

*S A Tydskrif vir Bedryfsingenieurswese, Vol. 1, No. 1, June 1987, pp. 23-34*

DIE GEBRUIK VAN FALINGSTEMPO AS 'N BESLUITNEMINGSHULPMIDDEL  
VIR INSTANDHOUDING

EF STRAUSS  
BESTURDER,  
PROJEKBEHEER  
Y S K O R

OPSOMMING

Falingstempomodelle (en veral die badmodel) word dikwels gebruik vir die analisering van oorsake van falings om regstellende aksie te neem.

Daar is egter sekere slaggate in die gebruik van hierdie metode wat die besluitnemer mislei en foutiewe besluite (aksies) tot gevolg het.

Hierdie swakhede word ontleed en 'n eenvoudige alternatief (nie noodwendig die beste alternatief nie) word in die plek daarvan voorgedou.

1 INLEIDING

Toestandspeling (Condition Monitoring) is tans in 'n gevorderde stadium van ontwikkeling en sekerlik ook die beste alternatief wat tans beskikbaar is vir instandhoudingsbeplanning.

Dit is egter nie vir alle ondernemings moontlik om van toestandspeling gebruik te maak nie as gevolg van die omvang van die onderneming, ekonomie van skaal en die vlak van ontwikkeling van toestandspeling.

Meeste ondernemings gebruik nog metodes wat uit die Betroubaarheidskunde ontleen word en daar word grootliks van die badmodel gebruik gemaak vir die modellering van falingstempo.

Dit is egter belangrik om sekere leemtes van hierdie metode te ondersoek ten einde voorsorg te kan tref.

2 DIE BADMODEL

Die badmodel (bath tub) word beskryf in Shooman [1] en word algemeen gebruik vir instandhoudingsmodellering.

'n Analise van meer as agthonderd komponente by 'n groot onderneming kon nie een vind wat doelmatig met die badkromme gemodelleer kon word nie.

Wanneer 'n faling in 'n gegewe kategorie voorgekom het, het dit gewoonlik gedomineer sodat die ander falingskategorieë nie voorgekom het nie.

Dit bring mee dat die badmodel meer noukerig ondersoek moet word.

Die badmodel word soos volg grafies voorgestel:

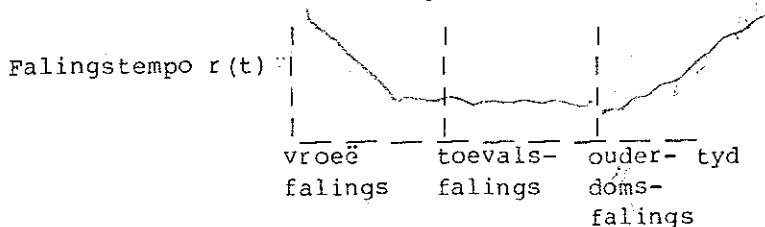


Fig 1: badmodel

Falings kom met 'n dalende falingstempo (vroee falings) voor waarna die falingstempo vir 'n periode konstant bly (toevalsfalings) totdat dit 'n toestand van veroudering bereik en die falingstempo begin styg (ouderdomsfalings).

Uit die eksperiment kon 'n maksimum van twee van die drie tipes falings by 'n komponent gevind word en selfs dit is selde gevind. Oorheersend was daar slegs een falingstipe.

Verder het gevolgtrekkings wat gemaak is deur die badmodel te gebruik, nie in die praktyk gerealiseer nie.

Hierdie verskynsel het die vermoede laat ontstaan dat daar 'n inherente fout in die badmodel is.

Nadere ondersoek het egter getoon dat die wiskundige afleidings van die badmodel suiwer is, maar toepassing daarvan in die praktyk leen dit tot foutiewe aanwending wat nie maklik identifiseerbaar is nie.

Hierdie slaggate wat die toepassing van die badmodel feitlik onmoontlik maak, word vervolgens bespreek.

Tydens monsterneming moet verseker word dat die steekproef uit 'n homogene populasie kom. In die praktyk is dit egter nie altyd so voor-die-hand liggend nie, soos die volgende voorbeeld illustreer:

Beskou 'n vervoerband wat byvoorbeeld steenkool by 'n kragstasie of 'n myn vervoer. Die vervoerband vorm 'n geslote lus wat oor rollers beweeg en word aangedryf deur 'n elektriese motor soos in Figuur 2 geïllustreer.

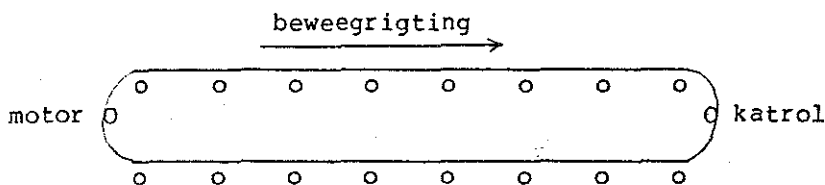


Fig 2: Konsepsionele voorstelling van 'n vervoerband

Die steenkool word by die motor op die band gelaai en by die katrol gestort. Omdat die steenkool nat is tydens die vervoer kleef die steenkooldeeltjies aan die vervoerband. Die boonste rollers is altyd in kontak met die binnegedeelte van die band wat altyd skoon is, terwyl die onderste rollers altyd in kontak is met die buitestegedeelte en derhalwe die vuilgedeelte van die band.

By die bepaling van die leeftyd van die rollers mag die boonste en onderste rollers weens omgewingsverskille nie saam gegroepeer word nie vir doeleindes van ontleding.

Indien die onderste rollers egter as 'n groep beskou word, wat in dieselfde sisteem werk en van dieselfde fabrikaat is, word die analis maklik mislei as daar aanvaar word dat dit 'n homogene populasie is.

'n Monster wat by 'n steenkoolmyn geneem is, het egter 'n bimodale verdeling getoon.

Die rede hiervoor is dat die deeltjies wat aan die band kleef deur die rollers naaste aan die ontlaaipunt (katrol) los gemaak word en afval. Die onderste rollers naaste aan die motor hanteer dus 'n relatief skoon band terwyl die rollers naaste aan die katrol 'n relatief vuil band hanteer en laasgenoemde dus vinnig slyt. Vandaar die bimodale verdeling.

'n Verdere aspek wat aan die hand van hierdie vervoerbandvoorbeeld beskryf moet word, is dat deur van die falingstempo gebruik te maak wat die bekende badmodel voorskryf soos dit algemeen in die instandhoudingsmilieu tans gebruik word, in hierdie geval misleitend is en veroorsaak dit die besluitnemer 'n verkeerde gevolgtrekking maak.

Beskou die laaste twee periodes van die falingstempo d.i. waar  $r(t)$  eers konstant is en dan daarna styg. (Kyk Figuur 1)

Dit kan bewys word dat die konstante falingstempo 'n eksponensiële verdeling van die vorm  $\lambda e^{-\lambda t}$  as onderliggende digtheidsfunksie en 'n normaalverdeling as onderliggende digtheidsfunksie vir die ouderdomsperiode het.

Dit gebeur dikwels dat leeftydverdelings van onderdele bepaal word wat op verskillende posisies in die toerusting gebruik word waar sommige blootgestel word aan ongunstige bedryfstoestande en toevalsfalings tot gevolg het terwyl ander nie 'n soortgelyke blootstelling het nie en leef tot in die ouderdomsfalingsperiode. Die vervoerbandvoorbeeld van Fig 2 is ook 'n geval wat van toepassing is.

'n Saamgestelde verdeling wat vanaf die twee stalle data verkry word het die vorm:

$$f(t) = \alpha \lambda e^{-\lambda t} + (1 - \alpha) g(t)$$

met  $\alpha$  die verhouding van onderdele wat op toevalswyse faal, en  $(1 - \alpha)$ , die res wat volgens die digtheidsfunksie  $g(t)$  faal gedurende die ouderdomsfalingsperiode.

Die falings tempo wat vanaf hierdie saamgestelde verdeling bereken word, sal eers daal, 'n minimum bereik en daarna styg.

Vanaf die badmodel sal die gevolgtrekking dus gemaak word dat die onderdele 'n vroeë falingsperiode beleef wat dan gevolg word deur 'n ouderdomsperiode. Hierdie gevolgtrekking is foutief omdat die feit dat daar met twee populasies gewerk word, verberg word.

Om verder aan te toon hoe misleidend dit kan wees om 'n enkele model soos die badmodel aan die instandhoudingspraktisyn voor te hou, word 'n verdere voorbeeld beskou.

Die voorafgaande voorbeeld het die geval behandel waar onderdele wat in posisie A gebruik was aan toevalsfalings onderworpe was, en die onderdele in posisie B ander toestande ervaar het wat onderdele toegelaat het om te leef tot in die ouderdomsfalingsperiode.

Beskou die geval waar 'n onderdeel in 'n spesifieke posisie soms 'n ongunstige bedryfstoeestand beleef wat 'n falings tot gevolg het, maar die ongunstige bedryfstoeestand nie noodwendig herhaal nadat die onderdeel vervang is nie sodat die opvolger leef tot in die ouderdomsfalingsperiode.

Deur die falingstempo,  $r(t)$ , vir die onderdeel te ontleed word onbewustelik met 'n saamgestelde verdeling gewerk en kan foutiewe gevolgtrekkings met die badmodel gemaak word.

Om te toon hoe lastig hierdie geval kan wees, word die digtheidsfunksie vir die toevalsfalings as  $\lambda e^{-\lambda t}$  aanvaar en die res volgens 'n algemene verdeling  $g(t)$ .

Dit is egter nie moontlik om 'n  $\alpha$  te bereken soos vir die vorige geval nie, aangesien daar nie twee posisies naamlik: A en B ter sprake is nie.

Laat  $G(t)$  die kumulatiewe verdeling van  $g(t)$  wees sodat

$$G(t) = \int_0^t g(t) dt$$

Indien  $f(t)$  die verdeling vir die lewe van die onderdeel is ongeag die rede vir faling, is:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} [1 - G(t)] + g(t) e^{-\lambda t}$$

$$\text{Indien } g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ is} \tag{2.1}$$

toon Figuur 3 twee verdelings vir verskillende kombinasies van  $\lambda$ ,  $\mu$  en  $\sigma$  om die stelling te illustreer.

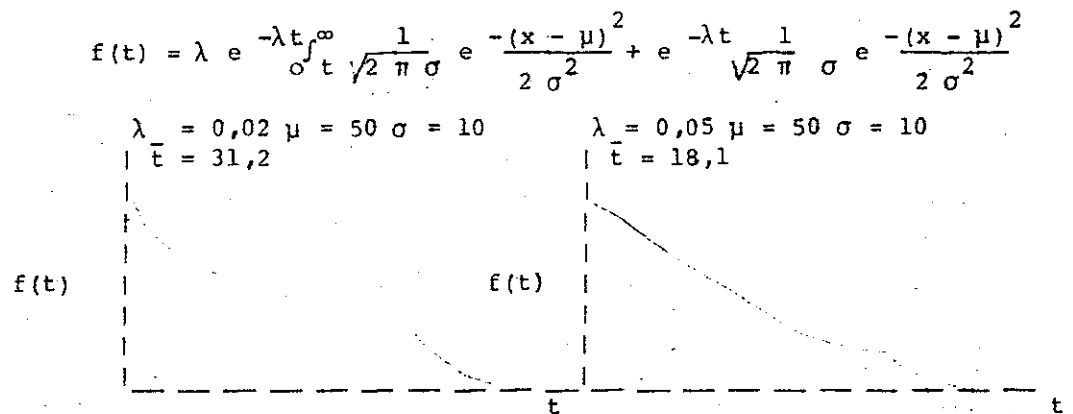


Fig 3: Vergelyking van  $f(t)$  met  $\lambda$  en  $t$  verskillend.

Vervolgens is

$$f(t) dt = \lambda e^{-\lambda t} [1 - G(t)] dt + g(t) e^{-\lambda t} dt$$

$$\text{en } \int_0^{\infty} f(t) dt = -\lambda e^{-\lambda t} [1 - G(t)] \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} g(t) dt$$

$$+ \int_0^{\infty} g(t) e^{-\lambda t} dt$$

$$= 1$$

en is  $f(t)$  dus 'n digtheidsfunksie.

Om die gemiddeld  $\bar{t}$  te bereken, is:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$$= \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} [1 - G(t)] dt + \int_0^{\infty} t g(t) e^{-\lambda t} dt$$

$$= 1/\lambda - (-te^{-\lambda t} - 1/\lambda e^{-\lambda t}) G(t) \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} te^{-\lambda t} g(t) dt + 1/\lambda \int_0^{\infty} te^{-\lambda t} g(t) dt$$

$$+ \int_0^{\infty} t g(t) e^{-\lambda t} dt$$

$$= 1/\lambda - 1/\lambda \int_0^{\infty} te^{-\lambda t} g(t) dt$$

Uit vergelyking (2.1) is:

$$\bar{t} = 1/\lambda - \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2\sigma^2\lambda t - t^2 + 2\mu t - \mu^2}{2\sigma^2}} dt$$

$$= 1/\lambda - \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\infty} e^{-\frac{[t - (\mu - \lambda\sigma^2)]^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{2\sigma^2\lambda\mu + \lambda^2\sigma^4}{2\sigma^2}} dt$$

$$= 1/\lambda - \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\infty} e^{-\frac{[t - (\mu - \lambda\sigma^2)]^2}{2\sigma^2}} e^{\lambda\frac{\sigma^2}{2} - \lambda\mu} dt \quad (2.2)$$

Vergelyking (2.2) is lastig naby die nulpunt maar vir

$\mu - \lambda\sigma^2 > 3\sigma$  kan  $\bar{t}$  geskat word vanaf

$$\bar{t} \sim 1/\lambda \left(1 - e^{-\frac{\lambda^2\sigma^2}{2}} - \lambda\mu\right)$$

Hierdie beperkinge van die badmodel maak dit ongunstig vir toepassing terwyl dit twyfelagtig is of die badmodel engisins in sy volle konsekwensie realiseer soos die eksperiment getoon het.

'n Alternatief vir die badmodel is om die digtheidsverdelings van die komponentleef tyd te gebruik om die besluitnemer te ondersteun deur van sy kundigheid en ervaring te kombineer met die model van die verdelings.

Hierdie benadering word in die volgende paragraaf geadresseer.

### 3 KLASSIFISERING VAN FALINGS

'n Hulpmiddel word vir die instandhoudingspraktisyn voorgestel om die inligting aangaande falings wat by toerusting voorkom, sodanig te klassifiseer, dat besluite wat daarop gebaseer word, dienooreenkomstig klassifiseerbaar is.

Die model wat in vooruitsig gestel word, kan uit die aard van die toepassing nie voorskrywend<sup>1)</sup> wees nie, maar moet eerder insiggewend wees om die besluit ter sake te ondersteun.

Die digtheidsfunksies moet derhalwe geklassifiseer word en die tipe falings wat voorkom moet met 'n digtheidsfunksie geassosieer word.

Falings wat die eksponensiële verdeling as digtheidsfunksie het, word gedefinieër as falings van die eerste soort.

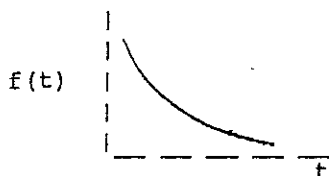


Fig 4: Frekwensieverdeling van falings van die eerste soort

'n Plat, klokvormige verdeling sal die frekwensiefunksie van falings van die tweede soort vorm.

Hier word twee onderverdelings beskou, nl: 'n verdeling by die nulpunt en een weg van die nulpunt.

1) 'n Voorskrywende oplossing is waar die beste besluit berekenbaar is, terwyl 'n insiggewende oplossing slegs persepsie by die besluitnemer bevorder.



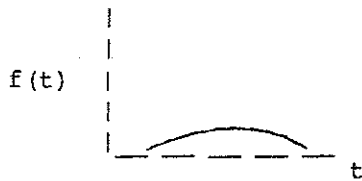


Fig 5: Frekwensieverdeling van falings van die tweede soort

Falings van die derde soort word beskryf deur 'n skerp normaalverdeling wat ook onderverdeel kan word in twee gevalle naamlik na aan en weg van die nulpunt.

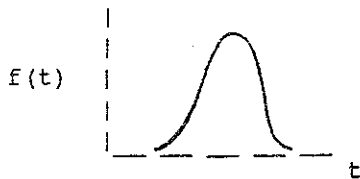


Fig 6: Frekwensieverdeling van falings van die derde soort

Falings wat 'n bimodale frekwensieverdeling het, kom ook voor. Dit geskied indien meer as een oorsaak saam gemonster word.

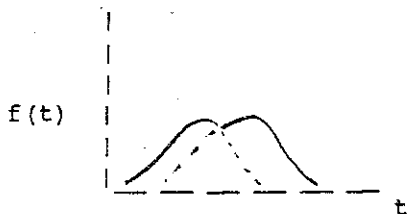


Fig 7: Frekwensieverdeling van falings met 'n saamgestelde oorsaak

Met hierdie drie soorte falings sal al die moontlike uitkomst van die analisering van leeftydfrekwensieverdelings van onderdele gemodelleer word.

Wat egter nog benodig word, is om die nadelige invloede wat falings tot gevolg het, met hierdie drie soorte falings te assosieer.

Hierdie assosiasie word vervolgens gedoen.

4 NADELIGE INVLOEDE WAT FALINGS TOT GEVOLG HET

Falings word o.a. veroorsaak deur ongunstige bedryfstoestande wat van tyd tot tyd voorkom soos byvoorbeeld oorverhitting, oorlaaiing ens.

Hierdie ongunstige bedryfstoestande wat toevallig tot gevolg het, het die eksponensiële verdeling as onderliggende digtheidsfunksie en word gevolglik geassosieer met falings van die eerste soort.

Falings van die tweede en derde soort kom voor as gevolg van slytasie of te wel veroudering.

Die normaalverdeling is die mees algemene verdeling om hierdie falings te modelleer.

Beskou eers falings van die tweede soort.

Alhoewel hierdie verdelings toon dat dit verouderingsfalings is, toon die groot variasie van die verdeling dat sekere ongunstige toestande heers.

Swak kwaliteitsversekering van die leweransier<sup>1)</sup> word met hierdie falings van die tweede soort geassosieer.

Die feit dat die verdeling na aan die nulpunt of verder weg kan wees, sal na falings van die derde soort bespreek word aangesien dit op beide falings van die tweede- en derde soort betrekking het.

Falings van die derde soort (spesifiek die verdeling ver van die nulpunt) is die ideaal waarna die instandhoudingsafdeling streef.

Eerstens toon dit dat die onderdeel 'n normale verouderingstoestand ingaan en dan faal wat die maksimum onderdeelleeftyd gee.

---

1) Die leweransier kan ook die instandhoudingsafdeling se eie werkwinkel wees.

'n Eienskap wat egter ewe belangrik by falings van die derde soort is, is dat dit die enigste geval is waarvoor 'n vooruitskatting gedoen kan word om 'n voorkomende vervanging te doen.

Hierdie afleiding volg triviaal uit die eienskap van falings van die eerste soort en die groot verspreiding by falings van die tweede soort.

Alhoewel falings van die derde soort die ideaal is, lê die verdeling soms na aan die nulpunt soos ook in die geval van falings van die tweede soort moontlik is.

Nadelige toestande wat geassosieer word met hierdie verskynsel (verdeling na aan die nulpunt) kan een of meer van die volgende wees:

- Die onderdeel mag 'n ontwerpswakheid bevat.
- Die toerusting mag verkeerdelik aangewend word soos in omgewings-toestande waarvoor dit nie ontwerp was nie bv stof, nattigheid, ens.
- Die onderdeel kan oor die algemeen 'n prulprodukt wees.

Multimodale verdelings kom voor wanneer twee tipes oorsake vir die falings saam oorsaaklik is.

Met multimodale verdelings word met dieselfde nadelige invloede geassosieer as falings van die tweede- en derde soort.

Die twee (of meer) oorsake moet egter identifiseer word, sodat die gesamentlike verdeling ontbind word tot enkelverdelings wat elk uit 'n homogene populasie gemonster is en dan falings van die tweede- of derde soort verteenwoordig.

As voorbeeld ter illustrasie van laasgenoemde argument word die geval van gietvorms by Yskor aangehaal.

Tydens 'n studie na gietvormlewe by Yskor, het die ondersoek 'n multi-modale verdeling gelewer.

Uit die verdere analise het geblyk dat die ore van die gietvorms 'n swak ontwerp bevat en dus onnodig vroeg faal. Dit lewer dan ook die eerste piek in die verdeling.

Wanneer die werksinkels by Yskor die gietvorm herstel, word dit sodanig gedoen dat die swak ontwerp geelimineer is.

Die gietvorms bestaan dus uit nuwe gietvorms (met die ontwerpfout) en reeds herstellde gietvorms (sonder die ontwerpfout).

Sonder die inligting wat uit die frekwensieverdeling gekry is, aanvaar die praktyk dat dit almal dieselfde gietvorms is, terwyl dit ook onder presies dieselfde toestande aangewend word, dus 'n homogene populasie, (Hierdie is nog 'n voorbeeld waar die toepassing van falingsstempo's van die badmodel misleidend kan wees).

Deur die ontwerpfout met die leweransier uit te klaar, (tot voordeel van beide leweransier en gebruiker), word die piek naaste aan die nulpunt geelimineer sodat net die tweede piek alleen realiseer.

Hierdeur verhoog die gemiddeld dus die voordeel van die langer lewe is direk berekenbaar.

Deur die interpretering van die leeftydverdelings kan die instandhoudingspraktyk deur sy eie kundigheid en ervaring reeds groot bydraes maak tot beter en meer ekonomiese instandhouding.

[1] Shooman 1968; "Probalistic Reliability"