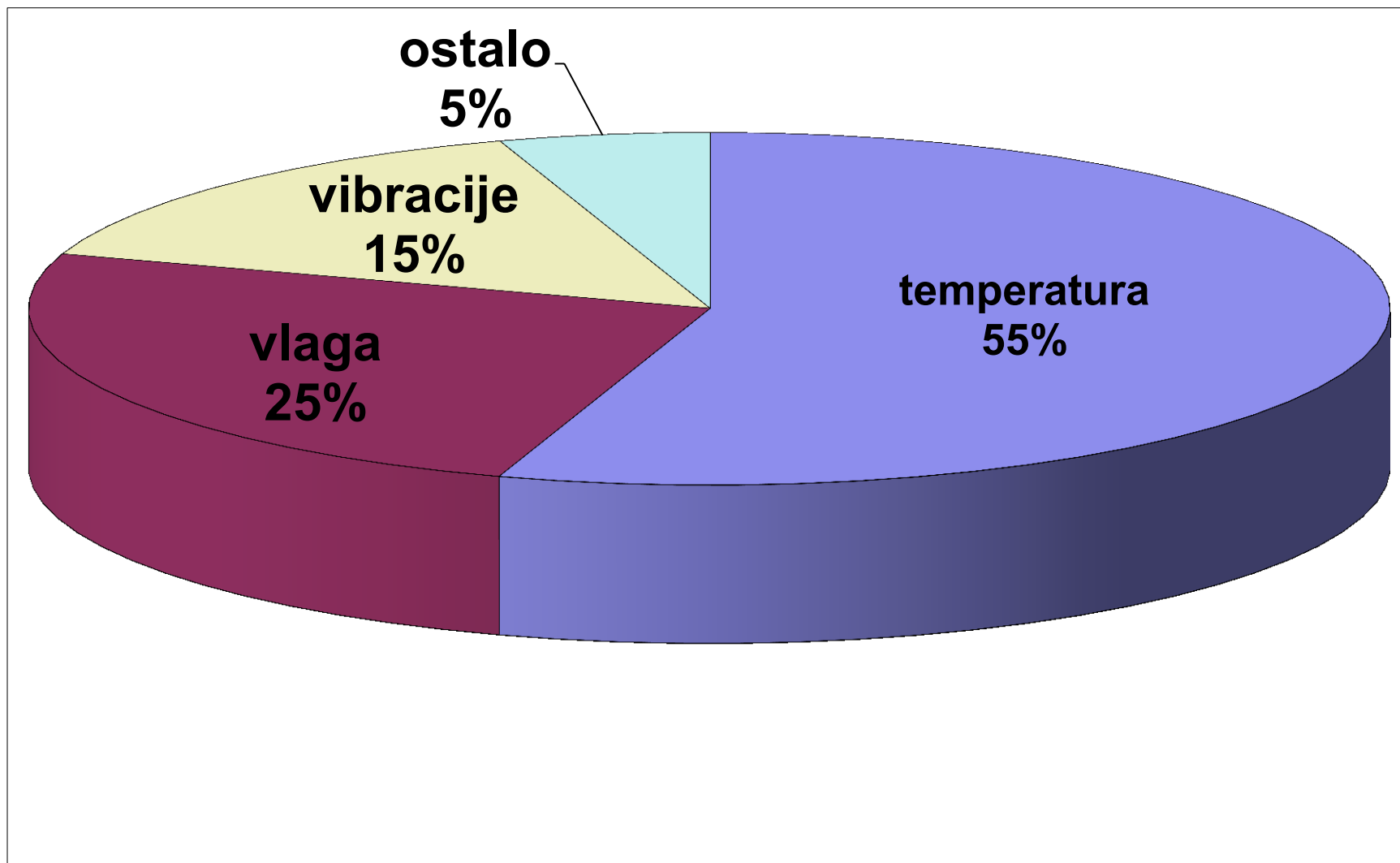


REALIZACIJA ELEKTRONSKIH SKLOPOV

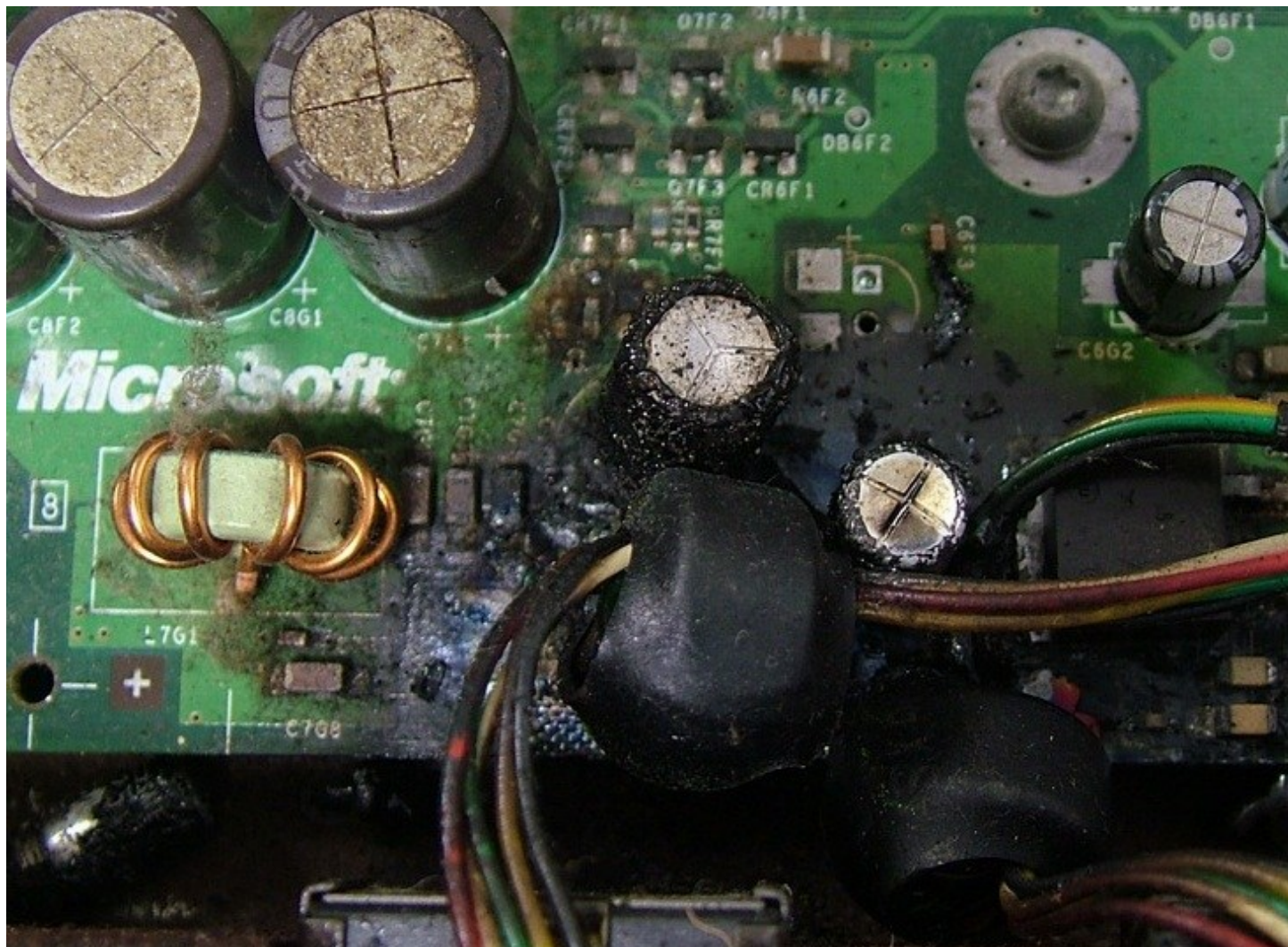
Vplivi okolja na zanesljivost

M. Jankovec

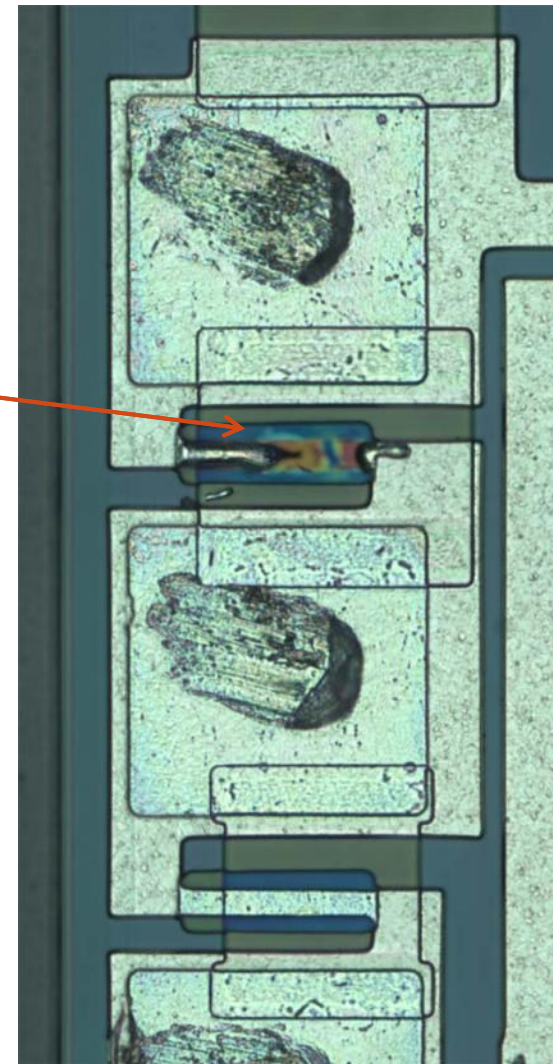
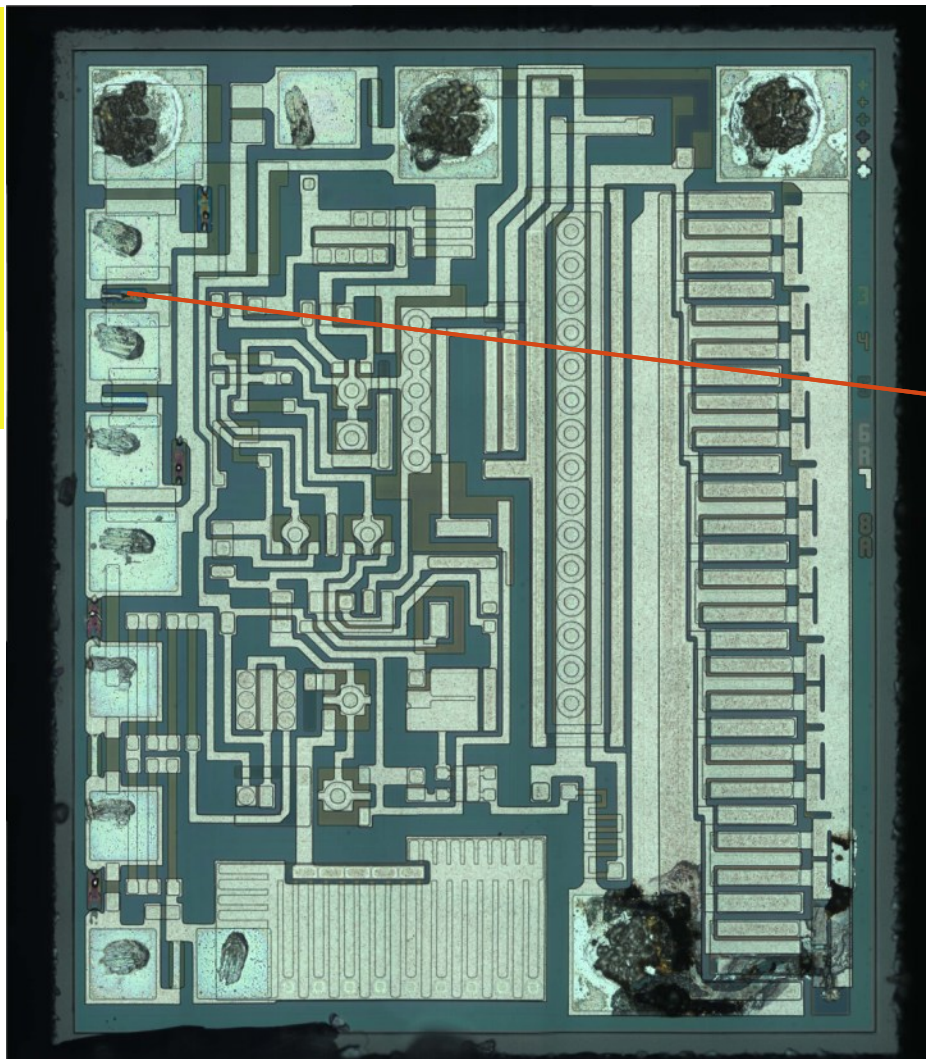
Vpliv okolja na zanesljivost



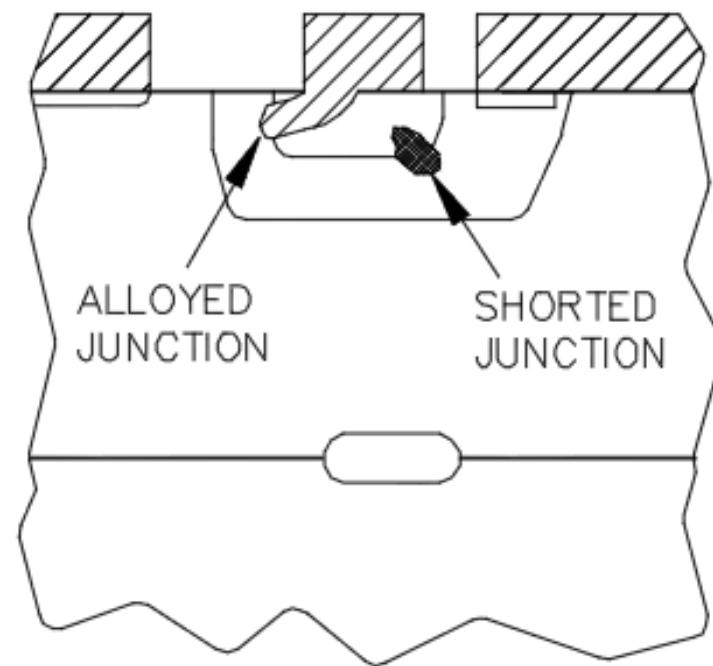
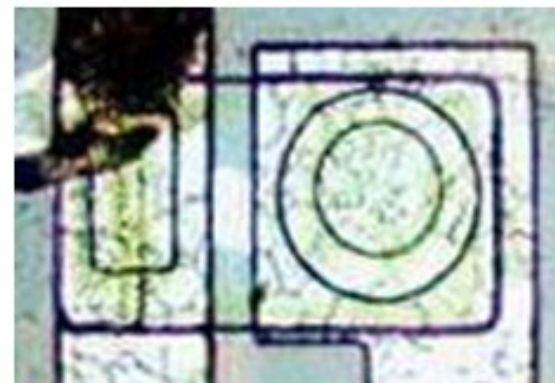
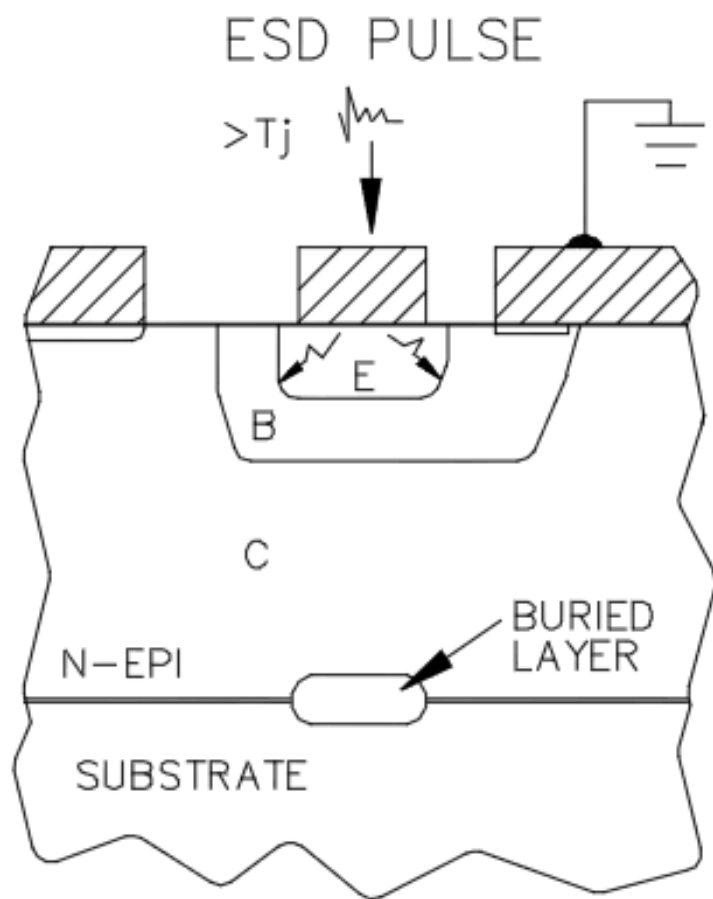
Napetostne preobremenitve



ESD – Elektrostatične izpraznitve



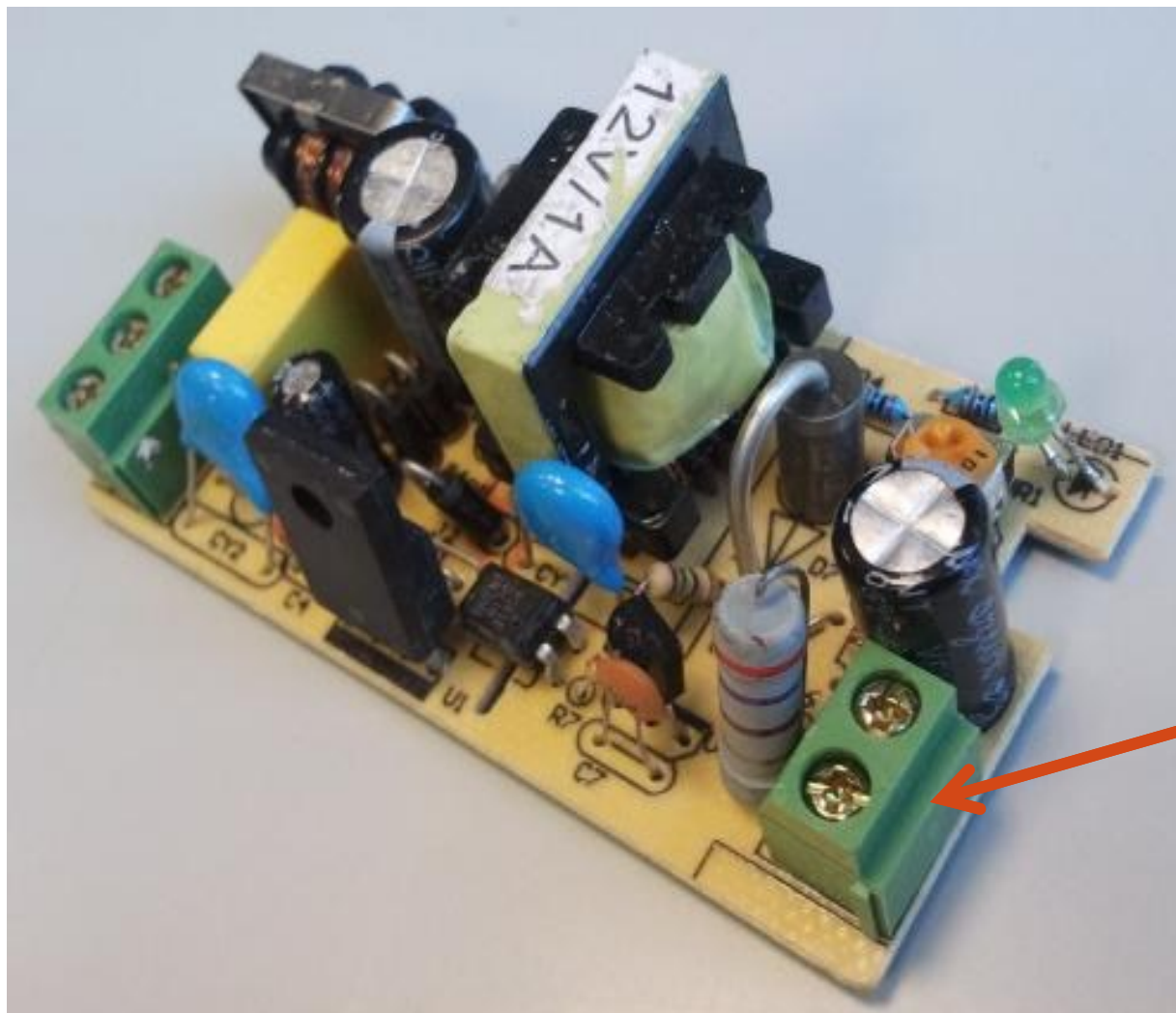
Preboj tranzistorja



Dolgotrajna tokovna preobremenitev



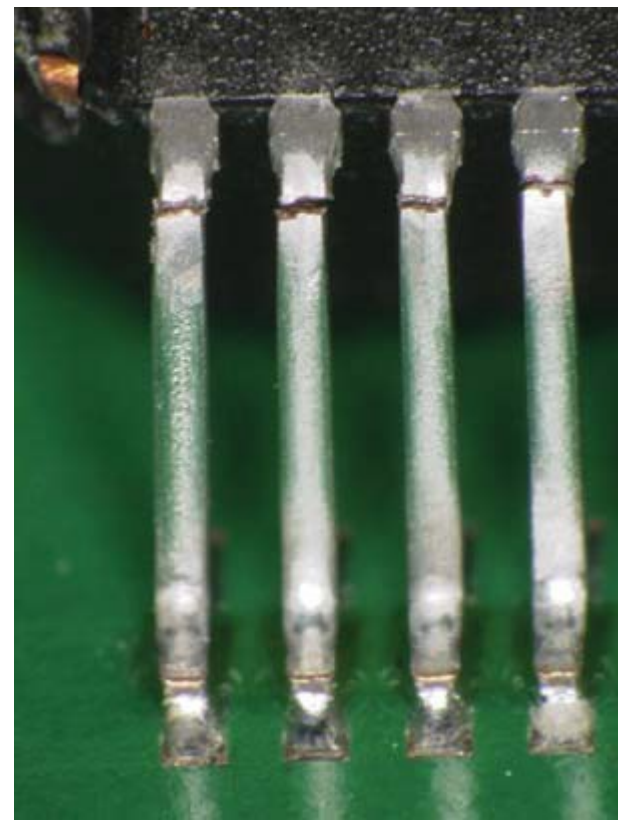
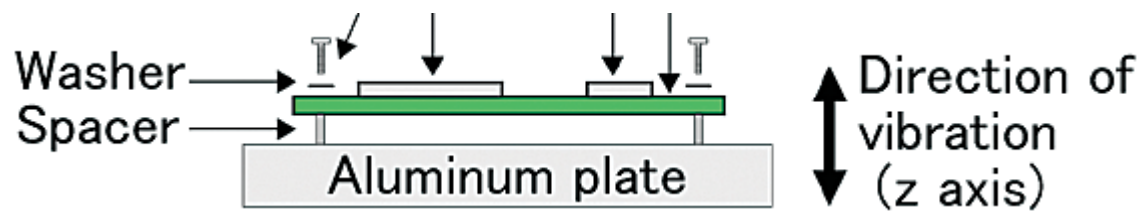
Napaka pri sestavljanju



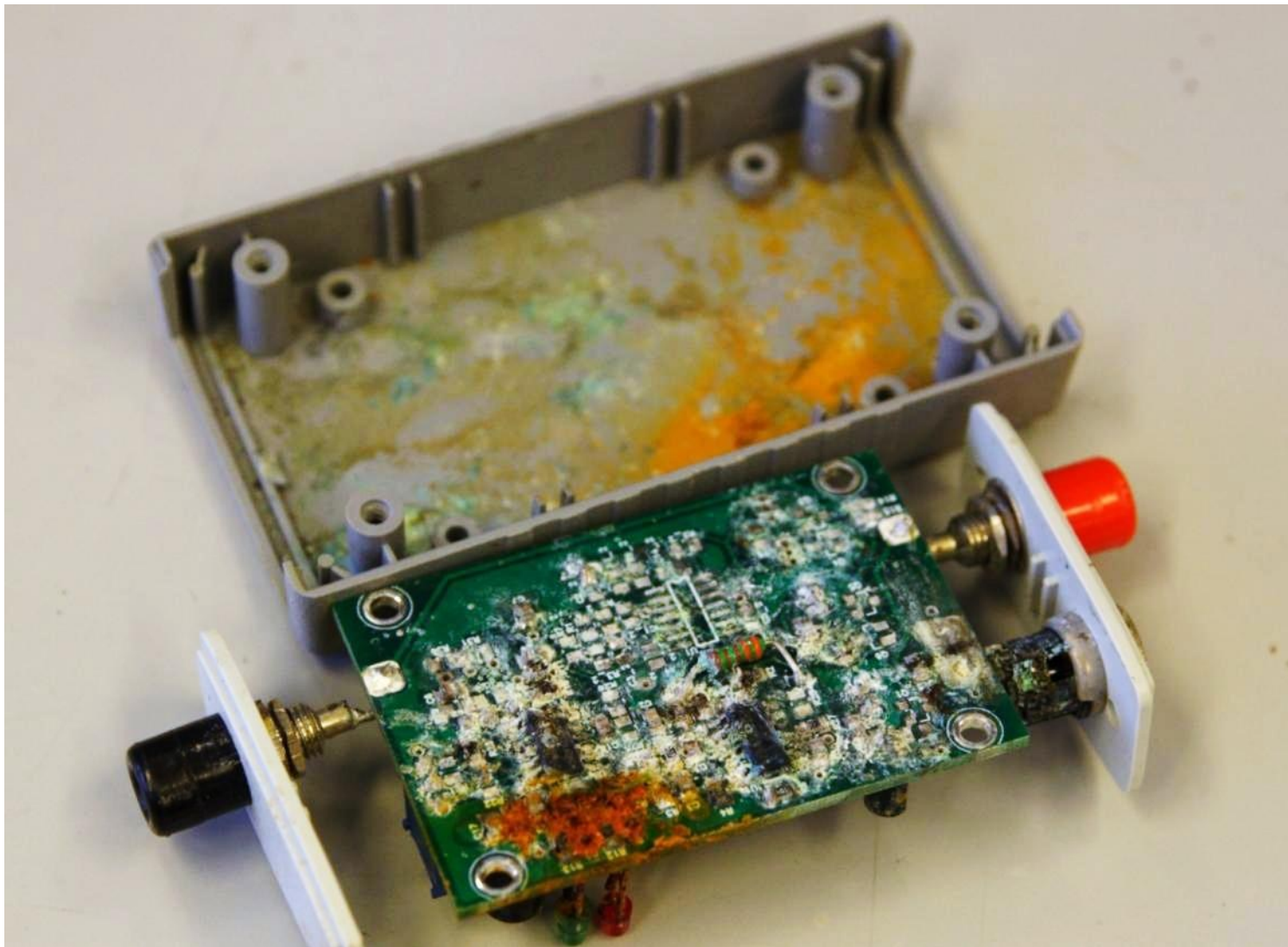
Mehanska preobremenitev



Vibracije

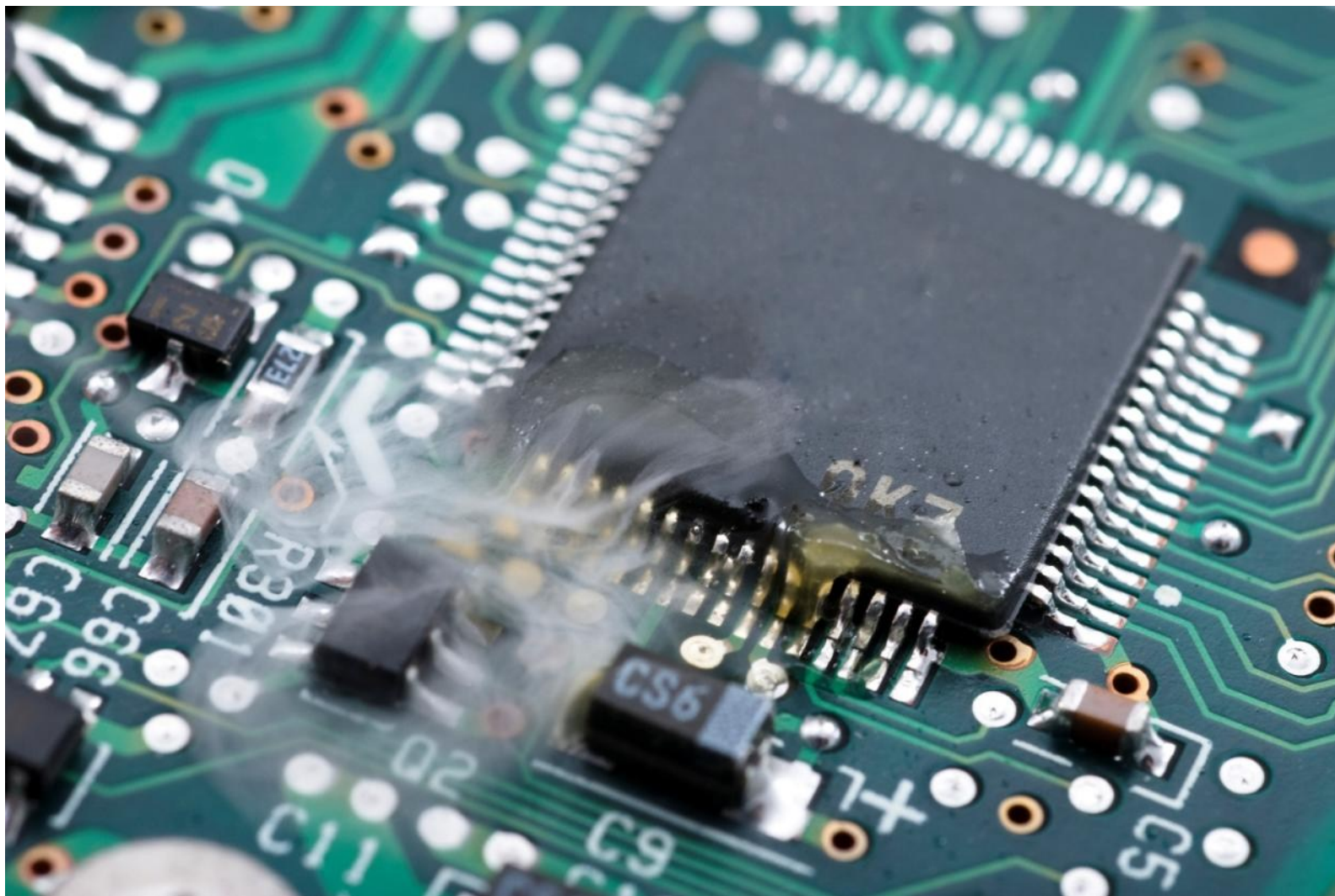


Vlaga

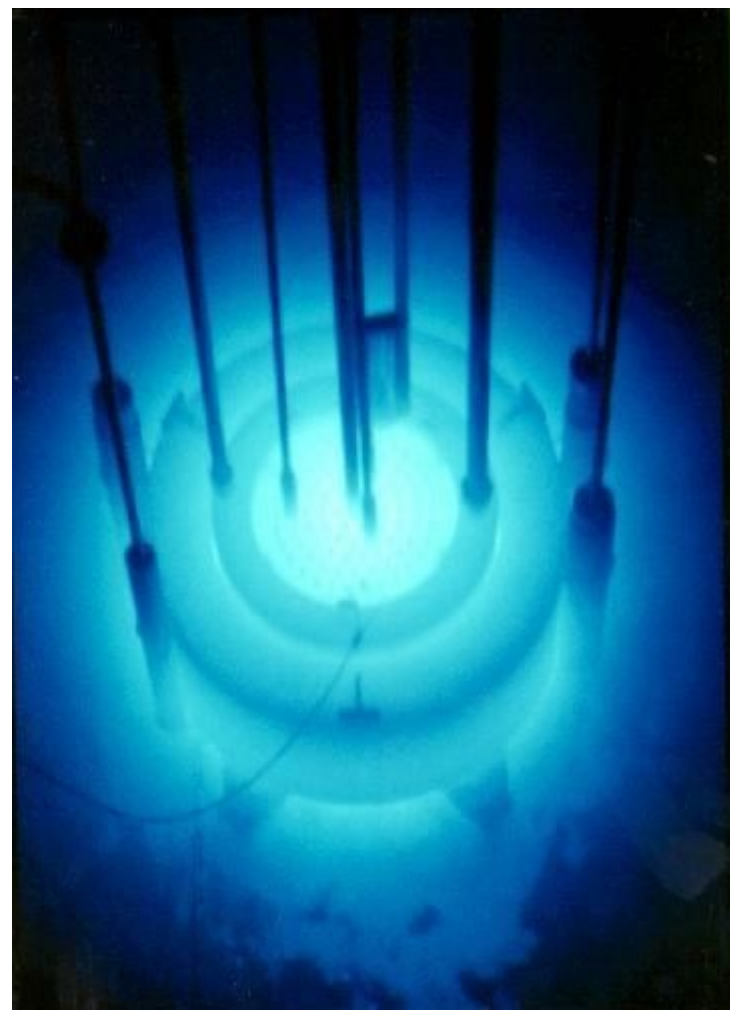


Agresivne snovi

© by Žiga Četrlič



Ekstremni pogoji



Faktor okolja

- Opisuje vpliv vseh parametrov določenega okolja, ki vplivajo na zanesljivost
- Predstavimo jih s multiplikacijsko konstanto π_E , s katero se množi pogostost odpovedi λ
- Primer: *Tabela faktorja okolja za mikroelektronske elemente*

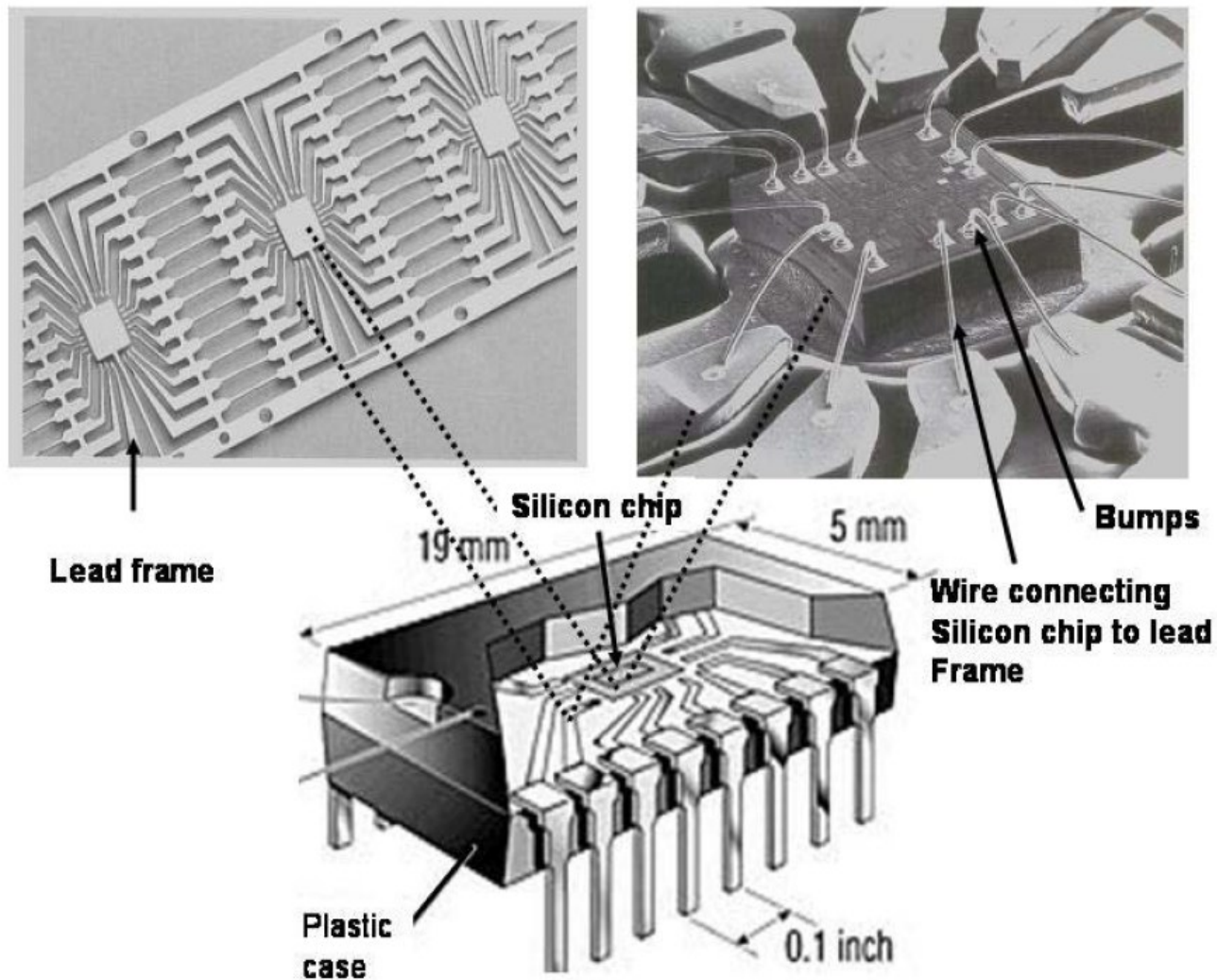
Okolje	Opis	π_E
Fiksno na tleh	Brez obremenitev, milo okolje, dobro vzdrževanje	1
Mobilna oprema	Mehanski pretresi, slabše hlajenje, nepravilna uporaba	4
Ladje	Stalni udarci in vibracije, vlaga	5
Letalo	Visoki pospeški, vibracije, tlak	7
Rakete	Ekstremni pospeški, vibracije	10

Vlaga, voda in prah

- IP oznake
 - Prva številka pomeni zaščito proti trdnim delcem
 - Druga številka pomeni zaščito proti vlagi in vodi

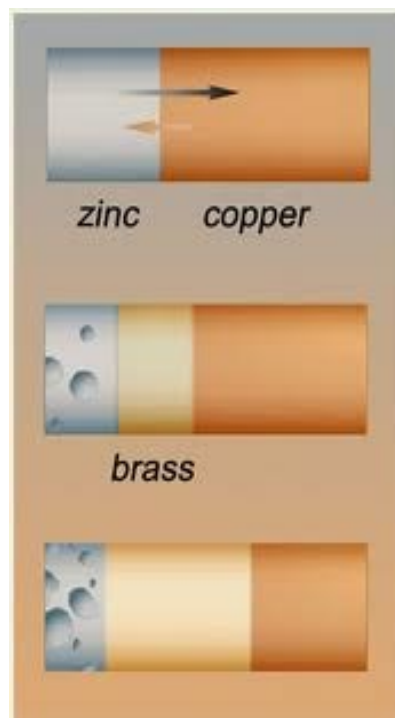
	Prva številka (Trdni predmeti)	Druga številka (Voda, vlaga)
0	Brez zaščite	Brez zaščite
1	Zaščita pred večjimi predmeti	Zaščita pred vertikalno kapljajočo vodo
2	Zaščita pred srednjimi predmeti	Zaščita pred rahlo nagnjeno kapljajočo vodo (15 ° od vertikale)
3	Zaščita pred majhnimi predmeti (>2.5 mm)	Zaščita pred razpršeno vodo do 60 ° od vertikale.
4	Zaščita pred granulati (>1 mm)	Zaščita pred razpršeno vodo z vseh strani.
5	Delna zaščita pred prahom	Zaščita pred usmerjenim špricanjem.
6	Popolna zaščita pred prahom	Zaščita pri poplavljanju.
7		Zaščita pri potapljanju do 1m.
8		Zaščita pri potapljanju v ekstremnih pogojih.

Integrirano vezje



Difuzija

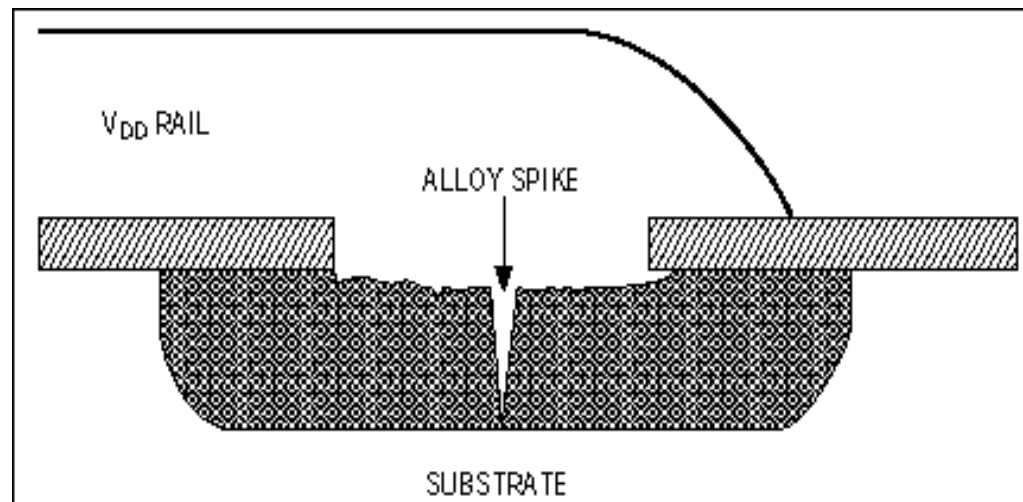
- Kirkendallov efekt je difuzija atomov čez stik dveh kovin, ki formirajo na sredi zlitino obeh kovin, za sabo pa puščajo praznine



Glavni vzrok odpovedi priključkov (bonds) na integriranih vezjih.

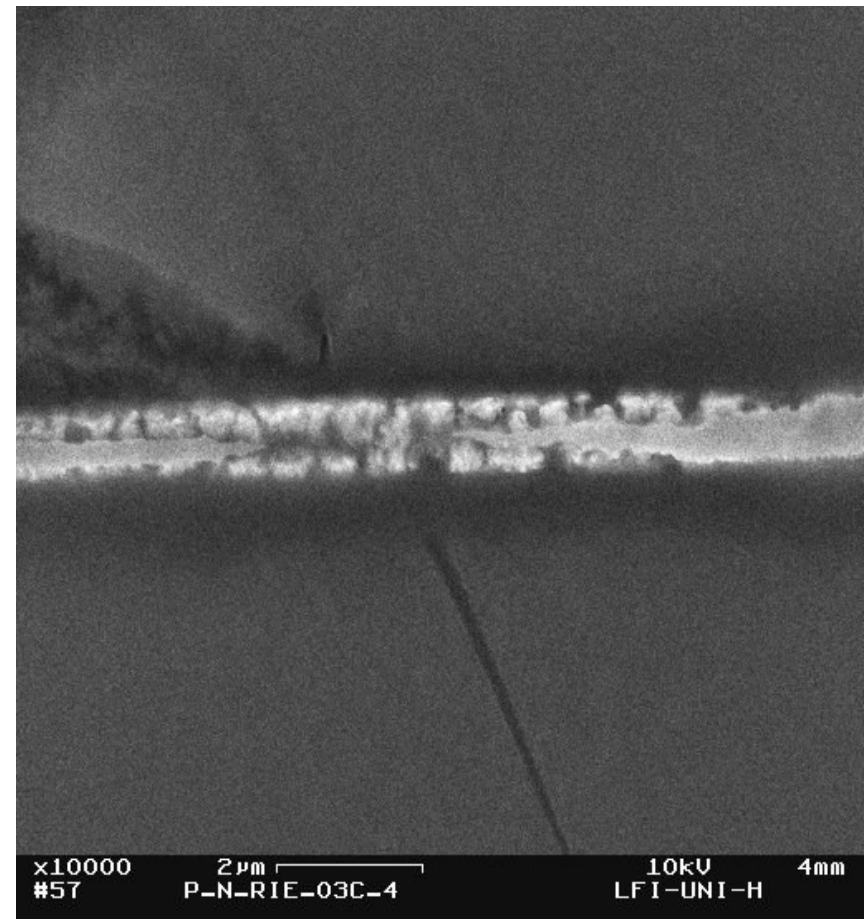
Difuzija kovine v polprevodnik

- Električne povezave na integriranih vezjih (Al, Ag)
- Atomi kovine lahko difundirajo v polprevodnik in povzročijo povečane rekombinacije ali kratke stike v aktivnih delih elementov



Elektromigracija

- Transport kovinskih ionov v prevodniku zaradi električnega toka
- Izražen tam, kjer so prisotne visoke gostote električnega toka
- Največji vzrok za odpovedi v mikroelektroniki
- Vpliva tudi na življenjski čas spajkanih kontaktov, če tokovne gostote presežejo 10^4 A/cm^2



Korozija kovin

Vpliv žveplovih spojin v atmosferi na plasti iz zlitin, ki vsebujejo srebro

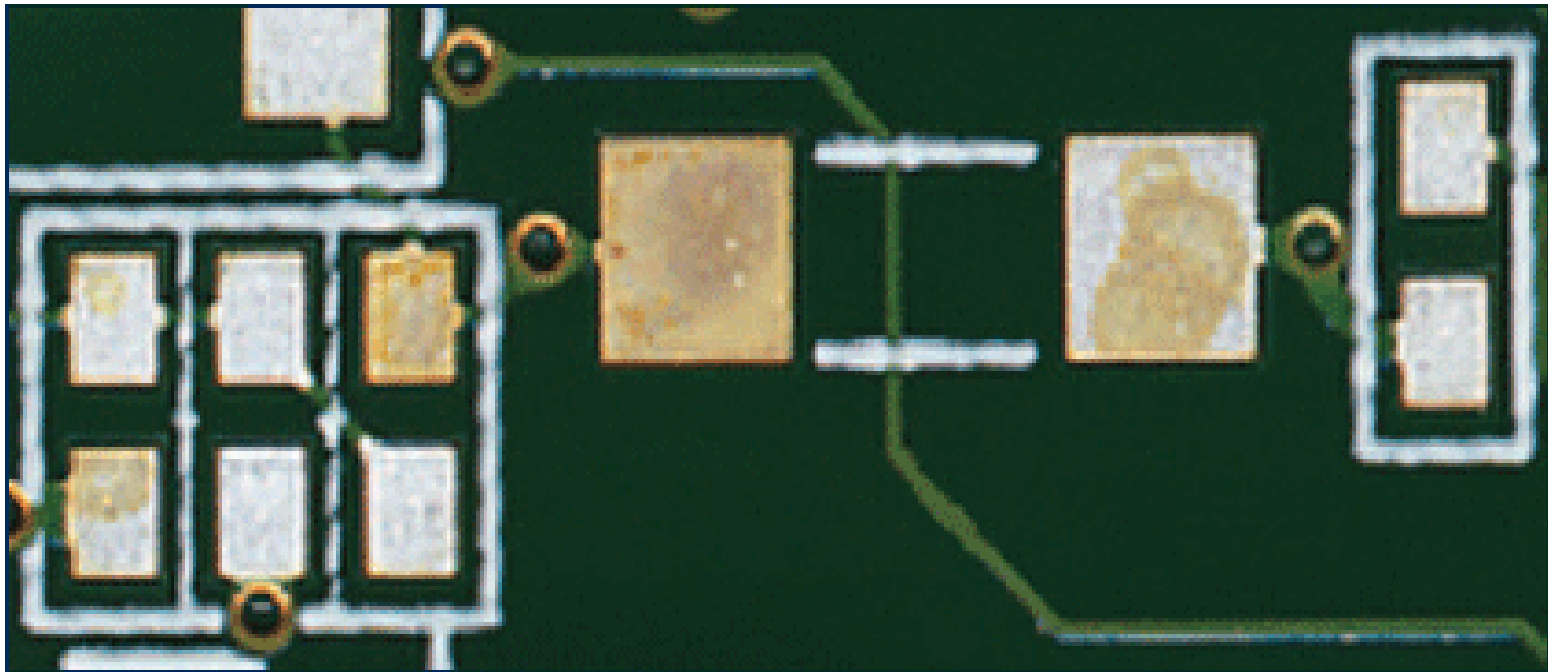
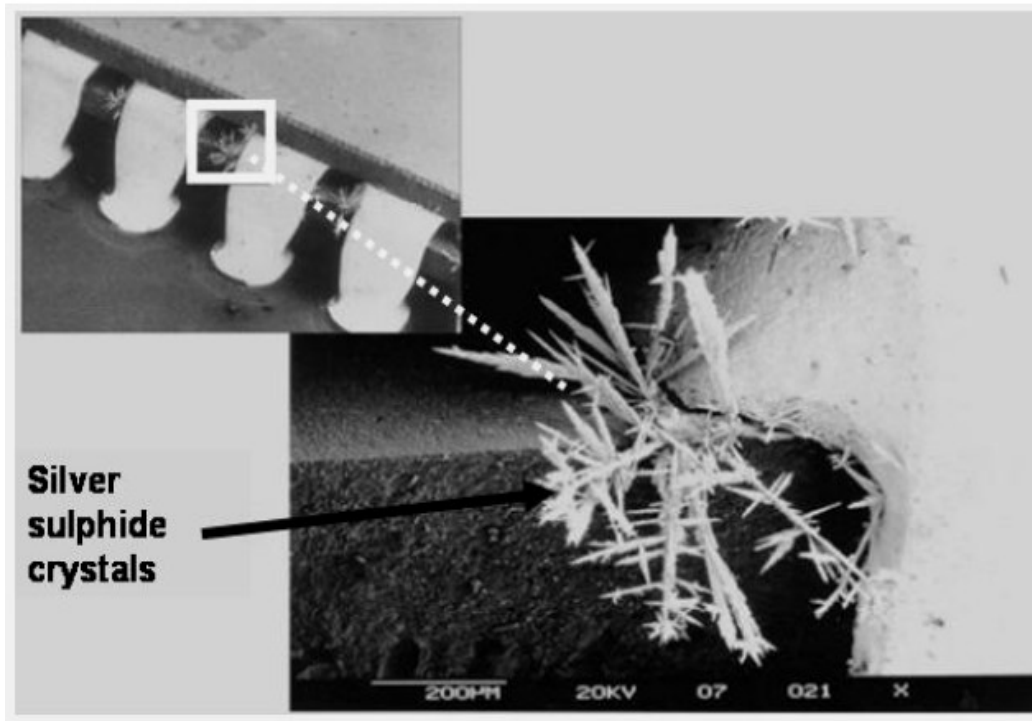


Figure 3-1: Areas of tarnish on a board with an immersion silver finish.

Elektrolitska migracija kovinskih ionov



- Najbolj občutljive kovine
 - Zlato
 - Srebro
 - Baker
 - Paladij
 - Svinec

Galvanska korozija

- Stik dveh različnih kovin z različnima elektrochemičnima potencialoma v prisotnosti elektrolita formira galvanski člen
- Problem ostankov fluksa na tiskanih vezjih

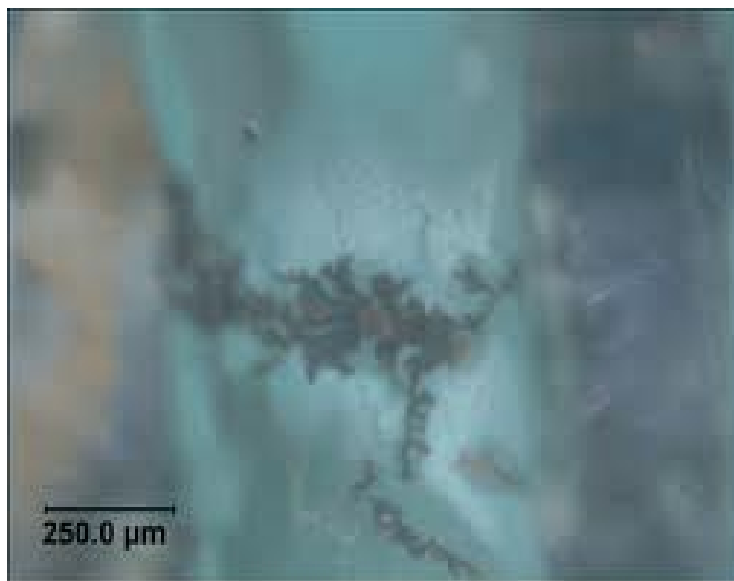


Figure 3-4: Dendrite that grew between two pins and surrounded by salt residue.

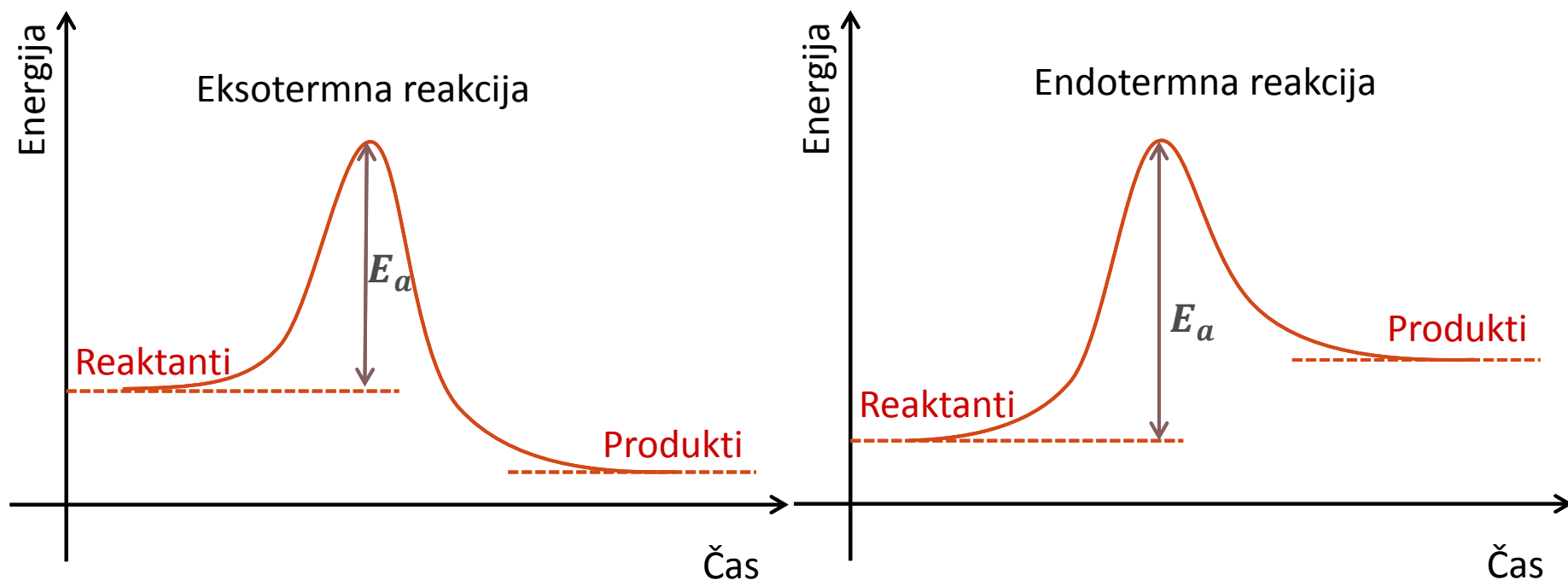


Copyright 1999 IAC Ltd. Co.

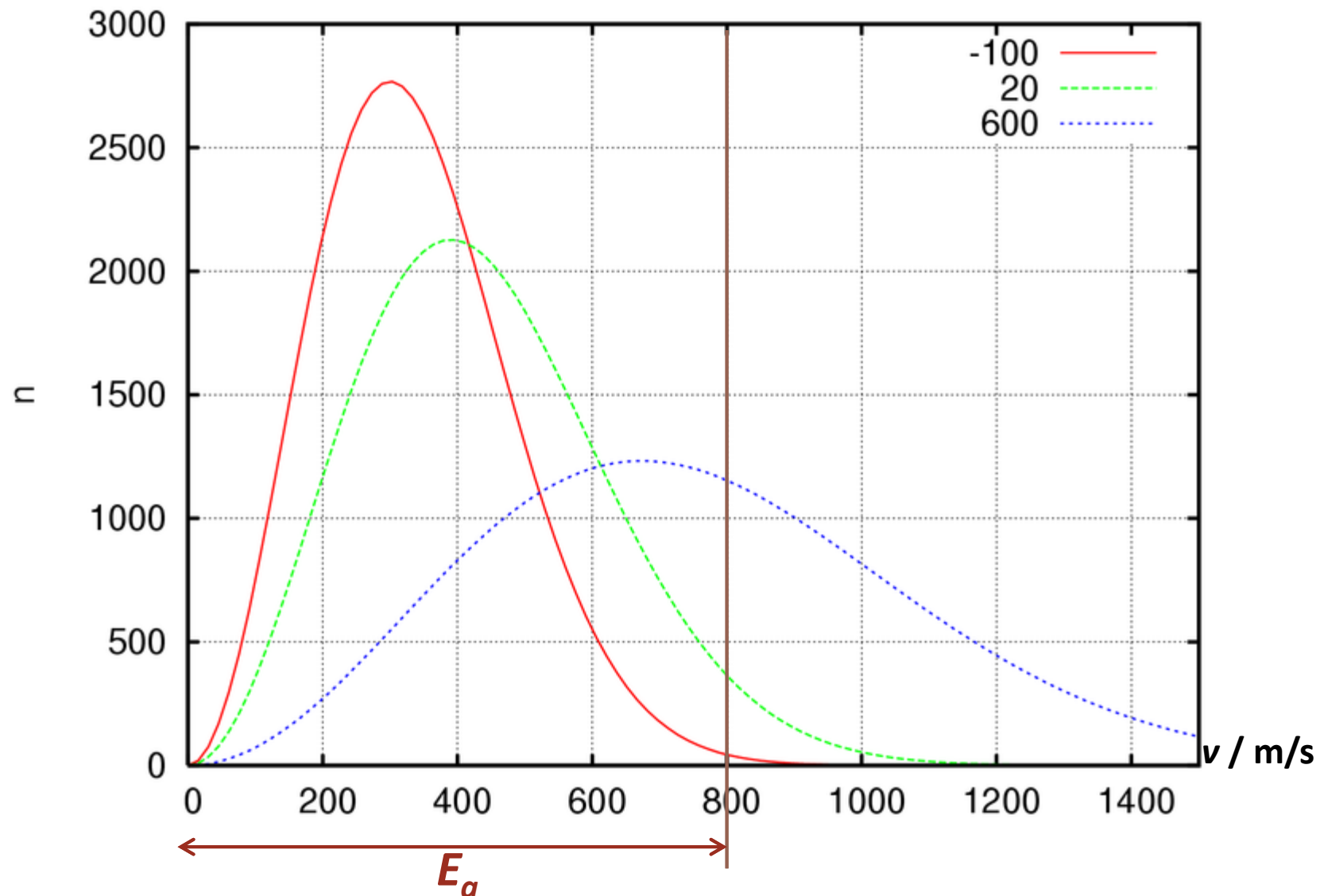
Arrheniusov zakon

Temperatura -> hitrost kemičnih reakcij

Kinetična konstanta: $k = Ae^{-\frac{E_a}{kT}}$ reakcij/s

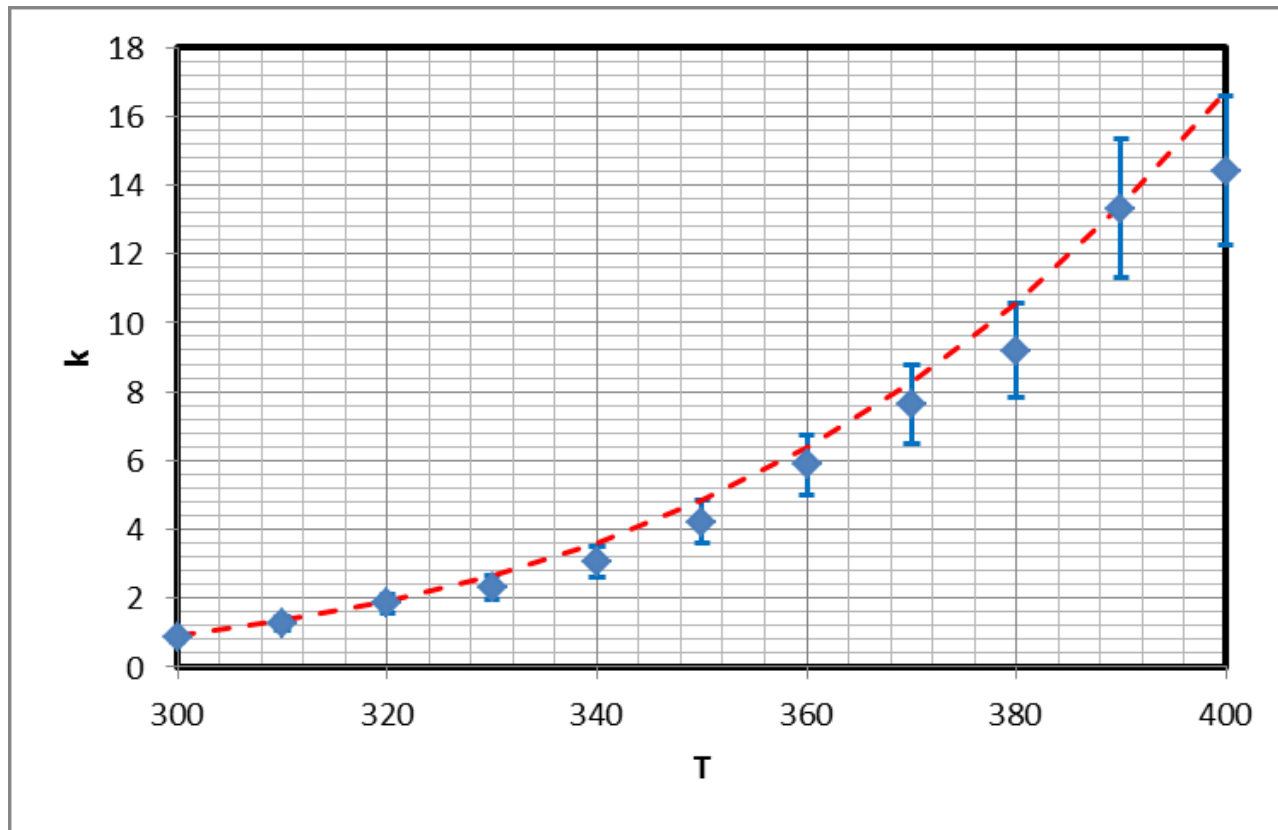


Maxwell-Boltzmannova porazdelitev



Arrheniousov graf

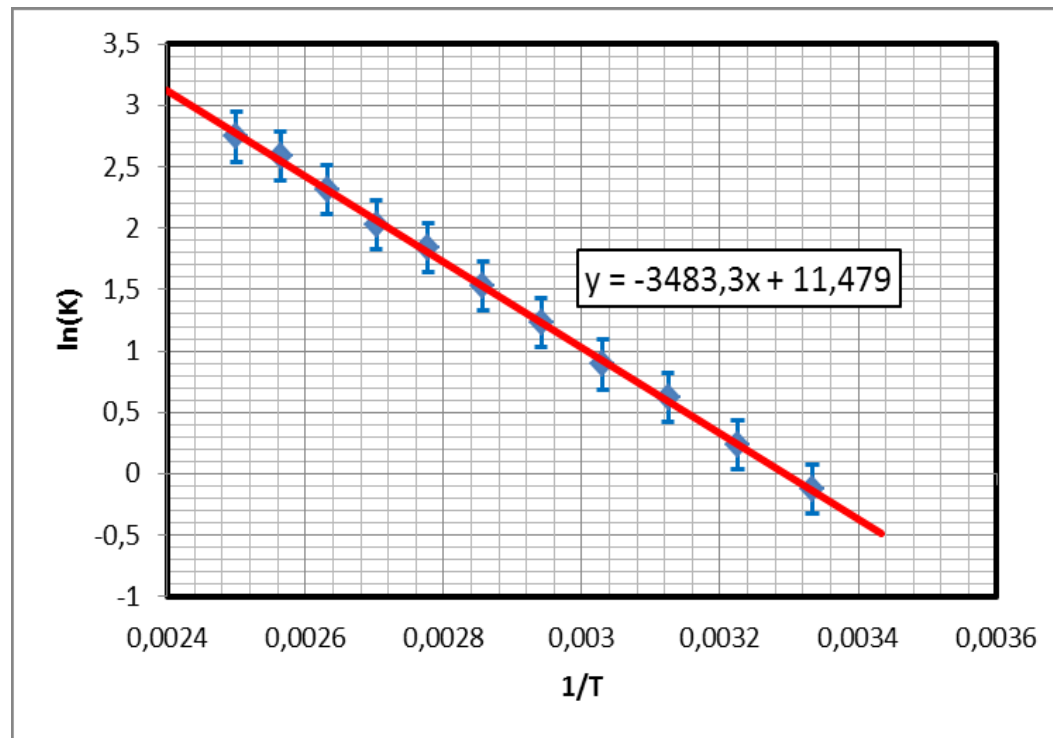
$$k = Ae^{-\frac{E_a}{kT}} \text{ reakcij/s}$$



Določitev parametrov

- y-os prikazuje logaritem kinetične konstante k , x-os pa inverzno temperaturo T v Kelvinih.

$$\square k = Ae^{-\frac{E_a}{kT}} \rightarrow \ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T} \right)$$



Pogostost odpovedi λ

- Pogostosti odpovedi pri dveh temperaturah

$$\lambda_{T_0} = Ae^{-\frac{E_a}{kT_0}} \quad \text{in} \quad \lambda_{T_1} = Ae^{-\frac{E_a}{kT_1}}$$

- Njuno razmerje pa je enako

$$\frac{\lambda_{T_1}}{\lambda_{T_0}} = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

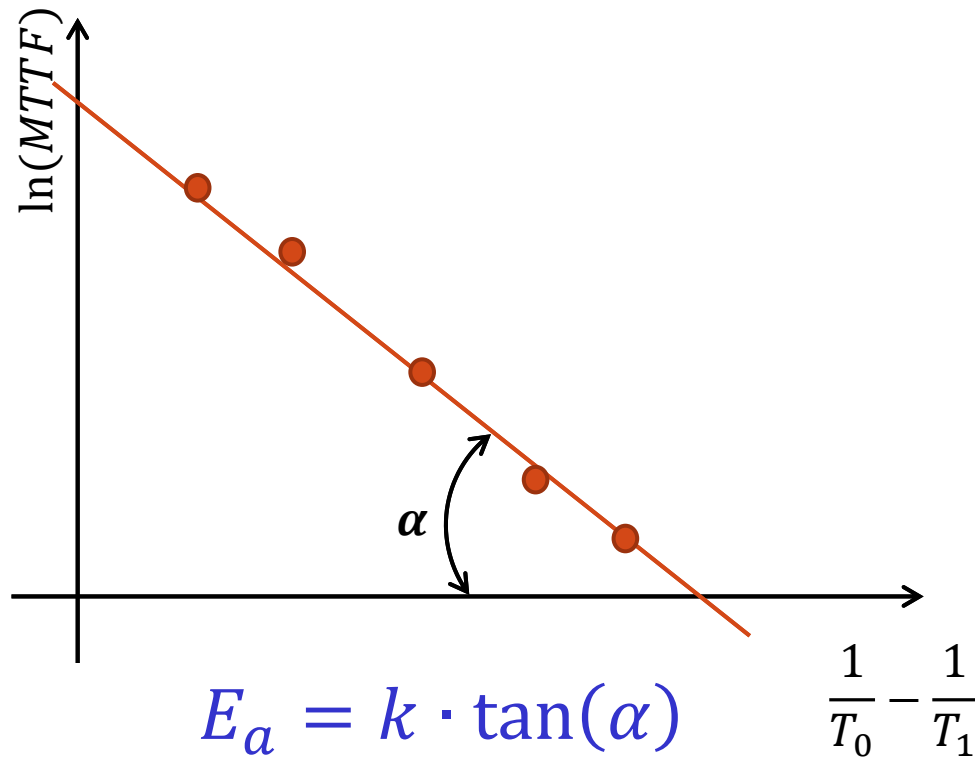
- T_0 predstavlja referenčno temperaturo, pri kateri je podana nazivna pogostost odpovedi λ_{T_0}

Srednji čas do odpovedi $MTTF$

- Če predpostavimo eksponento porazdelitev zanesljivosti, velja $MTTF = \frac{1}{\lambda}$
- Zato velja

$$\frac{MTTF_{T_1}}{MTTF_{T_0}} = e^{-\frac{E_a}{k}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

Določitev aktivacijske energije E_a



Mehanizem	E_a
preboj oksida	0,3 ÷ 0,5 eV
korozija	0,3 ÷ 0,6 eV
migracija elektronov	0,45 ÷ 1,0 eV
migracija ionov	0,6 ÷ 1,4 eV
napake sestavljanja	0,5 ÷ 0,7 eV

Vlaga

- Z vlago pogojeni mehanizmi okvar
 - korozija
 - elektrolitska korozija
 - migracija kovin
- Vlaga na mestu učinka običajno ni enaka zračni vlagi
- Vlaga prodira v material skozi mikrorazpoke, poroznost ipd. s pomočjo difuzije
- Faktor pospešitve staranja zaradi povišane vlage opišemo s Hallberg-Peckovo empirično enačbo

$$AF_{RH} = \left(\frac{RH_t}{RH_u} \right)^3 e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t} \right)}$$

- RH_t -vlaga okolice med testiranjem
- RH_u – vlaga okolice pri delovanju

Napajalna napetost

- Vpliv napajalne napetosti na pogostost odpovedi lahko opišemo z empirično enačbo

$$\lambda_U = \lambda_{U_{max}} e^{z(U-U_{max})}$$

- U_{max} – najvišja dopustna napetost
- U – obratovalna napetost
- z – eksponent s tipično vrednostjo med 3 in 5
- λ_U - pogostost okvar pri obratovalni napetosti
- $\lambda_{U_{max}}$ - pogostost okvar pri maksimalni dopustni napetosti

Napajalni tok

- Vpliv povečanega toka na srednji čas do odpovedi je podan z naslednjo empirično enačbo (Black eq.)

$$MTTF = AJ^{-n}e^{\frac{E_a}{kT}}$$

- Kjer je:
 - A konstanta, odvisna od vrste materiala
 - n eksponent, odvisen od tokove gostote ($n = 1 \sim 3$),
 - J gostota toka.
 - E_a aktivacijska energija (0,5 – 1,2 eV)
- Formula izhaja iz efekta elektromigracije

Termični cikli

- Termični cikli povzročajo termo-mehanske učinke in se obravnavajo skupaj s temperaturnim šokom.
- Mehanizmi, ki privedejo do okvare:
 - utrujenost materiala,
 - različni raztezki materialov,
 - stiki zaradi migracij in kondenza,
 - deformacije in lomi,
 - odstopanje lameliranih površin.
- Srednji čas do odpovedi določenega materiala opisuje Coffin-Mansonova formula:

$$MTTF = \frac{C}{\Delta T^\gamma}$$

- Nadgrajena C-M formula za modeliranje napak spajke zaradi termičnega ciklanja

$$MTTF = \frac{C f^\alpha}{\Delta T^\beta} A e^{\frac{E_a}{kT}}$$

Merjenje zanesljivosti

- Beleženje izpadov v okviru N naprav.
- t_i je trenutek, ko odpove i -ta naprava.
- Zanesljivost v tem trenutku je približno enaka razmerju med delujočimi in vsemi testiranimi napravami.

$$R(t_i) = \frac{N + 1 - i}{N + 1}$$

- Metoda da dobre rezultate, če se obdeluje dovolj veliko število vzorcev.
- Težave:
 - Že na začetku meritev je treba imeti veliko število naprav.
 - Delovanje velike skupine ni poceni.
 - Testi so dolgotrajni.
 - V daljšem obdobju je težko zagotavljati enake pogoje delovanja.

Ekstrapolacija

- Če je poznana oblika časovnega poteka zanesljivosti, je dovolj, da se poišče samo nekaj začetnih vrednosti krivulje.
- Iz dobljenih točk in poznane oblike se lahko določi vse parametre.
- V tem primeru že razmeroma malo vzorcev in kratkotrajne meritve dajo zadovoljive rezultate.

Skrajšava časa testiranja

- Dolgotrajne meritve se skrajša na več načinov.
 - Ekstrapolacija
 - Pospešeno staranje
- Ekstrapolacija
 - Če je poznana oblika časovnega poteka zanesljivosti, je dovolj, da se poišče samo nekaj začetnih vrednosti krivulje.
 - Iz dobljenih točk in poznane oblike se lahko določi vse parametre.
 - V tem primeru že razmeroma malo vzorcev in kratkotrajne meritve dajo zadovoljive rezultate.

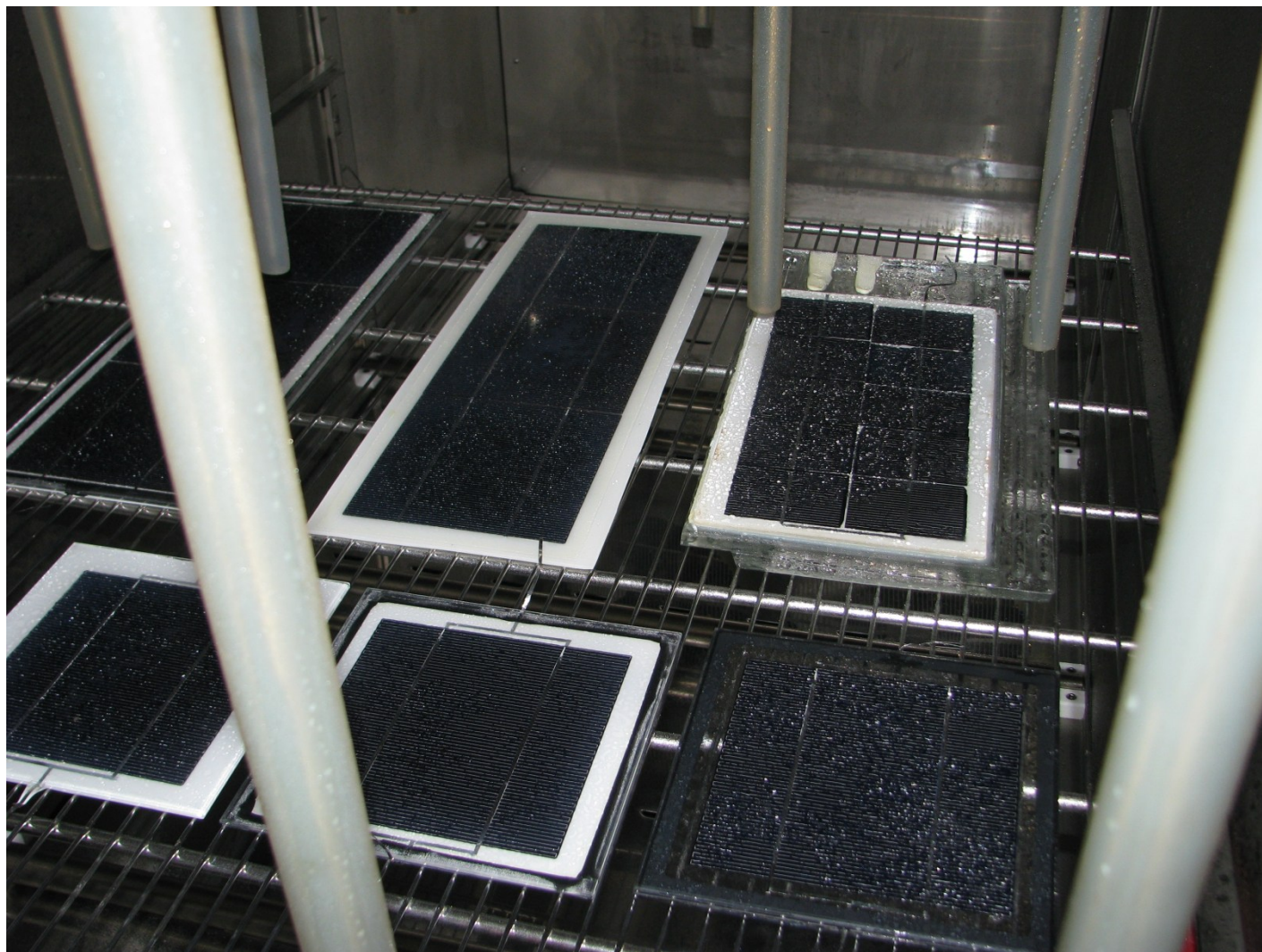
Pospešeno testiranje

- Pospešeno testiranje je namerno staranje proizvoda, zaradi česar pride do večjega števila normalnih napak pri poslabšanih pogojih delovanja, kot ga pričakujemo pri normalni uporabi.
- Učinek: Čas testiranja je skrajšan in uspešni rezultati so doseženi mnogo hitreje, kot pri normalnih obratovalnih pogojih.
- Namen:
 - ugotavljanje šibkih elementov načrtovanja (Accelerated Stress Testing – AST),
 - ocena parametrov zanesljivosti (Accelerated Life Testing – ALT).
- Dve tehniki pospeševanja:
 - povečanje aktivnosti naprav,
 - poslabšanje pogojev obratovanja.
- Faktorji pospešitve:
 - povečanje frekvence obremenjenega delovanja,
 - povečane vibracije,
 - povišana vlaga,
 - ostrejši in povečani temperaturni cikli,
 - višje temperature delovanja.

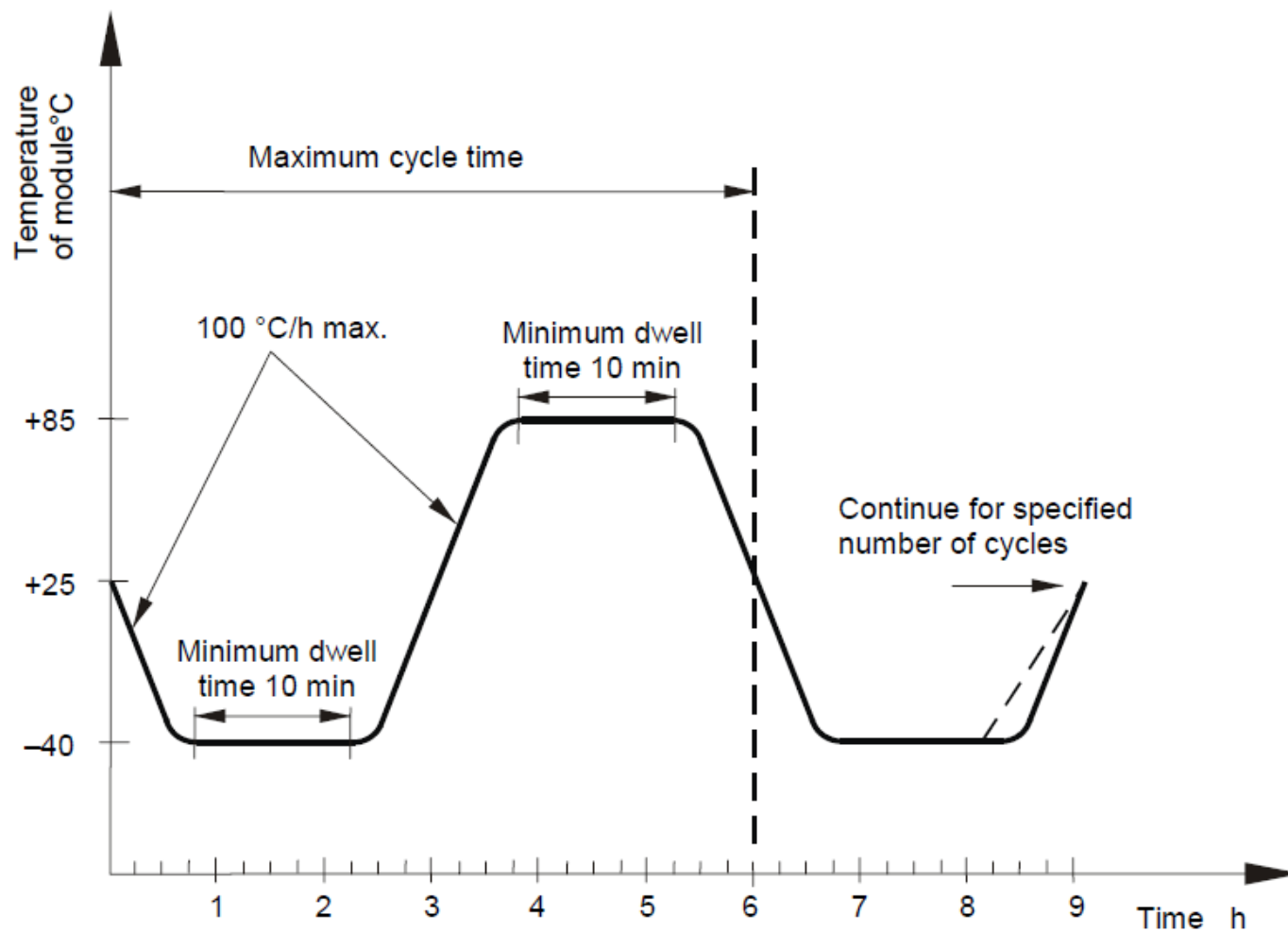
Pospeševalni faktor

$$AF = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

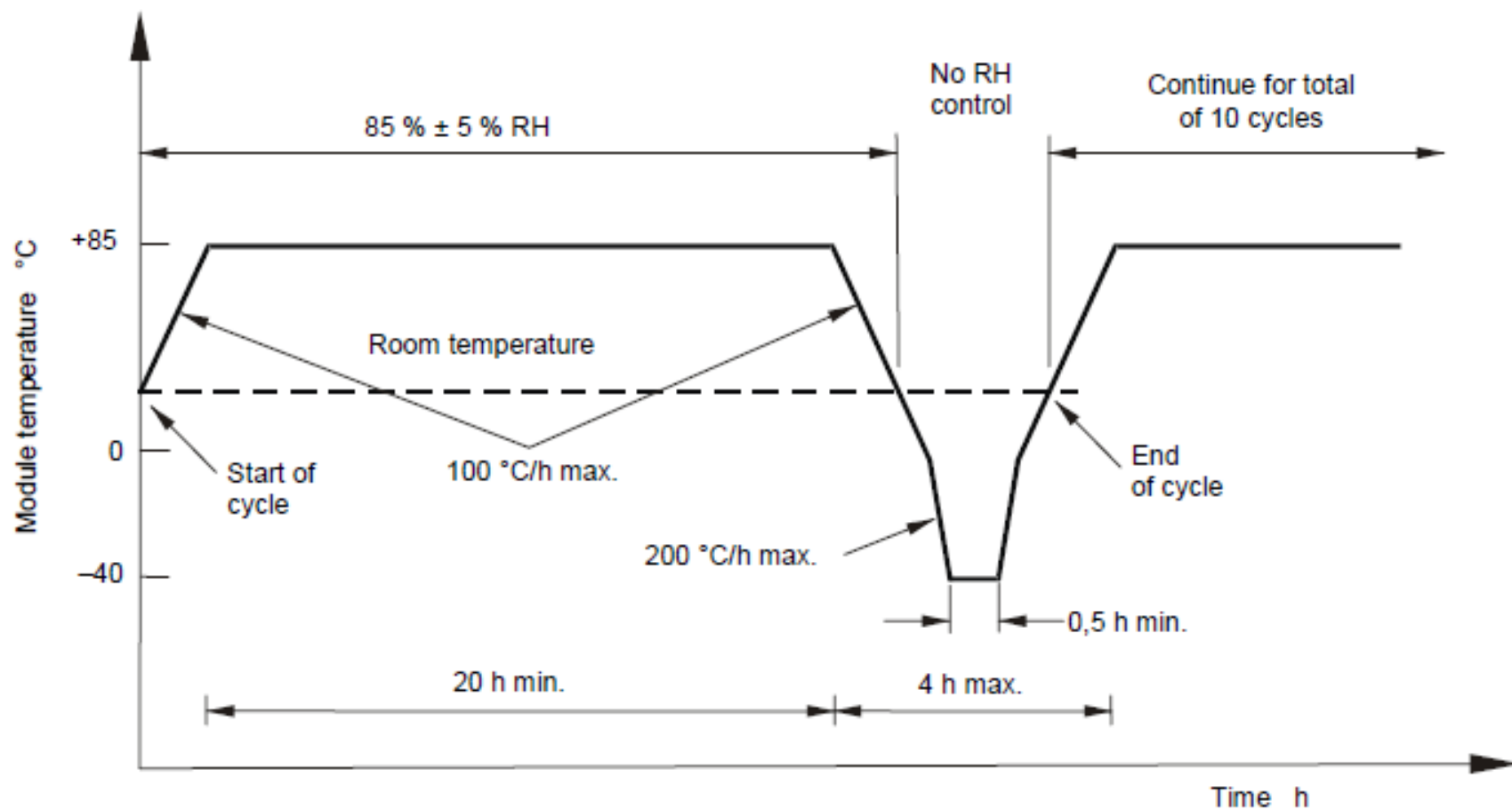
Testiranje vpliva temperature in vlage



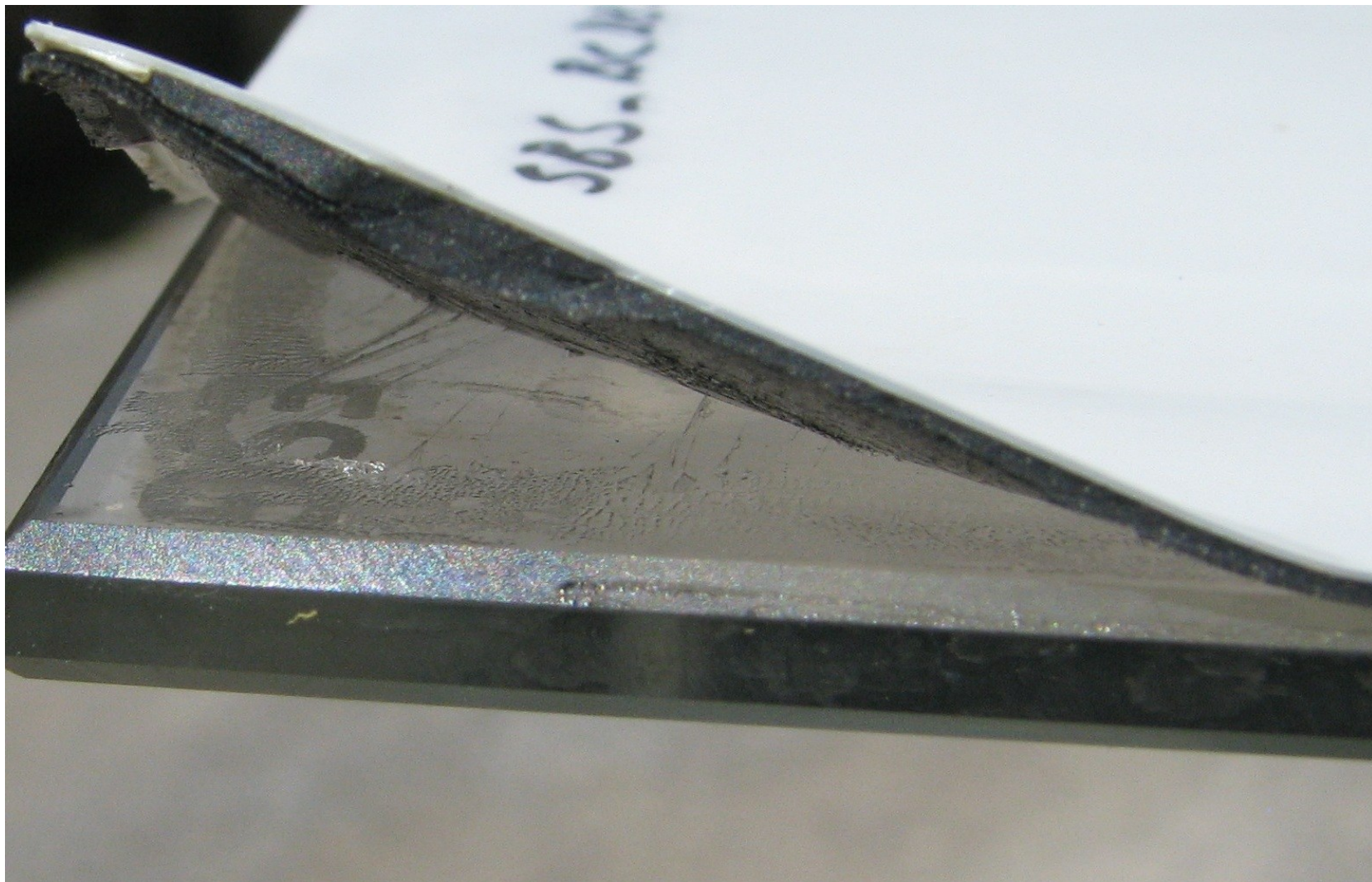
Termično ciklanje



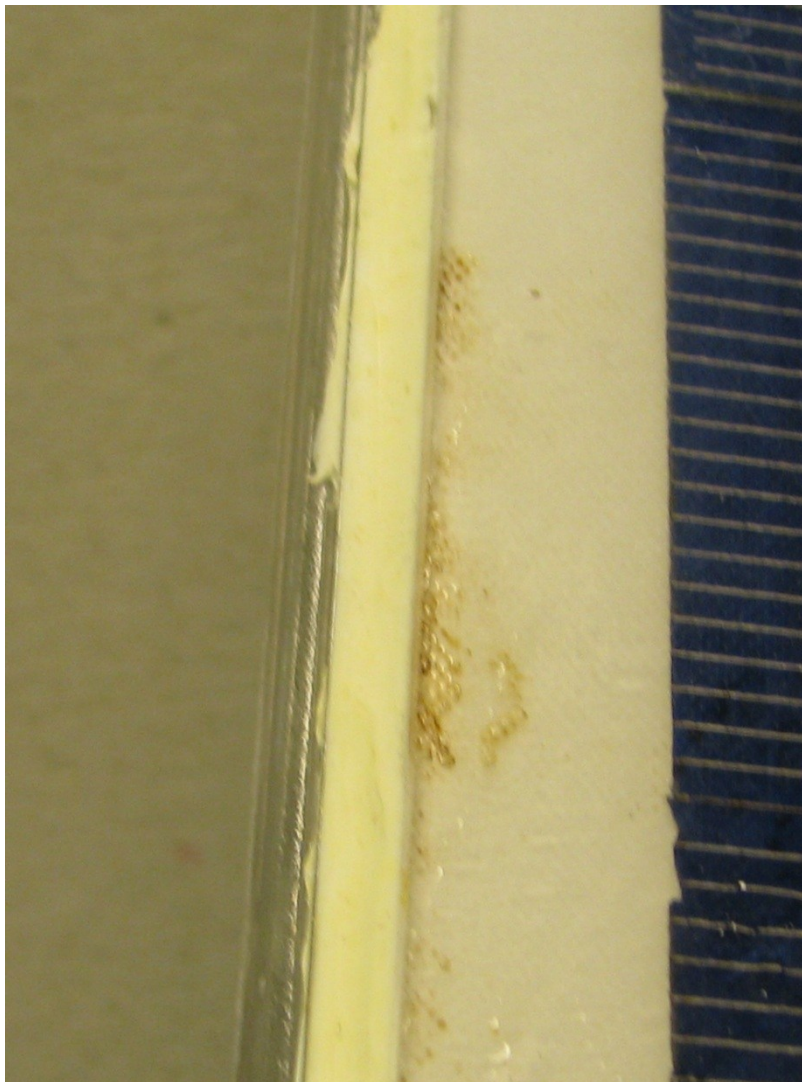
Zamrznitveni test



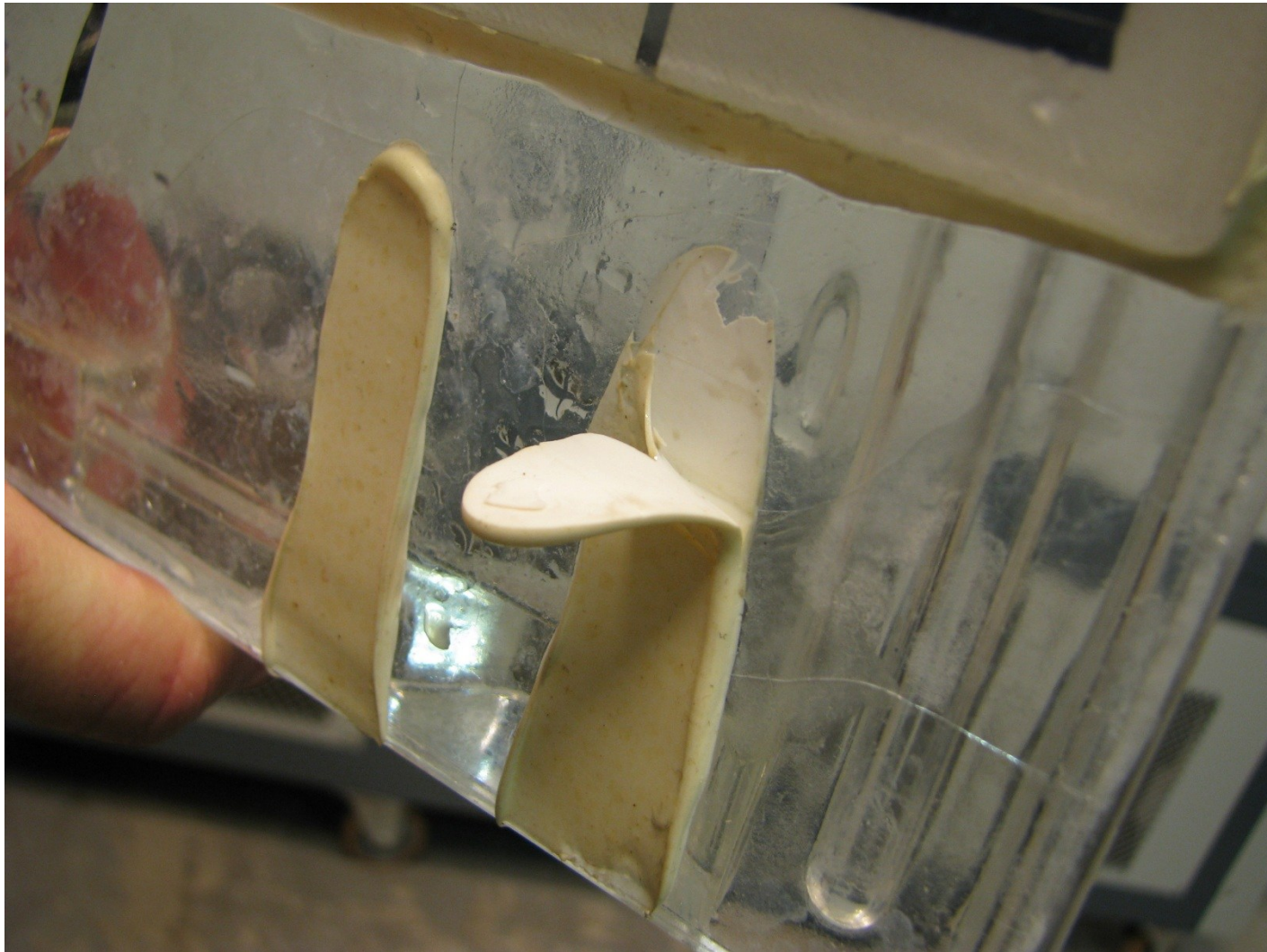
Odstopanje



Vdor vlage in umazanije

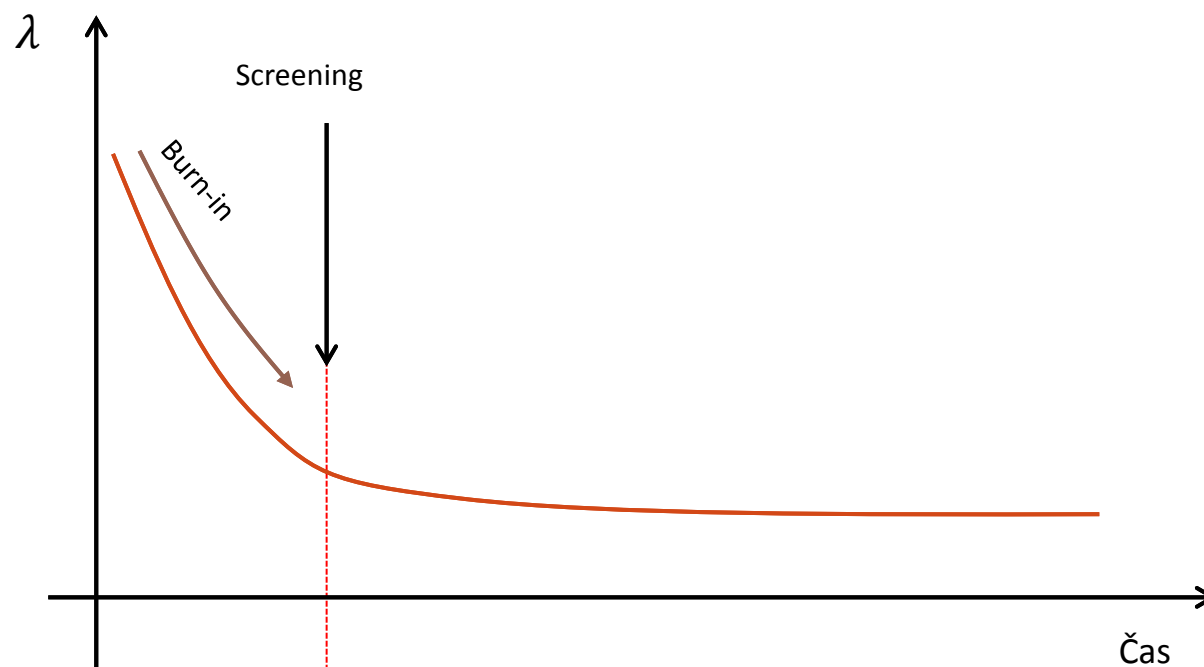


Degradacija materialov



Burn-in & Screening

- Testno delovanje pod težjimi pogoji za hitro prebroditev otroške dobe.
- Dobre izdelke pripelje do dobe uporabe, slabe pa izloči, še preden jih dobijo uporabniki
- Posebna oblika proizvodnega testiranja, običajno del kontrole kvalitete na koncu proizvodnega procesa



Podatkovne baze

- MIL-HDBK-217X
 - 217A (1965 – podatki iz terena)
 - 217B (1970 – podatki iz terena)
 - 217C (1979 – iz pospešenih testov)
 - 217D (1982 – iz pospešenih testov)
 - 217E (1986 – iz pospešenih testov)
 - 217F (1991 – iz pospešenih testov)
- Handbook of reliability data for electronic components used in telecommunication systems (British Telecom)
- Reliability prediction Procedure for Electronic Equipement
 - Temelji na MIL-HDBK-217 – leta 1985 se osamosvoji
 - Vključeni tudi modeli padajoče $\lambda(t)$
- SM 19 5000 (Siemens)
 - Interni standardi za lastne komponente

Primer za elektrolitski aluminijev kondenzator

10.14 CAPACITORS, FIXED, ELECTROLYTIC, ALUMINUM

SPECIFICATION MIL-C-39018 **STYLE** CUR and CU **DESCRIPTION** Electrolytic, Aluminum Oxide, Est. Rel. and Non-Est. Rel.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_Q \pi_E \text{ Failures/10}^6 \text{ Hours}$$

Base Failure Rate - λ_b
(T = 85°C Max Rated)
(MIL-C-39018 Style 71)

T _A (°C)	Stress				
	.1	.3	.5	.7	.9
0	.0095	.011	.019	.035	.064
10	.012	.015	.024	.046	.084
20	.017	.020	.033	.062	.11
30	.023	.028	.046	.087	.16
40	.034	.042	.068	.13	.23
50	.054	.065	.11	.20	.36
60	.089	.11	.18	.33	.60
70	.16	.19	.31	.58	1.1
80	.29	.35	.58	1.1	2.0

$$\lambda_b = .00254 \left[\left(\frac{S}{.5} \right)^3 + 1 \right] \exp \left(5.09 \left(\frac{T+273}{358} \right)^5 \right)$$

T = Ambient Temperature (°C)

S = Ratio of Operating to Rated Voltage

Operating voltage is the sum of applied D.C. voltage and peak A.C. voltage.

Base Failure Rate - λ_b
(T = 105°C Max Rated)
(MIL-C-39018 Styles 16 and 17)

T _A (°C)	Stress				
	.1	.3	.5	.7	.9
0	.0070	.0084	.014	.026	.047
10	.0085	.010	.017	.031	.057
20	.011	.013	.021	.040	.072
30	.014	.017	.027	.051	.094
40	.019	.022	.037	.069	.13
50	.026	.031	.052	.097	.18
60	.038	.046	.076	.14	.26
70	.059	.071	.12	.22	.40
80	.095	.11	.19	.35	.64
90	.16	.20	.32	.61	1.1
100	.30	.36	.59	1.1	2.0

$$\lambda_b = .00254 \left[\left(\frac{S}{.5} \right)^3 + 1 \right] \exp \left(5.09 \left(\frac{T+273}{378} \right)^5 \right)$$

T = Ambient Temperature (°C)

S = Ratio of Operating to Rated Voltage

Operating voltage is the sum of applied D.C. voltage and peak A.C. voltage.

Base Failure Rate - λ_b
(T = 125°C Max Rated)

(All MIL-C-39018 Styles Except 71, 16 and 17)

T _A (°C)	Stress				
	.1	.3	.5	.7	.9
0	.0055	.0067	.011	.021	.038
10	.0065	.0078	.013	.024	.044
20	.0077	.0093	.015	.029	.052
30	.0094	.011	.019	.035	.064
40	.012	.014	.023	.044	.080
50	.015	.019	.030	.057	.10
60	.021	.025	.041	.077	.14
70	.029	.035	.057	.11	.20
80	.042	.050	.083	.16	.28
90	.064	.077	.13	.24	.43
100	.10	.12	.20	.38	
110	.17	.21	.34	.63	
120	.30	.37	.60	1.1	

$$\lambda_b = .00254 \left[\left(\frac{S}{.5} \right)^3 + 1 \right] \exp \left(5.09 \left(\frac{T+273}{398} \right)^5 \right)$$

T = Ambient Temperature (°C)

S = Ratio of Operating to Rated Voltage

Operating voltage is the sum of applied D.C. voltage and peak A.C. voltage.

10.14 CAPACITORS, FIXED, ELECTROLYTIC, ALUMINUM

Capacitance Factor - π_{CV}

Capacitance, C (μF)	π_{CV}
2.5	.40
55	.70
400	1.0
1700	1.3
5500	1.6
14,000	1.9
32,000	2.2
65,000	2.5
120,000	2.8

$$\pi_{CV} = .34C^{0.18}$$

Environment Factor - π_E

Environment	π_E
G _B	1.0
G _F	2.0
G _M	12
N _S	6.0
N _U	17
A _{IC}	10
A _{IF}	12
A _{UC}	28
A _{UF}	35
A _{RW}	27
S _F	.50
M _F	14
M _L	38
C _L	690

Quality Factor - π_Q

Quality	π_Q
S	.030
R	.10
P	.30
M	1.0
Non-Est. Rel.	3.0
Lower	10

Primer za integrirana vezja

$$\lambda = \pi_Q(C_1\pi_T\pi_V + (C_2 + C_3)\pi_E)\pi_L$$

- π_Q - faktor temperature
- π_V - faktor napajalne napetosti
- π_E - faktor učenja
- π_L - faktor okolja
- C_1, C_2 - pogostost odpovedi zaradi kompleksnosti vezja
- C_3 - pogostost odpovedi zaradi kompleksnosti ohišja