

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering

Citation for published version (APA):

Hankmann, W. (1991). Systematische ontwikkeling van een technische verbetering. *Koude magazine*, (juni), 20-24.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

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.

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering

Ing. W. Hankmann*

Een object doorloopt gedurende zijn leven verscheidene fasen, het begint met een marktonderzoek ten aanzien van wenselijkheid en technisch/economische haalbaarheid en eindigt met het afdanken van het object. De deelkosten die de verschillende levensfasen met zich meebrengen, vormen samen de levensduurkosten van een object.

Figuur 1 toont een zogenaamde levensduurkostenbalk van een willekeurig object, met hierin opgenomen de belangrijkste deelkosten die met het vervaardigen en het gebruik gepaard gaan.

Hierin wordt de kostprijs van het object bepaald door de kosten van het marktonderzoek *M*, de kosten van ontwerp en ontwikkeling *O* en de vervaardigingskosten *V*. De gebruikskosten bestaan onder andere uit de energieverbruikskosten en de bedieningskosten van het object gedurende zijn gebruiksduur. Ook zijn nog opgenomen de onderhoudskosten gedurende zijn gebruiksduur en de kosten verbonden aan het afdanken van het object bij het bereiken van de economische levensduur.

Aangezien de onderhoudskosten een wezenlijk bestanddeel van de totale levensduurkosten van een object vormen, is het van belang om het onderhoudsaspect in een zo vroeg mogelijk stadium van het ontwerpen te betrekken. In de conceptfase nog in algemene zin, naast andere belangrijke aspecten als vervaardiging, energieverbruik, etc. Maar wanneer het ontwerp concreter wordt, in meer specifieke zin, waarbij valt te denken aan het uitvoeren van een onderhoudsanalyse op het object. Ook op bestaande installaties met te hoge onderhoudskosten kan zo'n analyse worden losgelaten. Wel dient men dan eerst zogenaamde onderhoudszwaartepunten vast te stellen en de onderhoudsproblemen duidelijk te formuleren. Overigens moet het belang van onderhoudskosten steeds ondergeschikt zijn aan het belang van de levensduurkosten.

Ofschoon de deelkosten in de levensduurkostenbalk gescheiden zijn weergegeven, is de realiteit dat zij elkaar in de tijd overlappen. Bovendien vindt onderlinge beïnvloeding plaats, een aspect waar de ontwerper terdege rekening mee dient te houden. Wanneer men een buffertank van een installatie bijvoorbeeld van roestvast staal in plaats van gewoon staal zou maken, heeft dit een kostprijsverhogend effect. Behoeft men deze

tank echter tijdens de levensduur van de installatie niet meer te vervangen, dan betekent dit een verlaging van de onderhoudskosten. Een juiste afweging van beide deelkosten zal (mede) bepalend zijn voor de uiteindelijke keuze.

Meer in het algemeen zal de doelstelling van de ontwerper het realiseren van minimale kosten per eenheid product of dienst zijn of, anders gezegd, het ontwerpen op minimale levensduurkosten. Daarbij zijn uiteraard niet alle deelkosten even belangrijk of zelfs maar voldoende 'zwaar' om in de kostenafweging te worden meegenomen. Daarom moet de ontwerper zijn aandacht vooral richten op de dominante deelkosten. Dit betekent dus dat hij ten aanzien van een te ontwerpen object in eerste instantie zwartepunten binnen de kostenbalk dient vast te stellen, om vervolgens, met deze deelkosten en hun onderlinge relaties als uitgangspunt, het ontwerp in economisch opzicht te optimaliseren.

Voornoemde zwartepunten zijn sterk objectafhankelijk. Bij eenvoudig handgereedschap bijvoorbeeld, is uitsluitend de kostprijs van belang, terwijl bij centrifugaalpomp onder bepaalde gebruiksomstandigheden de gebruikskosten maatgevend kunnen zijn.

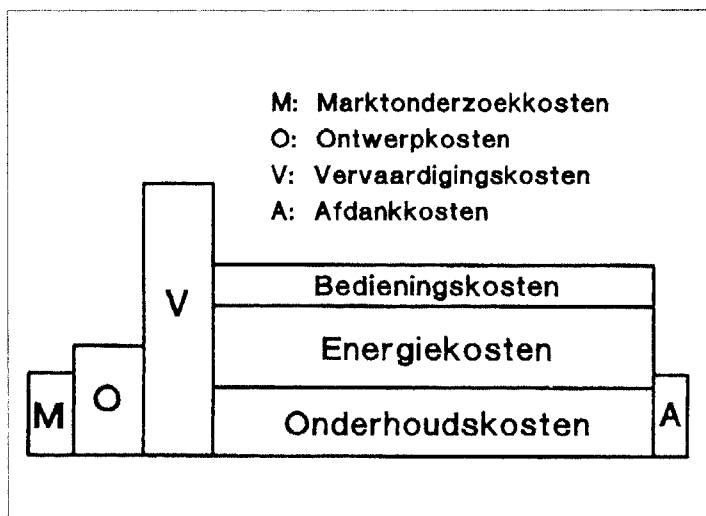
Dit betekent dus dat de verschillende relevante deelkosten niet geïsoleerd maar in relatie tot elkaar bekeken dienen te worden. Om dit te kunnen realiseren, is voorkennis van het ontstaan en de opbouw van de deelkosten vereist. Voor wat betreft de onderhoudskosten kan deze kennis met behulp van een onderhoudsanalyse worden verkregen.

Afloopschema

Teneinde de onderhoudskosten van een installatie op doelmatige wijze aan te pakken, is het nodig om op systematische wijze te werk te gaan.

Een uitgangspunt voor een dergelijke aanpak is het 'Afloopschema TVB' (figuur 2), waarin de opeenvolgende stappen worden aangegeven die moeten worden doorlopen om voor een bepaald onderhoudszwaartepunt vanuit een probleemstelling tot een technisch en economisch verantwoord verbeteringsvoorstel te komen. Tevens wordt voor elke stap een mogelijke methode voor de invulling ervan aangegeven.

De eerste stap van het flowschema houdt het bepalen van zogenaamde 'onderhoudszwaartepunten' in. Wanneer de onderhoudskosten van een installatie te hoog zijn, ligt het voor de hand om aan te nemen dat niet alle componenten van zo'n installatie in gelijke mate voor de onderhoudskosten verantwoordelijk zijn. Wanneer men deze kosten dan ook op effectieve wijze wil bestrijden, dient men eerst na te gaan welke componenten deze



Figuur 1: Levensduurkostenbalk

*De heer Hankmann is werkzaam bij de Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit werktuigbouwkunde, Vakgroep Ontwerpen en Construeren.

kosten in hoofdzaak veroorzaken. Het is hierbij van groot belang om niet alleen de onderhoudsuitvoeringskosten of directe onderhoudskosten in de beschouwing te betrekken, maar ook de onderhoudsafhankelijke kosten of indirecte onderhoudskosten. Deze laatste blijken net zo belangrijk te zijn. Een praktische methode voor het bepalen van onderhoudszwaartepunten is het uitvoeren van een Pareto-analyse [1], ook wel bekend als de zogenaamde 80/20-regel. Welke componenten voor een eventuele technische verbetering in aanmerking komen, hangt bij deze analyse niet alleen van het totale onderhoudskostenpercentage af, maar wordt in hoofdzaak bepaald door het via de constructie te beïnvloeden deel daarvan. Opgemerkt dient te worden dat naast of zelfs in plaats van onderhoudskosten ook andere beoordelingscriteria, zoals veiligheid en/of milieu, gehanteerd kunnen worden. De tweede stap in het afloopschema is de 'probleemformulering' van het gekozen onderhoudszwaartepunt. Het doel van deze stap is om via recherche te komen tot een zo volledig mogelijk beeld van de IST-toestand¹ van het object, zowel ten aanzien van het preventieve onderhoud (onderhoudsconcept) als van de correctieve onderhoudsacties. Uit dit overzicht destilleert de onderhouder op verstandige wijze één of meer wensen ten aanzien van bijvoorbeeld de standtijd van componenten, het revisie-interval van het object en/of de onderhoudbaarheid ervan. Een vergelijking van deze zogenaamde SOLL-toestand² met het overeenkomstige IST-deel vormt de probleemstelling die het uitgangspunt voor de probleemanalyse is. Zo'n probleemstelling kan bv. zijn het verdubbelen van de standtijd³ van een component, zodat deze 'in de pas' loopt met andere componenten, of het zodanig verkorten van de revisieduur van het object, dat er geen additionele onderhoudsafhankelijke kosten meer zullen optreden. Om de IST-toestand goed te kunnen beschrijven, is het nodig eerst de systeemgrenzen van zowel de installatie als het onderhoudszwaartepunt eenduidig vast te stellen. Tevens is het van belang om zowel de installatie als het betreffende object procesmatig en tech-

nisch te beschrijven. De volgende stappen van het afloopschema zullen in het navolgende worden belicht.

De onderhoudsanalyse [2,3]

Ontwerpen vereist een hoge mate van deskundigheid, ervaring en creativiteit. De onderhoudsanalyse biedt de ontwerper de mogelijkheid om het aspect onderhoud op systematische wijze in zijn ontwerp te betrekken en daarmee de onderhoudseigenschappen in het algemeen positief te beïnvloeden. De onderhoudsanalyse bestaat uit een checklistenanalyse, waarbij het ontwerp als geheel getoetst wordt aan algemene en/of specifieke onderhoudskenmerken, een gedraganalyse, waarbij het gedrag van een aantal relevante componenten in onderhoudsopzicht bekeken en in kengetallen vertaald wordt en een kostenanalyse waarmee, uitgaande van deze kengetallen en onder toevoeging van de nodige kosteninformatie, de uiteindelijke onderhoudskosten van het object worden geschat. Wij stellen aan de onderhoudsanalyse de volgende eisen:

1. De methode moet kwantitatief aangeven welke componenten binnen een alternatief uit onderhoudsoogpunt de zwakke plekken vormen;
2. De methode moet leiden tot een samenvattend oordeel over het onderhoudsgedrag van een alternatief als geheel;
3. Het samenvattend oordeel moet combinatie met andere kwaliteitskenmerken toelaten.

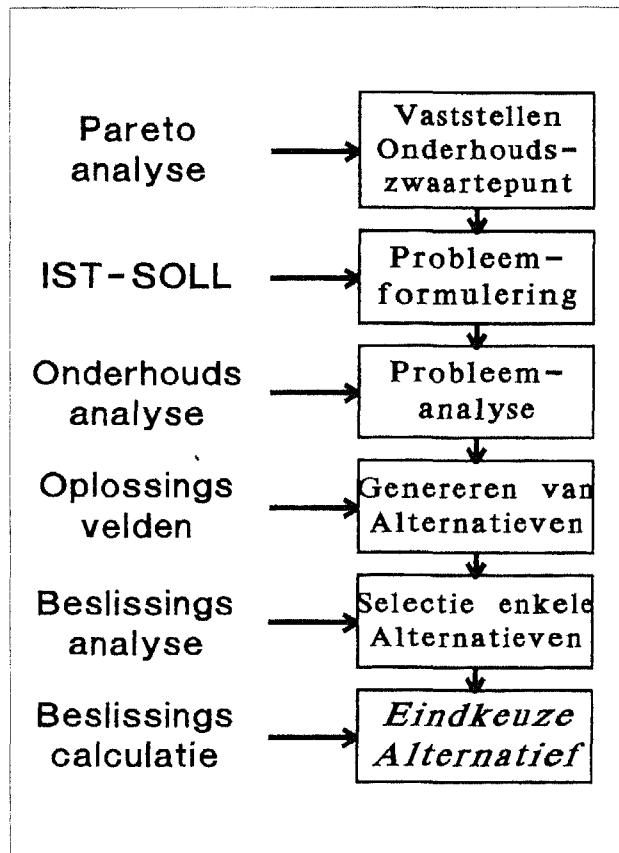
Onderhoudschecklistenanalyse

De onderhoudschecklistenanalyse kan principieel voor twee verschillende doeleinden worden gebruikt; als onderhoudsanalyse met als doel een oordeel over het te verwachten onderhoudsgedrag van een object te verkrijgen, en als beslissingsanalyse met als doel om op rationele wijze uit verschillende alternatieven te kiezen. In beide gevallen moet een checklistenanalyse worden gebaseerd op een aantal relevante constructieve beoordelingskenmerken. Wanneer men de checklistenanalyse als onderhoudsanalyse wil gebruiken, kan men voor het vinden van deze relevante beoorde-

lingscriteria bv. teruggrijpen op aanbevelingen zoals deze in algemene zin zijn gegeven in de vorm van '10 geboden' en meer in het bijzonder ten aanzien van de onderhoudsaspecten preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid [4,5]. 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 onderscheiden worden. De mate waarin de alternatieven aan deze aanbevelingen voldoen, vormt een indicatie voor hun te verwachten onderhoudsgedrag. Ook kan men gebruik maken van door de NVDO opgestelde universele beoordelingslijsten van bovengenoemde aspecten [6], die men desgewenst kan verbijzonderen naar objecten of objectgroepen. Een NVDO-werkgroep is momenteel bezig met het opstellen van enige verbijzonderde checklists, evenals een procedure voor het opstellen hiervan [7]. Wil men de checklistenanalyse als beslissingsanalyse gebruiken, dan kunnen de beoordelingskenmerken met name via de eisen en wensen uit het eisenpakket worden samengesteld. Om op rationele wijze te beoordelen, dient men gewichtsfactoren aan de kenmerken toe te kennen en vervolgens de waardering van de verschillende alternatieven voor elk beoordelingscriterium in een cijfer op een ratio-schaal [3], bv. van 0-4, uit te drukken. Door elke score met de desbetreffende gewichtsfactor te vermenigvuldigen en deze resultaten op te tellen, komt men tot een eindwaardering van het te beschouwen object ten aanzien van de gekozen kenmerken.

Onderhoudsgedragsanalyse

Om het te verwachten onderhoudsgedrag van een ontwerp op te sporen, ligt het voor de hand eerst optredende preventieve en correctieve



Figuur 2: Afloopschema TVB

¹ Momentele onderhoudssituaties ten aanzien van preventieve en correctieve onderhoudsacties.
² Gewenste onderhoudssituaties ten aanzien van preventieve en correctieve onderhoudsacties.
³ Gebruiksduur van de component totdat hij faalt.

Aard van de acties	Component	Kwalitatief		Kwantitatief	
		Rp-analyse Wat?	M-analyse Hoe?	Rp-analyse Hoe vaak?	M-analyse Hoe groot?
Preventief	a1	-----	-----	-----	-----
	2	-----	-----	-----	-----
	b1	-----	-----	-----	-----
Correctief	a4	-----	-----	-----	-----
	5	-----	-----	-----	-----
	c1	-----	-----	-----	-----
	-	-----	-----	-----	-----

Figuur 3: Kwalitatieve en kwantitatieve onderhoudsgedragsanalyse

ve acties uit het ontwerp af te leiden en na te gaan hoe die moeten worden uitgevoerd. Vervolgens moet men, om tot afwegingen en beslissingen te kunnen komen, bepalen hoe vaak die acties voorkomen en hoe groot de offers zijn die zij vergen. De onderhoudsanalyse van een object kan men aldus in drie samenhangende deelanalyses opsplitsen, die elk een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte omvatten en per component worden uitgevoerd (figuur 3):

- Preventievrijheidsanalyse: welke preventieve acties vergt de component en hoe vaak?
- Bedrijfszekerheidsanalyse: op welke wijze kan de component falen, welke correctieve acties zijn nodig en hoe vaak komt dat naar verwachting voor?

- Onderhoudbaarheidsanalyse: wat is de werkwijze bij de preventieve en correctieve acties, welk onderhoudsniveau moeten die uitvoeren, welke uitrusting is nodig en hoe groot zijn de offers, bv. aan klokuren, die zij vergen?

De onderhoudsgedragsanalyse 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 tot de resulterende onderhoudsacties.

De kwalitatieve inventarisatie moet een kwantitatief vervolg krijgen. Dit is mogelijk door voor elke preventieve en correctieve onderhoudsactie een schatting van frequentie (aantal acties per jaar) en tijdsduur (klokuren) te maken en dit met behulp van de kengetallen C_p , C_c en C_m weer te geven. Hierbij stellen C_{p1} en C_{c1} de frequentie van respectievelijk de preventieve en correctieve acties voor, terwijl C_m voor de tijdsduur ervan staat. Het produkt $C_{sp} = C_p \cdot C_m$ voor preventieve acties en $C_{sc} = C_c \cdot C_m$ voor correctieve acties stelt de totale tijdsduur van een onderhoudsactie per jaar voor.

De procedure voor het uitvoeren van een gedragsanalyse is gedetailleerd beschreven in de vorm van een korte handleiding onderhoudsanalyse [8]. 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. In figuur 4 is een dergelijk gedragsprofiel van de preventieve onderhoudsacties van een luchtbehandelingsinstallatie opgenomen. Op te merken is, dat er bij de frequenties van de acties (C_p) drie uitschieters zijn; het reinigen van de kleppen (a1), het controleren van de V-snaren (f1) en het smeren van de waaiers (g1). Ten aanzien van de onderhoudbaarheids (C_m) is er slechts één uitschieter, het reinigen van de zeven en de spreidingsbuis (g1). De langste onderhouds-

duur op jaarbasis wordt veroorzaakt door de acties al en gl.

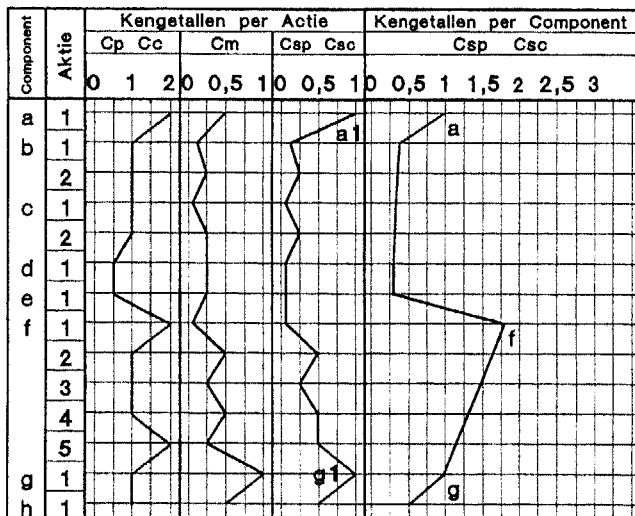
Het zoeken naar verbeteringen zal dan ook in de eerste plaats op laatstgenoemde acties gericht moeten zijn, waarbij de meeste aandacht bij de actie al zal gaan naar preventievrijheid en bij de actie gl naar onderhoudbaarheid. Wanneer men de C_p -waarden van de acties per component sommeert, kan men een componentgericht gedragsprofiel tekenen. In het voorbeeld leidt dit tot de aanvullende conclusie dat de individuele acties van component f, de ventilatorsectie, weliswaar geen aanleiding tot zorgen geven maar dat de som van deze acties en dus de totale omvang aan preventief onderhoud aan de ventilatorsectie wel degelijk hoog scoort, reden om de functie van de ventilatorsectie, respectievelijk de invulling ervan eens nader onder de loep te nemen.

De gedragsanalyse is gebaseerd op een inventarisatie van de te verwachten preventieve en correctieve onderhoudsacties aan de componenten. Door toepassing van ratioschalen bij kengetallen voor 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. Als deze goed worden gekozen op grond van ervaring, wordt beduidend sneller inzicht verkregen in het onderhoudsgedrag van de belangrijkste componenten en dus van het object als geheel. Vergelijking met andere objecten is echter moeilijk en het resultaat minder betrouwbaar.

Onderhoudskosten-analyse

De onderhoudskosten OK omvat-



Figuur 4: Onderhoudsgedragsprofiel van een luchtbehandelingsinstallatie

ten in de eerste plaats de onderhoudsuitvoeringskosten *OUK* met als belangrijkste bestanddelen de directe loon- en materiaalkosten voor preventieve en correctieve acties; echter ook indirecte kosten zoals voor gereedschappen, behoren daartoe. Bovendien zijn tot de onderhoudskosten te rekenen de onderhoudsafhankelijke kosten *OAK*, opbrengstverliezen die veroorzaakt worden door verstoring van de productiegang die zich kunnen uiten in overwerk, productievervalsing en/of declassering.

Schatting van de onderhoudskosten van alternatieven, met het doel deze te kunnen afwegen tegen verschillen in aanschafkosten, moet uiteraard vrij nauwkeurig zijn en moet daarom niet op een checklist-analyse, maar op een gedragsanalyse worden gebaseerd. De hoogte van de te verwachten onderhoudsuitvoeringskosten van een object wordt bepaald door de som van de kosten voor alle preventieve en correctieve acties bij alle componenten.

Het kan moeilijk zijn om ook de onderhoudsafhankelijke kosten te schatten, onder andere omdat deze sterk worden beïnvloed door de marktsituatie. Toch ontkomt men hier meestal niet aan, omdat de kostenpost gewoonlijk van dezelfde grootte is als de onderhoudsuitvoeringskosten en daarom vaak aanzet tot het aanbrengen van verbeteringen aan bestaande objecten. In het algemeen zal men *OAK* kunnen opsplitsen in een deel dat uitsluitend afhankelijk is van het aantal productieonderbrekingen en een deel dat afhankelijk is van de

duur van die onderbrekingen. In [3] en [8] worden de onderhoudskosten uitvoerig toegelicht.

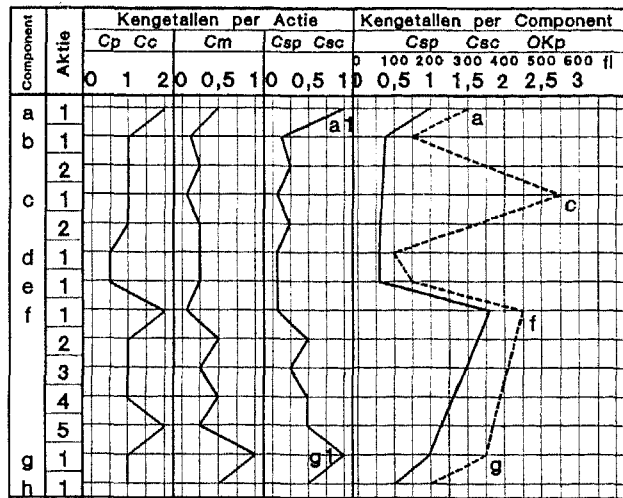
Het resultaat van de kostenanalyse kan op overzichtelijke wijze in kostenstructuren en -profielen worden verwerkt. Figuur 5 toont een voorbeeld van zo'n kostenstructuur van een luchtbehandelingsinstallatie. In deze kostenstructuur worden de kosten gevormd door de totale onderhoudskosten *OK* van de componenten, die zowel absoluut als procentueel, per component en cumulatief zijn weergegeven. In principe kan men voor elke gewenste (deel)kostensoort kiezen.

In figuur 6 is weer het preventieve gedragsprofiel uit figuur 4 getekend, nu aangevuld met een preventief kostenprofiel van de componenten. Uit het kostenprofiel per component blijkt dat de drie uitschieters uit de gedragsanalyse nog steeds hoog scoren, maar dat ze overtroffen worden door de onderhoudskosten van component c, de voorverwarmer. Hieruit blijkt eenduidig de invloed van het kostenaspect op de analyse, wat het uitvoeren van een kostenanalyse, aansluitend op de gedragsanalyse, zeker zinvol maakt.

De methode geeft een absolute schatting in geld van de onderhoudsbehoefte van een alternatief als geheel en van de bijdragen van zijn componenten. Daarmee is volledig voldaan aan de drie eisen die in aanvang werden geformuleerd.

Oplossingen

Het bedenken van oplossingen



Figuur 6: Preventief onderhoudsgedrags- en kostenprofiel van een luchtbehandelingsinstallatie

voor gestelde technische problemen kan uiteraard op verschillende manieren plaatsvinden. Ontwerperstalent, intuïtie, literatuurstudies, associatieprocessen, brainstorming en methodisch ontwerpen zijn allemaal mogelijkheden met behulp waarvan men tot nieuwe ideeën kan komen. In het geval van technische verbeteringen, waar zoals reeds gezegd met name de rol van de onderhouder en zijn relatie met ontwerper en gebruiker (productie) van groot belang zijn, is het noodzakelijk om op praktische wijze te werk te gaan vanwege de schaarse beschikbare tijd. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door gebruik te maken van zogenaamde oplossingsvelden voor de onderhoudsaspecten preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid.

Figuur 7 stelt zo'n oplossingsveld

voor, voor onderhoudsbewust ontwerpen met verticaal de verschillende onderhoudsgedragsaspecten preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid en horizontaal een compleet overzicht van constructieve parameters. Dergelijke oplossingsvelden en met name de constructieve parameters zijn een uitloeijsel van methodisch ontwerpen [9].

Uitgangspunt voor gebruik zijn de resultaten van de onderhoudsgedrags- en kostenanalyse. Die leveren immers zogenaamde knelpunten op, componenten met bv. een te hoge storingsfrequentie (lage bedrijfszekerheid) en/of te langdurige onderhoudsacties (slechte onderhoudbaarheid).

Met deze informatie als achtergrond kan men nu gericht in het oplossingsveld brainstormen voor alternatieven, door achtereenvolgens voor elke constructieve parameter mogelijke oplossingen te bedenken. Naast vakmanschap en systematiek is hierbij zeker ook creativiteit een onmisbare eigenschap om tot goede resultaten te komen. Een eerste praktische selectie vindt plaats op basis van technische realiseerbaarheid. Die reduceert het aantal oplossingen. Voordat de economische haalbaarheid nagegaan wordt en een definitieve keuze gemaakt wordt, is het vaak zinvol om een tweede selectie van de alternatieven uit te voeren. Een rationele wijze hiervoor is om de checklistanalyse uit te voeren als beslissingsanalyse. Zoals reeds eerder gezegd dient men hiervoor eerst een beperkt aantal

Component		Onderhoudskosten			
		F1	Cumulatief F1	%	Cumulatief %
Nr	Naam				
C	Voorverwarmer	3 350	3 350	44	44
A	Kleppensectie	1 700	5 050	22	66
F	Ventilatorsectie	1 300	6 350	17	83
E	Na-verwarmer	550	6 900	7	90
G	Bevochtiger	350	7 250	4	94
H	Circulatiepomp	200	7 450	3	97
B	Filtersectie	150	7 600	2	99
D	Koeler	100	7 700	1	100

Figuur 5: Onderhoudskostenstructuur van een luchtbehandelingsinstallatie naar componenten en kostensoort

(max. 10) relevante beoordelingskenmerken vast te stellen en van gewichtsfactoren te voorzien. Vervolgens kan men dan alle alternatieven per beoordelingskenmerk waarderen, bv. met de 5-puntschaal. De betekenis van het cijfer 0 is 'zeer slecht', maar wel nog net toelaatbaar, de score 4 betekent 'zeer goed' of 'uitstekend'. Het beperken van kenmerken is noodzakelijk omdat ze anders niet meer onafhankelijk van elkaar zijn en dus geen rationele keuze gemaakt kan worden.

Om tot de economische meest aantrekkelijke oplossing te komen kan men voor de overgebleven alternatieven een beslissingscalculatie of kosten-batenanalyse uitvoeren. Onder baten worden verstaan de vermindering van onderhoudskosten per jaar, te bepalen met een gedrags- en kostenanalyse van de voorgestelde verbeteringen en deze vervolgens met de oorspronkelijke resultaten te vergelijken. Onder kosten worden de eenmalige investeringen van de uit te voeren technische verbeteringen verstaan; deze zijn bv. met snelcalculatiemethoden [10] te bepalen.

Uit de eenmalige investering I en het jaarlijks exploitatievoordeel E volgt de zogenaamde terugverdientijd of pay-out time $P = I/E$, die een maat is voor het investeringsrisico. Vervolgens kan men de keuze van de uiteindelijke oplossing baseren op de genoemde pay-out time P , de cumulatieve constante waarde CCW over de beschouwde economische levensduur van het object en het investeringsrendement i . Volledigheidshalve kan men bovendien een gevoeligheidsanalyse uitvoeren.

Besluit

Het afloopschema TVB geeft op overzichtelijke wijze de stappen weer die voor het ontwikkelen van een technische verbetering

doorlopen moeten worden. Bij elke stap zijn mogelijke methoden als gereedschap aangegeven. Uiteraard is niet elke technische verbetering zo belangrijk of omvangrijk dat het schema volledig doorlopen kan worden. Het is zeker niet vanzelfsprekend dat de genoemde methoden steeds in volle omvang toegepast worden. Met name de onderhoudsanalyse leent zich voor een verkorte, op de praktijk toegesneden aanpak.

De checklistanalyse berust op analyse van de constructieve kenmerken van het object als geheel, door vergelijking met een aantal relevante aanbevelingen. Bij gebruik als beslissingsanalyse dienen vooral aantal en aard van de kenmerken met bijzondere zorg gekozen te worden. De methode is relatief snel en goedkoop uit te voeren. De gedragsanalyse berust op een inventarisatie per component van aard, frequentie en omvang van de benodigde onderhoudsacties; de kostenanalyse bouwt hierop voort door de berekening van de onder-

houdsuitvoeringskosten 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 optimalisatie is het resultaat van de kostenanalyse beter geschikt dan dat van de gedragsanalyse.

Voor het genereren van alternatieven zijn diverse methoden aan te wenden. Het oplossingsveld met een volledig overzicht van de constructieve parameters en met de resultaten van de onderhoudsanalyse als uitgangspunt, werkt het gericht zoeken naar oplossingen door brainstorming op praktische wijze in de hand. Samenwerking tussen onderhouder, ontwerper en gebruiker zijn hierbij van essentieel belang.

Na een voorlopige selectie van de alternatieven via de op de checklistanalyse gebaseerde beslissingsanalyse kan men tenslotte een beslissingscalculatie uitvoe-

ren om tot de uiteindelijke keuze te komen.

Tenslotte dient te worden opgemerkt dat het belang van onderhoudskosten steeds ondergeschikt is aan het belang van de zogenaamde levensduurkosten [11]. Door hun onderlinge relaties beïnvloeden de verschillende deelkosten, waaronder dus ook de onderhoudskosten, elkaar. Bij het ontwikkelen van nieuwe projecten, maar ook van technische verbeteringen dienen de relevante deelkosten dan ook steeds in hun onderlinge samenhang bekeken te worden.

Literatuur

- [1] Woodruff, D.M., Phillips, The Pareto chart...tool for problem solving, Chemical Engineering, april 1986, p.111-114
- [2] Mooren, A.L. vander en W. Hankmann. Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt, de Constructeur, 1985, nr. 6, p. 30-37 en nr. 12, p. 64-70
- [3] Hankmann, W., Analyse helpt constructeur onderhoudsbewust ontwerpen, I-kwadraat Werktuigbouwkunde, januari 1991 deel (1), p. 44-48, februari 1991 deel (2), p. 37-42, Maart 1991 deel (3), p. 18-21.
- [4] Mooren, A.L. van der, Evaluatie in de ontwerpfase van het onderhoudsgedrag van werktuigbouwkundige objecten, NVDO-rapport 1983/3.
- [5] Hankmann, W., Diktaat Terotechniek 1: Inleiding, Technische Universiteit Eindhoven.
- [6] Onderhoudsbewust Ontwerpen in de Werktuigbouw, Deel II: Beoordelingslijsten, NVDO 1983/3.
- [7] Brussel, H. van, werkgroep checklist NVDO, Onderhoudschecklists, Ontwikkeling en toepassing, Doelmatige Bedrijfsvoering, nr. 5, mei 1991, p. 4-8.
- [8] Hankmann, W., Korte Handleiding Onderhoudsanalyse, Technische Universiteit Eindhoven, oktober 1987.
- [9] Mooren, A.L. van der, Ontwerpkunde, Methodiek en Werktuigonderdelen, deel 1: Methodisch ontwerpen, T.U. Eindhoven
- [10] Pahl, G., F. Rieg, Kostenwachstumgesetze für Baureihen, Carl Hauser Verlag, München, Wien.
- [11] Hankmann, W., Onderhoudsanalyse van een luchtbehandelingsinstallatie, Technische Bedrijfsvoering, 1987, nr. 2, p. 63-67

<p><i>Oplossingsveld</i></p> <p>OBO</p>	Component		Struc- tuur		Hulpcomponent	
	Aantal	Werkwijze	Aard			Functioneel
			Bouw- wijze	Materieel		
			Materiaal			Vorm
<p>Preventievrijheid</p> <p>R_p ↑</p> <p>Bedrijfszekerheid</p> <p>R_c ↑</p> <p>Onderhoudbaarheid</p> <p>M ↑</p>						

Figuur 7: Oplossingsveld voor onderhoudsbewust ontwerpen