



Versnellen van omgevingstesten

1. Wat is het en waar wordt het gebruikt?

Het versnellen van omgevingstesten wordt breedschalig tijdens de ontwikkeling van produkten toegepast. Normen voor het voorspellen van de betrouwbaarheid waarbij versnellingsfactoren gehanteerd worden zijn gebaseerd op het karakteriseren van een bepaalde klimatologische en/of mechanische belasting van het produkt en het bijbehorende foutenmechanisme wat hierbij optreedt. Een voorbeeld van een norm is de MIL-217 (ref[1]). Deze norm is gebaseerd op empirische data verkregen uit het veld. Meer recente normen (waaronder FIDES) richt zich meer op de natuurkundige achtergrond waardoor de fout ontstaat ('physics of failure') maar schiet in vele gevallen nog te kort.

Het doel van het versnellen van testen is om de betrouwbaarheid in te kunnen schatten onder bepaalde gebruikscondities ter bepaling van MTBF (Mean Time Between Failure) of EOL (End of Life) of om informatie te vergaren over de factoren die de betrouwbaarheid beïnvloeden. Verder worden versnelde testen uitgevoerd om een bepaald model op te stellen waarbij de betrouwbaarheid mee voorspeld kan worden. Om een versnelde test correct te kunnen uitvoeren dient er onder andere rekening gehouden te worden met factoren als: test faciliteiten, goede beheersing van test condities, kennis over het fouten mechanisme, kennis over de juiste toepassing van het theoretische model, data acquisitie en validatie en uitvoer van een fouten analyse onderzoek.

2. Algemene normen met toepassingsgebied

De meest bekende normen op dit gebied is de MIL-217 (ref [1]). Tevens is er veel literatuur beschikbaar waar het versnellen van omgevingstesten toegelicht wordt.

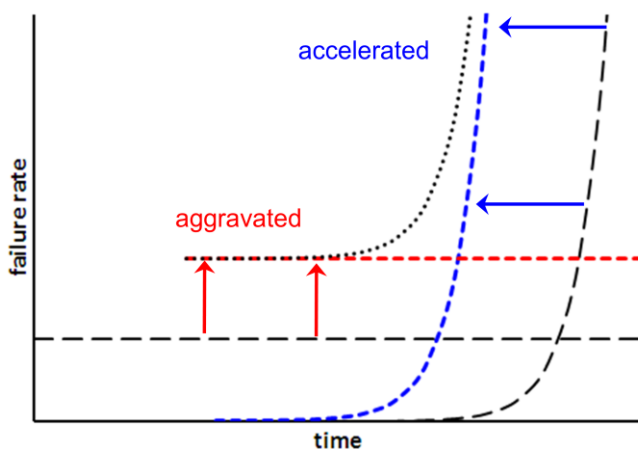
3. Omschrijving van het versnellen van omgevingstesten

We dienen onderscheid te maken tussen 2 soorten testen, te weten testen met als doel:

- Verkorten van test tijd (Accelerated testing of compressed time testing).
- Verzwaring van stress (Aggravated testing of advanced stress testing)

Bij de eerst genoemde test wordt de dode tijd die het product in haar toepassingsgebied ondervindt uit het laboratorium test plan gehaald. Bij de laatst genoemde test wordt de stress op het product vergroot om hiermee het faal mechanisme te versnellen. In de volksmond wordt deze laatst genoemde test ook wel accelerated test genoemd maar officieel leidt de combinatie van de testen tot efficiënte versnelde test.

Men dient er voor te waken dat de keuze van de hoogte van de versnellingsfactoren als tijd en stress nimmer een additioneel foutenmechanisme oproept dat in de praktijk niet op treedt.



Figuur 1: De combinatie van accelerated en aggravated testing leidt tot een verhoging van de failure rate als functie van de tijd en hiermee tot het versnellen van de test.



Versnellen van omgevingstesten

Het voert te ver om in dit document een volledige beschrijving te geven van alle mogelijke modellen die in de literatuur beschreven staan en ten grondslag liggen aan het versnellen van testen. De meest gebruikte modellen zijn hier wel beschreven en geven een goed beeld van de wijze waarop omgevingstesten versneld kunnen worden.

In deze OTB komen de volgende modellen aan bod:

1. Constante Temperatuur (Steady State Temperature) - Arrhenius
2. Tempatuur wissel (Thermal Cycling) - Norris-Landzberg
3. Temperatuur en vocht (Temperature-Humidity) - Peck's
4. Mechanische vibratie (Vibration) - Basquin's

3.1 Constante Temperatuur (Steady State Temperature) - Arrhenius

Het Arrhenius levensduurmodel (of relatie) is het meest gebruikte model. Het wordt gebruikt wanneer de stimulus of versnellingsfactor van een foutenmechanisme beïnvloedt wordt door temperatuur.

$$AF(T) = \exp \left[\frac{Ea}{K_b} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Waarbij:

AF = Acceleratie Faktor

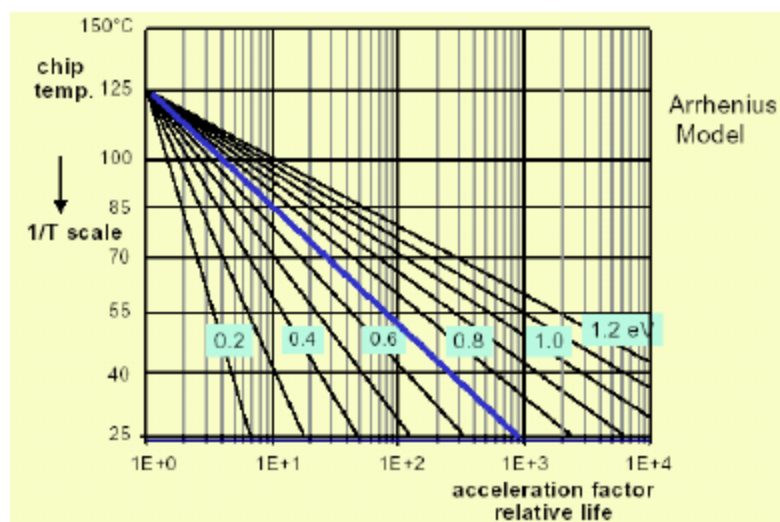
Kb = Boltzmann's constante ($=1.3806503 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$)

T0= referentie omgevingstemperatuur in K (bijvoorbeeld de temperatuur tijdens gebruik van het produkt)

T = omgevingstemperatuur in K tijdens de versnelde test

Ea = activering energie □(eV) (1 eV = $1.602176565(35) \times 10^{-19} \text{ J}$)

De activeringsenergie vertegenwoordigt de minimale hoeveelheid energie om reactie van een molecuul te veroorzaken wat gekoppeld is aan het bepaalde foutenmechanisme. Deze activeringsenergie is een indicatie van het effect van temperatuur op de levensduur van het product. Een negatieve activeringsenergie impliceert dat de reactie (en hiermee het foutenmechanisme) versneld wordt door een temperatuur lager dan die van de omgeving.



Figuur 2: Deze grafiek toont de invloed van temperatuur op de acceleratie factor voor het bepalen van de levensduur bij verschillende activeringsenergieën tussen 0,2 en 1,2 elektronVolts.



Versnellen van omgevingstesten

Rekenvoorbeeld:

Vraag: Bepaal de levensduur van LEDs aan de hand van een versnelde test.

Om de degradatie van LEDs te bepalen bij kamertemperatuur (20 °C) is er een experiment opgezet waarbij van een groep van LEDs de lichtintensiteit bij een omgevingstemperatuur van 50 °C en 80 °C gemeten is. Aangenomen wordt dat de produkten hun EOL (End Of Life) bereiken indien de lichtintensiteit gehalveerd is. We bepalen middels het experiment de acceleratiefactor als functie van temperatuur.

Hieronder volgen de resultaten, waarbij de tijdsduur de gemiddelde tijdsduur van de populatie van 22 LEDs betreft, bepaald door middel van een Weibull analyse.

Omgevingstemperatuur (T)	Tijdsduur waarop de lichtintensiteit gehalveerd is (t)
50 °C	600 uur
80 °C	100 uur

De acceleratiefactor tussen 50 °C en 80 °C bedraagt: 600 uur / 100 uur = 6

Met behulp van de Arrhenius vergelijking kan vervolgens de activeringsenergie berekend worden.

$AF = 6$

$K_b = 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$T_0 = 323 \text{ K} (273 + 50)$

$T = 353 \text{ K} (273 + 80)$

Er volgt dat de activeringsenergie E_a een waarde heeft van 0.6 eV. Dit is in feit de activeringsenergie van het degradatiemechanisme behorende bij de afname van de lichtintensiteit van de LEDs.

Aangezien we de activeringsenergie nu weten kunnen we middels versneld testen bij 80 °C de te verwachten levensduur bij 20 °C bepalen:

$K_b = 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$E_a = \text{activeringsenergie} = 0.6 \text{ eV} = 0.6 \times 1.602176565(35) \times 10^{-19} \text{ J}$

$T_0 = 293 \text{ K} (273 + 20)$

$T = 353 \text{ K} (273 + 80)$

Hieruit volgt: $AF = 55$. -> Dit betekent dat tussen 20 °C en 80 °C de afname van de lichtintensiteit een factor 55 maal sneller zal gaan. De tijdsduur waarop de lichtintensiteit gehalveerd is bij 20 °C nu: 100 uur $\times 55 = 5500$ uur.

De verwachte levensduur bij kamertemperatuur is dus 5500 uur.

Gebruik van versnelde testen verkort de testtijd dus significant (600 uur in plaats van 5500 uur).

Aangezien we de activeringsenergie nu weten hoeven we ook in de toekomst slechts de levensduur te bepalen bij 80 °C om de levensduur bij kamertemperatuur te weten.

Let op: In de meeste normen wordt de activeringsenergie aangenomen of gegeven voor een bepaald foutenmechanisme of component. Echter, verschillende studies (o.a. Pecht 99; ref [3]) laten zien dat de activeringsenergie van elektronica de laatste jaren toeneemt. Dit ten gevolge van nieuwe foutenmechanismen welke gekoppeld zijn aan nieuwe processen en/of gebruik van nieuwe materialen. Hierdoor zijn de getallen welke in de huidige literatuur staan niet meer geheel juist en kunnen in enkele gevallen leiden tot grote fouten in voorspelbaarheid van de levensduur. Hierdoor verdient het empirisch bepalen van de activeringsenergie door middel van het uitvoeren van testen bij 3 verschillende temperaturen veelal de voorkeur. Gebruik van Weibull analyse van de meetdata verdient hierbij de voorkeur.



Versnellen van omgevingstesten

3.2 *Temperatuur wissel (Thermal Cycling) - Norris-Landzberg*

In het geval van temperatuur wissel testen wordt het Norris-Landzberg model in de meeste gevallen gebruikt om de versnelling van het foutenmechanisme te bepalen welke veroorzaakt worden door mechanische vermoeiingsverschijnselen ten gevolge van temperatuur variaties. Het model is afgeleid van het Coffin-Manson model wat meestal gebruikt wordt om thermisch mechanische vermoeidheid te modelleren. Het Norris-Landzberg model neemt het effect mee dat tragere temperatuur wissels (low-cycle fatigue) meer schade aanrichten ten gevolge van het optreden van het kruip fenomeen ('creep') bij soldeerverbindingen.

Let op: De meeste voorspellingsmodellen nemen wel het effect mee van de verblijftijd bij hoge en lage temperaturen tijdens testen maar negeren de mogelijke schade die optreedt ten gevolge van het temperatuur wisselen zelf. De meeste recente FIDES (ref [2]) neemt deze factor mee, maar alleen indien de temperatuur wissel gradiënt meer bedraagt dan 20 graden Celsius per minuut. In nieuwe modellen wordt tevens de temperatuur toename meegenomen ten gevolge van het inschakelen van het component.

3.3 *Temperatuur en vocht (Temperature-Humidity) - Peck's*

Het model van Peck wordt meestal gebruikt om de versnelling te karakteriseren van foutenmechanismen die beïnvloed worden door een combinatie van vocht en temperatuur. Denk hierbij bijvoorbeeld aan corrosie als foutenmechanisme.

Let op: De meeste voorspellingsmodellen gaan ervan uit dat het component of product niet operationeel bedreven wordt tijdens testen. De effecten van luchtvochtigheid worden in de praktijk echter verwaarloosd op het moment dat het component of product in bedrijf ten gevolge van de hoge temperaturen van het product en het uitdrijven van de vochtigheid op deze plaats. Het is dan ook belangrijk om de werkelijke luchtvochtigheid te beschouwen ter plaatse van het te testen component.

3.4 *Mechanische vibratie (Vibration) - Basquin's*

Er bestaan een grote verscheidenheid aan fouten mechanismen ten gevolge van mechanische belasting en niet allen betreffen vermoeiingsverschijnselen. In sommige gevallen zullen mechanische vibraties zwakheden laten zien, zoals bijvoorbeeld slechte soldeerverbindingen, scheurtjes van onderdelen (substraat, component omhulsel etc.) of verbindingproblemen bij interfaces zoals bijvoorbeeld delaminatie. In het geval van een defect type wat veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van metalen deeltjes in een hermetische gesloten omkapsel zullen mechanische vibraties het risico van een kortsluiting verhogen indien de vibratie er voor zorgt dat de deeltjes verplaatsen.

Indien het fouten mechanisme inderdaad mechanische vermoeidheid betreft, dan omhelst het een grote variëteit van materialen welke ieder op een andere manier zal degraderen ten gevolge van vermoeidheid of slijtage. Denk hierbij aan materialen als aluminium, koper, carbon, epoxy glas, keramiek etc.

Het volgende Basquin's model voorziet in het feit dat een toename van het vibratie niveau leidt tot een toename van het risico van falen van het (elektronische) component.

$$AF = \left(\frac{Grms}{Grms_0} \right)^n$$

Hierin is:

Grms = vibratie niveau

Grms0 = referentie vibratie niveau level

n = constante afhankelijk van de materiaal eigenschappen

Let op: Wanneer het effect van vibratie meegenomen wordt in versnellingsmodellen wordt er veelal van uitgegaan dat de defecten onafhankelijk zijn van temperatuur terwijl lage temperaturen brosheid van materialen veroorzaakt en hiermee de kans op defect aanzienlijk kan vergroten. In nieuwe modellen zien we dat hiervoor een Arrhenius factor meegenomen wordt voor temperatuur.



Versnellen van omgevingstesten

3.5 *Andere modellen*

Behalve de hier omschreven modellen worden in de industrie ook wel de volgende additionele modellen toegepast:
Eyring model; wordt gebruikt bij combinatie van stressoren
Steinberg; model voor karakterisatie van snelle temperatuur wisselingen (high-cycle fatigue)
Black's model; modellering van electromigratie fenomenen.

4. Testapparatuur

Alhoewel de hier omschreven modellen uitgaan van een theoretisch benadering, zijn fysieke testen het fundament om de modellen te kunnen valideren. Tevens zijn er aanvullende testen nodig om de parameters te bepalen die in de formules vermeld staan. De test apparatuur die hiervoor gebruikt wordt is niet anders dan die beschreven worden in de door PLOT reeds gepubliceerde OTB's van de werkgroep reliability en werkgroep mechanische beproevingen.

5. Aandachtspunten

Er zijn bepaalde voorwaarden waarop de modellen die in deze OTB beschreven staan gebruikt kunnen worden. Het maken van een fout tijdens het voorspellen van de levensduur bij versnelde testen ligt erg voor de hand. Denk maar eens aan het verschil in gebruikerscondities van de ene klant t.o.v. de andere, het optreden van meerdere foutenmechanismen tijdens een enkele levensduur test of de complexiteit van de statistische benadering tijdens het analyseren van meetgegevens. Het is daarom van belang dat de medewerker zich goed verdiept in de voor- en nadelen van elk model afzonderlijk en een deskundige en ervaren collega op dit vakgebied raadpleegt alvorens uitspraken te doen over de te verwachten betrouwbaarheid. Het gebruik van versnelde omgevingstesten wordt in vele gevallen gecombineerd met de resultaten van computer simulatiemodellen tezamen met een uitvoerige analyse van het foutenmechanisme en veldgegevens ten behoeve de levensduur beter te kunnen inschatten.



Versnellen van omgevingstesten

6. Referenties

[1]	Military Handbook Reliability Prediction for Electronic Components, MILHDBK217F notice 2, 1995.
	L.PIERRAT / F.BAYLE "La crédibilité des modèles de fiabilité prévisionnelle : une application dans le cadre du guide FIDES" LambdaMu16, Octobre 2008.
[2]	Guide FIDES, "Guide d'évaluation prévisionnelle de la fiabilité," 2009.
[3]	Y.ZHANG, D.DAS, A.KATZ and M.PECHT "Trends in Component Reliability and Testing," Semiconductor International, 9/1/1999.
	BS 5760 Part 0 – part 24 (IEC 300 series), British Standard
	IPC 9701A: Performance Test Methods and Qualification Requirements for Surface Mount Solder
	J. BERNSTEIN "Physics Based Reliability Qualification" University of Maryland/Bar-Ilan University.
	S.CHARRUAU, F.GUERIN, H.DOMINGUEZ, J.BERTHON "Reliability estimation of Aeronautic component by accelerated tests" Microelectronics Reliability, 2006.
	"Mechanisms and Models for Semiconductor Devices," JEP122C, JEDEC Solid State Technology Association, 2003.
	D.J.GROEBEL, F.B.SUN, A.METTAS "Determination and Interpretation of Activation Energy Using Accelerated Test Data" PROCEEDINGS Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium 2001.
	ESPEC technology reports
	Environmental Engineering Handbook, SEES (Swedish Env. Eng. Society)
	Technology Report Digest Edition nr.1 www.espec.com
	Fundamentals of Mechanical Vibrations Matthew Hussey, Macmillan, ISBN 0-02-949100-2
	Electronic Component Reliability, Finn Jensen, Denmark John Wiley & Sons, ISBN 0-471-95296-6
	Practical Reliability Engineering, Patrick D.T. O'Connor, ISBN 0-470-84462-0
	Handbook of reliability engineering and management, Grant Ireson, ISBN 0-07-012750-6
	Reliability engineering handbook (vol. 1 & 2), Dimitri Kececioglu, Prentice Hall, ISBN 0-13-772294-X

7. Colofon

Deze uitgave is verzorgd door de PLOT-werkgroep Reliability. PLOT is een landelijke vereniging met als doel het uitwisselen van kennis op het gebied van omgevingstechnologie. Nadere informatie over PLOT vindt u op onze website: www.plot.nl