

## De onderhoudskosten voor C.V.-ketels

**Citation for published version (APA):**

Hankmann, W., & Laurensse, J. T. M. (1987). De onderhoudskosten voor C.V.-ketels. *I-twee werktuigbouwkunde*, 3(10), 57-61.

**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](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# De onderhoudskosten voor C.V.-ketels

Bij het ontwerpen van technische objecten wordt het kostenaspect steeds belangrijker. Het ontwerp motto "zo goed als mogelijk" is allang vervangen door "zo goed als nodig". Wat nodig is, wordt dan in een eisenpakket vastgelegd dat, naarmate het ontwerpproces vordert, steeds concreter wordt. In dit pakket zijn naast functionele en technische eisen dan ook eisen van economische aard opgenomen. Er worden tegenwoordig methoden ontwikkeld voor het ontwerpen op minimale levensduurkosten. De auteurs geven een beschouwing over die kosten in het algemeen en over het aspect onderhoud in het bijzonder. Ze gaan in op de resultaten van een onderzoek naar de onderhoudskosten van zo'n zeventigduizend centrale verwarmingsketels met een gemiddelde capaciteit van 20 kw.

Een object doorloopt gedurende zijn leven verscheidene fasen, te beginnen met het marktonderzoek en eindigend met het afdanken. 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 onder andere gevormd door:

- M = de kosten ten behoeve van het marktonderzoek
  - O = de kosten van ontwerp en ontwikkeling
  - V = de vervaardigingskosten
- De gebruikskosten bestaan onder andere uit:
- E = de energieverbruikkosten van het object gedurende zijn gebruiksduur
  - B = de bedieningskosten van het object gedurende zijn gebruiksduur
- Vervolgens zijn nog opgenomen:
- OK = de onderhoudskosten van het object gedurende zijn gebruiksduur
  - A = de kosten verbonden aan het afdanken van het object

Ofschoon de deelkosten in de levensduurkostenbalk gescheiden zijn weergegeven, is de realiteit dat zij elkaar in de tijd overlappen. Bovendien is er onderlinge beïnvloeding, een aspect waar de ontwerper terdege rekening mee dient te houden. Wanneer men een warmtewisselaar van een C.V.-installatie bijvoorbeeld van roestvast staal in plaats van gewoon staal zou maken, heeft dit uiteraard een kostprijsverhogend effect. Hoeft men deze warmtewisselaar echter tijdens de levensduur van de installatie niet meer te vervangen, dan betekent dit een verlaging van de onderhoudskosten. Een juiste afwe-

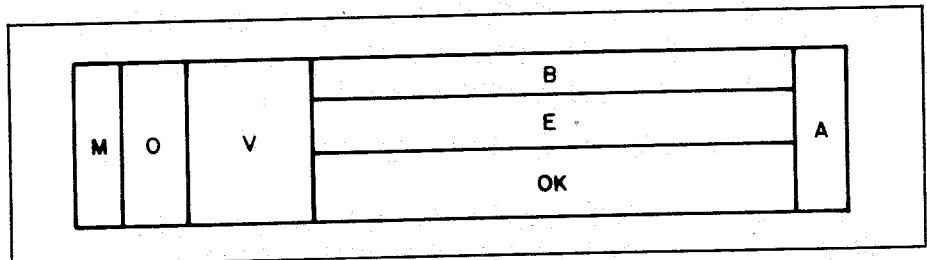


Fig. 1. Levensduurkostenbalk

ging van beide deelkosten zal (mede) bepalend zijn voor de uiteindelijke keuze.

Meer in het algemeen zal de doelstelling van de ontwerper zijn, minimale kosten per eenheid product of dienst, dat wil zeggen: ontwerpen op minimale levensduurkosten. Niet alle deelkosten zijn even belangrijk of zelfs maar voldoende "zwaar" om in de kostenafweging meegenomen te worden. Dit houdt in dat de ontwerper zijn aandacht vooral dient te richten op die deelkosten, die dominant blijken te zijn. Dit betekent dus dat hij ten aanzien van een te ontwerpen object in eerste instantie zwaartepunten 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.

In figuur 2 is de kostenstructuur van enkele objecten weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat de eerder genoemde zwaartepunten sterk objectafhankelijk zijn. Bij eenvoudig handgereedschap (a) bijvoorbeeld is uitsluitend de kostprijs van belang, bij personenauto's (b) zal naast de kostprijs ook aan de gebruiks- en onderhoudskosten aandacht geschonken dienen te worden, terwijl bij centrifugaalpompen (c) de gebruikskosten maatgevend kunnen zijn.

Voor de in dit artikel beschouwde C.V.-ketels lijkt het aannemelijk om naast de kostprijs, zowel de onderhoudskosten als de energieverbruikkosten als kostenzwaartepunten aan te merken. Uit het voorgaande blijkt, dat de verschillende relevante deelkosten niet geïsoleerd, maar in relatie tot elkaar bekeken dienen te worden. Om dit echter te kunnen realiseren, is voorkennis omtrent het ontstaan en de opbouw van de deelkosten vereist. Voor wat betreft de onderhoudskosten kan deze kennis met behulp van een onderhoudsanalyse verkregen worden. De uitvoering hiervan wordt hieronder globaal toegelicht.

## De onderhoudsanalyse

Zoals reeds gezegd kan de ontwerper al in de ontwerpfasen van een object met het aspect onderhoud en als zodanig dus ook met de te verwachten onderhoudskosten rekening houden. Het is daarbij niet realistisch om te veron-

Ing. W. Hankmann ing. J.T.M. Laurensse



Ing. W. Hankmann en ing. J.T.M. Laurensse zijn beiden verbonden aan de faculteit der Werktuigbouwkunde, vakgroep W.O.P. van de Technische Universiteit Eindhoven.

derstellen dat onderhoud al in de conceptfase tot in al zijn details bekeken kan worden; wel kan men in deze fase, naast andere belangrijke aspecten als vervaardiging, energieverbruik en dergelijke, onderhoud in algemene zin meenemen, maar pas wanneer het ontwerp meer concreet wordt, kan onderhoud in al zijn facetten een belangrijk aandachtsgebied voor de ontwerper vormen. Dit kan dan bijvoorbeeld gebeuren door het uitvoeren van een onderhoudsanalyse, die de ontwerper de mogelijkheid biedt om, naast zijn deskundigheid, ervaring en creativiteit het onderhoudsaspect op systematische wijze in het ontwerp te betrekken, hetgeen de onderhoudseigenschappen van een object in het algemeen positief zal beïnvloeden.

De onderhoudsanalyse bestaat uit drie deelanalyses, die naargelang de omstandigheden in relatie met elkaar of apart toegepast kunnen worden.

De checklist-analyse heeft ten doel om een ontwerp op een aantal relevante onderhoudskenmerken te beoordelen. Kenmerken kunnen bijvoorbeeld zijn de bedrijfszekerheid, de toegankelijkheid, de uitwisselbaarheid enz. De in eerste opzet kwalitatieve beoordeling wordt met een ordinale of, wat beter is, een ratioschaal gekwantificeerd. Men is zodoende in staat om het verschil in belang van de kenmerken aan te geven en verschillende alternatieven op rationele wijze met elkaar te vergelijken.

Met behulp van de gedragsanalyse wordt het onderhoudsgedrag van een object, in caso zijn componenten, geanalyseerd en in zogenoemde kengetallen vastgelegd. Dit houdt in dat er eerst een kwalitatieve analyse wordt gedaan waarin de aard van de te verwachten preventieve en correctieve onderhoudsacties wordt beschreven, en vervolgens een kwantitatieve analyse waarin de frequentie en de tijdsduur van deze acties geschat worden. Het resultaat kan onder andere met behulp van een zogenoemd onderhoudsgedragsprofiel (figuur 3) worden weergegeven.

Een kostenanalyse tenslotte gaat uit van de resultaten van de gedragsanalyse in de vorm van de kengetallen Cp en Cc (frequentie), Cm (tijdsduur) en de producten Csp = Cp · Cm en Csc = Cc · Cm. Door toevoeging van de benodigde kosteninformatie over lonen, materialen en stilstandstijden, kunnen de te verwachten onderhoudskosten dan berekend worden. Men kan daarbij on-

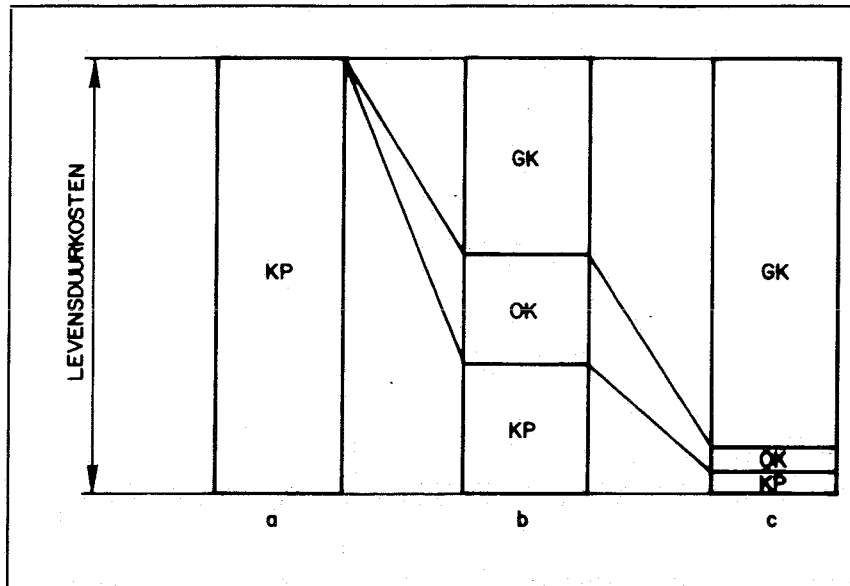


Fig. 2. Kostenstructuur van enkele objecten

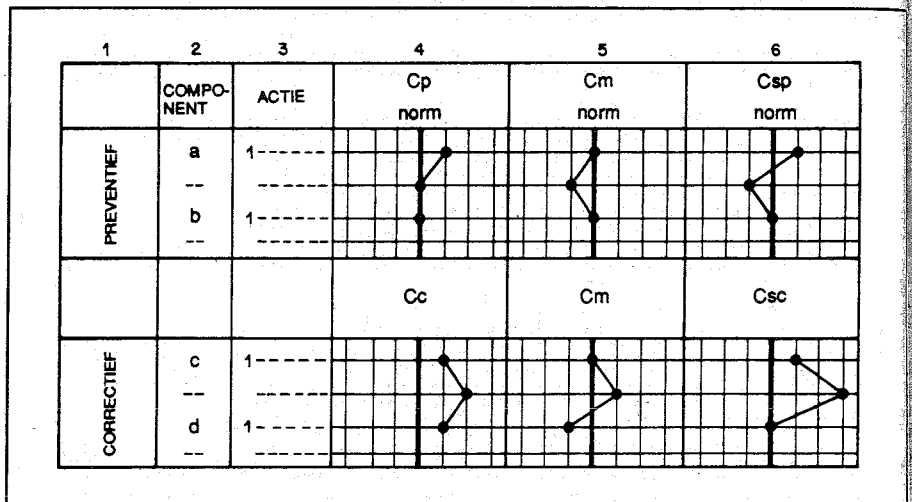


Fig. 3. Onderhoudsgedragsprofiel

derscheid maken tussen de onderhouds- uitvoeringskosten OUK, bestaande uit loon- en materiaalkosten (directe onderhoudskosten) en de onderhoudsafhankelijke kosten OAK, veroorzaakt door stilstand van het object, b.v. in de vorm van productderving (indirecte onderhoudskosten). In de volgende relaties zijn de preventieve OUK en OAK weergegeven.

$$(OUK)_p = \sum_{i=1}^n Csp(i) \cdot p_i \cdot l_i + C_p(i) \cdot m_i$$

$$(OAK)_p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot C_p(i) + b \cdot \sum_{i=1}^n Csp(i)$$

- Waarin:
- $(OUK)_p$  = preventieve onderhouds- uitvoeringskosten per jaar
  - $(OAK)_p$  = preventieve onderhouds- afhankelijke kosten per jaar
  - $i$  = preventieve onderhouds- actie
  - $n$  = totaal aantal preventieve onderhoudsacties
  - $Csp$  = totale duur van een onder- houdsactie per jaar

- $Cp$  = frequentie van de preven- tieve onderhoudsactie
- $p$  = aantal mensen per actie
- $l$  = tarief per manuur
- $m$  = materiaalkosten per actie
- $a$  = onderhoudsafhankelijke kosten per gebeurtenis
- $b$  = onderhoudsafhankelijke kosten per uur

Voor de correctieve onderhoudskosten kunnen analoge relaties opgeschreven worden, zodat de totale onderhoudskosten gelijk worden aan:

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

- Waarin:
- $OK$  = totale onderhoudskosten per jaar
  - $(OUK)_c$  = correctieve onderhouds- uitvoeringskosten per jaar
  - $(OAK)_c$  = correctieve onderhouds- afhankelijke kosten per jaar

Het uitvoeren van een checklist-, gedrags- en kostenanalyse vraagt in de genoemde volgorde meer inspanning en tijd, maar levert ook een overeen-

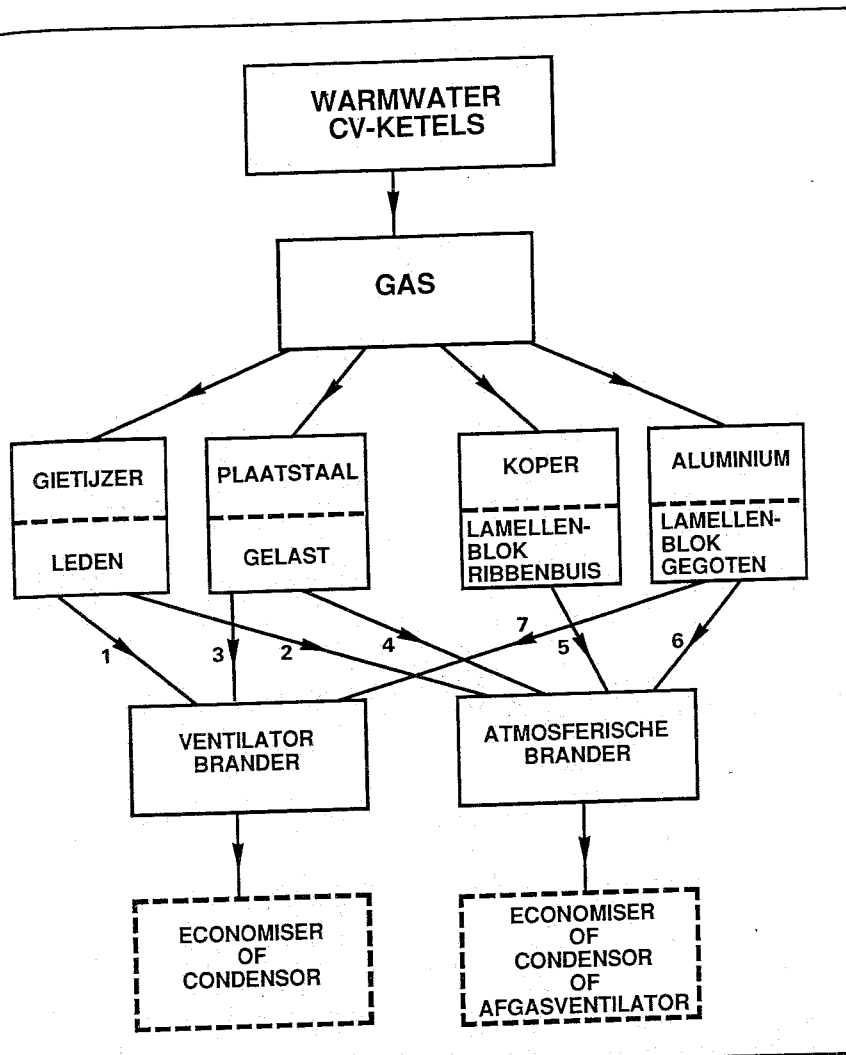


fig. 4. Overzicht keteltypen

worden gestookt en die vóór 1983 zijn geïnstalleerd.

**Typen ketels**

Een centrale verwarmingsketel wordt in hoofdzaak gekarakteriseerd door het ontwerp van de warmtewisselaar en de configuratie (de vorm) van de verbrandingsruimte inclusief de branders. Daarnaast maakt de ontwerper meestal gebruik van standaardcomponenten voor:

- regel- en beveiligingsapparatuur
- transport van de media

Het aantal op de markt zijnde C.V.-ketels is in eerste lijn te verdelen naar het type warmtewisselaar, ten tweede naar het type brander (atmosferische branders of ventilatorbrander) en ten derde naar het aantal warmtewisselaars (tweede warmtewisselaar de condensor) (overzicht figuur 4).

In algemene zin zijn bij atmosferische ketels een drietal warmtewisselaar-uitvoeringen te onderscheiden:

- |                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
|                  | aanduiding in relatie met fig. 4 |
| - lamellen blok  | nr.                              |
| - halfnatte voet | nr. + *                          |
| - natte voet     | nr. + **                         |

Regelapparatuur wordt geïnstalleerd om de warmteproductie af te stemmen op de warmtevraag. Deze apparatuur wordt erg vaak gecombineerd met een of meerdere beveiligingsfuncties. We gaan hier niet in op typen en soorten.

**Storingen**

Uit een aantal interviews met grote tot middelgrote installateurs over onderhoud en onderhoudscontracten is komen vast te staan dat met storingscodering en de statistische verwerking van de storingsgevallen wat betreft materiaal en tijdsbesteding inzicht is te verschaffen in de levensduur van de diverse ketelcomponenten en de daaraan gekoppelde kosten.

Uit het grote scala van storingscodes (werkzaamheden aan en vervangen van componenten) is een keuze gemaakt om de onderhoudskosten aan C.V.-ketels in beeld te brengen.

De gekozen doorsnede (figuur 6) is mede aan de hand van de eerder genoemde gesprekken samengesteld. Natuurlijk kunnen er ook andere doorsneden worden genomen, afhankelijk van het doel van het onderzoek.

De onderhoudscodes en onderhoudsre-

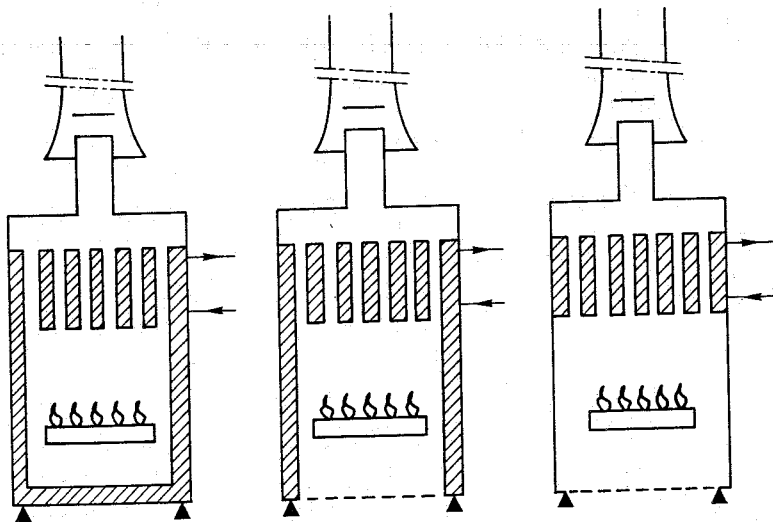


Fig. 5. Atmosferische ketels: met gekoelde wanden met halfnatte en natte voet

komstige bijdrage tot een optimaal ontwerp.

**Centrale verwarmingsketels**

Centrale verwarmingsketels zijn apparaten waarin het grootste deel van de bij de verbranding van een gasvormige of

vloeibare brandstof vrijgekomen warmte wordt overgedragen op water dat gebruikt wordt voor ruimteverwarming in woon- en utiliteitsgebouwen. In dit artikel zullen alleen de apparaten van het konventionele type ter sprake komen, die met gasvormige brandstof

levante componenten zijn in de tabel van figuur 6 opgenomen.

- a) defect aan Warmtewisselaar
- b) defect aan Branderset
- c) defect aan Gasblok
- d) defect aan Circulatiepomp
- e) defect aan Trafo
- f) defect aan Ketelthermostaat
- g) defect aan Thermokoppel
- h) defect aan Droogkookbeveiliging
- i) defect aan Overstortklep
- j) defect aan Expansievat
- k) defect aan Bedrading
- l) defect aan Verbindingen (pakkingen en koppelingen)

Fig. 6. Onderhoudscodes met relevante componenten

De onderhoudsacties aan deze componenten kunnen variëren van algehele vervanging tot een uiterst kleine ingreep.

Voor wat de beschouwing van de kosten betreft dient duidelijk de verhouding loon- en materiaalkosten met elkaar te worden vergeleken.

Afhankelijk van deze beschouwing zal bij het ene onderzoek direkt tot algehele vervanging van de component worden overgegaan en bij het andere onderdeel tot een reparatie worden besloten.

**Onderhoudskosten C.V.-ketels**

Wanneer men zinvol over de onderhoudskosten van een object wil spreken, is het van belang om de systeemgrenzen van het object eenduidig te definiëren, dat wil zeggen vaststellen welke componenten wel en welke niet binnen de beschouwing vallen. Voor de C.V.-ketel zijn deze grenzen door het schema van de figuren 4 en 5 en de tabel in figuur 6 aangegeven. De in het navolgende getoonde overzichten hebben betrekking op drie verschillende niveau's van complexiteit, te weten de installateur, het object en de componenten. De resultaten van e.e.a. geven een zekere teneur aan, de beperkte omvang van het onderzoek en de beschikbare tijd laten echter geen grote precisie toe. Conclusies moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden getrokken.

Aan de ongeveer 70.000 beschouwde C.V.-installaties werden in 1983 ongeveer 98.000 onderhoudsacties gepleegd, wat een frequentie van 1,4 onderhoudsacties/jaar oplevert. De gemiddelde onderhoudskosten per jaar bedragen ca. f 72,-/installatie, hetgeen neerkomt op ongeveer f 52,-/onderhoudsactie. Van de totale onderhoudskosten be-

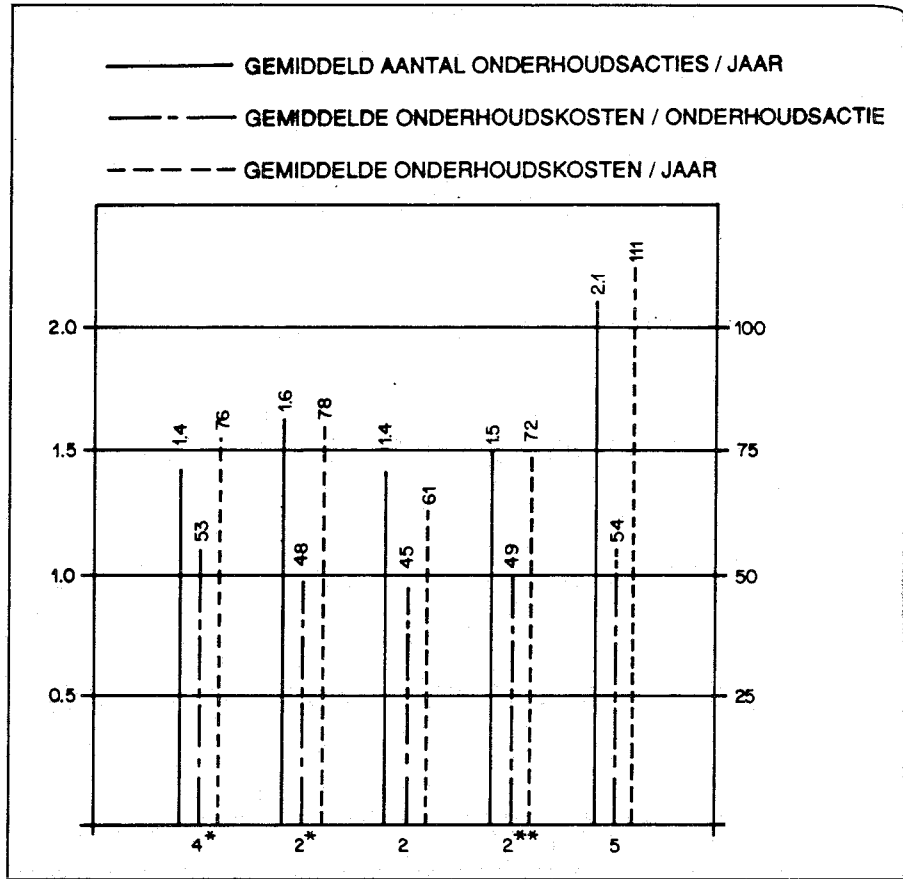


Fig. 7. Onderhoudsacties en -kosten per installatie als functie van het type C.V.-ketel

stond 66% uit loon-, 23% uit materiaal- en 11% uit voorrijdkosten, waarmee de loonkosten dus duidelijk dominant blijken te zijn. Voor de correctieve onderhoudskosten gold, althans voor een beperkt aantal activiteiten (figuur 6), een totaal ander beeld, namelijk 42% loonkosten, 47% materiaalkosten en 11% voorrijdkosten.

Teneinde op objectniveau de invloed van de verschillende soorten C.V.-ketels op de onderhoudskosten aan te geven, kan men de C.V.-ketels in klassen of typen indelen (figuur 4 en 5). In de in figuur 7 getekende grafiek zijn horizontaal de verschillende keteltypen opgenomen; verticaal zijn achtereenvolgens als functie van het type C.V.-ketel het gemiddeld aantal onderhoudsacties per jaar en de gemiddelde onderhoudskosten per onderhoudsactie en per jaar opgenomen. Uit de grafiek blijkt dat met name het keteltype 5 er in negatieve zin uitspringt.

Op componentniveau gaan we voor de verdeling van de onderhoudskosten uit van alle binnen onze systeemgrens vallende faaleffecten (onderhoudscodes a t/m l). Deze faaleffecten, en daarmee dus ook de bijbehorende componenten zijn in de in figuur 6 opgenomen tabel beschreven.

Figuur 8 geeft in grafiekvorm een overzicht van het gemiddeld aantal correctieve onderhoudsacties per jaar en de gemiddelde correctieve onderhoudskosten per onderhoudsactie en per jaar. Hieruit blijkt duidelijk dat met name de

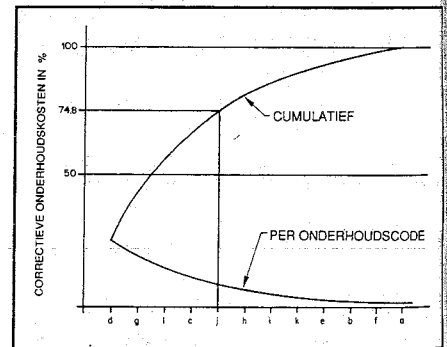


Fig. 9. Procentuele bijdrage van de onderhoudscodes aan de totale correctieve onderhoudskosten

onderhoudscode g, een defect thermokoppel, het meest frequent voorkomt, terwijl de hoogste onderhoudskosten per onderhoudsactie bij de code d, te weten de circulatiepomp, optreden. Wanneer men de correctieve onderhoudskosten/jaar van de verschillende onderhoudscodes met elkaar wil vergelijken, kan men de frequentie en de onderhoudskosten per onderhoudsactie vermenigvuldigen. Het resultaat hiervan is eveneens in de grafiek van figuur 8 opgenomen.

Teneinde de invloed van de verschillende onderhoudscodes op de totale correctieve onderhoudskosten duidelijk te maken, is dit resultaat tevens procentsgewijs per onderhoudscode en cumulatief in beeld gebracht (figuur 9). Duidelijk blijkt dat ook hier de bekende "80/20" regel van toepassing is, volgens welke 80% van alle "ellende" van

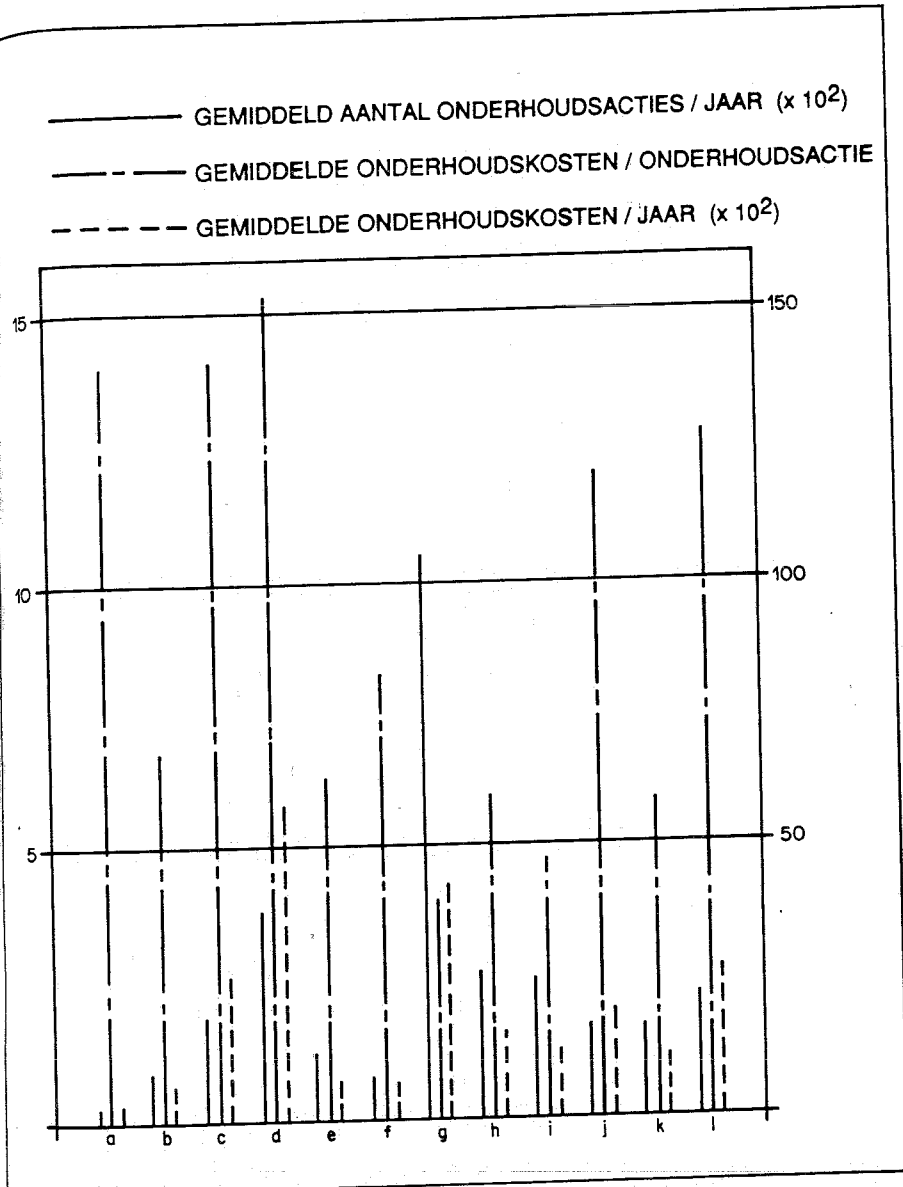


Fig. 8. Gemiddeld aantal acties en onderhoudskosten per onderhoudscode

een object wordt veroorzaakt door 20% van de componenten van dat object. Vertaald naar dit onderzoek betekent dit dat slechts een vijftal onderhoudscodes verantwoordelijk zijn voor ca. 75% van de totale correctieve onderhoudskosten van een C.V.-ketel.

**Conclusies**

We hebben al gesteld, dat vooral in verband met de beperktheid van het onderzoek, de nodige voorzichtigheid moet worden betracht bij het trekken van conclusies. De volgende opmerkingen of aanbevelingen dienen dan ook in dit opzicht te worden gezien.

Ten aanzien van het onderhoud in het algemeen kan men stellen dat het grootste deel van de kosten (66%) voor rekening van het arbeidsloon komen, terwijl de materiaal- en reiskosten ondergeschikt zijn. Bij de correctieve onderhoudskosten verandert dit beeld: 42% loonkosten en 47% materiaalkosten, waaruit volgt, dat met name bij het preventieve onderhoud de loonkosten dominant zijn. Men kan zich afvragen of

deze bijvoorbeeld door een lagere intensiteit (lagere frequentie) en/of een aangepast servicepakket zou kunnen worden verlaagd.

Bij het correctieve onderhoud zou verlaging van de kosten met name in de kostprijs van de onderdelen, eventueel hergebruik hiervan en/of effectievere reparatietechnieken kunnen worden gezocht.

Wat de onderhoudscode betreft dienen de desbetreffende componenten nader beschouwd te worden. Zo zou bijvoorbeeld van het thermokoppel de bedrijfszekerheid verhoogd en van de circulatiepomp, de verbindingen en het gasblok de onderhoudbaarheid verbeterd moeten worden.

Opvallend is dat er een beperkt aantal componenten qua kosten hoog scoren die mogelijk een gezamenlijke storingsoorzaak kunnen hebben. Bedoeld wordt: Pomp, expansievat en wat terzijde de overstortklep.

Stel dat er in de betrokken installaties nog een bepaalde hoeveelheid lucht zit, die steeds bij het opwarmen en afkoelen een wisselend volume veroorzaakt, dan

is het plausibel te maken dat het membraam van het expansievat vele malen zwaarder wordt belast dan onder de conditie zonder lucht. Gevolg: verkorting van de levensduur en vroegtijdige vervanging.

Een logisch gevolg van een niet functionerend expansievat is het uiteindelijk niet goed meer afsluiten van de overstortklep, de klep wordt oneigenlijk gebruikt en blijft na kortere of langere tijd lekken en dient te worden vervangen.

De pomp is ook erg gevoelig voor de aanwezigheid van lucht en zal bij luchtophopingen bij de lageringen snel slijtageverschijnselen gaan vertonen en na een bepaalde tijd zijn functie verliezen. Het hier gestelde hypothetische geval is zeker niet geheel onrealistisch, maar wordt ook bij deze studie niet absoluut bewezen.

Toch kan men zich afvragen: "Is het investeren in een goede ontlufter kostenbesparend?"

**Slotopmerking**

De installaties die bekeken zijn bevatten in hoofdzaak ketels van het conventionele type, die vóór 1983 zijn geplaatst.

Het hier geschetste beeld heeft dus ook een duidelijk beperkt karakter en geeft zeker geen totaal overzicht van het onderhoud aan C.V.-installaties.

Het zou aanbeveling verdienen om vooral het terrein van de H.R.-ketels en de gesloten toestellen op korte termijn eveneens aan een dergelijke analyse te onderwerpen. Strikte voorwaarden hiervoor zijn een voldoende groot marktaandeel en beschikbaarheid van relevante onderhoudskostengegevens. Bij de dan verkregen inzichten is het vanuit de invalshoek van de ontwerper niet alleen noodzakelijk, maar wellicht ook mogelijk om te ontwerpen op basis van minimale levensduurkosten.