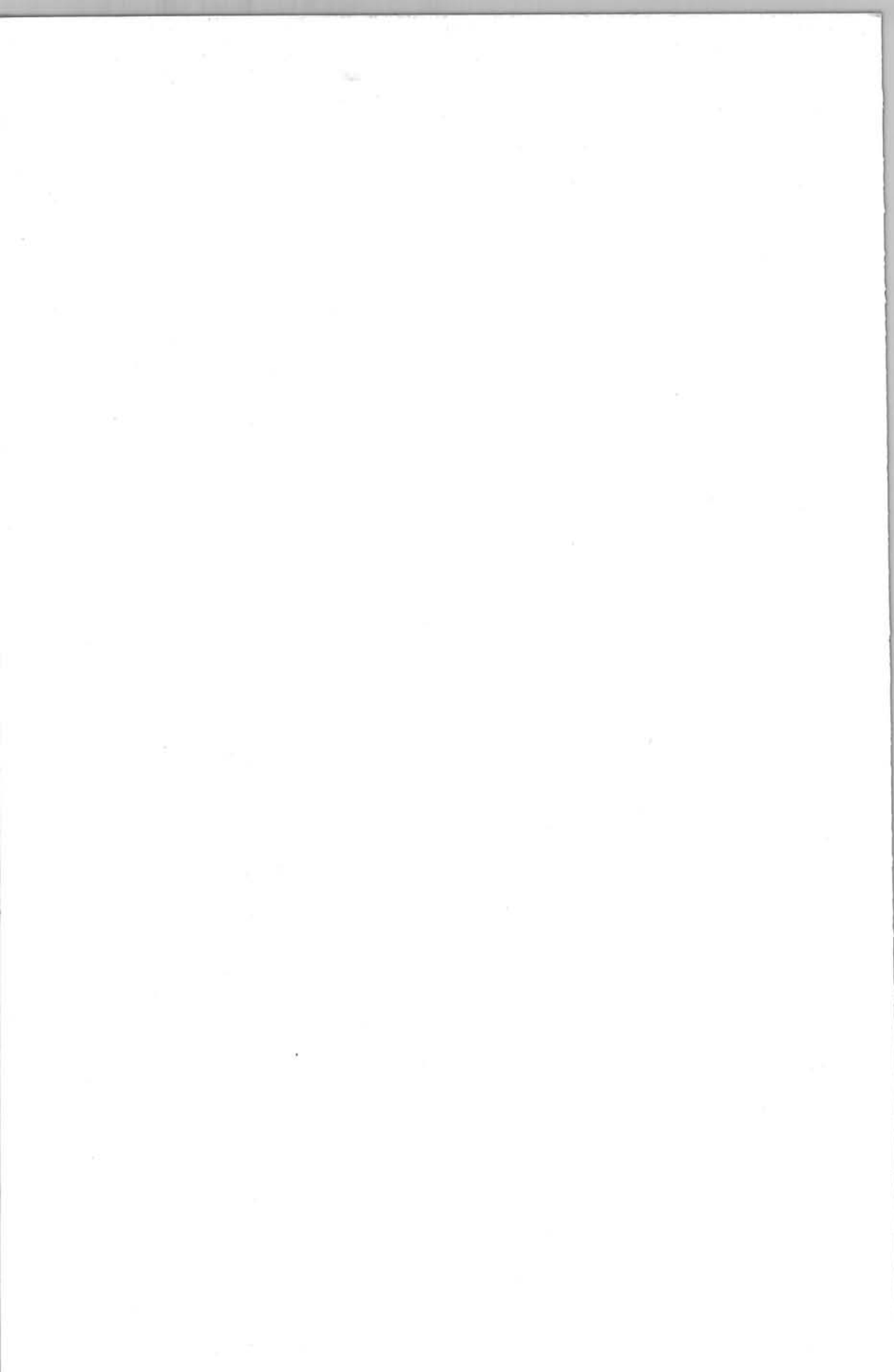


BEDRIJFSZEKERHEID EN ONDERHOUD IN ZIEKENHUIZEN



Delftse Universitaire Pers



huy 428

**Bedrijfszekerheid
en onderhoud in
ziekenhuizen**

Bibliotheek TU Delft



C 0003813788

2413
212
4

Bedrijfskeuze
en onderhand in
nieuwe tijden

Bedrijfszekerheid en onderhoud in ziekenhuizen

redactie:

R.P. van Wijk van Brievingh

J. van Dam

Delftse Universitaire Pers 1986

Uitgegeven en gedistribueerd door

Delftse Universitaire Pers
Stevinweg 1
2628 CN Delft
Telefoon (015) 783254



Deze uitgave kwam tot stand in samenwerking met de
Stichting Meducatie
Weezenhof 38-69
6535 HV Nijmegen
Telefoon (080) 445986

Cartoon omslag: Jan van Wessum, Amsterdam

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Bedrijfszekerheid

Bedrijfszekerheid en onderhoud in ziekenhuizen / red.:

R.P. van Wijk van Brievingh, J. van Dam. - Delft: Delftse
Universitaire Pers. - III.

Uitg. in samenw. met de Stichting Meducatie. - Met lit. opg.

ISBN 90-6275-260-8

SISO 613.44 UDC 658.58:616-7

Trefw.: ziekenhuisapparatuur ; onderhoud.

Copyright © 1986 by Delft University Press, Delft

All rights reserved.

No part of this book may be reproduced in any form, by
print, photoprint, microfilm or other means without written permission
from the publisher.

Inhoud

Voorwoord	XI
R.P. van Wijk van Brievingh en J. van Dam	
1. Garantie van de klinische functionaliteit	1
R.P. van Wijk van Brievingh	
<i>Hoofdprocessen in het ziekenhuis, Kwaliteitsbegrip, Basiscyclus van het medisch handelen, Klinische functionaliteit en garantie daarvan</i>	
2. Bedrijfszekerheid en onderhoud	9
J. van Dam	
<i>Bedrijfszekerheid, Overlevingskanscurve, Vergroting van de bedrijfszekerheid, De negatief exponentiële verdeling, Bedrijfszekerheidsmodellen, Afhankelijke fouten, Evaluatiemethodieken, Fault Tree Analysis, FMECA-methode, Onderhoud</i>	
3. Onderhoudsfilosofie en -organisatie	37
J.A.P. Hoogervorst	
<i>Betrouwbaarheidseisen, Faalpatronen en onderhoudsconcepten, Onderhoudsschema's, De organisatie van het onderhoudsbedrijf</i>	
4. Onderhoudsbewust ontwerpen als denktrant	63
A.L. van der Mooren	
<i>Constructieve richtlijnen, Denkmodellen, De 'tien' geboden, De ontwerpbeoordeling, Rekenprogramma 'mainsithe'</i>	
5. Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt	75
W. Hankmann	
<i>Werkschema Onderhoudsbewust Ontwerpen, Beoordelingsschalen, Constructieanalyse, Gedragsanalyse, Kostenanalyse</i>	

6. Veiligheid en onderhoud 95
 F. Koornneef
Begrippenkader, Management en veiligheidsbeleid, Dodelijk onderhoud, MORT: analytische hulpmiddelen, wat heb je eraan?
7. Kostenbeheersing en onderhoud in de intramurale gezondheidszorg 121
 C.B. Visinescu
Ontwikkeling onderhoudskosten ziekenhuizen, Gebouwen en installaties, Medische apparatuur en inventaris
8. Onderhoudsmanagement en organisatie in het ziekenhuis 135
 J. Roland van de Kamp
Algemeen begrippenkader, Soorten onderhoud, Onderhoudsconcepten, Historische ontwikkelingsfasen, Aandachtsvelden, Ziekenhuissituatie vs algemeen management TD/ID, Leiderschapsstijlen en status, Beeldvorming 'goede' manager TD/ID in een ziekenhuis
9. Onderhoudsbeheersing: doorlichtingsmethode? 147
 Th.H.W. Jansen
Onderhoudsbesturing, Doorlichtingsmethoden, Werkaanbodstudie, De korte doorlichting, Onderhoudverbetering
10. De praktijk van de onderhoudsbeheersing in een ziekenhuis 163
 H. Dassel
Het inventaris bestand, Planning onderhoudscapaciteit, Beschikbare onderhoudscapaciteit, Het financiële budget, De meerjarenbegroting, Conclusies
11. Geautomatiseerd instrumentatiebeleid 179
 R.G.M. Saat en C. van Veen
Opzet database, Kodering apparatuur, Gebruik van het systeem
12. Wel of geen 'All-in service-overeenkomst', een dilemma? 185
 J. van den Berg en H. Dassel
Service-overeenkomst, Checklist, Kwalificatie leverancier, Apparatuur, Tijdsduur, Werkzaamheden, Reparatie, Onderdelen, Software, Voorwaarden, Kosten

13. Quality Assurance in Diagnostic X-Ray Departments. General Aspects 191

H. van Ammers

Terminology, Quality, Assurance, General Aspects, Cost-benefit aspects, Technical aspects, Administrative aspects, Types of performance tests

Auteurs

Ir. H. van Ammers

*Philips International bv,
Medical Systems Division, Best*

J. van den Berg

*Hewlett-Packard bv,
Manager Medical Product Group, Amstelveen*

Prof.dr.ir. J. van Dam

*Hoogleraar Elektronica
Koninklijk Instituut voor de Marine, Den Helder*

Drs. ing. H. Dassel

*Hoofd Technische Zaken
Academisch Ziekenhuis, Universiteit van Amsterdam*

Ing. W. Hankmann

*Vakgroep Werktuigkundig Onderwerpen voor de Procestechieken
Afdeling der Werktuigbouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven*

Ir. J.A.P. Hoogervorst

*Engineering and Maintenance Division (SPL/TI)
Avionics and Accessories Department
KLM, Luchthaven Schiphol*

Ir. T.H.W. Janssen

Rijnconsult bv, Velp

Drs. J.R. van de Kamp

Rijnconsult bv, Velp

Ir. F. Koornneef

Vakgroep Veiligheidskunde

Onderafdeling der Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen

Technische Universiteit Delft

Prof.dr.ir. A.L. van der Mooren

Vakgroep Werktuigkundig Ontwerpen voor de Procestechieken

Afdeling der Werktuigbouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven

Drs. R.G.M. Saat

Hoofd Medisch-Fysische Dienst

Westfries Gasthuis, Hoorn

Ing. C. van Veen

Medisch-Fysische Dienst

Westfries Gasthuis, Hoorn

Drs. C.B. Visinescu

Afdeling Management en Bedrijfsvoering

Nationaal Ziekenhuis Instituut, Utrecht

Dr.ir. R.P. van Wijk van Brievingh

Docent Medische Technologie

Afdeling der Elektrotechniek, Technische Universiteit Delft

Voorwoord

R.P. van Wijk van Brievingh en J. van Dam

De beschikbaarheid van de technische hulpmiddelen in het ziekenhuis is voor de patient van groot, dikwijls vitaal, belang. Het ziekenhuisbedrijf moet kunnen garanderen, dat op het gewenste moment de hulpmiddelen (en het personeel) aanwezig en in bruikbare staat zijn. De kwaliteit van het klinisch handelen is hiervan direct afhankelijk. De ziekenhuisdirectie heeft tot taak, op strategisch niveau hiertoe maatregelen te treffen, waarvan een doeltreffend en doelmatig onderhoudsmanagement een der belangrijkste is.

Methoden ter vergroting van de bedrijfszekerheid en verbetering van het onderhoud (en dus van de beschikbaarheidsgraad) spelen sinds enige jaren een steeds grotere rol in "het" bedrijfsleven. In het ziekenhuisbedrijf bestaat over het algemeen nog te weinig kennis van deze methodieken. Het verkrijgen van een fundamenteel inzicht hierin en invoering hiervan in de praktijk is één van de vele taken van de hoofden van de technische en instrumentele diensten. Samenwerking met de leveranciers is daarbij essentieel.

Dit boek verzamelt kennis en inzichten uit velerlei disciplines, die tezamen een bijdrage tot het boven geschetste doel kunnen leveren. Het beoogt een ondersteuning te geven aan degenen, die in het ziekenhuis verantwoordelijk zijn voor het onderhoud van "de techniek". Zij kunnen deze zware taak echter slechts dan goed vervullen, indien zij op managementniveau voldoende infrastructuur verkrijgen aangeboden. Wellicht biedt dit geschrift ook materiaal om dit te bewerkstelligen. De literatuurverwijzingen maken verdere studie van deelonderwerpen mogelijk, terwijl de in grotere ziekenhuizen opgedane ervaringen tot voorbeeld kunnen dienen. Redactie en auteurs houden zich gaarne aanbevolen voor opmerkingen - met name uit de praktijk - die bij een eventuele volgende druk tot aanvulling of verbetering kunnen leiden.

1. Garantie van de klinische functionaliteit

R.P. van Wijk van Brievingh*

1. Inleiding

Het ziekenhuis is er voor de *patient*, die als consument een beroep doet op het gezondheidszorgsysteem. De klassieke medische doelstellingen zijn [Nobel, 1981]:

- voorkomen van ernstige(r) ziekte;
- bestrijding van pijn;
- uitstellen van overlijden indien zinvol.

De activiteiten van het *ziekenhuisbedrijf* hebben in dit kader ten doel:

- effectieve uitvoering van de voor onderzoek en/of behandeling van de patient noodzakelijke verrichtingen;
- met minimale middelen (efficiency);
- overeenkomstig de door de overheid/maatschappij vastgestelde richtlijnen.

In het ziekenhuis als bedrijf zijn op drie verschillende niveaus een viertal hoofdprocessen te onderkennen:

- het *onderzoek/behandelproces*: operationeel niveau, hierbij gaat het om de directe dienstverlening, gericht op de patient;
- het *indirecte dienstverleningsproces*: operationeel niveau, hierbij zijn activiteiten aan de orde, die het onderzoek/behandelproces ondersteunen. Het gaat daarbij hoofdzakelijk om het gebruik en de inzet van de bedrijfsmiddelen (materiaal, materieel, personeel, diensten van derden) op afdelingsniveau;
- het *bedrijfsadministratieproces*: tactisch niveau, de beheersmatige activiteiten ten behoeve van taken en middelen, de planning,

* Laboratorium voor Biomedische Elektrotechniek
Technische Universiteit Delft

- de beheersing en de verantwoordelijkheid op ziekenhuisniveau;
- het *beleidsproces*: strategisch niveau, hierbij gaat het om het formuleren, ten uitvoer brengen, bijstellen en evalueren van het ziekenhuisbeleid.

Deze *hoofdprocessen* kunnen weer onderscheiden worden naar *functie*, zoals:

- het klinisch handelen per specialisme;
- het verplegen in engere zin;
- het "hotelzorg" proces;
- het logistieke proces;
- het huishoudelijk proces;
- het sterilisatieproces;
- het onderhoudsproces;
- enzovoort.



Fig. 1. (Driessen, 1986)

Elk proces stelt zijn eigen *eisen* aan de staat waarin de erbij gebruikte hulpmiddelen moeten verkeren.

Op een congres van de Vereniging van Ziekenhuiselektronici is in 1984 de term "Essentiële Kwaliteiten" geïntroduceerd [VZE, 1984].

2. Kwaliteit

Kort gezegd is "*kwaliteit*" te definiëren als de mate van overeenstemming tussen doelstelling en resultaat. Het kwaliteitsbegrip in de gezondheidszorg heeft in de loop der tijden een interessante evolutie ondergaan [Reering, 1985], waarbij recent de *kosten* en het door de patient gelopen *risico* zijn inbegrepen. Wat betreft de kwaliteitszorg kan de gezondheidszorg zich spiegelen aan die in de industrie [Veen, 1985].

Kwaliteitszorg vereist beheersing van het betreffende proces [Heins-van der

Meulen, 1986]. Omdat het een totaal organisatiegebeuren betreft, is *kwaliteitsmanagement* nodig [Verzellenberg, 1985].

Het medisch handelen in het ziekenhuis geschiedt door leden van een *professie*, dat wil zeggen een beroepsgroep die autonoom het eigen werk controleert [Stolte, 1976]. Met een *beleidsplan* kan het management echter wel een sturende en voorwaarden scheppende rol vervullen, terwijl ook de regelgeving door de overheid beperkingen oplegt.

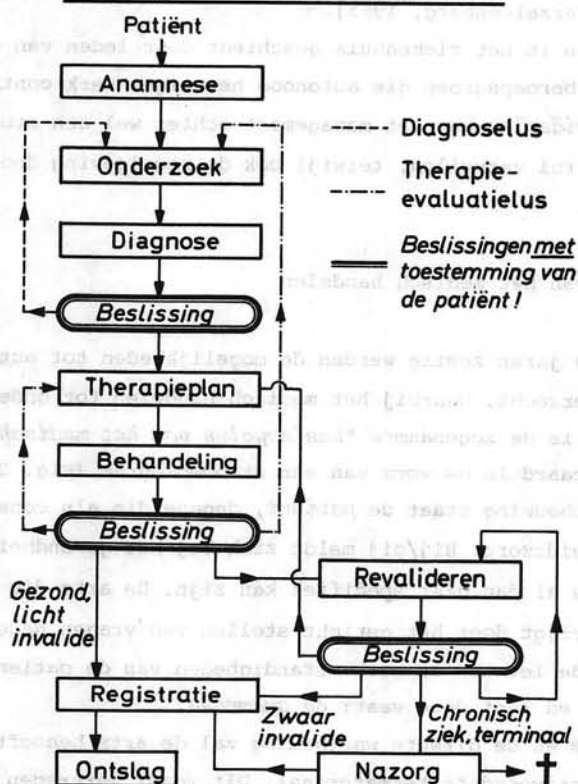
3. De basiscyclus van het medisch handelen

In het begin van de jaren zestig werden de mogelijkheden tot automatisering van de diagnostiek onderzocht, waarbij het medisch handelen tot onderwerp van analyse werd. Hieruit is de zogenaamde "*basiscyclus van het medisch handelen*" voortgekomen, uiteraard in de vorm van een stroomdiagram (Fig. 2).

Centraal in de beschouwing staat de *patient*, degene die als consument een beroep doet op de gezondheidszorg. Hij/zij meldt zich bij het gezondheidszorgsysteem met een *klacht*, die al dan niet specifiek kan zijn. De arts die de patient het eerst "ziet", verkrijgt door het gericht stellen van vragen nadere gegevens over de klacht en de levens- en werkomstandigheden van de patient, vroegere ziekten enzovoort, en legt deze vast: de *anamnese*.

Naast deze gegevens en de directe waarneming zal de arts behoefte kunnen hebben aan meer en geobjectiveerd feitenmateriaal. Dit wordt verkregen via het *onderzoek*, waarbij technologische hulpmiddelen van stethoscoop tot computertomograaf ter beschikking staan. Met behulp van direct en indirect aan de patient ontleende gegevens zal de arts in een gecompliceerd proces van afweging op al dan niet bewuste statistische gronden een aantal hypothesen over de aard van de ziekte overwegen, de *diagnose* [Vreeken, 1983]. Hierbij kunnen ter staving of verwerping van ingeschatte mogelijkheden meer gegevens vereist zijn: verder onderzoek is dan nodig. In de basiscyclus betekent dit een *iteratiefus*. Op grond van de meest waarschijnlijke ziektestelling zal vervolgens meestal een *behandelings-schema* (*therapieplan*) worden opgesteld. Bij de beslissing hiertoe - en ook bij die tot uitbreiding van het onderzoek - is toestemming van de patient vereist. De resultaten van de *behandeling* - waarbij medisch-technologisch apparaten gebruikt kunnen worden -, worden in een *therapie-evaluatiefus* beoordeeld. Daarbij kan worden besloten tot wijziging van het behandelingsschema, maar ook is het mogelijk dat de resultaten van de therapie twijfels oproepen aan de diagnose. Dan zal nader onderzoek en een *tweede diagnose* nodig kunnen zijn. Indien het van de therapie te verwachten resultaat is bereikt, en de toestand van de patient dit rechtvaardigt, volgt na *registratie* van de gang van zaken het door

Basiscyclus Medisch Handelen



de patient verhoopte *ontslag* uit het gezondheidszorgsysteem. Voor een deel van het patientenaanbod is nog een apart te onderscheiden vorm van therapie nodig: de *revalidatie*, die beoogt de patient in lichamelijk, geestelijk en sociaal opzicht zo volwaardig mogelijk aan de samenleving deel te doen nemen. Ook hier wordt de geboekte vooruitgang in een iteratiecyclus bewaakt.

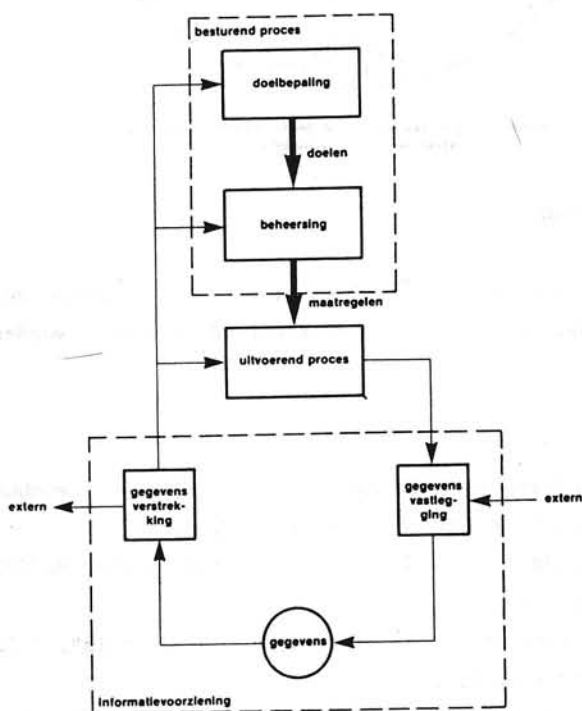
Het beschouwde stroomdiagram beschrijft het *medisch handelen* met betrekking tot de patient. Wat betreft de *apparatuur* die hierbij gebruikt wordt geeft het de globale medische *funktionaliteit* aan. De context waarin medisch-technologische apparaten worden toegepast is echter ruimer. Zo dient te funktionaliteit in de concrete gebruikssituatie gewaarborgd te zijn, de bijdrage tot het risico voor patient en bedienend personeel acceptabel, de inpassing in het totale systeem optimaal, de betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid aan de gestelde eisen te voldoen.

4. Garantie van de klinische functionaliteit

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn, dat dit vanuit het medisch gezichtspunt reeds een moeilijk probleem is. In ieder geval dienen de *technische hulpmiddelen* van het ziekenhuis als de installaties en de instrumentatie evenals de *organisatie* het de arts mogelijk te maken de door hem beoogde ingrepen te realiseren. Het door de patient tevoren geaccepteerde "calculated risk" mag bij de daadwerkelijke uitvoering van de ingreep niet overschreden worden door tekortkomingen van de technische en organisatorische componenten van het ziekenhuissysteem. De medische hulpmiddelen dienen aan *kwaliteitsbeheer* onderworpen te zijn [Gezondheidsraad, 1985], welk beheer een integraal deel van het ziekenhuismanagement uitmaakt.

Hiertoe dient het ziekenhuis over een adequate *informatievoorziening* te beschikken [van Gijn, 1984], waartoe het ZIM (ziekenhuisinformatiemodel) een mogelijkheid biedt.

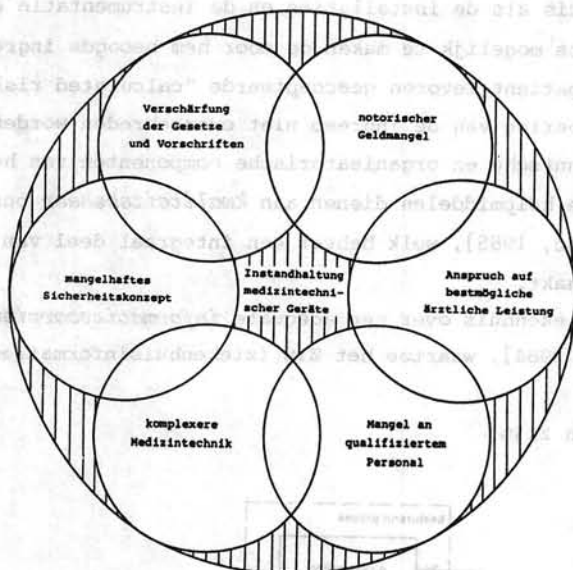
De elementen hiervan zijn:



De elementen van het ziekenhuisinformatiemodel.

Fig. 3 (van Gijn, 1984)

Via de informatievoorziening kan dan in principe ook het proces "onderhoud" beheerst worden. Daarbij spelen echter vele factoren een rol, die in [Hartung, 1980] als remmend zijn aangegeven:



Instandhaltung medizintechnischer Geräte im Spannungsfeld divergierender Determinanten

Fig. 4 (Hartung, 1980)

De daarbij aan de *hulpmiddelen* te stellen eisen moeten vanwege de snelle ontwikkeling van de medische technologie voortdurend aangepast worden [IEEE, 1984].

Literatuur

- [1] Driessen, J. "Informatie- en automatiseringsbeleid St. Radboudziekenhuis", *Management in Gezondheidszorg*, 1986, vol. 2, nr. 3.
- [2] Gezondheidsraad, *Advies no. 11 inzake kwaliteitsbeheer medische hulpmiddelen*, Den Haag, 1985.
- [3] Gijn, M. van, "Informatievoorziening in het ziekenhuis", *N.Z.I.-Informatie-reeks*, nr. 12, Lochem, 1984.
- [4] Hartung, C. *Risiken und Instandhaltung medizintechnischer Geräte*, In: Hartung, C. und O. Anna (red), *Instandhaltung medizintechnischer Geräte*, Fortbildungsseminar Krankenhausstechnik, Medizinische Hochschule Hannover, 1980.

- [5] Heins-van der Meulen, L.E., "Kwaliteit en organisatie in ziekenhuis en instrumentele dienst" *Klinische Fysica*, 1986/1.
- [6] Nobel, J., "Perspectives on Technology-related Health Hazards in Hospitals In: *Proceedings First International Congress for Safety, Health and Well-being at Hospitals*, I.H.P., Den Haag, 1981.
- [7] Reering, E., "Kwaliteit van zorgverlening: voor wie een zorg?", In: Ament, A. et al. (red), *Kosten en kwaliteit in de intramurale gezondheidszorg*, Lochem, 1985.
- [8] Stolte, J.B., *Zieken en hun verzorgers. De mensen in de gezondheidszorg*, Groningen, 1976.
- [9] Themanummer "Standards", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 3/1, 1984.
- [10] Veen, B. "Kwaliteit en kosten. Ontwikkeling in de industriële kwaliteitszorg, van belang voor de gezondheidszorg", In: Ament, A. et al. (red), *Kosten en kwaliteit in de intramurale gezondheidszorg*, Lochem, 1985.
- [11] Vereniging van Ziekenhuiselektronici, *Abstracts Congress on Medical Instrumentation: Essential Qualities*, V.Z.E., Utrecht, 1984.
- [12] Verzellenberg, L.J.N., "Organisatie van de kwaliteitszorg", In: Ament, A. et al. (red) *Kosten en kwaliteit in de intramurale gezondheidszorg*, Lochem, 1985.
- [13] Vreeken, J. "Klinisch denken: kan het onderwezen worden?", *Ned. Tijdschr. Geneesk.* 1983, 127: 15, pp. 646-649.
- [14] Wijk van Brievingh, R.P. van, "De uitdaging voor de ontwerper: medisch-technologische apparatuur", In: Wijk van Brievingh, R.P. van en F.G. Peuscher, (red), *Methodisch ontwerpen van medisch-technologische apparatuur*, Delft, 1984.

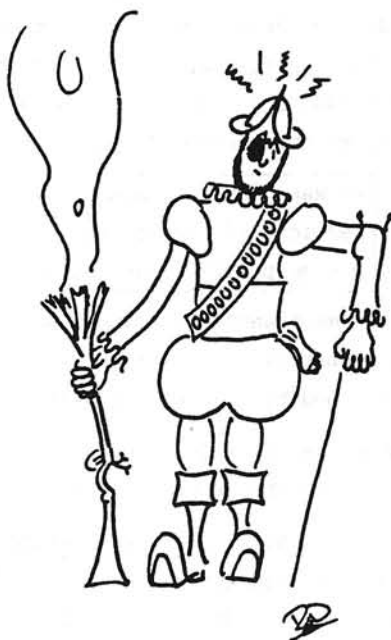
2. Bedrijfszekerheid en onderhoud

J. van Dam*

1. Inleiding. Sinds onheugelijke tijden is de mensheid geconfronteerd met het falen van haar (technische) producten. En dat is tot op de dag van vandaag nog zo. Een ieder onzer weet dat de apparatuur, waarmee wij in ons dagelijks bestaan zijn ingesneeuwd, vroeg of laat stuk gaat. Dat wil zeggen, dat het apparaat of systeem niet meer de functie verricht, waartoe het is geproduceerd.

Het musketgeweer, dat het na enige schoten tijdens de 80-jarige oorlog liet afweten; de auto, die des morgens niet starten wil; de laatste punaise, die krom blijkt te zijn en het alarmlampje, dat niet brandt bij een dreigende calamiteit. Het zijn slechts enige van de ontelbare storingsgevallen, die we als zodanig in de praktijk herkennen.

Mede vanwege dit droeve faalgegeven - met alle nadelige gevolgen daarvan, zoals (a) stagnatie in de bedrijfsvoering, (b) onveiligheid voor mens en milieu en (c) oplopende onderhoudskosten - is men een jaar of vijfentwintig geleden intensief en systematisch gaan speuren naar mogelijke faaloorzaken en is men zich bovendien gaan bezinnen langs welke weg en op welke wijze de *uitval* en het *voortijdig verval* van onze technische verworvenheden optimaal zouden kunnen worden bestreden.



* Koninklijk Instituut voor de Marine, Den Helder

Deze activiteiten spelen zich af op een gebied, dat met Bedrijfszekerheidstechniek (Reliability Engineering) wordt aangeduid. Dit (zich nog steeds sterk uitbreidend) terrein is van lieverlee een aantal wiskundige en organisatorische methoden gaan omvatten, die de waardebepaling (en verbetering) van

de Bedrijfszekerheid
de Onderhoudbaarheid
de Veiligheid

van een technisch systeem beogen.

We zullen in deze bijdrage de bovengenoemde aspecten in het kort nader onder ogen zien.

2. Bedrijfszekerheid. De bedrijfszekerheid $R(t)$ van een technisch systeem (ook wel als de *overlevingskans* aangeduid) speelt uiteraard een grote rol op het gebied van de Reliability Engineering. Huiselijk geformuleerd bedoelen we daarmee de kans aan te geven, dat een eenheid (systeem, subsysteem, module, component, onderdeel, etc.) "het nog doet", d.w.z. dat op dat tijdstip nog de functie wordt verricht, die van de unit wordt verwacht. Scherper omschreven, moeten we onder *bedrijfszekerheid* verstaan:

de kans, dat een systeem een gespecificeerde functie (of functies) verricht gedurende een bepaald tijdsinterval, op voorwaarde dat aan gespecificeerde omgevingscondities is voldaan.

In de Amerikaanse literatuur wordt de *reliability* gedefinieerd als: the probability of performing without failure a specified function under given conditions for a specified period of time.

Vanwege de centrale betekenis van deze grootheid lijkt het ons nuttig de omrande omschrijving nog even nader toe te lichten:

- er is sprake van een *tijdsinterval*. Als levensduur variabele is blijkbaar de tijd gekozen, zodat met bijv. $R(100\text{ h}) = .90$ wordt aangegeven, dat de kans, dat het desbetreffende systeem na 100 h nog naar behoren functioneert, 90% bedraagt. Er bestaan overigens nog andere mogelijkheden om de overlevingskans te quantificeren, zoals de kans, dat een relais nog goed werkt na 100.000 *omschakelingen* of dat een autoband nog niet versleten is na 40.000 *kilometer*.
- een *systeem* moet in dit verband opgevat worden als een samenhangende en

doelgerichte verzameling van elementen, waartussen relaties bestaan, op elk niveau van complexiteit. Het ligt voor de hand dat bij het begrip systeem vaak slechts gedacht wordt aan een technisch systeem, de *hardware* dus, opgebouwd uit componenten, subsystemen, modules, etc.

Maar ook de *software* en de mens zelf - de *manware* - speelt een duidelijke rol in het gehele operationele gebeuren en moeten als zodanig binnen de systeemgrens worden geplaatst. De ervaring leert, dat (a) door het (al of niet verkeerd) gebruik en (b) door de wijze van bediening, fabricage en onderhoud de mens een enorme invloed heeft op de kans, dat een systeem gedurende een bepaalde periode storingsvrij functioneert.

De bedrijfszekerheid van onze auto bijvoorbeeld wordt - naast uiteraard de technische kwaliteiten van de wagen - sterk bepaald door menselijke factoren, zoals rijstijl, de zorgvuldigheid van het garagegebeuren en de kwaliteitsbeheersing en -borging tijdens de fabricage van het voertuig.

- in bovenstaande definitie van bedrijfszekerheid moet blijkbaar de te verrichten functie (of functies) gespecificeerd zijn. Dat wil zeggen, dat de systeemprestaties scherp omschreven dienen te zijn, teneinde tot de falende toestand te kunnen besluiten. Bij een plotseling optredende storing (zoals een lekke band) is het functieverlies wel duidelijk, maar bij een geleidelijke achteruitgang van de conditie is dat niet altijd het geval. Van een auto bijvoorbeeld wordt een vervoersfunctie verwacht. Is deze nog mogelijk bij een kapotte voorruit of bij een op drie cylinders lopende motor? Moet een fiets zonder zadel of zonder verlichting tijdens de nachtelijke uren als een falend systeem worden beschouwd? Hoe dan ook, het is duidelijk dat voor een zinvolle berekening van de overlevingskansen van een systeem de grenzen van het nog juist functioneren eenduidig bepaald moeten zijn.
- hetzelfde geldt in wezen voor de *omgevingscondities*, die in de omschrijving van bedrijfszekerheid zijn genoemd. Als een systeem in een *verkeerde* (want niet afgesproken) omgeving functioneert, kan dit versneld uitvallen of verouderen. Hierbij kan gedacht worden aan een te hete of te natte omgeving, een te hoge voedingsspanning, te grote ingangssignalen of een te grote belasting. Maar ook een verkeerd gebruik (*misuse*) en onjuist onderhoud vallen buiten het vastgestelde omgevingsgebied en zijn daarom in de bedrijfszekerheidsdefinitie uitgesloten.

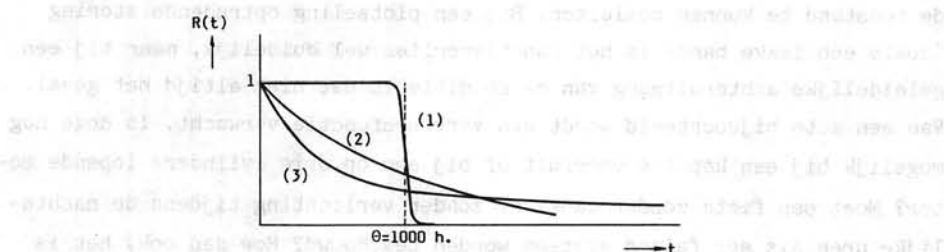
Tenslotte moge nog worden opgemerkt dat - met name in het contractuele verkeer tussen fabrikant en afnemer - het van bijzonder groot belang is alle bovengenoemde zaken precies te omschrijven in verband met eventuele latere

juridische en financiële consequenties (wettelijke aansprakelijkheid voor en garantie van producten, etc.).

3. Overlevingskanscurve. Bij het grafisch weergeven van $R(t)$ als functie van de tijd dienen we te bedenken, dat - naast onderlinge verschillen - de overlevingskans krommen in hun verloop in alle gevallen aan de volgende drie condities moeten voldoen:

- elke kromme begint bij de eenheid, d.w.z. het desbetreffende systeem wordt ten tijde $t = 0$ als juist functionerend verondersteld.
- elke kromme is een monotoon dalende functie d.w.z. de kans op overleven wordt steeds kleiner bij het voortschrijden van de tijd (er wordt geen reparatiemogelijkheid verondersteld).
- elke kromme nadert voor $t \rightarrow \infty$ tot nul. Met dit gegeven wordt tot uitdrukking gebracht, dat vroeg of laat elk technisch voortbrengsel het laat afweten.

Hieronder zijn enige mogelijke overlevingskanscurven weergegeven:



De theorie leert ons, dat de gemiddelde levensduur $\theta = \int_0^{\infty} R(t) dt$, d.w.z. gelijk is aan het oppervlak onder $R(t)$ -curve. We veronderstellen bij de drie getekende gevallen de oppervlakken onder de curven aan elkaar gelijk en wel $\theta = 1000$ h.

Curve (1) heeft betrekking op het zogenaamde (nagenoeg) constante levensduurgeval, dat we bijvoorbeeld bij een gloeilamp van 1000 branduren tegenkomen. Het verloop van deze kromme doet ons weten, dat de uitvalskans van een lamp tussen (zeg) 950 en 1050 h gelijk aan 1 is, een klein spreidingsgebied dus om de 1000 h heen.

Bij curve (2) hebben we te doen met eenheden, die in hun levensduur de neg. exponentiële verdeling volgen, in formule voorgesteld door $R(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-t/1000)$. Een lichte observatie van het verloop maakt een aanzienlijk grotere spreiding duidelijk: enerzijds een grotere uitvalskans nog lang vóór de gemiddelde levensduur θ is bereikt en anderzijds

nog een bedrijfszekerheid van $R(1050) = \exp(-1.05) \cong 35\%$ voor $t = 1050$ h. Dit verschijnsel, nl. een grotere spreiding met behoud van gemiddelde levensduur is - gezien het verloop - nog sterker bij curve (3) aanwezig. Vanuit een oogpunt van onderhoud is de spreiding van de levensduurverdeling een zeer interessant gegeven. Verderop zal de *preventieve* onderhoudsvorm ter sprake worden gebracht, waarbij een nog redelijk werkend onderdeel (module) door een nieuw exemplaar wordt vervangen (*repair by replacement*). Het bedoelen van deze handeling is de kans op uitval hiervan in de daaropvolgende bedrijfsperiode te verkleinen. Het inzicht in het verlies aan potentiële levensduur (we halen er dan toch maar een nog functionerend onderdeel uit!) en de juiste keuze van het vervangingsmoment vormen de basis van deze onderhoudsstrategie.

Zo kan bij de verlichting van een gebouw een *groepsvervanging* van alle lampen (curve 1) na 900 branduren worden overwogen. Voordeel hierbij is, (a) dat er continue lichtverzorging is, (b) dat de onderhoudsinspanning minimaal zal zijn en (c) dat in de periode tot aan 900 h geen bedrijfscontrole tussentijds gepleegd behoeft te worden.

Het effect van een dergelijke preventieve substitutie wordt minder naarmate de spreiding der levensduren groter wordt. Het storingsmoment wordt steeds minder voorspelbaar. Een eventuele vervanging zal derhalve eerder moeten plaatsvinden, met een steeds groter wordend verlies aan potentiële levensduur, omdat het vervangen exemplaar mogelijk nog lang had kunnen functioneren. Er komt dan ook van lieverlee een situatie, dat de spreiding zo groot geworden is, dat overgegaan moet worden op *correctief* onderhoud, d.w.z. dat pas wordt gereageerd, *nadat* de storing is opgetreden. *En deze kritische grens blijkt te liggen bij curve (2): de neg. exponentiële levensduurverdeling.* Zie 5.

4. Vergroting van de bedrijfszekerheid. Het blijkt, dat in de afgelopen jaren zowel bij de leverancier als bij de afnemer het inzicht begint door te breken, dat en de Bedrijfszekerheid en de Onderhoudbaarheid en de Veiligheid als systeemeigenschappen moeten worden opgevat en dat deze BOV- aspecten als *ontwerpdoelstellingen* moeten worden beschouwd. Hieruit kan worden verklaard, dat afgeleide eisen dienaangaande (zoals minimumwaarde van de MTBF, gemiddelde reparatieduur, periode naleveringsgarantie, etc.) steeds meer *van te voren* door klant en fabrikant worden overeengekomen en (contractueel) worden vastgelegd.

In vroeger dagen was van een dergelijke overeenkomst op dat punt nauwelijks of geen sprake. De ontwikkelde apparatuur werd - bijvoorbeeld na overnamemetingen op een proefveld - aan de klant overgedragen, veelal met garantie tot aan de poort.

Als de bedrijfservaring met de apparatuur daartoe aanleiding gaf (bijvoorbeeld door gebleken onveiligheid of een te hoge storingsfrequentie), werd alsnog - dus pas in de bedrijfsfase - aan de BOV-aspecten aandacht besteed. De fabrikant was dan verplicht allerlei correctieve acties te ondernemen bij reeds geleverde en geïnstalleerde systemen, zoals het vervangen van zwakke componenten of snel falende printjes of het terugroepen van auto's naar de fabriek, vanwege de noodzaak het remcircuit te verbeteren.

Soms bleef de klant slechts de mogelijkheid over een extra equipment als reserve (*back-up system*) aan te schaffen (redundantie op systeemniveau dus) om aan de operationele eisen te blijven voldoen, na tegenvallende bedrijfsprestaties van reeds eerder aangekochte apparatuur. Of anders ging de reserve wel ten gronde door *kannibalisatie*, bij logistieke moeilijkheden. Het behoeft geen betoog, dat deze (te) late correcties veel kosten met zich meebrachten en nog brengen, indien de bovengenoemde operationele eigenschappen niet reeds in een vroegtijdig stadium van de ontwikkeling worden herkend.

We zullen hieronder - in een willekeurige volgorde - enige maatregelen opsommen, die door een ontwerper dienen te worden overwogen, om als zodanig in de fase van de systeemconceptie te worden geïntroduceerd:

- het toepassen van *derating* (d.i. onderbelasting). Hierbij wordt het belastingsniveau van de componenten verlaagd of worden "zwaardere" onderdelen gekozen.

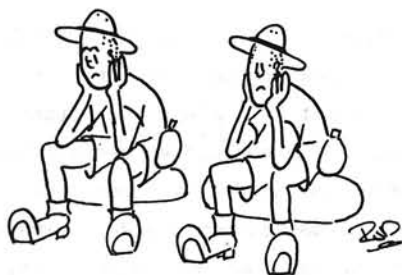
- het toepassen van *ingebouwde redundantie*. Het inbouwen van overtaligheid aan subsystemen is met name op elektronisch gebied mogelijk geworden door de microminiaturisatie, waarbij een steeds groter aantal (reserve) bouwstenen in een nog aanvaardbaar volume (vaak in de vorm van IC's) kunnen worden ondergebracht.

Een computer wordt drie- of vijfvoudig uitgevoerd, met majoriteitsprincipe: de output van een falend computersysteem wordt weggestemd door die van de resterende systemen.

Speciale aandacht moet bij een parallelschakeling worden geschonken aan het vermijden van afhankelijke fouten;

zo doet uitval van een gemeenschappelijke voedingsspanning bijvoorbeeld alle computersystemen tegelijkertijd falen.

- het verschaffen van een goede *toegankelijkheid* (accessability) tot de verschillende subsystemen van een complex systeem. Het is duidelijk, dat de systeembeschikbaarheid - vanwege kortere reparatietijden - door een goede bereikbaarheid en dus uitwisselbaarheid van componenten ten zeerste is gediend.
- het (ook tijdens de ontwikkeling) *testen* van producten op bedrijfszekerheid.
- het introduceren van een *inbrandperiode* teneinde de kinderziekten (early failures) op te sporen.
- het opstellen van een goed bruikbaar *onderhoudsconcept* en van een *reserverdelenlijst* voor de totale gebruiksduur in verband met de beperkte periode, waarin - bij dreigende tekorten - door de fabrikant nog *nalevering* van spares kan worden gegarandeerd.



BANDEN GENOEG, MAAR WIE DENKT
ER NU VAN EEN KRIK ?!

5. De negatief exponentiële verdeling. In de vorige paragraaf is het duidelijk geworden, dat het op vele manieren voor een overlevingskanscurve mogelijk is om - wat het verloop betreft - aan de drie (aldaar genoemde) voorwaarden te voldoen, nl. starten bij 1, monotoon dalen en voor $t \rightarrow \infty$ tenderen naar 0.

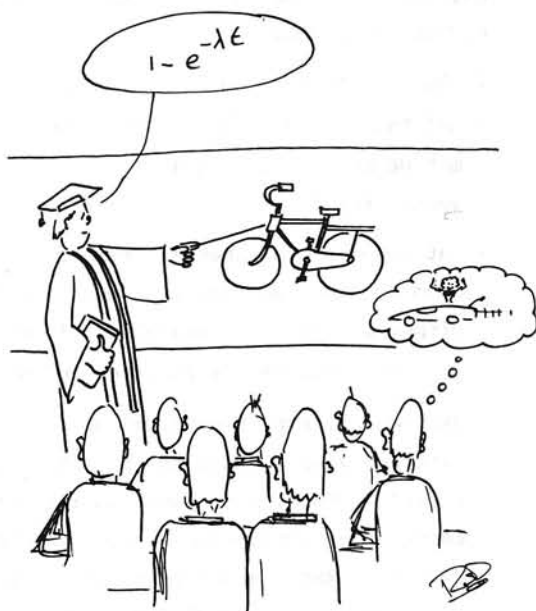
Het zal dan ook niet verbazen, dat in de bedrijfszekerheidstheorie vele levensduurverdelingen zijn geformuleerd, een ieder met zijn karakteristieke parameters, zoals de ligging van het gemiddelde, de grootte van de spreiding, etc. Voorbeelden hiervan zijn: de bètaverdeling, de normale verdeling, de lognormale verdeling, de Weibull-verdeling, de neg. exponentiële verdeling, de Rayleigh-verdeling en de extreme-waardeverdeling.

Via het faalpatroon (uit testing of bedrijf verkregen) kan dan de levensduurverdeling door één van bovengenoemde distributies worden benaderd (*curve fitting*) en kan mogelijk ook nog het (globale) verloop van de *storingsgraad* worden afgeleid. In de paragraaf over onderhoud zal blijken, dat deze grootheid een belangrijke rol speelt bij de vaststelling van het onderhoudsconcept.

Van de bovengenoemde distributies is het de neg. exp. verdeling, die het meeste wordt toegepast. Deze voorkeur is mede toe te schrijven aan de mogelijkheid om vrij eenvoudige berekeningen uit te voeren bij bedrijfszekerheidsmodellen, hetgeen één van de doelstellingen van de Reliability Engineering is. De toegankelijkheid voor dit soort berekeningen blijkt - wiskundig gezien - bij andere distributies veel minder te zijn. Vandaar deze keuze.

Vanwege het wijd verspreide toepassingsgebied maken we hieronder nog even nader kennis met het karakter van deze verdeling. Kenmerkend is, dat de *storingsgraad* (failure rate, faalt tempo) constant is, d.w.z. niet in de tijd verandert. Reeds in de eenvoudige bedrijfszekerheidsliteratuur blijkt dan ook, dat er sprake is van de λ van een onderdeel of subsysteem. In de theorie wordt afgeleid, dat de gemiddelde levensduur θ te berekenen is met $\theta = 1/\lambda$. Indien dus van een component gegeven is, dat $\lambda = 10^{-6}$ f/h, dan wil daarmee gezegd zijn, dat er gemiddeld 1 fout (failure) optreedt in de 10^6 h of, bij 10^6 componenten, gemiddeld 1 uitval per uur en dat θ gelijk aan 10^6 h is.

De *physische betekenis* van een constante failure rate is, dat het optreden van de storingen volkomen willekeurig (*at random*) zijn. De uitvalskans in een (korte) periode ten tijde t hangt daarbij niet af van het arbeidsverleden van het desbetreffende systeem, dat - mits ten tijde t nog werkend - te allen tijde als "as good as new" wordt bekeken. Het verkrijgen van een lekke band is hiervan een $p(1)$ akkend voorbeeld, mits de banden nog profiel vertonen, anders is het slijtage.



De kans op een lekke band gedurende 100 km, vanaf een "leeftijd" van 6000 km van een autoband wordt bij de neg. exp. verdeling even groot geacht als de eerste 100 km (dus vanaf nieuw). Het heeft derhalve geen enkele zin van te voren een nieuwe band te monteren met het doel de kans op uitval te verkleinen. Door middel van *preventief* onderhoud kan men zich blijkbaar niet tegen dit soort *random failures* indekken.

Overigens dient men voorzichtig te zijn bij het operationeel interpreteren van de gemiddelde levensduur θ , indien we ten aanzien van het faalgedrag van een systeem van de neg. exp. verdeling uitgaan.

Indien bijvoorbeeld een fabrikant van een apparaat een $\theta = 240$ h garandeert, dan kan de klant ervan uitgaan, dat - na in bedrijfstelling - de eerste storing *gemiddeld* na tien etmalen verwacht mag worden. Bij een (redelijke) eis van een maximale uitvalskans van 1% na een periode T volgt echter uit $R(T) = \exp. [-T/240] = .99$ een $T \approx 2.4$ h, m.a.w. bij de genoemde operationele eis van 1% storingskans moet het desbetreffende systeem reeds na ruim twee uur op een juiste werking worden gecontroleerd.

Een saillante vraag in dit verband is uiteraard, in hoeverre uit de praktijk blijkt, of de aanname van een constante storingsgraad inderdaad gewettigd is.

Het laat zich denken dat reeds veel inspanning gegeven is om een antwoord hierop te vinden.

In het algemeen kan worden gesteld,

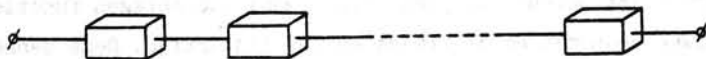
- dat halfgeleiderschakelingen een faalpatroon laten zien, dat vrij goed met de neg. exp. distributie te beschrijven is, mits gevrijwaard van vocht, trilling en overspanning.
- dat complexe systemen met een grote variëteit aan componenten en subsystemen, een ieder met zijn eigen storingsgraad, leeftijd en vervangingsritme, waardoor een middelingseffect ontstaat, een (nagenoeg) constant faaltempo blijken te bezitten, mits geen redundantie aanwezig is.
- dat de neg. exp. verdeling moet worden aangenomen, als er te weinig storingsgegevens voorhanden zijn of indien de berekeningen anders te ingewikkeld worden. Men neemt dan met deze distributie genoegen als een eerste orde benadering van een *tijdsafhankelijke* storingsgraad.

Bovendien kan een bedrijfszekerheidsmodel, dat zich een (te) grove benadering van de werkelijkheid vormt, zeer nuttig zijn bij een zogenaamde *gevoeligheidsanalyse*. Hierbij wordt dan nagegaan, in hoeverre de uitkomsten van de berekeningen afhankelijk zijn van variatie in de waarden van de invoerparameters.

6. Bedrijfszekerheidsmodellen. Om enig inzicht te verkrijgen in de overlevingskans van een complex systeem wordt soms gebruik gemaakt van een bedrijfszekerheidsmodel. Daaronder wordt verstaan een blokschematische opsplitsing van het desbetreffende systeem in eenheden (modulen, subsystemen, componenten, onderdelen, etc.), waarbij met name de *serie*- en de *parallel*-structuur worden toegepast. M.a.w. het gehele systeem wordt bedrijfszekerheidsmatig gedeclineerd en voorgesteld met behulp van een aantal van deze configuraties. Indien van elk samenstellend blok de overlevingskans voor een bepaalde bedrijfsperiode wordt aangegeven, kan daaruit de bedrijfszekerheid van het complexe systeem voor die periode worden benaderd. Een dergelijke analyse laat de mogelijkheid open om de kwetsbare en kritieke onderdelen te inventariseren en - waar nodig - verbeteringen of redundantie aan te brengen.

We zullen op de genoemde grondfiguraties nog even nader ingaan.

Bij de seriestructuur (of seriesysteem) worden de samenstellende eenheden in een kettingconfiguratie achter elkaar geschakeld. Schematisch aldus voorgesteld.



Kenmerkend voor een serieschakeling is, dat uitval van één schakel nodig en voldoende is voor het falen van de gehele keten.

Overigens moet zo'n seriesysteem bedrijfszekerheidshalve ruimer worden opgevat dan bijvoorbeeld de serie gekleurde lampjes, die wij aan het einde van het jaar in een kerstboom plegen te hangen of dan een aantal galvanisch verbonden elektrische weerstandjes, die aan elkaar zijn gesoldeerd. De automobilist weet dat hij stoppen moet, als één van de banden lek raakt, ondanks het bezit van nog drie goede exemplaren, die dan tijdelijk useles geworden zijn. Er mag derhalve worden gesteld, dat de vier (actieve) banden van onze (overigens goed sporende) personenauto als een serieschakeling moet worden beschouwd. Er moet trouwens óók niet verder gereden worden in het geval van een losgeraakt stuurwiel. Op deze wijze blijkt de wagen één grote serieschakeling te vertegenwoordigen van samenstellende delen, wier falen ieder voor zich belemmerend is voor het functioneren van het voertuig.

Indien we uitgaan van *onafhankelijke uitvalskansen*, dan geldt voor de serieschakeling de volgende productregel:

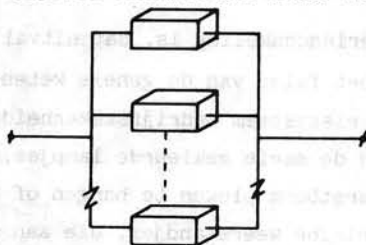
De bedrijfszekerheid van een seriesysteem wordt verkregen door de afzonderlijke bedrijfszekerheden van de samenstellende delen met elkaar te vermenigvuldigen.

In de praktijk omvat de serieschakeling overigens vaak meer dan het technische systeem (de hardware) alleen. Ook de software, de procedures, de omstandigheden, de bediening en de mate, waarin de vereiste vakkennis en ervaring aanwezig is, spelen een operationeel noodzakelijke rol.

Een goed uitgevoerde landing van een vliegtuig hangt niet alleen af van de juiste toestand van het landingsgestel, maar tevens van de weersomstandigheden, van de landingsprocedures, van de fysieke en psychische toestand van de piloot, van de motivatie en ervaring van het personeel op de verkeerstoren, van de verbindingapparatuur, etc. etc.

Hoewel het bijzonder moeilijk is al deze factoren te kwantificeren, mogen deze bij een eventuele *risico analyse* niet buiten beschouwing worden gelaten.

Bij de parallelstructuur (of parallelsysteem) daarentegen functioneren minstens twee eenheden *naast elkaar* en tegelijkertijd. Deze eenheden zijn als zodanig elkaars reserve. Schematisch aldus voorgesteld.



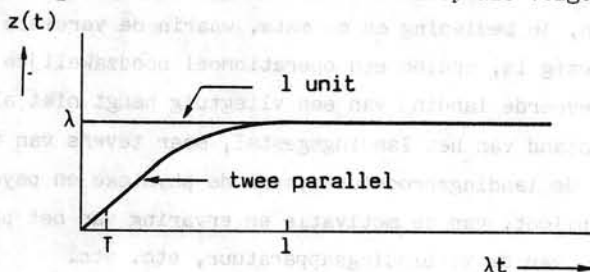
We hebben in deze configuratie te doen met een bepaalde vorm van *redundancy*, dit is de invoering van een zekere *overmaat* of *overtaligheid* aan (eventueel ingebouwde) onderdelen, waarbij het mogelijk blijkt, dat een complex systeem ongestoord doorwerkt, ook nadat er componenten stuk zijn gegaan.

Indien we er vanuit gaan dat het parallelsysteem faalt, dan en slechts dan als alle eenheden falen, dan geldt hierbij de volgende productregel:

De bedrijfsonzekerheid van een parallelsysteem wordt verkregen door de afzonderlijke bedrijfsonzekerheden van de samenstellende delen met elkaar te vermenigvuldigen.

Onder de bedrijfsonzekerheid $F(t)$ wordt hier verstaan de complementaire waarde van $R(t) = 1 - F(t)$, derhalve de kans, dat een systeem ten tijde t niet meer functioneert.

Het voordeel van de parallelschakeling kan worden ingezien, indien de storingsgraad $z(t)$ wordt uitgezet als functie van de tijd. Voor twee identieke, parallelgeschakelde units is dit verloop als volgt:



De $z(t)$ blijkt bij nul te beginnen om daarna asymptotisch naar de waarde λ (d.i. de failure rate van een enkele unit) te naderen. Voor bedrijfstijden T , die klein zijn t.o.v. de gemiddelde levensduur $1/\lambda$, blijkt de toepassing te reduceren. Wel moet worden opgemerkt, dat voor de bedrijfs-onzekerheid van dit parallelsysteem geldt, dat $F(T) \approx \lambda^2 T^2$, d.w.z. een uitvalskans die kwadiatisch met de tijd toeneemt, althans voor $T \ll 1/\lambda$. Dit dramatisch gegeven is uiteraard van buitengewoon belang bij het kiezen van de juiste onderhoudsstrategie.

7. Afhankelijke fouten. We hebben hierboven het bedrijfszekerheidsblokschema ter sprake gebracht, dat een krachtig hulpmiddel blijkt te zijn bij de betrouwbaarheidsanalyse van een technisch complex systeem.

Door toepassing van de basisregels voor zowel de serie- als de parallelschakeling kan een numerieke indruk worden verkregen omtrent de systeem-overlevingskans gedurende een bepaalde bedrijfstijd. En indien dan zou blijken, dat (nog) niet aan de van tevoren vastgestelde operationele eisen wordt voldaan, kan worden nagegaan aan welk deel van de installatie alsnog extra aandacht moet worden besteed of welke veranderingen bij een eventueel herontwerp moeten worden aangebracht.

We moeten echter stellen, dat de hantering van deze basisregels (of productregels) slechts geoorloofd is bij *onafhankelijke* uitvalskansen. Dat wil zeggen dat de grootte van de kans, dat een onderdeel A faalt, *niet* afhankelijk is van die van onderdeel B. Een dergelijke veronderstelling is in de praktijk echter vaak niet geoorloofd. Indien bijvoorbeeld in een compact gebouwde systeem een kortsluiting ontstaat (en dat is dan de *primaire* fout), zullen andere componenten door de daardoor ontstane hitte-ontwikkeling een grotere uitvalskans vertonen (*secundaire* fout).

Een bijzonder geval van afhankelijkheid doet zich voor bij die storingen, die bij *verschillende* onderdelen van een systeem gelijktijdig optreden, en wel ten gevolge van een *gemeenschappelijke* faaloorzaak.

Deze zogenaamde "common-cause failures" kunnen onder meer veroorzaakt worden door:

- externe rampen, zoals brand, explosie en aardbeving.
- enkel uitgevoerde voeding bij een redundant systeem.
- suboptimaal ontwerp, waarbij in de ontwikkelfase van een systeem onvolkomenheden zijn blijven zitten. Indien bijvoorbeeld een fabrikant een verkeerde materiaalkeuze in een product heeft gedaan of voor slechte aansluitcontacten heeft gezorgd, dan heeft het weinig zin redundantie van hetzelfde fabrikaat toe te passen, omdat daardoor opnieuw dezelfde ontwerpfouten worden geïntroduceerd.
- externe storende bedrijfsomstandigheden, met name vochtigheid, temperatuur en trilling.
- bedrijfs- en bedieningsfouten, ten gevolge van onjuiste installatie, onzorgvuldig onderhoud en zorgeloze bediening.

8. Evaluatiemethodieken. Door allerlei droevige storingservaringen en sterk stijgende onderhoudsoffers is de bedrijfszekerheid van een complex technisch systeem de laatste jaren - met name van gebruikerszijde - steeds meer in het brandpunt van de belangstelling komen te staan.

Op het gebied van de Bedrijfszekerheidstechniek (Reliability Engineering) is men dan ook druk doende geweest met onder meer (a) het definiëren van operationele grootheden, (b) met het doorrekenen van modellen en (c) met het aandragen van methodieken, die ten doel hebben de gebruiker ten aanzien van de overlevingskans en de veiligheid van een technisch systeem te informeren.

Dit kan dan op een *kwalitatieve* wijze gebeuren, waarbij dan de zwakke en kritieke delen van (of in) een installatie worden opgestoord en geïnventariseerd, terwijl anderzijds sommige van de genoemde methodieken zich lenen voor een *kwantitatieve* benadering, waarbij onder andere de bedrijfszekerheid wordt berekend.

In de eenvoudige bedrijfszekerheidsliteratuur wordt een methode aanbevolen om de overlevingskans van een (sub)systeem te berekenen met behulp van het formuletje $R(t) = \exp(-\lambda t)$, waarin λ de failure rate of storingsgraad voorstelt, die dan als constant in de tijd wordt geacht.

Middels een zakrekentuigje kan dan deze kans worden becijferd, mits uiteraard de λ bekend is, bijvoorbeeld uit $\lambda = 1/\hat{\theta}$, met $\hat{\theta}$ = de geschatte MTTF (Mean-Time-To-Failure) van het (sub)systeem.

Om zo maar eens een voorbeeldje te noemen: stel θ van een radarapparaat is 240 h (= tien etmalen), dan is $R(t) = \exp(-t/240)$, zodat de overlevingskans na 12 h (ongeveer) gelijk is aan $R(12 \text{ h}) = 0.95$. Daarmee bedoelen we aan te geven, dat de kans, dat het radarapparaat na een bedrijfsperiode van 12 h nog functioneert, 95% bedraagt.

Nu valt niet te ontkennen, dat een dergelijke bepaling van de bedrijfszekerheid te simpel is om de wereld, die ons omringt, getalsmatig te doorgronden. Een wereld, die vaak ingewikkelder is dan vermoed. Een dergelijke poging tot kwantificering van de overlevingskans zal derhalve benaderend van karakter zijn, waarbij de grofheid van de benadering het al of niet zinvolle van deze berekening bepaalt.

Het laat zich derhalve denken, dat getracht is analytische procedures te vinden, die langs een andere weg enig inzicht verschaffen in de bedrijfszekerheid en veiligheid van een systeem. Dit pogen heeft geresulteerd in een aantal *evaluatiemethodieken*, met behulp waarvan men in staat is zwakke en kritieke delen van (of in) een installatie op te sporen. Toepassing hiervan in het ontwerpstadium heeft uiteraard grote voordelen: de identificatie van (mogelijke catastrofale) ontwerpfouten kan het beste in een vroegtijdig stadium plaatsvinden.

Bovengenoemde evaluatiemethodieken zijn in wezen niets anders dan procedures met als doel: enig inzicht te verkrijgen in de *oorzaken*, die leiden tot een storing in een complex technisch systeem en de daarmee verbonden *effecten*. In dit verband moge er nog op gewezen worden, dat het inderdaad om niet meer dan (zinvolle) *pogingen* gaat, omdat het nog steeds niet mogelijk is gebleken, de ons omringende wereld in een sluitend model vast te leggen.

9. De Fault Tree Analysis. Bij de meer praktische *evaluatiemethodieken* kunnen we een *tweetal groepen* onderscheiden, die fundamenteel in benaderingswijze van het operationeel gebeuren verschillen.

De eerste groep is *deductief* van karakter, waarbij de gang van zaken als volgt is. We stellen allereerst, dat het desbetreffende systeem (bijvoorbeeld een auto) op een bepaalde manier heeft gefaald.

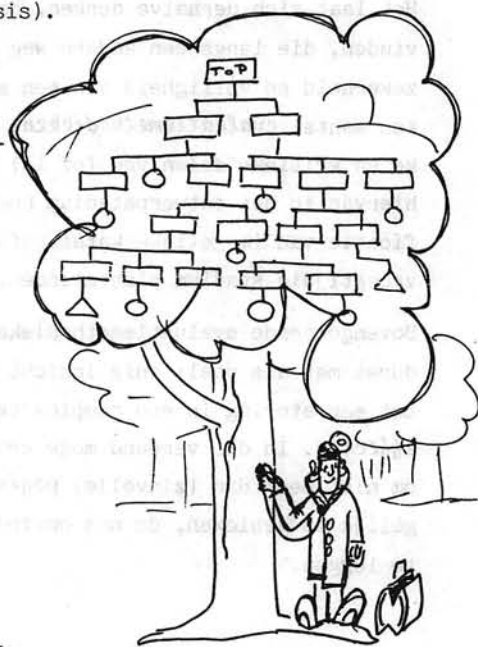
We noemen dit droeve voorval de topgebeurtenis, die dan moet worden opgevat als een éénduidig omschreven ongewenste toestand van het systeem, die zelfs catastrofaal kan zijn. Voorbeelden van een topgebeurtenis zijn: "de motor start niet" of "de remmen weigeren".

Daarna volgt een systematische speurtocht met het doel er achter te komen, welke faalwijzen van welke componenten een bijdrage aan het optreden van deze ongewenste topgebeurtenis hebben geleverd. Omdat de genoemde faalwijzen eveneens gebeurtenissen zijn, bestaat het opsporingswerk uit de opstelling van een gebeurtenissenreeks, d.w.z. een keten van storingen, foutieve handelingen, etc., die in hun logische relatie laten zien, HOE het systeemfalen heeft kunnen ontstaan. In de huiselijke sfeer is het "nakaarten" bij het bridgen na een verloren spel - soms met een iets opgelopen bloeddruk - een treffend voorbeeld hiervan. In de Bedrijfszekerheidstechniek staat deze "backward" - of "top-down"-procedure bekend als de faalboom-analyse (Fault Tree Analysis).

De benaming "boom" is ontleend aan de vorm van de grafische weergave van de verzameling gebeurtenissen, die onderling door logische symbolen met elkaar verbonden zijn en die tezamen systematisch aangeven, hoe deze hebben kunnen bijdragen tot het bereiken van de veronderstelde faalwijze van het systeem, die we hierboven als topgebeurtenis hebben omschreven.

Startend vanuit deze top wordt via (met name) EN- en OF-poorten (die het meest worden toegepast) het "gevolg-en-oorzaak-proces" langs het subsysteem - en componentenniveau gevolgd tot aan een serie *basisgebeurtenissen*, waar verdere expansie van de boom wordt gestaakt.

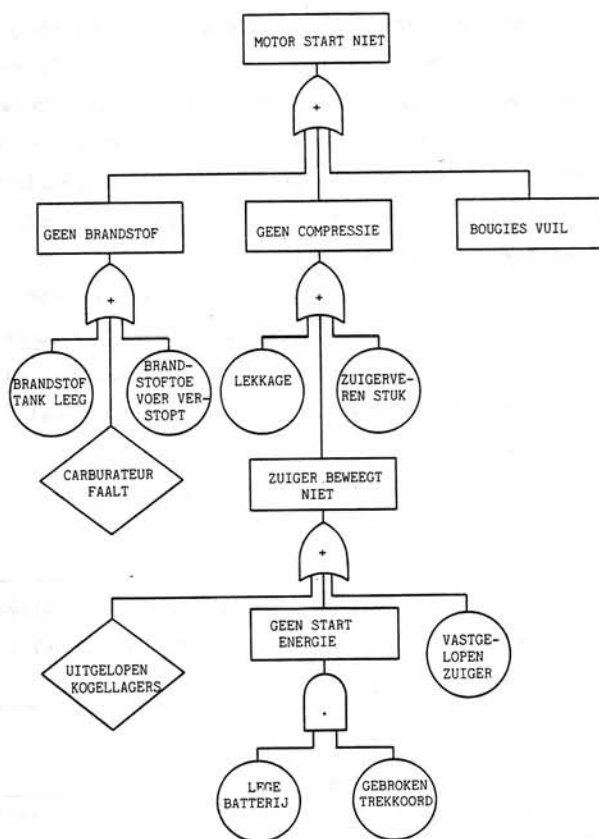
Ter illustratie wordt hieronder een eenvoudige faalboom weergegeven, waarin enige mogelijke storingsbronnen van een (grasmaaimachine-) motor door middel van logische poorten met elkaar zijn verbonden.



FAALBOOM - ONDERZOEK

Bedieningsfouten (zoals bijv. het vullen van de brandstoftank met een onjuiste vloeistof) zijn niet vermeld, of het moest het falen van het trekkoord zijn, dat niet alleen door slijtage maar ook door een ruwe behandeling kan breken.

Als topgebeurtenis is gekozen: *motor start niet*, waarna via de deductieve weg mogelijke oorzaken worden opgespoord. Een weg, die eveneens door een reparateur bij een systematische "trouble shooting" zal worden gevolgd.



10. De FMECA-methode. In het begin van de vorige paragraaf werd opgemerkt, dat de ontwikkelde evaluatiemethodieken in een tweetal groepen zijn te onderscheiden, waarbij de eerste deductief van karakter is. De tweede groep is daarentegen *inductief* van karakter, waarbij van een bepaalde storingsvorm van een (sub)systeem of component wordt uitgegaan, waarna getracht wordt de daarmee verbonden *effecten* op de omgeving en op het desbetreffende systeem vast te stellen. Bijvoorbeeld: "WAT kan er allemaal gebeuren, doordat de koelwaterpomp het plotseling niet meer doet?". De FMECA-methode, die tot deze zgn. "forward"- of "bottom-up"-procedures behoort, zal hieronder in het kort worden beschreven.

De FMECA (= Failure Mode and Effect Criticality Analysis)-methode beoogt na te gaan, wat de gevolgen van een storing zijn. De hierbij verrichte systeemanalyse vindt bij voorkeur plaats in de ontwerpfase van een systeem als onderdeel van een bedrijfszekerheidsprogramma. Hoewel opgemerkt moet worden, dat deze methodiek tevens goed bruikbaar is in de gebruiksfase van een bestaand systeem als hulpmiddel ter vaststelling van de onderhoudsbehoefte daarvan, waarbij de prioriteiten aan de zogenaamde *lijst van kritieke delen* zijn ontleend.

Uit opsporing en catalogisering van mogelijke storingsvormen of faalwijzen (failure modes) en de effecten daarvan op de systeemfunctie kan een dergelijke lijst van kritieke (onder)delen worden samengesteld, die - indien nodig - met name in de ontwerpfase kunnen worden (a) verbeterd, (b) bewaakt of (c) geredundanceerd.

Stapsgewijs kan deze methode als volgt worden weergegeven:

Stap 1

Ontleed het beschouwde (sub)systeem in een functioneel blokschema en geef een beschrijving van de bedoeling en van de werking van ieder blok.

Stap 2

Maak per blok een lijst van alle onderdelen en de bijbehorende storingsvormen daarvan.

Stap 3

Beschrijf de relatie van een falend onderdeel ten opzichte van het desbetreffende blok en hiervan ten opzichte van het totale systeem. Hierdoor kan worden nagegaan of de rol van deze component in de vervulling van de systeemfunctie kritisch van karakter is of dat mogelijke functionele redundantie aanwezig is.

Tevens moet bij elke faalwijze worden bepaald, welke gevaren of rampen voor mens, milieu en andere technische systemen deze storing met zich meebrengt. De potentiële effecten van zo'n storing dienen te worden gecategoriseerd in

- (a) er zijn mensenlevens mee gemoeid
- (b) de missie is (tijdelijk) mislukt
- (c) het functioneren van het systeem is (slechts) vertraagd
- (d) geen noemenswaardig effect.

Stap 4

Bepaal hoe vaak een storingsvorm kan worden verwacht (faalfrequentie).

Stap 5

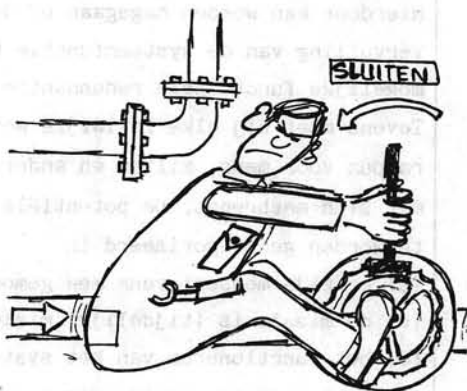
Maak op grond van het produkt: kans op storing x gevolgen een lijst van kritieke delen, geef aan (a) hoe de aldus geselecteerde storingsvormen tijdig kunnen worden ontdekt, (b) welke correctieve acties ondernomen moeten worden, indien de storing zich onverhoopt voordoet en (c) welke noodprocedures er dan in werking treden.

Op grond van de aldus opgebouwde informatie kunnen tenslotte één of meer onderhoudspolitieken (inspectie, periodieke verwisseling, alarmering, etc.) per storingsvorm worden aanbevolen of ontwerpverbeteringen worden voorgesteld (andere materiaalkeuze, grotere wanddikte, redundantie, etc.), teneinde het optreden van bepaalde storingsvormen te voorkomen of het effect daarvan te beperken.

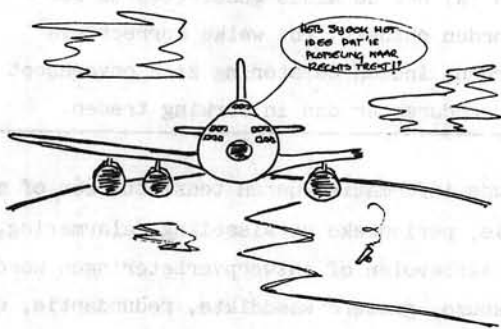
Omdat de effectenanalyse van eventuele storingsvormen zich eveneens tot milieu en omgeving uitstrekt, is tevens het veiligheidsaspect hierin meegenomen. Want de invloed van een storing in de hardware kan zich niet

alleen uitstrekken (a) tot het systeem zelf (behalve functieverlies tevens schade aan/of verwoesting van de rest van de apparatuur), maar ook (b) tot de omgeving (milieu-overlast, hinder, schade) inclusief (c) de mens (levensgevaar, ongeval, demotivatie).

Om de gedachten te bepalen een voorbeeldje: indien in een hydraulisch systeem een regelklep aanwezig is, kan van elke storingsvorm (klep is open en sluit niet meer, klep is dicht en wil niet meer open, klep blijft onderweg hangen, klep lekt, etc.) de faalfrequentie worden geschat. Voorts kan het storingseffect en het kritische karakter daarvan worden bepaald (bijv. proces stopt, explosie- of brandgevaar, slechts functieverlies, effect verwaarloosbaar, overgaan op handbediening, missie mislukt, etc., etc.). Van hieruit kunnen dan herontwerp en slagvaardige onderhouds- en veiligheidsmaatregelen worden overwogen.



Opm.: Een catastrofaal effect van een storingsvorm behoeft nog geen aan-



leiding te zijn om de desbetreffende component aan de lijst van kritieke delen toe te voegen. Het afbreken van een vleugel bij een vliegtuig - dat toch, althans tijdens een vlucht, als een ramp moet worden aangemerkt - kan volgens een risico-analyse zó

sporadisch voorkomen, dat deze faalwijze niet voor verdere behandeling in aanmerking komt. Tenslotte moge nog worden opgemerkt, dat de FMECA-methode een uitzonderlijk belangrijke rol in de moderne (ontwerp)techniek is gaan spelen.

"The other extremely valuable tool in incorporating reliability into the basic design of the space craft is FMECA", aldus een "lesson from NASA", bij de ontwikkeling van de Space Shuttle. We kunnen deze les vinden in Spectrum, IEEE, volume 18, Number 10, October 1981, met als grondgedachte: "Design is the cornerstone of success". Overigens werd als eerste "valuable design tool" de redundancy genoemd.

11. Onderhoud. Nu enige opmerkingen in het algemeen over onderhoud. Eénmaal geïnstalleerde (of althans aangekochte) apparatuur dient veelal in stand te worden gehouden. De maatregelen, die de mens ten behoeve van een dergelijke *instandhouding* neemt, duiden we aan met onderhoud. Hetgeen we uiteindelijk (en dat mede door middel van dit onderhoud) beogen is: een systeem te laten opereren volgens de gespecificeerde eisen gedurende de gewenste gebruiksduur.

Dat menselijke tussenkomst in de bedrijfsvoering bij een niet-onderhouden systeem ontbreekt kan *onontkoombaar* zijn (zoals bij onbemande ruimtevaartuigen) of kan *economisch onaanvaardbaar* zijn, òf vanwege de lage kostprijs (zoals bij allerlei wegerpartikelen) òf vanwege hoge reparatiekosten (bijv. à f. 50,-- per uur bij een transistorradio van ongeveer f. 100,--).

Onderhoudsactiviteiten kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Het meest voor de hand liggende is tweedeling: het preventief onderhoud (het in de juiste toestand *houden* van systemen) vs. het correctief onderhoud (het - na falen - wederom in de juiste toestand *brengen* ervan). Als onderscheidingscriterium wordt het storingsmoment gehanteerd, waarbij we een storing dienen op te vatten als een verandering van de functionerende naar de falende toestand van het desbetreffende systeem. We zullen hieronder op beide onderhoudsvormen nog even in het kort nader ingaan.

Het *preventieve* onderhoud kent in zijn uitwerking verschillende strategieën, waarvan we hieronder enkele belangrijke zullen memoreren:

- Het *verzorgend* onderhoud (ook wel servicing genoemd) heeft het karakter van een lichte controlebeurt, waarbij in de routinesfeer de benodigde bij- en afstelhandelingen worden verricht en functies op hun output (globaal) worden geverifieerd.

We kunnen hierbij denken aan schoonmaken van onderdelen, controleren van de voedingsspanning, bijvullen van brandstof, doorsmeren van lagers,

kortom kortdurende en betrekkelijk eenvoudige acties, die de conditie van het systeem positief beïnvloeden. Opgemerkt kan nog worden, dat over het algemeen in dit onderhoudsklimaat geen hoge eisen ten aanzien van de kennis en opleidingsniveau van het personeel behoeven te worden gesteld.

- De *revisie* daarentegen is een onderhoudsvorm met een zeer grondige aanpak, die om redenen van uiteenlopende aard wordt toegepast, zoals wettelijke voorschriften, veiligheid (bijv. in het luchtverkeer), oplopende storingsgraad en ernstige storingsgevolgen.

Bij revisie moeten we ons voorstellen, dat het gehele systeem in al zijn delen wordt gedecomposeerd, d.w.z. uit elkaar gehaald, waarna de toestand van de componenten wordt nagelopen. Die delen, die - na deze inspectie - daarvoor in aanmerking komen, worden vervangen, waarna het systeem wordt geassembleerd, gejusteerd, beproefd en wederom in bedrijf gebracht.

De onderhoudsfilosofie van deze procedure is, dat een dergelijke gereviseerd systeem weer als "as good as new" wordt geacht te zijn; of in ieder geval in een optimale conditie zich te bevinden.

De praktijk bewijst helaas, dat niet altijd aan die verwachting wordt voldaan. Resterende montagefouten ("maandagmorgeneffecten"), inloop- en inschakelverschijnselen zijn vaak de oorzaak van een aanvankelijk hoge storingsgraad.

Een fundamenteel bezwaar van revisie is, dat de kans bestaat, dat onderdelen worden vernieuwd, die "er nog niet aan toe waren". Dat toch tot vervanging wordt besloten komt, omdat de onderhoudsman de mening is toegedaan, dat uitwisseling niet op de daarna volgende onderhoudsperiode kan wachten. De motivatie voor zijn actie kan - naast ervaring en intuïtie - gevonden worden in bedrijfsgegevens: de gemiddelde levensduur en de grootte van de levensduurspreiding bij de desbetreffende component.

Het is duidelijk, dat bij het ontbreken van de laatstgenoemde gegevens het gevaar van "overmaintenance" bestaat. De "ziezo, dat is weer eens goed nagekeken"-strategie geeft soms de gebruiker en/of de onderhouder een gevoel van apparatieve bedrijfszekerheid voor de nabije toekomst, dat - rationeel gezien - nergens op steunt, maar dat toch emotioneel behaaglijk aandoet.

Trouwens ook een fabrikant zal - niet bekend zijnde met het toekomstige storingsgedrag van zijn nieuwe product - soms de gebruiker een *onderhouds-ritme* adviseren (althans voor zover hij dat doet), waarvan achteraf de frequentie te hoog blijkt te zijn.

Om aan het bezwaar van verlies aan potentiële levensduur tegemoet te komen kan men overgaan op de methodiek van *periodieke verwisseling* van onderdelen. Bij deze onderhoudsstrategie gaat het om korte stilstandtijden van het (te onderhouden) systeem, met daarin een snelle vervanging van de daarvoor in aanmerking komende modules. De op deze manier verwijderde exemplaren kunnen of worden gecontroleerd en (indien nodig) hersteld of worden weggeworpen.

Administratief betekent dit wel, dat er een intensieve *registratie* van alle mutaties nodig is, omdat elk onderdeel zijn eigen vervangingsritme zal vereisen.

Om deze onderhoudsvorm toe te kunnen passen moet wel aan een tweetal voorwaarden zijn voldaan, namelijk (a) de *modulaire opbouw* van het in stand te houden systeem en (b) een goede *toegankelijkheid* tot de uit te wisselen modules. Hieruit volgt al het grote belang reeds in de *ontwerpfase* van een systeem rekening te houden met het te volgen onderhoudsconcept in de *bedrijfsfase*.

De onderhoudsmaatregelen, die worden genomen, *nadat* een storing in een systeem is opgetreden, worden - zoals reeds eerder gesteld - samengevat onder de naam: *correctief* onderhoud.

Van de fundamentele motieven om tot deze vorm van onderhoud te besluiten - dus te wachten op het moment van falen, alvorens onderhoudsacties te starten - noemen we de volgende:

- de storings-*frequentie* is zeer klein. In de huiselijke sfeer komen we dit geval bijvoorbeeld tegen bij ons TV-toestel, dat (laten we zeggen) gemiddeld één in de drie jaar uitvalt. We ervaren dit dramatisch gebeuren, vanwege de zeldzaamheid in optreden, als zo weinig storend in de gang van ons kijkgenot, dat we pas de reparateur benaderen op het moment, dat het beeld verdwenen of ongenietbaar is geworden.
- De storings-*gevolgen* zijn relatief gering. Nog even terugkomend op de beeldbuis: uitval is (met name op de voetbalavond) mogelijk irritant, maar emotioneel beheersbaar in het gezinsverband. Onze beoordeling van een (sporadisch voorkomende) systeemuitval zou totaal anders zijn, indien falen van de TV een explosie inhield, met als gevolg een gedeelte-

lijk ingezakte huiskamer en gewonde familieleden. We blijven - en dat op grond van onze faalervaring bij TV-toestellen - dan ook bij correctief onderhoud.

- Er is *redundancy* aanwezig. Dat wil zeggen, dat systeemdelen meervoudig zijn uitgevoerd (ingebouwde redundantie, zie par. 3) of vervangbaar zijn door daartoe aanwezige reserve.

Ook is het mogelijk dat er redundantie op systeemniveau aanwezig is: het tweede transportabele toestelletje op de slaapkamer, dat - indien nodig - direct in de woonkamer inzetbaar is.

- De storingsgraad (failure rate) verloopt constant in de tijd. In dag geval treden de storingen volkomen willekeurig op en hebben we te doen met een *geheugenloos* faalmechanisme (neg. exp. verdeling). Dit houdt in, dat men zich niet door middel van preventief onderhoud (periodieke verwisseling) tegen dit soort *random failures* kan indekken, omdat de uitvalskansen niet door vernieuwing van onderdelen afnemen. Om zo maar eens een voorbeeld te noemen: het heeft geen zin, vandaag zijn (nog goede) banden van zijn auto door splinternieuwe exemplaren te vervangen, met de bedoeling morgen er zeker van te zijn, geen lekke band te krijgen. Dit geldt uiteraard in nog sterkere mate voor een dalende storingsgraad, zodat we kunnen concluderen, dat onderhoudsacties met een preventief karakter pas zinvol zijn, indien de storingsgraad van een systeem (significant) met de tijd toeneemt. *In het andere geval kan beter het moment van falen worden afgewacht, alvorens in te grijpen.*

Bij voorkeur moet correctief onderhoud derhalve worden overwogen:

- bij storingen met een zeer kleine kans van optreden
- indien de gevolgen van een storing beperkt zijn
- indien redundantie aanwezig is
- indien de storingsgraad significant niet met de tijd toeneemt.

Om er achter te komen hoe de storingsgraad als functie van de tijd verloopt, kunnen faalgegevens worden gebruikt, die afkomstig zijn uit het operationele gebruik en die daartoe eerst verzameld en vervolgens zinvol verwerkt dienen te worden. Nog afgezien van de vraag of het hier om een doeltreffende methodiek gaat, moet worden opgemerkt, dat het collecteren van de bedoelde faalgegevens een minder eenvoudige bezigheid is dan mogelijk vermoed.

In ieder geval kan worden gesteld, dat een foutenrapportagesysteem - nodig ter verkrijging van de storingsgegevens - (a) zeer arbeidsintensief, (b) vrij kostbaar en (c) dan vaak nog niet eens waterdicht is.

Een andere indeling van het onderhoud is deze waarbij, naast het *storingsafhankelijk* onderhoud, de nadruk gelegd wordt op het *gebruiksafhankelijk* onderhoud en het *toestandsafhankelijk* onderhoud. Met name in het geval het storingsgedrag niet voorspelbaar of gewoon niet bekend is, zal de laatstgenoemde vorm van preventief onderhoud worden toegepast, om mogelijk in een vroegtijdig stadium potentiële storingsbronnen te ontdekken. Voor een nadere beschouwing van al de onderhoudsaspecten, die terloops in dit inleidend artikel zijn genoemd, wordt verwezen naar andere bijdragen in dit boek.

BEKNOPTE LITERATUURLIJST

- [0] Dam, J. van, *Bedrijfszekerheidstechniek*, Delftse Universitaire Pers, Delft, 1986.
- [1] Becker, P.W., Jensen, F., *Design of systems and circuits for maximum reliability and production yield*, McGraw Hill, New York, 1977.
- [2] Bitter, P., e.a., *Technische Zuverlässigkeit*, Messerschmitt Bölkow, Springer Verlag, Berlin, 1971.
- [3] Băjenescu, T.I., *Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten*, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [4] Barlow, R.E., e.a., *Statistical theory of reliability and life testing*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1975.
- [5] Belli, F., e.a., *Software-Fehlertoleranz und - Zuverlässigkeit*, Springer-Verlag, Berlin, 1982.
- [6] Billington, R., *Power system reliability evaluation*, Gordon and Breach, New York, 1970.
- [7] Billington, R., e.a., *Power system reliability calculations*, the MIT Press, London, 1973.
- [8] Carter, A.D.S., *Mechanical reliability*, John Wiley and Sons, London, 1972.
- [9] Dummer, G.W.A., e.a., *Electronics reliability, calculation and design*, Pergamon Press, Oxford, 1970.
- [10] Dhillon, B.S., e.a., *Engineering reliability*, John Wiley and Sons, New York, 1981.
- [11] Dhillon, B.S., *Systems reliability, maintainability and management*, PBI Books, New York, 1983.
- [12] Henley, E.J., e.a., *Generic techniques in systems reliability*, Noordhoff, Leiden, 1976.
- [13] Henley, E.J., e.a., *Reliability engineering and risk assessment*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981.
- [14] Jensen, F., e.a., *Burn-in*, John Wiley and Sons, New York, 1982.
- [15] Kalbfleisch, John D., e.a., *The statistical analysis of failure time data*, John Wiley and Sons, New York, 1980.
- [16] Kapur, K.C., *Reliability in engineering design*, John Wiley and Sons, New York, 1977.
- [17] Käs, G., *Qualität und Zuverlässigkeit*, Oldenbourg Verlag, München, 1983.

- [18] Kaufmann, A., e.a., *Mathematical models for the study of the reliability of systems*, Academic Press, New York, 1977.
- [19] Klaassen, Klaas B., *Reliability of analogue electronic systems*, Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [20] Kochs, Hans-Dieter, *Zuverlässigkeit elektrotechnischer Anlagen*, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [21] Kozlov, B.A., e.a., *Reliability Handbook*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1970.
- [22] Mann, N.R., e.a., *Methods for statistical analysis of reliability and life data*, John Wiley and Sons, New York, 1974.
- [23] Moan, T., e.a., *Structural Safety and Reliability*, Elsevier, Amsterdam, 1981.
- [24] O'Conner, Patrick D.T., *Practical reliability engineering*, Heyden, London, 1981.
- [25] Preuss, H., *Zuverlässigkeit elektronischer Einrichtungen*, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1978.
- [26] Ross, S.M., *Introduction to probability models*, Academic Press, New York, 1972.
- [27] Singh, C., e.a., *Systems reliability modelling and evaluation*, Hutchinson, London, 1977.
- [28] Schneeweisz, W., *Zuverlässigkeitstheorie*, Springer Verlag, Berlin, 1973.
- [29] Shooman, M.L., *Probabilistic reliability*, McGraw Hill, New York, 1968.
- [30] Smit, K., *Onderhoud van intuïtie naar rationaliteit*, Kluwer, Deventer, 1981.
- [31] Smith, D.J., *Reliability engineering*, Pitman, New York, 1973.
- [32] Smith, D.J., e.a., *Maintainability engineering*, Pitman, New York, 1973.
- [33] 'Spectrum', IEEE, Volume 18, Number 10, October 1981.
- [34] Störmer, H., *Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit*, Akademie-Verlag, Berlin, 1970.
- [35] Tsokos, C.P., e.a., *The theory and applications of reliability*, Academic Press, New York, 1977.
- [36] Walker, M.G., *Managing software reliability*, North Holland, New York, 1981.

3. Onderhoudsfilosofie en -organisatie

J.A.P. Hoogervorst*

Dit artikel gaat in op het onderhoudsproces van vliegtuigen en vliegtuigcomponenten, de in het proces noodzakelijke disciplines, alsmede de daarbij behorende organisatiestructuur. Geschetst zal worden, dat afhankelijk van de belangrijkheid van vliegtuigsystemen en -constructies voor een veilige vluchtuitvoering, eisen t.a.v. de betrouwbaarheid zijn gedefinieerd. Gegeven het concrete systeemontwerp definiëren deze betrouwbaarheidseisen in zekere mate de noodzakelijke onderhouds- en inspectiefilosofie. Geargumenterd zal worden, dat deze filosofie evenzeer in belangrijke mate bepaald wordt door het inherente faalgedrag van de vliegtuigcomponent zelf. Zeer specifieke eisen dienen gesteld te worden aan de formele betrouwbaarheidsbewaking en verificatie van de effectiviteit van het onderhoudsproces. Het zal blijken dat deze bewaking in samenhang met kwaliteitsborging de organisatie van het onderhoudsbedrijf zowel als de noodzakelijke disciplines in belangrijke mate bepaalt.

De effectiviteit hiervan is bepalend voor het kunnen toepassen van moderne (niet-preventieve) onderhoudsmethodieken.

*Engineering and Maintenance Division, KLM, Luchthaven Schiphol

1. Inleiding

Dit artikel bespreekt aspecten van vliegtuigonderhoud en in het bijzonder het onderhoud van vliegtuigcomponenten daarin. Wij zullen onderhoud daarbij definiëren als die activiteiten die controleren of een systeem of component aan de gestelde specificaties voldoet, alsmede de werkzaamheden die bij afwijkingen de gespecificeerde situatie herstellen, c.q. die preventieve maatregelen die de gespecificeerde situatie zekerstellen.

De Avionica en Accessoires Afdeling binnen de Technische Dienst van de KLM voert onderhoud uit aan ca. 6000 verschillende typen vliegtuigcomponenten met een jaarlijkse stroom van 85.000 apparaten.

Het uiteindelijke doel van dit onderhoud is het maximaliseren van de vluchtveiligheid. In feite betekent dit voor het onderhoudsbedrijf primair het streven naar het hoogste niveau van vliegtuigsysteemprestaties.

Een tweede belangrijke taak van het onderhoudsbedrijf is het optimaliseren van de beschikbaarheid van vliegtuigen en vliegtuigsystemen.

Tenslotte is een derde doel het minimaliseren van de onderhoudskosten en operationele kosten.

Aangezien niet altijd gelijktijdig aan alle drie de eisen maximaal voldaan kan worden is de prioriteit hierbij gelijk aan de hierboven genoemde volgorde.

In de begindagen van de luchtvaart waren veiligheid en systeembetrouwbaarheid in feite vrijwel identieke begrippen.

Thans zijn vluchtveiligheid en systeembetrouwbaarheid niet noodzakelijkerwijs overeenkomstige begrippen. Een en ander hangt zeer sterk af van het algehele systeemontwerp en de systeemarchitectuur.

De betrouwbaarheid van de gehele systeemfunctie kan hierbij gedefinieerd worden als de mate waarin essentiële functies beschikbaar zijn zelfs indien fouten optreden.

Duidelijk moet niettemin gesteld worden dat onderhoudsactiviteiten nooit een hogere betrouwbaarheid kunnen realiseren dan het inherente ontwerp mogelijk maakt.

Niettemin kan onjuist onderhoud de betrouwbaarheid degraderen en is een belangrijke taak van het onderhoudsproces het maximaliseren van de betrouwbaarheid binnen het gegeven ontwerp.

Bovendien heeft de effectiviteit van onderhoudsacties directe invloed op de beschikbaarheid van systemen.

Belangrijk derhalve is niet alleen het vaststellen van onderhoudsschema's en het uitvoeren daarvan, doch het onderhoudsbedrijf dient zodanig georganiseerd te zijn dat "gereedschappen" beschikbaar zijn om het effect van elk onderhoud elk moment te kunnen evalueren. Aangezien het uit te voeren onderhoud zeer nauw samenhangt met het ontwerp en gebruiksdoel zullen alvorens het onderhoudsproces te belichten enige aspecten van de ontwerpfase worden belicht.

2. Betrouwbaarheidseisen

2.1 Systeemklassen

Mathematisch gezien heeft de betrouwbaarheid van een systeem te maken met de waarschijnlijkheid dat een systeem opereert volgens de gestelde systeemspecificaties in een bepaalde tijdsperiode.

Aangezien systemen zijn opgebouwd uit componenten die niet alle een oneindige levensduur hebben is de betrouwbaarheid eindig. Er is derhalve een eindige kans $P(t)$ dat systemen t.g.v. een storing in een zeker tijdsinterval t buiten de systeemspecificaties opereren.

Wij spreken kortheidshalve van een defect systeem.

Deze defecten kunnen als volgt geclassificeerd worden naar soort:

- * enkelvoudige actieve defecten
- * passieve of verborgen defecten
- * combinaties van onafhankelijke defecten
- * cascade defecten
- * common mode defecten (gemeenschappelijke oorzaak)
- * defecten door uitwendige oorzaak.

Bij het ontwerp kunnen een groot aantal potentiële oorzaken voor de laatste drie genoemde defecten reeds worden vermeden. Men denke daarbij bijvoorbeeld aan goede afscherming tegen hitte, trilling, elektromagnetische straling, alsmede het voorkomen van gemeenschappelijke voeding of koeling van gescheiden systemen.

Vliegtuigsystemen dienen met het oog op een veilige vluchtuitvoering te voldoen aan zekere betrouwbaarheidseisen, d.i. te voldoen aan zekere maximale storingskansen per tijdseenheid.

Deze maximale storingskansen zijn internationaal vastgesteld waarbij de waarde afhangt van de belangrijkheid van het systeem voor veilige vluchtuitvoering.

Er zijn in dit verband een aantal klassen gedefinieerd (Tabel 1).

Klasse	Storingskansen	effect
frequent	$10^{-3} \leq P$	minor
reasonable probable	$10^{-5} \leq P < 10^{-3}$	minor
remote	$10^{-7} \leq P < 10^{-5}$	major
extremely remote	$10^{-9} \leq P < 10^{-7}$	hazardous
extremely improbable	$P < 10^{-9}$	catastrophic

Tabel 1.

De zwaarste eis houdt in dat een storing in de systeemfunctie niet vaker mag optreden dan éénmaal per 10^9 vlieguren. Uitgaande van een gemiddeld aantal vlieguren per jaar voor één B-747, is de beschouwde periode ca. 10.000 x groter dan de totale vliegtuig gebruiksduur.

2.2 Systeemontwerp

De hierboven geformuleerde eisen t.a.v. systeembetrouwbaarheid kunnen uitgaande van de te gebruiken componenten, zo streng zijn dat daaraan met enkelvoudige systemen niet is te voldoen.

Het totale systeem dient dan meervoudig (redundant) te worden uitgevoerd.

Bij n identieke (onafhankelijke) parallele systemen met ieder een storingskans P is de totale systeemstoringskans P^n . Het is duidelijk dat afhankelijk van de gekozen n , altijd voldaan kan worden aan een te stellen eis volgens tabel 1, tenzij commonmode fouten optreden. Echter de onderhoudsactiviteiten zijn daarmee $n \times$ groter geworden!

Vaak is de werking van een totaal systeem afhankelijk van de werking van subsystemen. Een dergelijke seriecombinatie doet de totale storingskans derhalve stijgen. Veelal komen serie en parallel combinaties voor, waarbij de feitelijke systeemarchitectuur het betrouwbaarheidsgedrag bepaalt en daarmee de noodzakelijke onderhoudsactiviteiten.

2.3 Betrouwbaarheidsanalyse

Het vastleggen van eisen t.a.v. het faalgedrag heeft alleen zin indien:

- * vóór de realisatie van het ontwerp het faalgedrag voorspeld kan worden,
- * tijdens de operatie kwantificeerbare grootheden t.a.v. het faalgedrag bepaald kunnen worden.

Op het laatste punt zullen wij hierna ingaan, ten aanzien van het eerst genoemde punt zijn een aantal methoden beschikbaar:

- * reliability block diagrams
- * failure mode and effect analysis (FMEA)
- * system/subsystem hazard analysis
- * human factors analysis
- * parts stress analysis
- * fault tree analysis (FTA).

Men definieert bij deze analyses ook wel zgn. hazardklassen variërend van verwaarloosbaar, marginaal, kritiek tot catastrofaal effect. De risicofactor is dan gedefinieerd als het produkt van hazardklasse en kans op storing (hazard probability).

Uit de hierboven genoemde analysemethoden willen wij twee belangrijke en vaak toegepaste methoden noemen; de failure mode and effect analysis en de fault tree analysis.

* FMEA

De FMEA is een systematische inductieve analyse van het systeem op mogelijke enkelvoudige faalmoden, de oorzaken daarvan en het effect op de systeem- en vliegtuigoperatie.

Deze "opwaartse" analyses zijn in het algemeen zeer omvangrijk. De FMEA's bieden echter de mogelijkheid de oorzaken van ongewenste effecten te identificeren, waarna vastgesteld kan worden of deze oorzaken door een onderhoudstaak kunnen worden weggenomen.

Voor dit laatste zijn logische beslissingsdiagrammen ontwikkeld waarop in hoofdstuk 4 zal worden teruggekomen. Figuur 1 geeft een voorbeeld van een FMEA.

SYSTEM FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS						
COMPONENT : RH Outboard Flap Transmitter						
SYSTEM : Ground Spoilers						
COMPONENT FUNCTION : Provides RH Outboard Flap Position To Flap Indicator						
FAILURE MODE	PHASE	EFFECT ON SYSTEM	HAZ. CLASS	(A) FAILURE INDICATION (B) OTHER FAILURES WITH SAME INDICATION (C) CORRECTIVE ACTION	EFFECT ON AIRPLANE	EFFECT OF ADDITIONAL FAILURES. REMARKS
1. RH outboard flap position transmitter fails open (flaps in landing position) Probable Causes: a. Switch arm b. Linkage between flap surface and transmitter open or misrigged. c. Corrosion deposit.	Rejected take-off	Spoilers will not extend automatically when reverse thrust levers are actuated K8 relay is not energized with 28 VDC in spoiler control unit.	Marginal	(A) 1. L&R spoil. surface position indicators remain in retracted position. 2. Spoiler handle does not move AFT 3. RH outboard flap tape will fail to annunciate if failure affects synchro in transmitter. (B) None (C) Manually place speed brake lever in ground spoiler position. (A) Thru (C) none	Loss of automatic ground spoilers	Effect O.K. because ground spoilers may be extended manually.
	Take off roll prior to rotation	None			None	The additional passive failure of the landing flap arm switch in the closed position will satisfy the logic required

Figuur 1

* FTA

In tegenstelling tot de FMEA is de fault tree analysis een deductieve top-down analyse die uitgaat van een ongewenste gebeurtenis (top event) en vervolgens alle wegen nagaat volgens welke de ongewenste gebeurtenis kan plaatsvinden. Deze wegen eindigen bij enkelvoudige gebeurtenissen. Zijn de faalkansen behorend bij deze enkelvoudige gebeurtenissen bekend, dan kan de kans op het optreden van het top event bepaald worden.

Bijlage 1 geeft een eenvoudig voorbeeld van een FTA. De bruikbaarheid van een dergelijke analyse hangt mede af van de geschikte keuze van het top event.

Indien met de hier genoemde betrouwbaarheidsanalyses blijkt dat niet aan de gestelde eisen kan worden voldaan staan in beginsel twee wegen open:

- * toepassing van een gewijzigde systeemarchitectuur
- * toepassing van componenten in het systeem met een hogere betrouwbaarheid.

De ontwerp eisen liggen voor Amerikaanse vliegtuigen vast in de zgn. Federal Aviation Regulations, voor Europa gelden de Joint Airworthiness Requirements. Ter illustratie volgt hieronder een gedeelte dat betrekking heeft op het automatische landingssysteem:

"The total airborne systems must be designed and must provide sufficient information to the pilot so that the landing may be safely executed from any altitude following a single failure or combination of failures not shown to be extremely improbable" (FAR 25.1309).

Dit betekent dat aangetoond moet worden dat fouten die het systeem niet overleeft een kans hebben kleiner dan 10^{-9} , terwijl fouten met een kans groter dan 10^{-9} het systeem niet zodanig in gevaar brengen dat de systeem- en vliegtuigoperatie niet meer mogelijk is.

Het zal niet verbazen dat e.e.a. een zéér omvangrijke analyse impliceert. Zo leidde de bewijsvoering bij het DC-10 autoland systeem tot 2500 pagina's analyse.

Opgemerkt moet worden dat de hier besproken analysetechnieken niet voldoende zijn in het geval van door software bestuurd systemen. In dat geval gelden vele additionele eisen op het gebied van:

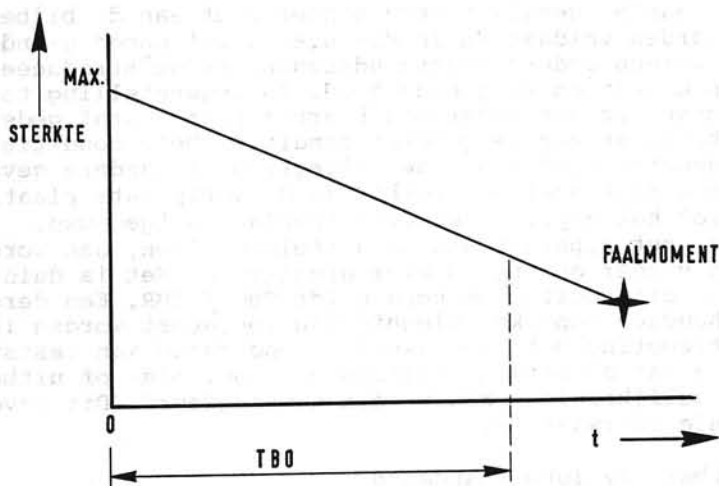
- * verificatie- en testmethodieken
- * de organisatie van het ontwerpproces
- * documentatiebeheer (configuration control)
- * uitvoeringswijze redundante systemen (dissimilar software)
- * eliminatie common-mode failures.

Ten aanzien van deze aspecten zijn internationaal in de luchtvaartindustrie eisen en richtlijnen vastgelegd.

3. Faaiipatronen en onderhoudsconcepten

3.1 Tijdgelimiteerd onderhoud

Bij een aantal vliegtuigcomponenten daalt de resterende bruikbaarheidsperiode met de tijd, bijvoorbeeld door mechanische slijtage of corrosie. Dit betekent dat op een zeker moment het apparaat (voorspelbaar) zal falen c.q. niet meer binnen de gestelde systeemspecificaties opereert. Een en ander is schematisch in figuur 2 weergegeven.



Figuur 2.

Vóór het faalmoment dient derhalve onderhoud* aan het apparaat te worden uitgevoerd teneinde de bruikbaarheid te herstellen.

Het onderhoud aan dergelijke apparaten is vooraf gedefinieerd en vindt met een vast interval plaats. Men spreekt hierbij van hard-time (HT) onderhoud.

Componenten met een dergelijk HT onderhoudsconcept hebben een vast onderhoudsinterval (TBO = Time Between Overhaul) en een vast uitbouwinterval (TBR = Time Between Removal). Duidelijk is dat geldt $TBO = TBR$.

* Opmerking

De term "onderhoud" wordt in het normale taalgebruik niet eenduidig toegepast nl. zowel in een zin die controle- en inspectietaken insluit (maintenance), als om exclusief taken aan te geven die de materiële status van een systeem of component wijzigen (overhaul). Wij zullen het begrip voornamelijk in de laatste genoemde zin hanteren.

Voorwaarden voor het kunnen toepassen van dit onderhoudsconcept zijn:

- * duidelijk gedefinieerd faalmoment
- * de gehele populatie componenten heeft een overeenkomstig faalpatroon
- * het onderhoud herstelt de gebruiksperiode voor een tijd minstens gelijk aan de TBO.

3.2 Conditioneel onderhoud

In de beginperiode van de luchtvaart was een groot deel van het onderhoud gebaseerd op het hierboven genoemde HT onderhoudsconcept.

In een aantal gevallen werd echter niet aan de bijbehorende voorwaarden voldaan en leidde e.e.a. tot onnodig onderhoud. Later werden andere onderhoudsconcepten geïntroduceerd zoals het On Condition (OC) onderhoud. In tegenstelling tot het HT concept is het onderhoud hierbij niet vooraf gedefinieerd, doch hangt af van de gemeten conditie. Deze conditie kan soms gemeten worden aan het vliegtuig, in andere gevallen kan de conditiemeting slechts in de werkplaats plaats vinden en wordt het apparaat daartoe speciaal uitgebouwd.

Voldoet het apparaat aan de gestelden eisen, dan wordt het zonder verder onderhoud weer afgeleverd. Het is duidelijk dat bij dit soort onderhoud geldt TBO $\neq$ TBR. Een dergelijk onderhoudsconcept kan slechts dan toegepast worden indien een conditiemeting het noodzakelijke onderhoud kan vaststellen zodanig dat de werking tijdens het controle- of uitbouwinterval redelijkerwijze kan worden gegarandeerd. Dit levert de volgende voorwaarden:

- * meetbare fysieke standaard
- * hoge correlatie met faalmodes
- * geschikt inspectieinterval.

3.3 Correctief of restoratief onderhoud

Bij een groot aantal apparaten neemt het voorspelbare bruikbaarheidsinterval niet af met de tijd, noch geeft een conditiemeting informatie over het eventueel noodzakelijk onderhoud.

Men spreekt bij dergelijke apparaten van een "random" faalpatroon. Een belangrijke klasse hierin zijn elektronische apparaten. Echter naarmate mechanische apparaten complexer worden blijken zij eveneens meer een random storingsgedrag te vertonen.

Het random storingsgedrag sluit preventief onderhoud als een zinvolle onderhoudsactiviteit uit. Bij dergelijke apparaten is slechts correctief onderhoud mogelijk. De onmiddellijke consequentie hiervan is dat geaccepteerd moet kunnen worden dat componenten aan boord van het vliegtuig falen. Derhalve dient het systeemontwerp, gegeven de belangrijkheid van een component voor een veilige vluchtuitvoering, rekening te houden met tijdens de operatie falende componenten.

Aangezien het hier besproken onderhoudsproces slechts correctief is, kunnen systeemdegradaties optreden die bij het louter uitvoeren van het gewenste correctieve onderhoud niet worden opgemerkt. Dit maakt het noodzakelijk het faalgedrag van de gehele populatie overeenkomstige componenten (per soort) te observeren en te analyseren, niet alleen t.a.v. het feitelijk storingsgedrag doch evenzeer t.a.v. het uitgevoerde onderhoudsproces. Men spreekt dan ook van een Condition Monitoring (CM) onderhoudsproces. Dit proces dient derhalve begeleid te worden door een omvangrijk administratief proces. Een en ander zal in paragraaf 4.3 worden besproken.

Thans is bij het onderhoud aan vliegtuigcomponenten de verdeling van de hiervoor genoemde onderhoudsconcepten globaal als volgt:

- * HT 5%
- * OC 15%
- * CM 80%

3.4 Latente systemen

Deze systemen vergen een speciale onderhoudsbehandeling aangezien dergelijke systemen slechts in functie komen tijdens een storing in het normale functioneren van een ander systeem zodat storingen in het latente systeem tijdens de normale operatie niet worden opgemerkt. Gegeven de gewenste betrouwbaarheidsklasse dient dan de vraag gesteld te worden hoe groot de kans is dat het latente systeem werkt wanneer het nodig is. Wij zullen uitgaan van een systeem met een random faalpatroon. De betrouwbaarheid (R) wordt daarbij gegeven door:

$$R = \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

waarbij λ de failure rate voorstelt, zijnde het aantal storingen per tijdseenheid. Zoals uit (1) blijkt neemt de betrouwbaarheid af en dus de kans op storing toe met de tijd. Dit betekent dat zonder verdere actie a priori niet aan gestelde betrouwbaarheidseisen is te voldoen. Dit kan worden opgelost door een periodieke controle, hetgeen als volgt is in te zien.

Noem:

T = tijdstip van laatste inspectie

Δ = inspectieinterval

en

$P(T)$ = kans dat het systeem werkt op tijdstip $t=T$

$P(T+\Delta|T)$ = kans dat het systeem werkt tijdens Δ , onder de conditie dat het systeem werkte op tijdstip $t=T$.

Via elementaire statistische operaties volgt dan:

$$P(T+\Delta|T) = P(T+\Delta\wedge T)/P(T) = P(T+\Delta)/P(T)$$

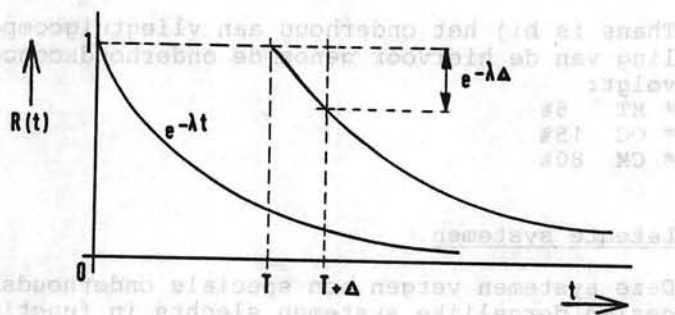
zodat:

$$P(T+\Delta|T) = \exp[-\lambda(T+\Delta)]/\exp(-\lambda\Delta)$$

of:

$$P(T+\Delta|T) = \exp(-\lambda\Delta).$$

(2)



Figuur 3.

Het voordeel van de inspectie blijkt duidelijk uit (2) aangezien de betrouwbaarheid nu slechts afhankelijk is van het inspectieinterval. Een en ander is grafisch weergegeven in figuur 3.

waarde λ de failure rate voorstelt, zijnde het aantal slijpen per tijdseenheid. Wanneer λ (1) blijkt neemt de betrouwbaarheid af en dus de kans op storing toe met de tijd. Dit betekent dat zonder verdere actie a priori niet aan geëigende betrouwbaarheidsmetingen is te voldoen. Dit kan worden opgelost door een periodieke controle, hetgeen als volgt is in te zien.

Noemt

T = tijdstip van laatste inspectie
 Δ = inspectieinterval

en

$P(T) =$ kans dat het systeem werkt op tijdstip T
 $P(T+\Delta|T) =$ kans dat het systeem werkt tijdens Δ , onder de con-
 ditie dat het systeem werkte op tijdstip T .

4. Onderhoudsschema's

4.1 Systeembeschikbaarheid

Deze beschikbaarheid wordt bepaald door de betrouwbaarheid en de onderhoud- of reparatietijd, en wordt meestal gedefinieerd als:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

(3)

waarin:

A = systeembeschikbaarheid
MTBF = mean time between failures
MTTR = mean time to repair.

Uitdrukking (3) leert dat een hoge MTBF (hoge betrouwbaarheid) niet noodzakelijkerwijze tot een hogere beschikbaarheid behoeft te leiden. Dit laatste hangt mede af van de gemiddelde reparatietijd, die weer afhangt van:

- * feitelijke systeem ontwerp
- * directe beschikbaarheid van vervangend materiaal (ruilvoorraad/reserveonderdelen)
- * training en ervaring van personeel
- * effectiviteit van storingzoekers.

Opgemerkt wordt dat deze MTTR bepalende aspecten zéér belangrijk worden in een omgeving waarin het CM-concept (correctief onderhoud) een belangrijk onderhoudsconcept is. Gegeven de in de inleiding als tweede genoemde doelstelling ligt de taak van het onderhoudsbedrijf mede in het minimaliseren van de MTTR.

Dit laatste betekent in feite niet meer onderhoud uitvoeren dan noodzakelijk is met het oog op het systeem gebruiksdoel, echter zeker niet minder dan met het oog op de gewenste betrouwbaarheid vereist is. Deze dualiteit dwingt het onderhoudsbedrijf tot een continue evaluatie van het onderhoudsproces.

4.2 Initiële definitie

Uit voorgaande is duidelijk geworden dat het uit te voeren onderhoud c.q. de uit te voeren controles o.a. afhangen van:

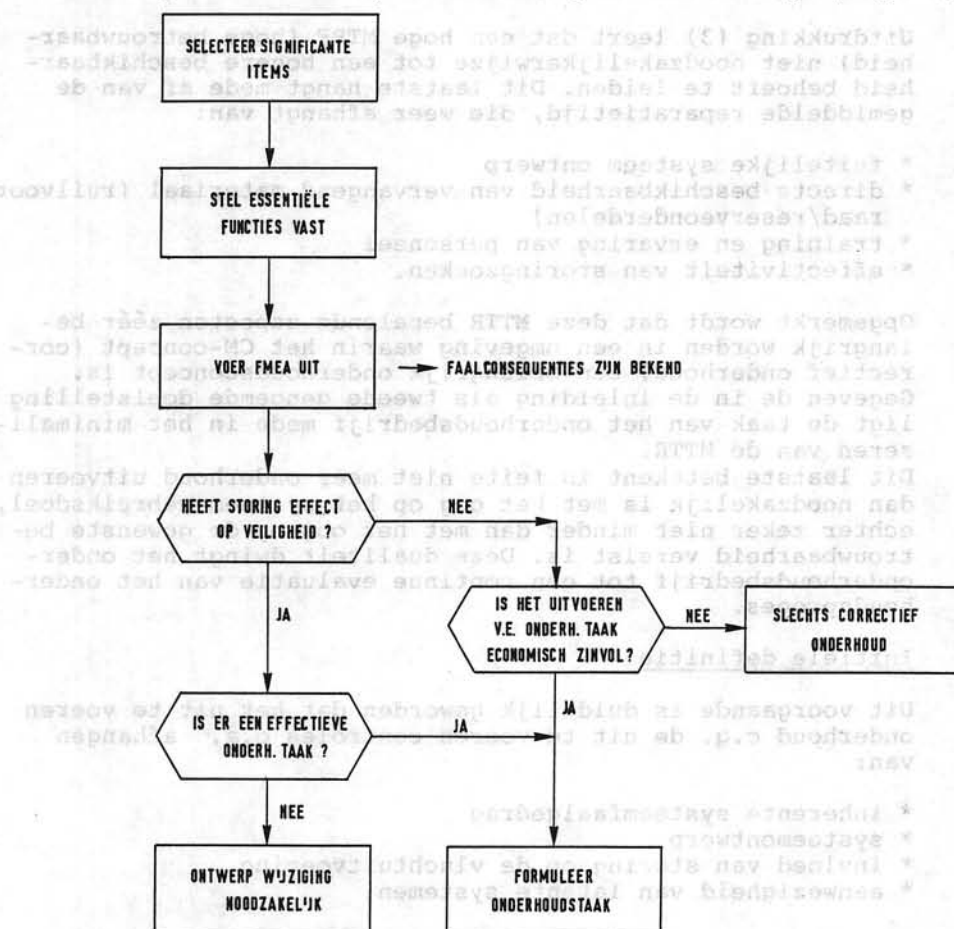
- * inherente systeemfaalgedrag
- * systeemontwerp
- * invloed van storing op de vluchtuitlevering
- * aanwezigheid van latente systemen.

Bij de introductie van het eerste wide-body vliegtuigtype is door de Air Transportation Association (ATA) een zgn. Maintenance Steering Group geformeerd (MSG), waarin naast de vliegtuigfabrikant, luchtvaartautoriteiten ook luchtvaartbedrijven zitting hebben, met als taak het ontwikkelen van beslissingsdiagrammen waarmee onderhoudstaken kunnen worden gedefinieerd, c.q. de noodzaak tot ontwerpwijzigingen kan worden geïdentificeerd.

De volgende MSG-analyses zijn inmiddels verschenen:

- * MSG-1 (1970) bij de introductie van de 747
- * MSG-2 (1971) bij de introductie van de DC-10
- * MSG-3 (1980) bij de introductie van de A300/A310.

Het globale verloop van de analyse is als volgt (fig. 4):



Figuur 4.

Het schema maakt duidelijk dat onderhoud slechts dan de veiligheid kan waarborgen, indien uitgaande van een, de veiligheid beïnvloedende storing er een onderhoudstaak gedefinieerd kan worden die in dit opzicht effectief is. Is dit niet mogelijk, dan is her-ontwerp het enige alternatief. Uit het schema blijkt tevens dat storingen om louter economische redenen kunnen worden toegelaten. Ter illustratie geven de bijlagen 2 t/m 6 een facet uit de MSG-3 analyse van een A310 (A300) vliegtuigstelsel. Duidelijk blijkt hoe via logische beslissingsdiagrammen de storingen worden geclassificeerd, alsmede onderhoudstaken kunnen worden gedefinieerd.

Genoemde initiële onderhoudstaken worden vastgelegd in het zgn. Maintenance Planning Document (MPD). Een ander belangrijk document dat bij de hier beschreven initiële analyse wordt vastgesteld is de Minimum Equipment List (MEL). De MEL geeft aan wat de minimale operationele systeemconfiguratie moet zijn opdat het vliegtuig mag worden ingezet. Het document geeft aan welke individuele storingen zijn toegestaan (onder eventuele operationele restricties), alsmede welke combinaties van storingen onderscheiding van de minimum eisen impliceren. In dit laatste geval is derhalve eerst onderhoud noodzakelijk.

4.3 Evaluatie

4.3.1 Datacollectie en analyse

Zoals in de inleiding reeds is gezegd, dienen zéér specifieke eisen gesteld te worden aan de formele betrouwbaarheidsbe-waking en verificatie van de effectiviteit van het onder-houdsproces. Dit betekent dat het onderhoudsbedrijf vragen moet kunnen beantwoorden zoals:

- * is de betrouwbaarheid van de vliegtuigcomponenten in over-eenstemming met de voorspelde betrouwbaarheid?
- * detecteert het onderhoudsproces potentiële storingen?
- * komen er ongewenste storingen voor die thans niet door een onderhoudsaktiviteit (kunnen) worden voorkomen?
- * kan de inhoud of het tijdsinterval van onderhoudstaken wor-den gewijzigd?
- * welke modificaties zijn zinvol?
- * wat zijn de onderhoudskosten per referentie-eenheid (vlieg-uren, cycles, componentensoort, vliegtuigtype etc.)?

Belangrijke aspecten bij het evalueren van het onderhoudsproces en het systeemgedrag zijn:

- * dagelijkse bespreking van technische vliegtuigvertragingen
- * datacollectie (storingen, materiaalverbruik, onderhoudskos-ten etc.)
- * analyse van storingen
- * analyse van de betrouwbaarheid.

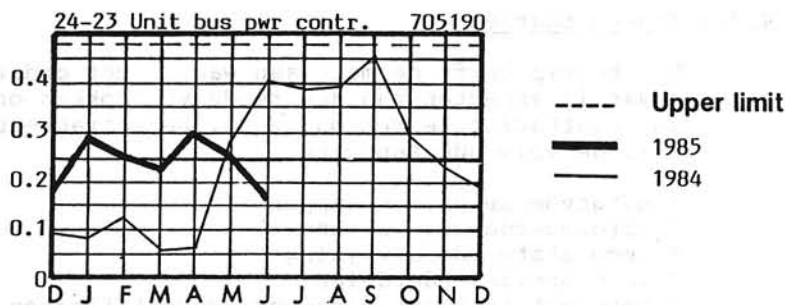
Het technische systeemgedrag dient evenals het kostenaspect geanalyseerd te worden met betrekking tot een aantal te kie-zen referentie-eenheden zoals:

- * vliegreuren
- * cycles (starts/landingen)
- * aantal componentverwisselingen
- * component- en/of vliegtuigtype
- * bemanningsklachten
- * kalendertijd.

Een belangrijke parameter bij de analyse van het gedrag van vliegtuigcomponenten en het effect van onderhoud daarin is de in hoofdstuk 3 genoemde failure-rate (λ), hier gedefinieerd als het gemiddelde aantal storingen per 1000 (component) vliegreuren. De relatie met de hiervoor gedefinieerde MTBF volgt dan uit:

$$MTBF = 1000/\lambda \quad (4)$$

De failure-rate is voor elke component vast te stellen en wordt voor belangrijke componenten grafisch bijgehouden en vergeleken met een zeker alert niveau (figuur 5).

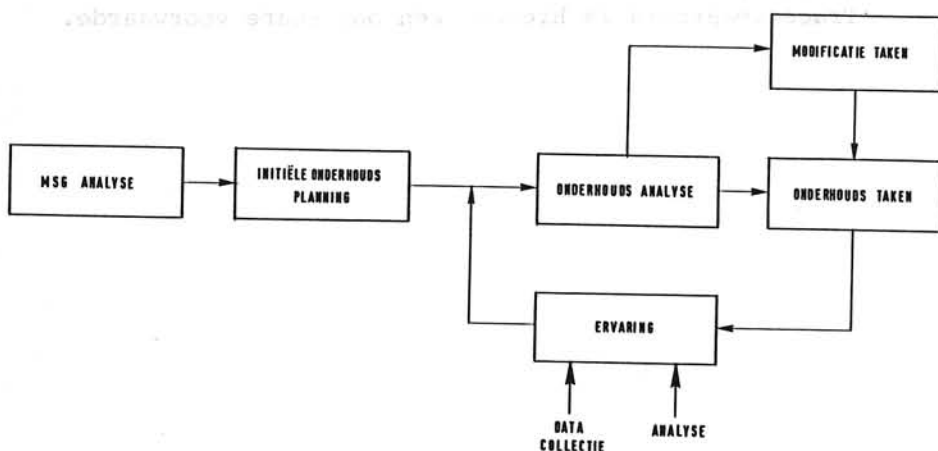


Figuur 5.

Tenslotte moet bij het evaluatieaspect genoemd worden de bespreking en uitwisseling van de hierboven besproken gegevens tijdens:

- * besprekingen met de fabrikant
- * overleg met andere luchtvaartmaatschappijen
- * internationale onderhoudsconferenties.

De aldus zichtbaar gemaakte en geanalyseerde ervaring kan vervolgens gebruikt worden om het onderhoudsproces, danwel het systeemontwerp zonedig aan te passen. Het hier besproken proces is schematisch in figuur 6 weergegeven.



Figuur 6.

4.3.2 Traceerbaarheid

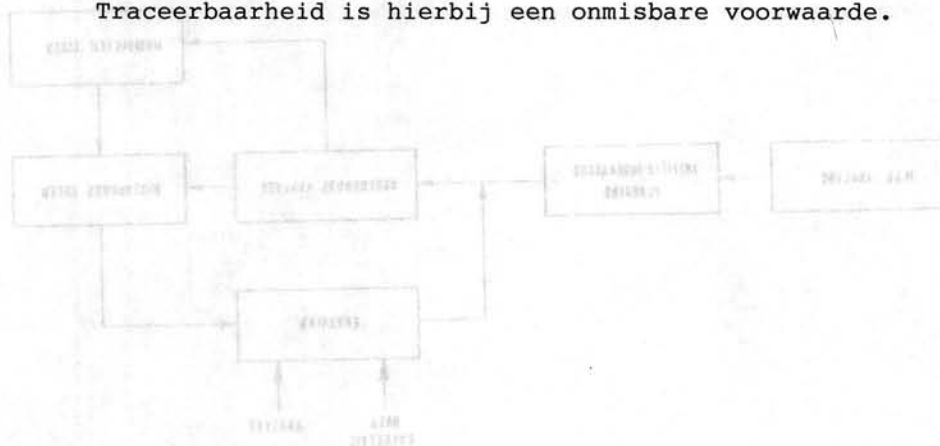
Dit begrip geeft de mate aan waarin het onderhoudsbedrijf in staat is aspecten van het reeds voltrokken onderhoudsproces administratief te reproduceren. Deze traceerbaarheid betreft o.a. de volgende aspecten:

- * uitgevoerde processtappen
- * uitgevoerde werkzaamheden
- * geconstateerde afwijkingen
- * verwisselde onderdelen
- * herkomst en eventuele keuringscertificaten van toegepaste onderdelen en hulpmaterialen
- * gebruikte voorschriften en normen
- * meetgegevens
- * betrokken onderhoudspersoneel
- * vrijgave autorisaties.

Het is duidelijk dat deze traceerbaarheid omvangrijke administratieve processen impliceert. De zwaarte daarvan hangt af van de belangrijkheid van de vliegtuigcomponent. Daartoe zijn per vliegtuigcomponent verslagleggingseisen gedefinieerd waarin gespecificeerd wordt welke van de hierboven genoemde aspecten tijdens het onderhoudsproces dienen te worden vastgelegd.

Hiervoor is gezegd dat het onderhoudsbedrijf het effect van elk onderhoud elk moment moet kunnen evalueren. Het omgekeerde geldt evenzeer: bij manifeste defecten dient het uitgevoerde onderhoud in alle processtappen te kunnen worden vastgesteld.

Traceerbaarheid is hierbij een onmisbare voorwaarde.



5. De organisatie van het onderhoudsbedrijf

5.1 Inherente en wettelijke aspecten

In hoofdstuk 3 is besproken dat het preventieve onderhoudsconcept in de zin van het uitvoeren van periodiek vooraf gedefinieerd onderhoud, nauwelijks nog wordt toegepast. Het toepassen van andere onderhoudsconcepten is zoals gebleken slechts acceptabel bij uitgebreide en voortdurende observatie van het technische gedrag van vliegtuigsystemen en vliegtuigcomponenten teneinde te bepalen of onderhoudsactiviteiten mogen of moeten worden aangepast, danwel ontwerpwijzigingen noodzakelijk zijn.

Dit vereist een instantie binnen het onderhoudsbedrijf die de onderhavige analyses uitvoert en wijzigingen in het onderhoudsproces dwingend voorschrijft.

Hiermee is de organisatie van het onderhoudsbedrijf reeds enigermate bepaald. Tenslotte heeft het onderhoudsbedrijf behoefte aan kwalitatieve analyses van de bedrijfsprocessen zelf. Dergelijke analyses vooronderstellen een stelsel referenties: de kwaliteitseisen. Deze eisen volgen deels uit overwegingen en intenties van het onderhoudsbedrijf zelf, deels vloeien zij voor wat betreft het geautoriseerde (erken- de) luchtvaartonderhoudsbedrijf voort uit de Regeling Toezicht Luchtvaart (RTL) van de luchtvaartwet. Deze RTL stelt algemene eisen aan het onderhoudsbedrijf en het onderhouds- proces, teneinde de luchtwaardigheid van geproduceerde vlieg- tuigen en vliegtuigcomponenten te waarborgen.

5.2 Een principiële driedeling

Bij functionele afdelingen van het luchtvaartonderhoudsbe- drijf kan men in het algemeen de volgende driedeling onder- scheiden:

- * uitvoerend
- * normstellend
- * controlerend.

De uitvoerende afdelingen zijn de productieafdelingen alwaar het feitelijke onderhoud plaats vindt.

Deze afdelingen zijn verantwoordelijk voor het ter beschik- king hebben van voldoende opgeleid personeel, outillage, materiaal en uitvoeringsprocedures opdat onderhoudsactivitei- ten in een gewenste tijd kunnen worden gerealiseerd.

De onderhoudseisen worden formeel vastgesteld door de norm- stellende afdeling (Engineering). Afwijkingen in het onder- houdsproces, hetzij door afwijkende procedures, hetzij door afwijkende materialen dienen door deze afdeling geautoriseerd te worden. De normstelling strekt zich eveneens uit tot de administratieve verslaglegging die tijdens het onderhoudspro- ces vereist is.

Dit alles vormt mede de basis voor de in hoofdstuk 4 genoemde evaluatie. Wijzigingen in het onderhoudsproces of modificaties in vliegtuigsystemen worden dan ook door de normstellende afdeling uitgegeven.

De Kwaliteitsafdeling tenslotte is in deze driedeling de controlerende discipline. Dit omvat niet de formele controle van het eindprodukt, doch het onderzoek naar de juistheid van procedures en de correctheid van de toepassing daarvan. De Kwaliteitsafdeling stelt eisen t.a.v. de borging van de kwaliteit van het onderhoudsproces en daarmee van het eindprodukt. Wij komen hierop in paragraaf 5.4 terug.

5.3 Logistieke aspecten van het onderhoudsproces

Zoals in de inleiding is genoemd behandelt de Avionica en Accessoire Afdeling het onderhoud aan circa 6000 verschillende vliegtuigcomponenten (electrisch, electronisch, hydraulisch en pneumatisch) met een jaarlijkse stroom van ongeveer 85.000 apparaten.

Bij de introductie van nieuw te onderhouden apparatuur betreft de voorbereiding de analyse van:

- * benodigde documentatie
- * onderhoudseisen
- * benodigde testequipment
- * initiële reserveonderdelen planning
- * planning omloopvoorraad
- * training personeel.

De voorbereidingstijd ligt in het algemeen tussen de 1 en 2 jaar.

Uit de in hoofdstuk 3 besproken faalpatronen en onderhoudsconcepten blijkt dat het merendeel van de vliegtuigcomponenten géén vast uitbouwmoment kent. Dit uitbouwmoment wordt derhalve bepaald door het faalmoment. Een directe consequentie hiervan is dat de stroom te repareren componenten bepaald wordt door een stochastisch proces. Ditzelfde geldt daaruitvolgend voor de voorraadhoogte van voor verwisseling beschikbare componenten. Dit betekent dat afhankelijk van de actuele voorraadhoogte bepaalde componenten met voorrang behandeld moeten worden. Deze prioriteitsstelling in het onderhoudsproces wordt dagelijks bepaald.

Een complicerende factor hierbij is het eveneens stochastische karakter van het materiaalverbruik.

Aangezien de stroom apparaten qua type en aantal fluctueert in de tijd is het materiaalbevoorradingsproces een orde gecompliceerder dan bij een stationair produktieproces.

Productieplanning en -regeling, alsmede materiaalplanning zijn derhalve essentiële disciplines in onderhoudsproces ten einde aanvaardbare werkplaatsdoorlooptijden te realiseren.

Elk apparaat dat de werkplaats in de omschreven bruikbare conditie verlaat bezit een certificaat ten bewijze dat het onderhoud volgens geldende voorschriften is uitgevoerd. Dit certificaat is voorzien van een autorisatiestempel, gegeven door daartoe speciaal aangewezen en opgeleide technici.

De aanstelling van deze geautoriseerde technici behoeft de goedkeuring van de Kwaliteitsafdeling.

Het onderhoudsproces wordt verder ondersteund door de volgende disciplines:

- * werkplaatsengineering (HTS-niveau) t.b.v. o.a. uitgifte van werkinstructies en de specificatie en/of het ontwerp van testapparatuur
- * calibratiegroep voor het periodiek calibreren (c.q. repareren) van meet- en testapparatuur
- * documentatiegroep t.b.v. het beheer en uitgifte van onderhoudsdocumenten en de revisies daarop
- * automatiseringsgroep met als taak het ontwerpen en beheren van computerapplicaties t.b.v. sturing en bewaking van het productieproces.

5.4 Kwaliteitsborging

De kwaliteit van het onderhoudsproces wordt voor een groot deel bepaald door de kwaliteit en inzichtelijkheid van ter zake geldende technische en niet-technische voorschriften en procedures. Deze procedures en voorschriften dienen meer procesgericht dan afdelingsgericht te zijn. De technische kwaliteit van het onderhoudsproces blijkt uit de mate waarin de afgeleverde produkten voldoen aan het gebruiksdoel. Naast deze technische kwaliteit echter, is in het luchtvaartonderhoudsbedrijf een "meta-kwaliteit" van belang welke a.h.w. op het onderhoudsproces gesuperponeerd is. Dit aspect heeft onder andere te maken met de in 4.3.2 genoemde traceerbaarheid van het onderhoudsproces alsmede met de mate waarin procedures en verantwoordelijkheden worden gehonoreerd. Het hier bedoelde kwaliteitsaspect heeft o.a. te maken met:

- * uitgifte- en revisiestatus van van belang zijnde documenten
- * autorisatie van procedure afwijkingen
- * identificatie van materialen (onderdelen, hulpmateriaal)
- * controles tijdens en na het onderhoudsproces
- * juistheid en volledigheid van administratieve verslaglegging
- * calibratie- en onderhoudsstatus van meet- en testmiddelen
- * identificatie meet- en testmiddelen
- * opleidingsstatus personeel
- * afleverstatus van geleverde produkten t.a.v. niet-technische aspecten (documenten, verpakking, etc.).

Het kwaliteitsaspect t.a.v. deze zaken dient mede door het onderhoudspersoneel te worden gedragen. Echter het onderhoudsbedrijf dient over procedures te beschikken om de hier bedoelde kwaliteit formeel te waarborgen en te onderzoeken. Bij de Avionica en Accessoires Afdeling geschiedt dit o.a. door formele werkplaatsonderzoeken naar de kwaliteit van de hierboven genoemde aandachtsgebieden door of in zeer nauwe samenwerking met de Kwaliteitsafdeling. Deze onderzoeken zijn zowel ad-hoc als planmatig met een gestructureerde methodiek voor het vastleggen van geconstateerde afwijkingen en het bewaken van de uitvoering van correctieve acties.

6. Samenvatting

In het voorgaande is geargumenteed dat enerzijds onderhoud afhankelijk is van het systeemontwerp en het systeemgebruiksdoel en de daarbij geëiste c.q. toegelaten betrouwbaarheid, en anderzijds het directe gevolg is van inherent faalgedrag van de toegepaste vliegtuigcomponenten. Verschillende onderhoudsconcepten zijn derhalve in gebruik. Dergelijke concepten en de daarbij behorende taken zijn via een gestructureerde logische analyse te identificeren. Belangrijk hierbij is de analyse van faalmodes en de daaruit voortvloeiende consequenties. Gebleken is dat preventief, vooraf gedefinieerd onderhoud nauwelijks nog voorkomt, en geheel is verdrongen door conditioneel en correctief onderhoud. Voorwaarde voor het kunnen toepassen van de laatste twee genoemde concepten is een grondige bewaking van het systeem- en componentgedrag, niet alleen t.a.v. de mate waarin prestatie criteria worden gerealiseerd, doch tevens t.a.v. het effect en de effectiviteit van het onderhoudsproces.

Een ander is naast het feitelijke onderhoud mede een belangrijke taak van het onderhoudsbedrijf.

De administratieve traceerbaarheid van het gehele proces is hierbij een belangrijk aspect.

Geschetst is dat vanuit het oogpunt van kwaliteitsborging een formele scheiding tussen uitvoerende, normstellende en controlerende functies noodzakelijk is.

Kwaliteitsborgende processen zijn daarbij essentieel. Onder deze condities is het mogelijk het effect en de effectiviteit van elk onderhoud elk moment te analyseren.

Fault tree analysis

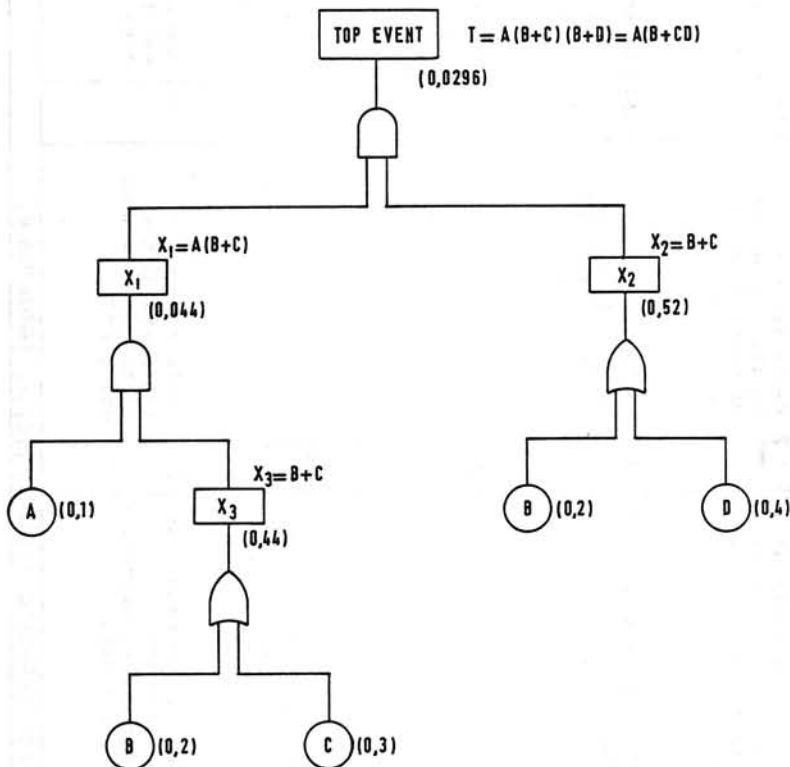
Bijgaand voorbeeld geeft in vereenvoudigde vorm het principe van de FTA weer.

Het "top-event" (bijv. verlies van elektrische voeding) wordt veroorzaakt door het optreden van de gebeurtenissen x_1 en x_2 , waarbij x_1 optreedt als een gebeurtenis A en een gebeurtenis x_3 optreedt, terwijl x_2 plaatsvindt als óf gebeurtenis B óf gebeurtenis D optreedt. Tenslotte hangt x_3 af van óf gebeurtenis B óf gebeurtenis C.

De gebeurtenissen A, B, C, en D zijn enkelvoudige onafhankelijke gebeurtenissen. De faalkansen zijn tussen haakjes aangegeven.

Met deze gegevens zijn de kansen op de gebeurtenissen x_1 , x_2 en x_3 , en daarmee de kans op het top-event te bepalen.

Wij merken op dat de gebeurtenissen x_1 en x_2 afhankelijk zijn i.v.m. de invloed van gebeurtenis B. De analyse leert dat de bedrijfszekerheid voornamelijk afhangt van de faalkansen van A en B.



A300-600		MSG-3 LOGIC ANALYSIS - DATA SHEET "B"				MSI-REF, 26-19-00	
ITEM : SMOKE DETECTION, UPPER DECK CARGO COMPARTMENT							
FUNCTION :		FUNCTIONAL FAILURE (FF) :		F. FAILURE EFFECT (FFE) :		F. FAILURE CAUSE (FFC) :	
REF.	THE NORMAL CHARACTERISTIC ACTIONS OF THE ITEM 1	REF.	HOW THE ITEM FAILED TO PERFORM ITS FUNCTION ?	REF.	WHAT IS THE RESULT OF THE FUNCTIONAL FAILURE ?	REF.	WHY THE FUNCTIONAL FAILURE OCCURS ?
1	To detect smoke in the ambient air of upper deck cargo compartment	1A	Fails to detect smoke in the ambient air of upper deck cargo compartment	1A1	None as a single failure. <i>Delayed smoke detection via still remaining (?) smoke detector(s).</i>	1A1.1	Electrical failure
						1A1.2	Component malfunction.
						1A1.3	Smoke detector in-operative
2	To provide visual and audible smoke warning signals to the crew.	2A	Fails to provide visual or audible smoke warning signal to the crew	2A1	No smoke warning signal (visual or audible). Single failure. If visual warning fails, audible warning still available and viceversa	2A1.1	Electrical failure
		2B	Spurious smoke warning	2B1	Spurious smoke warning signals (visual and/or audible)	2A1.2	Component malfunction
						2B1.1	Smoke sensor electrode sensitivity out of tolerance due to contamination.
3	To supply power for smoke detection	3A	Loss of normal or standby power supply.	3A1	None as a single failure. Other supply still available.	3A1.1	Circuit breaker fault.
						3A1.2	Wiring interconnection failure.
4	To confirm readiness of each smoke detector by detection circuit use.	4A	Fails to confirm readiness of each smoke detector when using PTT.	4A1	Appropriate SMOKE warning light (448 VU) does not illuminate	4A1.1	Electrical failure of detection circuit (PTT)
						4A1.2	Inoperative smoke detector.
PREPARED BY : MBB-UTQ-122		DATE : MAY 84		AGREED MMGA-4:		DATE :	
						SHEET 1 OF 1	
						ISSUE : 2/a	

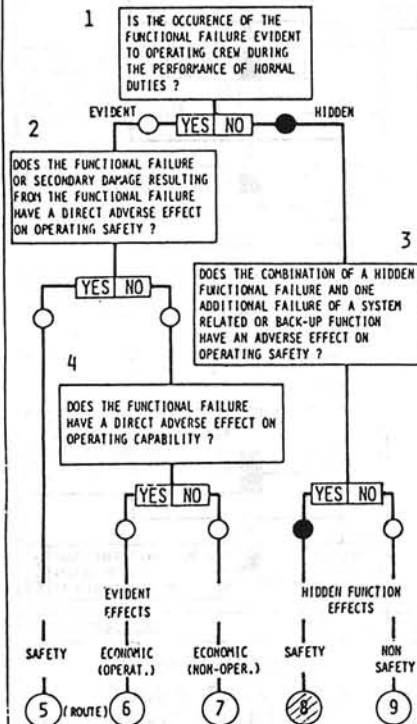
ITEM : SMOKE DETECTION,
UPPER DECK CARGO
COMPARTMENT

FF	FUNCTIONAL FAILURE (FF) :
REF.	Fails to detect smoke in the ambient
1A	air of upper deck cargo compartment.

FFE	F. FAILURE EFFECT (FFE) :
REF.	None as a single failure. Delayed smoke
1A1	detection via still available smoke detectors

FAILURE EFFECT QUESTIONS

QUESTION ANSWER - EXPLANATION FOR "YES" AND JUSTIFY IF "NO"



1 NO. Failure of smoke detector is not evident to operating crew.

3 YES. Due to functional grouping in the FWD upper deck compartment two smoke detectors (11WU, 12WU) are provided.

A combination of a hidden functional failure and one additional failure results in the loss of FWD-SMOKE indication on CABIN SMOKE DET (448VU). Delayed cabin smoke indication via remaining MID-and/or AFT-SMOKE indication light would have an adverse effect on operating safety.

- ROUTE 8 selected -

A300-600 MSG-3 LOGIC ANALYSIS - LEVEL 2, ROUTE 8 (HIDDEN FUNCTION - SAFETY EFFECTS)		MSI-REF. 26-19-00	
ITEM	SMOKE DETECTION, UPPER DECK CARGO COMPARTMENT		
FFC-REF.	FAILURE CAUSE 1A 1.1 Electrical failure 1A 1.2 Component malfunction		
TASK QUESTIONS		POSSIB. TASK	ANSWER & EXPLANATION (IF YES GIVE DETAIL OF TASK, IF NO JUSTIFY USING APPLICABILITY & EFFECTIVENESS)
8 A	IS A LUBRICATION OR SERVICING TASK APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	LUBRICATE SERVICING
8 B	IS A CHECK TO VERIFY OPERATION APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	OPERATION CHECK
8 C	IS THE ABILITY TO DETECT DEGRADATION OF THE FUNCTION BY ON OR OFF A/E TASK(S) APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	INSPECTION FUNCTIONAL CHECK
8 D	IS A RESTORATION TASK TO REDUCE THE FAILURE RATE APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	RESTO- RATION
8 E	IS A DISCARD TASK TO AVOID FAILURES OR TO REDUCE THE FAILURE RATE APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	DISCARD
8 F	IS THERE A TASK OR COMBINATION OF TASKS WHICH ARE APPLICABLE & EFFECTIVE?	Y ☒ N ☐	TASK COMB. MOST EFF. MUST BE DONE
REDESIGN ?			
SELECTED TASK(S)		TASK 1: Operational test of all smoke detection channels including associated warnings.	
PARAMETER/INTERV.		350 F/H NOTE 6	
INTERVAL		350 F/H NOTE 6	
PREPARED BY: MBB-JTQ-122		DATE: MAY 84	
AGREED MWGA-4:		DATE:	
SHEET 2 OF 12		ISSUE: 2/a	

A300-600 MSG-3 LOGIC ANALYSIS - LEVEL 1		MSI-REF, 26-19-00	
ITEM : SMOKE DETECTION, UPPER DECK CARGO COMPARTMENT		FF : FUNCTIONAL FAILURE (FF) : REF. Loss of normal or standby power supply. 3A	FFE : F. FAILURE EFFECT (FFE) : REF. None as a single failure. 3A1 other supply still available.
FAILURE EFFECT QUESTIONS		QUESTION ANSWER - EXPLANATION FOR "YES" AND JUSTIFY IF "NO"	
<pre> graph TD Q1[1. IS THE OCCURENCE OF THE FUNCTIONAL FAILURE EVIDENT TO OPERATING CREW DURING THE PERFORMANCE OF NORMAL DUTIES?] -- YES --> Q2[2. DOES THE FUNCTIONAL FAILURE OR SECONDARY DAMAGE RESULTING FROM THE FUNCTIONAL FAILURE HAVE A DIRECT ADVERSE EFFECT ON OPERATING SAFETY?] Q1 -- NO --> Q3[3. DOES THE COMBINATION OF A HIDDEN FUNCTIONAL FAILURE AND ONE ADDITIONAL FAILURE OF A SYSTEM RELATED OR BACK-UP FUNCTION HAVE AN ADVERSE EFFECT ON OPERATING SAFETY?] Q2 -- YES --> Q4[4. DOES THE FUNCTIONAL FAILURE HAVE A DIRECT ADVERSE EFFECT ON OPERATING CAPABILITY?] Q2 -- NO --> Q3 Q3 -- YES --> Q4 Q3 -- NO --> HFE[HIDDEN FUNCTION EFFECTS] Q4 -- YES --> EE[EVIDENT EFFECTS] Q4 -- NO --> HFE EE --> S1[SAFETY] --> R5[5 ROUTE] EE --> E1[ECONOMIC OPERAT.] --> R6[6] EE --> E2[ECONOMIC NON-OPER.] --> R7[7] HFE --> S2[SAFETY] --> R8[8] HFE --> NS[NON SAFETY] --> R9[9] </pre>		1 <u>YES.</u> Loss of electrical power would be indicated (Ref. ATA 24). 2 <u>NO.</u> Crew is aware of failure. No adverse effect on operating safety can be envisaged. 4 <u>NO.</u> No direct adverse effect on operating capability can be envisaged. Route 7 selected	
PREPARED BY : MBB-UTQ-122		DATE : JAN 84	
AGREED MNGA-4:		DATE :	
SHEET 8 OF 12		ISSUE : 2	

A300-600 MSG-3 LOGIC ANALYSIS - LEVEL 2, ROUTE 7 (EVIDENT-ECON. NON OPERATIONAL EFFECTS)		MSI-REF. 26-19-00	
ITEM SMOKE DETECTION, UPPER DECK CARGO COMPARTMENT		FFC-REF. FAILURE CAUSE 3A1.1 Circuit breaker fault. 3A1.2 Wiring interconnection failure.	
TASK QUESTIONS		ANSWER & EXPLANATION (IF YES GIVE DETAIL OF TASK. IF NO JUSTIFY USING APPLICABILITY & EFFECTIVENESS)	INTERVAL
7 A IS A LUBRICATION OR SERVICING TASK APPLICABLE & EFFECTIVE? ☒ Y ☐ N 7 B IS THE ABILITY TO DETECT DEGRADATION OF THE FUNCT. BY NORMAL OPERATING CREW MONITORING APPLICABLE & EFFECTIVE? ☒ Y ☐ N 7 C IS THE ABILITY TO DETECT DEGRADATION OF THE FUNCTION BY ON OR OFF A/C TASK(S) APPLICABLE & EFFECTIVE? ☒ Y ☐ N 7 D IS A RESTORATION TASK TO REDUCE THE FAILURE RATE APPLICABLE & EFFECTIVE? ☒ Y ☐ N 7 E IS A DISCARD TASK TO AVOID FAILURES OR TO REDUCE THE FAILURE RATE APPLICABLE & EFFECTIVE? ☒ Y ☐ N REDESIGN ? ☐		LUBRICATE SERVICING OPERATING CREW MONITORING INSPECTION FUNCTIONAL CHECK RESTORATION DISCARD	
		7A NO. No applicable task.	
		7B NO. No applicable task.	
		7C NO. No applicable task.	
		7D NO. No applicable task.	
		7E NO. No applicable task.	
		SELECTED TASK(S)	INTERVAL
		None	
PREPARED BY : MBB-UTE-612		DATE : OCT 83	AGREED MWGA-4:
		DATE :	SHEET 9 OF 12
		ISSUE :	1

4. Onderhoudsbewust ontwerpen als denktrant

A.L. van der Mooren*

Samenvatting en conclusies

Onderhoudsbewust ontwerpen vergt een systematische aanpak. Een stelsel van beoordelingslijsten, gebaseerd op sluitende denkmodellen, juist gestructureerd en zo nodig verbijzonderd voor bepaalde soorten objecten, vormt daarvoor een goede basis. Dergelijke lijsten kunnen niet alleen worden toegepast voor het bedenken van onderhoudsgunstige oplossingen, zij zijn ook bruikbaar voor het globaal toetsen en vergelijken van alternatieven uit onderhoudsoogpunt. Meer inzicht geven dan echter een gedragsanalyse of een kostenanalyse. Ingewikkelde systemen kunnen eventueel doorgerekend en geoptimaliseerd worden door hun onderhoudsgedrag te simuleren op de computer.

Inleiding

Onderhoudsbewust Ontwerpen beoogt om tijdens het ontwerpen van een object rekening te houden met de onderhoudsbehoefte die het gedurende zijn levensduur zal oproepen. Doel is om een onderhoudsgunstige constructie te verkrijgen, hetgeen kan worden nagestreefd door (zie fig. 1):

- de constructie onderhoudsarm te maken, d.w.z. het aantal preventieve en correctieve acties te beperken, door een hoge preventievrijheid, resp. bedrijfszekerheid in te bouwen;
- de constructie onderhoudsvriendelijk te maken, d.w.z. te zorgen dat de overblijvende acties gemakkelijk en snel, dus met weinig offers kunnen worden uitgevoerd.

* Vakgroep Werktuigkundig Ontwerpen voor de Procestechieken

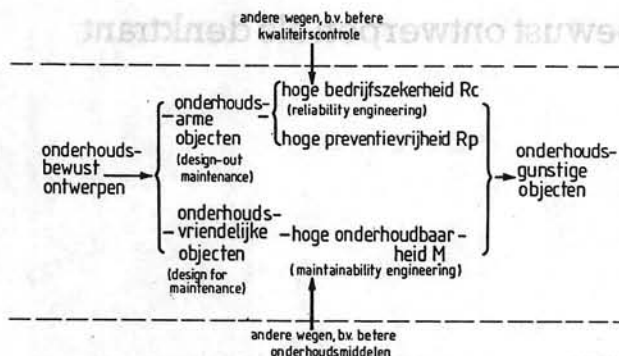


fig. 1 Wegen voor Onderhoudsbewust Ontwerpen

Dit streven wordt gerechtvaardigd door het feit dat de cumulatieve onderhoudskosten gedurende de levensduur van een object doorgaans van dezelfde orde van grootte zijn als de aanschaffkosten. Maar uiteraard vormt onderhoud slechts een van de vele aspecten die relevant zijn bij de exploitatie van een object en die in de afwegingen moeten worden betrokken. Ook moet men bij het zoeken naar onderhoudsgunstige oplossingen natuurlijk gangbare economische wetten in acht nemen. Voor zover dit niet volgens zuiver economische beslissingsregels kan geschieden, zal men een andere methodiek moeten gebruiken om eenzijdige, subjectieve afwegingen zoveel mogelijk te voorkomen [1]. Deze overwegingen voeren ons tot twee met elkaar samenhangende vragen die ik wil behandelen:

- hoe kunnen onderhoudsgunstige constructieve oplossingen worden bedacht?
- hoe kunnen constructies, zelf ontworpen of door anderen aangeboden, op hun onderhoudsmerites worden beoordeeld?

In beide gevallen zal ik mij niet beperken tot het beschrijven van bruikbare methoden, maar ook kort verwijzen naar de te volgen procedure, de manier waarop die methoden tijdens het ontwerpen tot toepassing kunnen worden gebracht. In aansluiting aan het ontwerp wil ik tot slot iets vertellen over de berekeningsmogelijkheden die ons rekenprogramma 'Mainsithe' biedt.

Constructieve richtlijnen

Bepaalde ontwerpproblemen kan men oplossen met behulp van algemeen aanvaarde rekenprocedures. Te denken valt bijvoorbeeld aan de keuze van materiaal en afmetingen van een as, gegeven zijn belasting. Wil men de bedrijfszekerheid van de as vergroten, dan geven de formules aan hoe dat kan. Maar bezien binnen het object, waarvan de as deel uitmaakt, is deze aanpak niet toereikend. Men kan namelijk de bedrijfszekerheid van de as ook vergroten door de opbouw van het object als geheel zodanig te wijzigen dat de as minder zwaar wordt belast, of zelfs door een alternatief te kiezen waarin geen as voorkomt. Op dit

niveau zijn rekenprocedures (nog) onvoldoende ontwikkeld.

Een andere mogelijkheid is om een atlas te maken van goede oplossingen. Deze kan bijvoorbeeld tonen dat de as op de juiste wijze afgerond moet zijn bij de diameterovergangen. Het opzetten van een dergelijke atlas is een monnikenwerk; mede daarom moet men zich tot eenvoudige details van de constructie beperken, zoals dat gebeurt bij zogenaamde ontwerpcatalogi. Ook deze aanpak is voor meer ingewikkelde objecten, bijvoorbeeld een luchtbehandelingsinstallatie, niet goed bruikbaar; de atlas zou onhandelbaar dik worden en voortdurend verouderd zijn.

Een derde mogelijkheid wordt gevormd door beoordelingslijsten (controlelijsten, check-lists) op te stellen, die de ontwerper kan nalopen en die hem op een aantal relevante aspecten van de toestand en van het gedrag van een component, als ook van de constructie als geheel wijzen. Daarin wordt bijvoorbeeld gevraagd of de asovergangen goed zijn afgerond en of de as op resonantietrillingen is doorgerekend. Maar ook is overwogen om de steunpunten te verleggen, of om overbelasting van het object als geheel te voorkomen of om een andere werkwijze te kiezen. Hoe deze vragen bevredigend moeten worden beantwoord in constructieve zin bij een willekeurig technisch object, moet de ontwerper, als vakman, zelf bepalen. Het antwoord zal bij een voertuig geheel anders uitvallen dan bij een installatie voor klimaatbeheersing.

Een verzameling beoordelingslijsten kan aldus een hulpmiddel vormen, dat aan de ontwerper in algemene termen de juiste vragen stelt en hem de principiële beïnvloedingsmogelijkheden aanwijst, maar dat het vinden van concrete antwoorden en het selecteren van de beste oplossing daaruit aan hemzelf overlaat. Wil deze aanpak in de praktijk succes hebben, dan moet een dergelijk stelsel van beoordelingslijsten:

- doeltreffend zijn, o.a. van toepassing zijn op alle mogelijke objecten en bovendien volledig zijn, d.w.z. alle mogelijke oplossingen binnen bereik brengen;
- doelmatig zijn, dat wil zeggen goed te gebruiken zijn in elke fase van het ontwerpproces, zonder veel inspanning door al degene die in die fase tot een goed onderwerp kunnen bijdragen.

Deze beide doeleinden kunnen worden nagestreefd door de lijsten op te bouwen vanuit inzichtelijke denkmodellen die alle relevante parameters omvatten, en door de lijsten te structureren volgens de opeenvolgende mijlpalen die tijdens het ontwerpproces worden gepasseerd: het concept, het voorontwerp en het ontwerp, zie fig. 2.

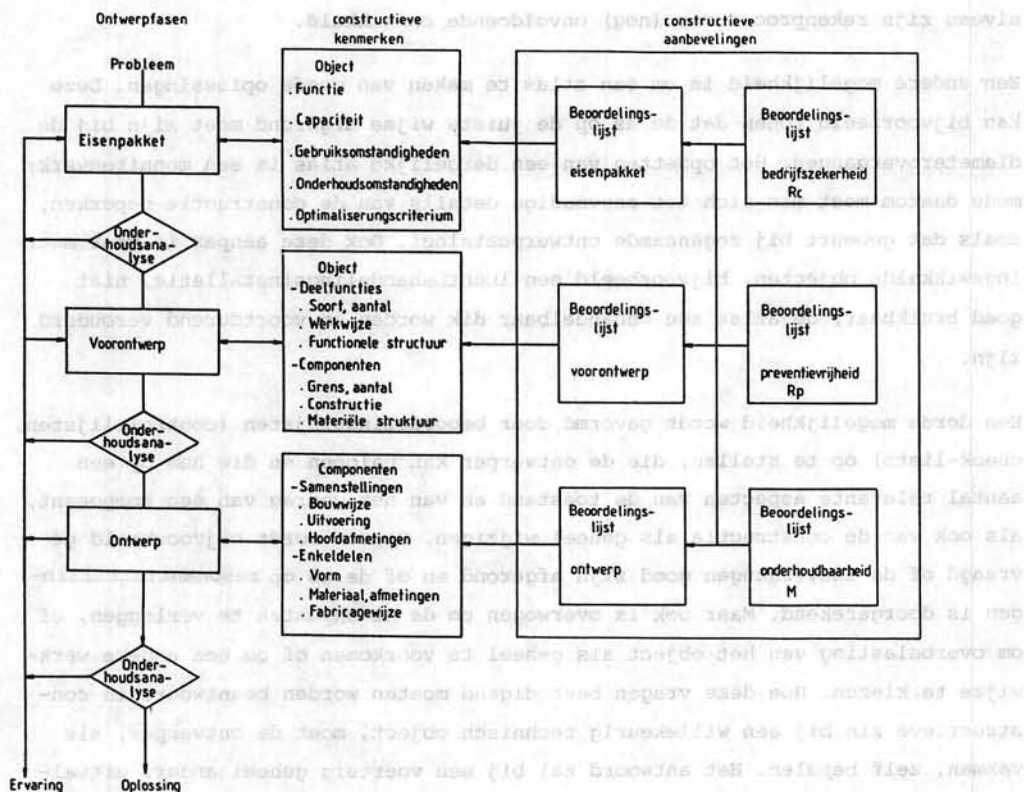


fig. 2 Procedure voor Onderhoudsbewust Ontwerpen

Denkmodellen

Dergelijke denkmodellen zijn beschreven in rapport N.V.D.O. 1983-1 [2]. Het zou te ver voeren deze alle te bespreken; ik licht er het onderhoudbaarheidsaspect uit, zoals dat in de ontwerpfase een rol speelt. Goede onderhoudbaarheid wil zeggen dat de preventieve en correctieve onderhoudsacties uiteraard veilig, maar ook met weinig offers kunnen worden uitgevoerd, dus met weinig menskracht en hulpmiddelen, snel en gemakkelijk. Beperken wij ons tot de mens, dan ligt het voor de hand uit te gaan van een ergonomisch model, dat aansluit bij zijn eigenschappen voorzover die bij zijn werk een rol spelen, en te trachten aan te geven welke kenmerken van de constructie daarop invloed hebben, zie fig. 3. Bij zijn werk heeft de mens behoefte aan de juiste werkomstandigheden, en om zijn werk goed te doen moet hij goed kunnen waarnemen, begrijpen en handelen. In de figuur zijn deze eigenschappen vermeld, alsmede een aantal constructieve kenmerken van het object, die daar invloed op hebben, bijvoorbeeld de uitwisselbaarheid van componenten.

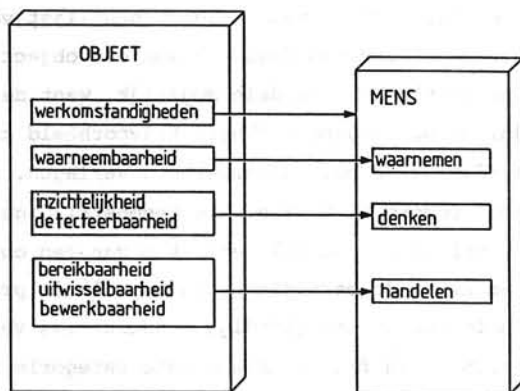


fig. 3 Denkmodel onderhoudbaarheid

Wat het kenmerk onderhoudbaarheid betreft kunnen deze aspecten primaire ingangen vormen voor de beoordelingslijsten. Elke van deze kenmerken kan weer worden verbijzonderd naar secundaire aspecten. Aan het aspect uitwisselbaarheid kunnen bijvoorbeeld in tweede instantie als deelaspecten worden onderscheiden: losneembaarheid, hanteerbaarheid en instelbaarheid. En wat de instelbaarheid betreft kan men in derde instantie o.a. wijzen op voorzieningen als centreerenden of pennen, zoekranden aan bouten en gaten, aanslagen etc.

Op overeenkomstige wijze kan men vanuit denkmodellen universele beoordelingslijsten opbouwen om de bedrijfszekerheid en de preventievrijheid van objecten te verhogen. Hoe lager het niveau van de aanbevelingen, des te concreter zij desgewenst kunnen worden toegesneden op bepaalde klassen van objecten. Het is ook gewenst dit te doen om de bruikbaarheid te verhogen. Men komt dan tot gespecialiseerde beoordelingslijsten, bijvoorbeeld voor kettingtransporteurs of luchtbehandelingsinstallaties. Dergelijke lijsten zal men als gebruiker met eigen vakmanschap eenmalig voor eigen produkt en voor eigen objecten moeten maken. Daarbij zal men ook rekening moeten houden met de eigen bedrijfsomstandigheden, bijvoorbeeld aanwezige onderhoudsmiddelen.

De 'tien' geboden

Op deze wijze krijgt men gescheiden lijsten voor elk van de genoemde aspecten: preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid. Een vraag, die waarschijnlijk al bij U is opgekomen, is of deze deelresultaten niet in elkaar

kunnen worden geschoven tot een 'grootste gemene deler', een lijst van aanbevelingen om de drie aspecten van het onderhoudsgedrag van een object gelijktijdig te bevorderen. Maar dat is slechts ten dele mogelijk, want de aanbevelingen kunnen strijdig zijn; goede toegankelijkheid bijvoorbeeld kan een constructie verzwakken en daardoor zijn bedrijfszekerheid verlagen. Ontwerpen blijft het zoeken naar het beste compromis tussen vele tegenstrijdige eisen en wensen. Maar toch is het mogelijk een aantal kenmerken van een object te formuleren die in het algemeen zowel de bedrijfszekerheid, als de preventievrijheid en de onderhoudbaarheid van werktuigkundige constructies verhogen. Zij zijn als 'tien geboden' vermeld in fig. 4. Als eerste categorie kunnen de volgende aanbevelingen ten aanzien van de constructieve kenmerken worden genoemd:

TIEN GEBODEN VOOR EEN ONDERHOUDSGUNSTIGE CONSTRUCTIE

1. Vereenvoudig de constructie
2. Gebruik genormaliseerde componenten
3. Verbeter de toegankelijkheid
4. Verbeter de uitwisselbaarheid
5. Pas modulaire bouw toe
6. Bevorder ongevoeligheid voor menselijke fouten
7. Bevorder ongevoeligheid voor schade
8. Bevorder bepaalbaarheid van conditie
9. Pas het "eigen-hulp" beginsel toe
10. Lever onderhoudshandleiding mee

fig. 4 'Tien geboden' voor een onderhoudsgunstige constructie

- Eenvoud. Streef naar een gering aantal componenten. Beperk het aantal bewegende delen. Vermijd onnodige onderlinge verschillen. Rangschik de componenten goed waarneembaar in logische samenhang.
- Normalisatie. Streef naar goede bekende, liefst genormaliseerde of gestandaardiseerde componenten.
- Toegankelijkheid. Streef naar goede bereikbaarheid, in het bijzonder van de componenten die het meest preventieve en/of correctieve acties vergen. Denk daarbij aan eventueel gebruik van uitrusting en aan de mogelijkheid tot in- en uitbouwen. Vergelijk bijvoorbeeld de 2 varianten voor een draaipunt met sluitbussen in fig. 5.

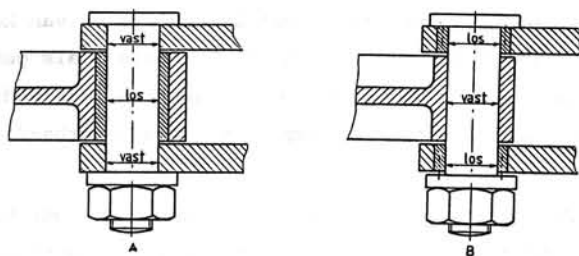


fig. 5 Plaatsing van slijtbussen in draaipunt

A ongunstig

B gunstig

- Uitwisselbaarheid. Streef, voor zover de bedrijfszekerheid dat toelaat, naar goede losneembare verbindingen en naar goede instelbaarheid, in het bijzonder van de componenten die het vaakst correctieve acties vergen.

Aan deze aanbevelingen is, zeker bij complexe objecten, moeilijk te voldoen zonder in volumineuze constructies te vervallen. Vandaar de aanbeveling tot:

- Modularisatie. Overweeg of het gewenst is een modulaire (hiërarchische) opbouw te kiezen. Weeg daarbij o.a. de nadelen van extra aansluitvlakken tussen de modules af tegen de voordelen van bedrijfszekere verbindingen binnen de modules en de geringere kans op sleutelfouten.

Vervolgens kan een aantal aanbevelingen worden geformuleerd die zijn gericht op het verbeteren van belangrijke gedragseigenschappen door toevoegen van hulpcomponenten. Als aanbevelingen in deze categorie kunnen worden genoemd:

- Maak de constructie ongevoelig voor menselijke fouten (fool-proof), niet alleen bij bediening, maar ook bij onderhoudsacties. Denk aan het beperken van preventieve acties (smeren, bijvullen, aftappen, bijstellen etc.) en het uitsluiten van verwisselingsfouten.
- Maak de constructie ongevoelig voor schade door hem voor te bereiden op overbelasting, te zorgen dat falen van een component niet tot falen van het object leidt (redundantie) en/of te zorgen dat volgschade wordt beperkt of voorkomen.
- Zorg dat de conditie van (critieke) componenten van het object op eenvoudige wijze te bepalen is, bij stilstand en zo nodig in bedrijf. Denk in dit verband aan inspectieopeningen, ingebouwde meetpunten en testapparatuur, signaleringen, alarmeringen en apparatuur voor conditiebewaking.

Opgemerkt zij dat de toegevoegde hulpcomponenten de constructie minder een-

voudig maken. Men moet dus terdege nagaan wat de invloed is van het toevoegen van hulpcomponenten op het onderhoudsgedrag van het object als geheel. Uiteraard is het gewenst t.a.v. de hulpcomponenten te streven naar bedrijfszekere, preventievrije en goed onderhoudbare oplossingen; in dit verband de aanbeveling:

- Maak zo mogelijk gebruik van het beginsel van eigen hulp door voor de gewenste acties reeds in het object aanwezige energie- en informatiebronnen te benutten en slechts eenvoudige overdrachtsmiddelen toe te voegen. Vergelijk bijvoorbeeld de twee varianten voor het afdichten van het mangatdeksel van een drukvat in fig. 6.

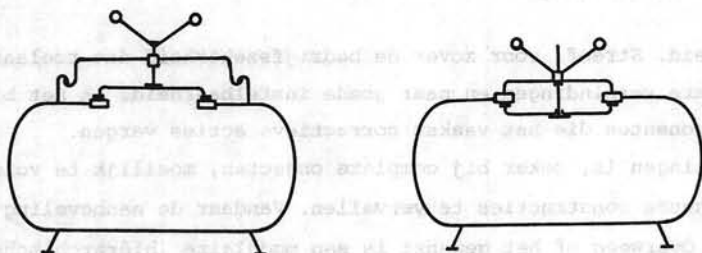


fig. 6 Drukvat met zelfafdichtend mangatdeksel

Tenslotte zij gewezen op het feit dat de onderhoudshandleiding, niet minder dan de bedieningshandleiding, een onmisbaar deel van het ontwerp vormt; voor de gebruiker om de juiste onderhoudsacties efficiënt te kunnen uitvoeren, voor de ontwerper om zijn werk te controleren. Vandaar de laatste aanbeveling:

- Lever volledige en duidelijke onderhoudsvorschriften mee, afgestemd op kennis, inzicht en taalgebruik van de gebruiker.

Opgemerkt zij dat de mogelijkheden om aan deze aanbevelingen te voldoen, in sterke mate worden bepaald door eerdere beslissingen t.a.v. het eisenpakket en voorontwerp; reeds in die stadia worden gelegd voor een onderhoudsgunstige constructie.

De ontwerpbeoordeling

Het is niet voldoende te weten aan welke constructieve kenmerken een onderhoudsgunstig object moet voldoen, het is ook noodzakelijk dat de ontwerpprocedure op de juiste wijze verloopt. De ontwerper moet over de juiste informatie kunnen beschikken, bijv. aangaande de bedrijfsomstandigheden van het te ontwerpen object, of bepaalde constructieve oplossingen hebben bewezen wel of niet te voldoen, etc. De trefwoorden zijn hier: informatie-terugkoppeling-overleg.

Wordt hieraan voldaan, dan mag men aannemen dat goede alternatieven kunnen worden bedacht en rijst de cruciale vraag: hoe kies ik het beste, optimale alternatief eruit? Wij stelden reeds dat dit zoeken is naar het beste compromis, hetgeen systematische afweging vereist van vele functionele aspecten. Eén van die aspecten die moeten worden meegewogen is het onderhoudsaspect. En dit vereist weer een methodiek om de kwaliteiten die een alternatief uit onderhoudsoogpunt heeft, te kunnen inschatten. Deze stap behoort deel uit te maken van het ontwerpproces en wij zullen nagaan welke methoden wij in beginsel kunnen kiezen voor deze operatie, die wij onderhoudsanalyse zullen noemen.

De eerste methode maakt gebruik van de reeds genoemde beoordelingslijsten, we zullen deze check-list-analyse noemen. Voor elk alternatief wordt systematisch nagegaan in hoeverre aan de aanbevelingen wordt voldaan. Langs deze weg is het alternatief dat uit onderhoudsoogpunt het beste scoort, aan te wijzen; voor meer details aangaande deze techniek verwijs ik naar [4].

Meer informatie geeft de onderhoudsgedraganalyse. Deze methode beschouwt eerst alle componenten van een object met het doel na te gaan of zij preventieve en/of correctieve acties vergen en hoe die moeten worden uitgevoerd. Een dergelijke analyse van de ventilatorkast volgens fig. 7 roept dan al vraagtekens op ten aanzien van de onderhoudbaarheid met betrekking tot het vervangen van de V-snaren en het uitbouwen van de electromotor. Vervolgens wordt nagegaan hoe vaak die acties moeten worden uitgevoerd en hoe groot daarvoor de offers in de tijd zijn. Het is doelmatig bij deze kwantificering met een grove indeling in klassen te werken. Indien men de beoordelingsschalen daarop afstemt, kan men door vermenigvuldiging een schatting krijgen van de benodigde onderhoudsuren per component over een zekere periode, en daarmee van sterke en zwakke plekken in de constructie. Voor details van de techniek zij wederom verwezen naar [4]. Het moet duidelijk zijn dat de ontwerper zelf in het algemeen niet alle kennis in huis heeft om de schattingen uit te voeren; samenwerking met gebruiker en onderhouder is daarom geboden.

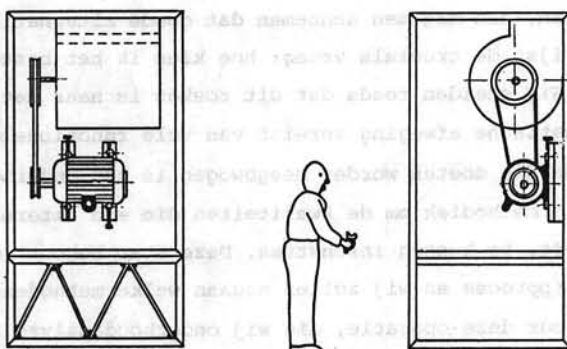


fig. 7 Ventilatorkast met onderhoudsproblemen

Nog beter is het indien onze schattingen betrekking hebben op geldbedragen. Daartoe kan de gedragsanalyse worden uitgebreid tot een onderhoudskostenanalyse, door niet alleen uurloonkosten in rekening te brengen, maar ook kosten van reservedelen, gebruik van outillage etc. Het resultaat kan dan bestaan uit een schatting van de onderhoudskosten gedurende een zekere periode. Eventueel kunnen ook onderhoudsafhankelijke kosten (productie-uitvalkosten) in rekening worden gebracht.

Op grond van de resultaten van een kostenanalyse kunnen verschillen in onderhoudskosten van alternatieven volgens bekende economische regels worden afgewogen tegen bijvoorbeeld verschillen in aanschafprijs, energetisch rendement etc. Een dergelijke afweging zal men ook willen maken indien men slechts over de niet in geld uitgedrukte resultaten van een gedragsanalyse of een checklist-analyse beschikt. Het beste wat men in zo'n geval kan doen is de niet op geld waardeerbare technische kenmerken en de wel in geld waardeerbare economische kenmerken geschieden te verwerken tot twee deelbeoordelingen, zie fig. 8. Deze keuzetechniek voor ontwerpproblemen, bedacht door Kesselring, maakt besluitvorming systematisch en inzichtelijk. Ook deze techniek is uitvoerig beschreven in [3]. Wel moet men uiteindelijk op grond van technisch en commercieel inzicht beslissen of men de voorkeur geeft aan een evenwichtige oplossing, dan wel aan een ontwerp dat óf in technisch óf in economisch opzicht hoger scoort.

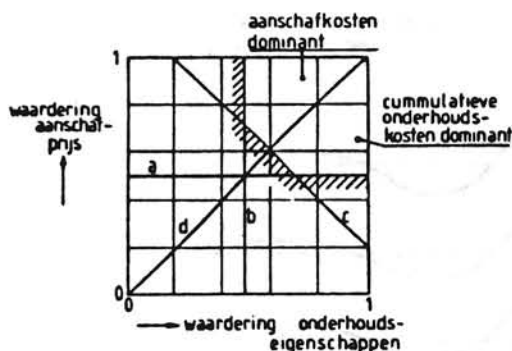


fig. 8 Onderhoudskeuzediagram

Rekenprogramma 'Mainsithe'

Hoewel de genoemde methoden voor onderhoudsanalyse in vele gevallen (vrij) snel de zwakke plekken in een constructie zichtbaar maken en een goed hulpmiddel zijn bij de keuze uit alternatieven, zou het niet goed zijn indien hiermee de mogelijkheden tot de systematische analyse van werktuigkundige objecten uitgeput zouden zijn. In onze vakgroep beschikken wij over een rekenprogramma dat het onderhoudsgedrag en de onderhoudskosten van een object kan simuleren [4]. Daarbij wordt uitgegaan van gebruiksaafhankelijke preventieve acties en van correctieve acties die mede door het toeval worden bepaald, zowel qua tijdstip als qua uitvoeringsduur. Om dit programma te kunnen gebruiken worden de faal- en herstelgegevens van componenten ingevoerd, evenals allerlei 'prijskaartjes'. Het is dan eenvoudig de invloed van bijvoorbeeld bedrijfszekerder componenten of van een korter vervangingsinterval op de onderhoudskosten na te gaan, zie fig. 9. Dit geldt in het bijzonder voor ingewikkelde systemen die met de hand niet goed meer door te rekenen zijn.

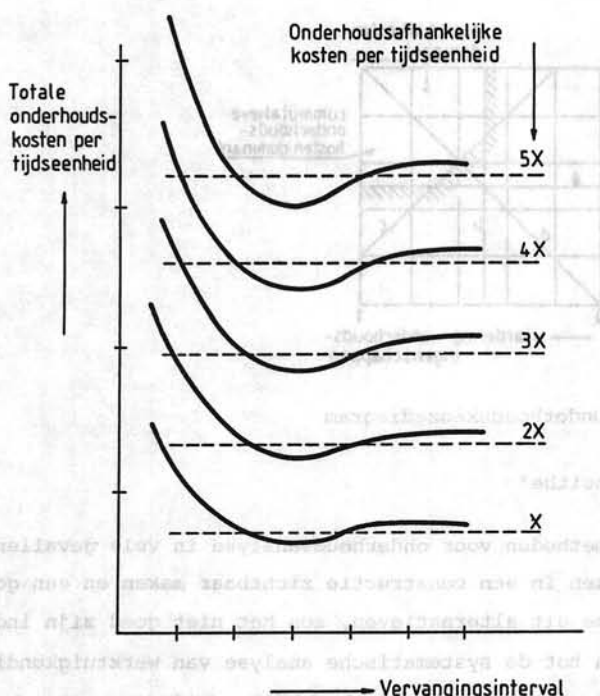


fig. 9 Invloed vervangingsinterval op onderhoudskosten

Literatuur

- [1] Mooren, A.L. van der, Evaluatie in de ontwerpfase van werktuigkundige objecten, N.V.D.O.-rapport 1983, nr. 3, N.V.D.O., Den Haag.
- [2] Onderhoudsbewust Ontwerpen in de werktuigbouw, N.V.D.O., Den Haag.
- [3] Mooren, A.L. van der, en Smith, P., Onderhoudsgedrag van werktuigkundige objecten, de Constructeur 1983, nr. 8, p. 36-45.
- [4] Hankmann, W., Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt, Post-Academische Cursus Bedrijfszekerheid en Onderhoud in ziekenhuizen, Wolfheze, 7, 8 en 9 oktober 1986.
- [5] Mooren, A.L. van der, Onderhoudsgedrag van werktuigkundige objecten (5), De Constructeur, 1985, nr. 4, pag. 44-51.

5. Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt

W. Hankmann*

Vrijwel alle technische objecten zijn tijdens gebruik onderhevig aan achteruitgang van hun conditie door slijtage, corrosie etc. Indien de conditie van één of meer van hun componenten een zekere grens overschrijdt, kan het object zijn functie niet meer volgens gestelde eisen vervullen: het faalt. Objecten worden daarom gewoonlijk onderhouden gedurende hun gebruiksduur teneinde hun conditie vast te stellen, te handhaven of te verbeteren. Men kan dergelijke onderhoudsacties aan componenten preventief uitvoeren met het doel falen van het object tegen te gaan; treedt niettemin falen op, dan moet men door correctieve acties de vereiste conditie herstellen. Gegeven de gebruiksomstandigheden schuilt in de keuze van de aard en het aantal van de preventieve acties aan componenten, een belangrijk hulpmiddel om de onderhoudskosten te minimaliseren van een bestaand object. In de ontwerpfase van een object kan men bovendien zijn constructie nog beïnvloeden en streven naar minimale levensduurkosten; daarbij kan bij voorbeeld worden afgewogen of een goedkope component met korte standtijd die vaak wordt vervangen, voordeliger is dan een dure component met lange standtijd die zelden wordt uitgewisseld.

Om dit onderhoudsproces te kunnen optimaliseren, in het bijzonder uit een oogpunt van kosten, moet het in kwantitatieve zin worden beschreven. Omdat het verloop van het proces mede door toevallige factoren wordt bepaald, zoals de standtijd van de componenten, moet dit in statistische termen gebeuren [1].

Wat het aantal preventieve en correctieve acties betreft kan men de preventievrijheid R_p en de bedrijfszekerheid R_c als kenmerkende grootheden definiëren. Wat de omvang van de acties betreft valt in eerste aanleg te denken aan hun tijdsduur; op deze maatstaf kan de onderhoudbaarheid M als kenmerkende grootheid worden gebaseerd. R_p , R_c en M van een object kunnen worden aangeduid als

* Vakgroep Werktuigkundig Ontwerpen voor de Procestechnieken
Technische Universiteit Eindhoven

zijn onderhoudseigenschappen; samen karakteriseren zij zijn onderhoudsgedrag onder de gegeven omstandigheden.

Het blijkt mogelijk relaties van kwalitatieve aard aan te geven voor een object tussen enerzijds zijn onderhoudseigenschappen en anderzijds bepaalde kenmerken van zijn constructie, zoals bij voorbeeld zijn bouwwijze [2]. Daaruit kan men aanbevelingen afleiden in de vorm van beoordelingslijsten (check-lists) die men kan gebruiken als hulpmiddel om onderhoudsgunstige oplossingen te bedenken in de opeenvolgende ontwerpfasen: eisenpakket, concept en voorontwerp, alsmede het ontwerp, zie fig. 1 [3]. Dergelijke aanbevelingen hebben in eerste aanleg betrekking op één van de genoemde onderhoudseigenschappen: R_p , R_c of M , en kunnen deels strijdig blijken te zijn in hun constructieve uitwerking; in dat geval moet, zoals steeds bij het ontwerpen, naar het beste compromis worden gestreefd.

Nu is het in het algemeen ondoelmatig om te trachten van meet af aan met al deze specifieke aanbevelingen rekening te houden, voor zover dit constructief al uitvoerbaar blijkt. Nog afgezien van genoemde, mogelijke tegenstrijdigheden, valt immers te verwachten dat dit gepaard gaat met extra stichtingskosten waarvan geenszins vaststaat dat zij inderdaad worden gerechtvaardigd door lagere onderhoudskosten. Maar anderzijds is het evenmin wijs het onderhoudsconcept volledig te verontachtzamen tot uitgewerkte alternatieven op tafel liggen. Het ligt voor de hand als tussenweg een beperkt aantal algemene aanbevelingen te formuleren waarvan mag worden aangenomen dat zij gewoonlijk zowel R_p , als R_c en M van de oplossing zullen bevorderen; zie bijvoorbeeld fig. 2, de 'tien geboden', die betrekking hebben op de ontwerpfase.

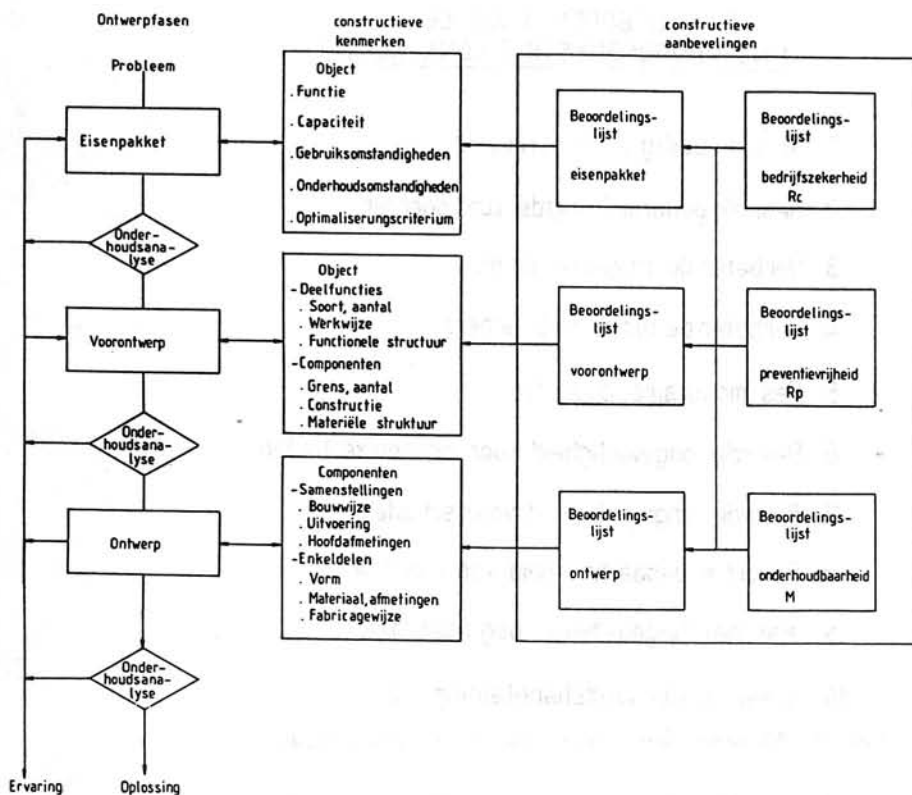


fig. 1 Werkschema Onderhoudsbewust Ontwerpen

TIEN GEBODEN VOOR EEN ONDERHOUDSGUNSTIGE CONSTRUCTIE

1. Vereenvoudig de constructie
2. Gebruik genormaliseerde componenten
3. Verbeter de toegankelijkheid
4. Verbeter de uitwisselbaarheid
5. Pas modulaire bouw toe
6. Bevorder ongevoeligheid voor menselijke fouten
7. Bevorder ongevoeligheid voor schade
8. Bevorder bepaalbaarheid van conditie
9. Pas het "eigen-hulp" beginsel toe
10. Lever onderhoudshandleiding mee

fig. 2 Algemene aanbevelingen in de ontwerpfase

Het lijkt gewenst bij het ontwerpen vanaf het begin dergelijke algemene aanbevelingen op te volgen, voor zover zij althans geen of weinig stichtingskosten oproepen. Specifieke aanbevelingen ter verhoging van R_p of R_c of M kan men -zeker als deze kostenverhogend werken- beter in tweede instantie nastreven, nadat een evaluatie heeft aangetoond dat het te verwachten gedrag van bepaalde componenten en/of het object als geheel, niet aan de gestelde eisen of wensen voldoen. Indien deze pogingen niet tot een of meer aanvaardbare alternatieven leiden, moet men terugkeren tot het voorontwerp of zelfs tot het eisenpakket, en trachten alsnog in die ontwerpfase betere alternatieven te bedenken.

De ontwerpprocedure, iteratief van aard, levert gewoonlijk meerdere alternatieven op; zij vormen het uitgangspunt bij het zoeken naar het optimale ontwerp, als oplossing van het gestelde probleem. Om de procedure te kunnen afwerken, moet men beschikken over een methode om de te verwachten onderhoudseigenschappen van alternatieven te evalueren, zowel in de voorontwerp- als in de ontwerpfase. Wij stellen aan deze methode, die wij kortweg onderhoudsanalyse zullen noemen, de volgende eisen:

1. de methode moet aangeven welke componenten binnen een alternatief uit onderhoudsoogpunt de zwakke plekken vormen en in welke mate dat het geval is, zodat men die eventueel volgens een prioriteitsvolgorde kan elimineren.
2. de methode moet leiden tot een samenvattend oordeel over het onderhoudsgedrag van een alternatief als geheel, zodat vergelijking van alternatieven onderling en met externe normen mogelijk is.
3. het samenvattend oordeel over het onderhoudsgedrag moet zijn gegoten in een vorm die combinatie met andere kwaliteitskenmerken toelaat om selectie van het beste alternatief als oplossing van het ontwerpprobleem mogelijk te maken.

Afhankelijk van de objecteigenschappen waarop men de onderhoudsanalyse baseert, komen de volgende mogelijkheden in aanmerking om deze uit te voeren:

- constructieanalyse waarbij wordt nagegaan in hoeverre de constructieve kenmerken van het object aan algemene en/of specifieke aanbevelingen voldoen.
- gedragsanalyse waarbij uit de constructie en zijn gebruiksomstandigheden wordt afgeleid welke onderhoudsacties naar aard en aantal zijn te verwachten.
- kostenanalyse waarbij uitgaande van de gedragsanalyse de hoogte van de onderhoudskosten wordt bepaald.

Bij de uitwerking van deze mogelijkheden laten wij verder het voorontwerp buiten beschouwing en beperken ons tot het ontwerp. Om goed bruikbaar te zijn moet de analyse kwantitatief van aard zijn; vooraf worden daarom in aanmerking komende beoordelingsschalen besproken. Dit eerste deel wordt afgesloten met een samenvatting en met een evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van de drie methoden.

Beoordelingsschalen

De beoordelingsschalen van alternatieven moet steunen op waardering van één of meer relevante kwaliteitscriteria, bijvoorbeeld de eenvoud van de constructie. Bij een kwantitatieve beoordeling moet men elke alternatief door middel van een getal een plaats toewijzen op een beoordelingsschaal. Men onderscheidt de volgende schalen(fig. 3) [4]:

- de nominale schaal: de getallen dienen slechts ter identificatie van de alternatieven; voorbeeld: identiteitsnummer, zoals rugnummers van voetballers.
- de ordinale schaal: de getallen geven de rangorde aan waarin de alternatieven in toe- of afnemende mate aan een kwaliteitskenmerk voldoen; voorbeeld:

- voorkeur, bijvoorbeeld de volgorde van de top-tien van de hit-parade.
- de intervalschaal: de getallen geven de kwaliteitsverschillen aan tussen de alternatieven, hetgeen vereist dat voor de schaal een (constante) kwaliteits-eenheid wordt gedefinieerd; voorbeeld: temperatuur in $^{\circ}\text{C}$.
 - de ratioschaal: de getallen geven recht evenredig de kwaliteitsverhouding aan tussen twee alternatieven, hetgeen vereist dat voor de schaal een (constante) kwaliteitseenheid en een kwaliteitsnulpunt worden gedefinieerd; voorbeeld: aantal, lengte, tijd, kosten, temperatuur in K.

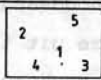
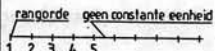
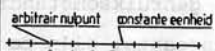
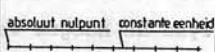
schaal	schematische voorstelling	voorbeeld	toelaatbare reken-kundige bewerkingen
nominale schaal		rugnummers	geen
ordinale schaal		top-tien	geen
interval- schaal		temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	optellen en aftrekken
ratio- schaal		lengte	optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen

fig. 3 Beoordelingsschalen

De nominale schaal is onbruikbaar om tot keuzen te komen omdat men daarop wel kan aangeven dat alternatieven tot een bepaalde groep behoren, maar niet hun kwaliteitsverschillen tot uitdrukking kan brengen; wij laten deze verder buiten beschouwing.

De ordinale schaal legt een rangorde van de alternatieven vast, zonder een uitspraak te doen over de grootte van de verschillen of de verhouding van hun kwaliteiten. Logische conclusies zijn wel mogelijk (bijvoorbeeld als A beter is dan B en B is beter dan C, dan is A beter dan C), maar rekenkundige bewerkingen niet. Men kan dus niet aangeven hoeveel A van B verschilt of hoeveel maal A beter is dan B.

De intervalschal is gedefinieerd door een constante kwaliteitseenheid, zodat optellen en aftrekken van de gegeven waarderingen is toegestaan. Men kan dus aangeven dat A en B 2 eenheden verschillen of dat het verschil tussen A en B 2x zo groot is als het verschil tussen B en C. Het eventuele nulpunt van de

schaal heeft geen fysische betekenis en kan arbitrair worden gekozen; daarom zijn vermenigvuldigen en delen niet toegestaan; men kan dus niet aangeven dat A $2x$ zo groot is als B.

De ratioschaal veronderstelt niet alleen een constante eenheid, maar ook kennis van het absolute nulpunt op grond van metingen of theoretische overwegingen, zoals dat bij fysische grootheden mogelijk is. De schaal laat alle rekenkundige bewerkingen toe, ook vermenigvuldigen en delen, zodat bij kenmerken die op deze schaal zijn afgebeeld niet alleen kan worden gesteld dat bij voorbeeld A en B drie eenheden verschillen, maar bijvoorbeeld ook dat A $4x$ zo goed is als B.

In de praktijk zal men de beoordeling van alternatieven meestal op grond van meer dan één kwaliteitskenmerk willen vaststellen. Daartoe moeten dus een aantal deelbeoordelingen worden gecombineerd, bijvoorbeeld ten aanzien van de mate waarin aan elk van de 10 geboden wordt voldaan.

Uit het voorgaande blijkt dat dit in feite niet mogelijk is indien één of meer deelbeoordelingen zijn gebaseerd op een ordinale schaal, want die laat geen optellen toe, terwijl vermenigvuldigen al helemaal uit den boze is. Indien de deelbeoordelingen zijn gebaseerd op intervalschalen met dezelfde kwaliteitseenheid, kan men wel sommeren en krijgt dan een resultaat op een intervalschaal; de ligging van het nulpunt heeft echter geen betekenis en is afhankelijk van de gekozen nulpunten van de deelschalen. Wil men het resultaat afbeelden op een ratioschaal, dan moeten ook de te combineren kenmerken op ratioschalen met overeenkomstig nulpunt en dezelfde kwaliteitseenheid zijn gewaardeerd.

Het is duidelijk dat het inschalen van alternatieven met betrekking tot een aantal kwaliteitskenmerken op ordinale, interval- en ratioschalen in deze volgorde steeds hogere eisen stelt aan de uitgangsgegevens en steeds omslachtiger wordt. Het is immers gemakkelijker ten aanzien van een bepaalde eigenschap aan te geven of A beter is dan B, dan te stellen hoe groot het verschil of de verhouding tussen A en B is. Moet of wil men met gecombineerde beoordelingen of rangordeschalen volstaan, dan moet men er rekening mee houden dat optellen tot vertekende of foute conclusies kan leiden en dat vermenigvuldigen in het algemeen ontoelaatbaar is. De implicaties van bovenstaande overwegingen zullen in het volgende duidelijk worden bij de behandeling van een voorbeeld; wij zullen ons daarbij beperken tot beoordelingen op ordinale en ratioschalen.

Constructieanalyse

Een constructieanalyse ten aanzien van onderhoudsaspecten moet worden gebaseerd op in dat opzicht relevante constructieve kenmerken. Voor het ontwerp kan men daartoe teruggrijpen op de eerder genoemde aanbevelingen ten aanzien van R_p , R_c en M , zie fig. 2. Uit deze aanbevelingen kan men aspecten schrappen die niet van toepassing zijn, en de resterende aanbevelingen desgewenst verbijzonderen; als aspect van eenvoud kan bijvoorbeeld het aantal bewegende delen worden onderscheiden. De mate waarin de alternatieven aan deze aanbevelingen voldoen, vormt een indicatie voor hun te verwachten onderhoudsgedrag. Indien de onderlinge vergelijking slechts één criterium betreft, bijvoorbeeld het aantal bewegende delen, kan men de alternatieven in de volgorde plaatsen waarin zij die eigenschap in afnemende mate bezitten. Betreft de vergelijking meerdere eigenschappen, bijvoorbeeld bovendien de werkomstandigheden, modulaire bouw en gevoeligheid voor schade, dan kan men eerst voor elke eigenschap de rangorde van de alternatieven vaststellen. Vervolgens kan men door optellen bepalen welk alternatief met de laagste totaal-score, dus als beste uit de bus komt (fig. 4). Maar omdat de deelschalen ordinale schalen zijn, is deze laatste bewerking onzuiver, zodat vertekende uitkomsten het gevolg kunnen zijn. Het rangordenummer van een alternatief houdt immers niet zonder meer evenredigheid in met de mate waarin aan het beschouwde kenmerk wordt voldaan.

KENMERK	ALTERNATIEF						
	1	2	3	4	5	6	7
a	4	2	5	1	3	7	6
b	6	1	5	7	4	3	2
c	5	3	6	4	2	1	7
d	6	4	2	3	7	1	5
e	1	3	6	2	5	4	7
som	22	13	24	17	21	16	27
rang	5	1	6	3	4	2	7

fig. 4 Rangordebepaling bij meerdere keuzekenmerken

In deze opzet tellen bovendien alle kenmerken even zwaar mee, hetgeen in het algemeen niet realistisch is. Het is wel mogelijk ook aan de belangrijkheid van de kenmerken een volgorde toe te kennen, eveneens door paarsgewijze vergelijking. Maar gebruik van de rangordenummers van de kenmerken als een soort 'weegfactor' voor de rangordenummers van de alternatieven, is ontoelaatbaar. Het rangordnummer van een kenmerk is immers niet bij voorbaat evenredig met zijn belangrijkheid zodat de vereiste vermenigvuldiging veelal tot foutieve uitkomsten zal leiden.

Bij afbeelding op een ordinale schaal kan dus geen rekening worden gehouden met de grootte van de verschillen tussen de rangnummers en evenmin met de verschillen in belangrijkheid tussen de kenmerken. Om aan deze bezwaren tegemoet te komen, kan men trachten de constructieanalyse te baseren op een ratio-schaal, dus zoeken naar eenzelfde constante eenheid van waarde en naar 'natuurlijke' nulpunten per deelschaal. Bij het waarderen van de deeleigenschappen op de deelschalen is het gebruikelijk als scores de cijfers van 0-4 of van 0-10 toe te kennen.

De nulpunten van de deelschalen worden vastgesteld door na te gaan bij welke waarde van de betreffende deeleigenschap zijn bijdrage tot de kwaliteit van het resultaat juist 0 is, dus nog niet onaanvaardbaar slecht. De hoogste waardering kan men toekennen aan een 'ideale' oplossing. Deze omzetting van de in eerste aanleg kwalitatieve beoordeling in scores, kan bijvoorbeeld gebeuren door vooraf per kenmerk aan elk toe te kennen cijfer een kwalitatieve waardering te koppelen. In het voorbeeld van fig. 5 is een dergelijk systeem opgenomen, ontleend aan [5], en wederom in relatie gebracht tot de mate waarin wordt voldaan aan enkele van de '10 geboden'.

Om te bereiken dat per deelschaal dezelfde waarde-eenheid wordt gehanteerd, moet men de hoogst mogelijke waardering corrigeren door middel van een gewichtsfactor die het relatieve belang van de deeleigenschappen in het resultaat in rekening brengt. Verschillen in belangrijkheid tussen de beoordelingskenmerken kan men uitdrukken door bijvoorbeeld 1, 10 of 100 punten over alle kenmerken te verdelen. Zodoende kan per alternatief i ($i=1.....n$) en voor elk kenmerk j ($j=1.....m$) met gewicht v_j de behaalde scores e_{ij} worden vastgesteld. Het produkt $v_j * e_{ij}$ waardeert de bijdrage die de eigenschap j levert tot de waarde van het alternatief i . De totale waarde w_i van alternatief i bedraagt dan:

$$w_i = \sum_{j=1}^m v_j * e_{ij}$$

Het beste alternatief behoort bij de hoogste waarde die aldus wordt gevonden, de kwaliteit van de overige alternatieven is naar rato minder. Met deze aanpak wordt beoogd om vanuit beoordeling op een in wezen ordinale schaal, zo goed mogelijk een ratioschaal te benaderen, en wel door op de deelschalen gelijke afstanden te creëren en bovendien aan de deelschalen reële nulpunten toe te kennen. Het valt te verwachten dat het resultaat onzuiver zal zijn, want de aard van de te waarderen kenmerken bemoeilijkt de uitvoering en vooral bij de keuze van de nulpunten kan men vraagtekens plaatsen. Niettemin zal het resultaat in het algemeen betrouwbaarder en beter gedifferentieerd uitvallen dan bij een rangordebepaling mogelijk is, zodat het extra werk toch verantwoord kan zijn.

	ALGEMENE KWALIFICATIES	RELEVANTE ONDERHOUDSASPECTEN (UIT 10 GEBODEN)			
		eenvoud	toegankelijk- heid	modulaire bouw	ongevoeligheid schade
0	zeer slecht	zeer ingewikkeld	zeer slecht	geheel afwezig	zeer gevoelig
1	gebrekkig	ingewikkeld	gebrekkig	vrijwel niet	gevoelig
2	voldoende	normaal	voldoende	enkele modulen	redelijk
3	goed	eenvoudig	goed	veel modulen	vrij ongevoelig
4	uitstekend	zeer eenvoudig	uitstekend	geheel gemodulari- seerd	ongevoelig

fig. 5 Kwantificering van onderhoudsaspecten op 5-punts schaal

Een constructieanalyse in de beschreven vorm verschaft primair een oordeel over het object als geheel en maakt dus vergelijking van objecten onderling mogelijk (eis 2). Wil men een alternatief verbeteren omdat het slecht uit de bus komt, dan kan men wel nagaan aan welke eigenschap(pen) dit ligt, maar men heeft geen directe aanwijzing aangaande de componenten die daaraan debet zijn en in welke mate (eis 1). Voor zover het oordeel op een ordinale schaal wordt verkregen, is dit ongeschikt voor combinatie met andere eigenschappen bij de selectie van het beste alternatief (eis 3). De methode voldoet dus slechts ten dele aan de gestelde eisen, is slechts beperkt bruikbaar, maar is wel eenvoudig, snel en goedkoop uit te voeren.

Gedraganalyse

Uitvoering

Om het te verwachten onderhoudsgedrag van een ontwerp op te sporen, ligt het voor de hand eerst de optredende preventieve en correctieve acties uit het ontwerp af te leiden en na te gaan hoe die moeten worden uitgevoerd. Vervolgens moet men, teneinde tot afwegingen en beslissingen te kunnen komen, bepalen hoe vaak die acties voorkomen en hoe groot de offers zijn die zij vergen. De onderhoudsgedraganalyse van een object kan men aldus in drie samenhangende deelanalyses opsplitsen, die elk een kwalitatief en kwantitatief gedeelte omvatten en per component worden uitgevoerd (fig. 6):

- preventievrijheidsanalyse: welke preventieve acties vergt de component en hoe vaak?
- bedrijfszekerheidsanalyse: op welke wijze kan de component falen, welke correctieve acties zijn dan nodig en hoe vaak komt dat naar verwachting voor?
- onderhoudbaarheidsanalyse: wat is de werkwijze bij de preventieve en correctieve acties, welk onderhoudsniveau moet die uitvoeren, welke uitrusting is daarbij nodig en hoe groot zijn de offers, bijvoorbeeld aan manuren, die zij vergen?

AARD VAN DE ACTIES	COMPONENT	KWALITATIEF		KWANTITATIEF		
PREVENTIEF	a	1	kwantitatieve Rp-analyse wat?	kwantitatieve M-analyse hoe?	kwantitatieve Rp-analyse hoe vaak?	kwantitatieve M-analyse hoe groot?
		--	-----	-----	-----	-----
	b	1	-----	-----	-----	-----
		--	-----	-----	-----	-----
CORRECTIEF	a	1	kwantitatieve Rc-analyse wat?	kwantitatieve M-analyse hoe?	kwantitatieve Rc-analyse hoe vaak?	kwantitatieve M-analyse hoe groot?
		--	-----	-----	-----	-----
	b	1	-----	-----	-----	-----
		--	-----	-----	-----	-----

fig. 6 Opbouw van de onderhoudsgedraganalyse

De onderhoudsgedraganalyse vangt kwalitatief aan met de vraag welke componenten naar verwachting onderhoudsacties zullen vergen. Hier bestaat overeenkomst met de zogenaamde failure mode and effect analysis (f.m.e.a.), een

systematische opsporing van faalwijzen 'from bottom to top' bij technische objecten. Het begrip 'failure' is uitgebreid met de behoefte aan verzorging en inspectie; het begrip 'effect' is verbijzonderd door de resulterende onderhoudsacties.

De kwalitatieve inventarisatie moet een kwantitatief vervolg krijgen. Dit is mogelijk door de preventieve en correctieve acties in te delen in een aantal klassen, zowel wat hun te verwachten frequentie betreft als de te verwachten bijbehorende offers, zoals door de onderhoudbaarheid bepaald. De schatting van de frequentie moet worden betrokken op een vooraf vast te stellen beoordelingsperiode, bijvoorbeeld de levensduur of de revisieperiode. De schatting van de offers moet worden gebaseerd op de beschikbare onderhoudsmiddelen waarvan aard en omvang dus bekend moeten zijn. Als meetbaar kenmerk voor de onderhoudbaarheid kan bijvoorbeeld de tijdsduur (klokuren) van de betreffende onderhoudsacties worden gekozen. Voor de indeling in klassen kan gebruik worden gemaakt van de klassegrenzen en bijbehorende kengetallen, zoals die in fig. 7 en fig. 8 zijn vermeld. De kengetallen C_p en C_c waarderen de frequentie, c.q. het gemiddelde interval van respectievelijk preventieve en correctieve acties, het kengetal C_m de offers in uren voor hun uitvoering. Merk op dat de gekozen kengetallen ongeveer overeenkomen met klasse-gemiddelden; hiermee wordt een ratioschaal nagestreefd.

Kengetal C_p, C_c	Klassegrenzen	
	gemiddeld interval (jaar)	frequentie (jaar ⁻¹)
1/16	20 - 12	0,05 - 0,1
1/8	12 - 6,5	0,1 - 0,15
1/4	6,5 - 2,5	0,15 - 0,4
0,5	2,5 - 1,25	0,4 - 0,75
1	1,25 - 0,75	0,75 - 1,25
2	0,75 - 0,4	1,25 - 2,5
4	0,4 - 0,15	2,5 - 6,5
8	0,15 - 0,1	6,5 - 12
16	0,1 - 0,05	12 - 20
---	---	---

fig. 7 Mogelijke karakterisering van het aantal onderhoudsacties

De procedure voor een gedragsanalyse is elders gedetailleerd beschreven in de vorm van een handleiding [6]. De waarde van de kengetallen zal de ontwerper in het algemeen samen met de onderhoudsuitvoerders moeten schatten. De resultaten van de gedragsanalyse kunnen grafisch worden weergegeven in een 'gedragsprofiel', zie fig. 9. Daarin staan in de kolommen 2 en 3 de componenten met hun onderhoudsacties. In de kolommen 4 en 5 zijn voor alle acties de scores Cp of Cc of Cm uitgezet, in kolom 6 hun produkt:

$C_{sp} = C_p \times C_m$ voor preventieve acties

$C_{sc} = C_c \times C_m$ voor correctieve acties

Kengetal Cm	Klassegrenzen (uren)
-----	-----
1/16	< 0,75
1/8	0,75 - 1,25
1/4	1,25 - 2,5
1/2	2,5 - 6,5
1	6,5 - 12
2	12 - 20
4	20 - 40
8	40 - 80
16	> 80
-----	-----

fig. 8 Mogelijke karakterisering van de duur van de onderhoudsacties

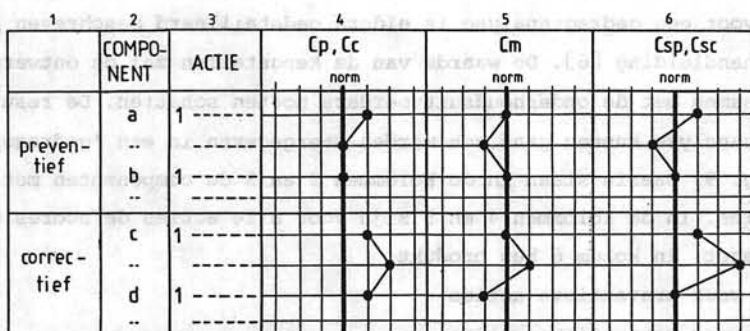


fig. 9 Onderhoudsprofiel

Aangezien de kengetallen C_p en C_c overeenkomen met de gemiddelde frequentie van de acties en het kengetal C_m evenredig is met hun duur, vormen de kengetallen C_{sp} en C_{sc} een maat voor de totale onderhoudsduur van de betreffende preventieve en correctieve acties tijdens de beschouwde periode. De som van de scores C_{sp} en C_{sc} , genomen over alle acties aan alle componenten, is dus een maat voor de totale, geschatte onderhoudsduur van het object tijdens de beschouwde periode; wel wordt zodoende geen rekening gehouden met eventuele overlappingsen. Het onderhoudsprofiel laat op overzichtelijke wijze uitschietters ten aanzien van frequentie en/of omvang van de onderhoudsacties zien, zowel in gunstige als in ongunstige zin. Met een verticale lijn kan men, per object te kiezen, een norm aangeven die de grens vormt tussen wat wel en wat niet toelaatbaar wordt geacht.

De gedragsanalyse is gebaseerd op een inventarisatie van de te verwachten preventieve en correctieve onderhoudsacties aan de componenten. Door toepassing van ratioschalen bij de kengetallen voor de frequentie en omvang van de onderhoudsacties kunnen over de beschouwde periode de totale onderhoudsoffers per component worden berekend en mag sommatie over alle componenten plaatsvinden. Een gedragsanalyse in de beschreven vorm leidt tot een oordeel over het gedrag van de componenten (eis 1) en dat van het object als geheel (eis 2). Dit samenvattend oordeel, uitgedrukt in uren, is beperkt bruikbaar bij de optimalisering (eis 3). De methode voldoet vrij goed aan de gestelde eisen, maar is ook vrij omslachtig, dus tijdrovend en kostbaar. Deze nadelen kan men veelal ondervangen door slechts een beperkt aantal 'relevante' componenten in de analyse te betrekken. Mits deze goed worden gekozen op grond van ervaring, wordt beduidend sneller inzicht verkregen in het onderhoudsgedrag van de belang-

rijkste componenten en van het object als geheel. Vergelijking met andere objecten wordt echter bemoeilijkt en het resultaat daarvan minder betrouwbaar.

Kostenanalyse

De onderhoudskosten OK omvatten in de eerste plaats de onderhoudsuitvoeringskosten met als belangrijkste bestanddelen de directe loon- en materiaalkosten voor preventieve en correctieve acties; ook indirecte kosten zoals voor gereedschappen, behoren daartoe. Bovendien zijn tot de onderhoudskosten te rekenen de onderhoudsafhankelijke kosten, opbrengstverliezen veroorzaakt door verstoring van de produktiegang die zich onder andere kunnen uiten in overwerk, produktiederving en/of deklassering. Schatting van de onderhoudskosten van alternatieven met het doel deze te kunnen afwegen tegen doorgaans vrij goed bekende verschillen in aanschafkosten, moet uiteraard vrij nauwkeurig zijn en moet daarom niet op een constructieanalyse, maar op een gedragsanalyse worden gebaseerd. De hoogte van de te verwachten onderhoudsuitvoeringskosten OUK van een object wordt gevormd door de som van de kosten voor alle preventieve en correctieve acties bij alle componenten.

$$(OUK)_p = \sum_{i=1}^n 8^* C_{sp}(i)^* p_i^* l_i + C_p(i)^* (r_i + h_i)$$

$$(OUK)_c = \sum_{j=1}^m 8^* C_{sc}(j)^* p_j^* l_j + C_c(j)^* (r_j + h_j)$$

waarin:

$(OUK)_p$ = preventieve onderhoudsuitvoeringskosten per jaar

$(OUK)_c$ = correctieve onderhoudsuitvoeringskosten per jaar

i = preventieve onderhoudsactie

n = totaal preventieve onderhoudsacties

j = correctieve onderhoudsactie

m = totaal aantal correctieve onderhoudsacties

C_{sp} = kengetal voor de totale duur van een preventieve actie

C_{sc} = kengetal voor de totale duur van een correctieve actie

p = aantal mensen per actie (ploeggrootte)

l = tarief mensuur

r = kosten reservedelen, voor zover niet begrepen in l , per actie

h = kosten hulpmiddelen, voor zover niet begrepen in l , per actie

Aangenomen is dat alle toe te rekenen kosten al in de bovengenoemde posten l , r en h zijn verwerkt. De kengetallen C_{sp} en C_{sc} kunnen worden ontleend aan het onderhoudsprofiel. De overige posten moet de ontwerper schatten, samen met

de onderhoudsuitvoerders.

Het kan moeilijk zijn om ook de onderhoudsafhankelijke kosten OAK te schatten, onder andere omdat deze sterk worden beïnvloed door de marktsituatie. Toch ontkomt men hier meestal niet aan, omdat deze kostenpost gewoonlijk van dezelfde grootte is als de onderhoudsuitvoeringskosten en mede daarom vaak impuls vormt tot het aanbrengen van verbeteringen aan bestaande objecten. In het algemeen zal men OAK kunnen splitsen in een deel dat uitsluitend afhankelijk is van het aantal produktieonderbrekingen en een deel dat afhankelijk is van de duur van die onderbrekingen. Voor preventieve, respectievelijk correctieve acties geldt dan:

$$(OAK)_p = \sum_{i=1}^n a_i * Cp(i) + b_i \sum_{i=1}^n 8 * Csp(i)$$

$$(OAK)_c = \sum_{j=1}^m a_j * Cc(j) + b_j \sum_{j=1}^m 8 * Csc(j)$$

waarin:

$(OAK)_p$ = preventieve onderhoudsafhankelijke kosten per jaar

$(OAK)_c$ = correctieve onderhoudsafhankelijke kosten per jaar

Cp = kengetal voor de frequentie van preventieve acties

Cc = kengetal voor de frequentie van correctieve acties

a = onderhoudsafhankelijke kosten per gebeurtenis

b = onderhoudsafhankelijke kosten per uur

De totale onderhoudskosten OK per jaar bedragen:

$$OK = (OUK)_p + (OUK)_c + (OAK)_p + (OAK)_c$$

Vaak leiden falen, correctieve en preventieve acties nog tot andere gevolgen, namelijk tot schade voor het object zelf en voor zijn omgeving. Denk daarbij onder andere aan (fig. 10):

- het object zelf: sleutelfouten, bekorting levensduur etc.
- andere objecten in de omgeving: beschadiging, vastlopen etc.
- de mens: onveiligheid, ongemak in de directe omgeving etc.
- het bedrijf: vergoedingen, organisatieverliezen etc.
- de markt: verlies aan goodwill etc.
- de samenleving: schade aan de mens en natuur in verre omgeving etc.

Voor zover deze schade qua frequentie en omvang meetbaar is kan men die in de kostenanalyse betrekken. De methode geeft een absolute schatting in geld van

onderhoudsbehoefte van een alternatief als geheel, alsmede van de bijdragen daartoe van zijn componenten. Daarmee is volledig voldaan aan de drie eisen die in de aanvang werden geformuleerd.

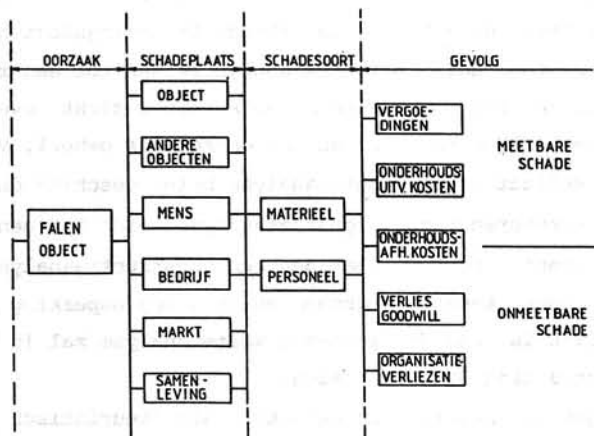


fig. 10 Ontstaan van schade door falen object

Besluit

De mérites van de besproken methoden voor het uitvoeren van een onderhoudsanalyse, te weten de constructieanalyse, de gedragsanalyse en de kostenanalyse zijn samengevoegd in fig. 11.

	WERKWIJZE			
	constructieanalyse		gedragsanalyse	kostenanalyse
- beoordelingschaal	ordinaal	ratio	ratio	ratio
- ontwerpfase				
• voorontwerp	X	0	0	0
• ontwerp	X	X	X	X
- geschiktheid				
• zwakke componenten	-	-	++	++
• vergelijking alternatieven	□	+	++	++
• optimalisatie	-	□	+	++
- benodigde middelen	gering	vrij gering	vrij veel	veel

++ uitstekend
+ goed
□ voldoende
- onvoldoende

X toepasbaar
0 niet toepasbaar

fig. 11 Vergelijking methoden voor onderhoudsanalyse

De constructieanalyse berust op analyse van de constructieve kenmerken van het object als geheel, door vergelijking met een aantal relevante aanbevelingen. Het resultaat moet soms worden afgebeeld op een ordinale schaal omdat een ratioschaal niet altijd haalbaar is. De methode geeft geen direct inzicht in zwakke componenten, wel een oordeel over het object als geheel, maar niet in

termen die bij optimalisering combinatie met andere kwaliteitskenmerken goed mogelijk maakt. De methode is relatief snel en goedkoop uit te voeren. De gedragsanalyse berust op een inventarisatie per component van de aard, de frequentie en de omvang van de benodigde onderhoudsacties; de kostenanalyse bouwt hierop voort door berekening van de onderhoudsuitvoeringskosten en de onderhoudsafhankelijke kosten. Beide methoden kunnen leiden tot een resultaat dat wordt weergegeven op een ratioschaal en beide kunnen inzicht leveren in het gedrag, zowel van de componenten als van het object als geheel. Voor de optimalisatie is het resultaat van de kostenanalyse beter geschikt dan dat van de gedragsanalyse. Het uitvoeren van een gedragsanalyse leidt tot een betrouwbaarder en beter gedifferentieerd resultaat dan een constructieanalyse, maar is vrij omslachtig, dus duur, tenzij op grond van ervaring beperking tot relevante componenten mogelijk is. Een aansluitende kostenanalyse zal in het algemeen relatief weinig extra tijd en geld vragen.

Alle drie methoden dragen een heuristisch karakter; als 'heuristisch' betitelen wij een aanpak die weliswaar niet bewijsbaar tot de beste oplossing voert, maar waarvan de ervaring leert dat deze doorgaans wel tot goede antwoorden leidt. De methoden helpen de gebruiker de analyse stapsgewijs en volledig uit te voeren. Het is te verwachten dat deze wijze van werken beter is dan een intuïtieve, ongestructureerde benadering, omdat alle aspecten achtereenvolgens aan de orde komen en op hun relevantie en mérites worden getoetst. Ook met deze methoden is echter kennis en ervaring onmisbaar; ter ondersteuning en om ervoor te zorgen dat in ieder geval de belangrijkste mogelijkheden in aanmerking worden genomen, kan worden teruggegrepen op beoordelingslijsten. Om de kans op onvolledigheid en/of onevenwichtigheid te verkleinen, moet de ontwerper de analyse bij voorkeur uitvoeren in overleg met deskundigen vanuit andere disciplines, in het bijzonder de gebruiker en de onderhouder. Overigens zijn de methoden ook geschikt om gebruikt te worden bij bestaande objecten die verbetering behoeven.

Zowel voor de onderhoudsgedragsanalyse als voor de onderhoudskostenanalyse zijn rekenprogramma's geschreven. Toepassing daarvan heeft als voordeel dat de onderhoudsanalyse in het algemeen sneller kan worden uitgevoerd en dat door de systematische aanpak de kans kleiner is dat daarbij componenten of onderhoudsaspecten over het hoofd worden gezien. Deze programma's zullen te zijner tijd als modules worden ingepast in een rekenprogramma dat ontwerpen op minimale levensduurkosten ten doel heeft in overeenstemming met het gelijknamige onderzoekthema van vakgroep W.O.P.

Literatuur

- [1] Mooren, A.L. van der, en Smith, P., Onderhoudsgedrag van werktuigkundige objecten. De Constructeur 1982, nr. 12, p. 22-28, 1983, nr. 2, p. 26-33, 1983, nr. 8, p.36-45, 1984, nr. 6, p. 38-45, 1984, nr. 8, p. 32-38 en 1985, nr. 4, p. 44-51.
- [2] Mooren, A.L. van der, en Smith, P., Onderhoudsbewust Ontwerpen in de Werktuigbouw, De Constructeur, 1981, nr. 9, p. 76-84 en 1981, nr. 10. p. 58-67.
- [3] Onderhoudsbewust Ontwerpen in de Werktuigbouw, N.V.D.O.-rapport 1983/1, Vereniging ten behoeve van Technische en Onderhoudsdiensten, 's-Gravenhage, maart 1983.
- [4] Archer, L.B., Technological innovation, a methodology, Frimley, Inforlink Ltd, 1971, 3.1-3.12.
- [5] Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, VDI-Richtlinie 2225, Blatt 1, april 1977.
- [6] Handleiding Onderhoudsgedragsanalyse, PATO-cursus Onderhoudsbewust Ontwerpen, T.H. Eindhoven, oktober 1982.

- [1] Koster, A.L. van der, en Smelt, P., Ontwikkelingsstadium van werkloosheid-
kunlijke objecten: De Constructie 1987, nr. 12, p. 52-58, 1987.
nr. 13, p. 59-63, 1987, nr. 14, p. 36-42, 1988, nr. 15, p. 38-45,
1988, nr. 16, p. 32-38 en 1989, nr. 17, p. 44-51.
- [2] Koster, A.L. van der, en Smelt, P., Ontwikkelingsstadium: Ontwerpen
in de Werklingsbouw, De Constructie, 1991, nr. 18, p. 78-84 en
1991, nr. 19, p. 58-61.
- [3] Onderzoeksbureau Samenwerkende in de Werklingsbouw, N.V.O.O.-rapport
1987, Verslag van de werkwijze van Technische en Ontwikkelings-
Bureau, 1987, maart 1987.
- [4] Koster, A.L., Technological innovation, a methodology, Technisys,
Informatiek 14, 1977, 21-1-14.
- [5] Technisch-wetenschappelijke kennisbanken, VDI-Berichte 4235,
Blatz 1, april 1977.
- [6] Handleiding Ontwikkelingswetenschap, N.V.O.O. Ontwikkelings-
Bureau, October 1987.

6. Veiligheid en onderhoud

F. Koornneef*

1. Inleiding

Het moderne ziekenhuis is niet meer denkbaar zonder hoogwaardige apparatuur en velerlei installaties. De sterke opkomst van medisch-technische apparatuur en de bijbehorende installaties in de afgelopen twintig jaar hebben het ziekenhuis grondig veranderd:

- a de mogelijkheden voor diagnostiek en therapie zijn sterk verbeterd en verruimd;
- b de bedreigingen die van deze technologische verworvenheden uitgaan, zijn aanzienlijk toegenomen in aantal en qua soort.

Een van de gevolgen van de opkomst van de techniek is, dat de patiënten korter in het ziekenhuis hoeven te verblijven, zodat per bedjaar meer patiënten aan het ziekenhuis worden blootgesteld.

Van de apparatuur en installaties moet verwacht worden, dat deze goed functioneren tijdens activiteiten die bij dienen te dragen tot de verbetering, althans niet de verslechtering van de gezondheidstoestand van de patiënten. Deze voorzieningen vergen onderhoud, indien er sprake is van meer dan eenmalig gebruik. Als subsystemen representeren ze gevarenbronnen van velerlei aard die bij normaal bedrijf beheerst moeten worden, c.q. zijn, maar ook aktueel kunnen worden tijdens of als gevolg van onderhoud. De blootgestelden aan deze gevarenbronnen kunnen patiënten zijn, maar ook personeel.

Gevaar is aanwezig, wanneer de apparaten of installaties energie in enigerlei vorm behandelen of informatie-dragers zijn waarbij de informatie bij vervorming schadelijke gevolgen kan uitlokken. Het gaat dus in de eerste plaats om het realiseren van gewenste functies al dan niet met behulp van een direkte vorm van energie of informatie, maar bij onderhoud gaat het naast het in stand

* Vakgroep Veiligheidskunde

Onderafdeling der Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen
Technische Universiteit Delft

houden van de gewenste functionaliteit(en) ook nog om beheersing van onmiddellijke gevarenbronnen tijdens het onderhoud.

In het vervolg wordt *veiligheid* benaderd vanuit het gezichtspunt van verstoring van gewenste procesfuncties en *onderhoud* als een systeemondersteunende functie. Als *kwaliteitsfactor* van het ziekenhuisfunctioneren is veiligheid relevant op deelgebieden als die van:

- a het klinisch handelen
- b de medisch-technische apparatuur en installaties
- c de arbeidsomstandigheden.

In vergelijking met andere kwaliteitsfactoren is 'veiligheid' een bijzondere: onveiligheid houdt een bedreiging in voor de gezondheidstoestand van met name patiënt en/of personeel en kan ook een bedreiging vormen voor de beschikbaarheid van middelen.

2. Veiligheidskunde in kort bestek: begrippenkader

Veiligheidskunde is het vakgebied dat zich richt op de *bedreiging* van mens en goed, die in (technologische) systemen aanwezig is. Het doel is om criteria en voorwaarden te scheppen in kwalitatieve en kwantitatieve zin, opdat deze bedreiging van de mens en zijn milieu voorkomen of beperkt wordt. Onveiligheid en *gevaar* hangen nauw met elkaar samen. Gevaren zijn verbonden aan *gevaarsbronnen*. Onder kritieke omstandigheden kan een gevaarsbron *onbeheersbaar* worden: er is dan sprake van een *incident*. Wanneer hierdoor een object wordt *bedreigd* en (aanwezige) *bescherming* onvoldoende is, dan treedt er *schade* op aan het object: nu is er sprake van een *ongeval*. Een ongeval is derhalve een incident waarbij schade optreedt.

Preventie van ongevallen kan dan ook op verschillende wijzen worden nagestreefd; figuur 1 toont de (primaire) *dimensies van ongevalspreventie* [1].

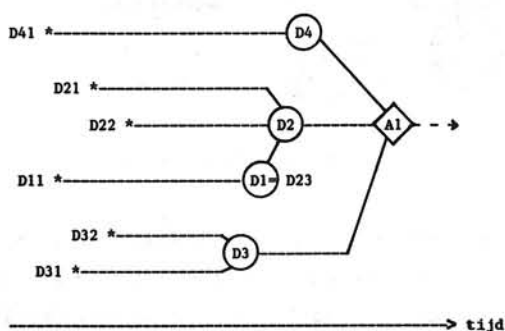


Figuur 1: dimensies van ongevalspreventie

Deze dimensies kunnen als volgt worden onderscheiden:

- de *beheersing van gevarenbron(nen)* door maatregelen gericht op:
 - a eliminatie;
 - b isolatie;
 - c bescherming tegen schadelijke effecten;
 - d beperking van schadelijke gevolgen;
- de *bescherming van bedreigde objecten*, zodanig dat:
 - a schadelijke invloeden buiten bereik blijven;
 - b schadelijke invloeden beneden de weerstandsdrempel blijven en dus geen effect hebben;
 - c volledig herstel van schadelijke effecten mogelijk is;
 - d structurele schade zoveel mogelijk wordt uitgesloten.

De derde dimensie is de factor *tijd*. Een incident of ongeval is een ongewenste gebeurtenis in een proces van activiteiten onder gegroeide omstandigheden; het verloop van dit *ongevalsproces* geeft diverse aangrijpingsmomenten voor preventief ingrijpen en curatief handelen. De onmiddellijke aanleiding tot een incident of ongeval is maar een factor en vormt de druppel die de emmer doet overlopen. In figuur 2 staat uitgebeeld hoe diverse factoren of *determinanten* kunnen leiden tot een ongeval. Het vaststellen van de verbanden tussen deze determinanten kan worden beperkt tot D4, D2 en D3, omdat in dit voorbeeld deze drie factoren de noodzakelijke voorwaarden zijn voor het ongeval A1. Het ongeval A1 wordt dus voorkomen door eliminatie van een van de factoren D2, D3 of D4: preventie-maatregelen hoeven slechts te worden getroffen voor een van deze ongevalsfactoren die elk op zichzelf een noodzakelijke, maar onvoldoende voorwaarde voor de realisatie van een ongeval vormen.



Figuur 2: ongevalsfactoren in het ongevalsproces

Het uitroepen van de onmiddellijke aanleiding van een incident of ongeval tot de verklarende oorzaak lukt symptoombestrijding uit en biedt geen basis voor een preventie-beleid. Slechts analyse van de noodzakelijk aanwezige factoren

in het ongevalsproces maakt structurele oplossingen mogelijk. Het opstellen van ongevalsscenario's biedt een mogelijkheid om op voorhand de minst aanvaardbare gebeurtenissen te identificeren en te analyseren.

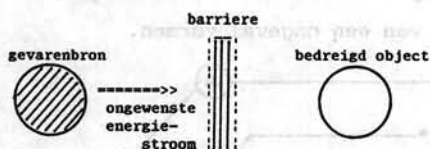
In de omschrijving van het ongevalsproces wordt geen wezenlijk onderscheid gemaakt tussen plotseling optredende en traag verlopende ongevallen: de schadevorming kan onmiddellijk zichtbaar worden, maar kan ook pas naderhand blijken na een incubatie-periode. Zo is het onderscheid tussen bijvoorbeeld lichamelijk letsel en het oplopen van een beroepsziekte of een afbraak van de mentale weerstand vanuit veiligheidsoogpunt dan ook niet essentieel.

De *filosofie* achter een ongevalspreventie-beleid is als volgt:

- 1 pak de gevarenbronnen zodanig aan, dat ze geen bedreiging meer vormen;
- 2 bescherm bedreigde objecten (mensen, goed) zodanig, dat bedreigingen geen schadelijk effect of geen blijvende schade kunnen uitlokken.

Beide benaderingen kunnen worden uitgewerkt door het aanbrengen van *barrières* tussen de gevarenbronnen en de bedreigde objecten; deze barrières zijn soms fysiek, maar ook procedurele barrières hebben hun waarde ruimschoots bewezen [2, 3].

Het concept van barrières is weergegeven in figuur 3. Alle vormen van barrières, dus ook procedurele, beogen een *scheiding in ruimte en/of tijd* tussen een fysieke gevarenbron en een bedreigd object.



Figuur 3: het barrière-concept

Daar onvoorziene en (op basis van berekend, aanvaard risico) verwachte ongewenste gebeurtenissen toch plaats kunnen vinden, is tevens een vangnet nodig:

- 3 voorzie in noodprocedures en middelen die schadebeperkend optreden bij ongeval en incident waarborgen.

Hier blijkt een belangrijk verschil met de filosofie achter brandweerschriften. De brandweer moet uitgaan van de mogelijkheid van brand: het ongeval vindt dus plaats. Het schadebeperkend handelen richt zich achtereenvolgens op:

- a de redding van slachtoffers;
- b het voorkomen dat belendende percelen in brand raken;

c het blussen van de brand zelf.

Brandweervoorschriften zijn primair gericht op het kunnen redden van mogelijke slachtoffers.

Veelal vinden ongevallen plaats onder omstandigheden waarbij sprake is van een of meer van de volgende condities die op zichzelf een *gevaarenbron van niet-technische aard* vormen:

- een *verandering* in werkwijze, organisatie, gebouw, installatie of apparatuur;
- een *fixatie* op een gangbare werkwijze of verwachte informatie, zodat een noodzakelijke, incidentele afwijking ten opzichte van de procedure of het waarnemen van afwijkende informatie wordt geblokkeerd [4];
- hervatting van een standaard-werkwijze na een *onderbreking*;
- een concentratie van *conflicterende taken*;
- onduidelijke of niet-doelmatige *verdeling van verantwoordelijkheden*;
- een overmaat, c.q. een tekort aan *werkbelasting*, zodat alertheid niet meer leidt tot doeltreffend handelen, c.q. ontbreekt [5, 6, 7];
- de *drang tot succes* in de taakuitoefening of de loopbaan.

Deze typen gevaren maken duidelijk, dat technische 'oplossingen' niet vanzelfsprekend een passende uitwerking vormen van een op preventie gericht veiligheidsbeleid [2].

3. Management en veiligheidsbeleid

Zoals in elk bedrijf moet ook in het ziekenhuis 'het management' ervoor zorgen, dat de te verrichten taken via mensen worden uitgevoerd. Management speelt dan ook op alle niveaus binnen de organisatie: "getting things done through people". De directie neemt hierbij een speciale plaats in: zij formuleert een beleid en moet voorwaarden scheppen die realisatie van het beleid mogelijk maken en ook waarborgen.

Hiertoe is nodig, dat de directie zich doelmatig op de hoogte kan stellen van de problemen die zich voordoen in het functioneren binnen de organisatie. Op basis hiervan immers moet worden besloten tot het scheppen van hernieuwde kaders voor de konkrete probleemaanpak, dan wel worden bepaald, dat oplossingen mogelijk zijn binnen de bestaande kaders of juist geen oplossing zal worden nagestreefd.

In verband met veiligheid ligt een primaire verantwoordelijkheid bij de directie: een preventie-beleid moet eerst worden vastgesteld, voordat op lagere ni-

veaus binnen de organisatie voldoende steun vanuit de bedrijfsleiding wordt ondervonden. Een blik naar het terrein van het onderhoud van apparatuur leert al spoedig, dat nog weinig prioriteit aan niet-klinisch ondersteunend handelen binnen het ziekenhuis wordt gegeven: er zijn weinig instellingen waarin de globaal noodzakelijke ca. 10% van de jaarlijkse investeringen in de aanschaf van apparatuur wordt uitgetrokken voor de instandhouding van het functioneren van deze technische hulpmiddelen. Ook de eerste ervaringen met FONA-commissies lijken erop te duiden, dat weinig of geen terugkoppeling plaatsvindt met de relevante medisch-technische diensten over incidenten of ongevallen waarin al dan niet vermeend technisch falen of onjuist gebruik van apparatuur mede een factor is, zelfs als deze diensten over hetzelfde voorval een storingsmelding hebben verwerkt. Dit is een symptoom voor een onvoldoende integrale aanpak.

Het management moet beleid formuleren en vaststellen; bovendien moet het erop toezien, dat vastgesteld beleid ook daadwerkelijk wordt uitgevoerd. Ten aanzien van veiligheid zijn met de industrialisering van het ziekenhuis tevens veel *instrumenten* ontwikkeld, die een periodieke beoordeling van het veiligheidsniveau binnen de organisatie vergemakkelijken [4, 8, 9, 10]. Om hiervan maximaal profijt te hebben, is een goede communicatie tussen het top-management en de lagere organisatie-niveaus vereist. Op top-niveau moet beslist worden over maatregelen van structurele aard en over het waarborgen van de uitvoering. Detailkennis is op dit niveau meestal ongewenst: het verhindert het evenwichtig stellen van prioriteiten.

Een bruikbare *werkwijze op top-niveau* binnen de organisatie bevat de volgende bestanddelen:

- a stel een lijst op van problemen betreffende arbeidsomstandigheden en patiënten-zorg inzake veiligheid, gezondheid en welzijn;
- b geef hierin een prioriteitstelling op basis van ernst en omvang van de risico's;
- c leg verantwoordelijkheden vast betreffende het waarborgen van de bewaking van de kwaliteit van de veiligheidszorg, c.q. het aanpakken van gestelde prioriteiten;
- d leg procedures en rapportage-vorm vast, waar nodig met inzet van checklists;
- e verwerk (gerapporteerde) ervaringen in jaarverslag en jaarplan, alsmede zoveel mogelijk in het Programma van Eisen bij (ver)nieuwbouw.

In een licht gewijzigde vorm is deze werkwijze ook bruikbaar ten aanzien van de beheersing van risico's bij het gebruik van apparatuur en installaties.

Het niveau waarop maatregelen worden ingevoerd, dient in de afweging tussen alternatieven te worden betrokken. Deel-oplossingen kunnen op de volgende niveaus worden doorgevoerd:

- . *micro-niveau* : dat van werkplek en inventaris-eenheden
- . *meso-niveau* : dat van een verzameling van afdelingen en diensten
- . *macro-niveau* : dat van de instelling (directie) of overheden.

	eliminatie	isolatie	bescherming	schadebeperking
macro	ma1	ma2	ma3	ma4
meso	me1	me2	me3	me4
micro	mi1	mi2	mi3	mi4
fase:	preventie van ongeval		incident	(post-) ongeval

Figuur 4: oplossingen-matrix

Met verwijzing naar paragraaf 2 kunnen te genereren (deel-)oplossingen worden gerubriceerd in een matrix, waarin de mate van beheersing van de gevarenbron (eliminatie, isolatie, bescherming en schadebeperking) is uitgezet tegen het niveau van doorvoering: micro, meso of macro.

De te volgen *strategie* t.a.v. de keuze van de te nemen maatregelen dient in principe te berusten op de overweging, dat de doeltreffendheid van de maatregel toeneemt naarmate de maatregel hoger komt te liggen op de diagonaal van rechts-onder (mi4: micro/schadebeperking), zie figuur 4, naar linksboven (ma1: macro/eliminatie).

Veiligheid in het ziekenhuis is een *voorwaarde* voor de realisatie van de primaire zorgfuncties. Een praktisch probleem is, dat onveiligheid ontstaat door de aanwezigheid van '*ongevalsfactoren*'. Vele hiervan zijn niet direct herkenbaar of ontstaan buiten directe verantwoordelijkheid van het management. Het is ondoenlijk om alle mogelijke ongevalsfactoren te kennen en te beheersen. Wel is het mogelijk om de meest essentiële te identificeren teneinde deze door middel van technische en/of organisatorische maatregelen onder controle te brengen.

Het verdient aanbeveling om eerst vast te stellen, welke afdelingen en/of systeem-functies vitaal zijn voor de patient. Door middel van bijvoorbeeld in nauwe samenspraak met het betrokken personeel op te stellen scenario's kan worden bepaald, welke factoren essentieel zijn voor een incident of ongeval. Gericht systematische en verifieerbare (afname-)controle van de *functionaliteit van cruciale deelsystemen* voorkomt een allesomvattend - en dus onwerkbaar - systeem van veiligheidszorg op de laagste organisatieniveaus.

4. Dodelijk onderhoud

Naast de waarborging van veiligheid in het realiseren van de primaire zorgfuncties, verdient veiligheid ook speciale aandacht in het vervullen van ondersteunende functies waaronder het onderhoud. Onderhoudswerkzaamheden kunnen niet alleen nieuwe gevaren introduceren in de primaire processen, maar leveren voor onderhoudspersoneel vele situaties van verhoogd veiligheidsrisico op.

Een Engelse studie naar dodelijke ongevallen tijdens onderhoudsactiviteiten in verschillende bedrijfstakken over een periode van 3 jaar geeft een onthullend inzicht in de factoren die ten grondslag liggen aan onveilig onderhoud. De studie [11, 12, 13] is verricht door de ongevalspreventie-adviesgroep van de Health and Safety Executive (arbeidsinspectie) op basis van rapporten over de periode 1980 t/m 1982 inzake dodelijke ongevallen in vier bedrijfstakken, te weten: de agrarische sector, industrie, mijnbouw en overslag, alsmede de bouw-nijverheid. De keuze voor rapporten van fatale ongevallen berust op het feit dat op dit vlak een betrouwbare gegevensbank bestaat en de ervaring dat dodelijke ongevallen meestal aan inspecties worden gemeld.

Van de 326 doden is bijna de helft het resultaat van *vallen*, terwijl een kwart van de slachtoffers is *verpletterd* in machines of door voertuigen. Het aantal doden in de beschouwde periode bedroeg dus 2 per week over heel Engeland. Naar schatting liepen naast de 326 geregistreerde doden ook nog ongeveer 10.000 slachtoffers ernstige verwondingen op.

Tijdens de studie is de volgende definitie voor 'onderhoud' gehanteerd:

"onderhoud omvat de reparatie, het bedrijfsgereed maken of reinigen van proces-machines, bedrijfsruimten, voertuigen, gebouwen, constructies en (transport-) wegen."

De *voornaamste conclusies* van het onderzoek zijn:

- a 83% van de (fatale) ongevallen had kunnen worden voorkomen door uitvoerbare en redelijke voorzorgsmaatregelen;
- b in circa 70% van de (on-)gevallen hadden mensenlevens kunnen worden gespaard door een positieve instelling van het management en de hiervan uitgaande (schadebeperkende) maatregelen;
- c het merendeel van de dodelijke ongevallen was te voorzien, c.q. voorspelbaar;
- d de voornaamste oorzaken:
 - * *onveilige werkwijzen/-procedures*
 - * *fouten in het aanbrengen van deugdelijke, fysieke beveiligingen*

* *zwakke bedrijfsleiding/-voering*

* *ondeugdelijke informatie over de te verrichten taak/werkplek, instructie en training;*

e *de werkzaamheden top-7:*

- onderhoud aan machines: 106 doden
- onderhoud op of aan dak: 63 doden
- onderhoud aan voertuigen: 34 doden
- schilderwerkzaamheden: 33 doden
- werkzaamheden aan gas-, water- en elektriciteitsinstallaties: 25 doden
- (overig) gebouw-reparaties: 21 doden
- schoonmaakwerkzaamheden: 20 doden;

f *globale scenario's:*

49%: vallen; 25%: verpletterd/bekneld raken;

9%: verdrinken/bedwelmd raken; 7%: elektrocutie; 6%: verbranden;

3%: inslag (aanrijding/vat-explosie); 2%: getroffen door vallend object;

g *spreiding:*

in bouwnijverheid: ca. 1/3 van jaarlijks aantal doden bij onderhoud;

in sommige industrietakken: tot 40% jaarlijks dodental bij onderhoud;

h *80% van de slachtoffers waren in loondienst.*

Tabel I: Relatie tussen ongevalstype en onderhoudsactiviteit

Maintenance activity	Accident Type							Total
	Crushed or entangled	Falls	Burns	Asphyxiation gassing or drowning	Electrocution	Impact	Struck by falling object	
Plant or Machinery Maintenance	54	21	0	16	2	0	0	93
Roofwork	0	25	14	0	0	0	0	39
Vehicle repairs	0	0	0	0	0	0	0	0
Painting or decorating	0	0	0	0	0	0	0	0
Electrical, gas & water system maintenance	0	0	0	0	0	0	0	0
Building & structure maintenance	0	0	0	0	0	0	0	0
Window & industrial cleaning	0	0	0	0	0	0	0	0
Road or river works	0	0	0	0	0	0	0	0
Scaffold work	0	0	0	0	0	0	0	0
Dockyard maintenance	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	54	21	14	16	2	0	0	107

In een aantal overzichtstabellen is samengevat onder welke omstandigheden de dodelijke ongevallen zijn ontstaan. In vrijwel alle gevallen konden meerdere oorzaken worden aangetoond.

Tabel I geeft een beter zicht op de relatie tussen ongevalstype en onderhouds-activiteit. Opgemerkt zij, dat van de vermelde onderhoudswerkzaamheden de meeste ook in het ziekenhuis voorkomen. Met de invoering van de Arbeidsomstandighedenwet gaan door derden verrichte werkzaamheden eveneens vallen onder de verantwoordelijkheid van het ziekenhuis.

Tevens is nagegaan wat de voornaamste enkelvoudige oorzaak is geweest bij elk onderzocht ongeval; de uitkomsten hiervan zijn weergegeven in tabel II voor onderhoudswerkzaamheden aan opstellingen en machines, respectievelijk werkzaamheden aan en op daken.

Tabel II: Voornaamste ongevalsfactor in de fabriek, resp. op daken

VOORNAAMSTE ONGEVALSFACITOR	DODENTAL 'machines'	DODENTAL 'daken'
systeem van werken: ontbreekt of onjuist	35	26
uitrusting, beveiligingen of werkplatforms: ontbreekt of defect	23	16
falend management/toezicht	11	2
onveilige middelen om bij werkplek te komen		8
onvoldoende training, in- structie of informatie	8	
niet goedgekeurde activiteit	5	4
foutief gedrag/'human error'	10	4
gebrekig ontwerp van fabriek of machine	5	
onbekend/onvoorzienbaar	9	3
TOTAAL	106	63

Tabel III geeft aan welke (typen) ongevalsoorzaken aangetoond zijn bij de onderscheiden onderhoudswerkzaamheden. Hierbij is de factor 'menselijk falen' pas opgevoerd, wanneer na een zorgvuldige analyse van de gebeurtenissen-keten deze factor met betrekking tot de onderhoudswerker toch relevant bleek te zijn geweest.

De opstellers van het onderzoeksrapport hebben de volgende algemene indruk opgedaan:

- * het management faalt t.a.v. (h)erkenning van gevaren of kiest voor ontkenning ervan;

- * het onderhoudswerk krijgt geen passend deel van de (geld)middelen van het management.

Tabel III: Relaties tussen ongevalsfactoren en onderhoudsactiviteiten

Accident Causes		Maintenance activity											Totals		
		Plant/Machinery	Vehicles	Electrical Gas Water Systems	Dockyards	Roofwork	Painting/Decorating	Window/Industrial Cleaning	Building/Structure	Road/River Works	Scaffold Work	Sub Total	Total	Percentage	
SYSTEM OF WORK	None or Unsafe	38	18	8	-	23	9	6	5	1	1	107	34	24	
	Inadequate	14	3	6	-	9	4	3	5	2	-	41			
	Not Maintained or Used	15	5	2	-	1	-	1	-	-	1	26			
UNSAFE	Plant or Equipment	29	11	6	1	6	5	4	5	1	1	68	21	21	
	Working Platform	7	-	1	-	4	10	4	6	-	1	33			
	Workplace or Access	3	-	2	-	25	12	5	7	1	-	65			
MANAGEMENT ORGANISATION AND/OR SUPERVISION	None	2	2	-	-	1	1	1	-	-	-	7	13.5	13.5	
	Inadequate	39	5	10	-	19	9	4	4	2	1	89			
SAFETY EQUIPMENT OR GUARDS	None	9	1	3	-	20	2	8	3	-	1	47	13.0	13.0	
	Inadequate	10	2	-	-	13	2	-	1	-	1	30			
	Not used	4	-	2	1	6	2	3	1	1	-	20			
INFORMATION, INSTRUCTION OR TRAINING	None	11	1	5	-	2	4	1	2	1	2	28	9	9	
	Inadequate	22	4	6	-	4	1	1	-	1	-	37			
HUMAN ERROR		23	13	5	-	6	6	4	3	7	1	69	9	9	
UNFORESEEABLE EVENT OR NOT KNOWN		11	1	3	-	3	3	2	1	5	3	31	4.5	4.5	
UNAUTHORISED ACTIVITY		13	-	1	3	4	1	2	1	-	-	24	3.5	3.5	
COMMUNICATION FAILURES		7	1	1	-	-	1	1	1	-	-	12	1	1	
DEFECTIVE DESIGN OF PLANT OR EQUIPMENT (Section 6 HSW Act)		6	-	2	-	-	-	-	2	-	-	10	1	1	
ADVERSE WEATHER		-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	3	0.5	0.5	
TOTAL NUMBER OF ACCIDENT ASSOCIATED CAUSES															

NB: 326 FATAL ACCIDENTS - Most involve more than one cause

Uit dit onderzoek blijkt niet alleen, dat onderhoudswerkzaamheden voor de onderhoudstechnicus een riskante aangelegenheid kunnen vormen, maar ook dat de organisatie van onderhoudsactiviteiten in de praktijk een achtergebleven gebied is. Er zijn geen aanwijzingen, dat de Nederlandse situatie in dit opzicht wezenlijk van de Engelse verschilt.

5. MORT: analytische hulpmiddelen

Dit hoofdstuk behandelt de vraag op welke manieren niet-adequaat onderhoud een ongevalsfactor kan vormen aan de hand van de M(anagement) O(versight and) R(isk) T(ree) analysetechniek [2].

De afkorting MORT staat voor twee te onderscheiden betekenissen:

- a de *MORT-boom* waarin de beheersing van risico's, verliezen en onveiligheid in een - vooraf gegeven - foutenboom geanalyseerd kan worden in termen van gebeurtenissen en onderliggende management-factoren: de MORT-boom wordt gebruikt als 'master worksheet' bij ongevalsonderzoek en bij het evalueren van veiligheidsprogramma's;
- b een *compleet programma* van methoden, technieken en benaderingen dat gericht is op de identificatie van te beheersen gevaren en de prioriteitstelling door het management.

Het MORT-proces omvat (het gebruik van) vier analytische technieken.

De eerste is *veranderingsanalyse* welke gebaseerd is op de Kepner-Tregoe methode van rationele besluitvorming. Bij veranderingsanalyse vergelijkt men een probleem-vrije toestand met een probleem-toestand (bijv. een ongeval), teneinde aan de hand van vast te stellen verschillen mogelijke ongevalsfactoren en de effecten van verandering te isoleren. Deze techniek is met name van nut, indien:

- een besluitvormer een 'snelle' analyse nodig heeft;
- een oorzaak van een probleem duister is;
- goed getraind personeel een gedrag toont dat afwijkt van dat in vroegere situaties (bijv. het ongeval op Three Miles Island: 'Harrisburg').

De tweede techniek, *energiestroom- en barrière-analyse*, berust op de aanname dat energie bij activiteit onmisbaar is en dat energie moet worden beheerst; onbeheerste, niet onder controle zijnde energiestromen kunnen leiden tot een ongeval, indien de barrières onvoldoende zijn en de mogelijkheid van aanwezigheid van blootgestelde mensen of objecten zich voordoet. Dit barrière-concept is in de MORT-boom uitgebreid met details over specifieke processen en omstandigheden op basis van de vraag:

"wat is er gebeurd?"

Deze techniek kan zeer snel worden gehanteerd, maar ook worden gebruikt in een minitieuus onderzoek: al naar gelang de beschikbare tijd en de ernst van het probleem.

De derde en meest gecompliceerde techniek is de *MORT-boom analyse*. Een combinatie van principes ontleend aan bedrijfskunde (management) en veiligheidskunde levert met gebruikmaking van de foutenboom-techniek de MORT-boom op die de onderzoeker kan helpen in het beantwoorden van de dubbele vraag:

"WAT is er gebeurd en WAAROM?"

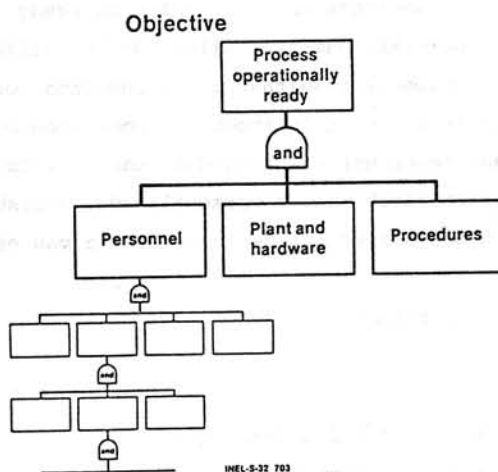
De MORT-boom bestrijkt meer dan 1500 basisgebeurtenissen (aanleiding, 'oor-

zaak'), leidend tot 98 typen problemen. Zowel de specifieke factoren in het ongevalsproces als de factoren in het management-systeem worden in de MORT-boom geanalyseerd ten aanzien van hun bijdrage aan de ongewenste (top-) gebeurtenis. *Mensen, procedures en technische (deel-) systemen* worden apart, maar in onderlinge relatie beschouwd als sleutelfactoren met betrekking tot de systeem-veiligheid.

Bij het doorlopen van de MORT-boom dient men de opeenvolgende gebeurtenissen te kwalificeren in één van de volgende categorieën:

- *onvoldoende* [LTA = Less Than Adequate],
- *meer informatie nodig*: met de beschikbare gegevens niet te beoordelen,
- *voldoende* [Adequate], of
- *niet relevant* met betrekking tot de beschouwde top-gebeurtenis.

De vierde techniek, het ontwikkelen van een *positieve* (succes) boom, keert de logica van de foutenboom om. In een positieve boom worden de elementen die nodig zijn voor een succesvolle operatie, op een overzichtelijke en logische wijze uitgelegd. Omdat de positieve boom alle (relevante) elementen toont, alsmede de volgorde waarin gebeurtenissen zich moeten voltrekken om het gestelde doel te bereiken, is deze techniek een uitstekend instrument voor planning en beoordeling van een gewenste activiteit.



Figuur 5: positieve (of succes-) boom

De MORT-boom heeft de structuur van een foutenboom, maar onderscheidt zich hiervan als analytisch gereedschap in twee opzichten:

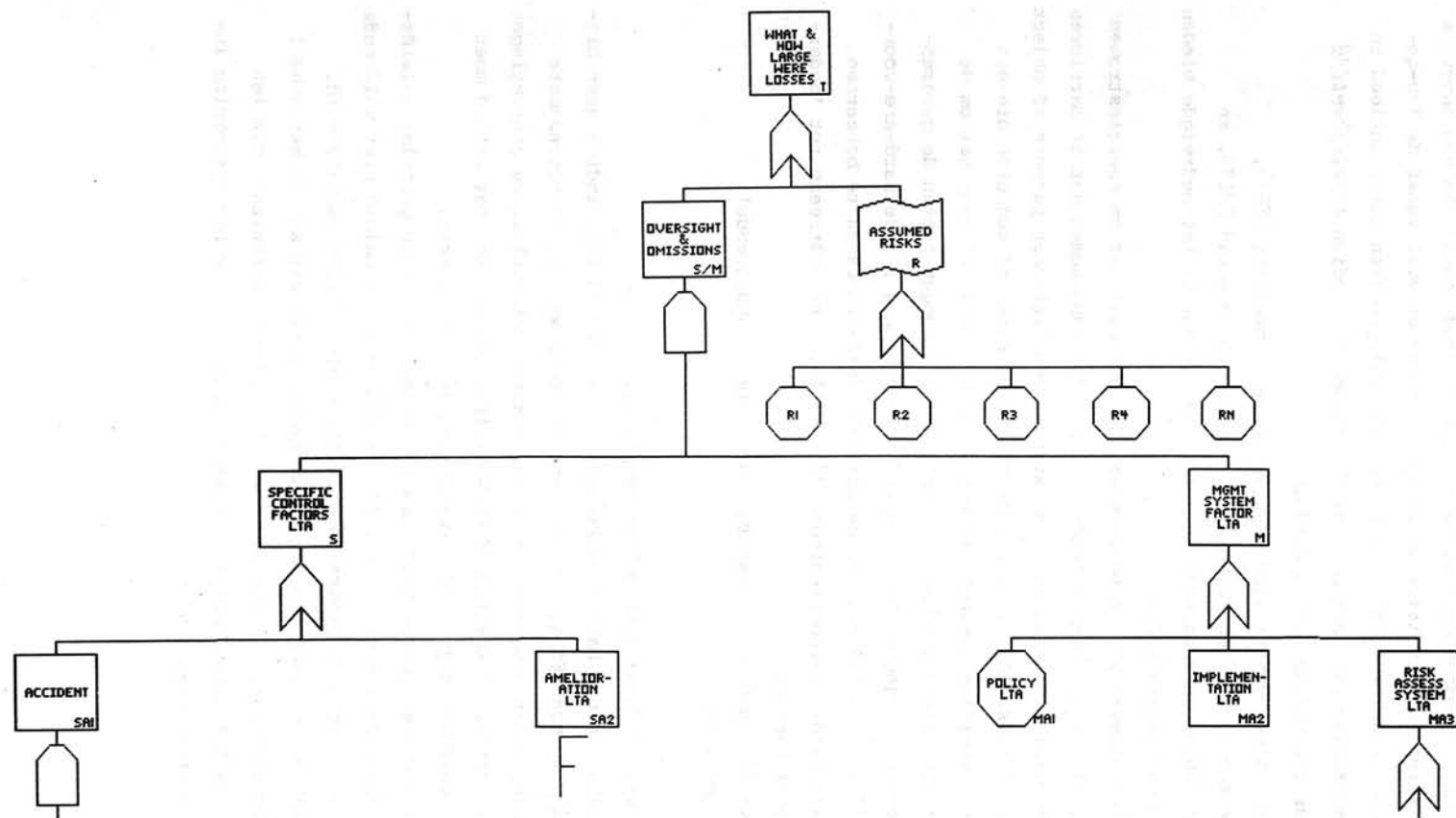
- de boom is vooraf gegeven, m.a.w. hoeft niet te worden geconstrueerd;
- niet-relevante delen van de boom mogen worden overgeslagen, zodat de MORT-boom in formele zin niet strikt logisch is in de top-down richting, maar wel omgekeerd.

Globaal heeft de MORT-boom twee hoofdtakken. De *Top-gebeurtenis* is een ongewenst resultaat van zaken die over het hoofd zijn gezien (*Oversights*) of zijn genegeerd (*Omissions*), dan wel vallen binnen bewust genomen en (derhalve) aanvaarde risico-grenzen (*Assumed Risks*). Of risico's bewust aanvaard zijn, blijkt systematisch bij het doorlopen van de MORT-boom, zie de figuren 6 en 7. Zie voor figuur 7 de uitklappagina achterin het boek.

Het optreden van 'oversights' en omissies wordt geanalyseerd in de twee onderliggende hoofdtakken die via een *EN*-poort zijn aangehangen: er vindt uiteensplitsing plaats naar fysische (ongevals-) processen en de omgevende beheersingsmechanismen - *Specific control factors* - enerzijds en achterliggende *Management-systeemfactoren* anderzijds: zie figuur 7. Beide hoofdtakken dienen te worden doorlopen, wanneer een grondige analyse van de achtergronden van een ongewenste gebeurtenis wordt beoogd; in de *S-tak* vormt de vraag "wat is er gebeurd?" leidraad voor het onderzoek en in de *M-tak* de vraag "waarom kon dat gebeuren?". Aldus wordt bereikt, dat niet alleen de feitelijke gebeurtenissen die leid(d)en tot het ongewenste resultaat in beschouwing worden genomen, maar ook de relevante beslissingen, voorzieningen en proces-voorbereidingen op de betrokken beleidsniveaus tegen het licht worden gehouden. Op deze manier kunnen punten van aandacht systematisch vanuit verschillende invalshoeken aan de orde worden gesteld, hetgeen ook blijkt uit de aanwezigheid van een zevental *deelbomen* in de MORT-boom:

- A *technische informatie-systemen*
- B *onderhoud*
- C *inspectie*
- D *aanbevolen maatregelen uit veiligheidsanalyse*
- E *ondersteuning veiligheidsprogramma's*
- F *schadebeperkende maatregelen en -voorzieningen*
- G *'human factors': verwerking van menselijke (gedrags-) factoren.*

De *deel-boom B* inzake *onderhoudsfactoren* zal nader worden behandeld: zie ook figuur 8.



Figuur 6: Top-structuur van de MORT-boom

Er zijn een aantal mogelijkheden om te stuiten op 'onderhoud' als een ongevals-factor. In de eerste plaats leidt de analyse van een ongeval vanaf de *Top*-gebeurtenis van *S/M* naar de *S-tak*, waarin het ongevalsgebeuren wordt ontleed in bijdragende omstandigheden. Het ongeval *SA1* treedt op, indien *tegelijktijd* aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- er is een potentieel gevaarlijke energiestroom of omgeving [*SB1*],
- kwetsbare personen en/of objecten zijn hieraan blootgesteld [*SB3*], en
- barrières of beheersingsmaatregelen t.a.v. het gevaar of het bedreigde bieden onvoldoende bescherming [*SB2*].

Bij *SA1* moet het ongeval worden beschreven. Bij *SB1* gaat het om energiestromen of omgevingscondities die kunnen leiden tot schade, aangenomen dat de barrières en beheersingsvoorzieningen onvoldoende zijn en een kwetsbaar persoon of object hieraan wordt blootgesteld. Bij *SB3* gaat het om personen of objecten die een "waarde" vertegenwoordigen welke verloren kan raken. Bij *SB2* gaat het om de relevante barrières die scheiding in ruimte en tijd beogen tussen de gevaren-bron en de kwetsbare objecten [*SC2*], en/of de van belang zijnde hardware-voorzieningen [*SC1*] die bedoeld zijn om gevaarlijke deel-processen te beheersen. Analyse van deze hardware-voorzieningen *via SC1* leidt rechtstreeks tot 'onderhoud' als ongevalsfactor:

SD3 = *onderhoud LTA* (met *LTA* = Less Than Adequate = onvoldoende):

* *SA1* → *SB2* → *SC1* → *SD3*

De invalshoek via de *Management-tak* is complexer:

Bij *MA1* is sprake van een basisgebeurtenis: het beleid is *LTA*, indien geen bij-de-tijdse *policy* op schrift is geformuleerd op grond waarvan de voornaamste problemen kunnen worden aangepakt, rekening houdend met expliciete overwegingen als mensvisie, kosten, doelmatigheid en wettelijke vereisten. Dat beleid moet dan ook nog uitvoerbaar zijn zonder conflicten te introduceren.

Bij *MA2* gaat het om het totaal-programma dat bedoeld is om de gestelde beleids-doeleinden te vervullen; wanneer de *implementatie* van het beleid niet voldoende uit de verf komt, kunnen de bijdragende factoren hier worden geanalyseerd.

Bij *MA3* gaat het om het *risico-beoordelingssysteem*, dat wil zeggen het geheel van ondersteunende diensten, voorzieningen, methoden en technieken die ten dienste staan van het management ter ondersteuning van haar besluitvorming inzake risico-beheersingsmaatregelen.

In MB3 komt vervolgens aan de orde of en op welke wijze het proces van gevaren-analyse is bedoeld en hoe dat functioneert. Dit proces wordt onderscheiden in twee groepen gebeurtenissen, te weten:

MB3-a1: de concepties en vereisten zijn onvoldoende;

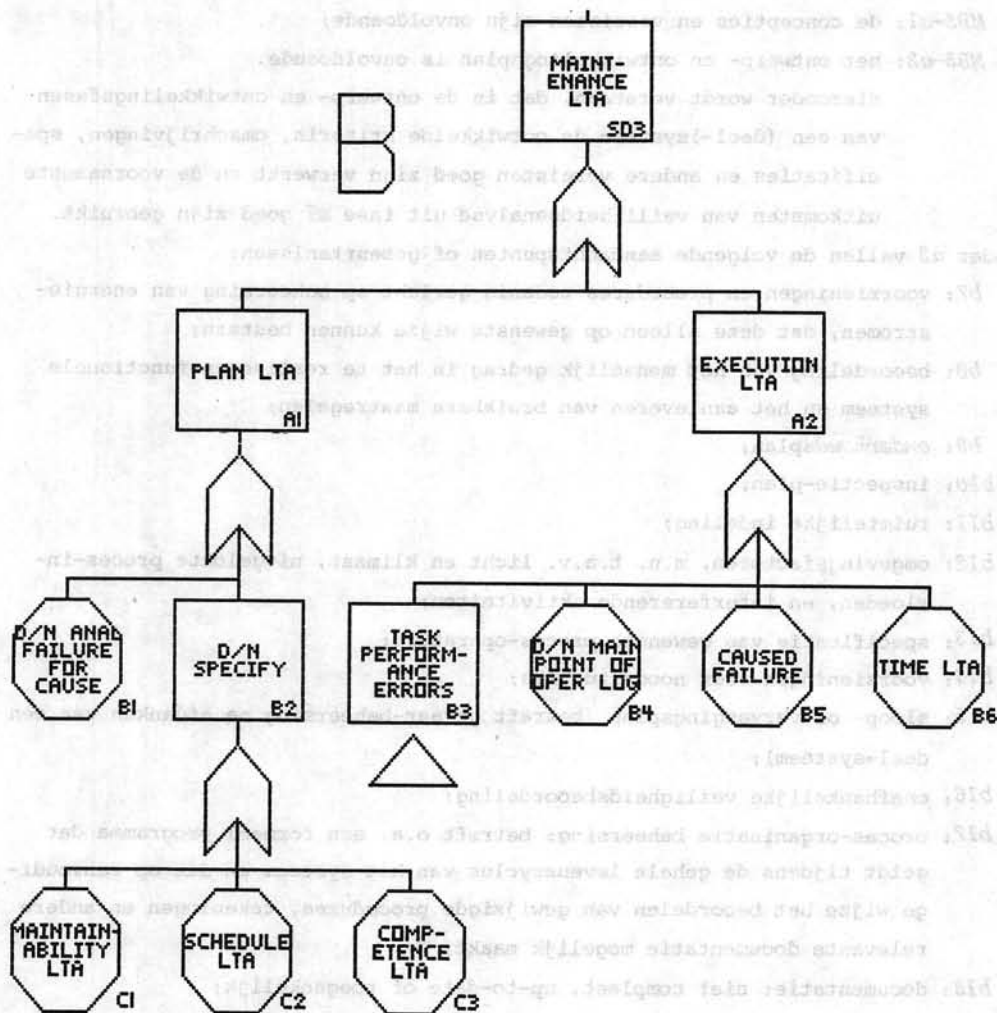
en MB3-a2: het ontwerp- en ontwikkelingsplan is onvoldoende.

Hieronder wordt verstaan, dat in de ontwerp- en ontwikkelingsfasen van een (deel-)systeem de ontwikkelde criteria, omschrijvingen, specificaties en andere vereisten goed zijn verwerkt en de voornaamste uitkomsten van veiligheidsanalyse uit fase a1 goed zijn gebruikt.

Onder a2 vallen de volgende aandachtspunten of gebeurtenissen:

- b7: voorzieningen en procedures zodanig gericht op beheersing van energiestromen, dat deze alleen op gewenste wijze kunnen bestaan;
- b8: beoordeling van het menselijk gedrag in het te realiseren functionele systeem en het aanleveren van bruikbare maatregelen;
- b9: onderhoudsplan;
- b10: inspectie-plan;
- b11: ruimtelijke indeling;
- b12: omgevingsfactoren, m.n. t.a.v. licht en klimaat, uitgelokte procesinvloeden, en interfererende activiteiten;
- b13: specificatie van gewenste proces-operaties;
- b14: voorzieningen voor noodsituaties;
- b15: sloop- of vervangingsplan (betreft gevaar-beheersing na afdanken van een deel-systeem);
- b16: onafhankelijke veiligheidsbeoordeling;
- b17: proces-organisatie beheersing: betreft o.a. een formeel programma dat geldt tijdens de gehele levenscyclus van het systeem en dat op eenvoudige wijze het beoordelen van gewijzigde procedures, tekeningen en andere relevante documentatie mogelijk maakt;
- b18: documentatie: niet compleet, up-to-date of toegankelijk;
- b19: mogelijkheid om gangbare procedures te versnellen of te passeren om onmiddellijk correcties door te voeren bij acuut gevaar of ernstige problemen;
- b20: het algemene *ontwerp-proces*, n.m. t.a.v. 'good engineering practices'; hieronder valt ook de basisgebeurtenis c46: *bedrijfszekerheid en kwaliteitswaarborging* onvoldoende.

In dit proces van ontwerp- en ontwikkelingsplan komt de gebeurtenis 'onderhoudsplan LTA' allereerst naar voren bij de gebeurtenis b7, energie-beheersingsprocedure LTA; hieronder valt de gebeurtenis c26 welke doorverwijst naar



Figuur 8: MORT-deelboom "onderhoud".

de gebeurtenis *SB2*, maar nu vooraf te bezien vanuit het ontwerp- en ontwikkelingsstadium (vervolgens via *SC1* naar *SD3*).

De gebeurtenis *b9* tenslotte komt rechtstreeks uit bij *SD3*, maar verwijst (uit de aard der zaak) alleen naar de hieronder vallende gebeurtenis *a1*: het onderhoudsplan is onvoldoende wegens het ontbreken van faal-analyse of omdat geen specificaties zijn opgesteld t.a.v. de factoren onderhoudbaarheid, planning en het vereiste niveau van vakbekwaamheid.

Samengevat: via de *M-tak* komt *onderhoud* aan bod langs twee routes:

* *M* → *MA3* → *MB3* → *a2* → *b7* → *c26* → *SB2* → *SC1* → *SD3*

* *M* → *MA3* → *MB3* → *a2* → *b9* → *SD3-a1*

Daarnaast valt te zien, dat *bedrijfszekerheid* en *kwaliteitswaarborging* een basisgebeurtenis oplevert in het algemene ontwerp-proces, namelijk wanneer hieraan onvoldoende aandacht is geschonken:

* *M* → *MA3* → *MB3* → *a2* → *b20* → *c46*.

Bij de MORT-boom hoort een gebruikershandleiding waarin de toelichting en vraagpunten zijn geformuleerd voor alle elementen uit de boom. Voor wat betreft de *deelboom B - onderhoud LTA* - komen hierin de volgende punten aan de orde (zie figuur 8):

SD3: onderhoud LTA wegens:

a1: plan LTA of [OF-poort]

a2: uitvoering LTA

a1: plan LTA wegens:

b1: ontbreken van analyse of

b2: niet specificeren van:

c1: onderhoudbaarheid of

c2: onderhoudsplanning of

c3: vakbekwaamheid

a2: uitvoering LTA wegens:

b3: fouten in de taakuitvoering [uitwerking vanaf *SD5-a5-b3!*] of

b4: ontbreken van een logboek of

b5: veroorzaakt een (technische) fout of

b6: onvoldoende tijd

Bij *SB3* is de *algemene vraag* of er sprake is van voldoende onderhoud van apparatuur, installaties, processen, e.d. Deze vraag wordt vervolgens in de onderliggende gebeurtenissen uitgewerkt.

Het onderhoudsplan wordt via *a1* getoetst: was het plan voldoende breed om alle zaken die behoren te worden onderhouden te bestrijken en was de bedrijfsleiding zich bewust van de niet-bestreken gebieden? Beantwoording van deze vragen wordt vergemakkelijkt via de verdere uitsplitsing. Bij *b1* wordt gevraagd of het plan voorschrijft dat elk falend object, c.q. iedere storing wordt onderzocht op de *oorzaak van falen*, c.q. disfunctioneren, alsmede of de analyse-resultaten een voorgeschreven uitgangspunt vormen voor handelend optreden door een daartoe bekwaam te achten personeelslid of idem dito groep. Wanneer een plan ontbreekt of onvoldoende aangeeft wat er te onderhouden valt, op welke basis en door wie, dan is deze gebeurtenis te bestempelen als onvoldoende: LTA. De beoordeling dient overigens steeds te geschieden op basis van de relevantie van de beschouwde gebeurtenis ten opzichte van de Top-gebeurtenis van de MORT-boom.

Bij *b2* wordt onderzocht of eisen met betrekking tot *onderhoudbaarheid gespecificeerd* zijn in het ontwerp of in de bijbehorende produkt-documenten; wanneer dat niet het geval is, luidt de vraag of hierin (alsnog) voldoende is voorzien via interne uitvoeringsvoorschriften. Onvoldoende specificatie van onderhoudbaarheid kan op drie te onderscheiden gebeurtenissen betrekking hebben:

- *c1*: de *onderhoudbaarheid* zelf v.w.b. het beschrijven van werkwijzen om bij onderhoud problemen met apparatuur, processen, activiteiten en hulpmiddelen te minimaliseren;
- *c2*: de *planning* van onderhoudswerkzaamheden v.w.b. de frequentie van preventief onderhoud, detectie van ongewenste veranderingen, coördinatie t.o.v. andere werkzaamheden, alsmede de beschikking over de planning door het onderhoudspersoneel;
- *c3*: de minimaal vereiste *vakbekwaamheid* op vakopleiding van het onderhoudspersoneel v.w.b. het beschouwde en te onderhouden object.

Ook al is het onderhoudsplan voldoende, dan nog kan de uitvoering van onderhoudswerkzaamheden tekort schieten: dit wordt onderzocht via *a2*. In de eerste plaats kunnen de (individuele) taken - zoals voorgeschreven in het onderhoudsplan - niet naar behoren zijn uitgevoerd: *b3* betreft *fouten in de taakuitvoering*. De relevante achtergronden hiervan worden nader onderzocht in de tak SA1 (ongeval) → SB2 (barrières en besturing) → SC1 (besturing) → SD5 (supervisie) → *b3* taakuitvoeringsfouten: nu dus vanuit het oogpunt van onderhoud te bezien! De volgende aandachtspunten worden aldus beschouwd (zonder deze hier verder uit te werken):

- *c8*: taaktoewijzing niet juist;
- *c9*: taak- of job-veiligheidsanalyse niet uitgevoerd;
- *c10*: informatieverschaffing vooraf gericht op de specifieke taak onvoldoende;
- *c11*: taak- of job-veiligheidsanalyse onvoldoende;

- c12: de in de veiligheidsanalyse aanbevolen maatregelen niet getroffen;
- c13: de werkprocedure voor de taak was niet afgestemd op de situatie;
- c14: het personeel (slid) functioneerde niet volgens verwachting.

De andere mogelijkheden onder a2 zijn basisgebeurtenissen:

- b4: er wordt geen *logboek* bijgehouden ten plaatse van het te onderhouden object, waarin kan worden vastgesteld wanneer en welke werkzaamheden aan dat object zijn verricht *zonder eerst terug te moeten gaan naar een andere locatie*;
- b5: *door de onderhoudsactiviteit* ontstond een *nieuwe* (technische) fout of werd *afbreuk* gedaan aan de kwaliteit van het gewenste functioneren;
- b6: *gebrek aan tijd* om het onderhoud naar behoren te kunnen verrichten: er was te weinig tijd voorzien of feitelijk niet beschikbaar.

Op zichzelf is de deelboom 'onderhoud' in het kader van ongevalsanalyse een sterk vereenvoudigd instrument, dat mogelijk onvoldoende aanknopingspunten oplevert voor gerichte adviezen met betrekking tot de opzet van het onderhoudsmanagement. In dat geval staat een meer gedetailleerde handleiding ter beschikking [14]. Voor andere onderwerpen zijn soortgelijke publikaties uitgewerkt.

De MORT-methode en met name ook de MORT-boom is voor de meeste situaties te ingewikkeld om zonder meer te worden toegepast. Het concept achter de MORT-methoden is evenwel van zeer praktische betekenis. *Beheersbare ongevalsfactoren* kunnen worden gedetermineerd, indien is vastgesteld op welke plaatsen in te waarborgen processen potentieel schadelijke energiestromen of gevaarlijke condities op niet-aanvaardbare wijze kunnen optreden en derhalve tot op nader te bepalen hoogte moeten worden beheerst. *Onderhoud is dan een potentiële ongevalsfactor*, wanneer het goed functioneren van de besturingsmechanismen ('controls') of de (fysieke) barrières mede van onderhoud afhangt. Om tot een 'veilig' onderhoudsmanagement te kunnen komen, is het noodzakelijk om de vitale besturingsmechanismen en dito barrières te identificeren: hierop kan vervolgens het onderhoudsplan worden afgestemd. De MORT-boom vormt hiertoe een systematische checklist.

6. Wat heb je er aan?

Het waarborgen van de kwaliteit van de primaire functies van het ziekenhuis is in toenemende mate afhankelijk geworden van onderhoud van de technische voorzieningen. Naast de vele verschillende soorten medisch-technische apparaten is

ook de technische infrastructuur in het ziekenhuis complexer geworden: de klas-sieke installaties voor riolering, verwarming, water, elektriciteit en (medi-sche) gasen zijn uitgebreid met informatietechnische systemen die voor de com-municatie, voor de verwerking van patiëntgegevens en voor de beveiliging van het ziekenhuis van essentieel belang zijn.

Een ambachtelijke benadering van het te onderhouden park van technische voor-zieningen is achterhaald gebleken; zo is alleen al op het vlak van medisch-technische apparatuur onder andere het probleem ontstaan van spraakverwarring in verband met de naamgeving van apparaten: een eenduidige oplossing is nog niet gevonden, maar de eerste schreden voor een landelijke aanpak zijn inmid-dels gezet [15]. Technologische ontwikkelingen, met name op het vlak van micro-elektronica, veranderen de rol van de onderhoudstechnicus. Het opsporen en ver-vangen van een defecte component heeft plaatsgemaakt voor het identificeren van het deelsysteem waarin de fout of functiedegradatie zich voordoet, teneinde dat deelsysteem als geheel uit te wisselen: zelf repareren komt bij dergelijke technologie steeds minder voor.

De noodzaak tot *het stellen van prioriteiten* in het onderhoudswerk wordt niet alleen ingegeven door de beperkte inzet van personele en financiële middelen, maar ook door het inzicht, dat de *functionaliteit* van een technische voorzie-ning een belangrijk criterium vormt: behoeft zo het functioneren van een defi-brillator anders zorgen te baren op een normale verpleegafdeling dan op een IC-afdeling?

Tijdens de concept-, *ontwerp*- en ontwikkelingsfasen in de levenscyclus van een systeem *kan* veel worden bereikt op het vlak van waarborging van functionaliteit in de gebruiksfase: technische aspecten als bedrijfszekerheid, nauwkeurigheid, intrinsieke veiligheid en onderhoudbaarheid vormen samen met systeem-ergonomi-sche aspecten betreffende gebruikersvriendelijkheid en toepasbaarheid hiertoe goede aangrijpingsmogelijkheden. In de *gebruiksfase* is onderhoud een instrument in de functionaliteits*borging*. De organisatie en het onderhoudsbeleid dienen derhalve onderdeel uit te maken van het algemene beleid van kwaliteitsborging. De mogelijke *inbreuken* op de gewenste functionaliteit moeten dan ook *beleids-matig* worden benaderd, zodat onaanvaardbare inbreuken op basis van het bor-gingsbeleid als eerste kunnen worden bestreden, c.q. kunnen worden voorkomen. Voor wat betreft technische voorzieningen vervult de *onderhoudsdienst* hierin een *sleutelrol*. Onderhoud vereist ook 'management': het "getting things done through people" geldt voor onderhoud evenzeer als voor de primaire processen. Duidelijke taakstelling, verantwoordelijkheden en bevoegdheden voor een onder-

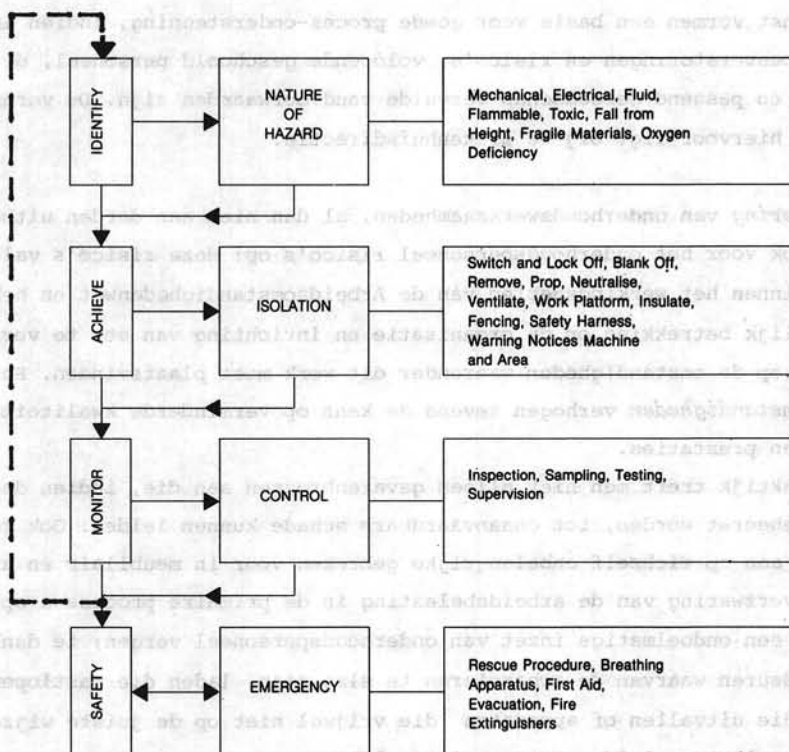
houdsdienst vormen een basis voor goede proces-ondersteuning, indien informatie over procesverstoringen en risico's, voldoende geschoold personeel, deugdelijke planning en passend gereedschap vervulde randvoorwaarden zijn. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de ziekenhuisdirectie.

De *uitvoering* van onderhoudswerkzaamheden, al dan niet aan derden uitbesteed, levert ook voor het onderhoudspersoneel risico's op: deze risico's vallen veelal binnen het werkingsgebied van de Arbeidsomstandighedenwet en hebben voornamelijk betrekking op de organisatie en inrichting van een te verrichten taak, en op de omstandigheden waaronder dit werk moet plaatsvinden. Belastende *arbeidsomstandigheden* verhogen tevens de kans op verminderde kwaliteit van de te leveren prestaties.

In de praktijk treft men niet alleen gevarenbronnen aan die, indien deze onvoldoende beheerst worden, tot onaanvaardbare schade kunnen leiden. Ook komt een veelheid aan op zichzelf onbelangrijke gebreken voor in meubilair en apparatuur die een verzwaring van de arbeidsbelasting in de primaire processen opleveren, maar ook een ondoelmatige inzet van onderhoudspersoneel vergen; te denken valt aan kastdeuren waarvan de scharnieren te slap zijn, laden die vastlopen, dictafoons die uitvallen of apparaten die vrijwel niet op de juiste wijze te bedienen vallen en leiden tot storingsmeldingen.

Het scheppen van orde in de al dan niet te onderhouden objecten wordt vergemakkelijkt, wanneer men beschikt over een *werkwijze* waarmee de relevantie van onderhoud kan worden getoetst aan de plaats en functie van deze objecten in de primaire ziekenhuisprocessen, alsmede aan de ernst en omvang van de risico's bij disfunctioneren. Het organiseren en plannen van onderhoud kan dan beleidsmatig plaatsvinden. Een pakket als MORT, inclusief delen van de MORT-boom, bevat voldoende, bruikbare gereedschappen om een dergelijke werkwijze te ontwikkelen.

Tot slot volgt nog een handreiking uit het onderzoek naar 326 dodelijke ongevallen bij onderhoudswerkzaamheden. De Engelse onderzoekers hebben een model [12] dat een houvast biedt bij het plannen van konkrete onderhoudswerkzaamheden: zie figuur 9. In het stroomdiagram van figuur 9 betreft de laatste stap de directe arbeidsveiligheid van de onderhoudstechnicus. Door de laatste stap te vervangen door een terugkoppellus naar het begin, ontstaat een stroomdiagram dat kan helpen bij het ontwikkelen van prioriteiten voor het onderhoudsmanagement.



Figuur 9: Planning van onderhoud

Literatuur

- [1] Wijk van Brievingh, R.P. van en F.G. Peuscher (redactie) (1984). *Methodisch ontwerpen van medisch-technologische apparatuur* (Delftse Universitaire Pers, Delft).
- [2] Johnson, W.G. (1980). *MORT Safety assurance systems* (Marcel Dekker, Inc., New York, Basel).
- [3] Hekman, H. (redactie). Bedrijfsveiligheid. In: *Handboek voor principiële en praktische veiligheidskunde* (Kluwer, Deventer (losbladig)).
- [4] Wijk van Brievingh, R.P. van (redactie) (1982). *Veiligheid in de gezondheidszorg* (Delftse Universitaire Pers, Delft).
- [5] Pröll, U. en W. Streich (1984). *Arbeitszeit und arbeitsbedingungen im Krankenhaus* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht 386, Dortmund).
- [6] Smulders, P.G.W., P.C. Bragt, M.P. van der Grinten, J.S. Oversloot (1985). *Arbeidsomstandigheden en bedrijfsgezondheidszorg in ziekenhuizen* (Directoraat-Generaal van de Arbeid, publikatie S 14, Den Haag).
- [7] Vries, G. de (1984). *Evenwicht in zorgvraag en zorgaanbod; besturing van de afstemming op verpleegafdelingen* (Proefschrift T.H.-Eindhoven, Eindhoven).
- [8] *Kwaliteit en kosten in de intramurale gezondheidszorg* (Symposiumboek, Interacademiale Werkgroep Ziekenhuiswetenschappen, Eindhoven, 1985).
- [9] Stanley, P.E. (Editor) (1981). *Handbook of hospital safety* (CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida).
- [10] Koornneef, F., en R.P. van Wijk van Brievingh (redactie) (1983). *Veiligheid in het ziekenhuis* (Delftse Universitaire Pers, Delft).
- [11] Accident Prevention Advisory Unit of the Health & Safety Executive (1985). *Deadly maintenance - A study of fatal accidents at work* (Her Majesty's Stationary Office, London).
- [12] Accident Prevention Advisory Unit of the Health & Safety Executive (1985). *Deadly maintenance - Plant/machinery* (Her Majesty's Stationary Office, London).
- [13] Accident Prevention Advisory Unit of the Health & Safety Executive (1985). *Deadly maintenance - Roofs* (Her Majesty's Stationary Office, London).
- [14] Nertney, R.J. (1978). *Safety considerations in evaluation of maintenance programs* (System Safety Development Center, publication SSDC-12, EG&G, Idaho Falls).
- [15] Nus, J. van (redactie) (1985). *Artikel object classificatie coderingssysteem - A.O.C. code* - (Nationaal Ziekenhuis Instituut, publikatie 85.429, Utrecht).

- [1] Wijk van Breevink, H.C. van en H.G. Zwischelbacher (1984). *Handboek opgevoerd van veiligheid-technische oplossingen op werkveld*. Delfse Universitaire Pers, Delft.
- [2] Johnson, W.L. (1980). *WET Safety assessment system* (Marcel Dekker, Inc., New York, Rome).
- [3] Johnson, H. (redacteur). *Veiligheidsplanning in handboek voor project- en project-technische veiligheid* (Kluwer, Dordrecht (Dordrecht)).
- [4] Wijk van Breevink, H.C. van (redacteur) (1983). *Veiligheid in de werkveld*. Delfse Universitaire Pers, Delft.
- [5] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [6] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [7] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [8] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [9] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [10] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [11] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [12] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [13] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [14] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.
- [15] Groot, J. en W. Stokvis (1984). *Veiligheids- en risico-analyse in de werkveld*. Dordrecht: Dordrechtse Universiteit, Dordrecht, 1984.

7. Kostenbeheersing en onderhoud in de intramurale gezondheidszorg

C.B. Visinescu*

Ontwikkeling van de onderhoudskosten in ziekenhuizen

1.1 Inleiding

De gezondheidszorg heeft in de afgelopen decades een periode van grote groei doorgemaakt, zowel in absolute zin als ten opzichte van het Bruto Nationaal Produkt.

Werd rond 1965 nog een stuiver van iedere gulden, die in Nederland verdiend werd, besteed aan gezondheidszorg, tegenwoordig naderen we de "magische" grens van een dubbeltje.

Het is niet zozeer deze grens zelf die de noodzaak tot kostenbeheersing ingeeft, immers bij vele onderzoeken is gebleken dat de vraag vanuit de bevolking naar gezondheidszorgdiensten zo groot is, dat men zelfs bij schaarse middelen vaak nog prioriteit wil geven aan middelenaanwending t.b.v. gezondheidszorg ten koste van andere collectieve voorzieningen. Waar de grens precies in Nederland zou moeten liggen is een vraag die niemand in harde zin kan of durft te beantwoorden.

Het zijn vooral relatieve factoren die de noodzaak tot kostenbeheersing onderschrijven:

- a. De snelheid van de groei van de kosten van de gezondheidszorg t.o.v. het BNP in de periode 1965-1980 was zo groot, dat afremmen onvermijdelijk was. Extrapolatie van de groei van de jaren zeventig laat immers zien dat reeds ongeveer in het jaar 2020-2030 100% van het BNP zou worden opgeslokt door de gezondheidszorg. Tijdig afremmen lijkt geboden en, evenals de bestuurder van een auto die na een periode van versnelling vrij plotseling afremt, wordt het gezondheidszorgsysteem nogal door elkaar geschud.

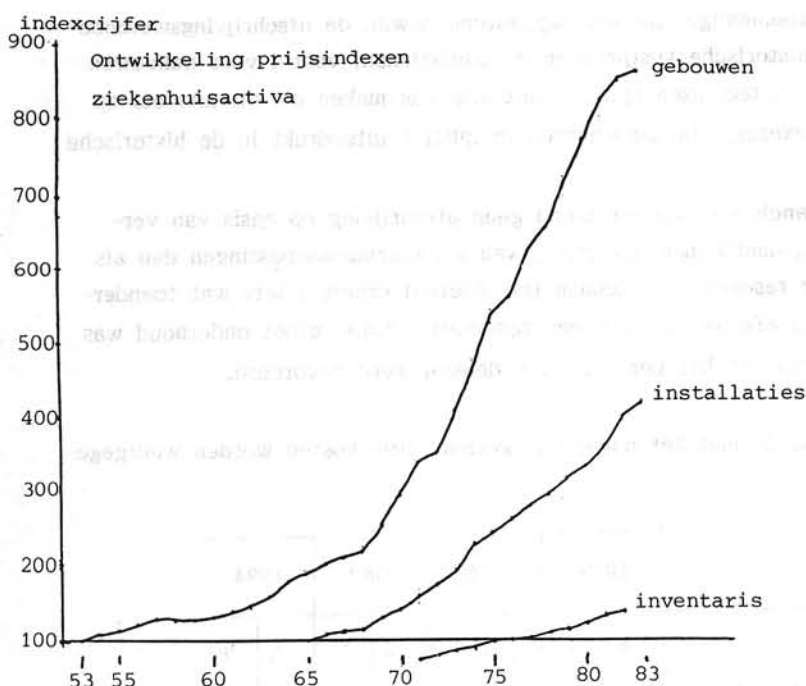
* Nationaal Ziekenhuisinstituut, Utrecht

- b. Ondanks dat nogal plotseling geïntroduceerde schaarste principe in de gezondheidszorg, wordt in Nederland in vergelijking met het buitenland relatief veel uitgegeven aan gezondheidszorg, zowel als percentage van het BNP als per hoofd van de bevolking. Een recente studie van de OESO plaatst Nederland op de tweede plaats van de daarin participerende landen. De Nederlandse gezondheidszorg staat internationaal weliswaar als kwalitatief goed aangeschreven, maar de "gezondheidswinst" die de Nederlander uit het gezondheidsstelsel behaalt lijkt niet hoger te zijn dan in andere hoogontwikkelde industrielanden.

In de periode van groei van de jaren '60 en '70 zijn de meeste ziekenhuizen aanzienlijk gerenoveerd en zijn er vele nieuw gebouwd. Vrijwel alle verpleeghuizen zijn nieuw gebouwd in deze periode. In de psychiatrische instellingen en in de zwakzinnigenzorg, waar het gebouwenbestand over het algemeen ouder is, kon eveneens veelal in die periode renovatie plaatsvinden.

In de genoemde periode is in technisch en functioneel opzicht veel veranderd. De medische- en de ziekenhuistechnologie bijvoorbeeld, heeft het aanzien en de functie van de ziekenhuizen grondig veranderd, maar ook veranderende inzichten t.a.v. de bouw en inrichting van ziekenhuizen vormden een voortdurende impuls tot vernieuwing van het "activabestand" (gebouwen, installaties en inventaris) van de instellingen.

Mede door de prijsstijging (zie fig. 1) nam de (vervangings)waarde hiervan sterk toe. Voor de algemene ziekenhuizen wordt deze ontwikkeling weergegeven in tabel 1.



Figuur 1: Ontwikkeling prijsindexen ziekenhuisactiva.

Tabel 1: Ontwikkeling van de cumulatieve investeringen per bed in algemene ziekenhuizen 1968 t/m 1980 (in duizenden guldens)

Omschrijving*	1968	1972	1976	1977	1978	1979	1980	index cijfer '68=100
1. terreinen en gebouwen	25	38	50	51	53	59	67	268
2. installaties	10	15	23	23	25	26	28	280
3. inventarissen								
3.1. medische inv.	3	6	12	14	16	19	23	766
3.2. overige inv.	3	5	7	7	8	9	11	366
4. overige	9	12	13	16	17			
Totaal	49	76	105	111	116	118	133	271

* Indeling conform NZI-rekeningschema.
Bron: BKZ-publicatie (NZI 79.181) bijgewerkt.

Mede doordat het toenmalige financieringssysteem v.w.b. de afschrijvingsmethode gebaseerd was op historische kostprijs en de statistieken, vooral voor gebouwen en installaties, het in technisch opzicht niet mogelijk maken om dit aandeel op macroschaal te indexeren, zijn de waarden in tabel 1 uitgedrukt in de historische kostprijs.

Het toenmalige financieringssysteem stond geen afschrijving op basis van vervangingswaarde toe, omdat men als gevolg van waarderingsaanpassingen dan als instelling financiële reserves zou kunnen (en moeten) creëren; iets wat toender tijd principiëel werd afgewezen. Ook een reservering t.a.v. groot onderhoud was niet toegestaan, waardoor het korte termijn denken werd bevorderd.

De ontwikkeling van de met het onderhoud gerelateerde kosten worden weergegeven in tabel 2.

Kostensoort	1978		1980		1982		1984	
	A	T	A	T	A	T	A	T
technisch personeel (totaal)	66	159	72	173	82	195	79	185
<u>materiële kosten:</u>								
gebouwen	38	121	44	141	51	163	60	178
installaties	32	79	39	112	50	117	56	131
med.apparatuur	43	67	58	87	89	127	102	140

Tabel II: Overzicht van de ontwikkeling van enkele delen van de onderhoudskosten. Bedragen in miljoenen guldens (A = Alg.ziekenhuizen, T = totaal intramuraal).
Bron: Financiële Statistiek NZI.

Het top-management en de financieringsinstanties hadden in bovengenoemde periode relatief weinig aandacht voor het onderhoudsproces. Wat het laatste betreft, het toenmalige Centraal Orgaan Ziekenhuistarieven, kende in die tijd een "onderhoudsrichtlijn", waarbij in het tarief (inkomsten) van het ziekenhuis een vast bedrag per verpleegdag was ingecalculeerd. De keuze van de parameter alleen al geeft aan dat in die tijd nog nauwelijks aandacht werd besteed aan de fundamentele kant van het onderhoudsproces; immers de activiteiten op het gebied van onderhoud hangen vooral af van de aard en omvang van de voor het primaire proces benodigde activa. Het spectrum van deze activa is zeer uiteenlopend (de aard en omvang van het primaire proces binnen de medische en verpleegkundige zorg is overigens ook zeer divers). De richtlijn, bedoeld om de toegestane kosten te normeren, werd dan ook meer als regel dan als uitzondering

door de instellingen overschreden, zonder dat de financieringsinstanties aanleiding zagen om op dit punt op verbeteringen in het systeem aan te dringen. De overschrijdingen werden getolereerd en zo kon het gebeuren dat in 1982, het jaar waarin besloten werd het financieringssysteem te veranderen en een groot budgetsysteem in te voeren, de gemiddelde overschrijding van de financieringsrichtlijn 63% bedroeg (en er ook een aantal instellingen waren met een overschrijding van meer dan 100%).

In de koepelorganisatie van de instellingen, de Nationale Ziekenhuisraad, was omstreeks die tijd een werkgroep ingesteld om de hierboven beschreven problematiek nader te onderzoeken en aanbevelingen te doen omtrent een nieuwe richtlijn voor onderhoudskosten. Deze werkgroep stelde in een interim rapport voor als kostenparameter voor onderhoud een percentage van de (vervangings)waarde van activa te hanteren en reikte daarvoor een methode aan (Literatuur ref. 5 en 6). Deze ontwikkeling werd achterhaald door de invoering van de budgettering als financieringssysteem. Binnen dit nieuwe systeem werd immers het stelsel van gedetailleerde richtlijnen verlaten en werd een budgetformule vastgesteld gebaseerd op enkele globale parameters. Hierbij kan door de nagestreefde "substitutievrijheid" tussen kostensoorten het lokale top-management zijn verantwoordelijkheid beter invullen door het op lokaal niveau nemen van allocatiebeslissingen t.a.v. de financiële middelen. Dit betreft ook het onderhoud, waarbij het nu aan directies van instellingen is om te bepalen (los van de door het budget bepaalde inkomsten) wat de financiële ruimte wordt voor onderhoud en in ruimere zin "beheer" van de duurzame goederen, die nodig zijn voor een adequate uitoefening van het primaire proces.

Het is wellicht illustratief om de overgangsverschijnselen en randvoorwaarden van dit proces van het neerleggen van verantwoordelijkheid op instellingsniveau aan een nader onderzoek te onderwerpen.

De budgettering als financieringsmiddel werd vrij plotseling (er liepen nog experimenten in een viertal ziekenhuizen) geïntroduceerd in de gezondheidszorg. Ten aanzien van de methode van vaststelling van het zogenaamde "externe" budget (= maximum inkomsten van het ziekenhuis) kon allereerst vanwege de tijdsdruk alleen een "bevriezingstechniek" worden gehanteerd. Daarbij werd het kostenniveau van 1982 als uitgangspunt gehanteerd. In een later stadium werden, na aanbeveling door de commissie Bredero, parameters geïntroduceerd (zoals b.v. capaciteit en bedrijfsdruk), die een herallocatie van de middelen inhielden,

gebaseerd op het principe van rechtvaardige verdeling i.p.v. historische uitgangspunten. Nu wordt nog steeds gewerkt aan de "definitieve" budgetformule. Hierbij wordt een verdeling van de middelen naar de functies (specialismen) van de instellingen nagestreefd, waarbij op langere termijn ook het "regionale" budget steeds vaker in het jargon van beleidsmakers in de gezondheidszorg opduikt.

Toen dit externe budget werd geïntroduceerd, waarmee bij het totale takenpakket van de instelling de maximale inkomsten werden vastgelegd, stond het management voor de taak om intern de activiteitenontwikkeling en de daarmee gepaard gaande kostenontwikkeling beheersbaar te maken. Gezien het relatief autonome optreden van de professionals in de gezondheidszorg voorwaar geen geringe taak. Daar komt nog bij dat vanaf 1983 "omgebogen" wordt en via de stabilisatie van de instellingsbudgetten zeer snel ook het stadium van generieke kortingen op de budgetten werd bereikt. Deze pijn wordt enigszins verzacht doordat een aantal autonome ontwikkelingen, zoals b.v. het zogenaamde anciënniteitseffect (een stijging van de looncomponent van de kosten, doordat minder doorstroming van personeel optreedt) achteraf werden gecorrigeerd. Zo zijn in sommige instellingen, die van een relatief hoog kostenniveau tijdig teruggaan zijn naar een lager kostenniveau, tijdelijk reserves ontstaan, waarover nu bij verdergaande bezuinigingen, touwtrekken op nationaalniveau plaatsvindt. Op het gebied van onderhoud is reservering expliciet in het systeem opgenomen, in de zin dat tijdelijke overschotten op de post onderhoud niet substitueerbaar zijn, d.w.z. niet voor andere doeleinden mogen worden aangewend. Omgekeerd mogen andere tijdelijke overschotten wel voor onderhoud worden aangewend. Ook substitutie over meerdere jaren wordt hierdoor (beperkt) mogelijk.

De hierboven genoemde invoering van interne budgettering is nog in volle gang in de instellingen. In de overgangperiode is vaak, om de kloof tussen inkomsten en uitgaven te dichten, de bezuinigingspijn pons-pons gewijs verdeeld over de afdelingen, wat in het bijzonder in de met het onderhoud belaste Technische en Instrumentele Diensten problemen oplevert.

Het kostenniveau van deze diensten was bij de invoering van de budgettering in 1982, in relatie tot de omvang en waarde van de te onderhouden goederen, aan de lage kant (zie ook paragraaf 2). Dit wordt o.a. verklaard uit het feit dat de gemiddelde leeftijd van die goederen op dat moment relatief laag was.

1.2 Ontwikkelingen t.a.v. gebouwen en installaties

In de sector ziekenhuizen blijkt dat relatief veel nieuwbouw (geheel, maar vooral ook gedeeltelijk) plaatsgevonden heeft in de eerste helft van de jaren zeventig. De installaties van deze instellingen beginnen in de tweede helft van de jaren tachtig technisch te verouderen, hetgeen naar verwachting de onderhoudslast zal doen toenemen. De praktijk van de jaren zeventig was dat, mede doordat de functionele verbeteringen in hoog tempo op de markt kwamen, men betrekkelijk vroeg stappen ondernam om tot vervanging over te gaan. Dit geldt in het bijzonder ook voor de categorie medische inventaris die in paragraaf 1.3 zal worden behandeld.

Formeel is voor bouwkundige/installatieve vervangingen in de intramurale sector een vergunning van het departement van WVC nodig, dat wordt afgegeven op advies van het planningsadviesorgaan, het College van Ziekenhuisvoorzieningen (sedert enkele jaren geïncorporeerd in de Nationale Raad voor de Volksgezondheid). In de jaren zeventig werd, omdat de grens tussen onderhoud en vervanging niet altijd even scherp te definiëren valt, de beslissing om installaties te vervangen betrekkelijk gemakkelijk genomen. Enerzijds omdat afhankelijk van de exploitatieresultaten ziekenhuismanagers besloten om daar het onderhoudsbudget voor aan te spreken en anderzijds omdat, na het bewandelen van de als bureaucratisch ervaren weg, via een aanvraag tot vervanging, de toestemming hiervoor toendertijd eenvoudiger werd verkregen dan heden ten dage het geval is. De reden hiervoor is weer gelegen in het feit dat in de late jaren zeventig het begrip bouwplafond werd geïntroduceerd. Dit werd enerzijds in de laatste jaren verlaagd en anderzijds liep het volledig vol met aanvragen voor vervangende nieuwbouw van gehele ziekenhuizen. Daar de exploitatieruimte van instellingen onder druk kwam te staan, trachtte men ook meer aanvragen voor vervangingen van gedeeltes van gebouwen en installaties in het "vergunningencircuit" gehonoreerd te krijgen. Ook op macroniveau wordt recent gepleit (door b.v. het College van Ziekenhuisvoorzieningen) voor een differentiatie van het bouwplafond, zodat er ook een "onderhoudsplafond" landelijk zou worden vastgesteld t.a.v. bouwkundige/installatieve voorzieningen. Sommige ziekenhuisdirecties pleiten ervoor dat (eenmalig) voor dit fonds extra financiële middelen worden gevoteerd, omdat hier sprake zou zijn van achterstand.

Zoals hierboven reeds is gesteld, staan directies nu voor de taak om, los van mogelijkheden van tijdige vervanging en extra middelen, uitgaande van een relatief laag onderhoudsbudget de in vele gevallen stijgende onderhoudslast op te

vangen door herallocaties binnen het totale budget van de instellingen. Een probleem hierbij vormt het feit dat het onderhoudsproces zelf en het activapakket van ziekenhuizen onderling zeer sterk verschillen. Het is daarbij moeilijk om zowel inhoudelijk als financieel te definiëren wat als een "goed" onderhoudsniveau zou kunnen worden aangemerkt (althans op statistische gronden). Daarom werden in de reeds genoemde NZR werkgroep WTIB kengetallen gehanteerd, afkomstig van een onderzoek van de universiteiten en hogescholen (Litteratuur ref 6). Hierbij dient te worden aangetekend dat deze getallen uitgaan van extrapolaties en een "wensniveau" t.a.v. onderhoud, gebaseerd op cijfers uit de jaren zeventig en dat ook deze instellingen het (tot hun ongenoegen) moeten doen met veel lagere onderhoudsbudgetten, zonder dat tot nu toe onoverkomelijke problemen zijn gerezen.

De voorzitter van genoemde werkgroep presenteerde op een in oktober 1985 gehouden landelijke studiedag een overzicht van de in 1983 voor de gehele sector vermoede kloof tussen "soll" en "ist" waarden t.a.v. onderhoudskosten (zie tabel III) voor gebouwen en installaties.

Tabel III: Onderhoudskosten gebouwen en installaties 1983 (in milj. guldens).

	werkelijk	gewenst niveau	tekort
Alg. ziekenhuizen	362,1	451,8	89,7
Psych. ziekenhuizen	79,4	91,4	12,0
Zwakzinnigeninr.	71,3	89,0	17,7
Verpleeghuizen	87,6	141,0	53,4
Totaal	600,4	773,2	172,8

Gezien de bovenomschreven financiële beperkingen t.a.v. vervangingsinvesteringen, werd deze tabel ter illustratie gebruikt van de in de studiedag onderstreepte noodzaak om directies van gezondheidszorginstellingen op dit punt hun eigen verantwoordelijkheid te laten onderkennen en tijdig vooral intern gerichte aanpassingsmaatregelen te treffen. Tijdelijke overschotten en reserves zouden in sommige instellingen (vooral ziekenhuizen) mogelijkheden kunnen bieden om in ieder geval tijdelijke voorzieningen te treffen t.a.v. onderhoud. Betere planning- en beheerssystemen t.a.v. onderhoud zouden het instrument moeten gaan vormen om effectiviteit en efficiency te gaan vergroten. Daar er ook door sommigen (zie o.a. Litteratuur ref. 7) op wordt gewezen dat op sommige onderdelen van

het onderhoudsproces (ondanks het reeds vermelde relatief lage kosteniveau) toch nog besparingen mogelijk zijn, betekent dit dat in de komende jaren aandacht gegeven zal moeten worden aan een andere wijze van aanpak van onderhoud.

Een op goede informatie gebaseerde onderhoudsstrategie en tactiek, waarbij in overleg tussen gebruikers, top-management en voor onderhoud verantwoordelijke technici realistische doelen en prioriteiten worden gesteld, is daarbij een voorwaarde.

1.3 Ontwikkelingen t.a.v. medische apparatuur en inventaris

Dit onderdeel heeft in het bijzonder in de ziekenhuissector gespeeld. Daar zowel de strategische als de operationele aspecten van het onderhoudsproces van medische apparatuur afwijken van het gebouw- en installatie-onderhoud, zal hieraan apart aandacht worden besteed.

Medische apparatuur is een relatief groter aandeel gaan uitmaken van de investeringen in de (algemene) ziekenhuizen (zie ook tabel 1).

We kunnen deze tendens nader analyseren door het niveau van de jaarlijkse investeringen in medische apparatuur nader te beschouwen (zie tabel IV: de lijn is doorgetrokken naar 1983).

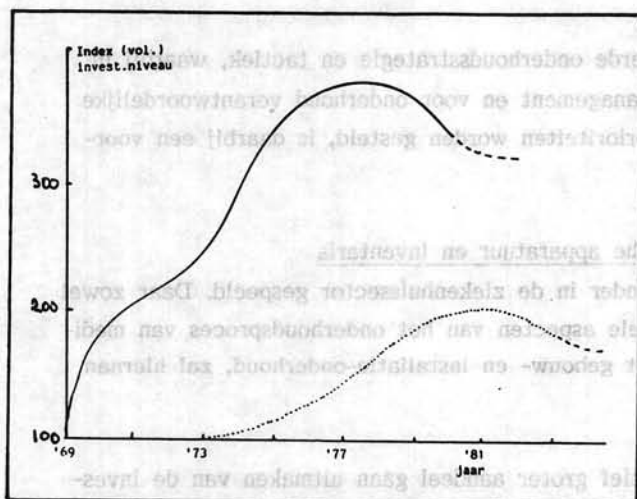
	1973	1975	1978	1980	1981	1982	1983
lopende prijzen	83	120	174	201	264	297	222
prijsstijgingsindex	84	100	104	124	132	138	144
prijspeil 1983	142	173	241	303	288	310	222
volumestijgingsindex	100	122	170	213	203	218	156

Tabel IV: Ontwikkeling van het jaarlijkse investeringsniveau t.a.v. medische inventaris in algemene ziekenhuizen (in miljoen guldens)
(Bron: CBS-investeringsenquête, herberkend op basis van Financiële Statistiek NZI; prijsindex: medische- en Rb-app. (CBS).

De volumestijging is grafisch in beeld gebracht in fig. 2.

In deze figuur is tevens de volumestijging van de investeringsniveaus in medische apparatuur in Academische Ziekenhuizen, op basis van een in 1982 verschenen rapport (Litteratuur ref. 13), grafisch weergegeven. In deze ziekenhuizen heeft de grootste groei zich ongeveer 5 à 7 jaar eerder afgespeeld. Door externe maat-

regelen stabiliseerde het investeringsniveau op ongeveer 60 miljoen gulden (prijspeil 1980).



Figuur 2: Ontwikkeling van de volumecomponent van het investeringsniveau
(— Acad.Zkh., prijsniveau 1980; Alg.Zkh., prijsniveau 1983).

Nieuwe technieken vinden hun weg naar de algemene ziekenhuizen, veelal via de academische ziekenhuizen. Het lijkt niet onwaarschijnlijk dat de groei van de investeringsniveaus in de algemene ziekenhuizen, die bij wijze van grove benadering op basis van fig. 2 in tijd een studentengeneratie achterlopen bij de academische, zonder de beperkende maatregelen t.a.v. de investeringen verder zou zijn doorgelopen. Door deze maatregelen (investeringsrichtlijn medische inventaris) is een stabilisatie opgelegd. We kunnen echter vermoeden, dat naar gelang meer specialisten, die met de nieuwe technieken uit de late jaren zeventig vertrouwd zijn geraakt tijdens hun opleiding, in perifere ziekenhuizen een werkring vinden, de vraag naar de introductie van deze nieuwe technieken in de perifere ziekenhuizen nog zal toenemen. Een vraag die, in financieel opzicht, alleen maar gehonoreerd zal kunnen worden, wanneer niet alle bestaande medisch-technologische voorzieningen worden vervangen aan het einde van hun levensduur.

Daar komt nog bij, dat de ontwikkelingen doorgaan. Een veelheid van nieuwe diagnostische en therapeutische apparaten en hulpmiddelen verkeert in verschil-

lende stadia van ontwikkeling, beproeving en commercialisatie.

Op basis van aannamen t.a.v. de samenstelling van deze onderhoudspost in de kostenstatistieken voor 1982, het uitgangsjaar voor de budgettering, zal voor de algemene ziekenhuizen een kengetal worden geraamd voor de onderhoudskosten.

Schatting op basis van financiële statistiek-NZI en de CBS-investeringsenquête leverden op:

- Onderhoudskosten medische apparatuur: 113 miljoen gulden.
- Waarde van de apparatuur geïndexeerde kostprijs (prijspeil 1982): 2.285 miljoen gulden.
- Ratio onderhoudskosten/waarde investeringen: 4,9%.

Dit betreft een raming t.a.v. de gemiddelde waarde voor alle algemene ziekenhuizen. T.a.v. dit gemiddelde worden grote variaties waargenomen, omdat er vele factoren zijn die deze ratio beïnvloeden:

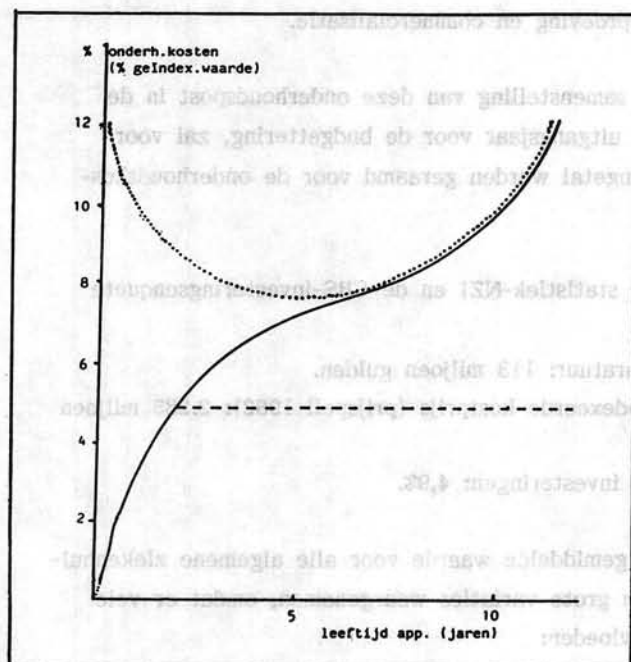
- Gemiddelde leeftijd van de apparatuur.
- De aard en omvang van het gebruik van de apparatuur.
- De mate waarin onderhoud wordt uitbesteed.
- De opvattingen t.a.v. onderhoud, b.v. preventief onderhoud.
- De samenstelling en onderhoudsgevoeligheid van het apparatuurpakket van een ziekenhuis.

Voor de eerste factor is in het reeds eerder genoemde rapport uit de academische ziekenhuizen (WAPAZ) op basis van empirische waarnemingen een kwantitatieve relatie uitgewerkt tussen de onderhoudskosten en de leeftijd van de apparatuur.

Dit verband wordt schematisch weergegeven in fig. 3.

In tegenstelling tot de uit de bedrijfseconomie bekende "badkuipkromme" (zie ook fig. 3), zijn de onderhoudskosten in het begin laag, hetgeen doet vermoeden dat deze kosten worden weggeboekt op de investeringen via de garantie.

Bij het bereiken van de gemiddelde technische levensduur van 8 à 10 jaar nemen de onderhoudskosten sterk toe.



Figuur 3: Relatie onderhoudskosten - leeftijd medische apparatuur (gegevens WAPAZ; theoretische kromme; ----- niveau onderh.kosten 1982).

In fig. 3 is aangegeven dat het verschil tussen de als gevolg van de verwachte veroudering van de apparatuur toenemende onderhoudslast en het uitgangsniveau van de onderhoudskosten bij de invoering van de budgettering, toeneemt wanneer geen herallocatie plaats zou vinden. Het effect van verouderde apparatuur wordt nog eens versterkt door het feit dat in de tweede helft van de jaren '80 (8 à 10 jaar na de aanschafgolf van fig. 2) meer apparatuur verouderd dan nu (onderhoudsgolf in algemene ziekenhuizen).

Bij het uitstippelen van een beleid t.a.v. (vervangings)aanschaffingen en onderhoud zal ook met dit effect terdege rekening gehouden moeten worden.

Literatuur

1. Systeem voor registratie en analyse van de technische dienst.
NZI rapport nr. 82.325 (1982).
2. J.A. v. Dijkhuizen:
Inleidende lezing tijdens studiedag "Wat kan of moet het management in de gezondheidszorg met bedrijfszekerheid en onderhoud".
T.H. Delft, oktober 1985 (verkrijgbaar via NZI).
3. "Computer Toepassingen en Technische Diensten in de Gezondheidszorg".
NVTG publicatie nr. 85/101, uitgever Noordervliet (1985).
4. B. Sluyters:
"Een onderzoek naar onderhoudsbeheersing van medische apparatuur".
Afstudeerrapport T.H. Eindhoven (augustus 1981).
5. Interim verslag Werkgroep Technisch en Instrumenteel Beheer.
Intern rapport Nationale Ziekenhuisraad (1984).
6. J.A. Machielsen:
"Onderhoud".
NZI-notities 5^e jaargang nr. 15 (juni 1985).
7. W. van Blaricum:
"Geprogrammeerd onderhoud Ziekenhuistechniek", pp 103 e.v. (1984).
8. Onderhoud van Gebouwen.
Rapport permanente Interuniversitair Overleg Bouwaangelegenheden (april 1977).
9. P.J. Handauer:
Beheersing Onderhoudskosten.
Bedrijfskunde jaargang 57, (1985-1) pp 32 e.v..
10. J. Witte, P. Bloemendaal:
Onderhoud aan medische apparatuur: uitbesteden of zelf doen?
Ziekenhuistechniek pp 17 e.v. (oktober 1982).

11. C.B. Visinescu:
 Investerings- en exploitatiekosten van medisch-technologische voorzieningen
 Klinische Fysica.
 (1986/1 pp 8 e.v..)

12. W.A. Coppens:
 Onderhoud van gebouwen: Gezondheids- en bejaardenzorg vragen enorme bedragen; sturing via normen onmogelijke zaak.
 Instelling 9 no. 11 (1984) pp 23 e.v..

13. Rapport van de Werkgroep Apparatuur Academische Ziekenhuizen (1984).
 Verkrijgbaar via NZR, Bureau Academische Ziekenhuizen, Postbus 9696, 3506 GR Utrecht.

14. A.A.J. Damen, Bouwcentrum Rotterdam, in leergang:
 Onderhoud van gebouwen; relatie tussen planning, ontwerp en uitvoering.
 T.H. Delft, 3 mei 1984.

15. R.J. Meijer, A.A.J. Damen:
 Planmatig onderhoud is noodzaak.
 Bouw 10 (5/1984) pp 65 e.v..

16. Abschlussbericht zur Begleituntersuchung Modellversuch Technische Servicezentren in Krankenhäusern.
 Band A1 + A2 Deutsche Forschungs und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt, Postfach 906058, Köln (1984).

8. Onderhoudsmanagement en organisatie in het ziekenhuis

J. Roland van de Kamp*

Het onderwerp dat ik met u wil verkennen heeft in de brochure de titel 'Onderhoudsmanagement en organisatie' meegekregen. Ik voeg graag daaraan toe 'in ziekenhuizen' omdat, naar mijn opvatting, in die toevoeging een aantal op deze werksituatie (het ziekenhuis) toegesneden aspecten/elementen/accenten schuil gaan. Dus verschillen met andere organisaties. Maar er zijn ook overeenkomsten.

overeenkomsten

I

- . algemeen begrippen kader
- . aandachtsvelden
- . soorten onderhoud
- . onderhoudsconcepten

verschillen

II

- . ziekenhuissituatie i.r.t. algemeen management TD
- . diffusie leiderschapsstijlen en de status van de TD in de organisatie
- . ziekenhuissituatie i.r.t. onderhoudsconcepten

- . historische ontwikkelingsfasen . plaats in de historische ontwikkelingsfasen ²

Wat is een "goede" manager
van een TD in een ziekenhuis ? ³

- = Plaats waar uw reactie op de bijgevoegde vragenlijst (Zie blz 145) in het verhaal wordt ingebracht

* Rijnconsult bv, Velp

Uit de overeenkomsten en de verschillen is een beeldvorming te verkrijgen van een 'goede' manager van een TD-organisatie in een ziekenhuis.

Ik maak daarbij ook graag gebruik van uw eigen reacties op de tevoren rondgedeelde korte vragenlijst.

I overeenkomsten

Laat ik eerst eens ingaan op de overeenkomsten. Ik doe dat globaal omdat methoden en aandachtsvelden van onderhoudsmanagement in andere modules van deze postacademische cursus uitgebreid aan bod zijn geweest en nog komen.

● Algemeen begrippenkader

Managen (besturen) is het initiëren, richten en beheersen van die activiteiten die nodig zijn om een bepaald doel te bereiken.

Het veld van activiteiten dat beoogd wordt heeft betrekking op onderhoud.

Het doel 'onderhoud' heeft als definitie: 'Duurzame productiemiddelen (activa) waarover wordt beschikt, in die toestand houden of weer in de toestand brengen die voor de vervulling van de functie nodig wordt geacht.'

● Soorten onderhoud:

- * bouwkundig/civiel onderhoud
- * centrale systemen onderhoud (mechanisch en elektrisch)
- * inventaris onderhoud (mechanisch en elektrisch)
- * instrumenten onderhoud (mechanisch, elektrisch, electronisch, systeemtechnisch)

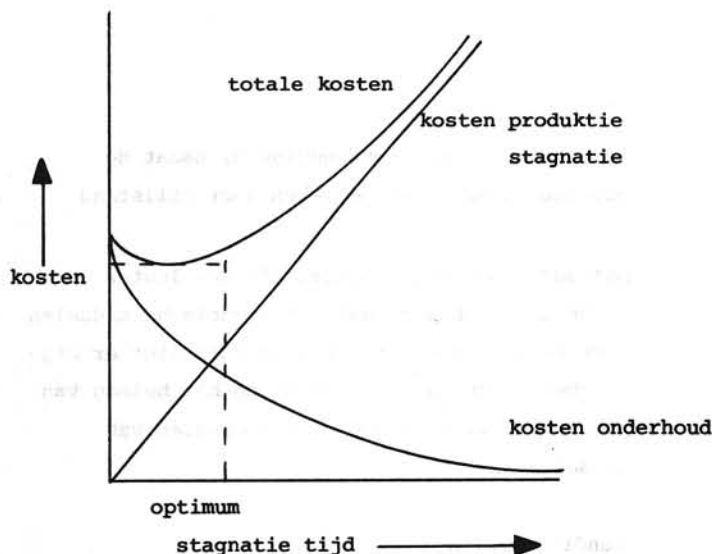
● Onderhoudsconcepten:

- * correctief onderhoud, onderhoud dat wordt uitgevoerd nadat een onaanvaardbare degradatie is opgetreden
- * preventief onderhoud, onderhoud dat wordt verricht voordat een onaanvaardbare degradatie optreedt. Preventief onderhoud is onder te verdelen in periodiek onderhoud en inspectief onderhoud.

Bij periodiek onderhoud wordt onderhoud uitgevoerd met een vaste frequentie op basis van of geleverde prestatie van het object of de kalendertijd.

Inspectief onderhoud wordt verricht naar aanleiding van een voorafgaande inspectie. Deze inspectie kan plaatsvinden tijdens en buiten het in bedrijf zijn van het object.

De keuze van het onderhoudsconcept en de wijze waarop men dit bestuurt, maakt het mogelijk tot kostenoptimalisatie te komen.



Besturen vraagt echter om informatie. Van belang is het daarom van de objecten die men wil onderhouden te weten wat het verloop van het faalt tempo is. Dit vraagt om registratie van storingen en storingsanalyse per object. Dit vraagt ook om gegevens van gebruik, inbedrijfstijden en konditieverloop. Pas indien men inzicht heeft in die historie, kan men komen tot een juiste keuze van het onderhoudsconcept en de besturing van dat onderhoud. Daarbij kan men dan uitgaan van:

- * gebruiksafhankelijk onderhoud (bijvoorbeeld bij motoren, kompressoren, maar ook instrumenten, operatiekamer, equipment, enz.)
 - * tijdsafhankelijk onderhoud (bijvoorbeeld gebouwonderhoud)
 - * storingsafhankelijk onderhoud
- of een combinatie daarvan.

● Historische ontwikkelingsfasen

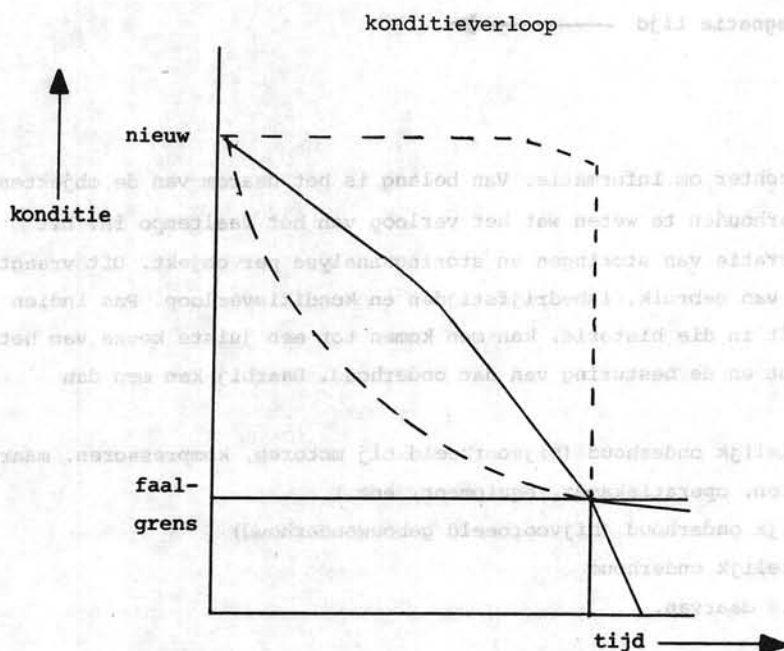
In de historische ontwikkeling van beheersbaarheid van het onderhoudsproces, zal elke organisatie zich bevinden per object of objectengroep dat onderhouden wordt in een andere fase. De historische ontwikkelingsfasen zijn:

Historische ontwikkelingsfasen

- * 'brandweer' fase
- * technische fase
- * management fase
- * strategische fase

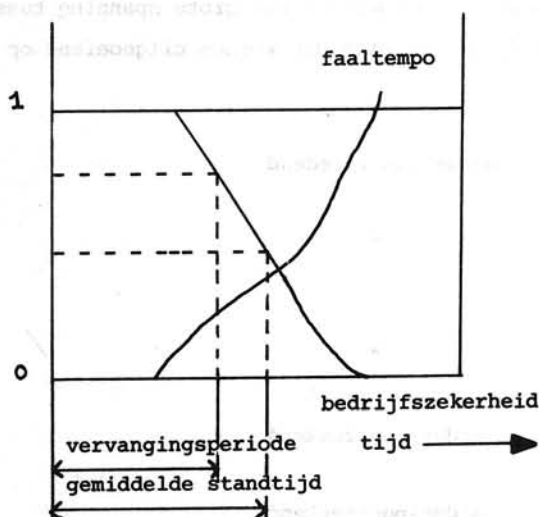
I. 'Brandweer'-fase : er wordt pas onderhoud gepleegd, nadat de noodzaak daartoe is gebleken door stilstand

II. Technische fase : het onderhoud wordt gezien als een louter technisch probleem, dat met technische middelen moet worden opgelost (in deze fase ligt er bijvoorbeeld een extreme nadruk op het belang van preventief onderhoud en het toepassen van wisseldelen)



III. Management fase : in toenemende mate wordt onderkend dat de onderhoudsmanager verantwoordelijk is voor het bestuur van de organisatie, welke onder andere tot taak heeft technische problemen op te lossen (hetgeen zich uit in het grote belang dat gehecht wordt aan planning, werkvoorbereiding, magazijnbewaking en andere procedures)

gebruiksafhankelijk onderhoud



● Aandachtsvelden o.m.

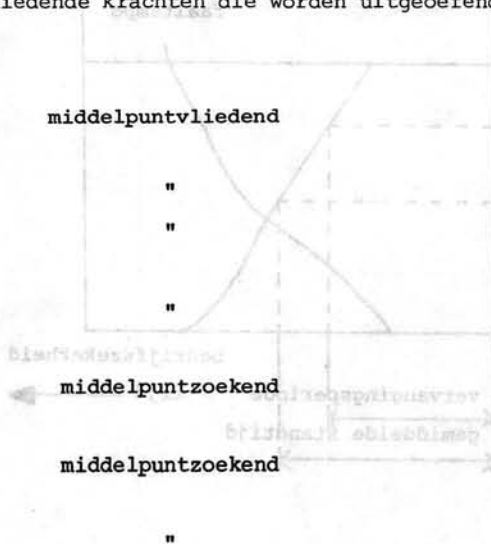
- * keuze van onderhoudsconcept
- * vraagstuk van zelf doen of uitbesteden en daarmee de bepaling van omvang van de eigen mankracht:
 - zijn de piekbelastingen in de werkhoeveelheid vastgelegd
 - welke servicegraad is met de serviceleveranciers overeengekomen en welke back-up van equipment staat hiertegenover als extra investering
 - zijn de kosten van het aantrekken van eigen specialistische kennis (op lange termijn) vergeleken met de kosten van het inhuren van deze kennis
 - is er rekening gehouden met de mogelijkheid van toeleverancier te veranderen om te grote afhankelijkheid te vermijden
 - is (en wordt periodiek) van de (potentiële) toeleveranciers de vakbekwaamheid en de betrouwbaarheid nagegaan en op welke wijze is dat getoetst
 - zijn de kosten van het uitbesteden vergeleken met de eigen besparingen

- is er nagegaan in hoeverre er communicatieproblemen kunnen ontstaan bij overdracht van de opdracht tot reparatie of revisie/inspectie van het equipment of bij overdracht van het geïnspecteerde, gerevideerde, gerepareerde equipment aan de gebruiker, met melding van oorzaak van storing en/of technische status van het equipment in relatie tot het gebruik.

II. Verschillen

- De ziekenhuissituatie i.r.t. het algemeen management van een TD/ID vertoont een aantal verschilpunten die goed zijn aan te duiden als een grote spanning tussen middelpuntzoekende en middelpuntvliedende krachten die worden uitgeoefend op de organisatie van de TD/ID.

- * vakmatige specialiteiten in de professie
- * verschillende lokaties
- * relatie met klanten (o.m. intensiviteit)
- * aantrekkelijkheid arbeidsvoorwaardenpakket
- * optimalisatie gebruik hulpmiddelen
- * afweer tegen "klanten"-grillen/werkdruk
- * "budgetgevecht"



Het saldo van deze krachten komt mij voor middelpuntvliedend te zijn in meer of minder sterke mate. Het management moet hier een antwoord op vinden.

- Diffusie in leiderschapsstijlen en de status van de TD/ID

Het ziekenhuis kent zeer verschillende beroepsgroepen:

- artsen
- verpleegkundigen
- medisch technici (o.a. biochemicus, fysicus, opticiën, neurofysioloog)
- psycho sociale werkers
- 'buitenbeentjes' (directie, personeelsmensen, technici, administrateurs, automatiseringsdeskundigen)

Technici zijn buitenbeentjes met een lagere macht en status dan al degenen die

zich direct met de patiënt bezighouden en ook dan verschillende andere 'buitenbeentjes'.

Slotconclusie is dat de macht en status van de TD/ID van huis uit laag is.

In een ziekenhuis worden nogal uiteenlopende managementstijlen gehanteerd:

- diplomatie = overleg plegen. Zo treedt het algemeen management en ook het TD-management meestal op in de richting van artsen
- professioneel management = op basis van het gezag van professioneel overwicht. Zo kan het TD-management optreden naar die disciplines waar zij zelf hun ervaring hebben liggen.
- hiërarchisch/bureaucratisch management: het min of meer autoritair opdrachten geven. Veelal is participatief leiderschap niet sterk ontwikkeld.

Doordat de TD-leiding met alle beroepsgroepen te maken heeft zal ze veelal - met als doel per doelgroep effectief te zijn - verschillende managementstijlen praktiseren. Dit werkt verwarrend voor de TD-medewerkers die hun 'baas' met drie maten zien meten. Een meer eenduidige managementstijl ontwikkelen waarbij macht en status van de TD zich positief ontwikkelen en effectief naar verschillende beroepsgroepen kan worden opgetreden is wenselijk.

● Ziekenhuissituatie i.r.t. onderhoudsconcepten

De objecten die in een ziekenhuis worden onderhouden worden aangewend voor zeer verschillende processen te weten:

- * het medisch handelen
- * het verplegen in engere zin
- * het 'hotelzorg' proces
- * het logistieke proces
- * het huishoudelijk proces (house-keeping)
- * enzovoorts

Het behouden van de functionaliteit zal dan ook tot zeer verschillende onderhoudsconcepten leiden per objectengroep. Bijvoorbeeld:

- * een groot deel van de ziekenhuisinventaris (bedden, rolstoelen, nachtkastjes, enz.) wordt korrektief onderhouden. De inventaris van de operatiekamer meestal preventief en/of inspectief.
- * gebruiksafhankelijk onderhoud (bijvoorbeeld bij motoren, compressoren, maar ook instrumenten, operatiekamer, equipment, enz.)
- * tijdsafhankelijk onderhoud (bijvoorbeeld gebouwonderhoud)
- * storingsafhankelijk onderhoud

• Plaats in de historische ontwikkelingsfasen

Zoals eerder aangegeven kunnen verschillende ontwikkelingsfasen bij het managen van een TD/ID worden onderscheiden:

- * 'brandweer' fase
- * technische fase
- * management fase
- * strategische fase

Diverse groepen te onderhouden objecten kunnen ieder in verschillende ontwikkelingsfasen verkeren. Voor ziekenhuizen kunnen enkele uitspraken worden gedaan over de fase waarin in het algemeen gesproken het onderhoudsmanagement zit.

Veel objecten met name die waar het effect van disfunctioneren op te vangen is (bijvoorbeeld via back-up of snelle reparatie) zitten in de brandweersfase.

De ontwikkeling van de technische fase krijgt weinig kans in een ziekenhuis. Preventief onderhoud is soms moeilijk te realiseren en de werkcultuur is te weinig technisch om deze benadering met succes te praktiseren.

Met name door de inbreng van het zittende management, soms daarbij geholpen door externe en interne organisatie-adviseurs, is voor een aantal objecten de managementfase bereikt. Dit geldt met name voor de grotere onderhoudskarweien.

De strategische fase is vrijwel nergens bereikt. Problemen met automatisering van de informatiestromen, discipline van de medewerkers bij het leveren van input-informatie en onbegrip bij het algemeen management en de gebruikers vormen naast onervarenheid van TD-managers met strategische management een aanmerkelijke hindernis daartoe.

Beeldvorming van een 'goede' manager van een TD/ID in een ziekenhuis

De vraag is in hoeverre uit de verschillen van overeenkomsten van een TD in een ziekenhuis in vergelijking met andere organisaties een beeld is af te leiden van een goede manager in een TD van een ziekenhuis. Ik meen dat dit mogelijk is en wel als volgt.

Een manager van een TD in een ziekenhuis moet in beginsel alle elementen beheersen welke overeenkomstig zijn voor management van TD's in zijn algemeenheid.

Hij werkt met hetzelfde begrippenkader, is goed thuis op dezelfde aandachtsvelden, kent dezelfde indeling in soorten onderhoud (zij het dat deze in een specifieke mix in het ziekenhuis aanwezig is).

Zijn onderhoudsconcepten kiest hij uit dezelfde etalage als zijn confrère in de

industrie en evenzo kent het ziekenhuis dezelfde ontwikkelingsfasen in het management (zij het dat deze ook hier in een specifieke mix aanwezig zijn).

Maar hierboven dient het vermogen, het kunnen van de TD-managers toereikend te zijn in te schieten op de specifieke elementen van het ziekenhuis op datgene waar het ziekenhuis verschilt van de andere takken van sport.

Het '+' van de goede ziekenhuis TD-manager:

- * te kunnen omgaan met de spanning van de middelpuntvliedende en zoekende krachten in de TD-organisatie
 - . grote aandacht voor introductie nieuwe medewerkers (rouleren, kweken 'clubgeest')
 - . gezamenlijke opleiding/training van medewerkers
 - . doelmatige overlegstructuren binnen de dienst
 - . projectenwerk benutten als bindend middel
 - . organisatieversterkende feedback naar medewerkers bijvoorbeeld overzichten van het functioneren van de dienst als geheel.
- * actief kunnen werken aan de vergroting van macht en status van de TD/ID in het ziekenhuis → dit leidt tot positieverbetering van de dienst als geheel.

Mijns inziens is een aangegeven weg daartoe de volgende:

maak - in aangepaste zin - gebruik van dezelfde middelen waarmee de meest machtige partij in het ziekenhuis namelijk de artsen macht heeft verkregen. De middelen waarop ik doel zijn gebruik maken van professionele werkcultuur. Getuigen van wetenschappelijke werkwijze. Voorbeelden hiervan kunnen zijn:

ad a)

- . ga methodisch te werk en geef uw methoden klinkende namen zowel bij 'diagnose' als bij 'behandeling'
- . informeer de 'patiënten' (lees: directie en gebruikers) expliciet over de resultaten van het uitvoeren van diagnose en behandelingsmodellen
- . organiseer en bezoek regelmatig vormen van intercollegiale toetsing (dus met uw collega TD'ers) en rapporteer daarover in huis.

Over allerlei soorten diagnose en behandelingsmethoden wordt u in deze PATO-cursus geïnformeerd door deskundige lieden op dat terreinvlak.

ad b)

- . gegevens verzamelen met name objectniveau
 - . tendenties signaleren
 - . ontwikkeling nieuwe of aangepaste diagnosemodellen
- * in staat zijn tot ontwikkeling van een meer eenduidige managementstijl naar alle partijen en daardoor geloofwaardiger overkomen
- * daarbij speelt hetgeen hiervoor is gezegd over vergroting van status een rol maar ook het toepassen van de kennis die u elders in deze cursus wordt aangeleverd met name bewuste keuzes maken ten aanzien van onderhoudsconcepten en toewerken naar meer mogelijkheden om met het management in de strategische ontwikkelingsfase te komen.

Tot slot zal het optreden van de succesvolle TD-manager mijns inziens tot gevolg hebben dat er een wezenlijke accentverschuiving zichtbaar wordt.

Van: 'produktiebaas', productiviteitsbeheersing (laat dat maar aan het tweede echelon over)

naar: 'strategie-ontwikkelaar en -voeder':

- zichtbaar maken functioneren van de dienst/parameters ontwikkelen
- sociaal management (clubgeest)
- zorg voor kwaliteitsverbetering menskracht/professionaliteitsgedachte invoeren
- expliciete doelstellingen formuleren (bijv. aantal karweien per man).

Deze ontwikkeling van aandacht voor de produktie naar strategische aandacht zal mijns inziens de noodzakelijke weg zijn om de TD/ID in de toekomst een meer waardevolle plaats in het ziekenhuis te laten innemen en daarmee de kwaliteit van het onderhoud te verhogen en de kosten te beheersen.

Korte vragenlijst

in het kader van de PATO cursus

Bedrijfszekerheid en onderhoud in ziekenhuizen.

- De genereerde uitkomsten van uw gezamenlijke reacties op deze vragenlijst zullen in de inleiding door Drs. J. Roland van de Kamp op 8 oktober worden teruggespiegeld.

- 1) Wat beschouwt u als wezenlijke overeenkomsten en verschillen tussen het management van een ziekenhuis TD en dit management in andere "takken van sport" bijv. industrie. Geef ook aan met welke (u bekende) takken van sport u de vergelijking gemaakt heeft.

overeenkomsten	verschillen
1. De overeenkomst is een schriftelijke overeenkomst. 2. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 3. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 4. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 5. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 6. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 7. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 8. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 9. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 10. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht.	1. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 2. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 3. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 4. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 5. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 6. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 7. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 8. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 9. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht. 10. De overeenkomst is een overeenkomst van opdracht.

* Welke goed functionerende "metertjes" heeft u in uw TD operationeel?

* Geef een zo gespecificeerd mogelijke omschrijving van uw beeld van de beste manager in een TD van een ziekenhuis. Doe dat in termen van eisen die aan hem moeten worden gesteld. (bij voorkeur niet alleen vage dingen noemen zoals "het moet een duizendpoot zijn met een olifantenhuid").

Niet meer dan bij wijze van voorbeeld kunt u denken aan verschillen/overeenkomsten t.a.v. positie in de organisatie, aandacht van het general management ervoor, soorten onderhoudswerk, afbraakrisico, kwaliteit van de bemanning.

Ik heb vergeleken met de volgende tak(ken) van sport:.....
.....
.....

2) * U bent als manager verantwoordelijk voor het goed lopen van de dienst. Welke parameters "metertjes" houdt u in de gaten of zou u in de gaten willen houden om "goed lopen" te beoordelen?

9. Onderhoudsbeheersing: doorlichtingsmethode?

Th.H.W. Jansen*

1. Inleiding

Een hoofd van een Technische Dienst zal, ongeacht de branche waarin hij werkzaam is, zichzelf regelmatig de vraag stellen: 'Hoe doe ik het eigenlijk?'. Er kunnen diverse aanleidingen zijn voor deze vraag:

- het daadwerkelijk inzicht willen hebben in de verhouding tussen onderhoudsuitgaven en het rendement van de onderhoudsinspanningen
- het zoeken naar verweermogelijkheden tegen het door de (interne) klanten gebruikte traditionele verwijt dat de onderhoudsdienst te duur (te langzaam, te ...) is
- het vergelijken van de eigen prestaties met die van collegae in dezelfde branche
- etc.

De vraag is snel gesteld en het is een zeer verstandige vraag. Wellicht dat het aanbeveling verdient als meer mensen zich bij tijd en wijlen zouden afvragen of ze nog op een zinvolle, efficiënte en/of juiste manier bezig zijn. Het antwoord is echter niet zo eenvoudig te geven als we spreken over onderhoud, immers:

- wat is goed onderhouden
- wat is het onderhoudsrendement
- hoeveel mag het onderhoud kosten
- is mijn situatie wel vergelijkbaar met die van mijn collega.

De oorspronkelijke vraag roept dus allerlei andere vragen op die al even moeilijk te beantwoorden zijn.

Toch is het antwoord van wezenlijk belang en derhalve zullen in dit onderdeel enkele methoden worden aangereikt die het zoeken naar het antwoord richting kunnen geven. Het zal duidelijk zijn dat, wanneer deze methoden aangepast zijn aan de gezondheidszorg, hoe meer van uw collegae hoofden Technische Dienst dezelfde doorlichtingsmethoden (laten) uitvoeren, des te groter worden de

* Rijnconsult bv, Velp

onderlinge vergelijkingsmogelijkheden binnen de branche. Zelfs is het dan mogelijk met branche-richtlijnen de eigen situatie te beoordelen, dan wel afwijkingen ten opzichte van dit branchegemiddelde te verklaren.

2. Onderhoudsbesturing

Alvorens in te gaan op methoden van doorlichting is het zinvol eerst even stil te staan bij het onderwerp van de doorlichting: de onderhoudsbesturing. De onderhoudsbesturing is geen op zichzelf staand fenomeen maar heeft relaties met een aantal factoren (zie fig. 1).

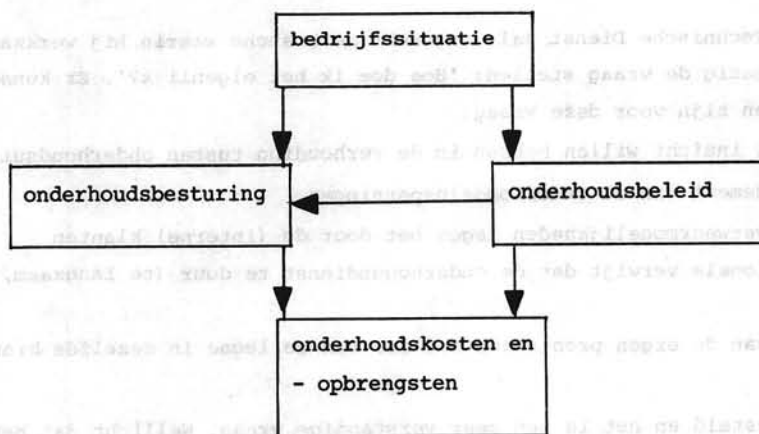


Fig.1. Onderhoudsbesturing en de relaties

Door de bedrijfssituatie worden een aantal zaken reeds grotendeels vastgelegd zoals:

- de aard van het onderhoud; afhankelijk van de te onderhouden installaties en gebouwen is op voorhand duidelijk welke soort onderhoudsکارweien zullen moeten worden uitgevoerd
- de omvang van het onderhoud; de hoeveelheid onderhoudswerk in manjaren is sterk afhankelijk van de aan de Technische Dienst toevertrouwde produktie-middelen
- de consequenties van het nalaten van onderhoud: het gevaar voor persoon en omgeving, de veiligheid, en de mogelijke schade, in materiële of immateriële begrippen, als gevolg van stagnaties in het primaire proces.

Ook het onderhoudsbeleid heeft een duidelijke relatie met de onderhoudsbesturing. Het onderhoudsbeleid geeft in feite aan op welke wijze onderhoudsproblemen zullen worden aangepakt.

Het onderhoudsbeleid is opgebouwd uit drie categorieën richtlijnen:

1. De eerste categorie richtlijnen zegt: 'zo onderhouden we'. Dit noemen we onderhoudsconcept. Het bevat richtlijnen voor de soort en de omvang van het onderhoud alsmede voor de onderhoudscapaciteit en de werkwijzen die men wil hanteren. Voorbeelden zijn:
 - 'Periodieke revisies uitvoeren gericht op een storingsvrij primair proces';
 - 'Herhaling van reparaties voorkomen door toepassing van duurzame materialen';
 - 'Er wordt gestreeft naar multicraft vaklieden'.
2. De tweede categorie zegt: 'zo besturen we het onderhoud'. We noemen dit het bestuurstechische concept. Dit houdt een aantal richtlijnen in voor de wijze waarop beslissingen tot stand moeten komen. Dergelijke richtlijnen zijn o.a.:
 - 'Wij streven naar een goede werkstroombesturing door prioriteitsstelling';
 - 'De onderhoudsbehoefte wordt door de technische dienst vastgesteld';
 - 'Directe contacten tussen onderhoudsmensen en verplegend personeel dienen te worden bevorderd';
 - 'Vergaande delegatie in een systeem van management by exception'.
3. De derde categorie richt zich op de mensen en zegt: 'zo gaan we met elkaar om'. Dit noemen we het gedragsconcept. Dit houdt een aantal richtlijnen in voor de gedrag patronen die men volgt of wil doen volgen.

Voorbeelden zijn:

 - 'Er wordt gestreefd naar een grote vrijheid in de wijze van taakuitvoering';
 - 'Alle personen krijgen een breder en dieper werkterrein';
 - 'Er wordt gestreefd naar een grote mate van zelfstandigheid en verantwoordelijkheid'.

In de derde plaats is er een verband tussen onderhoudsbesturing en onderhoudskosten en -opbrengsten. De kosten en opbrengsten vormen de resultante van het gehele onderhoudsgebeuren en worden derhalve mede beïnvloed door de onderhoudsbesturing.

Wat is nu onderhoudsbesturing? Besturen is te definiëren als: het initiëren, richten en beheersen van alle activiteiten die nodig zijn om een bepaald doel te realiseren.

Onderhoud, het doel waarover we hier praten, is te definiëren als alle activiteiten die noodzakelijk zijn om de duurzame productiemiddelen waarover men beschikt in de toestand te houden, of weer in de toestand te brengen die noodzakelijk wordt geacht voor het vervullen van hun functie.

Figuur 1 kunnen we nu wat uitgebreider weergeven en meer toegesneden op de ziekenhuissituatie (fig. 2).

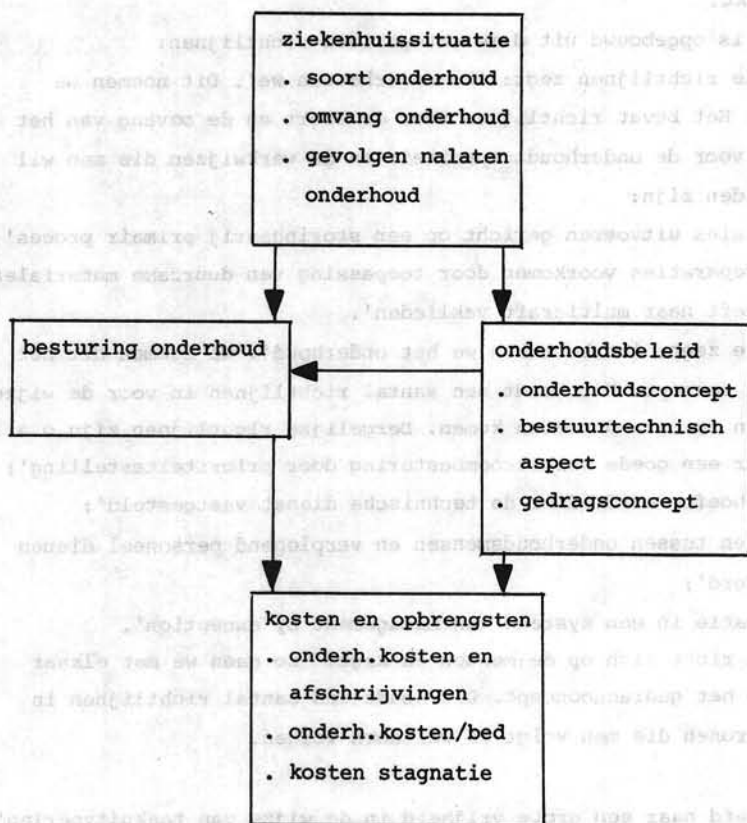


Fig. 2. Onderhoudsbesturing en relaties in de gezondheidszorg

Vanwaar deze aandacht voor de onderhoudsbesturing? U, als hoofd Technische of Instrumentele Dienst in een instelling in de gezondheidszorg, hebt voornamelijk op dit punt uw invloed. De ziekenhuissituatie is voor u een nagenoeg vast gegeven. Het onderhoudsbeleid wordt in relatie tot het instellingsbeleid geformuleerd en vervolgens dienen de voorgenomen onderhoudsactiviteiten 'slechts' hieraan getoetst te worden, hetgeen kan leiden tot hetzij een wijziging van de plannen, hetzij een beleidsbijstelling. De belangrijkste mogelijkheid van u om uw kosten en opbrengsten te beïnvloeden ligt in een optimale besturing van het onderhoud.

Om meer zicht te krijgen op de inhoud van dit begrip zullen in het volgende hoofdstuk enkele methoden worden aangegeven. Hiermee kunt u zelf, eventueel in samenwerking met collegae en/of externe deskundigen, beter inzicht krijgen in

de wijze waarop de huidige besturing van uw dienst staat in verhouding tot de gewenste besturing.

3. Doorlichtingsmethoden

3.1. Werkaanbodstudie

De budgettering richt de discussies binnen en buiten de Technische en/of Instrumentele Diensten op het kostenaspect. De opbrengsten in de zin van een veilige en verantwoorde functievervulling van de apparatuur, van wezenlijk belang zeker in de gezondheidszorg, en het doelmatig uitvoeren van inspecties en reparaties komen veelal onvolledig in de discussies naar voren en bestaan dan uit meningen.

De werkaanbodstudie geeft een groot aantal feitelijkheden zoals deze zich op de 'werkvloer' voordoen. Voor een vaak belangrijk deel zijn deze feiten niet in overeenstemming met de meningen. Weliswaar zijn deze verkregen basisfeiten voor interpretaties vatbaar, maar het blijven feiten van waaruit men kan denken en die consequenties voor de onderhoudsbesturing kunnen hebben.

De algemene doelstelling van de werkaanbod studie kan omschreven worden als: het leren kennen van de feitelijke onderhoudsvraag (het werkaanbod), opdat nagegaan kan worden of honorering van deze vraag zinvol en wenselijk is en zo ja hoe deze honorering dan dient plaats te vinden. De methodiek berust op het systematisch registreren van het totale werkaanbod en dit vast te leggen aan de hand van vooraf bepaalde kenmerken. Een kenmerk geeft een karakteristieke eigenschap weer van een onderhoudskarwei (fig. 3).

Van elk onderhoudskarwei wordt gedurende een bepaalde periode, bijvoorbeeld 6-8 weken een werkaanbodanalyseformulier ingevuld (fig. 4). Hierop kunnen de betreffende gecodeerde kenmerken worden aangekruist. Eventueel kan een korte proefperiode worden ingelast om alle betrokkenen aan deze, vrij ingrijpende, studie te laten wennen, of om de kenmerkenlijst aan de hand van de tussenresultaten bij te stellen. Afhankelijk van de aanleiding om de studie uit te voeren kunnen na afloop alle ingevulde formulieren worden verwerkt zodat de juiste en relevante informatie-doorsneden boven water komen en kunnen de besturings- of uitvoeringsconsequenties worden geïnventariseerd.

nummer	onderwerp	code	voorbeeld omschrijving
38	karweibezetting	1	1 man/karwei
		2	2 man/karwei
60	geografische spreiding	1	afdeling a
		2	afdeling b
		3	afdeling c
		4	ketelhuis
61	materiaalverzorging	1	niet nodig
		2	bij apparatuur
		3	magazijn
		4	bestellen

fig.3. voorbeeld van een kenmerkenlijst

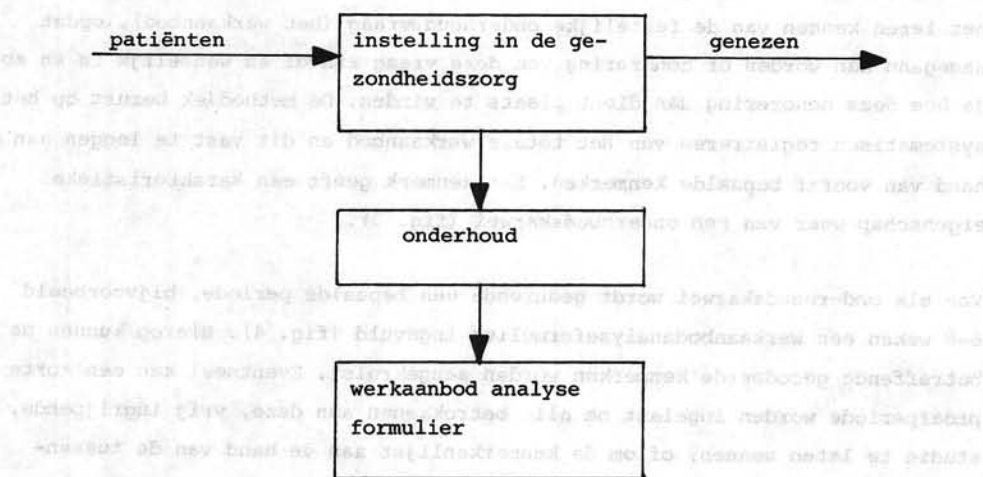


Fig.4. principe van de werkaanbodstudie

Enkele voorbeelden kunnen de mogelijke resultaten verduidelijken.

A. Technisch inzicht:

Het beter zicht krijgen op de voornaamste ontstaansbronnen van onderhoud.

- feitelijk resultaat werkaanbodstudie .

Periodiek werk	10%
Slijtage	30%
Menselijke fouten	5%
Corrosie/erosie	15%
Wensen klanten of TD/ID	10%
Vervuiling	10%
Ontwerp/constructie	20%

- Reacties op resultaat:

- . de post corrosie/erosie veel te hoog in die instelling;
- . de post vervuilingsoorzaak erg hoog;
- . er is verontrustend veel werk vanuit ontwerp/constructie;

- Suggesties tot actie:

- . de kwaliteit van de materialen onderzoeken, eventueel hogere eisen stellen;
- . de kennis van apparatuur bij de gebruikers vergroten;
- . het preventief onderhoud meer toepassen;
- . een notatie van de storingen in een logboek bij geselecteerde apparatuur.

B. Informatie/communicatie

Het opgeven van onderhoudswerkzaamheden en de rapportage van de werkuitvoeringen.

B.1. Feitelijk resultaat werkaanbod studie:

- . er worden op diverse plaatsen grote, niet verklaarbare verschillen gevonden tussen het aangeboden pakket werk in uren en de via de administratie verantwoorde uren.

- Suggesties tot actie:

- . de stuurgegevens verbeteren door maatregelen te nemen om de juiste administratieve verslaglegging te bereiken.

B.2. Feitelijk resultaat werkaanbodstudie:

- . 80% van de karweien vertonen verschil in geplande uren en de werkelijke uren;
 - . dit verschil bedraagt gemiddeld 30% van de geplande uren per karwei.
- Reactie op resultaat:
- . de karweien worden te summier omschreven;
 - . de terugrapportage is ontoereikend.
- Suggesties tot actie:
- . het verbeteren van de karwei-omschrijving;
 - . het verbeteren van de administratieve procedures.

Deze voorbeelden geven aan, welke gegevens via de werkaanbodstudie naar voren komen en hoe men er op reageert en maatregelen kan nemen. Het is slechts een greep uit een breed scala van mogelijke informatie die verkregen wordt. Dit is mede afhankelijk van een goede doelstelling en een open sfeer tijdens het onderzoek.

3.2. De korte doorlichting

Praten we bij de werkaanbodstudie over een doorlooptijd van enkele weken, de korte toelichting kan worden uitgevoerd in één of twee dagen. De basis van deze door Marcelis voor de industrie ontwikkelde methode is het onderscheid van zes velden in de onderhoudsbesturing.

Veld 1: onderhoud en strategie van de instelling

In het kader van de strategische opgave met betrekking tot het primaire proces wordt gekozen welke diensten men wil gaan verrichten en wat de daarvoor benodigde installaties zijn. Het onderhoudsvraagstuk is in dit vroege stadium reeds van belang. Houdt men wel voldoende rekening met het te verwachten onderhoud, de omvang van het technisch personeelsbestand, de specialistische kennis etc.

Veld 2: bepaling van de onderhoudsbehoefte

De installatiecapaciteit die noodzakelijk geacht wordt voor de uitvoering van het primaire proces moet ook beschikbaar zijn. Dit kan door investeringen of door onderhoud. Deze mogelijkheden moeten tegen elkaar worden afgewogen.

Veld 3: onderhoudsstrategie

De onderhoudscapaciteit kan eigen capaciteit zijn maar ook capaciteit van toeleveranciers.

Er wordt vastgesteld welke capaciteitsaanpassingen of welke nieuwe capaciteit nodig is om de toekomstige onderhoudsbehoefte te kunnen honoreren. Hier wordt ook vastgesteld welk soort werk zal worden uitbesteed aan toeleveranciers. Zonodig wordt op grond van capaciteitsbeperkingen, die niet op te heffen zijn de onderhoudsbehoefte bijgesteld, hetgeen tot nieuwe besluitvorming in veld 2 aanleiding zal geven. De uitkomst van de activiteiten in dit veld wordt meestal vastgelegd in onderhoudsbudgetten en investeringsbudgetten met betrekking tot de onderhoudscapaciteit.

Veld 4: beheer van de Technische/Instrumentele Dienst

In dit veld concentreren zich de beslissingen die te maken hebben met het feitelijk beschikbaar stellen en beheren van de onderhoudscapaciteit. Hoewel dit ook capaciteit omvat die buiten de rechtstreekse verantwoordelijkheid van de technische dienst valt, spreken we hier voor het gemak toch van technische dienst beheer. We denken hierbij aan beslissingen in de sfeer van het personeelsbeheer of de opleiding van het onderhoudspersoneel, aan beslissingen over gereedschappen en werkruimten en over de reserve-onderdelen en materialen. Ook speelt hier het sociale element (sfeer in de afdeling, motivatie) een rol.

Veld 5: werkvoorbereiding

Wanneer bekend is welke bijdragen worden verlangd, of met andere woorden welke onderhoudswerkzaamheden moeten worden uitgevoerd, kan blijft de vraag hoe zij worden uitgevoerd. Dit houdt werkzaamheden in als het bepalen van de werkmethoden, materiaal- en gereedschapsvoorbereiding en calculatie van karweitijden. Tevens wordt beslist welke persoon het werk zal uitvoeren. Deze activiteiten worden uitgevoerd door speciale functionarissen (werkvoorbereiders) in staffuncties, maar ook door bazen en monteurs (werkinstructie, vaktechnische begeleiding, e.d.).

Veld 6: werkstroombesturing

Het onderhoudswerkaanbod ontstaat naar aanleiding van storingen of gebreken geconstateerd bij inspectie of uit preventieve maatregelen, die bedoeld zijn om storingen te voorkomen (bijvoorbeeld preventieve onderhoudsschema's die worden bepaald in veld 2). Het werkaanbod wordt in verband gebracht met de beschikbare onderhoudscapaciteit in de afdelingen.

Eventueel worden de werkaanvragen geweigerd als de onderhoudscapaciteit (eigen

capaciteit en die van de toeleveranciers) onvoldoende is. De geaccepteerde werkaanvragen worden ingepland in de tijd. Met het plan als uitgangspunt worden bijdragen gevraagd van de onderhoudsafdelingen. Tijdens de uitvoering vindt controle plaats op voortgang, kwaliteit en kosten en wordt zonodig actie tot bijsturing genomen.

De zes velden zijn te beschouwen als bestuurlijke opgaven, taken voor het hoofd van de Technische/Instrumentele Dienst. De onderlinge samenhang van deze velden is weergegeven in fig. 5.

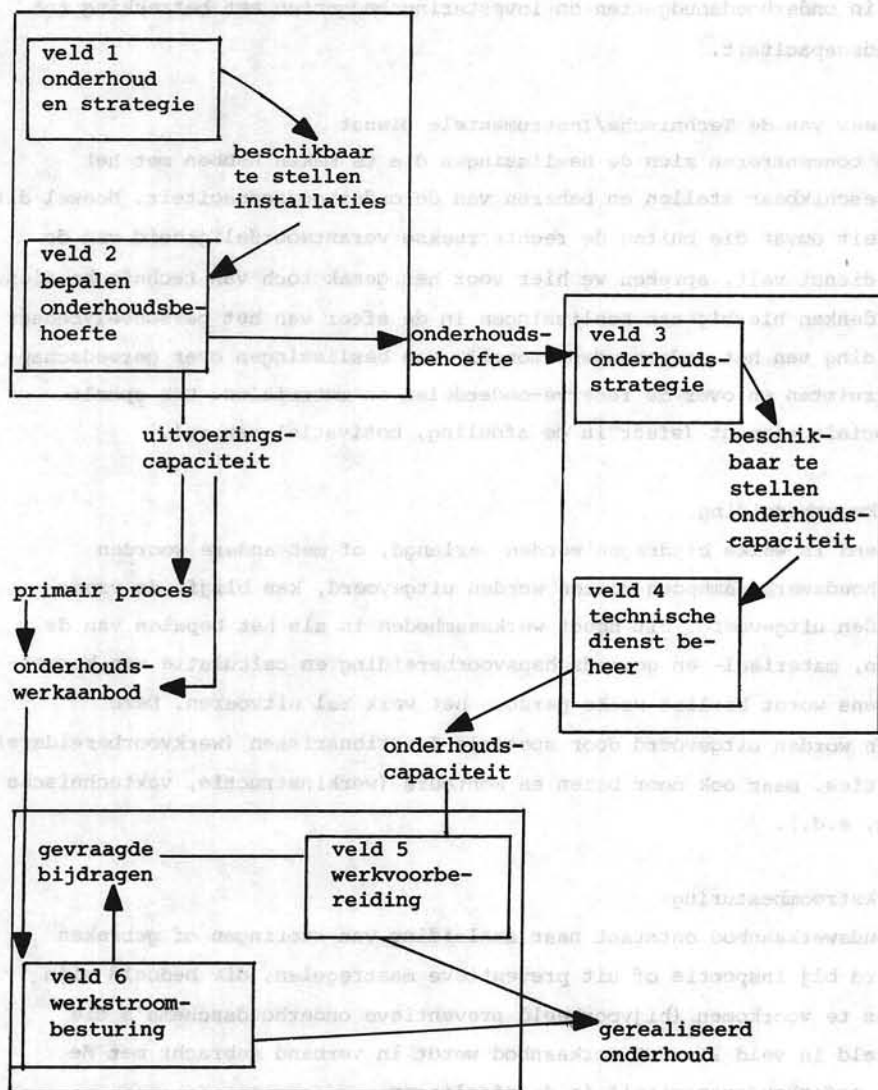


Fig.5 Zes aandachtsvelden van de onderhoudsbesturing

Het zal duidelijk zijn dat deze bestuurlijke opgaven meer of minder goed kunnen verlopen. Marcelis spreekt over het niveau van perfectie dat aangeeft de mate van beheersing, de mate van grip, die men op de bestuurlijke processen heeft. Deze mate van beheersing hoeft niet in elke instelling even groot te zijn.

Instellingen met een kleine Technische Dienst kunnen volstaan met een laag niveau van perfectie. Een hoog niveau van perfectie zou daar te veel kosten in de bestuurlijke sfeer met zich meebrengen (denk aan kosten van informatiesystemen en van stafpersoneel).

Naar niveau van perfectie hanteert Marcelis ook de mate van aanwezigheid van condities. Om de bestuurlijke processen te kunnen beheersen dient men immers over hulpmiddelen, technieken, opleiding e.d., kortom kondities, te beschikken. De condities kunnen onderverdeeld worden in:

- bestuurlijk (TD-personeel)
- organisatorische regelingen
- informatie
- bestuurlijke hulpmiddelen

De korte doorlichting bestaat nu uit een standaard vragenlijst (multiple choice) die gericht is op het bepalen van het niveau van perfectie en de mate van aanwezigheid van condities op elk veld van de onderhoudsbesturing.

Voorbeelden van vragen staan in fig. 6 en 7.

Fig. 6. Vormen van karweiplanning met bijbehorend nivo van perfectie

vormen van planning van de onderhouds-karweien	nivo van perfectie
a) De onderhoudskarweien worden vooraf niet in de beschikbare tijd ingepland	0
b) De onderhoudskarweien worden in beginsel in volgorde van binnenkomst uitgevoerd	10
c) De onderhoudskarweien worden niet in de tijd ingedeeld, maar met de urgentie ervan wordt rekening gehouden	20
d) De onderhoudskarweien worden korte tijd voor de uitvoering in de tijd ingedeeld met behulp van prioriteitsregels	40
e) De onderhoudskarweien worden door middel van een werkplan gepland	70
f) De onderhoudskarweien worden gepland met behulp van strokenbordplanning of een daarmee vergelijkbare planningsmethode	90
g) De onderhoudskarweien worden volgens vaste tijdschema's periodiek uitgevoerd	100

Fig. 7 Aanwezigheid van condities: informatie voor de werk-
voorbereiding

Beschikking per machine over:

- algemene gegevens	1
- tekeningen	1
- afstelgegevens	1
- onderdelenoverzichten	1
- montage/demontage voorschriften	1

Registratie van:

- geplande uren totaal	0,5
ook per karwei	0,5
- bestede uren totaal	1
ook per karwei	0,5
- uren onderhoud apparatuur totaal	0,5
ook per kawei	0,5

Publikatiefrequentie:

- minder dan 1x per week	0,5
- per week (extra)	0,5
- per dag (extra)	<u>0,5</u>
max. aantal punten	10,0

Uit onderzoek blijkt dat in verschillende branches er een relatie bestaat tussen het niveau van perfectie en de kondities. Deze moeten met elkaar in evenwicht zijn (fig. 8).

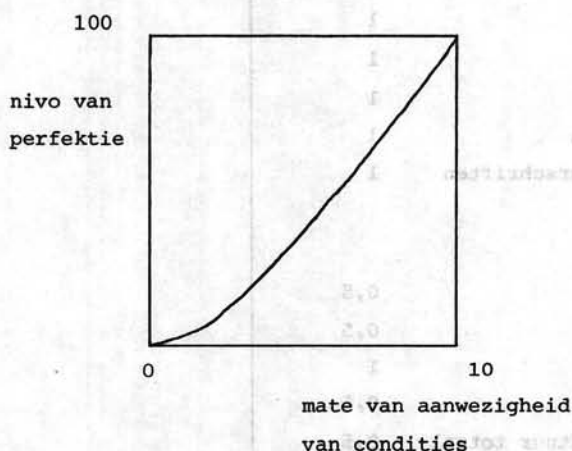


fig. 8. De relatie tussen niveau van perfectie en de mate van aanwezigheid van condities

Door een groot aantal (industriële) bedrijven op deze wijze door te lichten is men in staat aan te geven wat, afhankelijk van enkele kentallen van het bedrijf, voor dat bedrijf het gewenste niveau van perfectie en kondities is. De korte doorlichting kan dus resultaten geven als in figuur 9 en 10.

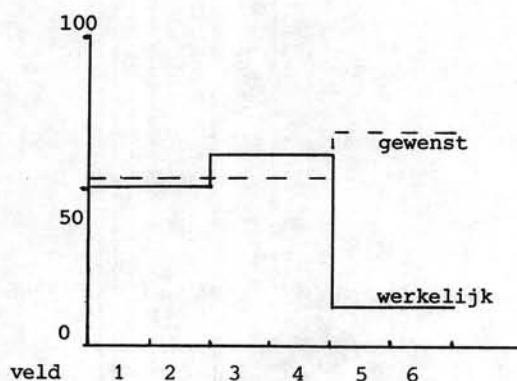


fig. 9. nivo van perfectie bedrijf x

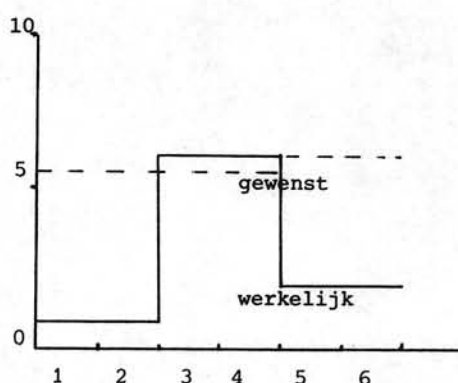


fig.10. mate van aanwezigheid van condities bedrijf x

In dit voorbeeld situatie zien we dat:

- het niveau van perfectie op veld 1 t/m 4 goed ligt
- het niveau van perfectie op veld 5 en 6 (werkvoorbereiding en werkstroombesturing) te laag ligt
- de kondities op veld 1 en 2 en 5 en 6 achterblijven
- een discrepantie op veld 1 en 2 tussen perfectie en kondities hetgeen twijfel oproept aan de juistheid van de beantwoordingen.

Door nu na te gaan welke vragen tot een zeer lage of juist zeer hoge score hebben geleid krijgt u de punten die voor verbetering vatbaar zijn.

4. Onderhoudsverbetering: een korte doorlichting?

Met name de in het vorige hoofdstuk globaal beschreven korte doorlichting is geschikt om in korte tijd een redelijk gedetailleerd inzicht te krijgen in de onderhoudsbesturing van een technische dienst: de sterke en zwakke punten.

Deze methode die 1 tot 2 dagen in beslag neemt kan men om de paar jaar uitvoeren teneinde te verifiëren of in gang gezette veranderingen ook daadwerkelijk vrucht afwerpen. Tot nu toe is deze methode in de industrie in een 200-tal bedrijven toegepast. De methode is ook vertaald ten behoeve van het toetsen van het accommodatiebeheer voor een grote multinational en wordt daar thans wereldwijd toegepast.

Ook voor de gezondheidszorg is waarschijnlijk een bijstelling van de standaardmethodiek gewenst. Men hanteert wellicht andere kentallen en gebruikt andere termen en begrippen. Ik ben ervan overtuigd dat een gezamenlijke inspanning van enkele hoofden van Technische en Instrumentele Diensten in de gezondheidszorg deze vertaling kan bewerkstelligen. Dat zou tevens het begin zijn van de opbouw van een soort gewenst branche-gemiddelde aan de hand waarvan men de eigen prestaties kan relateren aan de vereiste kwaliteit van de onderhoudsbesturing in uw instelling.

NB. Voor deze bijdrage is gebruik gemaakt van het proefschrift van dr.ir. W.J. Marcelis, 'Onderhoudsbesturing in ontwikkeling', Kluwer, Deventer, 1984.

De heer Marcelis is universitair hoofddocent aan de Landbouw Hogeschool te Wageningen en als organisatie-adviseur verbonden aan Rijnconsult bv te Oosterbeek.

10. De praktijk van de onderhoudsbeheersing in een ziekenhuis

H. Dassel*

1. Inleiding

Nadat in 1983 het budgetteringssysteem in de (algemene) ziekenhuizen is ingevoerd en de gevolgen hiervan in de afdelingen en diensten enige jaren ervaren zijn, is het goed eens na te gaan wat dit voor invloed heeft gehad op de bedrijfszekerheid en het onderhoud in de ziekenhuizen.

Gezien de snelheid waarmee de interne budgettering moest worden ingevoerd, was er voor het financiële management weinig tijd voor het opzetten van uitgebreide communicatie met afdelingen en diensten over de toe te wijzen budgetten en werd er veelal uitgegaan van historische gegevens, macro gezien werden de onderhoudskosten gefixeerd op het niveau van 1982.

Afhankelijk van de ideeën van de directie, financiële administratie en de onderhandelingsvaardigheid van het hoofd van de Technische- of Instrumentele Dienst varieerde daarna het nieuwe budget tussen 110% en 75% ten opzichte van het vorige.

Ook in de personele sfeer werd soms danig het mes gehanteerd, zonder dat steeds de consequenties ervan werden (in-)gezien.

Omdat het toewijzen van budgetten steeds meer onder beperkende factoren plaatsvindt, zijn goed onderbouwde beleidsplannen met begrotingen van steeds groter belang.

De keuzes die mede op grond van deze begrotingen gemaakt worden hebben grote invloed op de bedrijfszekerheid van apparatuur en installaties alsmede op de mate waarin onderhoud van gebouwen installaties en (medische-) apparatuur kan plaatsvinden.

Onderstaand wordt beschreven hoe en met behulp van welke methoden gekomen kan worden van een goed opgezette inventaris tot een meerjaren begroting.

* Academisch Ziekenhuis, Universiteit Amsterdam

2. Het inventaris bestand

2.1. De codering

Om te komen tot onderhoudsbeheersing zal precies vastgelegd moeten zijn wat er onderhouden moet worden.

Daartoe zal er geregistreerd moeten zijn of worden welke activa, gebouwen, installaties, apparatuur en andere inventarisgoederen er in bezit zijn.

Wil men komen tot geautomatiseerde gegevensverwerking voor zowel het opzetten van planningen en meerjaren begrotingen als voor historische analyse waarbij bovendien bedrijfsvergelijkingen tussen ziekenhuizen mogelijk zijn, dan zal men moeten werken met een gestandaardiseerd coderingssysteem.

Het ligt voor de hand dat dan gebruik wordt gemaakt van het door het NZI uitgegeven Artikel/Object Classificatie-coderingssysteem.

Dit systeem is ontwikkeld uit verschillende classificatiecodes en was oorspronkelijk opgezet voor duurzame gebruiksgoederen.

Daar dit apparatuurinventarisbestand thans ook gebruikt gaat worden voor het gehele systeem van de onderhoudsbeheersing zijn installaties en installatieonderdelen alsmede gebouwen en gebouwdelen nu eveneens in het AOC-coderingssysteem opgenomen.

Het systeem bestaat uit vier hiërarchische niveaus bestaande uit $4 \times 2 = 8$ cijfers.

XX.00.00.00 = hoofdgroep aanduiding

00.XX.00.00 = groep aanduiding

00.00.XX.00 = aanduiding van afzonderlijk artikel c.q. object

00.00.00.XX = invullingsmogelijkheid per instelling

Om nu elk apparaat of elke installatie afzonderlijk te kunnen registreren en dus van een uniek nummer te kunnen voorzien, zal er naast de classificatiecode een identificatiecode moeten worden toegekend.

Het NZI AOC boek noemt de volgende mogelijkheden:

- een volgnummersysteem
- een combinatie van aanschafdatum en volgnummer
- een combinatie van de code van de afdeling c.q. de ruimte waar het artikel wordt gebruikt en een volgnummer.

Enkele voorbeelden ter illustratie en verduidelijking:

a. classificatie

05.00.00.00 hoofdgroep : terreinen

46.00.00.00 hoofdgroep : apparatuur voor functieonderzoek en bewaking

11.45.10.00 object : verlaagde plafonds

15.03.25.00 object : netspanningsstabilisatoren

57.20.70.00 object : heater unit voor luchtbehandelingsinstallatie

De vraag kan gesteld worden hoever gegaan dient te worden met de taillering.

Van een luchtbehandelingskast kunnen b.v.:

- heater unit
- cooler unit
- luchtfilter
- pompen
- kogellagers
- v-snaren

apart worden gecodeerd.

Alleen als dit zinvol is, dient men er toe over te gaan.

Voor de beheersmatige opzet kan m.i. volstaan worden met een indeling op hoofdgroep en groepsniveau.

Zonodig kan later altijd nog tot een gedetailleerde onderverdeling worden overgegaan, indien b.v. blijkt dat iets vaak defect raakt.

Ook indien aan bepaalde onderdelen periodiek werkzaamheden dienen te worden verricht kan een codering op objectniveau zinvol zijn, b.v. filters in luchtbehandelingskasten.

b. identificatie

Welke van de bovengenoemde mogelijkheden wordt toegepast is niet zo belangrijk. Wel is gebleken dat het systeem dat in meerdere academische ziekenhuizen wordt toegepast, nl. een combinatie van aanschafdatum en volgnummer, goed werkt.

Soms wordt ook nog een nummer toegevoegd waaruit blijkt hoe de geldstroom voor de investering is ontstaan, met andere woorden wie heeft betaald.

De codering ziet er dan als volgt uit:

XX.000.0000 = jaar van aanschaf
00.XXX.0000 = crediet nummer
00.000.XXXX = volgnummer

Voorbeeld:

86.010.0137 = de 137^e investering in 1986 in dit geval betaald door een particuliere instelling (gift).

2.2. De inventariskaart

Op de stamkaart, in de kaartenbak of in het inventarisbestand van het geautomatiseerde systeem, dienen de relevante gegevens van het object te worden opgenomen.

Twee mogelijke opzetten zijn:

- a. stamkaart inventaris-artikel van de NVTG-werkgroep Automatisering en Technisch Management.

Inventarisnummer : 123456789	AOC-code : 46.03.01.00	ECG-RECORDER 1-KAN. (a)
Ruimte : 12AB34	PACEMAKERCONTROLE	(b)
Afdeling : CAR	CARDIOLOGIE	
Bestelbonnummer : 123456	Besteldatum : xx-xx-xx	Ontvangstdatum : xx-xx-xx
Fabrikant : xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	Model : xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
Type : xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	Serienr. : xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
Leverancierscode : 008844	PIETERSEN.....	Tel. : xxxxx xxxxxxxx
Veiligheidsklasse: xxxxx	Aantal : xxx	Einde garantie : xx-xx-xx
Onderhoudstaak : 123456		
Kostensoort : 471510	O&A INSTRUMENTARIUM EN APPARATUUR	
Aanschafbedrag : (hfl)		
Vervangingswaarde : (hfl)		
Adfschrijvingspc.: (%)		
Afgeschr. bedrag : (hfl)		
Dokumentatiegegevens: (c)		
Dokumentatiecode:	Dokumentatielocatie:	
LGB LOGBOEKKAARTEN	BTD BEDRIJFSBURO TECHNISCHE DIENST	
TSS TEKENINGEN:SCHEMA'S	TDI WERKPLAATS INSTRUMENTATIE	

Werkwijze:

- Module: inventarisatie inventarissen, aantal stamkaarten:
- Velden te selecteren uit rubriek A1, blz. 25, veldlengtes bepalen
- Relaties met ander bestand aangeven, b.v.:
 - A10, artikelcoderingsysteem (a)
 - A11, locatie/ruimtenummering (b)
 - documentatiecodes en -locaties (max. ..per kaart) (c)

b. inventaris overzicht, volgens de gebruikers specificatie van het bij de Academische Ziekenhuizen in gebruik zijnde BAZIS, systeem-deel INVENT (= inventaris).

I N V E N T A R I S R E G I S T R A T I E

(2) Invent.nr./Kred.:	:	
(3) Bestelbonnummer:	:	
(4) Besteldatum:	:	(5) Verm.Aflevertermijn (wkn):
(6) Artikelnummer:	:	
(7) Vtekst:	:	(8) Aantal:
(9) Fabrikaat:	:	(10) Model:
(11) Type:	:	(12) Serienummer:
(13) Leveranciernummer:	:	
(14) Bedrag (guldens):	:	Afgeschreven bedrag
(15) Levensduur (ca. jaar):	:	(16) Garantietermijn (mnd):
(17) GB-ET-KM (oud):	:	(18) Configuratie code:
(19) Kostenplaats:	:	
(20) Kostensoort:	:	
(21) Aanvulling (J/N):	:	Boekstuknr
(22) Onderhoud nodig (J/N):	:	(23) GB-ET-KM (nieuw):
(24) Ontvangstdatum:	:	(25) Invoerdatum:
(26) Bijzonderheidscode:	:	

2.3. Het vullen van het inventarisbestand

Alle apparatuur, installatie onderdelen, gebouwdelen, kortom alle duurzame gebruiksgoederen en vaste activa in het inventarisbestand invoeren is een van de moeilijkste opgaven van het gehele proces van de onderhoudsbeheersing omdat het enorm veel werk is, dat zorgvuldig door het gehele ziekenhuis heen gedaan moet worden. Anderzijds is het een van de belangrijkste activiteiten omdat planningen en begrotingen elke keer opnieuw dit bestand als basisgegevens gebruiken.

Diegene(n) die met het inventariseren belast worden of aanvullende gegevens moeten zoeken op reeds aanwezige inventariskaarten zullen derhalve mensen moeten zijn die nauwkeurig werken en de noodzaak inzien van het zo zorgvuldig mogelijk vullen van deze items van de inventariskaart.

Worden deze activiteiten tevens benut om het gehele bestand te controleren en eventueel te schonen, dit wil zeggen innemen van die apparatuur die niet meer gebruikt behoeft te worden, dan moet deze functionaris bovendien zeer goede contactuele eigenschappen hebben, wil hij de benodigde medewerking krijgen van de gebruikers van de apparatuur. Ten derde moet deze functionaris beschikken over een behoorlijke technische kennis, om de betreffende "beestjes" bij hun juiste naam te noemen of via het synoniem register de voorkeurtermen te vinden.

3. Planning onderhoudscapaciteit

Als het inventarisbestand gevuld is, kan men overgaan op de structurele aanpak van het periodiek, preventieve onderhoud en het correctieve onderhoud.

Elk gecodeerd inventarisartikel of groep van artikelen dient nu nader te worden beschouwd.

Een hulpmiddel hierbij is een lijst zoals b.v. in bijlage 1 is aangegeven.

In de kolommen staan vermeld:

- de activiteit per onderdeel
- de tijd die per onderdeel voor het verrichten van de activiteit benodigd is
- het aantal malen dat het onderdeel voorkomt
- het aantal malen dat de activiteit per jaar per onderdeel verricht moet worden
- het aantal manuren dat op jaarbasis nodig is voor de activiteiten voor dit apparaat, onderdeel of installatieve deel.

De kolommen "uitbesteed derden" en "onderhoudscontracten" geven aan of derden nodig zijn en op welke basis: regie of via contracten.

De kolom materiaal geeft een schatting van de materiaalkosten die per activiteit gemaakt worden.

Bij de invulling van deze lijst dient goed onderscheid gemaakt te worden tussen het preventieve en correctieve onderhoud.

Het preventieve onderhoud is beleidsmatig op te zetten.

De kolommen worden door de betreffende onderhoudskundige op pragmatische gronden ingevuld. Ervaring speelt hierbij een belangrijke rol.

De leiding van Technische Zaken zal als verantwoordelijke de ingevulde cijfers stuk voor stuk moeten nalopen en zal vooral veel aandacht moeten schenken aan de kolom FREQ (frequentie).

Immers deze kan uiteen lopen van 0 via 1/10, 1/5, 1/3, 1/2 naar 1, 2, 3, 4, 6 of 12 maal per jaar.

Eenmaal ingevuld zal dit jaarlijks moeten worden geëvalueerd en zonodig bijgesteld.

Minder beleidsmatig zijn de kolommen in te vullen voor het correctieve onderhoud.

Het behoeft geen betoog dat de frequentie van het preventieve onderhoud sterke invloed uitoefent op het aantal storingen dat in een jaar zal optreden.

Toch dient een zo nauwkeurig mogelijke raming, gebaseerd op historische gegevens, te worden opgezet van het verwachte correctieve onderhoud.

Per onderhoudsgroep dienen nu de totalen aan manuren en materiaalkosten te worden opgeteld.

De benodigde netto capaciteit per b.v. groep electronici, timmerlieden en onderhoud sanitair is nu vastgesteld.

Daar het hier gaat om onderhoud, wordt niet ingegaan op de aspecten die een rol spelen bij verbouwingen, nieuwbouw, ontwikkelingen van (medische-) apparatuur, het geven of ontvangen van lessen en instructies enz.

Door nu de totalen aan benodigde netto uren te delen door het netto aantal uren dat per werknemer per jaar gewerkt wordt, kan berekend worden het noodzakelijke aantal functionarissen per groep in T.Z.

De aggregatie van deze uitkomsten geeft het totaal aantal technici voor een functionele eenheid Technische Zaken voor zover het onderhoud betreft.

Het bovenstaande kan met behulp van het op bijlage 2 geschetste formulier worden uitgevoerd.

Door naast de kolommen curatief en preventief een kolom "overig" te nemen, waar ingevuld kan worden welke overige werkzaamheden in de betreffende groep dienen te worden uitgevoerd, kan men het totale netto aantal uren berekenen die per groep gewerkt wordt.

Hierbij valt te denken aan b.v.:

- uren te besteden aan verbouwingen
- uren te besteden aan modificaties
- uren te besteden aan het instrueren van gebruikers van apparatuur en installaties.

4. Beschikbare onderhoudscapaciteit

Het totaal aantal formatieplaatsen waarover het hoofd Technische Zaken zal kunnen beschikken wordt bepaald door:

- a. extern ziekenhuis: hoeveel geld mag een instelling besteden aan personele lasten
- b. intern ziekenhuis: waaraan wordt bij het toewijzen van formatieplaatsen prioriteit gegeven.
- c. onderhandelings techniek: hoe "verkoopt" de leiding van Technische Zaken de taken en werkplannen van hun eenheid of dienst.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat bestuur en directie de bevoegdheid hebben om te substitueren, d.w.z. de ene eenheid structureel of ad hoc meer of minder formatieplaatsen toe te wijzen, ten koste of ten voordele van andere eenheden.

Het zal niemand verbazen dat de beschikbare onderhoudscapaciteit veelal minder zal zijn dan berekend is dat er nodig is.

De vraag is dan: wat doen we zelf en wat besteden we uit.

In het artikel "wel of geen all-in service overeenkomsten, een dilemma" wordt hier uitvoerig op ingegaan.

5. Het financiële budget

5.1. De functionele bedrijfsrekening.

De administratieve diensten van instellingen werken met de functionele bedrijfsrekening van het NZI.

Groep 47 registreert de kosten "onderhoud en aanvulling duurzame activa en artikelen".

De onderverdeling hiervan is in grote lijnen als volgt:

4715 instrumentarium en apparatuur

4726 inventaris tech. en agrarische dienst

47335 ketelinstallaties

47336 stoom-, water- en verwarmingsinstallaties

47439 overige bijzondere installaties.

Deze kosten vormen samen met de directe personeelskosten uit groep 41, de directe kosten van Technische Zaken.

Zou nu het budget toegewezen worden volgens dit schema, dan ziet de onderverdeling van het totaal budget er als volgt uit:

- personele lasten

- energie

- onderhoud en aanvulling

 - . huishoudelijke kosten

 - . algemene kosten (o.a. telefoon)

 - . medische middelen (o.a. gassen)

 - . med. inventaris en artikelen

 - . overige inventaris en artikelen (o.a. materiaal)

 - . terreinen, gebouwen en installaties.

Dit sluit slecht aan bij de besproken opzet, waarbij groepen binnen Technische Zaken een begroting hebben gemaakt en naar aanleiding daarvan een budget toegewezen hebben gekregen.

Om hieraan tegemoet te komen heeft het NZI het begrip "organische bedrijfsrekening" geïntroduceerd.

5.2. Het budgetcode systeem

Binnen Technische Diensten waren vaak reeds "eigen" systemen tot ontwikkeling gekomen.

Eén zo'n systeem is het budgetcode systeem, dat afhankelijk van de interne organisatie en de "klantenkring" er als volgt uit zou kunnen zien:

* Technische Zaken

* Subeenheid T.Z.:

- . Installatie Technische Zaken (I.T.Z.)
- . Bouwtechnische Zaken (B.T.Z.)
- . Instrumentele Zaken (I.Z.)

* Locatie aanduiding/kostenplaats:

- . ziekenhuis
- . energie centrale
- . psychiatrie
- . opleidingsschool
- . derden waarvoor apparatuurcontrole/ reparatie/onderhoud wordt verricht

* Kostensoort:

- . materiaal t.b.v. eigen functionele subeenheid
- . röntgenbuizen
- . materiaal t.b.v. doorleveringen
- . energie en grondstoffen
- . onderhoudscontracten
- . uitbesteed onderhoud aan derden curatief
- . uitbesteed onderhoud aan derden preventief
- . uitbesteed onderhoud aan derden modificatief/ correctief

1			
	1		
	2		
	3		
		1	
		2	
		3	
		4	
		5	
			1
			2
			3
			4
			5
			6
			7
			8

5.3. De begroting

Door nu per in .2 genoemde subeenheid per kleinste budgethouder (groep) de begroting te laten opstellen aan de hand van de lijst van bijlage 1 wordt de betrokkenheid en verantwoordelijkheid zo laag mogelijk in de organisatie gelegd.

Deze groepen kunnen b.v. zijn:

bij B.T.Z. : de timmerwerkplaats

I.T.Z. : de groep sanitair
de groep zwakstroom

I.Z. : de groep laboratorium apparatuur
de groep beeldvormende technieken.

Door aggregatie wordt dan per subeenheid de begroting verkregen en vervolgens die voor de gehele functionele eenheid (dienst).

Is de begroting eenmaal vastgesteld dan moet deze weer verdeeld worden tot op groepsniveau.

De bestedingen worden vervolgens per maand per groep bijgehouden en over het geheel verantwoording afgelegd.

6. De meerjarenbegroting

6.1. De opzet

De in de vorige paragraaf beschreven begroting per groep, is opgesteld door de vaktechnische groepsleider die "spreekt" vanuit zijn ervaring.

Door van deze praktische kennis en ervaring gebruik te maken kan tevens gekomen worden tot een meerjaren begroting.

Immers als we thans werken aan de opstelling van de begroting 1987 per inventarisnummer of groep van AOC-code's, kunnen we daar kolommen naast zetten met de verwachte begrotingscijfers voor de middellange termijn, d.w.z. tot en met 1992. Voor sommige groot-onderhoudsposten misschien tot 1997.

De groepsleider dient dan wel over informatie te beschikken met betrekking tot het vervangingsbeleid en mogelijkheden alsmede over de toekomstige (grote-) aanschaffingen.

Tevens moeten de plannen bekend zijn over nieuwbouw, verbouw, wijzigingen in de installaties enz.

Hierbij kan gedacht worden aan de:

- liftinstallaties
- de personen oproep installaties
- de telefooncentrale
- computerapparatuur.

Bij meerdere posten groot-onderhoud met een frequentie lager dan één, dient het hoofd van de dienst te zorgen voor spreiding.

Tot deze categorie behoren:

- groepsremplace van lampen
- wegonderhoud
- buitenschilderwerk
- controle veiligheid installaties (NEN 3134)
- daken en goten
- onderhoud gevels.

Tenslotte dient bij het opzetten van meerjaren begrotingen rekening te worden gehouden met:

- het percentage B.T.W.
- loon inflatie correctie
- stijging kosten onderhoudscontracten
- moeilijkheidsgraad te onderhouden apparatuur en installaties
- effecten die optreden indien grootonderhoud wordt uitgesteld.

6.2. Beleid-beheersmogelijkheden

Doordat nu op kwantitatieve gronden bekend is hoeveel manuren en financiële middelen nodig zijn om het onderhoud op verantwoorde wijze uit te voeren, kunnen op managementniveau planningen worden opgezet ten aanzien van:

- a. de mate van onderhoud
- b. het personeelsbeleid.

Ad.a. Door het zichtbaar hebben van meerjaren planningen is het mogelijk om, op zeer korte termijn, economische beslissingen te nemen op het gebied van wel/niet investeren en/of vervroegd of vertraagd groot onderhoud plegen en de gevolgen daarvan voor de komende jaren te becijferen.

Ad.b. De gevolgen kunnen zichtbaar gemaakt worden van een meerjaren-personeelsbeleid (ook in sociale zin).

Het gaat ook hier om de gevolgen van op economische gronden genomen beslissingen.

Hierbij valt te denken aan mutaties in het personeelsbestand per onderhoudsgroep, aan omscholing, aanvullende cursussen en aanstellings- en afvloeiingsbeleid.

6.3. Geautomatiseerde ondersteuning

Gezien de enorme hoeveelheid informatie die in bestanden moet worden opgenomen, de invloed op de uitvoering van het onderhoud als er inputfactoren worden gewijzigd of de wens de gevolgen van inputveranderingen op de output "op papier" te zien, maakt het onomstoten duidelijk dat computerondersteuning noodzakelijk is.

Hiermee wordt het dan bovendien mogelijk om naar de wensen van verschillende disciplines/ziekenhuiseenheden te selecteren.

Voorbeelden zijn:

- selectie naar AOC-code t.b.v. bv. onderhoudsfrequentie
- het sorteren naar soort werk en onderhoudsgroep
- sorteren naar kostensoort t.b.v. administratieve diensten
- selectie naar inventariscode t.b.v. externe financiers.

Diverse groepen zijn met de uitwerking van deze ideeën bezig, zowel vanuit de instellingen als vanuit adviesbureaus en computer software houses.

Het is m.i. zinvol dat veel intensiever wordt nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van de software van TEZIS, het voor de in BAZIS-verband samenwerkende ziekenhuizen, gereed zijnde en verder te ontwikkelen TEchnische Zaken Informatie Systeem.

Met name ook de onderhoudsbeheersing op de middellange en lange termijn, met meerjaren begrotingen hebben binnen de academische ziekenhuizen veel aandacht.

7. Samenvatting en conclusies

1. De invoering van het budgetteringssysteem heeft grote invloed gehad op het denken binnen ziekenhuizen en instellingen over onderhoud, onderhoudsbegroting en onderhoudsbudget, meerjarenplanningen en meerjaren begrotingen.
2. Veel directies en hoofden van Instrumentele en Technische Diensten ervaren dat het onderhoud budget onvoldoende is.
3. Door de mogelijkheden binnen de interne budgettering kan een directie/bestuur grote invloed hebben op het toe te wijzen onderhoudsbudget van de diensten belast met onderhoud.
4. Deze dienst zal dan met kwantitatief onderbouwde meerjaren begrotingen moeten komen om bestuur, directie en collega diensthoofden te overtuigen dat voor de adequate instandhouding van de technische middelen in het ziekenhuis het juiste onderhoudsbudget wordt toegewezen.
5. Door deze begrotingen in principe zo laag mogelijk in de organisatie te laten opzetten, wordt een zo groot mogelijke betrokkenheid van het (midden-) kader bereikt.
Dit bevordert de motivatie, vermindert de vrijblijvendheid en legt een grotere verantwoordelijkheid door de gehele onderhoudsorganisatie ten aanzien van de uitvoering van de taken en de besteding van de ter beschikking gestelde budgetten.
6. Wil men op beleidsniveau snel de gevolgen van bepaalde economische bestedingen kunnen zien, dan zullen tot op een bepaald niveau geaggregeerde data in een computersysteem voor "Beheersing Op Langere Termijn" aanwezig moeten zijn.
Voor de BAZIS-participanten en zo mogelijk ook voor andere gebruikers dient dit BOLT-systeem spoedig in TEZIS operationeel te worden.
7. Indien de gevraagde budgetten voor preventief en correctief onderhoud van directiewege worden toegewezen aan Technische Zaken, mag de directie er van uitgaan en moet Technische Zaken het waarmaken dat aan de vereiste bedrijfszekerheid, betrouwbaarheid en veiligheid in het ziekenhuis wordt voldaan.

TECHNISCHE ZAKEN	<u>ONDERHOUDS ACTIVITEITEN PLAN</u>	<u>WERKGROEP:</u>
	Soort onderhoud:	auteur :
	Apparaat/inst.deel	datum :
Afd.:	_____	jaar :
	_____	Bladno. :

[illegible]

Bijlage 2

TECHNISCHE ZAKEN		ONDERHOUDSCAPACITEIT TECHNISCHE ZAKEN						Netto aantal uren per manjaar	Aantal personen per groep
Afd.:		Uren per jaar:							
		Curatief	Preven- tief	Subtotaal onderhoud	Overig Modifi- catief	Totaal			
Bouw Techn. Zaken	Groep 1						1500		
	Groep 2								
	Groep 3								
	Totaal B.T.Z.								
Installatie Technische Zaken	Groep 1						1500		
	Groep 2								
	Groep 3								
	Groep 4								
	Groep 5								
	Groep 6								
	Groep 7								
	Totaal I.T.Z.								
Instrumentele Zaken	Groep 1						1500		
	Groep 2								
	Groep 3								
	Groep 4								
	Groep 5								
	Groep 6								
	Totaal I.Z.								
Totaal curatief			—	}	—				
Totaal prevent.		—			—				
Totaal modificat.		—	—	—					
Netto aantal uren per manjaar		1500	1500	1500	1500				
Aantal personen per jaar									

TECHNISCHE ZAKEN	<u>ONDERHOUDS ACTIVITEITEN PLAN</u>	<u>WERKGROEP:</u>
	<u>Soort onderhoud:</u> Apparaat/inst.deel _____ _____	auteur : datum : jaar : Bladno. :
Afd.:	_____	

[illegible]

11. Geautomatiseerd instrumentatiebeleid

R.G.M. Saat* en C. van Veen*

Inleiding

Als gevolg van veranderingen in financiële voorwaarden die te maken hebben met investeringen in apparatuur van ziekenhuizen en de kosten van exploitatie ervan is in toenemende mate belangstelling merkbaar voor beheersmatige aspecten verbonden aan het bezitten van apparatuur.

Deze belangstelling bestond natuurlijk al een hele tijd bij diegenen in de ziekenhuizen die professioneel technisch met apparaten te maken hebben; denk aan elektronici, fysicy enz....

Nu echter ook buiten de professioneel technische disciplines het grote belang van goed beheer van de apparatuur voor het ziekenhuis wordt ingezien en zelfs gepropageerd, blijkt dat weinig gegevens over apparatuur, gedrag ervan en de kosten eraan verbonden voorhanden zijn. Het beheersen van apparatuur in de meest uitgebreide zin van het woord wordt daardoor lastig. Zelfs het beheersen van technische en economische parameters alleen is al moeilijk.

De in de literatuur gepubliceerde gegevens over kosten van bijvoorbeeld onderhoud aan apparatuur zijn nauwelijks gekoppeld aan inzicht in de inhoud van dat onderhoud. Bovendien worden veelal gegevens over kosten van onderhoud gepresenteerd die betrekking hebben op groepen van ziekenhuizen die functioneren onder omstandigheden die afwijken van de Nederlandse situatie. Hierdoor zijn de gepubliceerde gegevens moeilijk te hanteren op individueel ziekenhuisniveau.

Opzet database

Een voorwaarde voor adequaat apparatuurbeleid is in ieder geval de mogelijkheid

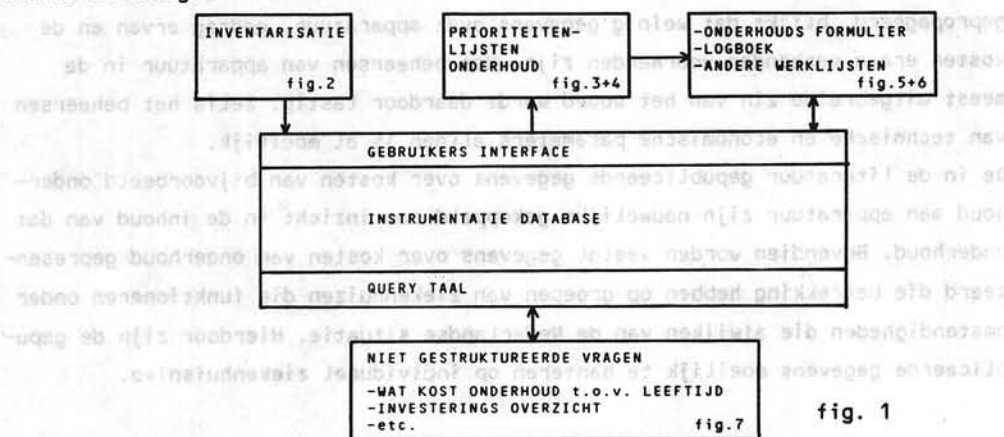
* Westfries Gasthuis, Hoorn

over aan de apparatuur gerelateerde gegevens te beschikken en te kunnen bewerken en verwerken.

Dit bracht ons ertoe een database van apparatuurgegevens te gaan hanteren. Met name de wenselijkheid gegevens snel te kunnen bewerken speelde hierbij een rol. Aan de te ontwerpen database en het te definiëren gebruik ervan werden een aantal eisen gesteld; waaronder de volgende:

- organisatie van database moet zeer flexibel zijn om toevoeging of verwijdering van elementen eenvoudig en snel mogelijk te maken.
- database moet benaderd kunnen worden met behulp van querytalen naast specifiek gedefinieerde applicaties.
- Principiele structuur van de database moet gedistribueerde opslag van gegevens en benadering via een local area network mogelijk maken
- database en applicatieprogramma's moeten met een maximale betrokkenheid van eindgebruikers worden ontworpen.

Aan de eisen kon worden voldaan door te kiezen voor een relationele database en daarbij te hanteren programma generatoren. In overleg tussen elektronici en automatiseringsdeskundigen een database geconcipieerd die alle elementen bevat die door de elektronici van belang werden geacht voor gebruik door de elektronische afdeling.



Deze ontwerp database is vervolgens uitgebreid met elementen die gericht zijn op management control van apparatuur, beoordeling van veiligheidsrisico's bij defekten enz. Hierna is met behulp van een database descriptor de database daadwerkelijk gemaakt. Prototyping van applicatieprogramma's is gebeurd met behulp van een programmagenerator, waardoor de tijd nodig voor ontwikkeling zeer beperkt kon worden gehouden (orde : enkele uren tot enkele dagen).

Hierdoor was maximale betrokkenheid van eindgebruikers bij de ontwikkeling van de applicatieprogrammatuur gewaarborgd en daardoor de acceptatiedrempel van het systeem laag.

Prototypes van verschillende applicaties werden vervolgens enkele maanden in gebruik geëvalueerd en waar gewenst en nodig gemodificeerd om uiteindelijk te worden omgezet naar efficiënte talen.

Kodering apparatuur

De apparaten in het onderhoudssysteem zijn gekodeerd volgens het HI archive-ringssysteem zoals voorgesteld door de vereniging het instrument. Om onderscheid tussen de apparaten met de zelfde hi-code te kunnen maken wordt door het systeem, na inventarisatie, een volgnummer van drie cijfers toegevoegd.

***	INVENTARIS FORMULIER	***
***	bfd. MEDISCHE FYSICA WESTFRIES GASTHUIS	***
HI-CODE/VOLG NR.	: 50.04.09 /	
BENAMING	: Longventilator	
FABRIKAAT	: Siemens	
TYPE/MODEL	: 900 C	
SERIE NUMMER	: 30710	
LEVERANCIER	: Siemens	
BESTEL NUMMER	: E 347 E V 900 C	
AANSCHAF DATUM	: 02/10/01 (JJ/MM/DD)	
AFSCHRIJF TERMIJN	: 15 JAAR	
PRIJS	: 50000,- (incl. BTW)	
GARANTIE TOT	: 02/10/01 (JJ/MM/DD)	
ONDERHOUD	: CONTRACT / <u>ELEX</u> / INST / TD / AFD / GEEN	
STATIONERING	: I.C.U.	
LOKATIE	: S / (A) / E	
SPECIALISME	: ANAE	
SPECIALE AFDELING	: I.C.U.	
VERBRUIK	: 60 Watt	
ELEKTR. KLASSE/TYPE	: 1/B	
CALIBRATIE DATUM	: / / (JJ/MM/DD)	
BEDIENINGS VOORSCHRIFT	: (JA) / NEE	
SERVICE DOCUMENTATIE	: (JA) / NEE	
IAPPORTEN	: /	
ONDERM. TERM. PREVENTIEF	: 6 MAANDEN	
ONDERM. TERM. FUNKTIE	: / MAANDEN	

fig.2

Bestands opbouw

De gegevens van de apparaten zijn verdeeld over een aantal bestanden welke zijn onderverdeeld naar functionaliteit. De hi-code van een apparaat is de sleutel om de gegevens van dat apparaat in de verschillende bestanden te benaderen. Het gebruiken van deze structuur maakt het mogelijk het systeem uit te breiden met meerdere bestanden zonder dat de structuur van bestaande bestanden moet worden aangepast.

Het gebruik van het systeem

Het systeem produceert periodiek overzichten, van de status van het onderhoud, voor de afdeling elektronica van de in onderhoud zijnde apparatuur.

overzicht gesorteerd naar datum van onderhoud

VOLGENDE-CON	HI-CODE/NR	BENAMING	FABRIKAAT	TYPE/MODEL	SERIE.NR	LOK/AFDELING
86-08-06	21.00.00/508	MIXER	SIEMENS	962	E3-3423	ST.JAN/ICU
	31.29.03/170	ACCU	VARTA	TR7/8	638	ST.JAN/ONBEKEND
86-08-07	21.00.00/509	MIXER	SIEMENS	961	E3750	ST.JAN/OK
86-08-10	31.29.03/164	ACCU	VARTA	TR 7/8	639	ST.JAN/MF
	31.29.03/171	ACCU	VARTA	TR7/8	648	ST.JAN/
	31.34.07/516	KONTOUCHTBRON	WOLF	4017	718	ST.JAN/OK
86-08-11	50.04.09/507	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900C	20710	ST.JAN/ICU
86-08-14	20.04.24/500	DRUPPELTILLEX	MF	1	2	ST.JAN/MED.FYS
	31.29.03/175	ACCU	VARTA	TR7/8	644	ST.JAN/
	31.29.03/176	ACCU	VARTA	TR7/8	643	ST.JAN/
	31.29.03/177	ACCU	VARTA	TR7/8	642	ST.JAN/
	31.34.01/500	ACCUTESTER	MF	1	2	ST.JAN/MED.FYS
86-08-15	06.05.01/504	SIMULATOR DRUPPEL	MF	1	2	ST.JAN/MED.FYS
86-08-16	31.17.05/501	MAGNEETROEDER	LABCENTER	S243	101187	ST.JAN/MED.FYS

fig. 3

overzicht gesorteerd naar hi-code

HI-CODE/NR	BENAMING	FABRIKAAT	TYPE/MODEL	SERIE.NR	LOK/AFDELING	VOLGENDE-CON
50.04.09/503	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900B	16081	ST.JAN/OK	86-08-18
50.04.09/504	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900B	12203	ST.JAN/OK	86-08-19
50.04.09/505	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900B	13151	ST.JAN/OK	86-08-28
50.04.09/506	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900B	16074	ST.JAN/OK	86-08-25
50.04.09/507	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900C	20710	ST.JAN/ICU	86-08-11
50.04.09/508	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900	608	ST.JAN/VEHBO	86-09-03
50.04.09/510	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900B	8030	ST.JAN/UROLOGIE	86-09-06
50.04.09/511	LONGVENTILATOR	SIEMENS	900C	50167	ST.JAN/ICU	86-09-11
50.05.00/501	VEINERASER	MEDTRONIC	8010	845061	ST.JAN/OK-BERGING	
50.05.00/502	CRYO APP.	ERBE	ERBEKRYO C	445AB	ST.JAN/POLI-EHBO	87-01-08
50.05.01/001	KNEE SHAWER	CONCEPT	9750	1064	ST.JAN/OK	86-05-01
50.05.06/008	DIATHERMIE APP.	ERBE	22	34404	ST.JAN/VEHBO	87-01-08
50.05.06/500	DIATHERMIE APP.	OLYMPUS	PSD-3	711108	ST.JAN/VEHBO	85-09-01
50.05.06/501	DIATHERMIE APP.	VALLEYLAB	SS2EL	L3K6916L8	ST.JAN/OK	85-09-07

fig. 4

Aan de hand van deze lijsten kan het onderhoud, met behulp van apparaat gebonden werkljsten, worden uitgevoerd (fig.5 een van de 5 werkljsten).

```

*** PREVENTIEF ONDERHOUDS PROGRAMMA ***
*** afd. MEDISCHE FYSIKA WESTFRIES GASTHUIS ***

HI-CODE      130.04.09/507
BENAMING     1LONGVENTILATOR
TYPE/MODEL   1900C
SERIE NR.    120710
FABRIKAAT    1SIEMENS
LEVERANCIER  1SIEMENS
BESTEL NR.   1E347ESU900C
AANSCHAF DAT. 182-10-01
AANSCHAF PRIJS 50000.00

STATIONERING 1ST.JAN/1CU
BED. VOORSCHRIFT 1J
SER. DOCUMENTATIE 1J
RAPPORTEN     1N
KLASSE/TYPE   1
VERBRUIK      1 60

DATUM
UITGEVOERD DOOR
SERVICE TIJD
REPARATIE KOSTEN

BESCHRIJVING DEFEKTEN c.q. OPMERKING

```

	N.V.T.			VOLLEDIG
VERSTORING FUNKTIE	N	C	B	A
FREQUENTIE STORING	N	C	B	A
PATIENTEN VEILIGHEID	N	C	B	A
BEDIENINGSFOUT ..				
ELEKTRISCH ..				
HULPMIDDELEN ..				
MECHANISCH ..				
ONBEKEND ..				
SOFTWARE ..				

fig. 5



Tevens wordt er een logboek van de apparatuur bijgehouden met daarin vermeld de aard van de storing, de reparatie, de kosten, de tijd die er aan besteed etc.

***	HI-CODE	:50.04.09/507		TYPE P = PREVENTIEF	***
***	BENAMING	:LONGVENTILATOR		F = FUNCTIE	***
***	TYPE/MODEL	:900C		S = STORING	***
***	SERIE NR.	:20710		B = TEST BIJ BINNENKOMST	***
***	FABRIKAAT	:SIEMENS		M = MODIFICATIE	***
***	LEVERANCIER	:SIEMENS		N = N.V.T.	***

DATUM	TYPE	NAAM	KLACHT/OMSCHRIJVING	KOSTEN	SER.TIJD
04-07-26	P	HARM KIEFFE		0.00	7.00
04-08-10	S	JAN v HAASTER	-02 cel uitgeput omgevuld met 02 cel uit andere 900C	775.00	1.00
04-12-15	P	RB/SIEMENS/JvH	-Ongeacht instelling insp.flow 15-16 l/min.Dorzaak waarschijnlijk voorverst. insp.flow. Niet voorradig.Tranducer interface board vervangen + div. modificaties uitgevoerd.	0.00	10.00
85-02-13	P	ROB BAUELAAR		300.00	6.00
85-02-27	S	JAN v HAASTER	-Geeft geen goede druk en flow aan. -Opnieuw afgeregeld.	0.00	3.00
85-05-14	S	JAN v HAASTER	-High press inlett piept. -Gesmeerd.	0.00	0.50
85-06-28	S	JAN v HAASTER	-Geeft teveel exp. min. vol. aan. -Insp.flow transducer omgedraaid + afgeregeld.	0.00	0.50
85-10-02	S	JAN v HAASTER	-Geeft geen 02 conc. aan. -02 cel vervangen	250.00	0.75
85-11-04	S	EA/RB	-App. geeft -1 bij PI. -App. afgeregeld PI+PE.	0.00	0.75
85-11-11	S	ROB BAUELAAR	-Flow aanwijzing wijkt af. -Flowtransducers afgeregeld.	0.00	1.00
86-02-05	S	JAN v HAASTER	-Geeft niet het ingestelde volume terug. -Upper press limit te laag ingesteld=> hier door inspiratie afgekap en direct expiratie=> upper press limit hoger ingesteld	0.00	0.75
86-02-28	S	CEES BAKKER	-Peak pressure komt niet overeen met module waardes. -Bacteriefilter niet goed in insp. druktransducer geplaatst na schoonmaken.	0.00	1.50
86-02-11	P	JAN v HAASTER	-Corrosie op contacten 02 cel verwijderd i.v.m. contact problemen.	300.00	5.00
86-03-12	S	JAN v HAASTER	-Volume instelling defect. -Insp. flow transducer afgeregeld. Bevochtiger systeem opnieuw opgebouwd	0.00	2.50
86-04-16	S	EMIEL AGEMA	-Exp.min gaat steeds in alarm. -Schakelaar infant/adult in stand infant i.p.v. adult => goed gezet.	0.00	0.50
TOTAAL :				1625.00	40.75

fig.6

Met behulp van een querytaal kunnen de antwoorden op niet gestuctureerde vragen worden gegeven.

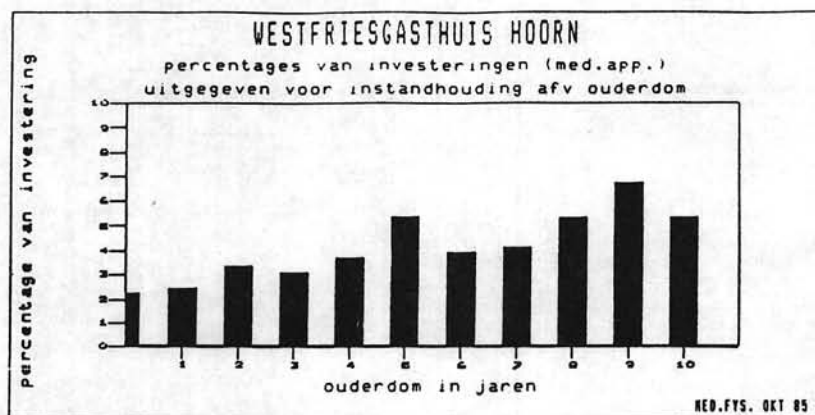


fig. 7

12. Wel of geen 'All-in service-overeenkomst', een dilemma?

J. van den Berg* en H. Dassel**

In het huidige, moderne ziekenhuis bevindt zich een veelvoud van dure, complexe en vaak onmisbare apparatuur en systemen.

Een optimale werking, maximale beschikbaarheid en verzekerde veiligheid van deze apparatuur en systemen is een absolute voorwaarde voor een goed functionerend ziekenhuis.

Om bovenstaande te kunnen verzekeren moet regelmatig onderhoud worden gepleegd en eventuele storingen snel verholpen kunnen worden. Het geheel moet worden uitgevoerd met het beschikbare personeel en budget.

Gezien de grote hoeveelheid waar het om gaat is dit niet bepaald een geringe taak voor diegenen die verantwoordelijk zijn voor deze zaken.

Moet het ziekenhuis onderhoud en reparatie in eigen beheer uitvoeren of geheel uitbesteden aan de leverancier?

In principe is het mogelijk om uit te besteden, zoals onderhoud, periodieke controle, het verhelpen van storingen en instructie van de gebruikers.

Maar vaak is dit een ongewenste zaak, zowel uit het oogpunt van kostenoverweging als onafhankelijkheid.

Geen enkel ziekenhuis management zal geheel van derden afhankelijk willen zijn. Zij zijn verantwoordelijk voor de bedrijfszekerheid en in eerste instantie aansprakelijk voor eventuele problemen en/of ongevallen.

Wie interpreteert de ontvangen rapporten en geeft aan welke adviezen wel of niet zullen worden opgevolgd?

* Hewlett-Packard Nederland bv, Amstelveen

** Academisch Medisch Centrum, Amsterdam

Anderzijds is het duidelijk dat door de steeds complexer en geavanceerder wordende, grote installaties, de kennis van gespecialiseerde technici uit de toeleverende bedrijven onontbeerlijk is. Zeker nu steeds meer systemen worden geautomatiseerd en ook de kwaliteit en het onderhoud van software een belangrijke rol spelen, c.q. gaan spelen.

Een derde aspect is dat bedieningsfouten of kleine defecten dure systemen buiten bedrijf kunnen zetten. Ziekenhuis technici kunnen snel ter plaatse zijn om deze storingen te verhelpen en kunnen zodoende zorgen dat het normale bedrijf weer voortgang kan vinden.

Het is daarom van groot belang bij de aanschaf van nieuwe, maar ook voor bestaande apparatuur en systemen, een juiste beslissing te nemen.

Een gedegen afweging kan alleen worden gemaakt als men de beslissingscriteria bepaald heeft en een goed inzicht heeft in eigen kunnen en dat van de leverancier. Hierbij spelen mogelijkheden, achtergronden, motivatie en lange termijn doelstellingen een belangrijke rol.

In de huidige moderne tijd, waarin de technologie zeer snel verandert, lijkt een zogenaamd "professioneel partnership" met de leverancier in veel gevallen de beste oplossing.

Het is duidelijk dat vermelde afweging niet alleen een financieel model is, maar ook vele aspecten bevat, die niet direkt in geld zijn uit te drukken.

Wanneer men een service-overeenkomst analyseert spelen de volgende aspecten een rol:

1. Kwalificatie van de leverancier
2. Welke apparatuur valt onder de overeenkomst
3. De tijdsduur van de overeenkomst
4. De uit te voeren werkzaamheden
5. De contractvoorwaarden
6. De kosten van de overeenkomst.

De hierna aangegeven checklist is bedoeld als een hulpmiddel bij het bepalen of al dan niet een service-overeenkomst moet worden afgesloten.

Checklist service-overeenkomst

Kwalificatie van de leverancier

- 1.1 Omschrijving van de leverancier.
- 1.2 Benoem tenminste drie andere gebruikers van vergelijkbare service-overeenkomsten van dezelfde leverancier.
 - 1.2.1 Zijn deze klanten tevreden?
 - 1.2.2 Zo ja, waarom?
 - 1.2.3 Zo nee, waarom niet?
- 1.3 Welke kennis en ervaring heeft de leverancier van de in het contract opgenomen apparatuur?
- 1.4 Hoeveel gekwalificeerde technici heeft de leverancier welke de overeengekomen werkzaamheden kunnen uitvoeren?
- 1.5 Heeft de leverancier complete service-documentatie?
 - 1.5.1 Heeft het ziekenhuis zelf de beschikking over deze documentatie of het in eigen bezit?
- 1.6 Heeft de leverancier een bevredigende hoeveelheid onderdelen zelf in voorraad?
 - 1.6.1 Heeft de leverancier een procedure om niet beschikbare onderdelen snel te kunnen leveren?
- 1.7 Welke testapparatuur heeft de leverancier tot zijn beschikking voor het uitvoeren van de contractwerkzaamheden?
 - 1.7.1 Is dit voldoende?
 - 1.7.2 Hoe vaak wordt deze testapparatuur gecalibreerd?
- 1.8 Is de leverancier direkt verbonden aan de fabrikant of is het een vertegenwoordiging?
- 1.9 Is de leverancier financieel sterk genoeg om de overeenkomst na te komen?
 - 1.9.1 Is er zekerheid voor continuïteit?

Welke apparatuur valt onder de overeenkomst?

- 2.1 Bevat de aanbieding gedetailleerd alle in de overeenkomst opgenomen apparatuur?
 - 2.1.1 Zo ja, zijn de serienummers beschreven?
 - 2.1.2 Staat de afdeling vermeld waar de apparatuur zich bevindt?

- 2.2 Komt de beschreven apparatuur niet reeds in andere contracten voor?

Tijdsduur van de overeenkomst

- 3.1 Heeft deze overeenkomst een vast overeengekomen termijn?
- 3.1.1 Zo ja, hoelang?
- 3.1.2 Zo nee, waarom niet?
- 3.2 Wordt de overeenkomst automatisch vernieuwd na het aflopen van de overeengekomen periode?
- 3.2.1 Zo ja, is dit wel wenselijk?
- 3.2.2 Zo nee, is men verzekerd dat vóór het aflopen van de afgesproken periode nieuwe onderhandelingen plaats vinden voor vernieuwing?

De uit te voeren werkzaamheden

- 4.1 Onderhoud.
- 4.1.1 Wordt er geregeld onderhoud uitgevoerd?
- 4.1.2 Zo ja, wat is de frequentie van het onderhoud?
- 4.1.3 Zijn de onderhoudswerkzaamheden duidelijk omschreven voor alle in de overeenkomst opgenomen apparatuur?
- 4.1.4 Bevat de overeenkomst veiligheidsmetingen?
- 4.1.5 Is de service-documentatie adequaat?
- 4.1.6 Als een apparaat dat onder het contract valt niet beschikbaar is wanneer een onderhoudsbeurt wordt uitgevoerd, welke garantie biedt de leverancier dan dat het onderhoud alsnog wordt uitgevoerd?

Reparatie

- 4.2.1 Welke "response tijd" garandeert de leverancier?
- 4.2.2 Repareert de leverancier ook buiten kantooruren?
- 4.2.2.1 Zijn deze reparaties in het contract opgenomen?
- 4.2.3 Heeft de leverancier leenapparatuur beschikbaar?
- 4.2.4 Is het aantal reparaties aan een limiet gebonden?
- 4.2.4.1 Zo ja, hoeveel?
- 4.2.5 Wordt de apparatuur na reparatie opnieuw gecalibreerd en op veiligheid gecontroleerd?

Onderdelen

- 4.3.1 Zijn alle eventuele, benodigde onderdelen bij de overeenkomst inbegrepen?
- 4.3.1.1 Zo nee, welke onderdelen niet? Onder welke omstandigheden?
- 4.3.2 Worden de onderdelen verkocht tegen "listprijs"?
- 4.3.2.1 Zo nee, hoeveel procent verschillen zij van de "listprijs"?
- 4.3.3 Welke reparatiefilosofie heeft de leverancier? Op component niveau, vervangen van "boards" of andere methode? Omschrijf.
- 4.3.4 Wie heeft het eigendomsrecht van de onderdelen die vervangen zijn?
- 4.3.5 Worden de vervangen onderdelen achtergelaten voor inspectie en vernietiging?

Software

- 4.4.1 Bevat het contract ook onderhoud op software?
- 4.4.2 Zo ja, is de levering van nieuwe software revisies inbegrepen?
- 4.4.2.1 Zo nee, wat zijn de kosten voor nieuwe revisies?
- 4.4.3 Kan de leverancier zelf voldoende software ondersteuning leveren?
- 4.4.3.1 Zo nee, wie levert dit dan?
- 4.4.3.2 Is er voldoende zekerheid voor die externe ondersteuning?
- 4.4.4 Is "phone in consultancy" inbegrepen?
- 4.4.4.1 Zo nee, tegen welke kosten is deze beschikbaar?
- 4.4.4.2 Zo ja, voor welke doeleinden is dit beschikbaar?
- 4.4.4.3 Zo ja, wanneer is dit beschikbaar?

Voorwaarden overeenkomst

- 5.1 Kan de overeenkomst door de leverancier worden opgezegd?
- 5.1.1 Zo ja, wat is de opzegtermijn van de overeenkomst?
- 5.1.2 Als het contract wordt opgezegd, krijgt men dan een pro rata vergoeding van vooruit betaalde termijnen?
- 5.2 Wat zijn de betalingscondities?
- 5.3 Zijn er enkele "opstartkosten", zoals het op specificatie brengen van de in de overeenkomst opgenomen apparatuur?
- 5.3.1 Zo ja, omschrijf.
- 5.4 Bevat de overeenkomst de mogelijkheid om nieuwe apparatuur welke uit garantietermijn gaat automatisch in de overeenkomst op te nemen?
- 5.5 Zijn de voorwaarden van de overeenkomst juridisch juist?

- 5.6 Kan de leverancier bij niet nakomen van onderhoudsverplichtingen aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen?
 - 5.7 Welke zekerheid heeft het ziekenhuis dat de overeengekomen onderhoudswerkzaamheden ook daadwerkelijk worden uitgevoerd?
 - 5.7.1 Zijn er controle mogelijkheden?
- Kosten*
- 6.1 Is de service-overeenkomst een deel van een lease- of een huurovereenkomst?
 - 6.1.1 Zo ja, welk deel van de totale lease- of huurkosten zijn ten behoeve van de service-overeenkomst?
 - 6.2 Wat zijn de totale kosten van het contract?
 - 6.3 Welke is de duur van de overeenkomst?
 - 6.4 Op welke uurtarieven is het contract gebaseerd?
 - 6.5 Is reistijd opgenomen in de overeenkomst?
 - 6.5.1 Zo ja, welk percentage bedraagt dit van de totale kosten?
 - 6.5.2 Zo nee, wat zijn de reistijd tarieven?
 - 6.6 Zijn onderdelen opgenomen in de overeenkomst?
 - 6.6.1 Zo ja, welk percentage bedraagt dit van de totale kosten?
 - 6.7 Is reparatie opgenomen in de overeenkomst?
 - 6.7.1 Zo ja, welk percentage bedraagt dit van de totale kosten?
 - 6.7.2 Zo nee, wordt voorafgaand aan uitvoering prijsopgave gedaan?
 - 6.8 Is software ondersteuning opgenomen in de overeenkomst?
 - 6.8.1 Zo ja, welk percentage bedraagt dit van de totale kosten?
 - 6.9 Is er geregeld onderhoud opgenomen in de overeenkomst?
 - 6.9.1 Zo ja, welk percentage bedraagt dit van de totale kosten?
 - 6.10 Worden overuren extra doorberekend?
 - 6.10.1 Zo ja, tegen welk uurtarief?
 - 6.11 Is er een automatische prijsaanpassing in de overeenkomst opgenomen?
 - 6.11.1 Zo ja, met welke frequentie en onder welke conditie(s)?
 - 6.12 Is de prijs van de overeenkomst tenminste voor één jaar gegarandeerd?
 - 6.13 Hoeveel procent bedraagt de prijs van de overeenkomst in vergelijking tot de originele aanschafwaarde?
 - 6.14 Wanneer het een all-in service-overeenkomst betreft en de looptijd reeds zes maanden bedraagt of langer, hoeveel uren zijn dan inmiddels besteed en hoeveel onderdelen zijn gebruikt?

13. Quality Assurance in Diagnostic X-Ray Departments. General Aspects

H. van Ammers*

Introduction

In recent times, Quality Assurance programs have been initiated in several countries - mostly on a local basis, sometimes on a national level - with the purpose of either maintaining or improving the quality of daily operations in diagnostic X-ray departments.

As part of an international effort towards a more uniform approach in this field, the IEC intends to publish documents which describe the guidelines included in a Quality Assurance program.

An effective Quality Assurance program will help to achieve and maintain:

- medical images of adequate quality for diagnostic purposes,
- minimum radiation exposure of patient and medical personnel compatible with adequate image quality,
- maximum cost containment by minimizing the waste of time and resources (for example reduction of film retakes).

Less tangible benefits also arise through the enhancement of the professional and public reputation of the facility.

The documents describing guidelines for an effective Quality Assurance program are concerned with radiation protection devices and methods of controlling the imaging performance.

To encourage the adoption of these test methods in a large number of diagnostic departments, the emphasis will be placed upon methods suitable for persons involved in the daily use of the X-ray equipment.

* Philips Medical Systems, Best

Effective Quality Assurance actions include both Quality Control techniques and Quality Program-Administrative procedures. Quality Control comprises the actual physical testing and monitoring of the performance of the equipment to determine whether or not corrective actions are needed to adjust the equipment to maintain the desired image quality.

The Quality Program-Administrative elements must ensure that the testing is done by qualified personnel to an effective schedule, that the test results are analysed to determine if problems exist, and that appropriate corrective action is undertaken where necessary.

As the user is responsible for the proper conduct of affairs within the diagnostic X-ray department he must assign someone to carry out the status test and constancy test measurements.

The user is also responsible for corrective and preventive maintenance of the equipment in the X-ray department.

A Quality Assurance program involves a continual evaluation of the adequacy and effectiveness of the overall Quality Control program and shall be adjusted to maintain continued effectiveness when the composition of the X-ray equipment changes.

Terminology

-Quality Assurance (according to ISO 8402)

All those planned and systematic actions necessary to provide adequate confidence that a product, process or service will satisfy given quality requirements.

-Acceptance test

A test to be carried out after new equipment has been installed or major modifications have been made to existing equipment in order to comply with contractual specifications.

An acceptance test requires sophisticated test equipment and involves the measurement of absolute values of key parameters that may influence image quality.

-Status test

A test to be carried out to establish the current functional state of an X-ray installation. If this is found to be acceptable it may act as a starting point for a Quality Assurance.

A status test comprises the measurement of absolute values of parameters to enable the recognition of malfunction causes in components of the system which influence image quality.

-Constancy test

A test to be carried out to enable the early recognition of changes in components of the system which influence image quality or alternatively to assure the user that the performance is satisfactory.

A constancy test is intended to monitor the constancy of equipment performance by means of a method that is simple, quick and easy to perform, involving only relative measurements.

-Base line value

The base line value of a parameter is either the value obtained for this parameter in the initial constancy test or, where specified in the corresponding particular standard, the mean value of this parameter obtained in series of constancy tests immediately following the status test. Such a base line value is the reference value against which the results of subsequent constancy tests are compared.

Quality Assurance: Quality Control and Quality administration

General aspects

As a result of the complexity of modern X-ray equipment, there is increased concern and awareness amongst users, manufacturers and competent authorities, of the need for optimal use of resources and for ensuring that diagnostic information of adequate quality is produced in a diagnostic X-ray department.

This international report emphasizes Quality Control activities that monitor the constancy of the technical performance of the equipment. These activities should be carried out after the user has recognized that the performance of the diagnostic X-ray installation is acceptable. (e.g. complies with the contractual specification)

The actual status of a diagnostic installation has to be established and documented on a periodic basis using well defined Quality Control tests. The results of the first series of such tests constitute the base line test values against which all the subsequent constancy test results have to be compared.

Each constancy test should be related to a tolerance range of satisfactory results. Actions shall be taken when results data fall outside the tolerance range, indicating satisfactory performance of the equipment.

The tolerance range employed may vary with the type of equipment involved.

Cost-benefit aspects

Costs will include the purchase of appropriate instrumentation and test devices, the down time of the equipment or facility under test and the cost of personnel time associated with testing, documenting and evaluating the test results and in taking corrective action.

The anticipated benefits of a Quality Assurance program are:

- the capacity for higher patient throughput,
- the lower consumption of film, chemicals and other expendable items,
- maintaining adequate imaging performance of the diagnostic X-ray installation,
- the more effective and efficient use of the radiation delivered to the patient and the reduction of exposure of staff to a minimum.

Technical aspects

The quality of diagnostic images presented to the physician depends in part on the performance of the diagnostic X-ray installation.

Problems causing degradation of performance may occur in any component involved in the imaging process, such as electrical controls, X-ray source assembly, scatter suppression device, cassette, film processors, darkroom. The tests recommended in this Report and those described in detail in the pertaining documents are based on the experience and expertise of manufacturers, competent authorities and users.

These tests are designed to be non-invasive and safe.

Administrative aspects

The Quality Administrative elements of a Quality Assurance program provide the organizational framework to support, maintain and improve the conduct of Quality Control procedures. They guarantee that not only image quality and exposure problems will be detected but that they will also be corrected.

Finally, they allow the Quality Assurance program to remain dynamic and responsive to the needs of the facility.

Quality Assurance planners who fail to provide the additional few hours needed for Quality Administration risk the collapse of their program.

Whereas the elements of a Quality Assurance program are generally the same in all facilities, the method of implementation will clearly vary between facilities of different size.

The Quality Administrative elements of a program are divided into two groups; those which provide a basis for the program and those which allow the program to remain dynamic and responsive to changing needs.

Basic elements

a) Responsibility

Responsibility should be assigned for every action that needs to be taken as a part of the Quality Assurance program. Concurrent with that assignment must go the authority to take the necessary actions. It may be necessary to use outside personnel if all the expertise or staff required is not available within a facility.

b) Purchase specification

Purchase specifications must be developed well in advance of the purchase of equipment. These specifications are the basis of the acceptance testing.

c) Records

It is of vital importance that records are kept of the results of monitoring the constancy of performance parameters, of the difficulties encountered (if any), and of the corrective measures applied and their effectiveness.

These records provide information that may be of use of future equipment and vendor selecting, for planning the schedule of equipment replacement, and for evaluating the effectiveness of the Quality Assurance program.

Records of successful corrective actions are of help in solving problems quickly when they reoccur.

d) Manual

A Quality Assurance manual should be readily available to all participating staff as a reference source shown problems or questions arise.

e) Training

It is necessary for the users of the equipment to be adequately informed and instructed on Quality Assurance and more specifically on Quality Control, so that the program may be effectively implemented.

It is essential that the manufacturers provide adequate information and instructions for correct use of the X-ray installation since this information is an essential part of the material used in the training of the operators of equipment.

It is emphasized that effective and appropriate training of staff is necessary to enable them to meet their responsibilities; staff should not merely have their responsibilities assigned to them.

Dynamic elements

a) Monitoring Standards

Appropriate monitoring standards are necessary for all tests that are to be performed. The IEC is providing guidance by preparing international standards for this purpose.

These international standards will be objective, and will help the diagnostic facility to decide when detected variations require that corrective action can be taken.

b) Evaluation

Effectiveness of the program should be evaluated periodically.

The equipment and conditions in a facility are not static, and the Quality Assurance program if it is to continue to be effective must be adapted to the changes in the diagnostic facility.

One element of evaluation of a Quality Assurance program is an analysis of retakes in the facility. Such studies may be used to evaluate the potential for improvement, to plan corrections, and to determine whether the corrective actions have been effective.

Additional means of evaluating program effectiveness may include an examination of the cost of equipment repair and replacement, a subjective evaluation of the *radiograms* being produced, the frequency and nature of complaints by radiologists, an analysis of trends in the results of monitoring procedures such as sensitometric studies, and assessment of patient exposures.

c) Quality Assurance Committee

A committee representing all staff participating in the program may be formed for planning and review purposes. This committee should provide the overall guidance for the program, making certain that necessary changes are made in the program and ensuring that all participating staff are informed of these changes.

Types of performance tests

A Quality Control program must be based upon an assessment of the performance of equipment after installation or a major modification.

A general scheme for carrying out a Quality Control program, based on the regular testing of a diagnostic X-ray installation is illustrated in fig.

1.

There are three different types of tests to check equipment performance: (see also fig. 2).

Acceptance test

Status test

Constancy test

Acceptance test

An acceptance test is normally performed after new equipment has been installed or major modifications have been made to existing equipment. The purpose of this test is to comply with contractual specifications.

Acceptance tests normally require sophisticated test equipment. It will usually be essential for the user or his representative(s) to work in close cooperation with the manufacturer's service personnel or personnel authorized by the manufacturer in the conduct of these tests.

An acceptance test usually consists of a series of absolute measurements on components and sub-assemblies at the manufacturing site together with measurements at the diagnostic facility after the equipment is installed.

Status test

A status test is characterized by absolute measurements of key functional parameters in order to establish the current functional state of the installation.

A status test may be carried out by qualified personnel such as hospital physicists, in-house technical personnel, service personnel of the manufacturer or personnel authorized by the manufacturer.

These tests should be repeated when major adjustments of functional parameters have been made or components or sub-assemblies have been changed, removed or added.

If the results of a status test fall outside the desired tolerance range, corrective action shall be taken to bring the equipment within the tolerance range. A new status test should then be performed.

Constancy test

Immediately after a status test has indicated that the performance of the equipment is acceptable, a series of one or more constancy tests should be performed to establish the base line (reference) value.

The results of subsequent constancy test are then compared against the base line value.

A constancy test is intended to monitor the constancy of equipment performance and should preferably be simple, quick and easy to perform.

A constancy test is to be carried out on a routine basis and also immediately after preventive and corrective maintenance. A constancy test should also be performed when malfunction of equipment is suspected. Constancy tests should be carried out by personnel working in the diagnostic X-ray department, and the Quality Assurance Committee may assign the duties to a radiographer or a darkroom operator, depending upon the type of equipment to be tested.

If the results of a constancy test fall outside the established tolerance range a status test may be carried out to detect the causes of departure from constancy.

Assessing the effectiveness of the quality assurance program

Before beginning a program of equipment testing it is recommended that the overall status of the X-ray department be evaluated in terms of the extent to which efficient and effective use is made of time, resources and radiation dose to the patient.

This may be achieved by:

- (a) an evaluation of image quality,
- (b) an analysis of the rejected *radiographs*,
- (c) a survey of exposure to patients for selected X-ray examination(s),
- (d) an analysis of the costs of consumable items and of equipment maintenance and replacement.

(see also Appendix A)

Following such an assessment of departmental status the Quality Control program may be introduced.

Once this program is firmly established and most of the equipment in the department is performing consistently at an acceptable level (e.g. perhaps after three to six months) the effectiveness of the program should be assessed by repeating the analysis of rejected radiographs and the patient exposure survey. Comparison of these results to those obtained from the initial surveys provides an indication of the impact of the Quality Assurance program.

Because a detailed analysis of the rejected radiographs and the patient exposure information also identifies aspects of inefficient use of equipment, it is recommended that the survey be repeated at regular intervals (for example at intervals of 3, 6 or 12 months depending upon local circumstances).

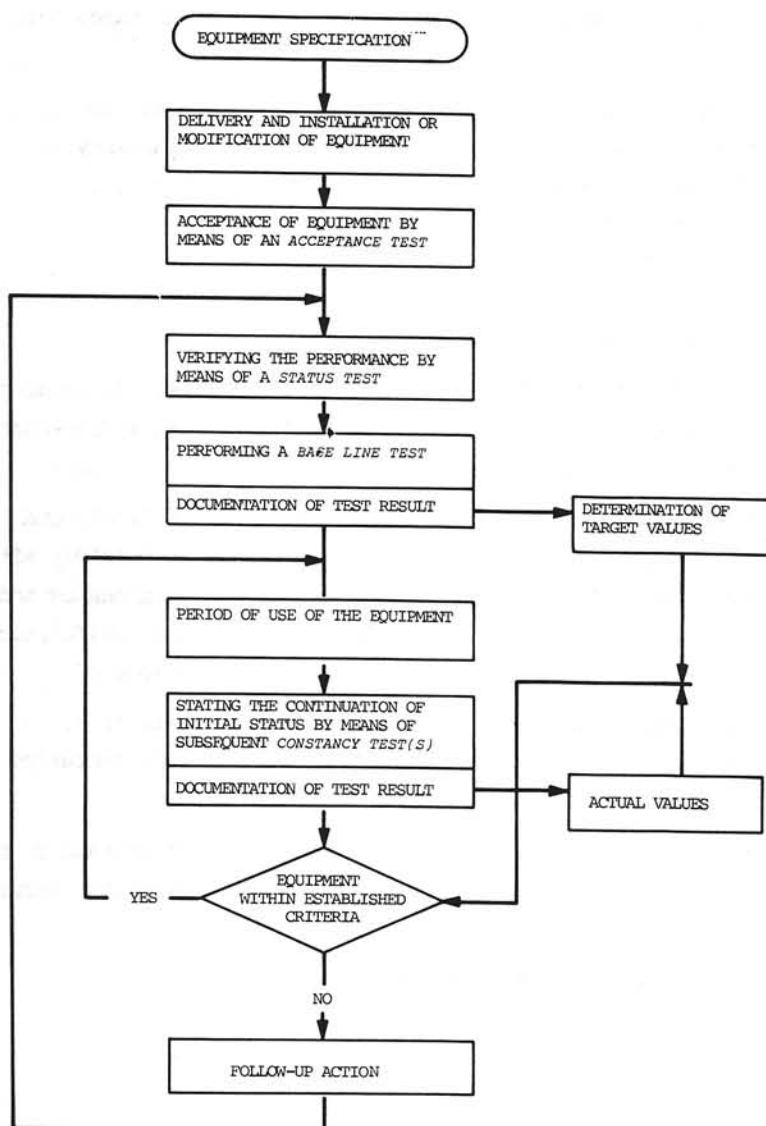


Fig. 1: Checking the performance of a diagnostic
X-ray installation

	Acceptance test	Status test	Constancy test
Aim	Acceptance of performance of equipment as agreed between manufacturer and owner of equipment (as specified in contract)	Determination of the level of performance	Checking the constancy of performance
Characteristics	Measurement of key parameters (absolute values)	Measurement of key parameters (absolute values)	Relative measurements (non-absolute values)
Frequency	At installation and after major modifications	Initially, after modification and on departure from constancy	Routinely and immediately after maintenance and when malfunction is suspected
Responsibility	Manufacturer and user (or his representative(s))	Manufacturer, user (or his representative(s))	User or his representative
Personnel involved	Physicist or typically engineer	Physicist or engineer	Radiographer or darkroom operator

Fig. 2: Types of performance tests

List of references

Appendix A

"Quality Assurance in Diagnostic Radiology"

A guide prepared following a workshop held in Neuherberg (Germany), 20-24 October, 1980, WHO, Geneva 1982

"Measurement of the performance characteristics of Diagnostic X-ray systems used in medicine"

Publications of the Hospital Physicists' Association (UK)

Address: 47, Belgrave Square, London SW1 (UK)

Part 1: "X-ray tubes and generators" 1980

Part 2: "X-ray image intensifier - television systems" 1981

Part 3: "Computed Tomography X-ray scanners" 1981

Part 4: "X-ray Image intensifying screens, films, processors and automatic exposure control systems" 1984

Part 5: "Conventional Tomographic equipment"

Part 6: "X-ray image intensifier - fluorography systems" 1983

"The testing of X-ray image intensifier - television systems" 1982

DHSS Publication STB/7/82

Address: DHSS (leaflets), P.O Box 21, Stanmore, Middlesex (UK)

"Quality Assurance Series - Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine, and Radiation Therapy" Volume 1: "The Basic Principles of Daily Photographic Quality Assurance"

HEW Publication (FDA) 76 - 8043

Address: US Department of Health and Human Services, Public Health Service (FDA) CDRH, Rockville, Maryland 20857, USA

Quality Assurance Series - Diagnostic Radiology

"Photographic Quality Assurance in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine, and Radiation Therapy"

"Photographic Processing, Quality Assurance, and the Evaluation of Photographic Materials"

HEW Publication (FDA) 77 - 8018

"Quality Assurance for Radiographic X-ray Units and Associated Equipment" August 1979

HEW Publication (FDA) 79 - 8- 94

"Quality Assurance for Fluoroscopic X-ray United an Associated Equipment", October 1979

HEW Publication (FDA) 80 - 8095

"Quality Assurance for Conventional Tomographic X-ray Units"

October 1979

HEW Publication (FDA) 80 - 8096

"Analysis of Retakes: Understanding, Managing and Using an Analysis of Retakes Program for Quality Assurance" August 1979

HEW Publication (FDA) 79 - 8097

"Radiation recommendations"

"Quality Assurance Programs for Diagnostic Radiology Facilities"

February 1980

HEW Publication (FDA) - 8110

Quality assurance series

"Radiographic Film Processing"

"Quality Assurance: A Self-Teaching Workbook" January 1981

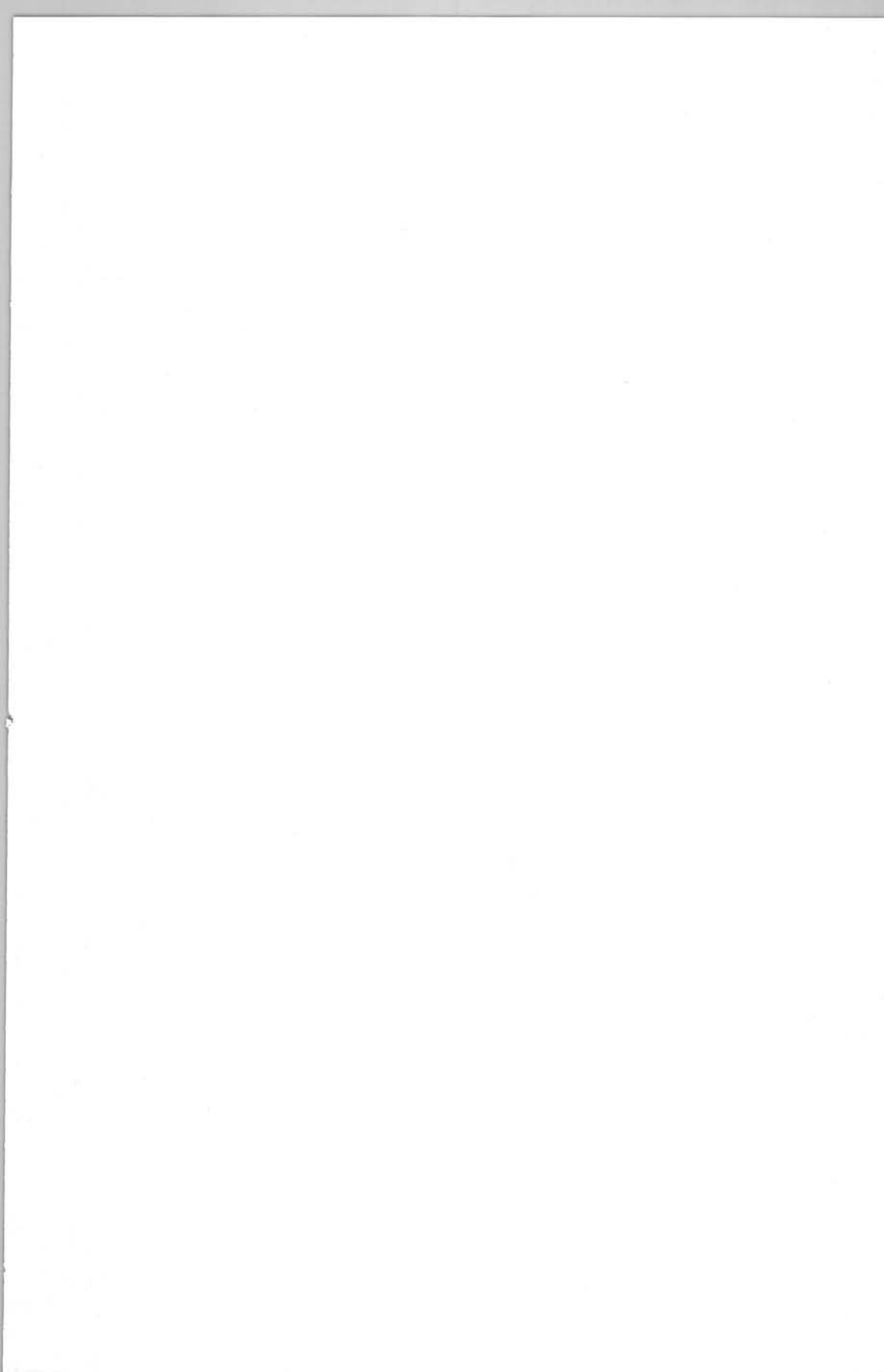
Proceedings of "Scientific Seminar on criteria and methods for Quality Assurance in medical X-ray diagnosis"

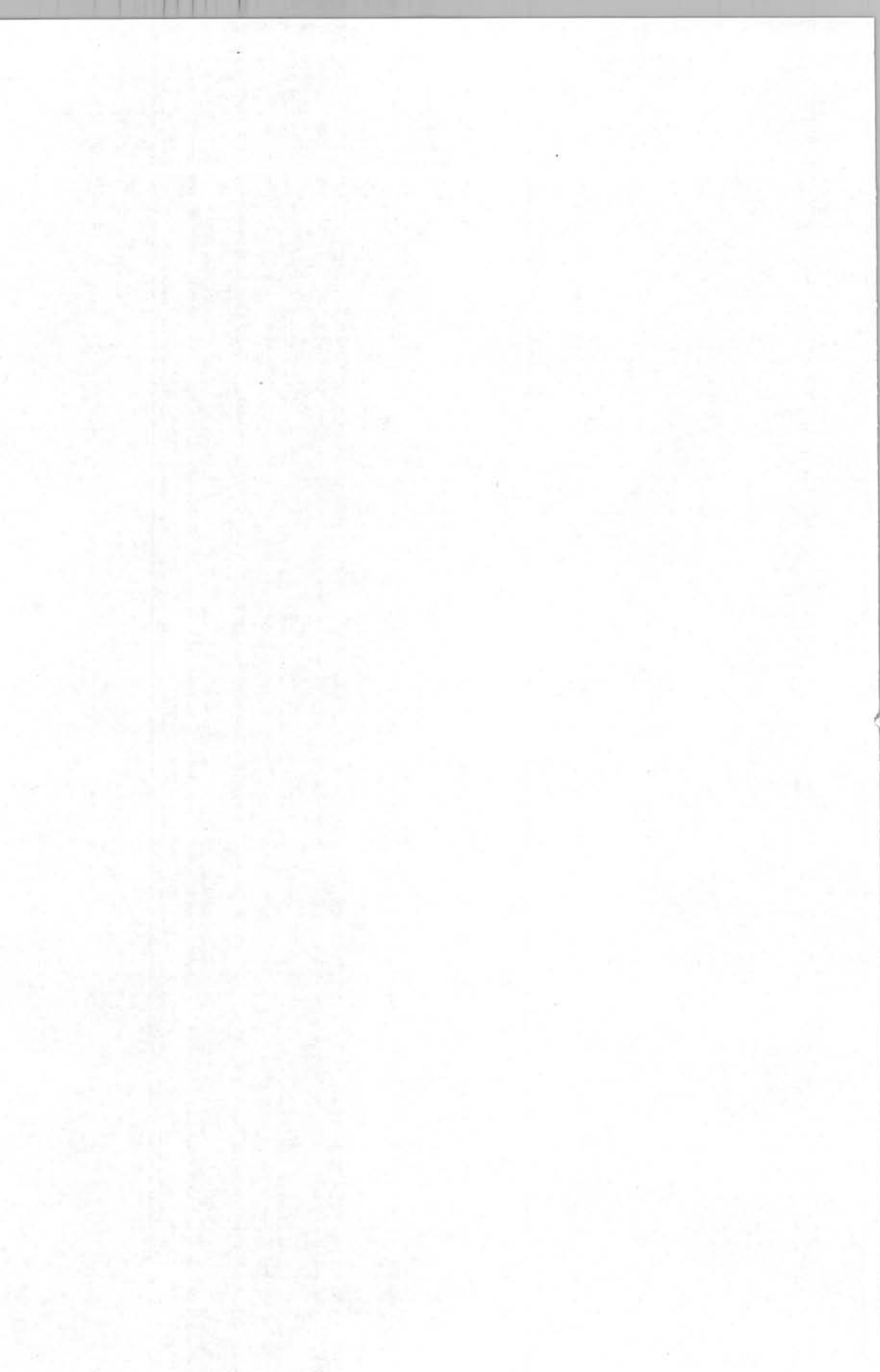
17-19 April, 1984, Udine (Italy)

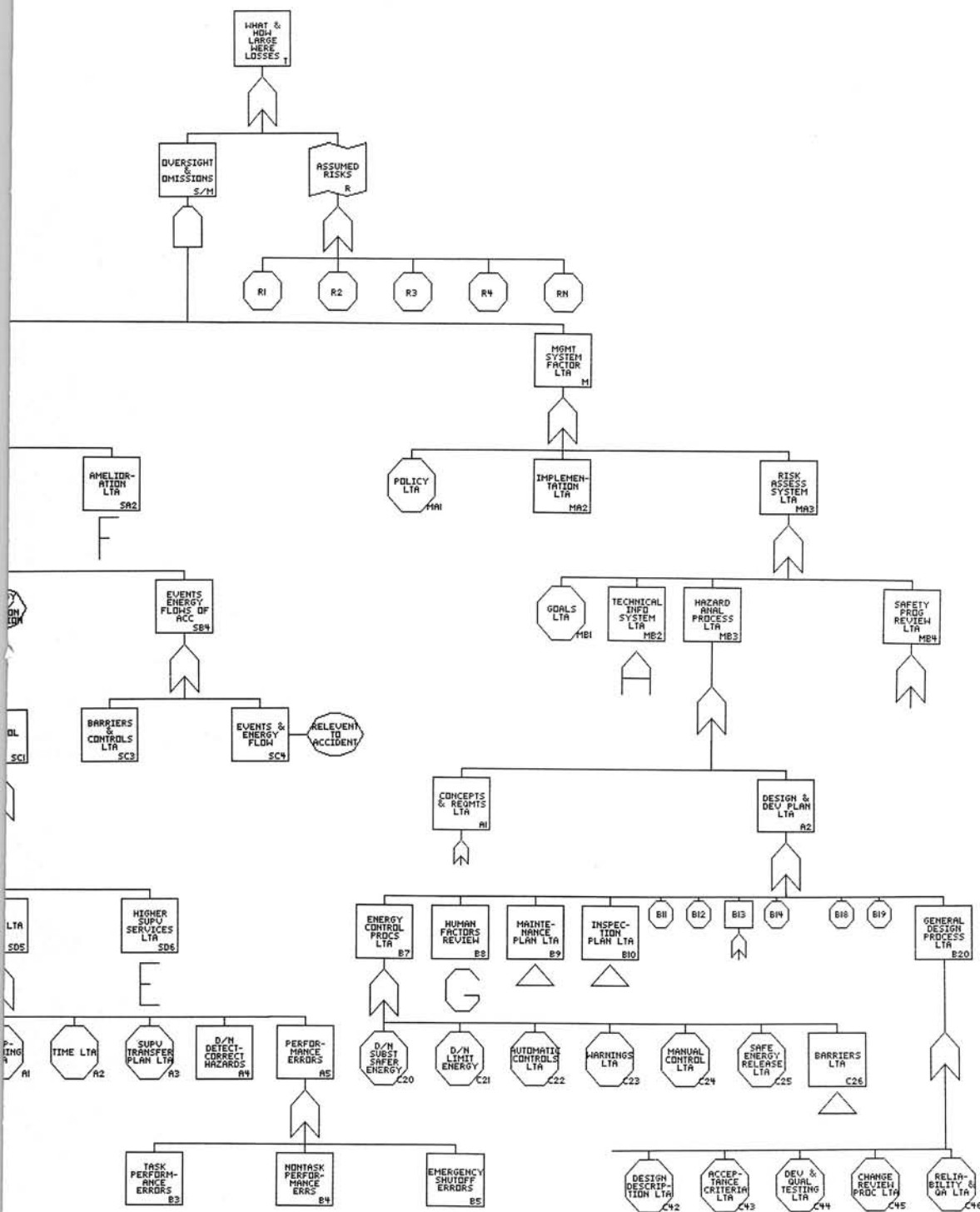
Published by Brit. Inst. of Radiology, 36 Portland Place, London W1N 1DG

"Quality Control in Diagnostic Imaging" J.E. Gray, a.o.

Aspen Systems Inc. Rockville, Md (USA) 1983







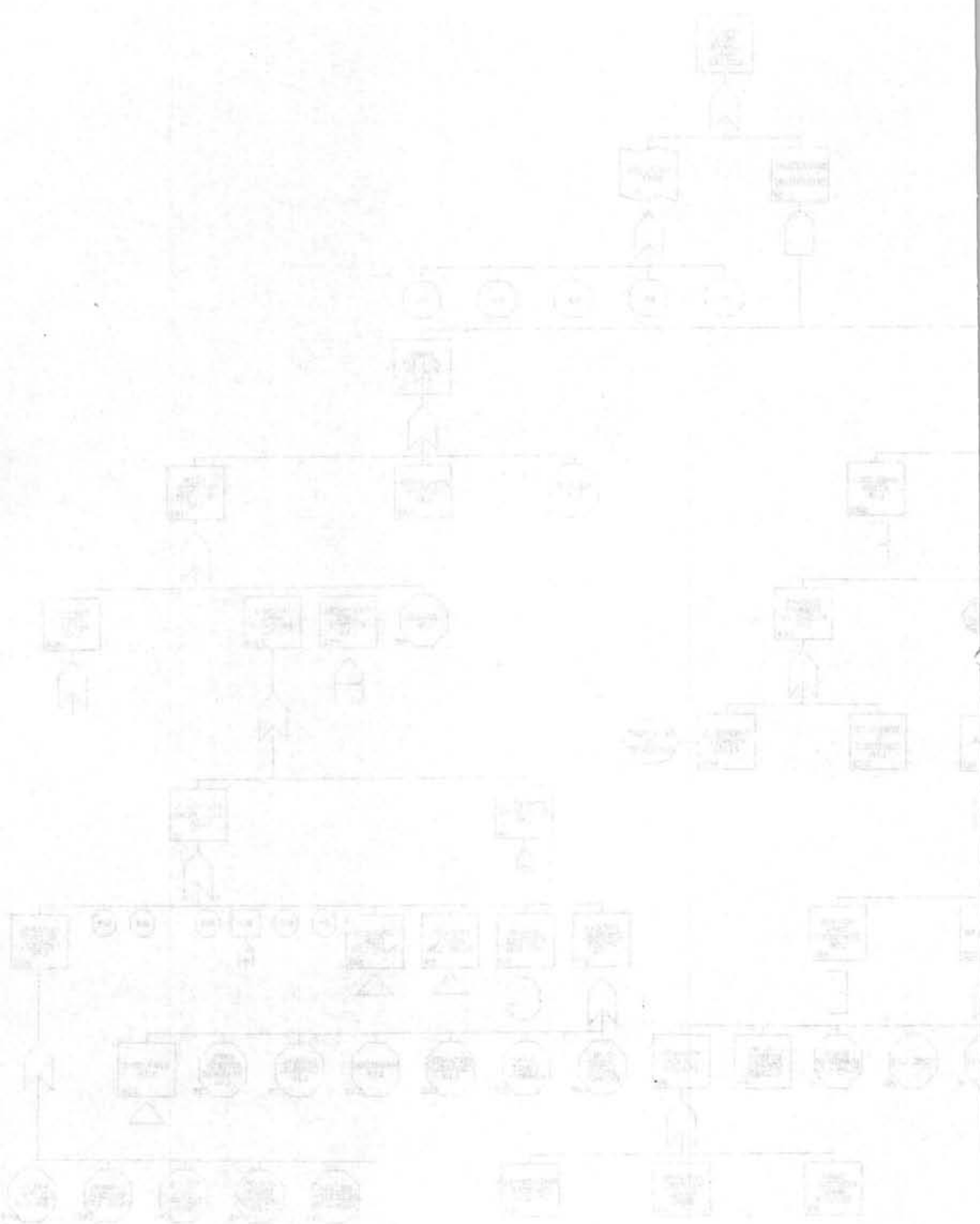
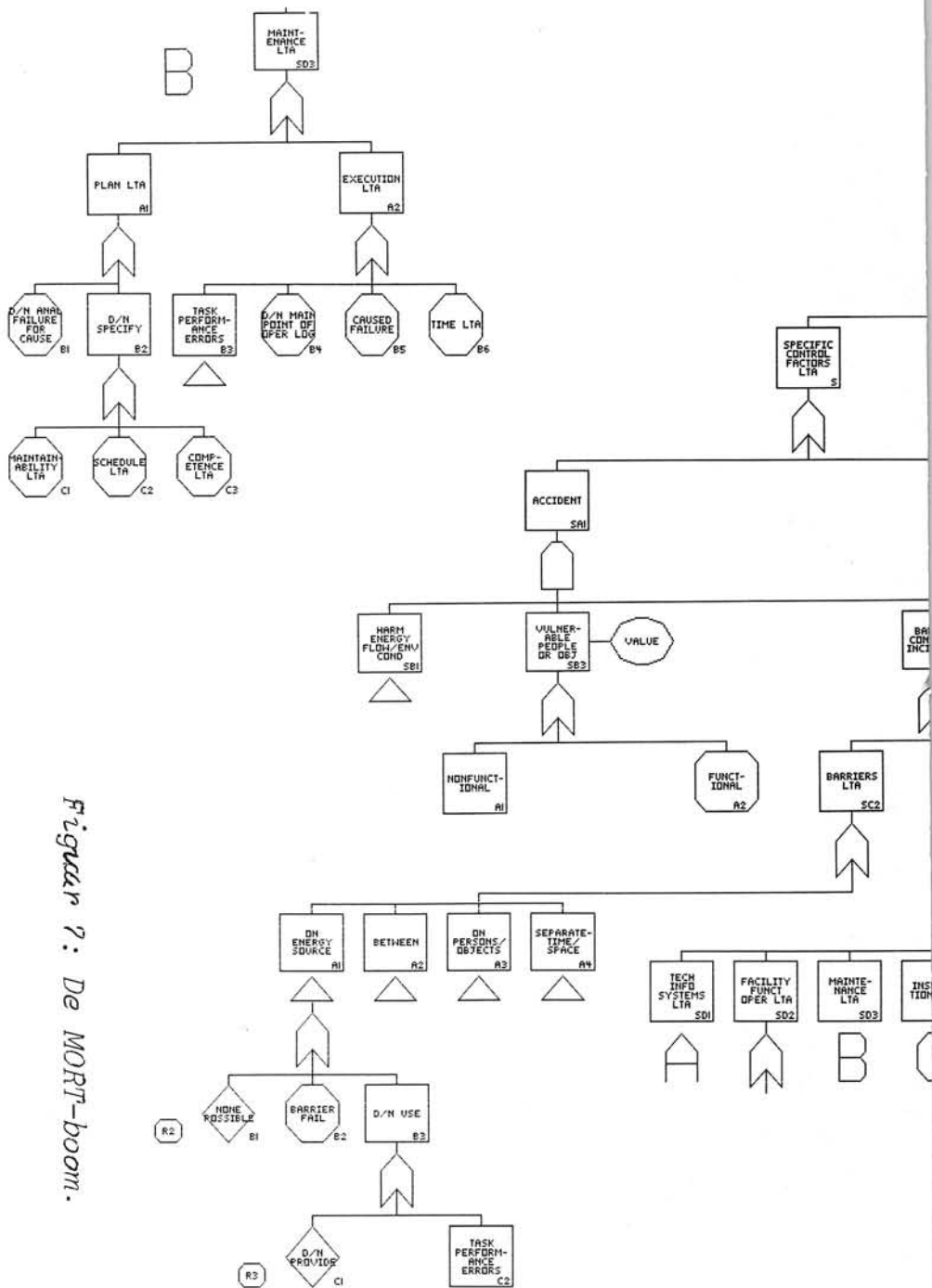
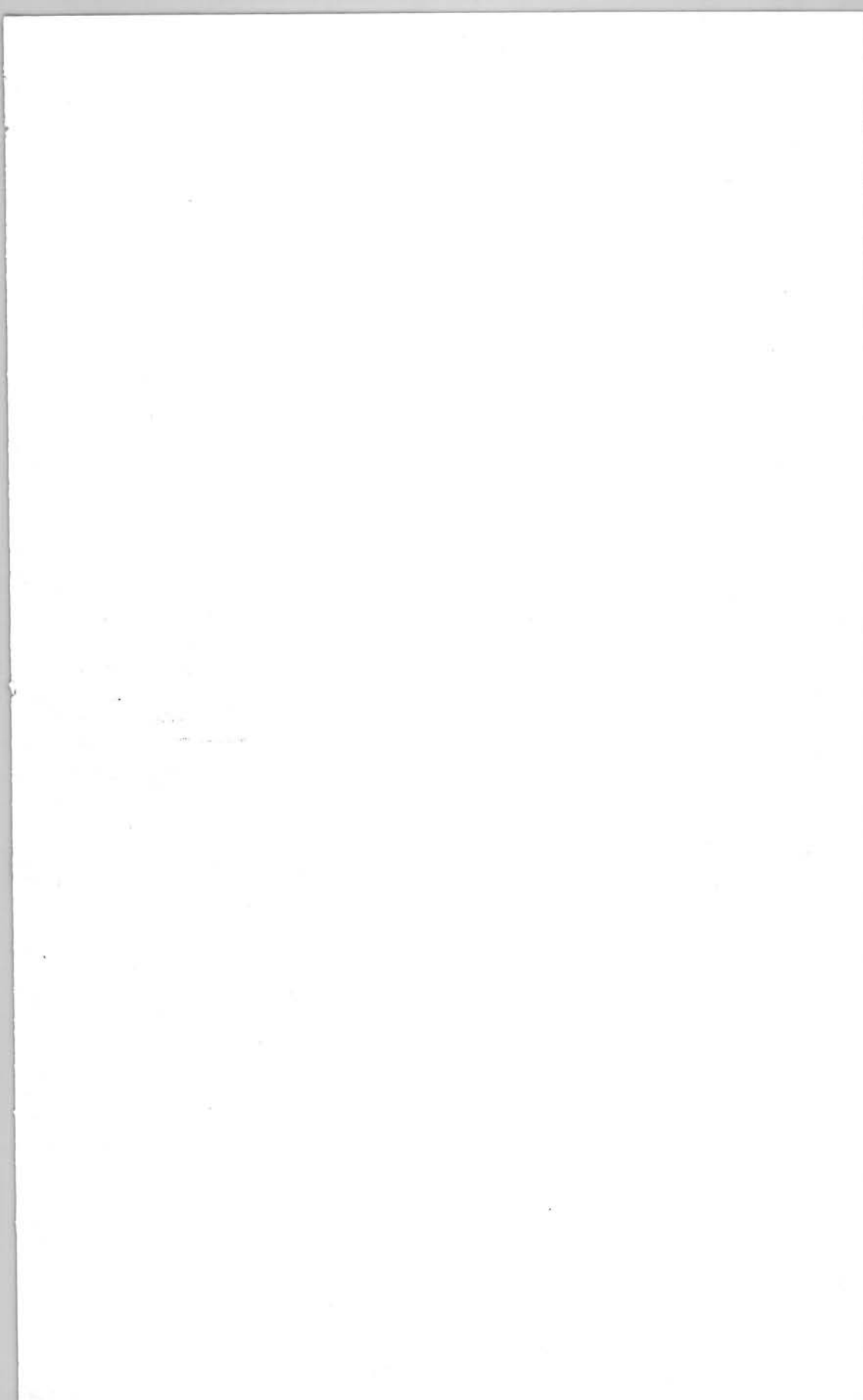
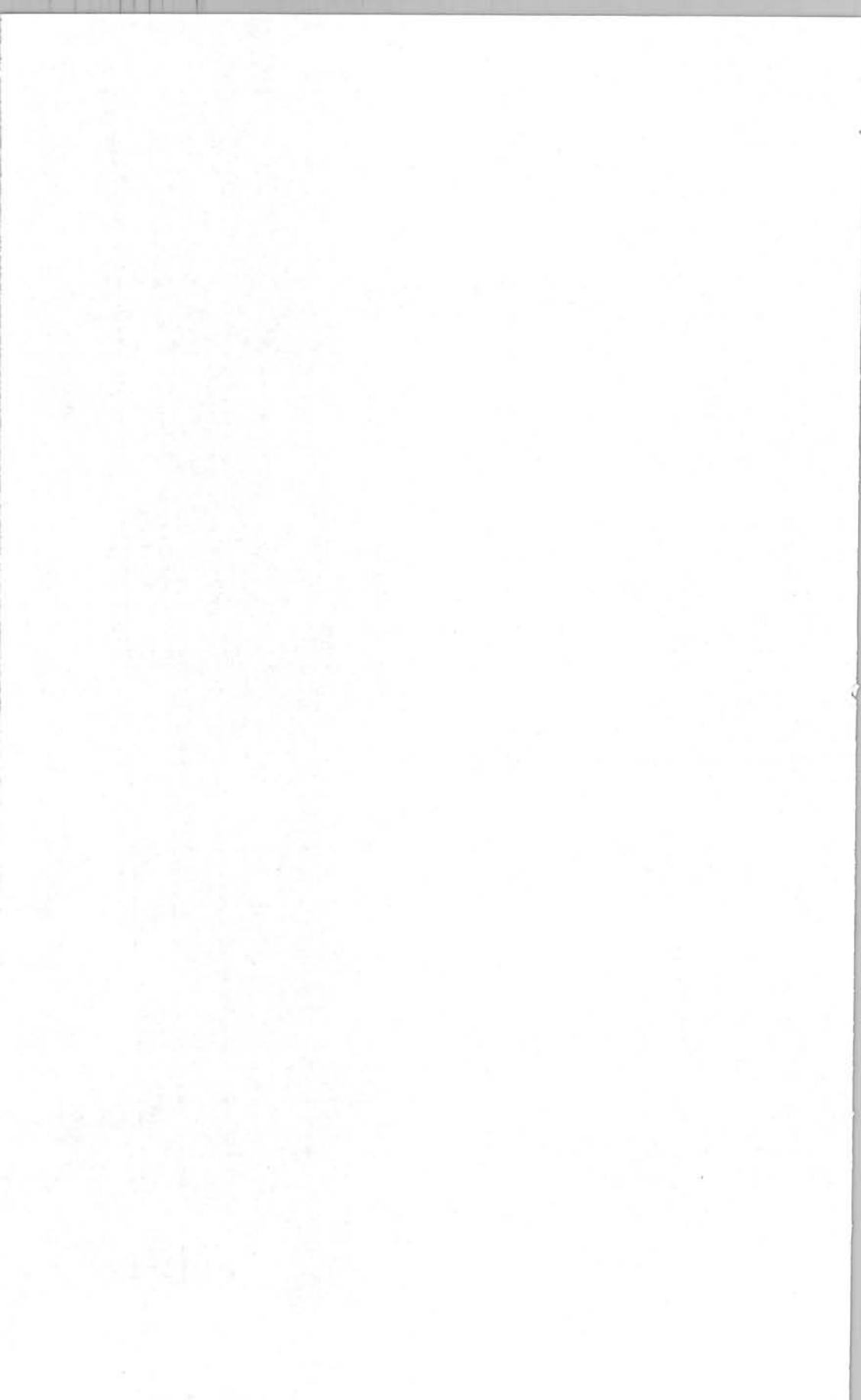


Figure 7: De MORT-boom.









In het ziekenhuis zijn technische hulpmiddelen voor de patiënt van groot, vaak vitaal belang. Het ziekenhuisbedrijf moet kunnen garanderen dat op elk gewenst moment die hulpmiddelen (en vakkundig personeel) niet alleen beschikbaar, maar ook inzetbaar zijn. De kwaliteit van het klinische handelen is hiervan direct afhankelijk.

Het bedrijfsleven 'in het algemeen' besteedt sinds enige jaren zeer veel aandacht aan het vergroten van bedrijfszekerheid, beschikbaarheidsgraad en de methoden daartoe.

Het ziekenhuisbedrijf 'in het algemeen' loopt op dit gebied in kennis nog achter.

'Bedrijfszekerheid en onderhoud in ziekenhuizen' probeert deze leemte te vullen, door vanuit tal van disciplines kennis en opvattingen te verzamelen, die gezamenlijk bijdragen tot een fundamenteel inzicht in de methodieken. Het is een (onmisbare) steun voor allen die in het ziekenhuis verantwoordelijk zijn voor het onderhoud van de 'techniek'.



