

Menselijke bedrijfszekerheid in geautomatiseerde mens-machinesystemen : een orientatie

Citation for published version (APA):

Kragt, H. (1976). *Menselijke bedrijfszekerheid in geautomatiseerde mens-machinesystemen : een orientatie*. (Technische Universiteit Eindhoven. Fac. der Bedrijfskunde. : rapport). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1976

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

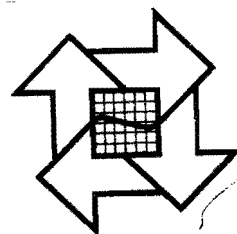
Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

ARW
02
THE



7601

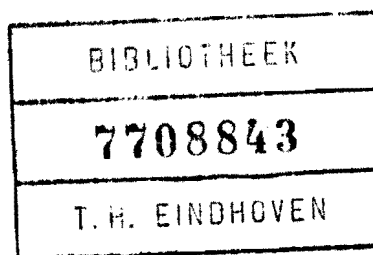
Werkgroep
Onderzoek
Mens machine
Systemen-i.o.

MENSELIJKE BEDRIJFSZEKERHEID
IN GEAUTOMATISEERDE
MENS - MACHINESYSTEMEN

EEN ORIENTATIE

Ir. H. Kragt
Vakgroep Organisatiepsychologie
Afdeling der Bedrijfskunde
Technische Hogeschool Eindhoven

September 1976



1. INLEIDING	1
2. HET BEGRIP MENSELIJKE FOUT	6
2.1. Oorzaken van menselijk falen	8
2.1.1. Individuele factoren	11
2.1.2. Situationele factoren	11
2.2. Classificatie van menselijke fouten	13
3. METHODEN EN TECHNIEKEN OM MENSELIJKE FOUTEN TE ANALYSEREN	16
3.1. De statistische technieken	16
3.2. De methode van observatie	19
3.3. De techniek van de critical incidents	21
3.3.1. De introductie van het onderzoek	21
3.3.2. Het verzamelen van gegevens	22
3.3.3. Het verwerken van de gegevens	25
3.3.4. Illustratie van de behandelde techniek	26
4. HET REDUCEREN VAN MENSELIJKE FOUTEN	28
4.1. "The work situation approach"	28
4.2. "The human approach"	30
LITERATUUR	31

VOORWOORD

In het beleidsplan 1976-1978 van de vakgroep Organisationspsychologie is op blz. 14 vastgelegd, dat in de zomer van 1976 een *eerste* literatuurstudie op het onderhavige gebied zou worden uitgevoerd. De resultaten van die studie zijn in dit rapport weergegeven.

De ondertitel van het rapport, "*een oriëntatie*", zal slechts voor insiders duidelijk zijn. Immers, gezien de gecompliceerdheid van het vraagstuk kunnen op dit moment slechts de kaders worden aangegeven, waarbinnen het eigenlijke onderzoek beschreven dient te worden. Alhoewel niet expliciet geformuleerd, zal het onderzoek enerzijds worden uitgevoerd in het Bedrijfskunde-laboratorium (processimulatie) en anderzijds in de chemische proces-industrie zelf. Voor het *veldonderzoek* zal toestemming moeten worden gevraagd. Wij spelen met de gedachte voor dit onderzoek subsidie aan te vragen bij de Commissie van de Europese Gemeenschappen (Gemeenschapsonderzoek Ergonomie). In het *laboratoriumonderzoek*, en ook bij literatuurstudies, kunnen stagiaires en afstudeerders van de vakgroep worden ingeschakeld. (Een eerste afstudeerder start in het najaar 1976.)

Tenslotte wordt de lezer gewezen op het bestaan van een begrippenlijst (W.O.M.-rapport, no. 8), waarin begrippen zijn gedefinieerd, die ook in dit rapport zijn gebruikt.

1. INLEIDING

De Werkgroep Onderzoek Mens-machinesystemen-i.o. (W.O.M.) heeft als object van haar onderzoek gekozen voor het menselijk functioneren in meer of minder geautomatiseerde mens-machinesystemen. Het uiteindelijke doel van dat onderzoek is het kunnen leveren van een bijdrage aan het ontwerp van nieuwe c.q. herontwerp van bestaande mens-machinesystemen; opdat uiteindelijk een goed systeem wordt gemaakt. "Goed" wil zeggen, dat het systeem voldoet aan de gestelde criteria.

Wij noemen hier: effectiviteit en efficiency van de taakuitvoering, werksatisfactie van de operator en veiligheid van het mens-machinesysteem.

Het mens-machinesysteem waartoe de werkgroep zich voorlopig beperkt, is de operator-processituatie in de chemische procesindustrie (1).

Aan die situatie zijn verschillende aspecten te onderkennen. Een daarvan is de *bedrijfszekerheid* ("Reliability"). In de literatuur wordt dit begrip gedefinieerd als de kans dat een systeem in een gegeven tijdsperiode, en onder gegeven omstandigheden zonder *fouten* functioneert (2).

Fouten kunnen zich zowel voordoen aan de proceskant als aan de operatorkant; of met andere woorden, aan de kant van het Technisch systeem of aan de kant van het Sociaal systeem. Wetenschappers en technologen die zich bezighouden met de bedrijfszekerheid van het technisch systeem staan bekend onder de naam van "Reliability engineers". Complementair aan deze vorm van ingenieurskunst kan de "*Human reliability engineering*" beschouwd worden. Deze houdt zich bezig met het beschrijven, analyseren en verbeteren van situaties waarin zich menselijke fouten hebben voorgedaan. Immers, het optreden van menselijke fouten, of de kans daarop, is per definitie synoniem met niet-bedrijfszeker. Wij stellen ons op het standpunt, dat waar mensen werken ook fouten zullen worden gemaakt, ongeacht het niveau van training, ervaring en vaardigheid. (Over de mogelijke oorzaken die aan een fout ten grondslag kunnen liggen, wordt in par. 2.1. meer in detail ingegaan.)

Op de stelling "waar mensen werken, worden fouten gemaakt", kan in principe op twee manieren worden gereageerd, t.w.:

1. De mens (i.c. de human operator) weg automatiseren;
2. De mens die taken geven, die hij goed (= bedrijfszeker) kan uitvoeren.

ad.1. In het begin van de jaren zestig geloofde men in het feit, dat een graad van automatisering gerealiseerd zou kunnen worden waarbij onbemande fabrieken konden bestaan. Tijdens normaal bedrijf zou het proces dan volledig bestuurd worden door de automaat, terwijl voor het opstarten van het proces, het plegen van onderhoud en het handelen in geval van bedrijfsstoringen speciaal voor dat doel opgeleide ploegen operators in aanmerking zouden moeten komen.

Een aantal onderzoekers, waaronder De Jong en Köster (3), stelden, dat niet gestreefd moest worden naar de onbemande fabriek. Het zou *technisch* gezien niet geheel gerealiseerd kunnen worden, *economisch* gezien in vele gevallen te duur worden en *sociaal* gezien onaanvaardbaar zijn. Toch is de tendens blijven bestaan zoveel als mogelijk is te automatiseren, en datgene dat (nog) niet te automatiseren is, of (nog) te duur is om te automatiseren, als *resttaak* aan de mens te geven met alle gevolgen van dien.

In de praktijk ziet men vaak, dat studies inzake de bedrijfszekerheid van systemen slechts beogen een schatting te geven van de technische bedrijfszekerheid. Met Shapero (4) zijn wij van mening, dat schattingen inzake de bedrijfszekerheid van systemen waarin niet ook de menselijke bedrijfszekerheid verdisconteerd is, onvolledig en optimistisch zijn. Immers, ook al heeft de mens een resttaak toegewezen gekregen, dan nog blijft hij een factor in de procesbeheersing. Bij het uitvallen van de automaat kan zelfs de regeltaak geheel of gedeeltelijk aan de mens worden toegewezen. De vraag rijst of hij daartoe in staat is, als hij na relatief lange tijd niet of nauwelijks de kans heeft gehad zijn regelvaardigheid in stand te houden. Bij het overnemen van de regeltaak door de mens zal derhalve de menselijke bedrijfszekerheid zeker in de beschouwing betrokken moeten worden. Gaat men daarentegen uit van de gedachte, dat bij uitval van de automaat het proces moet worden gestopt, dan stelle men zich de vraag in hoeverre de mens het uitvallen van de automaat had kunnen voorkomen.

ad.2. Een van de belangrijkste redenen die wordt aangevoerd bij de stellingname "alles automatiseren" is, dat de mens de zwakke schakel in het mens-machinesysteem vormt. Gesteld kan worden, dat dit afhankelijk is van de taken die aan hem worden toegewezen. In de literatuur wordt opgemerkt, dat men niet bij voorbaat al moet uitgaan van het feit, dat mensen niet-bedrijfszeker zijn, d.w.z. de kans lopen om fouten

te maken. Bij een nadere analyse van de taak blijkt het meestal zo te zijn, dat de mens taken moet vervullen in omstandigheden die door hem vaak nietbedrijfszeker zijn uit te voeren (5).

Mogelijk als een soort reactie op het-weg-automatiseren wordt momenteel in de literatuur een pleidooi gehouden voor het terugbrengen van de mens in het systeem. Zo stelt Lees, dat, gegeven de huidige technologie, bij de meeste toepassingen gebleken is, dat "*the operator controlled, computer-supported system*" beschouwd kan worden als het meest effectieve systeem (6). Een uitspraak als deze is alleen gewettigd, als bij het ontwerp van een dergelijk systeem sprake is geweest van een goede taakallocatie tussen "mens" en "machine". Een van de uitgangspunten daarbij is, dat mens en machine c.q. computer elkaar dienen aan te vullen in plaats van elkaar te beconcurreren (7). Zo zijn computers bij uitstek geschikt om zeer lange tijd achtereen het proces in de gaten te houden ("monitoring"), terwijl mensen, althans bepaalde typen, zeer goed het hoofd kunnen bieden aan onvoorziene omstandigheden.

Alhoewel, o.a. door schaalvergroting, een groot aantal taken op de lagere niveaus (Rijnsdorp spreekt over: "switching actions" (niveau 1), "stabilising control" (niveau 2) en "optimising control" (niveau 4) (8)) geautomatiseerd zullen moeten worden, blijven in de hogere niveaus van de taxonomie voldoende taken over om per situatie voor de mens tot een geïntegreerde, uitdagende/motiverende en bedrijfszeker uit te voeren taak te komen.

Zoals reeds gesteld, beperken wij voorlopig ons onderzoek tot de operator-processituatie in de chemische procesindustrie. Derhalve zullen wij ons dus niet bezighouden met de menselijke bedrijfszekerheid in min of meer ongestructureerde situaties (bv. autorijden, of werkzaamheden in en rond het huis), maar ons richten op de betrekkelijk gestructureerde situaties in meet- en regelkamers van chemische fabrieken.

In het verleden is door ons reeds een onderzoek verricht naar de taaksituatie van operators in een conventionele meet- en regelkamer. Daarbij is getracht een antwoord te verkrijgen op de vraag: "hoe werkt de operator, wat denkt hij en wat doet hij bij het uitvoeren van zijn taak?". Eén van de onderzoeksresultaten was, dat de taak van de operator gesplitst kan worden in vier deeltaken (9), t.w.:

1. De controle/bewaking van het proces;
2. Het bijregelen van het proces na optreden van een storing;

3. Het minimaliseren van de gevolgen van optredende bedrijfsstoringen;
4. Het stoppen en het-weer-opstarten van het proces.

In alle meet- en regelkamers zullen wij deze vier deeltaken aantreffen, waarbij evenwel de mate van voorkomen van elk der deeltaken van situatie tot situatie kan verschillen. Zo zal bv. in een meer moderne meetkamer de nadruk liggen op de deeltaken genoemd onder 3 en 4, terwijl in een conventionele meetkamer alle vier de deeltaken verricht moeten worden door de operator.

Met Lees zijn wij evenwel van mening, dat de *hoofdtak* van een operator bestaat uit het voorkomen van het aanspreken van een beveiligingssysteem. Fouten in het technisch systeem moeten door hem worden gedetecteerd ("fault detection"), gediagnostiseerd ("fault diagnosis") en, zo nodig, gecorrigeerd ("fault correction"). Lees vat deze drie subtaken samen in één taak: "*fault administration*" (10). Aan deze taak zijn twee aspecten te onderkennen, t.w. een economisch aspect en een veiligheidsaspect. In het geval dat een ideaal werkend beveiligingssysteem is ontworpen, d.w.z. een systeem, dat a) 100% bedrijfszeker is, en b) aan alle denkbare situaties het hoofd kan bieden, zal de hoofdtak van de operator alleen het economische aspect omvatten. Immers, "aanspreken" betekent dan "productiestop", met alle gevolgen van dien.

In de praktijk zal het beveiligingssysteem meestal beperkter zijn, dan hierboven is geschetst. Enerzijds, omdat niet elke situatie te voorzien is, en anderzijds, omdat bepaalde situaties zo een kleine kans van voorkomen hebben, dat door de systeemontwerpers besloten is daarvoor geen beveiligingssysteem te ontwerpen. In dat geval omvat de hoofdtak van de operator ook het veiligheidsaspect. Bij het uitvoeren van zijn taak kan de operator geconfronteerd worden met procestoestanden waarbij hij zal moeten kiezen tussen "het proces stoppen", of "het proces (nog) laten lopen"; hij zal een keuze moeten maken tussen "economie" en "veiligheid". Daarbij zal hij de kosten en baten tegen elkaar moeten afwegen; het resultaat daarvan zal mede worden bepaald door instructie en ervaring enerzijds, en mentaliteit anderzijds.

De cruciale vraag in dit kader luidt: *Is de operator (altijd) in staat op het juiste moment de juiste acties te ondernemen, en weet hij zodoende een ongewenste procestoestand te voorkomen?*

"Het juiste moment" impliceert, dat voortijdig afwijkende verschijnselen moeten zijn gedetecteerd; hetzij door de operator, hetzij door een alarmeringssysteem. In een onderzoek naar menselijke bedrijfszekerheid zal men o.a. geïnteresseerd zijn om per meetkamer-situatie voor een bepaalde periode vast te stellen hoe vaak dergelijke verschijnselen door de operator *niet* werden gedetecteerd, en welke oorzaken (in par. 2.1. zullen wij een onderscheid

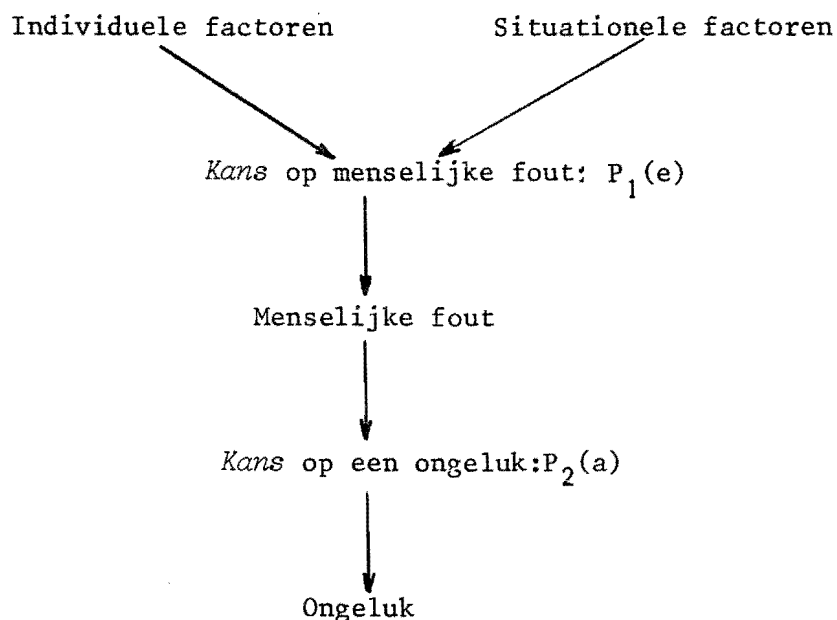
maken tussen *individuele* en *situationele* factoren) daaraan ten grondslag lagen. (Als deze oorzaken eenmaal bekend zijn, dan kunnen per situatie geëigende acties ondernomen worden, teneinde in de toekomst dit soort gevallen te voorkomen.)

Heeft de operator het verschijnsel eenmaal gepercipieerd (d.w.z. respectievelijk gedetecteerd, gediscrimineerd en geïnterpreteerd; zie ook par. 2.2.), dan zal hij vervolgens moeten voorspellen en beslissen tot welke actie hij zal overgaan. "*De juiste actie*" wordt bepaald door de wijze waarop de fases van informatieverwerking die aan de actiefase voorafgaan, worden doorlopen. Factoren, die het-niet-goed-kunnen-discrimineren, interpreteren, voorspellen of beslissen veroorzaken, zullen derhalve ook in een onderzoek naar de menselijke bedrijfszekerheid in een meetkamersituatie onderzocht behoren te worden.

Gezien het feit, dat het begrip menselijke bedrijfszekerheid per definitie gerelateerd is aan het begrip *menselijke fout* ("human error"), wordt daarop in de volgende paragraaf nader ingegaan.

2. HET BEGRIIP MENSELIJKE FOUT

Een eerste aanzet om meer inzicht te verkrijgen in het verschijnsel menselijke fout, is het maken van een onderscheid tussen oorzaak en gevolg van een dergelijke fout. In figuur 1 is e.e.a. schematisch weergegeven.



Figuur 1. Oorzaak en gevolg van menselijk falen.

Het essentiële van de in figuur 1 geschetste keten is, dat een onderscheid gemaakt wordt tussen de kans op een menselijke fout ($P_1(\text{error})=P_1(e)$) en de kans op een ongeluk ($P_2(\text{accident})=P_2(a)$).

Gesteld kan worden, dat aan het optreden van een menselijke fout in een werksituatie één of meerdere factoren ten grondslag liggen. In de literatuur wordt veelal een onderscheid gemaakt tussen individuele en situationele factoren. Zo zal bv. $P_1(e)$ groter zijn in een situatie waarin de operator gebruik moet maken van een voor zijn taakuitvoering foutief ontworpen display, dan dat hij een voor zijn taak aangepast display tot zijn beschikking heeft. Is een fout eenmaal gemaakt, dan is de mens bij uitstek geschikt zijn fout te corrigeren. Zodoende is hij in staat de eventuele gevolgen van zijn fout te voorkomen. Is de mens daarentegen niet bij machte zijn fout te corrigeren, dan is de kans aanwezig dat de fout een ongeluk tot gevolg heeft. In de literatuur wordt gesteld, dat 80 à 90% van alle ongelukken te wijten zou zijn aan menselijk falen (11a, 11b). Dit kenmerk voegen wij toe aan Chapanis' definitie van het begrip ongeluk (12). Voor onze onderzoeksituatie komen wij dan

tot de volgende kenmerken:

- Een onverwachte en ongewenste gebeurtenis. (Deze verstoort de normale taakuitvoering en leidt tot tijdsvertraging.)
- Het kan gepaard gaan met persoonlijke en/of materiële schade. (De mate waarin varieert van "ongeriefelijk" tot "catastrofaal".)
- Het is een gevolg van een menselijke fout. (Zoals uit figuur 1 moge blijken, kunnen individuele, situationele of een combinatie van beide factoren aan de menselijke fout ten grondslag liggen.)

Het gemaakte onderscheid tussen $P_1(e)$ en $P_2(a)$ heeft tot gevolg, dat werksituaties op twee manieren gekarakteriseerd kunnen worden. Doen zich in een situatie veel fouten voor, dan spreken wij van "*kansrijk op ongelukken*" (accident-prone). Is daarentegen sprake van de aanwezigheid van factoren die aanleiding kunnen zijn tot het maken van fouten, dan spreken wij van "*kansrijk op fouten*" (error-prone).

Het beschrijven, analyseren en verbeteren van situaties kan nu op drie niveaus plaatsvinden, t.w.:

1. *Preventief t.a.v. menselijke fouten*: het vastleggen van die factoren die aanleiding kunnen zijn tot het maken van fouten. Immers, het feit dat geen fouten gemaakt worden, wil niet zeggen dat de werksituatie goed is ontworpen. Het adaptief vermogen van de operator kan hem nl. in staat stellen, weliswaar met extra inspanning, toch zijn taak foutloos uit te voeren. (Extra inspanning, die kan leiden tot een snellere vermoeidheid, waardoor $P(e)$ en $P(a)$ toenemen.)
2. *Preventief t.a.v. ongelukken en correctief t.a.v. menselijke fouten*: op dit niveau tracht men via de operator inzicht te verkrijgen in het soort en het aantal gecorrigeerde menselijke fouten (= bijna-ongelukken). In paragraaf 3.3. ("*critical incidents*") komen wij hierop terug.
3. *Correctief t.a.v. ongelukken*: naar aanleiding van ongelukken die zich hebben voorgedaan, wordt op dit niveau getracht, o.a. via de operator, achteraf vast te stellen welke factoren aan het ongeluk ten grondslag hebben kunnen liggen.
In de literatuur wordt dit soort analyses vergeleken met het-in-kaart brengen van het topje van een ijsberg (13).

In het voorafgaande is telkens gesproken over "fout", zonder dat dit begrip nader werd omschreven. Hiertoe zijn wij evenwel pas in staat, als eerst een aantal veronderstellingen zijn gemaakt over het regelgedrag van de operator. Met Kelley (14) stellen wij, dat dit gedrag *doelgericht* is. Acties worden

door hem ondernomen, teneinde het gestelde doel te bereiken. Dit kan geschieden d.m.v. het realiseren van een aantal subdoelen, die op zich bereikt worden via subacties. Voor onze situatie spreken wij nu van een fout, als de operator:

1. Het verkeerde doel nastreeft;
2. Het gestelde doel niet bereikt als gevolg van een verkeerde actie;
3. In het geheel nalaat iets te doen.

In alle drie de gevallen is het essentiële, dat een gesteld doel *niet* bereikt wordt. Het feit, dat een ondernomen actie zou afwijken van een voorgeschrevene is niet essentieel. Immers, meerdere acties zijn mogelijk om hetzelfde doel te bereiken. (In termen van de sociale systeemtheorie: "meerdere operaties voor dezelfde transformatie" (15).)

Ter illustratie het volgende voorbeeld: een operator aan een destillatiekolom wordt geconfronteerd met een slecht topproduct. Hij stelt zich tot doel dit product te verbeteren. Daartoe verhoogt hij het setpoint van de temperatuur van een plaat in de kolom. Deze afwijkende actie (temperatuurverlaging is bv. voorgeschreven) leidt *niet* tot het gestelde doel, en is derhalve als fout te karakteriseren.

Zou de operator daarentegen het setpoint van de reflux verhogen, dan leidt deze afwijkende actie *wel* tot het gestelde doel. Als geen eisen zijn gesteld aan het niveau van het refluxvat (= hoger doel), dan kan voornoemde actie niet als fout gekarakteriseerd worden.

Zoals gesteld, kunnen aan een fout zowel individuele als situationele factoren ten grondslag liggen. In de literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen "*Human caused errors*" (HCE) en "*Situation caused errors*" (SCE) (16).

In de volgende paragrafen zullen wij deze twee klassen van oorzakelijke factoren nader beschouwen.

2.1. Oorzaken van menselijk falen

In de vorige paragraaf is vermeld, dat 80-90% van alle geregistreerde ongelukken te wijten zou zijn aan menselijke fouten. Deze fouten zouden op zich weer voor 20% veroorzaakt worden door individuele factoren (HCE=20), terwijl 80% te wijten zou zijn aan situationele factoren (SCE=80). (17).

De resultaten van twee onderzoekingen in de luchtvaart hebben wij hierop eens

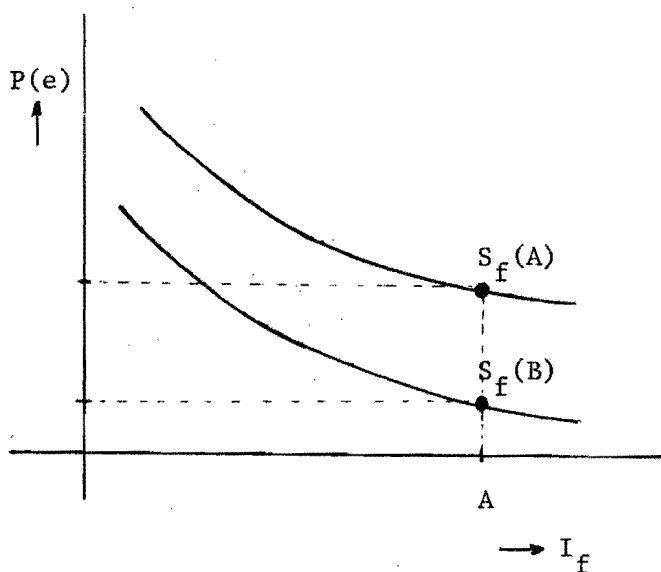
nader geanalyseerd. Het historische werk van Fitts en Jones (18) leverde op: HCE=38,5 en SCE=61,5. Een moeilijkheid daarbij was, dat Fitts en Jones niet hadden aangegeven welke corrigerende acties t.a.v. de door hen geklassificeerde fouten ondernomen zouden moeten worden. Daarom moesten wij zelf, op basis van de beschreven fouten, vaststellen of aan de situatie (bv. door herontwerp), of aan het individu (bv. door training) veranderingen zouden moeten worden aangebracht.

Shannon en Waag (19) daarentegen geven bij de presentatie van hun onderzoeksresultaten precies aan op welke gebieden corrigerende acties moeten plaatsvinden. Zij spreken over "Remedial area" en onderscheiden daarin een viertal deelgebieden. Wij citeren: "*Crew coordination* (CC): Development of the team concept-ability of two or more crew members to work together in order to efficiently carry out their assigned mission. *Training* (TRA): Re-education of flight skills and procedures through ground/flight instruction. Development of an awareness within flight crews concerning the most common problem areas within aircraft and how to prevent their occurrence. *Discipline* (DIS): Closer monitoring of flight crew behavior in order to prevent purposeful violations of NATOPS regulations. *Design* (DES): Need for human factors appraisal of cockpit design where there appears to be a poor interface between man and equipment, and of engineering deficiencies within certain aircraft systems". Gedurende meer dan vijf jaar beschreven en analyseerden Shannon en Waag m.b.v. de techniek van de "critical incidents" (20) voor twee typen vliegtuigen, de P-3 en de F-4, de gemaakte menselijke fouten. Deze fouten werden geklassificeerd, en per categorie werd aangegeven op welk gebied corrigerende acties moesten plaatsvinden, teneinde in de toekomst tot een vermindering van deze fouten te komen. Bij het bestuderen van de onderzoeksresultaten zijn wij uitgegaan van de veronderstelling, dat *Training* (TRA) opgevat mag worden als een poging individuele tekortkomingen teniet-tedoen. Voorts, dat de bij de resultaten weergegeven codering TRA de fouten aangeeft waaraan individuele factoren ten grondslag liggen. Zodoende verkregen wij de volgende resultaten:

1. Voor het vliegtuig-type P-3: HCE=30.4 en SCE=69.6;
2. Voor het vliegtuig-type F-4: HCE=41.2 en SCE=58.8.

Onze voorzichtige conclusie hieruit is, dat voor beide onderzoeken het in de literatuur gestelde HCE: SCE=20:80 niet opgaat.

Alhoewel het soms lijkt, dat aan een geregistreerde menselijke fout één oorzakelijke factor ten grondslag ligt, is het beter te veronderstellen dat een aantal factoren, waarvan enkele domineren, interacteren en resulteren in de waargenomen fout. De Greene (21) spreekt in deze over "direct cause" en "contributing cause". Het verband tussen individuele factoren (I_f) en situationele factoren (S_f) is vooralsnog ondoorzichtig. Het best is dit nog te begrijpen door te stellen, dat de situationele factoren het kader scheppen waarbinnen de invloed van de individuele factor c.q. factoren tot uitdrukking kan worden gebracht. Tiffin & McCormick (22) citeren in dit kader Rook die een en ander kwalitatief als volgt heeft weergegeven:



Figuur 2.

Op de abscis is uitgezet de mate waarin een individuele factor (I_f), by. ervaring, aanwezig is; deze varieert van weinig tot veel. Op de ordinaat is uitgezet de kans op een menselijke fout ($P(e)$); deze varieert van laag tot hoog.

Figuur 2 suggereert nu, dat de mate A waarin de individuele factor aanwezig is, voor situatie B ($S_f(B)$) geen aanleiding geeft tot het nemen van fouten reducerende maatregelen; terwijl dit voor situatie A ($S_f(A)$) wel het geval zal zijn. Wij stellen, dat situatie A versterkend optreedt. O.i. gaat het in een onderzoek naar de menselijke bedrijfszekerheid nu vooral om het per meetkamer vastleggen van die individuele factoren, die van invloed zijn op de kans dat een menselijke fout zich voordoet. Een schatting van deze kans kan worden verkregen uit een aantal gemaakte fouten per tijdseenheid in het verleden. Dit noemen wij de *storingsgraad* (error rate). Vervolgens zal in een gesimuleerde situatie systematisch de relatie moeten

worden onderzocht tussen deze individuele factoren enerzijds en de storingsgraad anderzijds.

2.1.1. *Individuele factoren*

In het bijzonder zijn wij geïnteresseerd in die individuele factoren, die binnen een werksituatie de operator predisponeren tot het maken van fouten. Het begrip fout is door ons omschreven in termen van gedrag (het verkeerde doel nastreven, de verkeerde actie ondernemen of in het geheel nalaten iets te doen). Als wij zulk gedrag beschouwen als *onveilig gedrag*, dan dient dus onderzocht te worden de relatie: Individuele factoren → Onveilig gedrag.

In de literatuur (23) wordt een groot aantal individuele factoren genoemd waarvan het verband met onveilig gedrag vooralsnog moet worden aangetoond. Wij noemen hier: training & opleiding, ervaring, attitude, werksatisfactie, angstbestendigheid, intelligentie, actiebereidheid, incompetentie, zorgeloosheid, leeftijd e.d.

In dit kader zijn door Tiffin & McCormick (24) twee vragen geformuleerd die wij hier, vrij vertaald, willen vermelden:

1. Bestaan er significante verschillen tussen operators wat betreft hun onveilig gedrag, zowel *binnen* als *tussen* meetkamerssituaties? (Onveilig gedrag wordt gedefinieerd als het aantal gemaakte fouten per tijdseenheid (storingsgraad)-red.)
2. Zo ja, waarin verschillen operators met een hoge storingsgraad dan van operators met een lage storingsgraad?

Alvorens een onderzoek te starten waarin getracht moet worden antwoorden op voornoemde vragen te formuleren, zal een literatuurstudie ons eerst meer inzicht moeten verschaffen over het begrip dat in de literatuur (25) bekend staat als "accident proneness".

2.1.2. *Situationele factoren*

Gesteld kan worden, dat de kans op een menselijke fout $P(e)$ en de kans op een ongeluk $P(a)$ per situatie sterk kan verschillen. Tiffin & McCormick (26) illustreren deze uitspraak met het geven van het gemiddeld aantal ziekenhuisbezoeken per jaar voor een aantal functies binnen een staalpletterij. Voor de functie van kraanmachinist vonden zij een gemiddelde van 3,5, tegenover het gemiddelde van 0,47 voor een "plaat-omkeerder" (roll turner).

Behalve *taakfactoren* kunnen wij binnen de klasse van situationele factoren

verder onderscheiden:

- *Sociale factoren* (vakbonden, de aanwezigheid van soortgelijke industrieën in de omgeving, woonomstandigheden e.d.);
- *Organisationele factoren* (procedures, beloning, dag- en nachtdienst);
- *Directe werkomgevingsfactoren* (licht, lawaai, temperatuur e.d.);
- *"Hardware" factoren* (informatieverschaffers, bedieningsmiddelen, gereedschap e.d.).

Omdat wij ons met het onderzoek beperken tot één chemische procesindustrie, zijn de sociale factoren voor ons het minst interessant. Wij richten ons uitsluitend op de overige vier genoemde factoren. Ter illustratie gaan wij hier nader in op de "hardware" factoren.

Fitts en Jones (18) toonden aan, dat een groot aantal fouten c.q. ongelukken veroorzaakt werden door de foutieve wijze waarop men informatieverschaffers en bedieningsmiddelen ontwierp, en vervolgens plaatste in de cockpit. Door enerzijds bij het ontwerp van de hardware, en anderzijds bij de inrichting van de werkplek uit te gaan van de menselijke beperkingen en bekwaamheden, zouden die fouten/ongelukken kunnen worden voorkomen althans beperkt, zo stelden zij. In dit kader twee voorbeelden:

1. *Binnen één vliegtuig*: de inadequate afstand tussen de bedieningsmiddelen in een cockpit ("spacing") gaf vaak aanleiding tot fouten die geklassificeerd werden als "onopzettelijke bediening".
In een moderne meetkamer van een chemische fabriek is de opeenhoping van informatieverschaffers (detectie-probleem) en bedieningsmiddelen (bedieningsprobleem) hiermee vergelijkbaar.
2. *Tussen meerdere vliegtuigen*: het feit, dat nauwelijks of geen uniformiteit bestaat m.b.t. het plaatsen van bedieningsmiddelen. Met name bij die bedieningsmiddelen die vaak in een bepaalde volgorde moeten worden gebruikt ("sequential control"). Binnen één vliegtuig leidt dit al gauw tot een vast handelingspatroon (subroutine). Hetgeen voortdurend een bron van conflict en verwarring is, als de piloot in een ander vliegtuig met andere lay-out ("pattern arrangement of controls") moet vliegen. Een foutloze prestatie is dan ten enenmale onmogelijk! Het feit, dat mensen niet in staat blijken te zijn zulks te *leren*, is aan te merken als een van de beperkingen van de mens. Fitts en Jones formuleerden in dit kader de niet-getoetste hypothese, dat piloten met veel ervaring (>1000 vlieguren) in vergelijking tot niet-ervaren piloten evenveel kans hebben op het maken van fouten, als zij, na een zekere tijd gevlogen te hebben in een bepaald type vliegtuig, moeten veranderen van vliegtuig-type.

Zij vergeleken de situatie met die van een automobilist die veel fouten, en mogelijk ook ongelukken, zal maken, als hem gevraagd zou worden te rijden in een auto waarin hij met de linkervoet moet gasgeven en met de rechervoet de koppeling moet bedienen.

Bij ons onderzoek zullen voor een groot aantal meetkamer-situaties de in deze paragraaf genoemde factoren geïnventariseerd moeten worden. In een later stadium zullen deze gegevens dan in relatie moeten worden gebracht met de fouten c.q. ongelukken die in het verleden zijn gemaakt (critical incidents; zie par. 3.3.), of in de toekomst zullen worden gemaakt (registratiesysteem; zie par. 4.).

Op korte termijn (november 1976) zal begonnen worden met het inventariseren van de directe werkomgevings- en hardware-factoren voor een tiental representatief geachte meetkamer-situaties.

2.2. *Classificatie van menselijke fouten*

In paragraaf 1 hebben wij "human reliability engineering" omschreven als dat deel van de ingenieurskunst dat zich bezighoudt met het beschrijven, analyseren en verbeteren van situaties waarin zich menselijke factoren hebben voorgedaan. Teneinde systematisch dergelijke situaties te kunnen onderzoeken, zal een onderscheid gemaakt dienen te worden tussen verschillende soorten fouten. In de literatuur worden een aantal systemen waarmee menselijke fouten kunnen worden geklassificeerd, behandeld (27). Het merendeel daarvan lijkt voor ons onderzoek niet bruikbaar. De taxonomie van Kidd (28) vormt een uitzondering. Dit systeem sluit aan bij het menselijk informatieverwerkend gedrag. Zulk gedrag wordt in de psychologie beschreven d.m.v. het SOR-model (29); *Stimuli* (S) uit de omgeving worden in het *Organisme* (O) verwerkt en resulteren in *Gedrag* (R: response). Binnen het organisme O kunnen de volgende deelprocessen worden onderscheiden: *detectie* → *discriminatie* → *interpretatie* → *voorspellen* → *beslissen* (gemakshalve zijn geen terugkoppelingslussen getekend). Ter illustratie geven wij hier definities en voorbeelden van voornoemde begrippen:

Detectie: *het opmerken/waarnemen van een signaal te midden van ruis*
 ("Ruis" wil zeggen, andere stimuli die het signaal kunnen maskeren.)

- De stip op het radarscherm onderscheiden van de ruis.
- Het auditieve waarschuwingssignaal onderscheiden van het fabriekslawaai.
- Het waarnemen van de waarde van een procesvariabele op een paneel.

- Discriminatie:* *het identificeren van het waargenomen signaal*
- De stip op het radarscherm die een vissersboot voorstelt, onderscheiden van de stip die een onderzeeboot voorstelt.
 - Het auditieve waarschuwingssignaal van kolom A onderscheiden van dat van kolom B.
 - De waarde van procesvariabele A onderscheiden van die van B.

- Interpretatie:* *het toekennen van een betekenis aan het waargenomen en geïdentificeerde signaal*
- De onderzeeboot behoort tot de vloot van de vijand en betekent gevaar.
 - Het waarschuwingssignaal van kolom A betekent uitval van de voedingspomp.
 - De waarde van procesvariabele A is te hoog.

- Voorspellen:* *het vaststellen van datgene dat in de toekomst zal gebeuren, indien niet-handelend wordt opgetreden*
- De onderzeeboot vernietigt de haven.
 - De kolom wordt leeg gestookt.
 - Het topproduct wordt slechter.

- Beslissen:* *het nemen van een besluit op grond van de kennis van het proces en van de ingreepmogelijkheden.*
(actie-selectie)
- Een torpedo afvuren.
 - De tweede voedingspomp starten.
 - Het setpoint van de procesvariabele A verlagen.

Waar het bij het beschrijven en analyseren van menselijke fouten nu vooral om gaat is, dat aangegeven wordt, geheel los van de oorzakelijke factoren, waar binnen het organisme de fouten worden gemaakt. Zo onderscheiden wij: *detectiefout* (signaal niet opgemerkt), *discriminatiefout* (signaal verkeerd onderscheiden van de andere), *interpretatiefout* (aan een signaal een foutieve interpretatie gegeven), *voorspellingsfout* en *beslissingsfout*.

(In dit kader merken wij op, dat bovenvermelde fouten onderling *afhankelijk* zijn. Het foutief aflezen van een informatieverschaffer verhoogt de kans op c.q. leidt tot een foutieve regelactie. Daarmee zal bij het *kwantitatief* schatten van menselijke bedrijfszekerheid terdege rekening moeten worden gehouden.)

De bovenstaande classificatie van menselijke fouten heeft als voordeel, dat zeer duidelijk kan worden aangegeven waar in het menselijk informatie-verwerkend proces de fout optreedt. Dit in tegenstelling tot de taxonomie van Fitts en Jones. Deze beide onderzoekers verrichtten een onderzoek naar de psychologische aspecten van informatieverschaffers in vliegtuigen. Na 270 door piloten opgestelde beschrijvingen geanalyseerd te hebben, kwamen zij tot de volgende indeling:

- I. Errors in interpreting multirevolution instrument indications
- II. Reversal errors
- III. Signal interpretation errors
- IV. Legibility errors
- V. Substitution errors
- VI. Using an instrument that is inoperative
- VII. Scale interpretation errors
- VIII. Errors due to illusions
- IX. Forgetting errors

Een nadeel van deze indeling is, dat binnen een klasse fouten worden ondergebracht waaraan niet dezelfde deelprocessen van de menselijke informatieverwerking ten grondslag liggen. De indeling bestaat bovendien uit elkaar niet-uitsluitende klassen. Beide kenmerken bemoeilijken het aangeven van gebieden waarop corrigerende acties zouden moeten plaatsvinden. (Zoals reeds opgemerkt in par. 2.1., geven Fitts en Jones deze gebieden dan ook niet.) Als voorbeeld moge het volgende gelden: *klasse III*. Signal interpretation errors: "failure to notice a hand signal" (code III A₃) is een *detectiefout*; "confusing one hand signal with another" (code III A₂) is een *discriminatiefout* en "misinterpreting signals from outside the aircraft" (code III E) is een *interpretatiefout*.

Het door Kidd (28) geïnspireerde classificatiesysteem leidt o.i. logischerwijs tot een verbetering van het mens-machinesysteem. Immers, een situatie waarin bv. veel detectiefouten worden geregistreerd, geeft aanleiding tot het verbeteren van het interface-ontwerp, terwijl veel interpretatiefouten aanleiding zou kunnen geven tot het verbeteren van de trainingsopzet.

3. METHODEN EN TECHNIEKEN OM MENSELIJKE FOUTEN TE ANALYSEREN ("ERROR ANALYSIS")

Singleton (30) geeft een driedeling die wij hier overnemen. Hij onderscheidt:

1. De statistische technieken;
2. De methode van observatie;
3. De techniek van de critical incidents.

In deze paragraaf kunnen wij de *statistische technieken* en de *methode van observatie* slechts globaal behandelen, omdat een diepgaander literatuuronderzoek ons daarvoor eerst meer kennis moet verschaffen. De *techniek van de critical incidents* kunnen wij daarentegen om twee redenen meer in detail behandelen. Enerzijds, omdat deze techniek in het verleden reeds door ons werd toegepast (9); anderzijds omdat wij op voorhand veronderstellen, dat deze techniek bij uitstek geschikt is om meer inzicht te verkrijgen in het begrip menselijke bedrijfszekerheid.

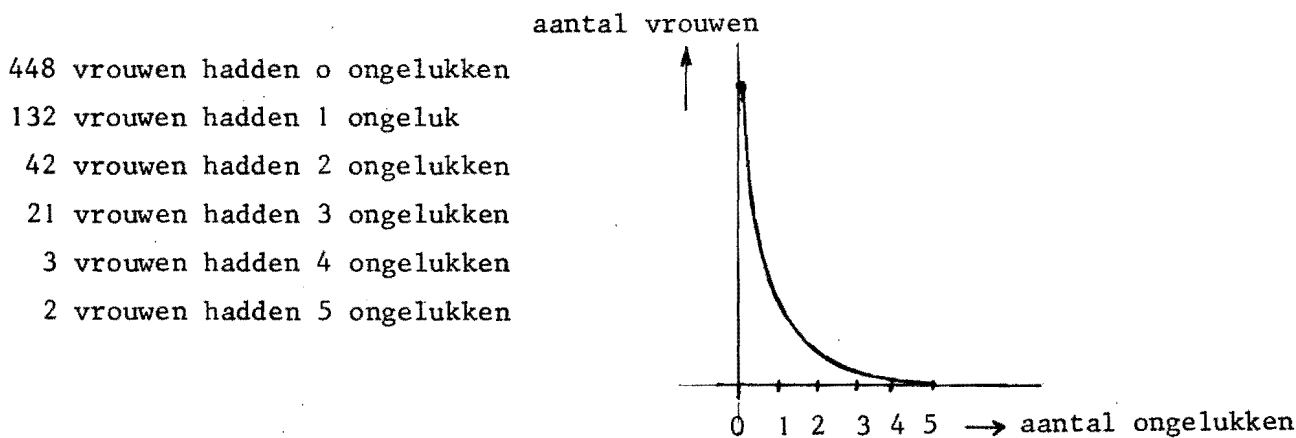
3.1. De statistische technieken.

In dit kader dient een onderscheid gemaakt te worden tussen de *beschrijvende* en de *inductieve* statistiek. Met beschrijvende statistiek wordt bedoeld het in kaart-brengen van aantallen ongelukken ("accident statistics"). Het doen van uitspraken daarover, bv. vanuit de frequentieverdeling de eigenschappen van de populatie beschrijven, ligt op het terrein van de inductieve statistiek.

De resultaten van twee onderzoekingen kunnen hier ter illustratie gegeven worden.

Cresswell en Frogratt (30) waren bij hun onderzoek naar het rijgedrag van buschauffeurs in staat aan te tonen, dat de verdeling van de door hen verzamelde gegevens meer overeenkwam met een Neyman-type-A-verdeling, dan met een Negatieve Binomiale of Poissonverdeling. Dat zou betekenen, zo concludeerden Cresswell en Frogratt, dat *alle* buschauffeurs voor een gedeelte van hun werktijd, bv. in het spitsuur, onder een verhoogd risico reden; en niet, dat sommige buschauffeurs gedurende hun gehele werktijd meer risico liepen dan de anderen ("accident proneness"). Of, dat de kans op ongelukken voor alle buschauffeurs gedurende hun gehele werktijd even groot was.

Kay (31) vermeldt de resultaten van het onderzoek dat Greenwood en Woods in 1919 hebben uitgevoerd. Deze onderzoekers registreerden gedurende vijf weken het aantal ongelukken onder 648 vrouwelijke werknemers in een munitiefabriek. (Kay geeft geen definitie van het begrip ongeluk. Voorlopig gaan wij uit van de definitie zoals die door ons gegeven is in par. 2.) De verdeling van het aantal ongelukken over de vrouwen was als volgt:



Figuur 3.

Detailtering van de feiten leert ons:

- 648 vrouwen veroorzaken gezamenlijk 301 ongelukken. D.w.z. dat één vrouw gemiddeld 0.47 ongeluk veroorzaakt;
- 200 van de 648 vrouwen hebben één of meer ongelukken veroorzaakt;
- slechts 26 vrouwen hebben drie of meer ongelukken veroorzaakt.

Greenwood en Woods vergeleken de in figuur 3 geschetste verdeling met een Poissonverdeling. Daarbij werd dan verondersteld, dat ieder van de 648 vrouwen dezelfde kans op een ongeluk heeft. De Poissonverdeling met gemiddelde $\mu=\lambda= 0.47$ voor een populatie van 648 personen is:

- $P(\underline{x}=0)=62,5\% \rightarrow 405$ vrouwen hebben 0 ongelukken
- $P(\underline{x}=1)=29,3\% \rightarrow 190$ vrouwen hebben 1 ongeluk
- $P(\underline{x}=2)= 6,9\% \rightarrow 44$ vrouwen hebben 2 ongelukken
- $P(\underline{x}=3)= 1,0\% \rightarrow 6$ vrouwen hebben 3 ongelukken
- $P(\underline{x}=4)= 0,1\% \rightarrow 0,6$ vrouwen hebben 4 ongelukken
- $P(\underline{x}=5)=0,01\% \rightarrow 0,1$ vrouwen hebben 5 ongelukken

Met een χ^2 -toets kan worden aangetoond, dat er een verschil bestaat tussen beide verdelingen. (De door ons berekend $\chi^2=84.46$ is significant voor $\alpha= 0,01$ en $v=5$.) Greenwood en Woods stellen dan ook, dat de feiten de hypothese van "gelijke kansen voor iedereen" niet ondersteunt.

Op grond van dit resultaat hanteerden zij twee andere modellen, waarvan de resultaten in de kolommen d en e van figuur 4 zijn weergegeven.

(Gezien het feit, dat wij deze modellen (nog) niet kennen, kunnen wij hier niet meer doen, dan de resultaten presenteren.)

Number of accidents per individual (N)	Number of women with N accidents	Expected accident frequency when distribution was:		
		By chance (Poisson)	Single biased hypothesis	Unequal liabilities
a	b	c	d	e
0	448	406	452	442
1	132	189	117	140
2	42	45	56	45
3	21	7	18	14
4	3	1	4	5
5	2	0.1	1	2

Figuur 4. Vergelijking van een feitelijke verdeling (kolom b) met drie theoretische verdelingen (kolommen c, d en e). (Overgenomen uit Kay (31).)

- "Single-biased hypothesis" (kolom d): Hierbij gaat men uit van het feit, dat alle werknemers aanvankelijk starten met dezelfde kans op een ongeluk, maar dat als gevolg van een eenmaal veroorzaakt ongeluk de kans op het veroorzaken van een of meer ongelukken daarna voor een bepaalde werknemer verandert. Deze kans kan groter of kleiner worden, al naar gelang de werknemer als gevolg van het ongeluk *nerveuzer* dan wel *voorzichtiger* wordt. Het model, dat ten grondslag ligt aan de resultaten zoals die zijn weergegeven in kolom d van figuur 3 is gebaseerd op het nerveuzer worden van de werknemer ("single bias").

Deze resultaten komen "redelijk" overeen met de feiten uit kolom b.

- "Unequal liabilities hypothesis" (kolom e): Hierbij gaat men uit van het feit, dat de populatie van 648 vrouwelijke werknemers niet-homogeen is wat betreft het veroorzaken van ongelukken. M.a.w bepaalde werknemers zijn meer "accident prone" dan andere. De resultaten uit dit model (kolom e) sluiten zeer goed aan bij de feiten. Met een χ^2 -toets kan worden aangetoond, dat er geen verschil bestaat tussen beide verdelingen. ($\chi^2=2.26$ is niet-significant voor $\alpha=0.05$ en $v=5$.)

Naar aanleiding van het voorafgaande plaatsen wij twee kanttekeningen:

1. Ongelukken zijn zeldzaam ("top van de ijsberg"), en derhalve is het moeilijk een voldoende aantal gegevens te verzamelen. Grote aantallen gegevens kunnen verkregen worden door gedurende lange tijd te observeren en te registreren, maar de omstandigheden waaronder de verschijnselen optreden, kunnen dan zeer verschillend zijn.

Wij pleiten dan ook sterk voor het registreren van de *bijna-ongelukken* ("critical incidents"; zie par. 3.3.).

2. Met behulp van de inductieve statistiek zijn ~~laats~~ uitspraken te doen in de trant van "alle buschauffeurs rijden in bepaalde perioden onder een verhoogd risico", of "niet alle werknemers zijn accident-prone". Op zichzelf belangrijke, wetenschappelijke uitspraken. Echter, wij zijn geïnteresseerd in vragen zoals: waarom en door wie werd de fout gemaakt, en onder welke omstandigheden (condities) werd die fout gemaakt? Dat betekent, dat wij per situatie de oorza(a)k(en) van een menselijke fout moeten trachten te achterhalen. Pas dan zijn wij in staat te komen tot *het reduceren van menselijke fouten* in de toekomst. Dit laatste mag als een doel van ons onderzoek worden geformuleerd.

3.2. De methode van observatie

Over deze methode wordt in de literatuur betrekkelijk weinig gesproken.

In de praktijk komt het erop neer, dat de onderzoeker patrouilleert of wacht in een daarvoor bestemde ruimte. Doet zich op een of andere werkplek een ongeluk voor, dan gaat hij daaronmiddellijk naar toe en tracht d.m.v.

interview en observatie ter plaatse te achterhalen wat er gebeurd is. Singleton (30) vermeldt twee onderzoeken waarbij deze methode is toegepast; Hobbs (1967) heeft op deze wijze verkeersongelukken beschreven, en Powel c.s. (1971) hebben 2000 ongelukken in een niet nader gespecificeerde industrie in kaart gebracht. (Beide onderzoeken zijn door ons (nog) niet bestudeerd.)

Zoals reeds eerder opgemerkt, heeft men met het beschrijven en analyseren van ongelukken slechts, na betrekkelijk lang observeren, het topje van de ijsberg te pakken. Ook de bijna-ongelukken (voor ons synoniem met menselijke fout) kunnen met behulp van de observatiemethode beschreven worden. Chapanis (32) verwijst naar het onderzoek van McFarland & Moseley, die d.m.v. observatie het aantal en soort menselijke fouten hebben geregistreerd die zoal gemaakt werden door chauffeurs van trucks met oplegger. Ook de condities waaronder de fouten werden gemaakt, zijn door de observator vastgelegd. In het algemeen waren het fouten, die gemakkelijk hadden kunnen leiden tot ongelukken. Chapanis merkt op, dat d.m.v. deze *directe (participerende) observatie* veel meer feiten verzameld worden, dan het geval zou zijn als een werkelijk ongeluk beschreven en geanalyseerd wordt. Chapanis (33) onderstreept dit door te vermelden, dat van de 330 door een zekere H.W. Heinrich vastgelegde gevallen 300 te karakteriseren waren als bijna-ongelukken, 29 als ongeluk met betrekkelijk weinig en 1 als ongeluk met betrekkelijk veel materiële en persoonlijke schade.

De methode van *directe observatie* heeft evenwel twee nadelen, die wij hier expliciet willen vermelden:

1. Bij observatie zal de geobserveerde persoon zich anders gedragen, dan dat hij gewend is. (Capacitieve belasting; In het hiervoor genoemde onderzoek van McFarland & Moseley kunnen chauffeurs rustiger en daardoor veiliger zijn gaan rijden.)
2. De observator beoordeelt subjectief wat hij wel en wat hij niet beschouwd als een menselijke fout. (D.m.v. een gerichte instructie en training is dit effect evenwel te beperken.)

Beide nadelen gelden in veel mindere mate voor het observeren van situaties waarin zich een werkelijk ongeluk heeft voorgedaan. Het grote nadeel hierbij is evenwel, dat de betrokkenen zich moeten herinneren hoe het gebeurde en wat zich allemaal heeft voorgedaan. Bij dat herinneren kan, vaak onbewust, grote vertekening optreden ("selective recall"). Ook schijnen mensen een afkeer te hebben van het moeten spreken over ongelukken waarbij ze daadwerkelijk betrokken zijn geweest.

Ondanks al deze nadelen zijn wij ervan overtuigd, dat gezocht dient te worden naar een adequate methode waarmee menselijke fouten beschreven kunnen worden. Meister (34) merkt op, dat in de meeste produktiebedrijven wel op systematische wijze een kwaliteitsdienst en een instrumentatiedienst opereren, maar dat nauwelijks aandacht wordt besteed aan het systematisch beschrijven, analyseren en verbeteren van situaties waarin zich menselijke fouten hebben voorgedaan. Als eerste aanzet daartoe ziet Meister het instellen van een "*failure*"-rapport. In een dergelijk rapport wordt vastgelegd: het soort fout, de oorza(a)k(en) en gevolg(en) van de fout zoals vastgesteld door de observator, de omstandigheden waaronder en de plaats waar de fout zich voordeed. Vervolgens dient de betreffende situatie nader geanalyseerd te worden. Bij deze analyse kan de door Meister opgestelde checklist gebruikt worden.

T.a.v. het "*failure*"-rapport formuleert Meister een aantal nadelen:

- het soort fout en de oorzaak van een fout zijn dikwijls niet direct duidelijk voor de observator;
- de oorzaken moeten meestal zelf door hem worden afgeleid, waarbij het voor hem moeilijk kan zijn individuele factoren (par. 2.2.1.) te vermelden;
- het geheel wordt doorgaans in beschrijvende termen vastgelegd, waaruit de analyst dan datgene moet afleiden dat hij nodig heeft;
- één geregistreeerde fout betekent nog niet het kunnen formuleren van een probleemgebied.

Hierbij zouden wij willen opmerken, dat het beschrijven en analyseren van menselijke fouten en het doen van verbeteringsvoorstellen door anderen dan de perso(o)n(en) in kwestie veelal op problemen stuit.

Het toepassen van de techniek van de critical incidents kan hieraan gedeeltelijk tegemoetkomen. Daarnaast kan het laten participeren van werknemers in het zogeheten "Error-cause removal program", dat in paragraaf 4.1. wordt behandeld, in velerlei opzicht positief werken.

3.3. *De techniek van de critical incidents*

Deze techniek stelt de onderzoeker in staat op systematische wijze gebeurtenissen te registreren die het uitvoeren van een taak nadelig hebben beïnvloed. Zulke gebeurtenissen ("critical incidents") zijn bij de persoon in kwestie of bij anderen bekend. Aan hen wordt gevraagd de onderzoeker daarover verslag te doen. Het vastleggen van *feiten* is te prefereren boven het verzamelen van opinies of impressies over een werksituatie, omdat daarmee de mogelijkheid geschapen wordt concrete verbeteringsvoorstellen te doen.

Flanagan (20) beschrijft de wijze waarop de techniek is ontstaan. In het kort komt het erop neer, dat men om verschillende redenen (selectie, training, taakontwerp) geïnteresseerd was in de vraag "hoe voert de werknemer zijn taak uit?". Derhalve werd aan de werknemer gevraagd zijn ervaringen m.b.t. een specifieke taakuitvoering op schrift te stellen. Uit die beschrijvingen trachtte men dan de "critical job requirements" te achterhalen die nodig waren om de betreffende taak goed uit te voeren. Min of meer door trial & error heeft men zodoende een procedure kunnen ontwikkelen, die bekendheid geniet als de techniek van de critical incidents. Deze procedure bestaat uit vijf stappen ("General Aims, Plans and Specifications, Collecting the Data, Analyzing the Data, Interpreting and Reporting"), die wij gemakshalve onderverdelen in:

1. De introductie van het onderzoek;
2. Het verzamelen van gegevens;
3. Het verwerken van de gegevens.

3.3.1. *De introductie van het onderzoek*

De ervaring heeft ons geleerd, dat de introductie voor een zeer groot deel de resultaten van het onderzoek bepaalt. De onderzoeker zal aan de geïnterviewde (itee) duidelijk moeten kunnen maken *wie* hij is, *wat* hij onderzoekt,

en *waarom* hij dat onderzoekt. Om twee redenen zal de onderzoeker zich eerst vertrouwd moeten maken met de betreffende werksituatie ("meelopen"). Enerzijds moet hij in staat zijn de verzamelde gegevens te interpreteren, anderzijds moeten de itee's hem leren kennen en respecteren. Flanagan stelt, dat een introducerende zin als "we wish to find out what makes a good operator" in het merendeel der gevallen goed aanslaat. Een dergelijke zin wordt meestal nader gepreciseerd met de woorden "we would like to know what are the requirements of that specific activity". (Bij ons onderzoek zal de introductie vooral gericht moeten zijn op het veiligheidsaspect. Daarbij moet aan de operators duidelijk worden gemaakt, dat een menselijke fout geen negatieve kwalificatie betekent. Men zal moeten worden verteld, dat situationele factoren (par. 2.1.2.) vaak ten grondslag liggen aan een dergelijke fout.) In zijn artikel schrijft Flanagan, dat de onderzoeker meestal geconfronteerd wordt met de vraag "why ask me?". In dat geval zal men uiteen moeten zetten, dat de itee. tot een groep behoort waarover men meer wil weten en dat zij de enigen zijn die ons over de taakuitvoering meer in detail kunnen vertellen; zonodig worden speciale kwalificaties expliciet vermeld. Daardoor ziet de itee. zichzelf geplaatst in een unieke positie, hetgeen hem kan stimuleren meer over zijn werksituatie te vertellen. Dat doet hij in het bijzonder, als het hem geen schade kan berokkenen.

Gezien het feit, dat men meestal geïnteresseerd is in een specifieke activiteit van de taak (bv. het opstarten van een destillatiekolom) zal bij introductie het doel waarop die activiteit zich richt, expliciet geformuleerd dienen te worden. Daarmee wordt voorkomen, dat over andere activiteiten dan waarin men geïnteresseerd is, gesproken gaat worden. Bovendien kan in het licht van het geformuleerde doel de beschreven activiteit nader worden gekwalificeerd (zie par. 2.).

3.3.2. *Het verzamelen van gegevens*

Flanagan onderscheidt vier manieren waarop de gegevens verzameld kunnen worden, t.w.:

1. het individuele interview;
2. het groepsinterview (aantal itee.'s $I < 15$);
3. de vragenlijst ($I \geq 15$);
4. het wachtboek.

Evenals bij de methode van observatie (par. 3.2.) is vermeld, geldt ook hier, dat de itee.'s zich de kritieke incidenten zullen moeten *herinneren*. Daarbij kan, zoals wij reeds opmerkten, vertekening optreden. Daarom is het van belang na te gaan op welke wijze de verzamelde gegevens in de verwerkingsfase ge-

verifieerd kunnen worden. Voor de situatie waarop wij ons onderzoek richten, bestaat de mogelijkheid de chefs van dienst een dergelijke verificatie te laten uitvoeren. (Aan elke ploeg van operators is nl. een chef van dienst toegevoegd (9).) Alhoewel men o.i. ook heel goed een ploeg zou kunnen confronteren met de op die ploeg verzamelde kritieke incidenten.

Bij de interviews en ook bij de vragenlijst dient uitgebreid aandacht besteed te worden aan zowel de *formulering* van de vragen, als de *volgorde waarin* en de *wijze waarop* de vragen worden gesteld. Zo vermeldt Flanagan de resultaten van een "kleine" wijziging in een der vragen. Bij het vervangen van de zinsnede "how he behaved" door "what he did", veranderde zowel het aantal als het soort geregistreerde gegevens. In het eerste geval waren de antwoorden meer persoons- en attitude-gericht, terwijl in het tweede geval de antwoorden meer betrekking hadden op de feitelijke uitvoering van de taak, hetgeen bij het toepassen van de techniek van de critical incidents wordt beoogd. Gelijk elders in de literatuur wordt gesteld (zie bv. 35), wijst ook Flanagan op de noodzaak van het in een *vooronderzoek* uittesten van de vragenlijst op een kleine, representatieve steekproef itee.'s.

3.3.2.1. Het individuele interview

Bij dit type interview wordt door de interviewer (itr.) slechts de hoofdvraag, die eventueel is opgesplitst in een aantal deelvragen, gesteld. Zonodig licht hij door herformulering het een en ander nader toe. De itr. stelt verder geen suggestieve vragen (Flanagan: "biased incidents"). Hij beperkt zich tot het maken van neutrale, de itee. stimulerende opmerkingen (35). Tijdens het interview, dat wat betreft het inhoudelijke aspect een eenrichtingsgesprek is, beschouwt de itr. de itee. als een expert op het onderhavige gebied en laat hem dat ook merken. Bij het interview kan alleen van een tape-recorder gebruik worden gemaakt, als de itee. daartegen geen bezwaar heeft. De itr. zal tijdens het interviewen het gesprek op de volgende punten dienen te evalueren:

- Is het kritieke incident door de itee. zelf waargenomen?
- Is het feitelijke gedrag dat tijdens het kritieke incident werd ontplooid, voldoende beschreven?
- Is een gedetailleerde beschrijving gegeven van de situatie waarin het kritieke incident zich heeft voorgedaan. Zijn de individuele en/of situationele factoren, die ten grondslag zouden kunnen liggen aan zulk een incident, naar behoren omschreven?
- Is het kritieke element van het incident duidelijk weergegeven?

Zonodig dient de itr. de vragen te herformuleren en/of de itee. te stimuleren gedetailleerde beschrijvingen c.q. aanvullingen te geven. Deze mogelijkheid beschouwt Flanagan als een van de grote voordelen van het individuele/persoonlijke interview.

3.3.2.2. *Het groepsinterview*

Een nadeel van het individuele interview is evenwel het feit, dat daarmee relatief veel tijd is gemoeid. Het groepsinterview biedt in dit opzicht voordelen. Bij dit type interview verkrijgen meerdere itee.'s (maximaal veertien) tegelijkertijd dezelfde introductie, waarbij eventuele vragen gesteld kunnen worden. Vervolgens wordt elke respondent verzocht de vragen m.b.t. de kritieke incidenten *schriftelijk* te beantwoorden. (Fitts en Jones (18) stuurden de vragenlijst zelfs vooraf toe aan hun respondenten, opdat deze zich zo goed mogelijk konden voorbereiden.) De itr. kan hierbij, in tegenstelling tot het individuele interview, slechts weinig stimuleren en corrigeren. Bovendien zullen de itee.'s bereid moeten zijn, en ook verbaal begaafd, om de antwoorden op schrift te stellen. Zoals reeds opgemerkt, is de winst in "interview"-tijd echter groot. Flanagan citeert Wagner, die bij het vergelijken van beide typen interviews met elkaar vond, dat de interview-tijd nodig voor een bruikbaar incident bij het groepsinterview 4,3 minuten was, terwijl dit bij het individuele interview 15,7 minuten vergde. Daarbij wordt opgemerkt, dat in beide gevallen geen verschil geconstateerd werd in de kwaliteit van de beschreven incidenten.

3.3.2.3. *De vragenlijst*

Bij een groep itee.'s die groter is dan vijftien personen gaat de voorkeur uit naar het gebruik van een vragenlijst, die aan de respondenten ter invulling wordt toegezonden (post-enquete). Hieraan zijn evenwel een aantal nadelen verbonden, waarvan wij er twee willen noemen. Enerzijds bestaat bij de post-enquete niet de mogelijkheid de introductie *persoonlijk* te verzorgen, en zodoende eventuele onduidelijkheden toe te lichten; anderzijds kan het aantal personen dat respondeert aan de lage kant zijn (in de literatuur wordt 25% als gemiddelde genoemd (35)).

Indien men genoodzaakt is de vragenlijst te hanteren, dan is als een der eisen te formuleren, dat de introductie in eenvoudige woorden, zo kort en zo helder mogelijk op schrift moet zijn gesteld. Flanagan poneert, dat bij een adequaat verzorgde introductie én bij hoog-gemotiveerde respondenten geen verschil met het groepsinterview te constateren zal zijn.

3.3.2.4. *Het wachtboek*

Ook bij deze wijze van informatie-verzameling zullen mensen gemotiveerd moeten zijn tot het opschrijven van kritieke incidenten. Alhoewel het bijhouden van een wachtboek gemakkelijk als onderdeel van een taak kan worden opgedragen (taakeis). Chapanis (36) vermeldt, dat via het wachtboek veel meer incidenten beschreven worden waaraan situationele factoren ten grondslag liggen, dan incidenten met individuele oorzaken. Bij de verschillende vormen van interviews is dit niet of in veel mindere mate het geval, met name als *anonimiteit* volstrekt gegarandeerd wordt.

Evenals bij de interview-methode kan men zich bij de wachtboek-methode afvragen, of datgene dat beschreven wordt ook werkelijk representatief is voor de situatie. Immers, ook bij het opschrijven zal men zich achteraf moeten herinneren hoe en wat er precies gebeurde. Daarbij zij echter opgemerkt, dat meestal *kort* na het optreden van een incident zo veel mogelijk beschreven zal worden. Dit in tegenstelling tot het interview.

3.3.3. *Het verwerken van de gegevens*

Zijn de voorafgaande fasen op de juiste wijze doorlopen, dan beschikt men bij aanvang van de verwerkingsfase over gedetailleerde beschrijvingen van situaties waarin zich kritieke incidenten hebben voorgedaan (zie par. 3.3.4.). Flanagan waarschuwt in dit kader voor vage beschrijvingen, omdat, zo stelt hij, "vaagheid" gekoppeld is aan "het-zich-niet-goed-herinneren". In dat geval is zowel de validiteit als de betrouwbaarheid van het resultaat in het geding.

Alvorens te komen tot voorstellen, die zouden moeten leiden tot *verbetering* van de beschouwde situatie (doel van het onderzoek), zal men in deze fase van het onderzoek de verzamelde gegevens moeten *verifiëren* en *classificeren*.

Voor wat betreft de verificatie is in paragraaf 3.3.2. een tweetal suggesties gegeven. Het classificeren lijkt ons geen eenvoudige bezigheid. Mogelijkerwijs zullen verfijningen moeten worden aangebracht in de door ons onderscheiden categorieën (par. 2.2.). Dit classificeren is o.i. echter noodzakelijk om te komen tot concrete verbeteringsvoorstellen. Volgens Flanagan is dit de belangrijkste en tevens de moeilijkste fase van de *interpretatie* der gegevens. Hierbij worden volgens hem de meeste fouten gemaakt. De grootste fout die een onderzoeker evenwel kan maken, is het niet vermelden van mogelijke fouten in deze of voorafgaande fasen.

3.3.4. *Illustratie van de behandelde techniek*

Een van de vragen die Fitts en Jones (18) vooraf aan hun respondenten toestuurde, luidde:

"Describe in detail some error which you have made in reading or interpreting an aircraft instrument, detecting a signal, or understanding instructions; or describe such an error made by another individual when you were watching at the time".

Als voorbeeld van een *interpretatiefout* geven wij hier:

"I was flying at 25,000 feet in a P-47 on my first combat mission, but had mistakenly read the hands on my altimeter and was under the impression that I was at 35,000 feet. I called in some unidentified aircraft which were level with our formation and, consequently, actually at 25,000 feet. Since I mistakenly reported them at 35,000 feet, they were believed to be enemy aircraft. A good deal of confusion resulted. I believe some improvements can be made in our present altimeter".

Als voorbeeld van een *discriminatiefout* geven wij hier:

"I was flying a C-47 as first pilot in the local traffic pattern with wheels down and checked. On the final approach the copilot lowered half flaps. Just prior to making contact with the runway, the copilot called for "go-around" saying that the red landing-gear warning light was on. When back at traffic altitude a check disclosed that while on the final approach the green landing-gear warning light had come on. In this model aircraft, the heater spill-valve warning lights and the red landing-gear warning light are close enough to cause confusion in a case of this sort".

In het onderzoek dat wij in 1971 bij D.S.M. hebben uitgevoerd, waren wij o.a. geïnteresseerd in het regelgedrag van operators tijdens een bedrijfsstoring. Wij veronderstelden, dat het minimaliseren van de gevolgen van een bedrijfsstoring door de operator werd beschouwd als een moeilijke taak.

Een van de vragen van het open-end interview luidde daarom als volgt:

"U heeft mij zo het een en ander verteld over het hydranon-I proces, zijn er nu in al die jaren dat U het proces heeft bestuurd wel eens moeilijke situaties voorgekomen?"

Ter illustratie enkele antwoorden uit de interviews (37):

Interview 2 blz. 7: "Wij hebben laatst gezeten met de temperaturen in de reactor. Doordat een afsluiter van de reactor was open blijven staan, was de olie teruggelopen naar de voorraadtank. Op een gegeven moment kreeg je "laag niveau" in het pompvat; na zoeken en zoeken, eerst was het niet te vinden, maar later bleek dus dat die aftap-afsluiter van de reactor was blijven openstaan".

Interview 6 blz. 9: "Wij hebben laatst een storing gehad, die had ik nog niet meegemaakt. De druk van het reactiemengsel viel weg en op het eerste gezicht was er binnen (in de meetkamer-red.) niets te merken, dus alles normaal! Wij zijn toen gaan zoeken en voordat wij buiten waren bij Hydranon-I, viel de compressor uit. Toen wisten wij waar het zat. (Itr.: Hoe wist U dat?) De druk van het reactiemengsel viel weg; maar er hadden bankwerkers aan gewerkt, en die tracing was vergeten bij te zetten...".

4. HET REDUCEREN VAN MENSELIJKE FOUTEN

Het uiteindelijke doel van ons onderzoek naar de menselijke bedrijfszekerheid in meer of minder geautomatiseerde mens-machinesystemen is het dragen van medeverantwoordelijkheid voor het (her)ontwerp van een *goed* mens-machinesysteem; d.w.z. meehelpen een werksituatie te creëren waarin o.a. het aantal gemaakte menselijke fouten per tijdseenheid (storingsgraad) tot een aanvaardbaar *minimum* is gereduceerd. Immers, ook in een verbeterde werksituatie blijft de stelling "waar mensen werken, worden fouten gemaakt" onverkort geldig. Aan die fouten kunnen, zoals opgemerkt in paragraaf 2.1., individuele en/of situationele factoren ten grondslag liggen. Derhalve is het niet meer dan logisch de maatregelen die erop gericht zijn de storingsgraad in een werksituatie te reduceren, onder te brengen in twee groepen en benaderingen ("approaches"). Deze zijn gericht op:

1. De werksituatie;
2. De human operator.

4.1. "The work situation approach" (Swain (38).)

Evenals Lees (17) stelt Swain, dat de meeste menselijke fouten veroorzaakt worden door situationele factoren. Beiden pleiten voor onderzoek waarin deze factoren worden vastgelegd, om vervolgens te worden weggenomen. Dit kan op twee manieren.

De *eerste* mogelijkheid is, dat deskundigen van *buiten* de werkplek een inventarisatie maken van de werksituatie. ("Situatie" in de psychologische betekenis van het woord: de mens en het relevante deel van zijn (werk)omgeving.) Na deze analyse worden dan vervolgens concrete verbeteringsvoorstellen gedaan. Swain noemt deze manier van analyseren de "*Man-machine system analysis*", waarbij observatie (par. 3.2.) en interview (par. 3.3.) de gehanteerde methoden zijn. In dit kader past ook de taakanalyse à la Annett & Duncan (29).

De *tweede* mogelijkheid gaat uit van de deskundigheid van de werknemer *zelf* ("subject expert of matter"). Groepen werknemers participeren in wat Swain noemt de "*Error-cause removal programs*". Zulke groepen van werknemers vormen de zogeheten ECR-teams (basiseenheid). Daaruit worden bepaalde werknemers verkozen die na een training, o.a. op groepsdynamisch gebied, als coördinator weer aan de groep worden toegevoegd. In periodieke bijeenkomsten (continuïteit is essentieel) tracht elk groepslid zo veel mogelijk gedetailleerde beschrijvingen te geven van situaties waarin zich fouten hebben voorgedaan ("accident-prone"), of van situaties waarin fouten zouden kunnen optreden ("error-prone")

Dergelijke beschrijvingen worden gezamenlijk besproken, en concrete verbeteringsvoorstellen (correctief/preventief) worden daarna opgesteld. Zo nodig kunnen experts (technici, economen, ergonomen e.d.) worden geraadpleegd. De verbeteringsvoorstellen die uit de groep komen, worden ter evaluatie en implementatie aan "management" voorgelegd.

Samenvattend kunnen wij de volgende fasen onderkennen:

1. Het introduceren van het ECR-programma op *alle* niveaus in de organisatie; men zal in deze benadering moeten gaan geloven. Dat kan door erop te wijzen, dat veel deskundigheid bij de directe werknemer aanwezig kan zijn. Deze deskundigheid is beschikbaar voor de organisatie! (In dit kader wijzen wij op een van onze conclusies uit het onderzoek van 1971 (9): "...hoe is het overleg tussen staf, "productie" en operators te verbeteren, opdat de aanwezige kennis *volledig* kan worden benut..."). Doorgaans zullen in deze fase attitudes moeten worden gewijzigd.
2. Het formeren en trainen van groepen werknemers, opdat deze daadwerkelijk als ECR-teams kunnen functioneren. M.b.t. het formeren van de groepen behoeft voor onze onderzoeksituatie geen probleem te bestaan. Men kan uitgaan van de bestaande ploegen van operators, waarbij de chef van dienst of de le-operator als coördinator kan optreden. De training zal behalve op het bijbrengen van de vereiste *kennis* en *vaardigheid* ook gericht moeten zijn op de *attitude* (40). ("Blame free atmosphere".)
Overigens zal deelname aan voornoemde teams niet kunnen worden afgedwongen; o.a. via de training zal dit zoveel mogelijk gepropageerd/gestimuleerd dienen te worden.
3. De periodieke bijeenkomsten van de ECR-team omvatten:
 - het gedetailleerd beschrijven van werksituaties;
 - het analyseren van deze beschrijvingen;
 - het doen van verbeteringsvoorstellen na eventueel experts geraadpleegd te hebben.
4. De verbeteringsvoorstellen worden door specialisten geëvalueerd. Daarbij dienen vragen beantwoord te worden, zoals: in welke mate zal de storingsgraad gereduceerd worden?; wat gaat herontwerp kosten?; wat zijn de gevolgen voor bv. de werksatisfactie, het verzuim en het verloop?
In deze fase zullen kosten en baten tegen elkaar worden afgewogen.
5. De aldus "gefilterde" voorstellen worden aan "management" aangeboden, dat eventueel tot herontwerp beslist. In *alle* gevallen wordt gerapporteerd aan

de ECR-teams. Het overleg daarbij verloopt via de coördinator van de groep.

6. De verbeterde situatie zal door deskundigen van *buiten* de werkplek moeten worden geëvalueerd.

Swain (41) beschrijft uitgebreid het hierboven genoemde ECR-programma, en vermeldt bovendien een aantal succesrijke toepassingen.

4.2. "The human approach" (motivation & training, Lees (42).)

Hierbij gaat men uit van de veronderstelling, dat het merendeel van de menselijke fouten veroorzaakt wordt door individuele factoren (par. 2.1.1.). Een andere veronderstelling is, dat de mens na een adequate training én als hij het *wil*, in staat is *foutloze* prestaties te leveren. Swain (43) is bijzonder kritisch t.a.v. de stellingname, dat mensen te motiveren zouden zijn geen fouten te maken. Hij behandelt het zogeheten (amerikaanse) "Air Force Zero Defects Program" (ZD-program). Dit is erop gericht mensen te *leren*, direct de eerste keer, een taak *foutloos* uit te voeren. Vervolgens worden zij gemotiveerd dit te blijven doen. Ongetwijfeld zal hierbij een *verzadigingseffect* optreden.

Ons standpunt is dan ook, dat je mensen niet kan blijven motiveren tot veilig gedrag ("motivational approach" (43)), maar dat je moet zorgen dat mensen geen onveilig gedrag kunnen ontplooiën ("work situation approach" (38)).

Daarbij kan nog worden opgemerkt, dat weliswaar de "human caused errors" in aantal voor een zekere tijd te reduceren zijn, maar dat fouten gemaakt zullen blijven worden. Immers, voornoemde benadering richt zich in het geheel niet op de "situation caused errors".

Een opmerkelijk resultaat van een toegepast ZD-programma kunnen wij hier niet onvermeld laten. Na het invoeren in een werksituatie werd ter plaatse niet minder fouten gemaakt dan voorheen; wel werden er minder fouten gerapporteerd!

In deze paragraaf zouden wij tenslotte willen pleiten voor een grondige inventarisatie van elke werksituatie. Daarbij kan de werknemer zelf een actieve rol vervullen. Door hem toe te staan aan een ECR-team deel te nemen, kunnen o.i. twee doelen verwezenlijkt worden. Enerzijds kan het aantal menselijke fouten tot een aanvaardbaar minimum worden gereduceerd; anderzijds kunnen werknemers meer arbeidsvoldoening aan de taakuitoefening ontnemen. De volgende hypothese zou derhalve zeer goed in het onderzoek van Foeken (44) getoetst kunnen worden: "Werknemers die deel uit maken van ECR-teams scoren hoger op de werksatisfactie-schaal, dan werknemers die daaraan niet deelnemen".

LITERATUUR

- (1) Ekkers, C.L., Kragt, H., Mulder, H.F. en Schwarz, J.J., Onderzoek in geautomatiseerde mens-machinesystemen. Mens en Onderneming, 1976/2. Meppel, Boom. (blz. 69.)
- (2) Smith, D.J., Reliability Engineering. Electronic Engineering Series. Bath, The Pitman Press, 1972. (blz. Xi.)
- (3) De Jong, J.J. en Köster, E.P., The human operator in the computer-controlled refinery. In: Edwards, E. en Lees, F.P., The human operator in process control. Taylor & Francis Ltd., London, 1974. (blz. 196.)
- (4) Embrey, D., The human operator and system reliability, Applied Psychology Department, University of Aston, Birmingham, 1976. A.P. note 49. (blz. 4.)
- (5) Swain, A.D., Design techniques for improving human performance in production. Systems Reliability Service, U.K.A.E.A., Warrington, 1972. (blz. 36.)
- (6) Lees, F.P., Research on the process operator. In: Edwards, E. en Lees, F.P., The human operator in process control. Taylor & Francis Ltd., London, 1974. (blz. 391.)
- (7) Jordan, N., Allocation of functions between man and machines in automated systems. In: Davis, L.E. en Taylor, J.C., Design of jobs, Penguin Books Ltd., Middlesex, England, 1972. (blz. 92.)
- (8) Rijnsdorp, J.E., Man-Machine communication in computerised chemical plants. Paper presented on the symposium "Use of process computers for the operation of production plants in the fields of chemical, petroleum, paper and process industry". European Federation of Chemical Engineering, Firenze, 1976. (blz. 25.)
- (9) Kragt, H., De operator in een chemische procesindustrie als element van het mens-machinesysteem. Afstudeerverslag van de afdelingen der Elektrotechniek en Bedrijfskunde, Technische Hogeschool Eindhoven, 1971. (blz. 11.)

- (10) Lees, F.P. en Sayers, B., The behaviour of process operators under emergency conditions. Paper presented on the International Symposium "Monitoring Behavior and Supervisory Control", Berchtesgaden, 1976. (*blz. 257 e.v.*)
- (11a) Meister, D., Application of human reliability to the production process. Paper presented on the Symposium "Reliability of human performance in work". USAF Aerospace medical research laboratory, report AMRL-TR-67-88, may 1967. (*blz. 34.*)
- (11b) Kay, H., Accidents: Some Facts and Theories. In: Warr, P.B., Psychology at work. Penguin Books Ltd., Harmondsworth, England, 1971. (*blz. 133.*)
- (12) Chapanis, A., Research Techniques in Human Engineering. The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1969. (*blz. 77.*)
- (13) Swain, A.D., The human element in systems safety. The Business education & Training service, Camberley, Surrey, 1974. (*blz. 38.*)
- (14) Kelley, C.R., Manual and Automatic control John Wiley & Sons, Inc., New York, 1968. (*section one.*)
- (15) De Sitter, L.U., Een systeemtheoretisch paradigma van een sociotechnisch interactienetwerk: een verkenning op het gebied van de kwalitatieve systeemdynamica. Intern rapport Bedrijfskunde (dictaatnr. 1.126), Technische Hogeschool Eindhoven, 1973. (*blz. 34 e.v.*)
- (16) Swain, A.D., op.cit. (no. (5), *blz. 71*)
- (17) Lees, F.P., Man-machine system reliability. In: Edwards, E en Lees, F.P., Man & Computer in process control. The institution of chemical engineers, London, 1973 (*blz. 87.*)
- (18) Fitts, P.M. en Jones, R.E., Psychological aspects of instrument display; analysis of 270 "pilot-error" experiences in reading and interpreting aircraft instruments. In: Sinaika, H.W., Selected papers on human factors in the design and use of control systems. Dover publications, Inc., New York, 1961.

- (19) Shannon, R.H. en Waag, W.L., Human factors approach to aircraft accident analysis. In: Corkindale, K.G.G., Behavioural aspects of aircraft accidents. AGARD Conference Proceedings No. 132, September 1973.
- (20) Flanagan, J.C., The critical incident technique. Psychological Bulletin, 1954, 51, 327-358.
- (21) De Greene, K.B., Systems Psychology. McGraw-Hill Book Company, New York, 1970. (*blz. 133.*)
- (22) McCormick, E.J. en Tiffin, J., Industrial Psychology. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1974. (*blz. 492.*)
- (23) Swain, A.D., op cit. (no. (5), *blz. 17.*)
- (24) McCormick, E.J. en Tiffin, J., op.cit. (no. (22), *blz. 519.*)
- (25) Froggatt, P., en Smiley, J.A., The concept of accident proneness: A review, British Journal of Industrial Medicine, vol. 21, pp. 1-12, 1964.
- (26) McCormick, E.J. en Tiffin, J., op.cit. (no. (22), *blz. 514.*)
- (27) Singleton, W.T., Man-Machine Systems, Cox & Wyman Ltd., London, 1974. (*blz. 80 e.v.*)
- (28) Kidd, J.S., Human Tasks and Equipment Design. In: Gagné, R.M., Psychological Principles of System Development. Holt, Rinehart & Winston, 1962. (*blz. 182.*)
- (29) Daniëls, M.J.M. en Landeweerd, J.A., Syllabus Organisatiepsychologie I (dictaatnr. 1.159). Afdeling der Bedrijfskunde, Technische Hogeschool Eindhoven, 1976. (*blz. 8 e.v.*)
- (30) Singleton, W.T., op.cit. (no. 27, *blz. 82 e.v.*)
- (31) Kay, H., op.cit. (no.11b, *blz. 128 e.v.*)
- (32) Chapanis, A., op.cit. (no. 12, *blz. 88.*)

- (33) Chapanis, A., op.cit. (no. 12, blz. 85.)
- (34) Meister, D., op.cit. (no. 11a, blz. 38.)
- (35) Daniëls, M.J.M., Syllabus "Het Interview" (dictaat nr. 1.124).
Afdeling der Bedrijfskunde, Technische Hogeschool Eindhoven, 1970.
- (36) Chapanis, A., op.cit. (no. 12, blz. 87.)
- (37) Kragt, H., Interview-resultaten Hydranonfabriek. N.V. Nederlandse
Staatsmijnen/D.S.M. Geleen, 1971.
- (38) Swain, A.D., op.cit. (no. (5), blz. 71 e.v.)
- (39) Annett, J. et.al., Task analysis. Her Majesty's stationary office,
London, 1971.
- (40) Salvendy, G. en Seymour, W.D., Prediction and Development of Industrial
Work Performance. Wiley and Sons, New York, 1973. (blz. 132.)
- (41) Swain, A.D., An error-cause removal program for industry. Human
Factors, 1973, (15(3), 207-221.
- (42) Lees, F.P., op.cit. (no. (17), blz. 95.)
- (43) Swain, A.D., op.cit. (no. (5), blz. 53 e.v.)
- (44) Foeken, H.J., Opzet Satisfactie-Onderzoek. Werkgroep Onderzoek Mens-
machinesystemen-rapport no. 10. Afdeling der Bedrijfskunde, Tech-
nische Hogeschool Eindhoven, mei, 1975.