bij produktie van grote aantallen, waardoor alle mogelijke fouten geëlimineerd konden worden. Ook het verminderen van het aantal verschillende componenten had een positief effect op de betrouwbaarheid.

Naast de technische ontwikkelingen van de besturingen kwamen de volgende opdrachten naar voren:

- het aanpassen van de besturingen voor de verschillende processen en machines,
- het inbouwen van apparatuur die het voor de operateur mogelijk maakt korrektes aan te brengen en

- het inbouwen van technologische informatie, zoals nulpuntsverschuiving, gereedschap-radius en -lengte, snelheidsverandering.

De benodigde informatie werd meestal door 8-bits code ingegeven. Bij baanbesturingen was dit onvoldoende. De eerste Amerikaanse besturingen hadden daarom een "buiteninterpolator", die de posities berekende en op een magneetband meegaf, die op haar beurt de machine bestuurde. Om ponsbanden te kunnen gebruiken werden later alleen "binneninterpolatoren" gebruikt. Het gereedschapwerktuig moest zelf ook aangepast worden, bijvoorbeeld:

- andere aanzetsystemen,
- andere kracht- en snelheidsgebieden,
- toepassing automatische gereedschapwisselaars.

Begin jaren '70 kwam er nog een keer een grondige verandering in de numerieke besturingswereld. Niet langer werd toegepast "inwendige programmering" (hardware), maar een microprocessor (software). Het aantal bouwelementen werd hierdoor weer verminderd, waardoor de betrouwbaarheid steeg. De verplaatsing van de interne afloop naar een programma (software) bleek even zo weinig flexibel als de hardware daarvoor, maar in elk geval konden de bedienings-mogelijkheden en -functies vergroot worden. Beslissend daarvoor was het toevoegen van een NC-programma-geheugen, waarmee het mogelijk werd een volledig programma voor de bewerking van een werkstuk in het geheugen te bewaren en te corrigeren. Eerst toen werden ook de handingave-besturingen mogelijk, waarmee het besturingsprogramma m.b.v. een toetsenbord ingegeven wordt.

Na dit stukje geschiedenis zullen we toch niet kunnen ontkomen aan een beetje theorie omtrent de opbouw van een numeriek bestuurd machine. Dit wil zeggen dat in de volgende paragraaf wordt beschreven wat de signaalwerking, aandrijvingen en meetsystemen bij numeriek bestuurd machines inhouden en welke combinaties er zoal mogelijk zijn.

Hoofdstuk 2.

Signaalverwerking, aandrijvingen en meetsystemen bij numeriek bestuurd machines.

2.1. Signaalverwerking

Taken van een besturing:

- Rekentaak: de gegevens over de contour of het materiaal van het werkstuk moeten verwerkt worden tot o.a. stuurgrootheden voor de slede-aandrijving, hoofdasnelheid teneinde een optimale verspaning te verkrijgen.
- Regeltaak: het resultaat van de uitgegeven stuursignalen moet continu door terugkoppelsystemen worden gecontroleerd en bijgesteld, zoals o.a. de terugmelding van de snelheids- en positie-sturingen.
- Logische taak: van een aantal machinefuncties behoeven slechts de toestandsgrootheden (aan of uit) te worden bewaakt en/of geschakeld.

Informatiebewerking

De informatie over een te vervaardigen produkt - welke vooraf in alpha-numerieke vorm is vastgelegd op pons- of magneetband - wordt na inlezing opgeslagen in het geheugen van de besturing. De gewenste sledeposities, die op de informatiedrager zijn vastgelegd, moeten onder beheer van de besturing ook inderdaad gerealiseerd worden op een bepaald tijdstip. De nodige berekeningen en bewerkingen hiertoe worden bij de numerieke besturing uitgevoerd door een computer.

De besturing (computer) zal aan de hand van de gegeven contourinformatie van het werkstuk begin, eindpunt en contour van de baan signaalwaarden berekenen op achtereenvolgende tijdstippen. Het signaal is dan nog niet continu, maar bestaat slechts op de genoemde tijdstippen. Dit komt overeen met het begrip bemonsteren van een signaal $X(t)$. Tussen de genoemde tijdstippen kan geïnterpoleerd worden. Met eenvoudige functies wordt dan de signaalwaarde tussen twee tijdstippen m.b.v. een interpolator benaderd met een houdcircuit (rekonstruktie-, laagdoorlaat-filter) wordt het signaal $X_g(t)$ gevormd. Dit is een benadering van het oorspronkelijke signaal, maar wordt beschouwd als het gewenste stuursignaal voor de servo's.

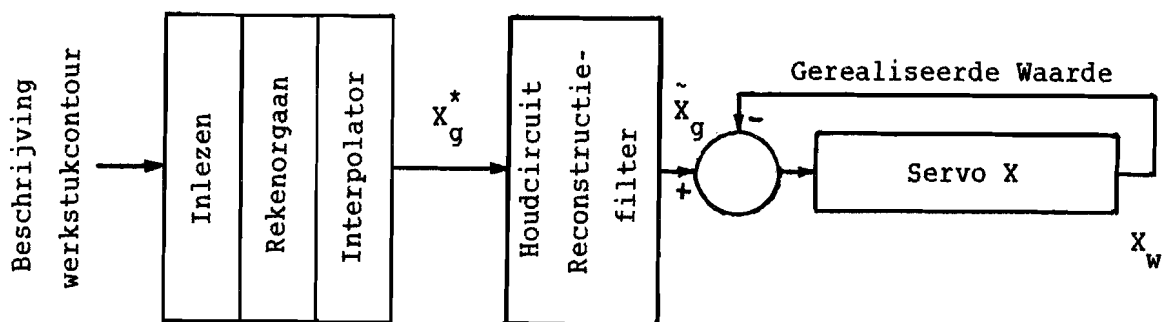


Fig. 1 Informatieoverdracht en rekonstruktiekanaal.

Van een tijdssignaal $x(t)$ is het mogelijk m.b.v. Fourierintegralen een frequentiespectrum - signaalspectrum - $X(j\omega)$ te bepalen. Dan wordt namelijk vastgesteld uit welke frequenties en in welke mate (amplitude) een bepaald tijdssignaal blijkt te zijn opgebouwd. Alleen voor periodieke signalen is dit een verzameling van diskrete frequenties, voor andere tijdssignalen is dit een continue verzameling: een frequentiespectrum. Voor praktisch voorkomende signalen bestaat er in zo'n spectrum een hoogste frequentie: de grensfrequentie ω_g . Dit hangt samen met het feit dat reële signalen een beperkt vermogen^g hebben. Als nu zo'n continu signaal $x(t)$ wordt bemonsterd dan luidt het theorema van Shannon: Wanneer het frequentiespectrum van een signaal $x(t)$ begrensd is door het gebied van 0 tot ω_g , dan wordt dit signaal voldoende vaak bemonsterd met een bemonsteringsfrequentie waarvoor geldt:

$$\omega_b \geq 2 \omega_g \quad (1)$$

d.w.z. op equidistante tijdstippen Δt met

$$\omega_b = 2 \pi f_b = \frac{2\pi}{\Delta t}$$

volgt
$$\Delta t \leq \frac{\pi}{\omega_g} \quad (2)$$

wil men uit het aldus verkregen bemonsterde signaal $x^*(t)$ zonder informatieverlies het oorspronkelijke signaal kunnen rekonstrueren. M.a.w. om een volledige rekonstruktie mogelijk te maken moeten per periode van de hoogst voorkomende frequentie minimaal twee bemonsteringen worden gedaan.

Het servosysteem is een onderdeel van het rekonstruktiefilter. Bepaald door de massatraagheden, wrijvingen kan het servosysteem slechts signalen beneden een bepaalde grensfrequentie doorlaten: het servosysteem heeft een bandbreedte ω_{gs} . Positioneringssignalen met een hogere frequentie dan ω_{gs} worden door het aandrijfsysteem niet gerekonstrueerd. Daarom wordt^{gs} gekozen:

$$\omega_b = 2 \omega_{gs} \quad (3)$$

Het bemonsteringstheorema van Shannon heeft gevolgen voor de programmering. Aannemende dat we met een konstante contoursnelheid V_k willen verspanen, dan geldt voor de afstand

$$\begin{aligned} \Delta s &= V_k \Delta t \\ \text{met} \quad \Delta t &= \frac{2\pi}{\omega_b} = \frac{\pi}{\omega_{gs}} \quad (\Delta t \text{ is bemonsteringsinterval}) \text{ volgt} \\ \Delta s &= \frac{V_k \pi}{\omega_{gs}} \quad (4) \end{aligned}$$

dit is de kleinste zinvol programmeerbare afstand, d.w.z. dat dit de kleinste contourafstand is waarbinnen ingrijpen niet meer mogelijk is.

Interpolatie

Onderverdeeld naar de bewegingen, die tussen begin- en eindpunt van een contour mogelijk zijn, onderscheidt men enkele besturingen:

- puntbesturing,
- lijnbesturing (eenvoudig),
- lijnbesturing (uitgebreid) en
- baanbesturing.

Bij de uitgebreide lijnbesturingen en bij baanbesturing worden zogenaamde interpolatoren toegepast. Dit is dan meestal een lineaire respectievelijk een circulaire interpolator. De interpolator berekent voor een betreffend stukje contour de gecoördineerde bewegingsactiviteit van de respectievelijke bewegingsrichtingen, zoals op deze wijze de gewenste contour zo goed mogelijk gerealiseerd wordt. Een interpolator moet voldoen aan de volgende eisen:

- de door de interpolator berekende krommen moeten zo goed mogelijk de contour van het werkstuk benaderen,
- de resulterende contoursnelheid moet binnen ruime grenzen verstelbaar en onafhankelijk van de contour zijn,
- het numeriek aangegeven eindpunt moet exakt bereikt worden, opdat er namelijk geen sommatie van wegfouten plaatsvindt.

Interpolatoren werken i.h.a. digitaal. De digitale interpolator bezit in principe een konstante nauwkeurigheid, onafhankelijk van de lengte van het te interpoleren stukje contour. De nauwkeurigheid hangt in de eerste plaats af van de kleinste wegeenheid (inkrement), waarop de berekeningen worden gebaseerd.

De meest gebruikelijke methode is de numerieke integratie van snelheidscomponenten, de zogeheten "Digital Differential Analyzer" (D.D.A.) methode. De interpolator berekent hierbij voor elke as een aantal pulsen waarvan het aantal per tijdseenheid overeenkomt met de betreffende assnelheid. De sledeaandrijving integreert de afzonderlijke snelheidscomponenten tot een weg. Kiest men de weginkrementen voldoende klein, dan wordt deze integratie teruggebracht tot een sommatie van snelheidscomponenten.

Voor de sturing van gereedschapwerktuigen is de lineaire en circulaire interpolator de meest gebruikelijke. Andere interpolatiesoorten zoals de parabolische worden slechts in bijzondere gevallen toegepast.

2.2. Aandrijvingen

Open en gesloten besturingen

De besturing van een Nube-machine dient ervoor te zorgen dat de gewenste sledeposities, die in de informatiedrager - zoals papier- en magneetband - zijn vastgelegd, inderdaad ook gerealiseerd worden op een bepaald tijdstip. Daartoe geeft deze besturing - vooraf berekende en via een interpolator verlopende - signalen af aan de aandrijfmotoren van de slede. De aandrijfmotor voert daarop met de gewenste snelheid een hoekverdraaiing van de as uit, die tegelijkertijd door de mechanische overdrachtselementen in een verplaatsing met de gewenste

snelheid van de slede resulteert. Bij de besturing met aandrijving moet onderscheid gemaakt worden in twee typen:

- de open besturing. De aandrijfmotor is zo gebouwd, dat iedere stuurpuls die de besturing via de impulsversterker aan de motor afgeeft een bepaalde verplaatsing van de slede tot gevolg heeft. Bij dit systeem vindt geen controle plaats of de stappen werkelijk uitgevoerd worden omdat een terugkoppelsysteem ontbreekt. De hoeksnelheid wordt gestuurd met de frequentie van de stappenmotor. Deze bepaalt dan ook de nauwkeurigheid.
- de gesloten besturing. Aan de slede is een meetelement gebouwd, dat de werkelijke sledepositie en de waarde d.m.v. een signaal aan een vergelijk-orgaan - verschilversterker - aanbiedt. Dit signaal wordt in dit orgaan vergeleken met de gewenste waarde uit de besturing. Afhankelijk van het verschil tussen beide waarden wordt de aandrijfmotor bekrachtigd. De nauwkeurigheid waarmee de gewenste positie bereikt kan worden, hangt voor een groot deel af van het gebruikte meetsysteem. De door de sturing vastgestelde snelheids- en positiewaarde moet door de aandrijving met de grootst mogelijke nauwkeurigheid en zonder vertraging omgezet worden in de relatieve beweging tussen werkstuk en gereedschap.

De eisen die we aan een sledeaandrijving stellen zijn:

- goed dynamisch gedrag. Veranderingen in het stuursignaal moeten met de geringste vertraging door de sledeaandrijving worden uitgevoerd.
- vervormingsvrije signaaloverdracht. De overgang van de ene positie naar de andere mag niet tot slingeringen in de aandrijving leiden.

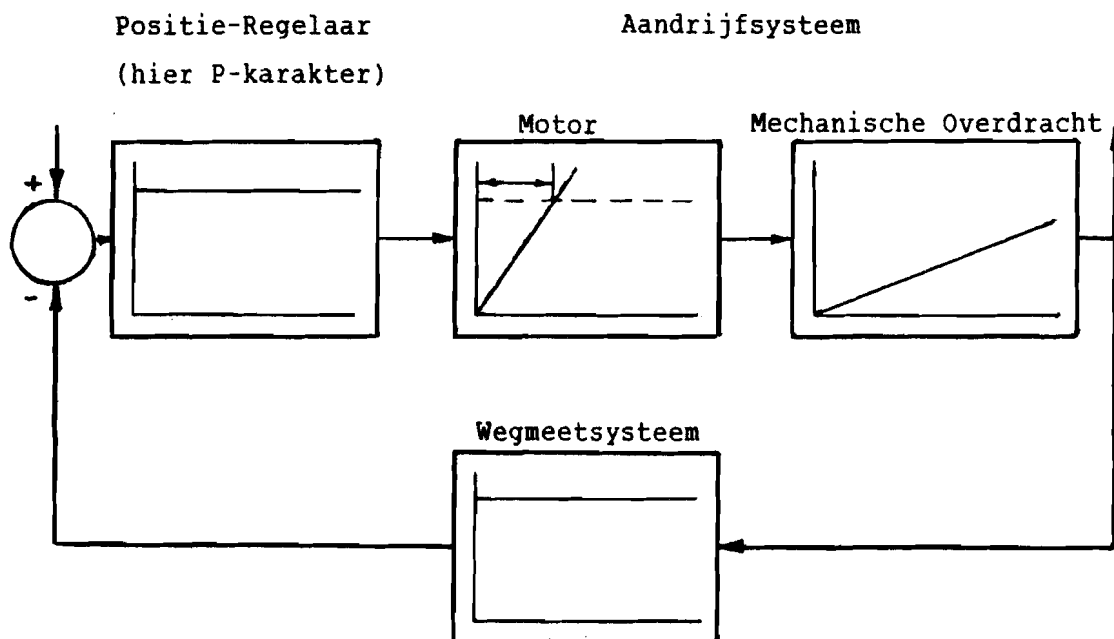


Fig. 2 Vereenvoudigd blokschema van een positieregelkring.

- elimineren van storingen. Schommelingen in wrijvings- en snijkrachten vereisen een hoge statische en dynamische stijfheid van de aandrijving en de gehele regelkring.
- de aanpassing bij meerassige besturing. De overdracht van de verschillende assen moet gelijk zijn, d.w.z. de snellere aandrijvingen moeten aan de langzamere worden aangepast.

De gesloten besturing bestaat uit drie componenten, te weten de regel-inrichting, de aandrijving en het meetsysteem.

In de regel-inrichting wordt de werkelijke positie X_w vergeleken met de gewenste positie X_g . Het resultaat is de regelafwijking $X_a = X_g - X_w$ en deze wordt toegevoegd aan de regelaar met een P, I of PID^a karakter^w (P= proportioneel, I= integrerend en D= differentiërend). De regelaar-karakteristiek is zodanig gekozen dat het systeem een optimaal gedrag heeft. Overeenkomstig dit optimaliseringskriterium wordt in de regelaar uit X_a een tijdsafhankelijk signaal voor de aandrijfmotor gevormd. Indien^a de regelafwijking X_a nul wordt, dan heeft de slede zijn gewenste positie bereikt.

Het aandrijfsysteem bestaat uit de vermogensversterker, de servomotor en de mechanische overdrachtselementen. De vermogensversterker levert de benodigde energie voor de aandrijving. De gebruikelijke aandrijfmotoren zijn gelijkstroom- en hydraulische motoren. De rotatiebeweging van de as van de motor wordt meestal via een spindel-kogel omloopmoer omgezet in een translatiebeweging van de slede.

Het meetsysteem levert de terugkoppeling van de regelkring. De werkelijke positie X_w van de slede wordt m.b.v. een hoek- of wegmeetsysteem gemeten en samen^w met het ingangssignaal X_g naar de regelaar gestuurd ter vorming van een stuursignaal voor de aandrijfmotor.

Door de regelkring en vooral het integrerende karakter ervan, wordt de werkelijke positie X_w in overeenstemming gebracht met de gewenste positie X_g en de invloed^w van stoorkrachten geëlimineerd. De eis dat de werkelijke^g sledepositie X_w zo goed mogelijk en foutvrij de gewenste positie X_g volgt kan gerealiseerd worden door:

- geringe speling bij de mechanische overdrachtselementen,
- hoge stijfheid van die mechanische elementen waarop grote krachten komen,
- kleine massa-tragheidsmomenten van de roterende delen,
- hoge mechanische eigenfrequentie,
- geringe tijdconstante van de aandrijving,
- hoge rondgaande versterking van de regelkring,
- hoge demping om instabiliteiten en opslingeringen te voorkomen

Stabiliteit van regelkringen

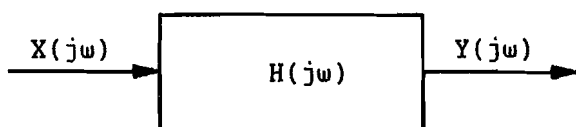


Fig. 3 Blokschema overdracht.

De verhouding tussen in- en uitgangssignaal, in het frequentiedomein, wordt genoemd de overdrachtsfunctie: $H(j\omega)$.

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \quad (5)$$

Wanneer meerdere systemen achter elkaar in serie worden gezet kan uit de afzonderlijke overdrachten de overdrachtsfunctie van het gehele systeem worden bepaald. In het tijddomein is dit evenwel niet zo gemakkelijk. In het frequentiedomein kan van een combinatie van systemen op een eenvoudiger wijze de overdrachtsfunctie worden bepaald. De qua stabiliteit meest interessante combinatie is die met terugkoppeling. Bij de terugkoppeling geldt voor de overdrachtsfunctie van het totale teruggekoppelde systeem:

$$H'(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{H(j\omega)}{1 + H(j\omega) G(j\omega)} \quad (6)$$

$$Y(j\omega) = H'(j\omega) X(j\omega) = \frac{H(j\omega)}{1 + H(j\omega) G(j\omega)} X(j\omega) \quad (7)$$

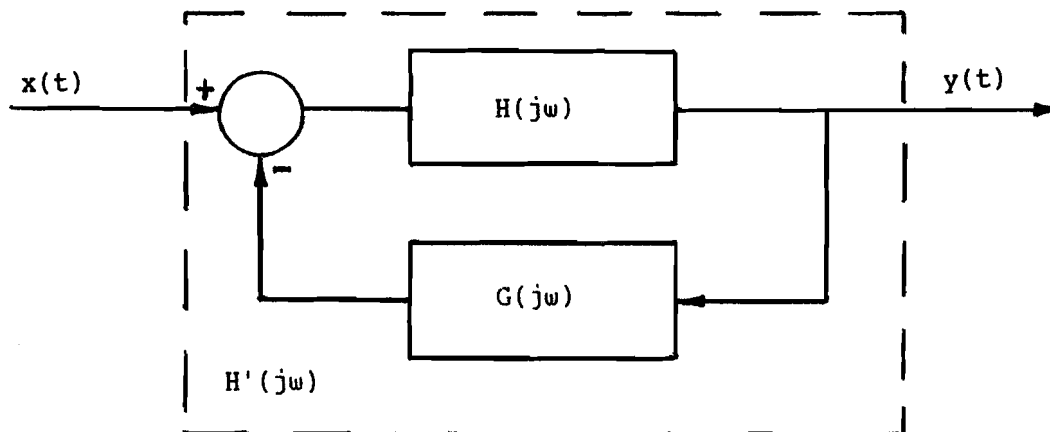


Fig. 4 Het teruggekoppelde systeem.

Het totale teruggekoppelde systeem is nu instabiel voor die frequentie waarbij de noemer van (6) nul wordt, d.w.z.:

$$1 + H(j\omega) G(j\omega) = 0 \quad (8)$$

Dan kan volgens (7) de waarde van het uitgangssignaal $Y(j\omega)$ zeer groot worden onafhankelijk van het ingangssignaal $X(j\omega)$.

Aandrijfmotoren

Bij de moderne produktiemachines worden op diverse plaatsen aandrijvingen toegepast. De belangrijkste component van zo'n aandrijving is meestal een motor met zijn voedingseenheid. De keuze van de motor wordt bepaald door de specifieke eisen, die aan de aandrijving gesteld worden, zoals o.a. een nauwkeurige bestuurbaarheid, hoge snelheid of versnelling, eenvoudige constructie en een goed regelbare voedingseenheid. M.b.t. het gebruikte medium voor de energieomzetting kan men

deze aandrijvingen verdelen in elektrische, hydraulische en pneumatische. Beschouwen we hiervan uitsluitend de aandrijvingen met elektrische motoren, dan kan deze groep weer onderverdeeld worden in:

- wisselstroommotoren, synchroon en asynchroon,
- gelijkstroommotoren,
- lineaire motoren en
- elektrische stappenmotoren.

Hoofdasaandrijfmotoren:

Bij de moderne machines worden hier reeds vermogens vereist van 50 kW of meer. Een veel toegepaste motor is de 3-fasen asynchroonmotor. Deze is in de regel goedkoop door de grote produktie-aantallen en de eenvoudige bouw van de kooi, anker en rotor. Het toerental is echter alleen kontinu regelbaar door regeling van de frequentie van het draaiveld. Een andere mogelijkheid tot toerentalregeling is d.m.v. koppeling met een tandwielkast. Daar tegenwoordig ook voor hoofdasaandrijvingen een kontinu regelbaar toerental gewenst is - optimale verspaningssnelheid - wordt steeds vaker hiervoor een gelijkstroommotor gekozen.

Sledeaanrijfmotoren:

De huidige sledeaanrijvingen voor gereedschapswerktuigen moeten aan de volgende eigenschappen voldoen:

- iedere as moet separaat regelbaar zijn,
- bereikbare ijlgangsnelheden van 10 tot 15 m/min.
- toerental regelbaar van ongeveer 1: 20.000 omw/min.
- goede dynamische eigenschappen hebben, zoals kleine tijdconstanten, om geringe aanloop- en vertragingstijden te bereiken.

Als sledeaanrijfmotoren worden tegenwoordig uitsluitend nog gelijkstroommotoren en elektrische (elektro-hydraulische) stappenmotoren toegepast.

2.3. Meetsystemen

We kunnen de volgende indeling maken in de meetsystemen:

- analoge en digitale meetsystemen,
- absolute en inkrementele meetsystemen,
- meetsystemen voor roterende en lineaire bewegingen en
- dynamische en statische meetsystemen.

Analoge en digitale meetsystemen: De kenmerkende eigenschap van een analoog meetstelsel is, dat elke positieverandering Δs een evenredige verandering in de uitgangsgrootheid U_s veroorzaakt:

$$\Delta U_s = k_1 \Delta s \quad (9)$$

waarbij k_1 een constante is.

Een digitaal meetstelsel geeft als functie in een positieverandering een stapvormige verandering van de uitgangsgrootheid. Dus geen wijziging van de uitgangsgrootheid tussen twee stappen.

Absolute en inkrementele meetsystemen: Voor een absoluut meetsysteem geldt dat voor elke positie van de meetopnemer één uitgangsgrootheid vastligt. Het nulpunt van het meetsysteem is niet te kiezen of te verplaatsen; de plaats van het systeem op een machine bepaalt het "nulpunt" van de machine. Inkrementele meetsystemen daarentegen hebben geen vast nulpunt (referentiepunt). Elke positie wordt in principe opgegeven t.o.v. de voorgaande positie. Is het systeem buiten bedrijf geweest dan moet voor ingebruikname het referentiepunt bepaald worden.

Meetsystemen voor roterende en lineaire bewegingen: Een meetsysteem voor roterende bewegingen is over het algemeen een meetsysteem, waarbij d.m.v. een uitstekende as een ronde merktekendrager verdraaid kan worden t.o.v. de opnemer of omgekeerd. Dit betekent dat de uitgangsgrootheid van een rotatiemeetsysteem overeenkomt met een hoekverdraaiing.

Een meetsysteem voor lineaire verplaatsingen is een meetsysteem waarbij een opnemer lineair verplaatst wordt langs een rechte merktekendrager of omgekeerd. De uitgangsgrootheid van het systeem komt overeen met een lineaire verplaatsing, translatie. Vaak worden er meetsystemen gebruikt waarbij rotaties worden omgezet in translaties of translaties in rotaties, men spreekt dan van indirecte meetsystemen. Worden meetsystemen toegepast zonder gebruik van hulpmiddelen, m.a.w. hoekverdraaiingen rechtstreeks gemeten met rotatiesystemen en lineaire verplaatsingen met translatiesystemen, dan spreekt men van directe meetsystemen.

Rotatiesystemen zijn over het algemeen eenvoudiger van constructie, goed afgedicht en beter beschermd tegen vuil, vocht en schadelijke invloeden van de omgeving; ook wat de kosten betreft steken deze systemen af bij translatiesystemen.

Dynamische en statische meetsystemen: De woorden dynamisch en statisch hebben betrekking op de manier waarop de merktekendrager bemonsterd wordt. Als het systeem in rust is, geeft de opnemer van een statisch meetsysteem een constant uitgangssignaal; slechts in geval van positieverandering verandert het uitgangssignaal. De opnemer van een dynamisch systeem daarentegen bemonstert de merktekendrager continu, de aard van het dynamisch signaal verandert als de positie verandert.

Belangrijke eigenschappen van meetsystemen zijn een goed oplossend vermogen, goede lineariteit, nauwkeurigheid, grote mechanische sterkte, ongevoeligheid voor trillingen en schokken, vuil, water, koelmiddel, dampen en allerlei narigheid die in het toepassingsgebied kunnen voorkomen. Een oplossend vermogen van $\pm 1 \mu\text{m}$ is niets bijzonders, toelaatbare snelheden boven 10 meter per minuut en toerentallen variërend van 5 tot 6.000 omw/min. zijn alledaagse zaken, waarbij een levensduurverwachting van 50.000 uur zonder onderhoud niet ongewoon is. Eigenfrequenties, resonanties, in meetsystemen moeten minimaal een factor 10 hoger liggen dan de soortelijke trillingen of eigenfrequenties van de machine.

Hoofdstuk 3.

Huidige stand van de numerieke besturingstechniek.

De laatste jaren is de ontwikkeling in de numerieke besturing vooral op het kostenaspect gericht. Dit leidde tot sterke rationalisering van de besturingsvervaardiging en tot de wens door gunstige inbouwtechniek, hoge integratiedichtheid van de bouwelementen en automatische controle van de bouwelementen een sterke kostenreducering te bereiken. Een wezenlijke stap hiertoe is de komst van de funktiegesplitste besturing door geheugenprogrammeerbare besturing en door opbouw in modules. Enkele typerende bouwgroepen zijn:

- intelligent bedieningsveld (eigen rekengedeelte),
- besturingselektronica en
- het vermogensgedeelte.

De noodzakelijkheid numerieke besturingen in grote aantallen te bouwen gaf een vastgelegde functieomvang voor besturingen door een compromis tussen besturingskosten en gebruiksmogelijkheden. Te grote functieomvang geeft te hoge kosten. Een te kleine functieomvang geeft een te laag aantal toepassingsmogelijkheden.

De aanpassing van de besturing aan de verschillende besturingseisen geschiedt op meerdere wijzen:

- de enkele machine stelt eisen op het gebied van werkwijze en snelheid. Veel van deze eisen kunnen door de programmering van de bijbehorende geheugenprogrammeerbare besturing vervuld worden. Treden er echter volledig andere tijdsafhankelijke zaken op, dan wordt ook de kern van de besturing geraakt.
- uit bedieningsoogpunt kunnen ook onderscheidbare eisen gesteld worden. Tot voor kort werd als eis gesteld een goed afleesbaar bedieningspaneel. Tegenwoordig worden grafische beeldschermen toegepast, waarop contouren en bewegingen gevolgd kunnen worden.

Besturingen onderscheiden zich verder nog in:

- besturingsomvang, het aantal te besturen assen.
- het aantal van elkaar afhankelijke assen, welke van elkaar afhankelijke bewegingen uitvoeren.
- de mogelijkheid gegevens uit het proces terug te winnen of het bij de besturing betrekken van inkleem- en toevoerinrichtingen.

Dit alles leidt tot de eis van het toepassen van meervoudige besturingen.

Als we naar het aantal operationele numeriek bestuurd machines kijken, dan blijkt dat Nederland nu achter loopt i.v.m. andere geïndustrialiseerde landen. De volgende tabel geeft aan het aantal numeriek bestuurd machines in 1980 voor een aantal landen.

Land	Aantal (1980)
Verenigde Staten	52.900
West Duitsland	25.000
Sovjet Unie	16.200
Japan	9.500
Groot Brittanië	5.600
Italië	2.300
Frankrijk	2.200
Zweden	1.100
Nederland	1.000

Bij het programmeren van numeriek bestuurd machines kunnen we drie methoden onderscheiden:

- werkplaatsprogrammering. Kenmerken hiervan zijn dat dit gedaan wordt voor eenvoudige produkten waarvan de seriegrootte in de orde van 10-50 stuks ligt.
- handprogrammering. Dit wordt gedaan bij meer complexe produkten en vooral bij seriefabrikage, omdat het optimaliseren van het bewerkingsproces hierbij een grote rol speelt. Bij eenvoudige produkten kost handprogrammeren 2 à 3 maal zoveel tijd als werkplaatsprogrammering.
- machinale programmering. Deze vorm bespaart bij eenvoudige produkten veel tijd t.o.v. handprogrammering (35 a 40%), en wordt ook gebruikt voor meer complexe produkten.

Het aantal NC-machines heeft nauwelijks invloed op de programmeermethode.

Een goede organisatie is bij het toepassen van numeriek bestuurd machines een belangrijke zaak. Hierbij gaan drie eisen steeds zwaarder wegen:- het beschikbaar zijn van actuele informatie, zoals gereedschapsgegevens en verspaningstabellen,

- het minimaliseren van stilstandtijden door correlatie van programma's, en
- de mogelijkheid grote hoeveelheden data op te kunnen slaan en op gedefiniëerde deelprogramma's terug te kunnen grijpen.

Het is belangrijk dat de huidige gebruiker van numeriek bestuurd machines zijn organisatie zo opbouwt, dat onafhankelijk van het aantal onderscheidbare programmeermethoden de noodzakelijk informatie op de snelste en meest economische manier bij de numeriek bestuurd machines geraakt.

Hoofdstuk 4.

Enkele economische aspecten bij het inzetten van numeriek bestuurd gereedschapswerktuigen.

4.1. Algemeen.

Wanneer we kijken naar de inzetbaarheid van numeriek bestuurd machines en de economische verschijnselen hieromheen, dienen we ons goed te realiseren, dat hier veel, vaak niet direkt meetbare factoren een rol spelen. Te denken valt dan bijvoorbeeld aan de flexibiliteitstoename en de inzet van moderne computertechnieken als voornaamste indirecte factoren. Maar ook verkorting van de bewerkingstijden van produkten speelt een rol. Onderzoekingen wijzen uit dat met name deze laatste faktor meestal van doorslaggevende betekenis is wanneer een bedrijf Nube-machines aanschafft.

Met de invoering van Nube-machines zullen tevens de magazijninvesteringen dalen. Immers, het is, door de sterk ingekorte bewerkingstijd, niet meer nodig produkten langere tijd op te slaan voordat zij een volgende bewerking ondergaan. Ten aanzien van uitval en kwaliteit zijn er aanzienlijke winsten te boeken. Het uitvalpercentage is bij Nube-machines klein en de produktiviteit hoog. Dit alles dankzij de goede reproduceerbaarheid van de Nube-machine; de produktnauwkeurigheid is nu niet langer meer afhankelijk van arbeidsintensieve instelprocedures, maar wordt langs elektronische weg bepaald. Machines met automatische gereedschapwisseling hebben nog het voordeel dat leeglooptijden en gereedschapsmagazijnkosten verder worden teruggedrongen. Tenslotte wijzen wij erop dat numerieke besturing steeds voordeliger zal worden bij stijgende loonkosten. Dit voordeel komt echter steeds dichterbij door de prijsdaling van Nube hard- en software.

Kwalitatieve keuzekriteria

Ten aanzien van de keuze van een Nube-machine kunnen we systematisch een aantal kwalitatieve aspecten bekijken, welke hierna in een drietal criteria worden ondergebracht.

Wanneer we denken aan Nube-machines is t.a.v. de bewerking zelf vooral de winst in leeglooptijd aantrekkelijk. Dit wordt door de volgende punten bepaald:

- werkstukcomplexiteit. Bij complexe werkstukken zal een Nube-machine in het voordeel zijn.
- soort bewerking. Wanneer lange stukken met automatische aanzet verspaand kunnen worden zal een Nube-machine dit goedkoper kunnen doen. Immers, in dezelfde tijd dat de machine verspaant staat de man achter de conventionele machine te wachten tot de vereiste hoeveelheid materiaal is afgenomen, terwijl de Nube-machine dit geheel zelf regelt.
- snijsnelheid. Is een materiaal met hoge snijsnelheden te verspanen (bijv. Al-legeringen in de vliegtuigindustrie) dan verdient de Nube-machine de voorkeur. Vanwege zijn snelheid van uitvoering van opeenvolgende bewerkingsstappen zijn dan t.o.v. conventionele machines bijzonder korte bewerkingstijden te verkrijgen.

- spantijden. Zijn de conventionele spantijden lang, dan kan de Nube-machine wederom verlichting brengen. Door het opgeven van enkele referentiepunten van het uitgangsmateriaal is de machine zelf in staat een opspanningsfout te corrigeren, zodat de opspanning nu snel en niet zo exakt hoeft te zijn.
- gereedschapwisseltijden. Vooral Nube-machines die met een gereedschap diverse bewerkingen kunnen uitvoeren hebben een sterke verkorting van deze tijd tot gevolg.
- meettijden. Bij complexe werkstukken en daar waar enge toleranties gewenst zijn zullen deze tijden sterk de overhand nemen bij de conventionele machine. Men denke bijvoorbeeld aan het boren van een blind gat op juiste diepte. Conventioneel zal men hiervoor herhaaldelijk moeten meten, terwijl de Nube-machine in één keer het gat op juiste diepte boort.

We presenteren nu de keuzefactoren welke verband houden met de Nube-machine in relatie met de produktie. We zien de volgende facetten optreden:

- terugkerende kleine series. Hiervoor is de Nube-machine zeer geschikt doordat de produktinformatie op een ponsband of iets dergelijks vastligt en derhalve direkt operationeel te maken is.
- eenmalige kleine series. Boven een zeker aantal produkten is het aantrekkelijk de Nube-machine te programmeren waardoor een efficiëntere produktie kan plaatsvinden.
- het meervoudig produceren op een machine. Maakt dat er per machine-run direkt meerdere produkten gemaakt kunnen worden (bijv. bij de meerkoppige freesmachines).
- modificatiemogelijkheid. Door eenvoudige aanpassing kunnen van eenzelfde soort produkt een hele familie van afmetingen gekreëerd worden met een basisprogramma. Ook produktwijzigingen zijn op eenvoudige wijze in te voeren.
- enkelstuks reserveonderdelen. Waar nodig, is met een deel van het programma een enkel onderdeel te fabriceren. Dit is vaak het geval wanneer reserveonderdelen nodig zijn.
- kosten van spanwerktuigen. Wanneer de kosten hoog oplopen zullen we eerder een Nube-machine installeren die met eenzelfde spanwerktuig evenveel produktie maakt dan meer conventionele machines met dezelfde dure spanmiddelen.
- opslag van spanwerktuigen.
- kwaliteitskontrolle. Voor produkten, die na een bewerking op een conventionele machine nog een duur kwaliteitskontrolleproces moeten doorlopen, is het vaak gunstiger ze op de Nube-machine te vervaardigen, welke een veel betere reproduceerbaarheid heeft.

Als laatste kijken we naar de gevolgen voor de totale bedrijfsvoering welke de Nube-machines hierop hebben:

- bottle-neck situaties. Door aanschaf van Nube-machines kunnen vaak bottle-necks in de produktiestroom worden opgeheven. Dit, omdat deze machines op die plaatsen dan sneller de betreffende "neck"-bewerking uitvoeren.
- overhevelen van bewerkingen. Soms kan dit kostbare conventionele machine-uren sparen indien van een Nube-machine gebruik wordt gemaakt.

- personeelsamenstelling. Een tekort aan goed geschoolde mensen voor de conventionele machine kan aanleiding zijn over te stappen naar de eenvoudiger te bedienen Nube-machine.

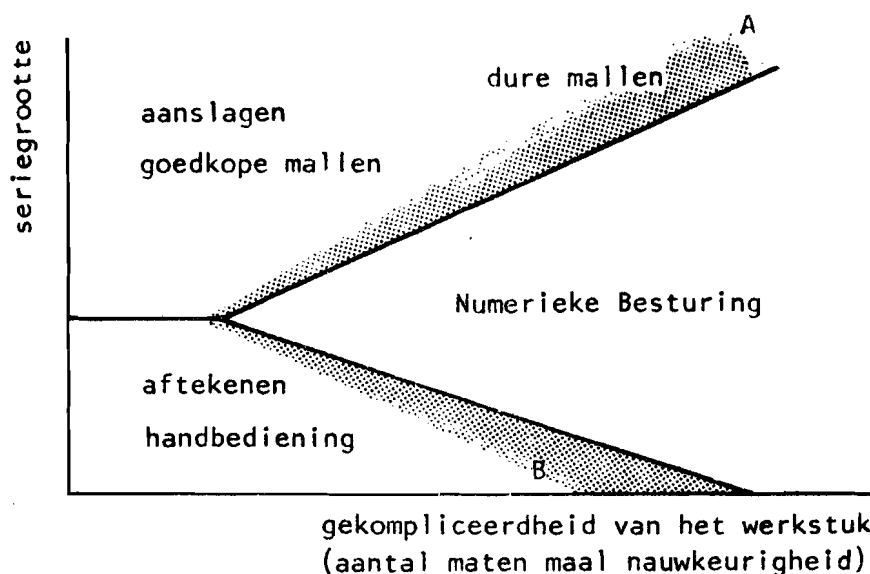


Fig. 5 Het toepassingsgebied voor numerieke besturing.

- marktpositie. Wil men snel met veranderende produkten komen omdat de markt hier gevoelig voor is, maar ook ten aanzien van serviceverlening, dan moet het produktieapparaat flexibel zijn.
- opslagkosten. Voor grote delen is het voordelig de opslagkosten te drukken. Een snelle doorstroomtijd helpt hierbij.
- aanwezigheid randafdelingen. Dit kan het inzetten van Nube-machines aanzienlijk vereenvoudigen, omdat bijvoorbeeld t.a.v. het maken van ponsbanden men al de nodige apparatuur en mankracht in huis heeft.

Het zal duidelijk zijn dat niet alle aspecten even zwaar tellen. Van bedrijf tot bedrijf zal het daarom verschillen waar de zwaartepunten liggen. We hebben echter nu al een instrument in handen waarmee we door het toetsen van een aantal kwalitatieve criteria een globale uitspraak kunnen doen of het zinvol is een Nube-machine aan te schaffen.

4.3. Kwantitatieve criteria.

De uiteindelijke keuze van een numeriek bestuurd machine zal afhangen van de uitkomsten van een kosten-baten analyse. Er zijn vele methoden ontwikkeld om tot een beeld te komen van de kosten die een Nube-machine gedurende zijn leven met zich meebrengt. Veelal zal men hierbij een keuze maken van specifieke werkstukken die geproduceerd gaan worden. Men tracht zo een gemiddeld beeld te krijgen van de totale machinekosten. De keuze moet echter zodanig zijn dat de werkstukken representatief zijn voor datgene wat de machine zal gaan produceren. Hierin ligt een ingewikkeld probleem opgesloten want het is vooraf moeilijk te zeggen wat je over enige jaren op een machine zal produceren, die

zo flexibel is dat er een diversiteit aan produkten op gemaakt kan worden.

Hoofdstuk 5.

De verdere ontwikkeling (DNC).

5.1. Algemeen.

DNC is een afkorting voor Direct Numerical Control. Dit wil zeggen dat meerdere NC- en/of CNC-gereedschapswerktuigen op één computer zijn aangesloten, zodat het gewenste NC-programma voor een gereedschapswerktuig direkt toegevoerd kan worden. Door deze direkte data-overdracht zijn geen pons- of magneetbanden meer nodig, evenals de opname- en afgifte-apparatuur hiervoor. Het oorspronkelijke DNC-concept was ontwikkeld in een tijd dat numerieke besturingen niet vergezeld gingen van een geheugen. De hoofdfuncties zijn het beheren van de NC-programmatuur en de verdeling van de NC-data. Tot de nevenfuncties behoren de correctie van NC-data, nabootsing van numerieke besturingsfuncties, data-verwerking en besturingsfuncties voor de materiaalvoer.

Ondanks de voordelen van DNC-systemen zijn er in het verleden nog maar weinig geïnstalleerd. Hiervoor zijn zowel technische als economische oorzaken aan te wijzen. Bij DNC-systemen met een CPU (Central Processing Unit) en hierop aangesloten NC-machines zonder geheugen ontstaat dwangmatig een zeer nauwe koppeling tussen rekenenheid en sturing. Gedurende de vervaardiging van een produkt moet de CPU continu in contact zijn met de NC-machine om de data regel voor regel, net als bij het ponsband lezen, in te lezen. Hierbij wordt dus de betrouwbaarheid van de rekenenheid aan de orde gesteld. Indien de CPU door enigerlei oorzaak uitvalt liggen de aan de rekenenheid gekoppelde gereedschapswerktuigen allemaal stil. Ook de beschikbaarheid van DNC-software liet veel te wensen over t.a.v. flexibiliteit, toepassing en comfort. Daarnaast vergt invoering van een DNC-systeem een enorme investering.

De Amerikaanse firma Bendix, omzet 4 G\$, onderkende ook deze problemen. Zij zagen geen verdienste meer in DNC-systemen en stopten het onderzoek om de problemen op te lossen.

5.2. Het huidige DNC-concept.

In het huidige DNC-concept is rekening gehouden met het vorige concept en de ondertussen ontwikkelde CNC-machines met programmeergeheugenkapaciteiten van meer dan 100 kbyte. Met deze feiten ontstaan nieuwe eisen waaraan het DNC-concept moet voldoen. Hieronder volgt een opsomming van deze eisen.

- De NC-programmagegevensbesturing moet in de gelegenheid zijn een bestand van meerdere 10.000 deelprogramma's met een hoge betrouwbaarheid te besturen en te klassificeren, zoals bijvoorbeeld naar programmanummer en -naam, toelaatbaar gereedschapswerktuig, produktiedatum en vervaardigingsindex.
- NC-deelprogramma's dienen van een zogenaamde "informatie-kop" voorzien te worden, waaruit bijvoorbeeld het deelnummer, tekeningnummer, toelaatbare NC-machine, vereiste gereedschappen, spanmiddelen en voorschriften uit af te lezen zijn.

- Voor bepaalde toepassingen is het voordelig NC-deelprogramma's van de grote disc (10- 80 Mbyte) op kleinere dag- of weekdiscs (160 kbyte- 512 kbyte) over te zetten, zodat de programma's afnameklaar zijn.
- NC-deelprogramma's moeten door de verantwoordelijke werkmeester of programmeur voorzien kunnen worden van speciale codes om onbevoegd gebruik te verhinderen.
- Het opvragen van NC-deelprogramma's moet op een eenvoudige manier mogelijk zijn in een simpele vorm. Het opvragen zelf kan of door de machinebediende of door de programmeur in de centrale rekenruimte gedaan worden en wel na ingave van het gewenste programma-machine-nummer, naam bediener en eventuele andere benodigde data.
- De programma-opvraag moet vanuit een centrale plaats voor meerdere machines tegelijkertijd afgehandeld kunnen worden, zoals bijvoorbeeld bij flexibele vervaardigingssystemen wenselijk kan zijn, indien meerdere machines hetzelfde werkstuk achter elkaar bewerken. (De overdracht kan in serie gebeuren.)
- Bij ruimtelijk uitgegroeide en complexe DNC-installaties is het data-overdrachtssysteem tussen de enkele sturingen en de rekeneenheid een belangrijke systeemcomponent. De betrouwbaarheid en produktiekapaciteit van het totale systeem worden hierdoor sterk beïnvloed.
- De aansluiting van NC-machines van verschillend fabrikaat en voor verschillende vervaardigingsdoeleinden moet mogelijk zijn. Is, om maar een voorbeeld te noemen, de geheugenkapaciteit van een aangesloten CNC kleiner dan de totale programmalengte, dan moet de DNC-rekeneenheid het programma ook in mootjes kunnen aanbieden.
- De bekabeling van de machines dient zodanig uitgevoerd te zijn dat de gelijktijdige verzorging van meerdere machines mogelijk is en dat latere uitbreidingen gemakkelijk uitgevoerd kunnen worden.
- CNC-machines bieden de mogelijkheid aan de machine een programma te veranderen. Daarom moet de mogelijkheid ingebouwd worden om geoptimaliseerde programma's van de machine naar de rekeneenheid over te dragen en vervolgens op te slaan. Daartoe moeten veranderde programmaregels direkt herkenbaar zijn en tot de vrijgave door de programmeur geblokkeerd blijven.
- Voor de vervaardiging van een produkt is naast de deelprogramma's nog nodig informatie omtrent de gereedschapinstelling en opspanvlakken. In 'n DNC-systeem hoort deze informatie ook opgeslagen te worden.
- Men moet zich ervan vergewissen, dat door, vaak onvermijdbare, elektrische storingen geen datavervalsingen of inleesfouten gedurende de informatie-overdracht kunnen voorkomen.
- De aangewende DNC-rekeneenheid zal ook voor werkindeling, capaciteitsplanning enz. ingezet kunnen worden. 'n Koppeling met een erboven staande computer welke verdere planningswerkzaamheden overneemt is niet uit te sluiten.
- De DNC-rekeneenheid moet met een reeds voorhanden zijnd programmeersysteem direkt doorverbonden kunnen worden en de vervaardigde programma's via de kabel kunnen overnemen en besturen.
- De rekeneenheid dient ook de mogelijkheid in zich te hebben NC-deelprogramma's, onder stringente betrouwbaarheidsvoorwaarden, geheel of gedeeltelijk te verwijderen en de rest van de aanwezige programma's dichter te stapelen.

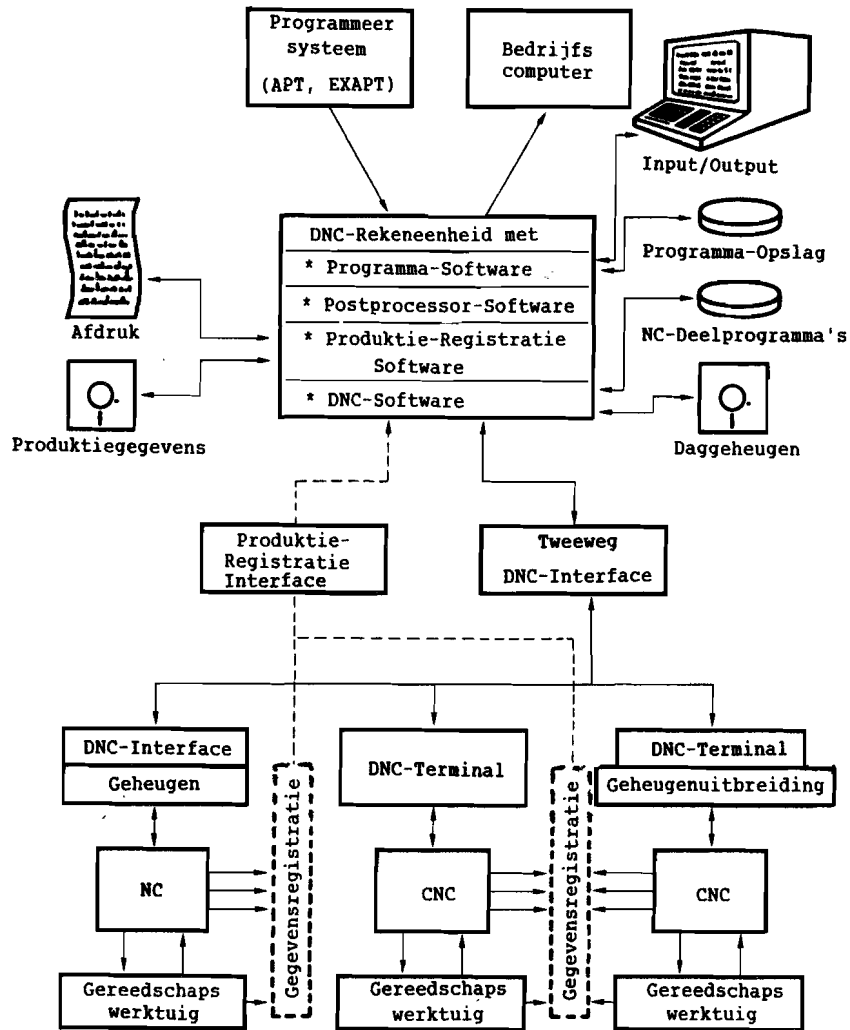


Fig. 6 Uitgebreid DNC-systeem met registratie van produktiegegevens.

- Daarnaast moet, indien hier behoefte naar is, de DNC-rekeneenheid lijsten met de volgende inhoud kunnen vervaardigen en afdrucken:
- * alle op een disc voorkomende programmanummers,
 - * alle vrijgegeven programma's met de gereedschapswerktuigen waarop ze gedraaid worden,
 - * alle geblokkeerde programma's,
 - * alle voor de volgende "shift" of week ingeplande programma's,
 - * datum van de laatste oproep van ieder programma en machinebediener,
 - * het aantal keren dat een programma is opgeroepen per jaar,
 - * in de laatste maanden niet opgeroepen en gebruikte programma's,

- * de programmaduur,
- * gereedschaplijsten voor een deelprogramma en
- * bedieningsaanwijzingen voor een deelprogramma.
- Het systeem moet zo ontworpen zijn, dat indien de DNC-rekeneenheid uitvalt, de in de CNC's opgeslagen programma's de produktie voortzetten. Het naladen van programma's kan in geval van nood gedaan worden m.b.v. een daggeheugendiskette en een transportabel diskette leesapparaat (zie figuur 6).
- De machinedata-registratie kan hoofdzakelijk op hetzelfde systeem gebeuren. De aan sturing, gereedschapwerktuig en terminals geregistreerde bedrijfsomstandigheden worden verzameld, opgeslagen en naar verschillende criteria uitgewerkt, zoals bijv.:
 - * stilstandtijden met oorzaken,
 - * benuttingstijden,
 - * vervaardigde aantallen,
 - * welk programma goed loopt op welke machine,
 - * bezettingsgraad.
- Het is een voordeel wanneer de DNC-leverancier zelf over een productief machinaal programmeersysteem beschikt welke op de DNC-rekeneenheid implementeerbaar is. Het toegevoegde geheugen van het hoofdprogramma zorgt ervoor dat grote programmaveranderingen zonder problemen verlopen en heeft het voordeel, dat bij uitval van een machine direct voor iedere geschikte vervangingsmachine door een postprocessorloop een pasklaar vervangingsprogramma gegenereerd kan worden.
- De DNC-leverancier dient zich op de hoogte te stellen van de hardware- en software-problematiek bij de installatie van het totale DNC-systeem en moet gebruikersspecifieke modificaties kunnen doorvoeren.
- Dit wil niet zeggen dat de CNC-verkoper zich niet hoeft te bekommeren om de hard- en software-problematiek bij de koppeling van zijn machine aan een DNC-systeem. Voor een praktisch gericht DNC-bedrijf is het niet alleen bevorderlijk de NC-stuurdata digitaal over te dragen, maar in de meeste gevallen wordt dit ook geëist van de automatische ingave en verwerking van gereedschapkorrektiewaarden, nulpuntsverschuivingen, de aansluiting van automatische bedrijfs- en storingsmeldingen of de verwerking van centrale start- en stoptekens.

5.3. Vergelijking tussen het oude en nieuwe DNC-bedrijf.

In technisch opzicht biedt de huidige DNC-produktie het voordeel dat de koppeling tussen gereedschapwerktuigen en rekeneenheid beduidend minder nauw is als daarvoor. Voor een ongestoorde produktie is het niet meer nodig de verbinding tussen rekeneenheid en gereedschapwerktuigen gedurende de totale vervaardiging te onderhouden. Het is voldoende de verbinding alleen voor de, verhoudingsgewijs korte tijd, dataoverdracht naar het geheugen te onderhouden. Het probleem van de beschikbaarheid van de rekeneenheid alswel het tijdgebonden verzenden van besturingsdata is daarmee duidelijk van de baan.

In economisch opzicht is te zien dat de huidige DNC-systemen aanmerkelijk voordeliger zijn dan 10 jaar geleden en veel produktiever en flexibel. Zoals zich nu reeds aftekent, zullen in DNC-systemen van de

toekomst niet alleen de funkties van besturingsdataverdeling en -verwerking vervuld worden, doch, met gebruikmaking van de voor handen zijnde kommunikatiesystemen, zullen de bijbehorende procesopgaven, zoals produktiedata-registratie en machine-kontrolle alswel optimalisatie van de bewerking en materiaalstroomsturing, geïntegreerd worden. Figuur 7 geeft hiervan een schematisch overzicht.

Door een toelaatbare koppeling tussen de DNC-rekeneenheid en een rekeneenheid van hogere orde wordt een systeem opgebouwd dat het mogelijk maakt een koppeling te verwezenlijken met een CAD-systeem, zodat we kunnen spreken van een CAM-systeem. CAD-systemen leveren in de regel grote hoeveelheden data, die met een direkt gekoppeld DNC-systeem wezenlijk eenvoudiger en zonder problemen aan de machine doorgegeven kunnen worden.

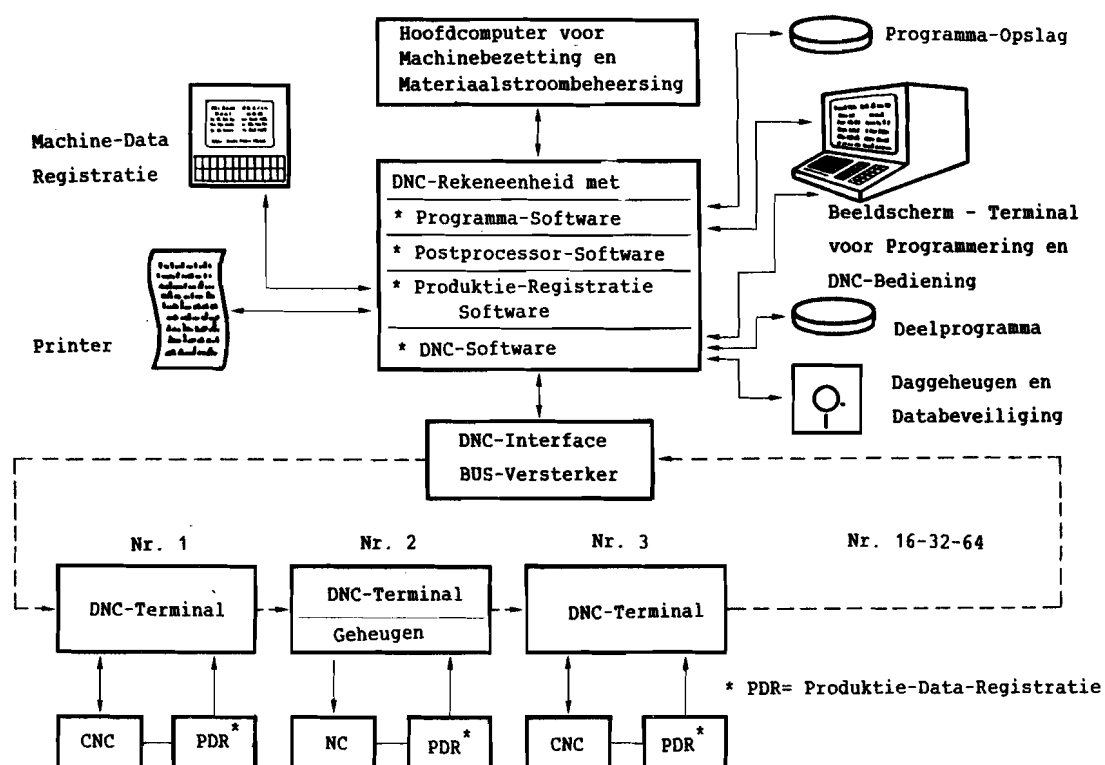


Fig. 7 Componenten van een DNC-systeem.

5.4. Toepassingsgebieden van DNC-systemen.

De hiervoor geschetste DNC-systemen hebben i.h.a. gesproken twee toepassingsgebieden, waar zij zowel technisch als economisch verantwoord zijn. Het eerste toepassingsgebied wordt gekenmerkt door de grote hoeveelheid informatie, die door de besturingen gehanteerd moet worden en door het feit dat de NC-programma's van de machines snel afgewerkt worden. Daardoor ontstaan bij conventionele bewerking hoge produktieloze tijden door het hanteren van de ponsbanden. Vooral bij toepassing van geleiding-boormachines, schroefdraadautomaten alswel

bij verspanende bewerkingen in de vliegtuigbouw kunnen door inschakeling van DNC-systemen de produktieloze tijden aanmerkelijk gereduceerd worden. Daardoor wordt de bezettingsgraad verhoogd.

Het tweede toepassingsgebied wordt gevormd door de flexibele vervaardigingssystemen, waarbij NC-banken door transportverbindingen met elkaar verbonden zijn. Door het DNC-systeem staat vast, dat bij veelvuldig wisselende vervaardigingsoopdrachten de besturingsinformatie voor de gereedschapwerktuigen gelijktijdig ter beschikking staan.

Bij een juiste uitwerking van het DNC-systeem moeten de volgende voordelen verkregen zijn:

- eenvoudige programmaverwerking,
- snelle beschikking over NC-data,
- 'n grotere betrouwbaarheid bij data-overdracht en -ingave,
- tijdsbesparingen op verschillende plaatsen,
- volautomatische, flexibele werking van de aangesloten NC-machines,
- voortdurende toestandscontrole, machinebezetting- en uitvalstatistieken in geval van uitbreiding naar een produktiedata-registratie.

5.5. Aanschaffing van een DNC-systeem.

De afweging om een DNC-systeem aan te schaffen dient zeer zorgvuldig te gebeuren. Daartoe dienen een aantal toepassingskriteria getoetst te worden. Deze zijn:

- aantal gereedschapmachines. Een rendabel DNC-systeem is pas mogelijk indien minimaal 4 à 6 machines zijn aan te sluiten. In zeer speciale gevallen kunnen 2 à 3 machines reeds een DNC-systeem rendabel maken.
- NC-programmatuur. Hoe groter het aantal NC-deelprogramma's is, des te meer kan het DNC-systeem opgeld doen. Wordt het machinepark slechts met weinig programma's uitgerust dan verdient het voorkeur de geheugens van de CNC-machines uit te breiden boven de aanschaf van een DNC-systeem.
- NC-ponsbandlengte. Een DNC-systeem is zeker nodig wanneer de programma's zo groot worden, dat een CNC-geheugenuitbreiding niet toereikend is. Bij de besturingen kan de wachttijd van het terugspoelen en uitnemen van de ponsband geëlimineerd worden. Indien de programma's zo groot zijn dat meerdere ponsbanden nodig zijn, dan wordt met het DNC-systeem eventuele verwisseling van de banden ook uitgesloten.
- veelvuldige programmawisselingen in de vervaardiging. Hoe kleiner de seriegroottes zijn des te groter wordt het probleem altijd de juiste ponsbanden op het goede tijdstip de juiste machine aan te bieden. Bij DNC wordt het gewenste programma door een korte oproep direkt beschikbaar gesteld.
- flexibele vervaardigingssystemen. Bij met elkaar verbonden flexibele vervaardigingssystemen kan de bewerking van een werkstuk over verschillende machines verdeeld zijn. De paletten moeten daarom in de juiste volgorde aan de enkele machines aangeboden worden, waarbij geen lange wachttijden mogen ontstaan op het vereiste besturingsprogramma.

De DNC-rekeneenheid beschikt in zo'n systeem over het vereiste besturingsprogramma vanaf het tijdstip van herkennen van het paletnummer tot het klemmen van het palet op het bewerkingsstation.

Flexibele vervaardigingssystemen die groeien qua aantal verschillende werkstukken en uitgebreid worden met meerdere NC-banken dienen voorzien te worden van nieuwe programma's. Voor een zinvolle benutting van deze hoogwaardige vervaardigingssystemen is DNC een voorwaarde.

- In principe kan men zeggen dat DNC data-registratie dan pas zinvol is, indien het gebruik van ponsbanden tot wachttijden aan de machine leidt. Lukt het om deze wachttijden met een DNC-systeem uit de weg te ruimen en de machinelooptijden te verhogen, dan wordt de rentabiliteitsgrens snel bereikt.

Voor een DNC-rekeneenheid met mogelijkheden voor het opslaan van programma's, programmaverdeling en -vervaardiging belopen de kosten tussen de 80 en 165 kfl naargelang de grootte van de uitbreiding. Voor het aansluiten van een gereedschapswerktuig bedragen de kosten 3 tot 18 kfl per machine. De beschikbaarheid van de machine stijgt dan ongeveer met 10 %, afhankelijk waarvoor de machine gebruikt wordt. Indien het machine-uurtarief 180 gulden bedraagt en een produktiviteitsstijging van 2 % bereikt wordt door toepassing van een DNC-systeem, dan worden de aansluitkosten van de machine in één jaar terugverdiend, indien met twee "shifts" gewerkt wordt.

Hoofdstuk 6.Slot Nube.

Sinds ongeveer 1968 worden in verschillende landen DNC-systemen ontwikkeld. In de afgelopen jaren is veel gepubliceerd over geplande en verwezenlijkte DNC-installaties. In Amerika zijn we op bezoek geweest bij o.a. McDonnell Douglas in St.Louis (MI). We zijn toen heel even binnen geweest in de machinefabriek waar onderdelen vervaardigd worden voor de te bouwen vliegtuigen. Hier had men 132 gereedschapswerktuigen aangesloten op een IBM-mainframe computer. Het verschil met het hiervoor beschreven DNC-systeem was dat, ter ondervanging van het "plat" gaan van de IBM, géén verrijdbare daggeheugendiskette was geïntroduceerd, doch iedere machine bezat een eigen minicomputer die data aangevoerd kreeg van de IBM-computer, voldoende voor een dag productie.

Zoals U leest hebben we niet zoveel kunnen zien op het gebied van numerieke besturing. We zijn bijvoorbeeld veel meer overspoeld met CAD-systemen. Dit is ook wel logisch, omdat de ontwikkeling van de CAD-systemen in eenzelfde stadium verkeert als de numerieke besturing 25 jaar geleden, welke toen stormachtig verliep. Bovendien wil ieder bedrijf het nieuwste van het nieuwste laten zien, vooral in Amerika, want daar geldt in sterke mate reclame is business.