Colibri Advies
www.colibri-advies.nl

Praktijkgericht rekenen aan de beschikbaarheid van objecten en systemen

ir. Martine van den Boomen MBA

Colibri Advies

1-4-2015

Praktijkgericht rekenen aan de beschikbaarheid van objecten en systemen

Auteur: Martine van den Boomen - Colibri Advies BV.

Reacties zijn welkom op: vandenboomen@colibri-advies.nl

Voorwoord

Vaak wordt de vraag gesteld hoe de beschikbaarheid op objectniveau doorwerkt naar systeemniveau en omgekeerd. Voor complexe systemen heb je software nodig en een reliability engineer. Maar voor eenvoudige systemen is het vraagstuk heel aardig met handberekeningen en Excel op te lossen. In dit rapport behandelen we stap voor stap wat je hiervoor moet weten en doen.

Wel een belangrijke opmerking vooraf: reliabiliy engineering is complexe materie die we in onderstaande tekst vereenvoudigen tot iets waarvan je al snel denkt: "is dit alles?". Nee dus. Onderstaande is slechts een eenvoudige aanpak en een grove modellering van de werkelijkheid maar wel iets waar je als assetmanager, ontwerper, onderhouder en beheerder mee uit de voeten kan. Voor het echte werk heb je experts nodig, wiskunde en faalkansverdelingen.

Leeswijzer
Eerst gaan we in op de beschikbaarheid van een afzonderlijke object (component, installatie). Daarna kijken we naar de systeembeschikbaarheid. Systemen zijn een samenhangend geheel van individuele componenten, die serieel dan wel parallel geschakeld zijn. AWZI's en drinkwaterzuiveringsinstallatie zijn systemen, evenals watersystemen en distributienetwerken.

Inhoud

1 Beschikbaarheid van objecten

In dit rapport gaan we uit van objecten of installaties die repareerbaar of vervangbaar zijn. Dit is de bulk waar een onderhoudsmanager, asset engineer of assetmanager in de watersector mee te maken hebben. De betrouwbaarheid (*reliability*) van repareerbare objecten wordt uitgedrukt in de inherente beschikbaarheid (*availability*). Inherent wil zeggen dat we hier alleen kijken naar de niet-beschikbaarheid als gevolg van falen. Voor de totale beschikbaarheid of niet-beschikbaarheid van een object of systeem moet ook stilstand als gevolg van het preventieve onderhoud meegenomen worden. Een tweede beperking is dat we kijken naar de zogenoemde *steady state* beschikbaarheid en geen relatie leggen met verandering van faalgedrag in de tijd. Dat zou het allemaal veel complexer maken.

1.1 Beschikbaarheid (A) en niet-beschikbaarheid (NA) van een object

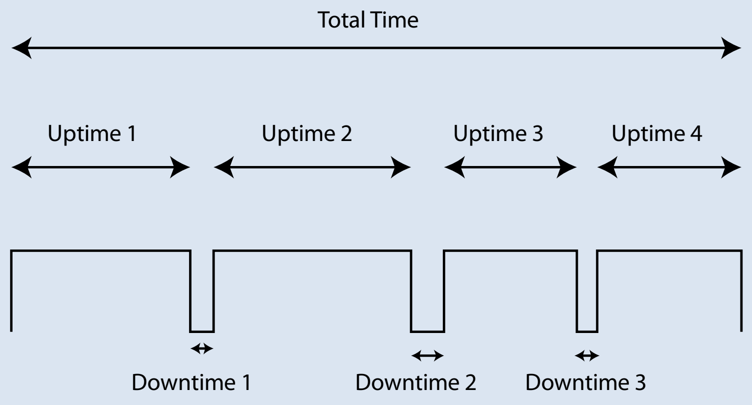
De basis:

$$A = \frac{uptime}{total\ time} \tag{1}$$

$$NA = \frac{downtime}{total\ time} \tag{2}$$

$$total\ time = uptime + downtime \tag{3}$$

Symbool	Eenheid	Beschrijving
A	aandeel/tijdseenheid	de beschikbaarheid: het aandeel van de tijd dat een component zijn werk doet (operationeel is).
NA	aandeel/tijdseenheid	niet-beschikbaarheid: het aandeel van de tijd dat een component buiten bedrijf is als gevolg van falen
uptime	tijdseenheid	de tijd dat een component aan het werk is of operationeel is
downtime	tijdseenheid	de tijd dat een component buiten bedrijf is
total time	tijdseenheid	de uptime + de downtime



Figuur 1 Uptime, downtime en total time

1.2 Mean Time Between Failure (MTBF) en storingsfrequentie (λ)

Nu wordt het even iets lastiger omdat de vakliteratuur net iets andere definities hanteert dan wij in de praktijk vaak doen.

$$MTBF = mean\ uptime = \frac{werkzame\ tijd}{aantal\ storingen} \quad (4)$$

(en niet zoals wij gewend zijn: totale tijd/aantal storingen; de afwijking die hierdoor ontstaat is echter heel klein)

De werkzame tijd is de **total uptime**. In figuur 1 is de MTBF gelijk aan 1/4 x (uptime 1 + uptime 2 + uptime 3 + uptime 4), dus het gemiddelde van de operationele tijd tussen falen.

De storingsfrequentie λ is (in de vakliteratuur) gelijk aan het aantal storingen in de **werkzame of operationele tijd** van het object.

$$\lambda = \frac{aantal\ storingen}{werkzame\ tijd} = \frac{aantal\ storingen}{uptime} \quad (5)$$

In figuur 1 is de storingsfrequentie gelijk aan 4/(uptime 1 + uptime 2 + uptime 3 + uptime 4).

Combineren van beide formules geeft:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (6)$$

Met bovenstaande definities in het achterhoofd wordt de beschikbaarheid (*availability*) als volgt:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + mean\ downtime} \quad (7)$$

En de niet-beschikbaarheid (*non-availability*) wordt:

$$NA = \frac{mean\ downtime}{MTBF + mean\ downtime} = 1 - A \quad (8)$$

1.3 Mean downtime, merkbaar falen en verborgen falen

Mean downtime: de gemiddelde tijd dat een installatie door falen buiten gebruik is. Dus de gemiddelde tijd van het moment van falen tot het moment van inbedrijfsname. We moeten hier een onderscheid maken in merkbaar falen en verborgen falen.

Merkbaar falen
Wanneer falen direct wordt opgemerkt en direct met reparatie wordt begonnen is de gemiddelde downtime gelijk aan de gemiddelde reparatietijd: Mean Time To Repair (MTTR)

$$downtime\ bij\ merkbaar\ \ falen = gemiddelde\ reparatietijd = MTTR \qquad (9$$

$$mean\ down\ time = MTTR = \frac{total\ down\ time}{aantal\ storingen} \qquad (10)$$

Verborgen falen of niet-merkbaar falen
Dit is falen van een object dat niet direct wordt opgemerkt. Bijvoorbeeld rookmelders of alarminstallaties. Dit soort objecten wordt periodiek getest om te kijken of er sprake is van verborgen falen. Op het moment dat falen door testen wordt opgemerkt kan het zijn dat het object direct na de voorgaande test is gaan falen, of vlak voor de huidige test. Gemiddeld genomen gaat men er vanuit dat het object dan de helft van de tijd van het testinterval in storing heeft gestaan. Als een storing gevonden wordt, wordt het object direct gerepareerd (of vervangen). De downtime per storing is dan gemiddeld genomen gelijk aan 1/2 x testinterval + de reparatietijd.

$$downtime\ bij\ verborgen\ \ falen = \tfrac{1}{2} \cdot testinverval + reparatietijd = \tfrac{1}{2} \cdot T + MTTR \qquad (11)$$

1.4 Twee rekenvoorbeelden voor de beschikbaarheid een object

Voorbeeld merkbaar falen.

Een pomp is 10 jaar in bedrijf en faalt ongeveer 1 x per 2 jaar. Reparatie duurt gemiddeld genomen 24 uur per faalgebeurtenis. Wat is de beschikbaarheid van deze pomp?

- Totale tijd = 10 jaar = 10 x 365 x 24 = 87.600 uur.
- De pomp faalt 10/2 = 5 keer in deze 10 jaar.
- Totale downtime = 5 x 24 = 120 uur in 10 jaar.
- Totale uptime = 87.600 - 120 = 87.480 uur.

- MTBF = totale uptime / aantal storingen = 87.480 / 5 = 17.496 uur.
- λ = aantal storingen/totale uptime = 1/MTBF = 1/17.496 = 5,72 x 10^{-5}
- Mean downtime (is hier gelijk aan MTTR) = 120 / 5 = 24 uur

$$A = \frac{uptime}{total\ time} = \frac{87.480}{87.600} = \frac{MTBF}{MTBF + mean\ downtime} = \frac{17.496}{(17.496 + 24)} = 0{,}9986$$

De procentuele (inherente) beschikbaarheid van deze pomp is 99,86 %

Voorbeeld verborgen falen

30 nagenoeg identieke drukmelders worden 1 x per week getest. In de afgelopen 5 jaar zijn er bij testen 8 defecte drukmelders gevonden. Er wordt dan direct met reparatie aangevangen. Reparatie van een drukmelder duurt gemiddeld 1 uur. Wat is de beschikbaarheid van de drukmelders? Bereken ook de verschillende parameters (MTBF, λ, mean uptime, mean downtime, mean total time).

De totale service periode van de 30 drukmelders is 5 x 30 = 150 jaar = 150 x 365 x 24 = 1.314.000 uur. Er zijn 8 defecte drukmelders gevonden bij een testinterval van 1 week (1 week = 168 uur). Reparatie duurt gemiddeld genomen 1 uur. Downtime van 1 kapotte drukmelder is 1/2 x 168 als gevolg van testen en 1 uur als gevolg van reparatie, samen is dit 85 uur per defecte drukmelder.

$$Downtime\ per\ defecte\ drukmelder = \tfrac{1}{2} \cdot testinverval + reparatietijd = \tfrac{1}{2} \cdot 168 + 1 = 85\ uur$$

De totale downtime van 8 drukmelders in deze 150 jaar is 8 x (1/2 x 168 + 1) = 680 uur (is gelijk aan 8 x 85 uur).

- Totale tijd = 150 jaar = 150 x 365 x 24 = 150 x 8760 = 1.314.000 uur.
- Totale downtime = 680 uur.
- Totale uptime = 1.314.000 - 680 = 1.313.320 uur.

- MTBF = mean uptime = total uptime / aantal storingen = 1.313.320/8 = 164.165
- λ = aantal storingen/totale uptime = 1/MTBF = 1/164.165 = 6,09 x 10^{-6}
- Mean down time = 680 uur / 8 = 85 uur.

$$A = \frac{uptime}{total\ time} = \frac{1.313.320}{1.314.000} = \frac{MTBF}{MTBF + mean\ downtime} = \frac{164.165}{(164.165 + 85)} = 0{,}9995$$

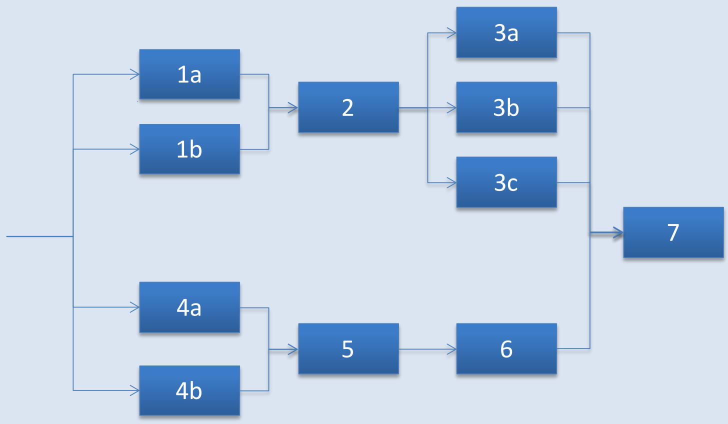
In procenten is de gemiddelde beschikbaarheid van een drukmelder 99.95%.

Wat kun je hiermee in de praktijk?

- De voorbeelden laten zien wat je moet meten en registreren om de feitelijke beschikbaarheid te kunnen bepalen (namelijk: aantal storingen, downtime, reparatietijden en testintervallen).
- Het tweede voorbeeld laat zien hoe je bij gebrek aan data over één component, data van soortgelijke componenten kunt gebruiken om toch tot zinnige MTBF's te komen.
- Het tweede voorbeeld legt een verband tussen het inspectie-interval en de beschikbaarheid. Wanneer je een hogere of lagere beschikbaarheid wenst, kun je uitrekenen wat je inspectie-interval moet zijn. Idem: als je meer of minder gaat inspecteren kun je uitrekenen wat dit betekent voor de beschikbaarheid.

2 Systeembeschikbaarheid

In de voorgaande paragrafen hebben we laten zien hoe je de inherente beschikbaarheid en niet-beschikbaarheid van een object kunt bepalen. Nu gaan we naar het systeem kijken. Een systeem bestaat uit meerdere objecten. Een systeem ziet er bijvoorbeeld uit zoals in figuur 2.



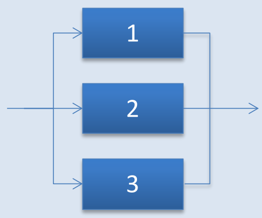
Figuur 2 Opbouw van een systeem dat bestaat uit verschillende objecten

2.1 Beschikbaarheid van serieel en parallel geschakelde objecten

In de basis zijn er twee mogelijkheden voor de opbouw van systemen:

- serieel geschakelde objecten (figuur 3)
- parallel geschakelde objecten (figuur 4)

Figuur 3 Serieel geschakelde objecten



Figuur 4 Parallel geschakelde objecten

We gaan er van uit dat alle objecten in bedrijf zijn. Een systeem van serieel geschakelde objecten faalt als één van de objecten faalt. Een systeem van parallel geschakelde objecten faalt als alle objecten tegelijk falen. Dan zijn de formules voor de steady state availability [lit 1, 2, 3, 4, 5, 7]:

$$serieel: A_s = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \ldots \quad (12)$$

$$parallel: A_s = 1 - (1 - A_1)(1 - A_2)(1 - A_3)\ldots \quad (13)$$

Met A_s = systeembeschikbaarheid en A_1, A_2, A_3 de beschikbaarheid van afzonderlijke componenten.

2.2 Doorrekenen van de systeembeschikbaarheid

De systeembeschikbaarheid van figuur 2 is in tabel 1 doorgerekend. Figuur 2 is een behoorlijk redundant systeem. MTBF, λ, hersteltijden komen uit het onderhoudbeheersysteem (OBS) of uit standaardlijsten (leveranciers, NEN-normen). Wat je moet weten is de gemiddelde downtime (of uptime) en het aantal storingen van ieder object om deze berekening te kunnen maken.

Tabel 1: doorrekenen van de beschikbaarheid van een systeem

	Deze data komt uit het OBS of uit standaard tabellen			*Deze data komt uit het OBS*	A_component = MTBF/(MTBF+hersteltijd) A_serieel = A1xA2… A_parallel = 1 - (1-A1)(1-A2)…				
	MTBF	**MTBF**	**λ**	**Hersteltijd**	**Beschikbaarheid**				
	[jaar]	**[uur]**	**[1/h]**	**[h]**	**componenten**	**subsystemen**			**systeem**
1a	0,17	1.460	6,85E-04	24	0,98382749	0,99994114	0,99857312	0,99999501	0,99985805
1b	0,25	2.190	4,57E-04	8	0,99636033				
2	2,00	17.520	5,71E-05	24	0,99863201	0,99863201			
3a	0,08	730	1,37E-03	4	0,99455041	0,99999989			
3b	0,17	1.460	6,85E-04	8	0,99455041				
3c	0,25	2.190	4,57E-04	8	0,99636033				
4a	1,00	8.760	1,14E-04	32	0,99636033	0,99999668	0,99650607		
4b	0,50	4.380	2,28E-04	4	0,99908759				
5	2,00	17.520	5,71E-05	48	0,99726776	0,99726776			
6	3,00	26.280	3,81E-05	20	0,99923954	0,99923954			
7	5,00	43.800	2,28E-05	6	0,99986303	0,99986303	0,99986303	0,99986303	

Toelichting

De beschikbaarheid van de afzonderlijke componenten is bepaald volgens formule 6:

- $A_{component}$ = MTBF/(MTBF + mean downtime)

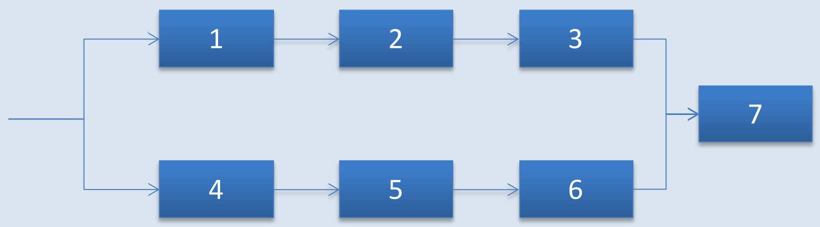
Daarna zijn component 1a en 1b samengenomen. Zij vormen een parallel subsysteem waarvan de beschikbaarheid bepaald wordt met formule 13:

- beschikbaarheid subsysteem 1 = 1- $(1-A_{1a})(1-A_{1b})$

Het zelfde hebben we gedaan voor 3a, 3b en 3c en 4a, 4b.

- Beschikbaarheid subsysteem 3 = 1 - $(1-A_{3a})(1-A_{3b})(1-A_{3c})$
- Beschikbaarheid subsysteem 4 = 1 - $(1-A_{4a})(1-A_{4b})$

Het systeem is hiermee vereenvoudigd tot:

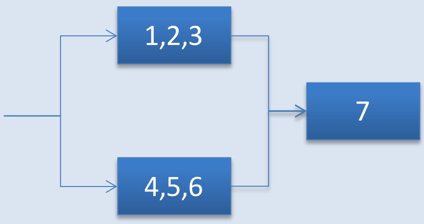


Figuur 5 Eerste reductie van het systeem

We nemen nu de serie 1, 2 en 3 samen en berekenen de beschikbaarheid met formule 12 (serieel). Dit doen we ook voor 4, 5, 6 volgens:

- beschikbaarheid subsysteem 1,2,3 = $A_1 \times A_2 \times A_3$
- beschikbaarheid subsysteem 4,5,6 = $A_4 \times A_5 \times A_6$

Het systeem bestaan nu nog maar uit drie subsystemen: (1,2,3), (4,5,6) en 7.



Figuur 6 Tweede reductie van het systeem

We nemen opnieuw (1,2,3) en (4,5,6) samen volgens de parallelle rekenregel:

- beschikbaarheid subsysteem 1,2,3,4,5,6 = $1 - (1 - A_{123})(1 - A_{456})$

Nu hebben we nog twee serieel geschakelde subsystemen over.

Figuur 7 Derde reductie van het systeem

De beschikbaarheid van het totale systeem komt hiermee op:

- A systeem = $A_{1,2,3,4,5,6} \times A_7$

Wat kun je hiermee in de praktijk?
Je kunt twee kanten op rekenen: bottom-up of top down. Het voorbeeld is bottom-up maar je zou ook kunnen beginnen bij een gewenste systeembeschikbaarheid en vervolgens de benodigde beschikbaarheden toewijzen aan subsystemen en componenten. Dit is wel lastiger omdat je hierbij veel vrijheidsgraden hebt en keuzes moet maken. Uiteindelijk zul je toch ook kijken wat realistische data zijn voor componenten.

Wat kun je er verder mee? Stel dat je uitkomt op een systeembeschikbaarheid die te laag is. Door te spelen met reparatietijden, faalfrequenties of extra parallelle schakelingen (extra redundancy) kun je op de beschikbaarheid uitkomen die je wenst. Zo ook: stel dat je uitkomt op een systeembeschikbaarheid die wel heel erg hoog is. Dan kun je kijken wat het effect is van het uitfaseren van bepaalde installaties op de systeembeschikbaarheid. Daar kun je ook weer kosten aan hangen.

2.3 M out of N redundancy

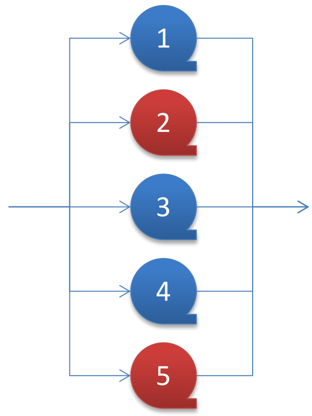
Tot dus ver hebben we gekeken naar seriële en parallelle systemen. Voor de parallelle systemen hebben we gezegd dat het systeem het doet als tenminste één component het nog doet. Echter, een situatie die in de praktijk veel voorkomt is een aantal (=N) parallel geschakelde objecten, bijvoorbeeld pompen, waarvan niet één maar tenminste M pompen het moeten doen wil het systeem zijn functie nog kunnen vervullen. Dit wordt de M out of N redundancy genoemd. Zie figuur 8. De formule hiervoor is [lit 7]:

$$A_s = \sum_{k=m}^{n} \frac{n!}{k!(n-k)!} (A_c)^k (1 - A_c)^{(n-k)} \qquad (14)$$

Het uitwerken van deze formule vraagt wiskundige kennis. Voor niet-al te veel componenten is dit de uitwerking nog wel te doen maar je hebt al snel software nodig.

Het vraagstuk van figuur 8 is makkelijker op te lossen door de combinaties van systeemfalen (niet-beschikbaarheid) uit te schrijven en door te rekenen. Dit is in feite wat formule 14 gecomprimeerd aangeeft.

Als we kijken naar Figuur 8 dan zien we dat tenminste drie pompen moeten functioneren om het systeem beschikbaar te laten zijn. Twee pompen mogen falen zonder dat dit consequenties heeft voor het systeemfalen. Het systeem faalt als drie of meer pompen falen. Alle mogelijke faalcombinaties zijn in onderstaande tabel uitschreven.



Figuur 8 Voorbeeld van 5 parallel geschakelde pompen waarvan tenminste 3 het moeten doen wil het systeem functioneren

Tabel 2: Doorrekenen van M out of N redundancy

Invoer				
A_1	=	0,95		
A_2	=	0,95		
A_3	=	0,95		
A_4	=	0,95		
A_5	=	0,95		
NA_1	=	$1-A_1$	=	0,05
NA_2	=	$1-A_2$	=	0,05
NA_3	=	$1-A_3$	=	0,05
NA_4	=	$1-A_4$	=	0,05
NA_5	=	$1-A_5$	=	0,05

Systeem faalt als:											
Kans dat drie parallel geschakelde pompen het niet doen en twee wel											
NA_1	NA_2	NA_3	A_4	A_5	0,05	0,05	0,05	0,95	0,95	0,00011281	= PRODUCT
NA_1	NA_2	A_3	NA_4	A_5	0,05	0,05	0,95	0,05	0,95	0,00011281	
NA_1	NA_2	A_3	A_4	NA_5	0,05	0,05	0,95	0,95	0,05	0,00011281	
NA_1	A_2	NA_3	NA_4	A_5	0,05	0,95	0,05	0,05	0,95	0,00011281	
NA_1	A_2	NA_3	A_4	NA_5	0,05	0,95	0,05	0,95	0,05	0,00011281	
A_1	NA_2	NA_3	NA_4	A_5	0,95	0,05	0,05	0,05	0,95	0,00011281	
A_1	NA_2	NA_3	A_4	NA_5	0,95	0,05	0,05	0,95	0,05	0,00011281	
A_1	NA_2	A_3	NA_4	NA_5	0,95	0,05	0,95	0,05	0,05	0,00011281	
A_1	A_2	NA_3	NA_4	NA_5	0,95	0,95	0,05	0,05	0,05	0,00011281	
Kans dat vier parallel geschakelde pompen het niet doen en één wel											
NA_1	NA_2	NA_3	NA_4	A_5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,95	5,9375E-06	
NA_1	NA_2	NA_3	A_4	NA_5	0,05	0,05	0,05	0,95	0,05	5,9375E-06	
NA_1	NA_2	A_3	NA_4	NA_5	0,05	0,05	0,95	0,05	0,05	5,9375E-06	
NA_1	A_2	NA_3	NA_4	NA_5	0,05	0,95	0,05	0,05	0,05	5,9375E-06	
A_1	NA_2	NA_3	NA_4	NA_5	0,95	0,05	0,05	0,05	0,05	5,9375E-06	
Kans dat vijf parallel geschakelde pompen het niet doen											
NA_1	NA_2	NA_3	NA_4	NA_5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	3,125E-07	
									Niet-beschikbaarheid (NA)	**0,00104531**	**= SOM**
									Beschikbaarheid = 1 - NA	**0,99895469**	**99,90%**

Als het systeem zou werken als slechts één pomp het doet, kunnen we hier formule 13 toepassen (beschikbaarheid van parallelle systemen). Dan is de uitkomst:

$A_s = 1 - (1-0{,}95)(1-0{,}95)(1-0{,}95)(1-0{,}95)(1-0{,}95) = 1 - (0{,}05)^5 = 0{,}999999678$

Deze uitkomst staat ook in tabel 2 bij de laatste regel van de faalcombinaties: $1 - 3{,}125 \times 10^{-7}$.

Deze uitkomst betekent: het systeem faalt (pas) als alle vijf parallel geschakelde pompen falen. In M-out-of-N redundancy termen is dit 1 van de 5 moet het doen om het systeem beschikbaar te laten zijn.

In ons rekenvoorbeeld gingen we er echter van uit dat tenminste 3 van de 5 pompen het moeten doen. In de tabel zien we dat de systeembeschikbaarheid daardoor ook lager uitkomt dan bij toepassing van formule 13. Er zijn immers veel meer faalcombinaties die we in beschouwing moeten nemen.

2.4 Cold of standby redundancy

Voor parallelle systemen zoals hierboven beschreven wordt de term "*warm redundancy*" gebruikt. Dit betekent dat alle componenten continu in gebruik zijn. Een andere vorm van redundancy is de zogenoemde "*cold redundancy*" of "*standby redundancy*". De redundante component staat dan tijdens normale bedrijfsvoering uit. Pas wanneer de hoofdcomponent faalt, schakelt deze bij. Denk bijvoorbeeld aan noodstroomaggregaten. Pas als de elektriciteit uitvalt, schakelen deze in.

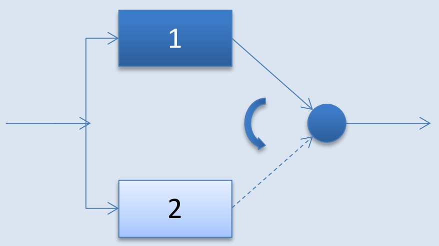
De berekening van cold of standby redundancy is wat lastiger. Connor & Kleyner [lit. 1] geven twee formules voor twee situaties die vaker voorkomen. Om de formules eenvoudiger op te te kunnen schrijven wordt de MTTR (lees hier de gemiddelde downtime) omgeschreven naar een repair rate µ.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = repair\ rate \qquad (15)$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{aantal\ storingen}{uptime} = failure\ rate \qquad (6)$$

De steady state beschikbaarheid voor een parallelle schakeling van twee identieke objecten, waarvan er één standby staat wordt dan:

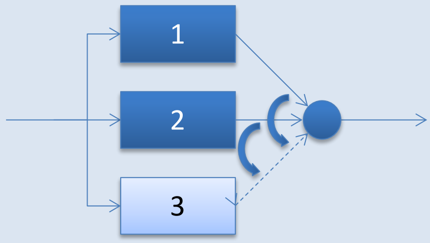
$$A_s = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{\mu^2 + \lambda\mu + \lambda^2} \qquad (16)$$



Figuur 9 Twee identieke objecten waarvan één standby staat

De steady state beschikbaarheid voor een parallelle schakeling van drie identieke objecten, waarvan er één standby staat is:

$$A_s = \frac{\mu^3 + \mu^2\lambda + \mu\lambda^2}{\mu^3 + \mu^2\lambda + \mu\lambda^2 + \lambda^3} \tag{17}$$



Figuur 10 Drie identieke objecten waarvan één standby staat

Meer over standby redundancy is te vinden in [lit. 3]

3 Verder lezen en bronnen

De voorgaande hoofdstukken zijn ontleend aan het boek: Beschikbaarheid en betrouwbaarheid - Praktijkgerichte analyses (ISBN 978-90-823214-1-8). In dit boek bouwen we verder. Meer uitleg, meer voorbeelden en meer technieken. Het boek is in combinatie met een training verkrijgbaar via www.colibri-advies.nl.

Deze handleiding is geschreven voor de assetmanager, maintenance manager en reliability engineer. In dit naslagwerk staat het berekenen van de steady state beschikbaarheid en betrouwbaarheid van technische bedrijfsmiddelen en systemen centraal. Het geeft een overzicht van gangbare analyses die handmatig en met Excel uit te voeren zijn. Aan de hand van rekenvoorbeelden worden deze analyses toegelicht.

Aan de orde komen: systeembeschikbaarheid, redundantie, reliability block diagram analyses, foutenboomanalyses, gebeurtenissenanalyses, risico-optimalisatie en bowtie-analyses. We houden rekening met factoren zoals verborgen en open faalvormen, testintervallen, reparatietijden, actieve en koude redundantie. Dergelijke analyses geven een stuur in handen voor het beheersen van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid op systeem- en objectniveau. Dit beheersen gebeurt met ontwerp- en onderhoudsmaatregelen. De analyses ondersteunen bovendien de inzet van (kostbare) reliability software voor complexe situaties.

Inhoud

Overige bronnen

[1] O, Connor, P.T.D, Kleyner, A. Practical Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Ltd 2012. ISBN 978-0-470-97981-5

[2] Blanchard, B.S., Fabrycky, W.J. Systems Engineering and Analysis. Pearson 2011. ISBN 978-0-13-714843-1

[3] Applied R&M Manual for Defence Systems - Part D. Probabilistic R&M Parameters and Redundancy Calculations

[4] Zaal,T. Profit-Driven Maintenance For Physical Assets - Bijlage A4-2.2. Maj Engineering Publishing 2011. ISBN 978 90 79182 107

[5] Klaassen, K.B., Van Peppen, J.C.L., Bossche, A. Bedrijfszekerheid, theorie en techniek. Delftse Uitgevers Maatschappij 1988. ISBN 97 89 040 71 2593 / ISBN 90-6562-073-7

[6] Moubray, J. Reliability Centered Maintenance II. Chapter 8.3 Failure-finding Task Intervals. Industrial Press 1979. ISBN 9780-08311-3146-2

[7] Technical Manual TM 5-98-1. Reliability/Availability of Electrical & Mechanical Systems for Command Control, Communications, Computer Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Facilities. Headquarters, Department of the Army, USA, 2007.

[8] Faulin, J. et al. Simulation Methods for Reliability and Availability for Complex Systems. Opm: voor gevorderden. Springer 2010. ISBN 978-1-84882-212-2