

Onderhoudsbewust ontwerpen : methodiek en organisatie

Citation for published version (APA):

Mooren, van der, A. L. (1987). Onderhoudsbewust ontwerpen : methodiek en organisatie. *Mikroniek*, (4), 89-93.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1987

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Onderhoudsbewust Ontwerpen: Methodiek en organisatie*

Prof.dr.ir. A.L. van der Mooren, Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Werktuigbouwkunde.

Onderhoudsbewust ontwerpen vergt een methodische aanpak. Een stelsel van beoordelingslijsten, gebaseerd op sluitende denkmodellen, zonodig verbijzonderd voor bepaalde soorten objecten, vormt daarbij een goed hulpmiddel.

Dergelijke lijsten kunnen niet alleen worden toegepast voor het bedenken van onderhoudsgunstige oplossingen, maar ook voor het globaal toetsen en vergelijken van mogelijke alternatieven. Meer inzicht geven dan echter een gedragsanalyse of een kostenanalyse. Ingewikkelde systemen kunnen eventueel geoptimaliseerd worden door onderhoudsgedrag te simuleren op de computer. Om onderhoudsbewust ontwerpen en investeren met succes in een onderneming te kunnen invoeren moet ook aan een aantal voorwaarden van organisatorische aard worden voldaan.

1. 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 figuur 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.

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 aanschafkosten. 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 voorko-

men [1]. Deze overwegingen voeren ons tot twee met elkaar samenhangende vragen die ik in deze voordracht met u wil behandelen:

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

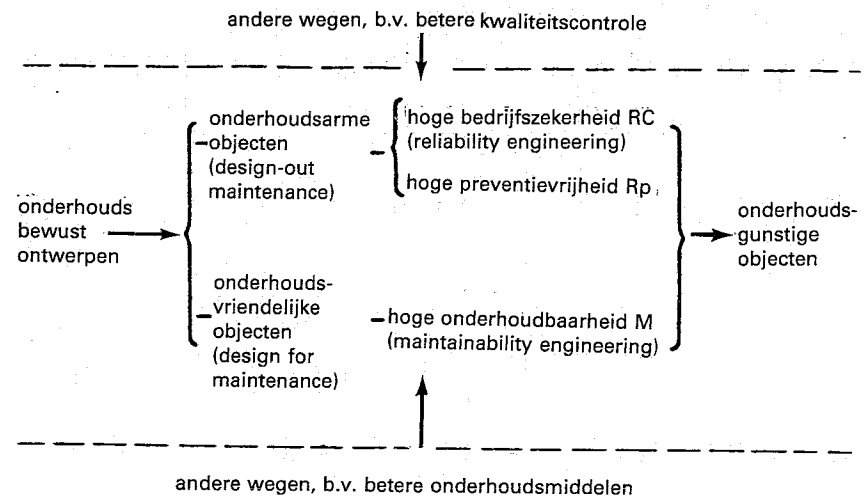
In beide gevallen zal ik mij niet beperken tot het beschrijven van bruikbare methoden, maar ook kort verwijzen naar de te volgen procedure, de manier waarop die methoden tijdens het ontwerpen tot toepassing kunnen worden gebracht. In aansluiting aan het onderwerp wil ik tot slot iets vertellen over de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

2. Constructieve richtlijnen

Bepaalde ontwerpproblemen kan men oplossen met behulp van algemeen aanvaardere 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 projecten, 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



Figuur 1 Wegen voor Onderhoudsbewust Ontwerpen

* Voordracht gehouden op de themadag onderhoudstechnologie/terotechniek, georganiseerd op 28 april 1987 door het Mikrocentrum Nederland.

ontwerper kan nalopen en die hem op een aantal relevante aspecten van de toestand en van het gedrag van een component, alsook 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 of 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 als 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 en de praktijk succes hebben, dat moet een dergelijk stelsel van beoordelingslijsten in de praktijk:

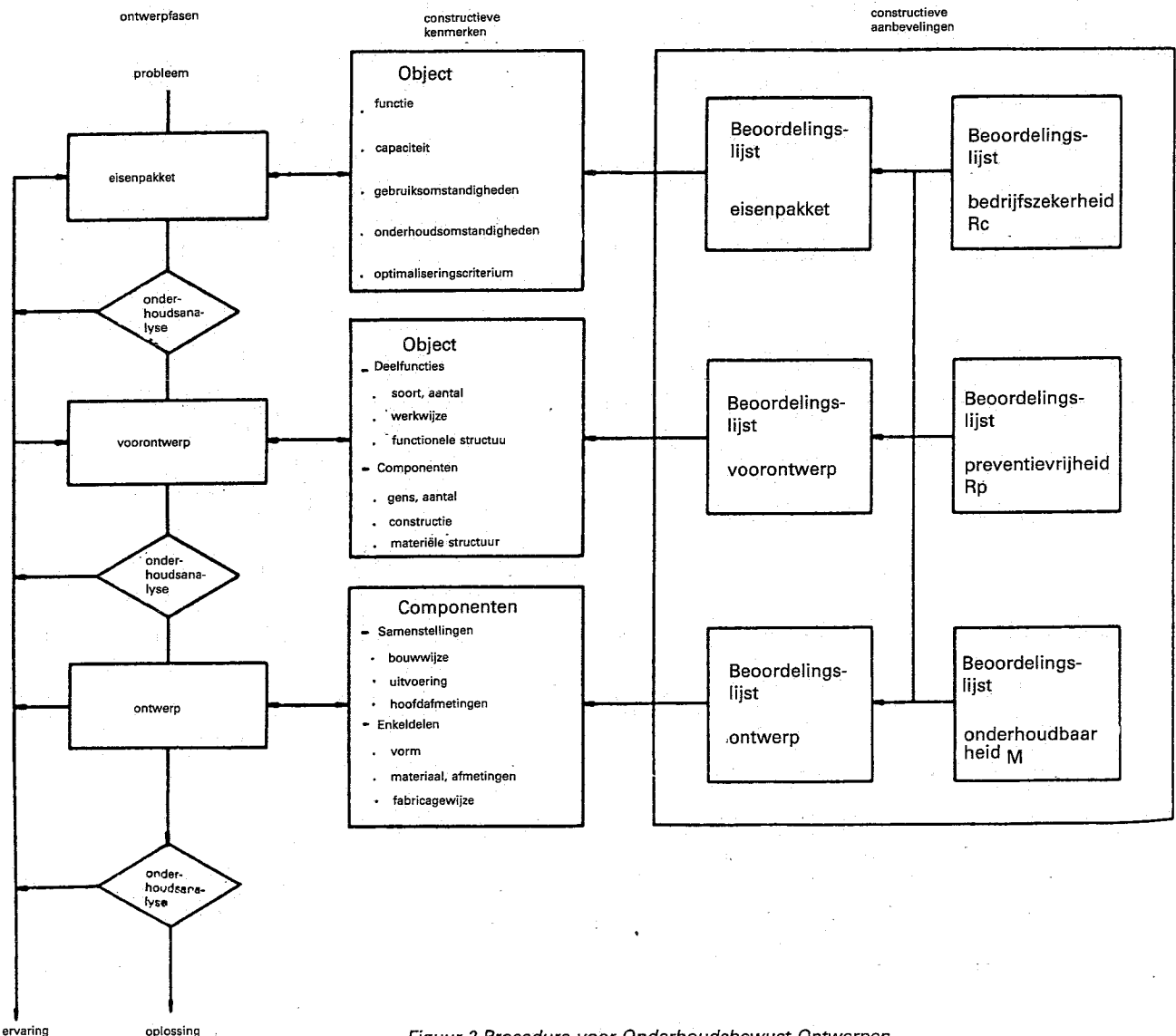
- doeltreffend zijn, o.a. van toepassing zijn op alle mogelijke objecten en bovendien volledig zijn, d.w.z. alle mogelijke oplossingen binnen bereik brengen;
- doelmatig zijn, d.w.z. goed te gebruiken zijn in elke fase van het ontwerpproces, zonder veel inspanningen door al degenen die in die fase tot een goed ontwerp 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 figuur 2.

3. 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 onderhoudsaspect 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 mankracht 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



Figuur 2 Procedure voor Onderhoudsbewust Ontwerpen

hebt de n oms te dc men guur als mrl op h baar

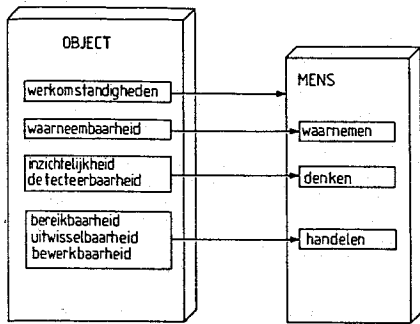
WERK
WAART
INZICHT
DETER
BEREIK
UITS
BEWE

Figuur

Wat betre ingar lings weer daire selba twee den hante wat d derde ninge zoekr slage Op o vanui sten heid e ten te van d zij de snede ten. H bruikl dan te lijstcr portcr ties. I bruike malig object men c de eig voorb midde

4. D Op de lijstcr ten: heid e Een v

hebben, zie figuur 3. Bij zijn werk heeft de mens behoefte aan de juiste werk-omstandigheden, 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 verwisselbaarheid van componenten.



Figuur 3 Denkmodel onderhoudbaarheid

Wat het kenmerk onderhoudbaarheid betreft kunnen deze aspecten primaire ingangen vormen voor de beoordelingslijsten. Elk van deze kenmerken kan weer worden verbijzonderd naar secundaire aspecten. Aan het aspect verwisselbaarheid 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 centreerranden of pennen, zoekranden aan bouten en gaten, aanslagen, etc.

Op overeenkomstige wijze kan men vanuit denkmodellen 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 de aanwezige onderhoudsmiddelen.

4. 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 deze 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 constructieve 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 figuur 4.

TIEN GEBODEN VOOR EEN ONDERHOUDSGUNSTIGE CONSTRUCTIE

1. Vereenvoudig de constructie
2. Gebruik genormaliseerde componenten
3. Verbeter de toegankelijkheid
4. Verbeter de verwisselbaarheid
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

Figuur 4 Tien geboden voor een onderhoudsgunstige constructie

Als eerste categorie kunnen de volgende aanbevelingen ten aanzien van de constructieve kenmerken worden genoemd:

- 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 goed be-

kende, liefst genormaliseerde componenten.

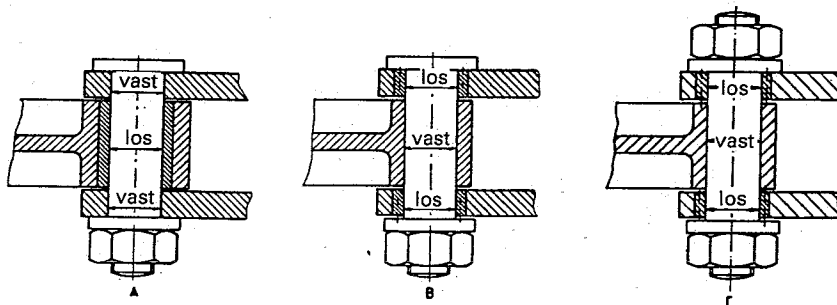
- Toegankelijkheid. Streef naar goede bereikbaarheid, in het bijzonder van de componenten die het meest preventieve en/of correctieve acties vergen. Denk daarbij aan eventueel gebruik van uitrusting en aan de mogelijkheid tot in- en uitbouwen. Vergelijk bijvoorbeeld de twee varianten voor een draaipunt met slijtbussen in figuur 5.
- Verwisselbaarheid. Streef, voor zover de bedrijfszekerheid dat toelaat, naar goed 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 sluitvlakken tussen de modulen af tegen de voordelen van bedrijfszekere verbindingen binnen de modulen en de geringere kans op sleutelfouten.

Vervolgens kan een aantal aanbevelingen worden geformuleerd die zijn gericht op het verbeteren van belangrijke gedragseigenschappen door het 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 verperken van preventieve acties (smen, 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.

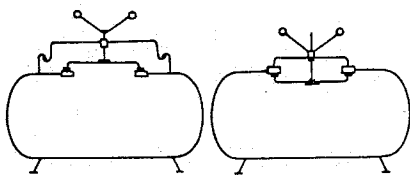


Figuur 5 Plaatsing van slijtbussen in een draaipunt: a. ongunstig; b. gunstiger; c. gunstig

- Zorg ervoor dat de conditie van (kritieke) 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 eenvoudig 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 ten aanzien van 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 figuur 6.



Figuur 6 Zelfafsluitend 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 van het ontwerp moet door gerichte keuzes de basis worden gelegd voor een onderhoudsgunstige constructie.

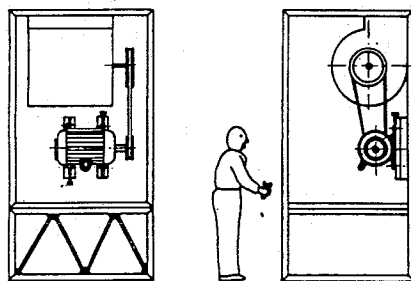
5. De ontwerpbeoordeling

Indien de genoemde denkmodellen en aanbevelingen worden toegepast 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 dat moet 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 de check-list-analyse noemen. Voor elke alternatief wordt systematisch nagegaan in hoeverre aan de aanbevelingen wordt voldaan. Langs deze weg is het alternatief aan te wijzen dat uit onderhoudsoogpunt het beste scoort; voor meer details aangaande deze techniek verwijs ik U naar [1].

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 figuur 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 elektromotor. Vervolgens wordt nagegaan hoe vaak die acties moeten worden uitgevoerd en hoe groot daarvoor de offers in detijd zijn. Het is doelmatig bij deze kwantificering met een grove indeling in klassen te werken. Indien men de beoordelingschalen 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 [1]. 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 ge-



Figuur 7 Ventilatorkast met onderhoudsproblemen

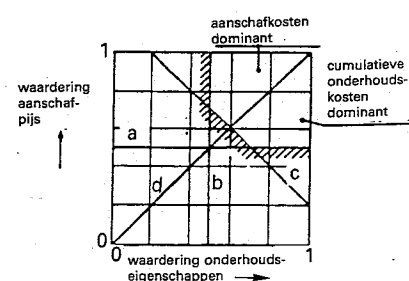
bruiker en onderhouder is daarom geboden.

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 check-list-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 gescheiden te verwerken tot twee deelbeoordelingen; zie figuur 8. Deze keuzetechniek voor ontwerp-problemen, bedacht door Kesselring, maakt de besluitvorming systematisch en inzichtelijk. Ook deze techniek is uitvoeriger 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.

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 onder-



Figuur 8 Onderhoudskeuzediagram

ho
var
bij
kel
tiev
wo
qui
ma
en
ing
jes'
vlo
der
ver
hou
gel
sys
me

total
ond
kost
tijds

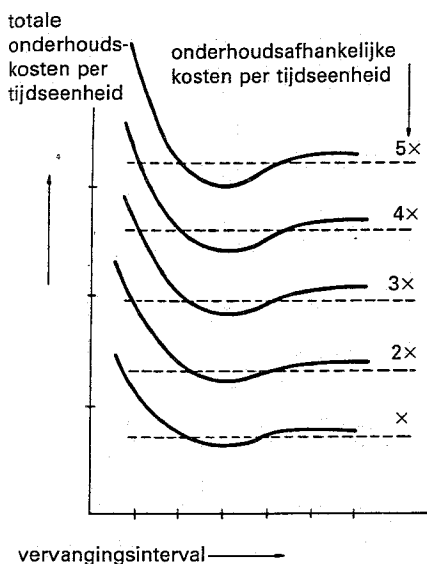
ver

Figu
derh

6.1
In h
onde
pect
sleu
het
kan
hou
wus
metl
ook
ontw
waan
nen
ten,

Ond
reke
scha
eiger
cons
ranci
conc
de kc

houdsgedrag en de onderhoudskosten van een object kan simuleren [4]. Daarbij wordt uitgegaan van gebruiksaankelijke 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 faalen herstelgegevens van componenten ingevoerd, evenals allerlei "prijskaartjes". Het is dan zeer eenvoudig de invloed van bijvoorbeeld bedrijfszekerder componenten of van een korter vervangingsinterval op de onderhoudskosten na te gaan; zie figuur 9. Dit geldt in het bijzonder voor ingewikkelde systemen die met de hand niet goed meer door te rekenen zijn.



Figuur 9 Invloed vervangingsinterval op onderhoudskosten

6. Voorwaarden

In het voorgaande is aangegeven dat onderhoud een belangrijk gebruikaspect is, dat het ontwerp daarbij een sleutelrol vervult en op welke wijze bij het ontwerpen systematisch aandacht kan worden gegeven aan het onderhoudsaspect. Maar om onderhoudsbewust te ontwerpen is kennis van deze methodiek alleen niet voldoende, het is ook noodzakelijk dat het verloop van de ontwerpprocedure aan bepaalde voorwaarden voldoet. Als trefwoorden kunnen worden genoemd: eigendomskosten, gegevens, meespreken.

Onderhoudsbewust ontwerpen vergt rekening houden met tenminste aanschaf- en onderhoudskosten, samen de eigendomskosten, bij het kiezen van constructieve oplossingen. Een leverancier echter, die op de open markt concurreert, is in eerste aanleg geneigd de kosten te minimaliseren van de fabri-

cage vermeerderd met te verwachten claims gedurende de garantieperiode. Willen voor hem onderhoudsgunstige oplossingen lonen, dan moet hij zijn potentiële afnemer duidelijk kunnen maken dan hij, als gebruiker, beter af is als hij iets meer betaalt voor een beter produkt. Dat dit niet onmogelijk is, bewijst o.a. de reclame die voor personenauto's wordt gemaakt, in de geest van: "maak een proefrit met Uw accountant".

De gebruiker die een object volgens specificatie koopt, wellicht ook zelf ontwerpt, moet niet de neiging volgen om voor het beschikbare budget maximale functionele prestatie te willen krijgen, maar verder kijken dan zijn neus lang is en denken aan komende onderhoudskosten. Dat blijkt moeilijk, zeker als investeringen en exploitatie worden uitbetaald uit twee verschillende portemonnaies. Leverancier en gebruiker moeten het in direct overleg eens zien te worden over minimale eigendomskosten als optimaliseringscriterium, in beider belang.

Reeds werd vermeld dat er kwantitatieve modellen ter beschrijving van het onderhoudsgedrag bestaan, zoals het rekenprogramma MAINSITHE. Maar al dergelijke modellen moeten wel worden gevoed met gegevens, bijvoorbeeld over het faal- en herstelgedrag van componenten en kosten, om concrete uitkomsten te kunnen leveren waarmee kan worden beslist, bijvoorbeeld op grond van onderhoudskosten per bedrijfsuur. Bij objecten die in grote aantallen worden gemaakt en gebruikt onder vrijwel gelijksoortige omstandigheden, lijkt dat niet zo moeilijk, denk aan voertuigen. Maar bij objecten die in kleine aantallen worden gebouwd, vaak afgestemd op speciale gebruikscondities, zoals in de procesindustrie, is dat een groot probleem.

In het laatste geval bestaat er maar één weg; dergelijke bedrijven moeten zelf gegevens verzamelen die voor dat doel bruikbaar zijn en dan ligt het inschakelen van de computer voor de hand, maar dat is niet voldoende. Het probleem ligt ook bij het instrueren en motiveren van de onderhouds- en servicemensen, die moeten vastleggen wat er nu precies aan de hand was.

Als een ontwerp, een project wordt aangepakt, is natuurlijk de eerste zorg dat het betreffende object goed zal werken: een vliegtuig moet vliegen, een droogoven drogen. Met dat primaire doel wordt over de specificatie gedacht en in de volgende fase de werkwijze gekozen. Het is echter ook in dit prille stadium dat met onderhoudsbewust ontwerpen het meest te verdienen valt.

Krijgt een vliegtuig twee of meer motoren, en van welk type? Wordt gekozen voor een continu of discontinu werkende oven? De vraag is dan: mag, kan en wil de onderhoudsfunctie meespreken?

Mee mogen spreken betekent ruimte voor overleg en terugkoppeling en samenwerking. Mee kunnen spreken gaat alleen als men wat te zeggen heeft, als er vooraf is nagedacht over algemene richtlijnen en wensen en als er gegevens op tafel kunnen worden gelegd. Immers, wat iets in aanschaf gaat kosten is doorgaans vrij goed bekend. Als Onderhoud er niet in slaagt al in een vroeg stadium zijn wensen te kwantificeren valt er weinig echt mee te spreken. Mee willen spreken houdt o.a. in dat de onderhouder bereid is er tijd voor uit te trekken en niet steeds korte-termijn zaken laat voorgaan, hoe belangrijk die ook zijn.

Onderhoudsbewust ontwerpen en investeren is dus in eerste aanleg wel een technisch-economisch probleem, maar kan slechts slagen indien ook aan een aantal organisatorische voorwaarden voldaan is. Het vereiste samenspel gedurende de gehele ontwerp-, resp. inkoopprocedure, behoort nog lang niet altijd tot de "bedrijfscultuur", die vaak wordt gekenmerkt door een "estafette-aanpak": verschillende personen nemen onafhankelijk van elkaar besluiten in de opeenvolgende ontwerpstadia. Om die situatie te doorbreken kunnen check-lists als basis voor overleg een goed hulpmiddel zijn.

Een cruciale rol in het geheel speelt het management; het moet

- denken in eigendomskosten;
- ruimte (tijd, geld) geven voor kiezen, bedenken van onderhoudsgunstige oplossingen;
- aanvullende procedures vaststellen, bijvoorbeeld onderhoudsanalyse voorschrijven;
- samenwerking tussen betrokkenen tot stand brengen en daarin zelf deelnemen.

Om een dergelijke benadering binnen de onderneming van de grond te krijgen lijkt het formuleren, starten, begeleiden en evalueren van een proefproject een geschikte eerste stap.

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.-rapport 1983 1 en 2, 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.