

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Igor Vizec

**Analiza standardov za določanje zanesljivosti
elektronskih komponent**

DIPLOMSKA NALOGA
NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Miha Mraz

Ljubljana, 2010



Št. naloge: 01636/2010

Datum: 15.02.2010

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **IGOR VIZEC**

Naslov: **ANALIZA STANDARDOV ZA DOLOČANJE ZANESLJIVOSTI
ELEKTRONSKIH KOMPONENT**
**ANALYSIS OF STANDARDS USED FOR RELIABILITY ESTIMATION
OF ELECTRONIC COMPONENTS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Kandidat naj v svojem delu razišče področje standardov za računsko določanje intenzivnosti odpovedovanja in s tem posredno zanesljivosti delovanja posameznih elektronskih komponent. Ocene zanesljivosti, do katerih vodijo standardi, naj med seboj primerja na osnovi kosovnice gradnikov kompleksnega digitalnega komunikacijskega sistema slovenskega proizvajalca. Na koncu dela naj kandidat poda končno mnenje o najbolj smiselnem načinu določanja intenzivnosti odpovedovanja komponent.

Mentor:

prof. dr. Miha Mraz



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

Namesto te strani vstavite original izdelane teme diplomskega dela s podpisom mentorja in dekana ter žigom fakultete, ki ga diplomant dvigne v študentskem referatu, preden odda izdelek v vezavo!

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a **IGOR VIZEC**,

z vpisno številko **63020177**,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Analiza standardov za določanje zanesljivosti elektronskih komponent

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom (naziv, ime in priimek)
prof. dr. Miha Mraz
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 11.2.2009

Podpis avtorja: _____

Zahvala

Za strokovno pomoč in vodenje pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem svojemu mentorju, prof. dr. Mihi Mrazu ter Matiji Milostniku iz IskraTel d.o.o. za pomoč pri uporabi programskega orodja za izračun zanesljivosti komponent.

Zahvaljujem se tudi staršem in dekletu za potrpežljivost in razumevanje ob pisanju diplome.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1. Uvod	3
2. Teorija zanesljivosti	4
2.1. Definicija zanesljivosti	4
2.2. Intenzivnost odpovedovanja	4
2.3. Pomembni časi	5
2.4. Življenjske faze sistema	5
2.5. Funkcija zanesljivosti	6
2.6. Intenzivnost odpovedovanja	6
2.6.1. Konstantna intenzivnost odpovedovanja	6
2.6.2. Linearno rastoča intenzivnost odpovedovanja	7
2.6.3. Weibullov model intenzivnosti odpovedovanja	8
2.6.4. Relacija MTBF in λ pri konstantni intenzivnosti odpovedovanja	9
2.6.5. Misijska doba v povezavi z MTBF	10
3. Standardi za izračun zanesljivosti elektronskih komponent	11
3.1. MIL-HDBK-217F	12
3.1.1. "Parts count prediction" metoda	12
3.1.2. "Parts stress analysis prediction" metoda	12
3.1.3. Izbrane komponente	14
3.2. IEC 62380	16
3.2.1. Unikatne lastnosti IEC 62380	16
3.2.2. Izbrane komponente	18
3.3. Telcordia SR-332	20
3.3.1. Izbrane komponente	20
4. Izračun kosovnice	22
4.1. Opis kosovnice	22

4.2.	Avtomatiziran izračun	22
4.2.1.	MIL-HDBK-217F	23
4.2.2.	Telcordia SR-322	24
4.2.3.	Zanesljivost v času	26
4.3.	Ročni izračun	26
4.3.1.	MIL-HDBK-217F	27
4.3.2.	IEC 62380	27
4.4.	Povzetek.....	28
4.4.1.	Zanesljivosti sistema kot celote.....	28
4.4.2.	Zanesljivosti izbranih komponent	28
4.4.3.	Komentar standardov	30
5.	Zaključek.....	33
	Literatura in viri	34

Seznam slik

Slika 2.1: Življenjske faze sistema	6
Slika 2.2: Shema padajoče zanesljivosti za konstantno in linearno rastočo funkcijo λ	8
Slika 4.1: Primerjava zanesljivosti celotne plošče XX7	28
Slika 4.2: Primerjava zanesljivosti posameznih komponent po različnih standardih.....	29

Seznam tabel

Tabela 3.1: Razredi kvalitete za različne tipe komponent po MIL-HDBK-217F.....	13
Tabela 3.2: Različni tipi okolij delovanja po MIL-HDBK-217F.....	14
Tabela 4.1: Razpored osnovnih komponent kosovnice XX7 po družinah.	22
Tabela 4.2: Primerjava zanesljivosti celotne plošče XX7 po MIL-HDBK-217F v odvisnosti od temperature okolja.....	23
Tabela 4.3: Izračun predstavnikov družin z orodjem BQR CARE	23
Tabela 4.4: Doprinos k odpovedi po posameznih družinah za MIL-HDBK-217F.....	24
Tabela 4.5: Primerjava zanesljivosti celotne plošče po Telcordia SR-332 v odvisnosti od temperature okolja.....	24
Tabela 4.6: Izračun predstavnikov družin z orodjem BQR CARE po standardu.....	25
Tabela 4.7: Doprinos k odpovedi po posameznih družinah za Telcordia SR-332.....	25
Tabela 4.8: Izračun $R(t)$ v podanih časovnih točkah za standard MIL-HDBK-217F.....	26
Tabela 4.9: Izračun $R(t)$ v podanih časovnih točkah za standard Telcordia SR-332.....	26
Tabela 4.10: Ročni izračun λ predstavnikov družin po enačbah za MIL-HDBK-217F.	27
Tabela 4.11: Ročni izračun λ predstavnikov družin po enačbah za IEC 62380.....	27
Tabela 4.12: Primerjava zanesljivosti posameznih komponent po različnih standardih	29

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

- MTTF – angl. mean time to failure,
- MTBF – angl. mean time between failures,
- MTTR – angl. mean time to repair,
- λ – intenzivnost odpovedovanja,
- XX7 – telekomunikacijska komponenta,
- št. odp. – število odpovedi.

Povzetek

Elektronska vezja, ki jih danes uporabljamo v vsakdanjem življenju so zelo raznolika. Vsako vezje ima svojo namembnost in se uporablja na različne načine v različnih okoljih. Nekatera vezja bodo izpostavljena težkim vremenskim razmeram, medtem ko bodo druga varno spravljena v kontroliranem okolju, npr. v pisarni.

Vsakega razvijalca in končnega uporabnika zanima predvidena življenjska doba naprave. Za določitev le-te je potrebno vedeti koliko časa in pod kakšnimi zunanjimi vplivi bo naprava delovala. Ti podatki so ključnega pomena za izbiro pravih komponent naprave. Katere komponente izbrati za pravilno delovanje naprave, ki ima v naprej določeno namembnost in okolje delovanja, nam določajo različni standardi.

V diplomski nalogi je najprej predstavljena teorija zanesljivosti, v kateri opišem osnovne pojme zanesljivosti. Nato so podrobneje razdelani trije najbolj znani in razširjeni standardi za določanje zanesljivosti elektronskih komponent – MIL-HDBK-217F, IEC 63280 in Telcordia SR-332. Predstavljene so prednosti in slabosti omenjenih standardov v teoriji, nato pa še na konkretnem primeru izračuna zanesljivosti večjega elektronskega vezja, ki se uporablja v telekomunikacijah. Za omenjeno vezje so narejeni tako avtomatizirani izračuni faktorja intenzivnosti odpovedovanja s pomočjo programskega orodja BQR CARE, kot tudi primerjava teh rezultatov z rezultati ročnega izračuna po enačbah iz standardov.

Kot se izkaže, je potrebno biti pri primerjanju komponent po standardih previden in ni dovolj, da se zanašamo samo na končne številke, saj se lahko te zelo razlikujejo od načina izračuna. Prav tako je pomembno, da vemo, po katerem standardu je bila izdelana zanesljivostna analiza, saj kot pokažejo rezultati, je razlika lahko zelo velika.

Ključne besede:

zanesljivostna analiza, zanesljivostni standardi, intenzivnost odpovedovanja, MIL-HDBK-217F, Telcordia SR-332, IEC 63280

Abstract

There are a lot of different electronic circuits we use in everyday life. Each of them has their own intended usage and are used in different ways in different environments. Some circuits will be exposed to bad weather conditions, while others will be safely placed in controlled environment, e. g. in an office.

Each developer and user is interested in the expected life span of the device. In order to determine the expected life span, we need to be aware of the environment where the device will be performing and the amount of time it will be working. This data is crucial for choosing the components of a device. Therefore, standards which help us to correctly choose the components have been established on the basis of the previously defined intended use and work environment of the device.

My thesis presents the reliability theory, where basic concepts of reliability are discussed. Further on, three most commonly used standards are described (MIL-HDBK-217F, IEC 63280 and Telcordia SR-332). Advantages and disadvantages of the standards are first presented in theory and later applied on a real electronic circuit which is used in telecommunications. Automatic calculations of failure rates of the mentioned circuit were made with the BQR CARE tool, as well as the comparison of these results with the results obtained with calculations according to the equations defined in the standards.

It is shown that comparison of components according to standards demands a lot of attention and it does not suffice to check the final results as they can vary according to the type of the used calculation. It is also important to know according to which standard the reliability analysis was done because, as the results show, there are great differences.

Key words:

Reliability analysis, reliability standards, failure rate, MIL-HDBK-217F, IEC 63280, Telcordia SR-332

1. Uvod

Integrirana vezja so naredila pravo revolucijo v elektrotehniko, ko je leta 1958 Jack Kilby (Texas Instruments) prišel na plan z idejo o "telesu iz polprevodnega materiala, na katerem so vse komponente elektronskega vezja popolnoma integrirane". Da je odkritje res pomembno, priča tudi Nobelova nagrada, ki jo je prejel za svoj del pri izumu teh čudežnih "ploščic" [1].

Če so bila do takrat elektronska vezja velika in nerodna za vsesplošno uporabo, je ta izum sprožil revolucijo. Danes si skoraj ne predstavljamo sveta brez majhnih elektronskih naprav. Integrirana vezja najdemo povsod, od računalnikov, prevoznih sredstev, mobilnih telefonov itd. Ker so tako majhna in uporabna, se pojavljajo tudi tam, kjer jih sploh ne bi pričakovali. Bila so odločilna za zgodnje projekte vesoljskih poletov, saj so bili računalniki sestavljeni iz vezij veliko lažji in manjši kot do tedaj. Z njihovo pomočjo so postali varnejši celo avtomobili, ki današnje čase uporabljajo skoraj več elektronike kot mehanskih delov. Celohladilniki so postali pametnejši v zadnjih letih na njihov račun. Še več, vsi moderni izračuni, vse komunikacije, manufakture in transportni sistemi (vključno z internetom) se zanašajo na obstoj integriranih vezij.

Ker se vezja uporabljajo praktično povsod, je postalo vprašanje zmogljivosti in zanesljivosti letih zelo pomembno. Vezja za mobilni telefon, ki ga ima sedaj že vsak, ali pa vezja za podporo na vesoljski postaji že v osnovi ne morejo biti enake kvalitete. Če se nam pokvari mobilni telefon, bomo imeli nekaj sitnosti, predno ga servis popravi, kaj hudega pa ne bo, če pa bi odpovedalo vezje na vesoljski postaji, ki skrbi za ohranjanje zadostne vrednosti kisika, bi imeli astronauti na njej veliko večje probleme.

Kot odgovor na vprašanje, katero vezje je dobro za kateri namen, so se pojavili standardi. Vezja, za katera je visoka zanesljivost kritična, bodo morala biti narejena na drugačen način in iz bolj stestiranih delov kot vezja, za katera visoka zanesljivost ni tako pomembna. Katere dele, materiale in način združevanja komponent uporabiti, se mora vprašati vsako podjetje, ki želi s svojimi izdelki konkurirati na tržišču. V svoji diplomski nalogi sem se usmeril na opis različnih standardov, ki se danes uporabljajo v poslovnem svetu, nato pa sem njihove dobre in slabe strani preveril še na realnem primeru, in sicer na izračunu zanesljivosti za kompleksni telekomunikacijski produkt, razvit v Sloveniji.

2. Teorija zanesljivosti

2.1. Definicija zanesljivosti

Po [2] obstajata dve definiciji zanesljivosti, in sicer uporabniška in snovalska.

Definicija 1: Zanesljiv sistem je tisti, ki počne natanko to, kar uporabnik želi in to natanko takrat, ko uporabnik to od sistema zahteva.

Ta definicija je zelo površna saj je v praksi nemogoče narediti sistem, ki bo v čisto vseh pogledih ugodil vsem uporabnikovim željam.

Definicija 2: Zanesljivost je definirana kot verjetnost, da bo sistem deloval v naprej podanem časovnem intervalu in v naprej podanih delovnih pogojih brez odpovedi.

Kot že ime pove, je tej definiciji lažje zadostiti iz snovalskega vidika. Je pa potrebno ob snovanju sistema zelo dobro definirati vse pogoje delovanja.

2.2. Intenzivnost odpovedovanja

Že iz vsakdanjega življenja vemo, da so naprave pokvarljive. Da bi imeli čim manj problemov ob odpovedih naprav v prihodnosti, je dobro predvideti, kako pogosto bo določena naprava odpovedala oziroma kdaj ne bo več delovala zanesljivo.

V ta namen vpeljemo spremenljivko λ , ki predstavlja intenzivnost odpovedovanja. Merimo jo s številom odpovedi v določenem časovnem intervalu (npr. št. odp. / 10^6 ur). Tipični velikostni rangi so:

- 1 fatalna odpoved na 10^7 prevoženih ur v civilnem letalskem prometu,
- 1 odpoved na 10^9 delovnih ur v seriji elektronskih vezij.

Ker so današnji elementi že zelo zanesljivi in je pogostost odpovedi majhna, je kot osnovna enota na področju zanesljivosti elektronskih komponent izbrana primerno majhna enota, imenovana 1 FIT (angl. failure in time), definirana kot

$$1 \text{ FIT} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ odpovedi}}{\text{element } h}. \quad (1)$$

2.3. Pomembni časi

Pri določanju intenzivnosti odpovedovanja poleg spremenljivke λ nastopajo tudi nekateri časi v vlogi zanesljivostnih kazalcev:

- MTTF (angl. *mean time to failure*) označuje pričakovani čas do odpovedi, pri čemer govorimo o nepopravljivih sistemih;
- MTBF (angl. *mean time between failures*) označuje pričakovani čas med dvema zaporednima odpovedma pri popravljivih sistemih;
- MTTR (angl. *mean time to repair*) označuje pričakovani čas za odpravo napake oziroma čas nedelovanja sistema pri popravljivih sistemih.

2.4. Življenjske faze sistema

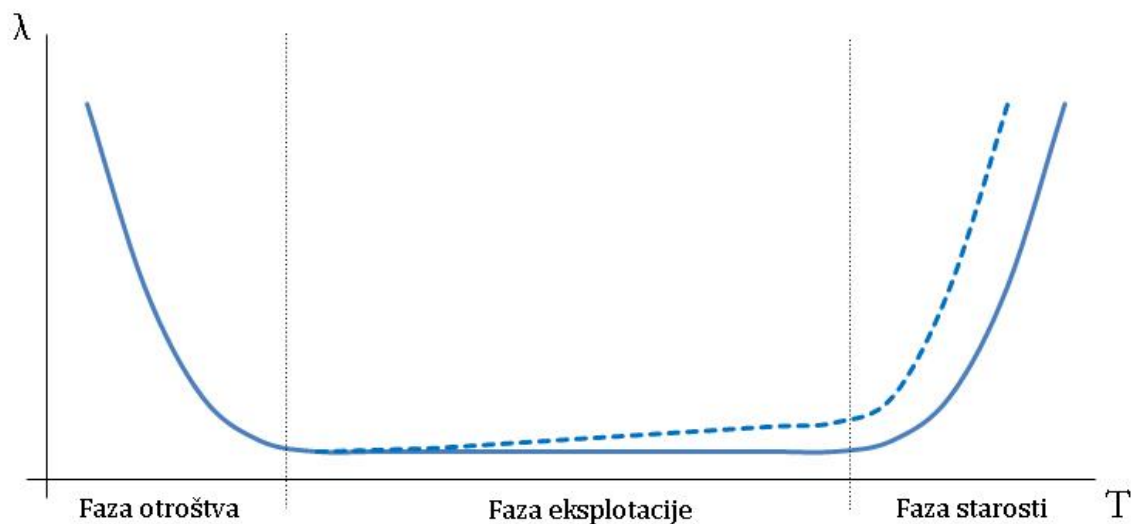
Vsak izdelek gre po [3] čez več t.i. življenjskih faz. Življenjsko dobo izdelka razdelimo na tri življenjske faze sistema, kot je razvidno iz slike 2.1, in sicer na

- a) fazo otroštva,
- b) fazo izrabljanja (eksplotacije),
- c) fazo starosti.

V fazi otroštva je izdelek, ki je bil pravkar razvit in ima višjo stopnjo odpovedovanja kot izdelek, ki je že nekaj časa v testiranju oziroma že v splošni uporabi. S testiranjem se tako prepoznajo komponente, ki imajo visok faktor odpovedovanja. Te komponente se nato lahko zamenjajo ali prerazporedijo. Zato intenzivnost odpovedovanja v tej fazi hitro upada.

Fazi otroštva sledi faza izrabljanja (eksplotacije). V tej fazi je izdelek že izpopolnjen in v splošni uporabi. Intenzivnost odpovedovanja je v tej fazi najpogosteje konstantna ali linearno rastoča. Konstantna intenzivnost odpovedovanja je značilna za komponente, ki se fizično ne obrabljajo, kot na primer integrirana vezja. Linearno rastočo intenzivnost odpovedovanja pa najpogosteje srečamo pri komponentah, ki se s časom obrabljajo, npr. avtomobilske pnevmatike.

Fazi izrabljanja (eksplotacije) izdelka sledi faza starosti. Ta faza nastopi proti koncu predvidene življenjske dobe izdelka. Zaradi utrujenosti materialov intenzivnost odpovedovanja zelo hitro raste.



Slika 2.1: Življenjske faze sistema (v fazi eksploatacije polna črta predstavlja konstantno λ , črtkana črta pa linearno rastočo λ).

2.5. Funkcija zanesljivosti

Po [4] lahko funkcijo zanesljivosti označimo z $R(t)$, ki predstavlja časovno spremenljivo verjetnost. Izraža se kot integral gostote verjetnosti časa odpovedi po izrazu

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx. \quad (2)$$

2.6. Intenzivnost odpovedovanja

Intenzivnost odpovedovanja v fazi izrabljanja (eksploatacije) je lahko:

- a) konstantna,
- b) linearno rastoča ali
- c) druge oblike.

2.6.1. Konstantna intenzivnost odpovedovanja

Konstantna intenzivnost odpovedovanja je tipična za npr. linearne elektronske elemente (kondenzatorji, upori, itd.), integrirana vezja, itd. Za elektronske komponente je doba otroštva približno 10^4 delovnih ur (kar je približno eno delovno leto). Doba otroštva pa se lahko tudi skrajša – v primeru, da se izdelek testira v slabših delovnih pogojih.

Funkcija zanesljivosti za konstantno λ se tako izraža kot

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

kar je tudi prikazano na sliki 2.2, funkcija odpovedovanja po izrazu

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

MTTR se izraža po izrazu

$$MTTR = \frac{1}{\mu}, \quad (5)$$

pri čemer je μ intenzivnost servisiranja.

2.6.2. Linearno rastoča intenzivnost odpovedovanja

Linearno rastoča intenzivnost odpovedovanja je tipična za mehanske komponente, kjer s časom prihaja do večje fizične obrabe komponente (materiala).

Funkcija zanesljivosti za linearno rastočo λ se tako izraža kot

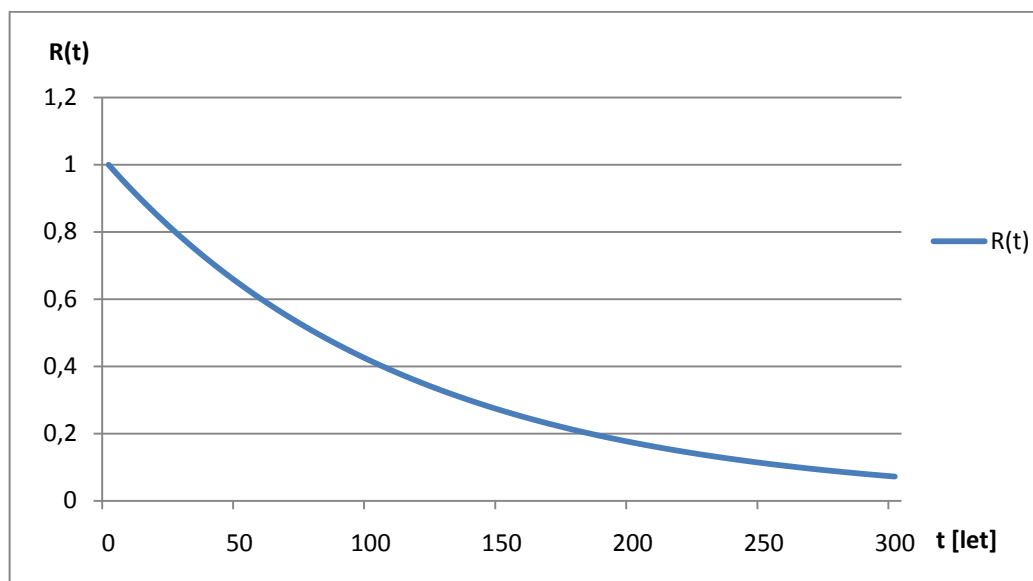
$$R(t) = e^{-\frac{\lambda t^2}{2}}, \quad (6)$$

funkcija odpovedovanja pa kot

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\frac{\lambda t^2}{2}}. \quad (7)$$

MTTF se izraža kot

$$MTTF = \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda}}. \quad (8)$$



Slika 2.2: Splošna shema padajoče zanesljivosti za konstantno in linearno rastočo funkcijo λ po enačbi (3).

2.6.3. Weibullov model intenzivnosti odpovedovanja

Weibullov model intenzivnosti odpovedovanja uporabimo takrat, ko λ ne moremo ponazoriti s konstantno ali linearno funkcijo. Intenzivnost odpovedovanja se v tem primeru izraža kot

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} t^{\alpha-1}, \quad (9)$$

funkcija zanesljivosti pa kot

$$R(t) = e^{-\frac{t^\alpha}{\beta}}, t > 0. \quad (10)$$

Funkcija odpovedovanja se izraža kot

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\frac{t^\alpha}{\beta}}, t > 0, \alpha, \beta \geq 0, \quad (11)$$

pri čemer je α oblikovni parameter porazdelitve, β pa karakteristični življenjski parameter porazdelitve.

Model lahko pokriva več različnih intenzivnosti odpovedovanja. Glede na parametra α in β ločimo:

- $\alpha = 1$ – konstantno odpovedovanje,
- $\alpha > 1$ – monotono rastočo intenzivnost odpovedovanja,
- $\alpha < 1$ – monotono padajočo intenzivnost odpovedovanja,
- $\alpha = 2$ – linearno rastočo intenzivnost odpovedovanja.

Obe konstanti se določita glede na pridobljene izkustvene podatke iz testiranj. S testiranj se poizkuša določiti ustrezno prileganje funkcije $\lambda(t)$ k podatkom o odpovedovanju.

2.6.4. Relacija MTBF in λ pri konstantni intenzivnosti odpovedovanja

Tekom uporabne življenjske dobe s predvideno konstantno intenzivnostjo odpovedovanja je po [5] MTBF kar inverz intenzivnosti odpovedovanja

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}. \quad (12)$$

Veliko ljudi narobe interpretira MTBF in ga razume kot minimalni, zagotovljeni čas med dvema odpovedma. Če odpovedi nastopajo naključno, je njihova porazdelitev eksponentna

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{\frac{-t}{MTBF}}. \quad (13)$$

Po določenem času t , ki je enak MTBF, $R(t)$ postane

$$R(t) = e^{-1} = 0.37. \quad (14)$$

To vrednost si lahko interpretiramo na več načinov.

- a) Če gledamo večje število enot, bo imelo le 37% enot daljšo življenjsko dobo od MTBF.
- b) Za posamezno enoto je verjetnost, da bo pravilno delovala v časovni točki MTBF le 37%.
- c) Statistično lahko rečemo, da bo ena enota pravilno upravljala celoten MTBF s 37% stopnjo zaupanja (angl. *confidence level*).

2.6.5. Misijska doba v povezavi z MTBF

Direktna povezava med misijsko dobo in intenzivnostjo odpovedovanja (angl. *failure rate*) ne obstaja. Lahko namreč izdelamo zelo zanesljiv izdelek z zelo kratko življenjsko dobo. Tipičen predstavnik je raketni izstrelek – mora biti izredno zanesljiv (MTBF nekaj milijonov ur), toda njegova misijska doba je v povprečju samo 0.06 ure (4 minute).

3. Standardi za izračun zanesljivosti elektronskih komponent

Povsod, kjer nekaj primerjamo, potrebujemo standarde. Če standardov ne bi bilo, bi vsak lahko trdil, da je po njihovih kriterijih njihov izdelek najboljši na tržišču. Tako so se pojavili različni neodvisni standardi, po katerih lahko primerjamo zanesljivost komponent vezij in zanesljivost vezij samih.

Najbolj razširjeni standardi za določanje intenzivnosti odpovedovanja so:

- MIL-HDBK-217F,
- IEC 62380 (RDF 2000),
- Telcordia (SR-332),
- China 299B (GJB/z-299B),
- Mechanical (NSWC-98/LE1).

Najstarejši med zanesljivostnimi standardi je MIL-HDBK-217F, ki ni bil nikoli namenjen komercialni rabi, vendar vsi današnji standardi temeljijo na njem. Ker pa je precej pesimističen in predvsem namenjen vojski, so se razvili še drugi standardi, ki poizkušajo popraviti slabosti MIL-HDBK-217F.

Iz standarda MIL-HDBK-217F se je za komercialno rabo pojavil Bellcore, ki ga je razvilo podjetje Bell Communications Research. Po letu 1999, ko je standard prevzelo podjetje SAIC, se je standard preimenoval v Telcordia in pod tem imenom ga poznamo še danes.

Po svoje so se znašli Kitajci, ki uporabljajo standard China 299B, ki je po [6] pravzaprav prilagojen MIL-HDBK-217F standard za njihove razmere. Omogoča računanje po "*Parts count*" in "*Parts stress*" metodi. Posebnost standarda je, da po obeh metodah ločeno obravnava komponente, ki niso domačega porekla.

Med bolj znanimi je še standard Mechanical, ki pa se uporablja za izračun zanesljivosti mehanskih komponent.

Najbolj izstopa standard IEC (angl. *International Electrotechnical Commission*) 62380, saj za razliko od drugih drugače interpretira določene parametre. Glavna razlika od ostalih standardov je prehod iz uporabe vplivnega faktorja okolja na misijske profile.

3.1. MIL-HDBK-217F

Prvotno je bil namenjen samo za vojaške potrebe, a je zaradi svoje uporabnosti prodrl tudi v civilno (komercialno) industrijo. Tako je postal razširjen standard za določevanje intenzivnosti odpovedovanja komponent v vojaški in komercialni industriji. Zadnja verzija tega standarda je MIL-HDBK-217F, ki je bila izdana leta 1991. Standard je imel še dve reviziji – "Notice 1" leta 1992 in "Notice 2" leta 1995. Vsi moji izračuni so bili narejeni z upoštevanjem dodatka "Notice 2" iz leta 1995.

Standard je po [4, 7] sestavljen iz dveh metod napovedovanja odpovedi, in sicer:

- a) angl. "*parts count prediction*",
- b) angl. "*parts stress analysis prediction*".

3.1.1. "Parts count prediction" metoda

Metoda "*parts count prediction*" je enostavnejša in hitrejša. Predvideva, da vsi deli delujejo pod tipičnimi delovnimi (referenčnimi) pogoji – podobna kompleksnost delov, ambientalna temperatura, električne obremenitve, delovne obremenitve, okolje, itd. Običajno se uporablja v začetni fazi razvoja, ko še nimamo natančnih podatkov o posameznih komponentah in je bolj od točnih vrednosti pomembna približna ocena odpovedi.

Intenzivnost odpovedovanja za celoten sistem $\lambda_{b,i}$ se po tej metodi izračuna po izrazu

$$\lambda_{b,i} = \sum_{i=i}^n (\lambda_{ref})_i, \quad (15)$$

pri čemer je λ_{ref} intenzivnost odpovedovanja pri referenčnih pogojih ter n število sestavnih delov.

3.1.2. "Parts stress analysis prediction" metoda

Ker vsi deli naprav nimajo enake kompleksnosti in ne delujejo pod enakimi pogoji, prihaja do različnih intenzivnosti odpovedovanja. To upošteva pričujoča metoda. Pri njej moramo poznati veliko več podrobnosti o vsakem delu, ki sestavlja napravo. Ta metoda se uporablja predvsem v končni fazi, ko je sistem že postavljen in natančno specificiran.

Splošna enačba intenzivnosti odpovedovanja po pričujoči metodi se izraža kot

$$\lambda = \sum_{i=1}^n f(\lambda_{ref,i}, \{K_i\}), \quad (16)$$

pri čemer je $\lambda_{ref,i}$ referenčna intenzivnost odpovedovanja, K_i vplivni faktor ter n število komponent.

Glavna vplivna faktorja, ki jih upoštevamo pri vseh komponentah, sta kvaliteta komponente in okolje delovanja.

MIL-HDBK-217F standard predvideva, da ima kvaliteta komponente (ang. *part quality*) neposreden vpliv na odpovedovanje komponente. Faktor kvalitete komponente se označuje s π_Q . Komponente se običajno združujejo v kvalitetne razrede, kot je razvidno iz tabele 3.1. Komponente, ki niso razporejene v omenjene razrede, razvrstimo po [8] v dva razreda kvalitete, in sicer "*MIL-Spec*" ter "*Lower*". Omenjenih razredov z oznakami kvalitete ne smemo primerjati z izvedbami komponent, kot jih navajajo proizvajalci, in sicer "*Industrial*" ter "*Commercial*". Te oznake namreč označujejo le temperaturne razrede.

Tip komponente	Oznaka razreda
Integrirana vezja	S, B, B-1, ostalo
Diskretni polprevodniki	JANTXV, JANTX, JAN
Kondenzatorji	D, C, S, R, B, P, M, L
Upori	S, R, P, M
Tuljave	S, R, P, M
Releji	R, P, M, L

Tabela 3.1: Razredi kvalitete za različne tipe komponent po MIL-HDBK-217F.

Faktor vpliva okolja upošteva različna okolja, v katerih se analizirani sistem nahaja oziroma deluje. Faktor okolja se označuje s π_E . Bistveni vplivi okolja, ki jih ta faktor zajema, so vibracije, pospeški, atmosferski tlak, temperaturna nihanja, itd. Za sisteme, ki menjajo okolja delovanja, moramo izdelati več ocen intenzivnosti odpovedovanja – za vsako okolje svojo. Okolja, ki so definirana v MIL-HDBK-217F, so podana v tabeli 3.2.

Okolje	Oznaka
Zemeljsko, nadzorovano	G _B
Zemeljsko, fiksno	G _F
Zemeljsko, mobilno	G _M
Morsko, zaščiteno	N _S
Morsko, nezaščiteno	N _U
Zračno, obljudeno, tovorno	A _{IC}
Zračno, obljudeno, bojno	A _{IF}
Zračno, neobljudeno, tovorno	A _{UC}
Zračno, neobljudeno, bojno	A _{UF}
Zračno, helikopterji	A _{RW}
Vesoljsko, orbitiranje	S _F
Izstrelki, med letom	M _F
Izstrelki, med izstrelitvijo	M _L
Topovski izstrelki, med izstrelitvijo	C _L

Tabela 3.2: Različni tipi okolij delovanja po MIL-HDBK-217F.

3.1.3. Izbrane komponente

Spodaj so navedeni predstavniki petih večjih družin komponent z enačbami, ki sem jih uporabil pri svojih nadaljnjih izračunih.

3.1.3.1. Mikroprocesorji

Enačba za izračun λ za mikroprocesorje je

$$\lambda_p = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L, \quad (17)$$

pri čemer je C_1 faktor notranje kompleksnosti, C_2 faktor zunanje kompleksnosti, π_T je temperaturni faktor, π_E faktor okolja, π_Q faktor kvalitete ter π_L faktor učenja.

3.1.3.2. Kondenzatorji

Od kondenzatorjev je v napravi XX7 najbolj zastopana vrsta papirnih, (angl. *fixed*), pri katerih se za izračun λ uporablja enačba

$$\lambda_p = \lambda_b\pi_T\pi_C\pi_V\pi_{SR}\pi_Q\pi_E, \quad (18)$$

pri čemer je λ_b osnovna intenzivnost odpovedovanja (angl. *base failure rate*), π_T temperaturni faktor, π_C faktor kapacitivnosti, π_V faktor napetostne obremenitve, π_{SR} faktor serijske upornosti (angl. *series resistance factor*), π_Q faktor kvalitete in π_E faktor okolja.

3.1.3.3. Upori

Od uporov so najbolj zastopani filmski, (angl. *fixed*), pri katerih se zanesljivost izračuna po enačbi

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E, \quad (19)$$

pri čemer je λ_b osnovna intenzivnost odpovedovanja (angl. *base failure rate*), π_T temperaturni faktor, π_P faktor moči, π_S faktor napetostne obremenitve, π_Q faktor kvalitete ter π_E faktor okolja.

3.1.3.4. Tranzistorji

Najbolj zastopana družina tranzistorjev je MOSFET z enačbo

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_E \pi_Q, \quad (20)$$

z naslednjimi pomeni spremenljivk: λ_b je osnovna intenzivnost odpovedovanja (angl. *base failure rate*), π_T temperaturni faktor, π_A aplikacijski faktor, π_E faktor okolja in π_Q faktor kvalitete.

3.1.3.5. Diode

Osnovna enačba za diodo je

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E, \quad (21)$$

pri čemer je λ_b osnovna intenzivnost odpovedovanja (angl. *base failure rate*), π_T temperaturni faktor, π_S faktor napetostne obremenitve, π_C faktor spoja, π_Q faktor kvalitete ter π_E faktor okolja.

3.2. IEC 62380

IEC 62380 je evropski standard, ki ga je izdelala mednarodna elektrotehnična komisija (angl. *International Electrotechnical Commission*). Izdelan je bil za telekomunikacijsko industrijo, precej pa se ga uporablja tudi na drugih področjih.

Definira nov pristop k napovedovanju odpovedi. Standard ne uporablja okoljskega faktorja kot vsi ostali. Namesto tega uporablja misijske profile in vpliv termičnih sprememb, katerim je naprava podvržena. Ti modeli vsebujejo tudi način delovanja (stalno vklopljeno, on/off cikle, način ravnanja, itd.). V model intenzivnosti odpovedovanja vključuje tudi način pritrditve komponent (ang. *component soldering*).

Standard IEC 62380 uporablja izkustveno pridobljene podatke iz naslednjih okolij:

- zemeljsko, stacionarno, vremensko zaščiteno,
- zemeljsko, stacionarno, vremensko nezaščiteno,
- zračno, naseljeno, tovorno,
- zemeljsko, mobilno, vremensko zmerno.

Standard ne podpira "*count only*" pristopa, ker so misijski profili potrebni za verodostojne izračune.

IEC 62380 se zelo zgleduje po MIL-HDBK-217F v smislu fiksnih, praktično določenih konstant brez dodatne razlage.

3.2.1. Unikatne lastnosti IEC 62380

Kot je opisano v [9] in [10], ima standard IEC 62380 nekaj lastnosti, ki jih ne najdemo pri drugih standardih.

3.2.1.1. Misijski profili

Misijski profil je razdeljen v več delovnih faz po tipični letni uporabi. Standard predvideva naslednje faze:

- on/off delovno fazo z različnimi povprečnimi zunanji temperaturami, katerim je podvržena oprema,
- stalno delujočo delovno fazo z različnimi povprečnimi zunanji temperaturami, katerim je podvržena oprema,
- shranjevalno oz. mirujočo fazo z različnimi povprečnimi zunanji temperaturami, katerim je podvržena oprema.

Čas uporabe je število koledarskih ur uporabljanja opreme, vključujoč delovne, kot tudi shranjevalne faze.

Za shranjevalno in stalno delujočo fazo se uporablja povprečje maksimalne in minimalne razlike temperature v ciklu, v katerem se uporablja oprema. Če je ta vrednost pod 3⁰C, se predvideva, da je temperaturna sprememba enaka 0⁰C.

Pri večini aplikacij cikel predstavlja en dan in letna povprečna temperaturna sprememba med dnevom in nočjo predstavlja vrednost dnevne temperaturne spremembe. Slednja je bolj pomembna kot stalna delovna faza. Tudi pri on/off fazi se upošteva dnevna variacija temperatur. Vendar se upošteva le največje temperaturne spremembe, saj imajo le-te glavni vpliv na zanesljivost naprave.

3.2.1.2. Z lastnostmi komponente nepovezane odpovedi zaradi električne preobremenitve

Zanesljivost komponent uporabljenih "v osrčju" sistema je veliko večja od zanesljivosti tistih, ki so uporabljene na obrobju sistema in so povezane z zunanjim okoljem. Razlika se pojavi zaradi zunanjih preobremenitev, pri čemer se predvideva, da je oprema primerno zaščiten. Utilizacijski faktor upošteva tudi odpovedi zaradi električnega okolja aktivnih komponent.

3.2.1.3. Vpliv datuma izdelave integriranega vezja

Po letu 1990 se je rast zanesljivosti komponent upočasnila glede na rast zanesljivosti po letu 1970. Stopnja integracije se še vedno povečuje z enako stopnjo kot v preteklosti. Če upoštevamo Moorov zakon, je potrebno za izračun odpovedi poznati tudi leto izdelave integriranih vezij.

3.2.1.4. Faktor obrabe (angl. wear-out period)

Za večino elektronskih komponent je čas, v katerem bi se komponenta obrabila zaradi svoje starosti, veliko večji od njene misijske dobe. Vendar obstajajo primeri, v katerih moramo upoštevati hitrejšo obrabo komponent:

- zaradi obrabe se lahko pojavijo sistematične odpovedi po preteku krajšega časovnega obdobja od predvidenega; obraba zaradi t.i. elektromigracije, ki se lahko pojavi pri npr. aktivnih komponentah,
- časovno obdobje obrabe ni daleč v prihodnosti – npr. pri komponentah, ki so zelo podvržene obrabi, kot so tipkovnice, konektorji, releji, laserske diode, itd.;

Zato je pomembno zagotoviti, da je predvidena uporabna življenjska doba usklajena s predvideno uporabo.

3.2.2. Izbrane komponente

Zaradi kompleksnosti enačb in prostorskih omejitev je podan samo izračun za družino integriranih vezij po [10].

Splošni model za izračun λ pri integriranih vezjih je

$$\lambda = \lambda_{die} + \lambda_{package} + \lambda_{overstress}, \quad (22)$$

pri čemer so

$$\lambda_{die} = (\lambda_1 \times N \times e^{-0,35a}) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^y (\pi_t)_i \times \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right), \quad (23)$$

$$\lambda_{package} = 2,75 \times 10^{-3} \times \pi_a \times \left(\sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \times (\Delta T_i)^{0,68} \right) \times \lambda_3, \quad (24)$$

$$\lambda_{overstress} = \pi_I \times \lambda_{EOS}. \quad (25)$$

Iz tega dobimo skupno enačbo za λ :

$$\lambda = (\lambda_1 \times N \times e^{-0,35a}) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^y (\pi_t)_i \times \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right) + 2,75 \times 10^{-3} \times \pi_a \times \left(\sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \times (\Delta T_i)^{0,68} \right) \times \lambda_3 + \pi_I \times \lambda_{EOS}. \quad (26)$$

V enačbi (26) kot spremenljivke nastopajo:

- λ_1 – osnovna intenzivnost odpovedovanja na tranzistor,
- λ_2 – faktor intenzivnosti odpovedovanja glede na družino integriranih vezij,
- N – število tranzistorjev v integriranem vezju,
- a – [leto proizvodnje] – 1998,
- $(\pi_t)_i$ – i -ti temperaturni faktor od i -te temperature spoja glede na misijski profil integriranega vezja,
- τ_i – i -to razmerje delovnega časa integriranega vezja glede na i -to temperaturo spoja od misijskega profila,
- τ_{on} – seštevek delovnih časovnih razmerij integriranega vezja; $\tau_{on} = \sum_{i=1}^y \tau_i$,

- τ_{off} – časovno razmerje, ko je integrirano vezje v skladiščenju ali nedelujoče
 $\tau_{on} + \tau_{off} = 1$,
- π_a – faktor vpliva razlike koeficientov temperaturne razteznosti med materialom za namestitvev in materialom pakiranja,
- $(\pi_n)_i$ – i -ti faktor vpliva letnega števila ciklov temperaturne variacije glede na pakiranje z amplitudo ΔT_i ,
- ΔT_i – i -ti faktor termične amplitudne variacije glede na pakiranje vezja,
- π_t – faktor vpliva glede na uporabo integriranega vezja (ali je vmesnik ali ni),
- λ_{EOS} – intenzivnost odpovedovanja v povezavi z električnimi preobremenitvami in načinom uporabe.

Iz enačbe (26) lahko vrednosti $\lambda_1, \lambda_2, \tau_i, \lambda_3, \pi_t$ in λ_{EOS} dobimo iz tabel po [10], vrednosti N in a pa iz priročnika proizvajalca integriranega vezja. Ostale vrednosti izračunamo po [10], in sicer

$$\pi_t = e^{a \left(\frac{1}{328} - \frac{1}{273+t_j} \right)}, \quad a = 3480, \text{ MOS}, \quad (27)$$

pri čemer se lahko t_j izračuna na dva načina, kot

$$t_j = t_a + P \times R_{ja}, \quad (28)$$

ali kot

$$t_j = t_c + P \times R_{jc}, \quad (29)$$

pri čemer so spremenljivke:

- t_a – ambientalna temperatura, ki obdaja integrirano vezje ($^{\circ}\text{C}$),
- t_c – temperatura ohišja integriranega vezja ($^{\circ}\text{C}$),
- t_j – temperatura spoja integriranega vezja ($^{\circ}\text{C}$),
- R_{ja} – termična upornost spoja integriranega vezja proti ambientu ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$),
- R_{jc} – termična upornost spoja proti ohišju integriranega vezja ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$),
- P – povprečna disipacijska moč integriranega vezja (Watt).

Naslednja vrednost, ki jo je potrebno izračunati, je π_a po enačbi

$$\pi_a = 0,06 \times (|\alpha_s - \alpha_c|)^{1,68}, \quad (30)$$

pri čemer vrednosti α_s in α_c dobimo iz tabel.

Za popoln izračun potrebujemo še

$$(\pi_n)_i = n_i^{0,76}, n_i \leq 8760 \text{ ciklov/leto}, \quad (31)$$

$$(\pi_n)_i = 1,7 \times n_i^{0,60}, n_i \geq 8760 \text{ ciklov/leto}. \quad (32)$$

Takoj opazimo, da je izračun λ po IEC 62380 daljši in zahteva dosti več poznanih parametrov kot izračun λ po MIL-HDBK-217F.

3.3. Telcordia SR-332

Standard se je razvil zaradi zelo pesimističnih napovedi stadarda MIL-HDBK-217F v komercialnih produktih. Sprva so standard poimenovali Bellcore TR-332, nato so ga leta 1999 posodobili in preimenovali v Telcordia SR-332. Pri standardu Bellcore TR-332 so za osnovo vzeli standard MIL-HDBK-217F in ga nato na podlagi meritev na dejanskih komponentah prilagodili za komercialne produkte.

Telcordia SR-332 uporablja 3 metode napovedovanja odpovedi, kot je razvidno iz [8] ter [11], in sicer "*parts count*", "*lab test data & parts count*" ter "*field failure tracking & parts count*". Po [3] so vse 3 metode omejene na ambientno temperaturo 30 do 65⁰C. Poleg tega standard predvideva tudi upoštevanje prvega leta uporabe komponent in njihov "*burn-in*", kot je razvidno iz [8].

3.3.1. Izbrane komponente

Zaradi pomanjkanja celotne dokumentacije je podan samo izračun za družino CMOS integriranih vezij.

Po podatkih, ki so mi bili na voljo iz [12], standard Telcordia SR-332 obravnava vsako vrsto komponente znotraj iste družine povsem ločeno, glede na način izdelave. Tako imata npr. znotraj družine integriranih vezij NMOS in CMOS tehnologija povsem različni enačbi za izračun λ . CMOS integrirana vezja imajo enačbo

$$\lambda = e^{(1,79+0,0442 \times \ln(B)+0,165 \times (\ln(B))^2)}, \quad (33)$$

pri čemer je B bitna širina vodil (npr. 8, 16, 32, itd.).

Ročni izračuni po standardu Telcordia SR-332 niso bili narejeni, ker so v standardu ob enačbi (33) podani še nekateri dodatni parametri (parameter temperaturne krivulje, faktor električne obremenitve π_s , itd.), ki niso obrazloženi v [12]. Prav tako ni obrazložen vpliv teh parametrov na enačbo (33).

4. Izračun kosovnice

4.1. Opis kosovnice

Izračun je bil narejen za kosovnico z oznako XX7. Plošča je bila razvita v Sloveniji kot telekomunikacijska oprema. Sestavljena je iz 2928 komponent, kot je razvidno iz tabele 4.1. Izračun intenzivnosti odpovedovanja za celotno ploščo je bil narejen s programskim orodjem CARE proizvajalca BQR. Orodje CARE (angl. *Computer Aided Reliability Engineering*) med drugim, po [13], omogoča izračun λ po različnih standardih. Med njimi so tudi MIL-HDBK-217F, IEC 62380 in Telcordia SR-332. Zaradi licenčnih omejitev programa je bil izračun celotne plošče narejen le po dveh standardih – MIL-HDBK-217F in Telcordia SR-332. V izračunu nisem upošteval mehanskih delov, razen konektorjev in gumbov. Tako niso upoštevani npr. hladilniki, vijaki, vzmeti, itd.

Družina	Količina
"Capacitor"	1511
"Resistor"	927
"Inductive"	185
"Diode"	160
"IC"	95
"Transistor"	15
"Connector"	11
"OptoDevice"	7
"Miscellaneous"	6
"Crystal"	6
"Switch"	3
"Fuse"	2
Skupaj	2928

Tabela 4.1: Razpored osnovnih komponent kosovnice XX7 po družinah.

4.2. Avtomatiziran izračun

Za avtomatiziran izračun celotne kosovnice s pomočjo programskega orodja BQR CARE je bilo najprej potrebno v orodje ročno vnesti potrebne podatke o vseh komponentah, ki sestavljajo XX7. V orodju sem izbral izračun λ za MIL-HDBK-217F in Telcordia SR-332 pri ambientalnih temperaturah od 20 do 80°C s korakom 10°C.

4.2.1. MIL-HDBK-217F

V tabeli 4.2 so predstavljeni rezultati za λ od plošče XX7 po standardu MIL-HDBK-217F pri različnih ambientalnih temperaturah. Pričakovano je λ najmanjša pri 20°C ter najvišja pri 80°C.

Temperatura [°C]	λ [št. odp./10 ⁶ ur]	MTBF [ur]	MTBF [let]
20.0	55,63	17972,90	2,10
30.0	71,35	14015,30	1,64
40.0	92,17	10849,10	1,27
50.0	119,81	8346,20	0,98
60.0	156,08	6406,82	0,75
70.0	203,34	4917,85	0,58
80.0	264,82	3776,04	0,44

Tabela 4.2: Primerjava zanesljivosti celotne plošče XX7 po MIL-HDBK-217F v odvisnosti od temperature okolja.

V tabeli 4.3 so izbrani predstavniki največjih skupin, ki so imeli največje povprečje λ po standardih MIL-HDBK-217F in Telcrodia SR-332. Pomeni posameznih komponent so razloženi v razdelku 4.3. Vrednost λ je izračunana s programskim orodjem BQR CARE po standardu MIL-HDBK-217F.

Komponenta	λ [št. odp. / 10 ⁹ ur]
IC I1	7177,24
TRANZISTOR T1	750,52
DIODA D1	28,39
KONDENZATOR C1	4,22
UPOR R1	14,64

Tabela 4.3: Izračun predstavnikov družin z orodjem BQR CARE po standardu MIL-HDBK-217F.

V tabeli 4.4 so razporejene družine elektronskih vezij in njihov doprinos k odpovedi v celotnem sistemu. Izračun je narejen z orodjem BQR CARE po standardu MIL-HDBK-217F.

Družina vezij	Količina v sistemu	Vsota λ v sistemu [FR/10 ⁶ ur]	Doprinos v sistemu [%]
"IC"	95	13,39	24,07
"Capacitor"	1511	13,19	23,70
"Resistor"	927	11,16	20,07
"Transistor"	15	6,11	10,97
"Diode"	160	5,28	9,48
"Inductive"	185	3,02	5,42
"Switch"	3	1,06	1,91
"OptoDevice"	7	0,86	1,55
"Miscellaneous"	6	0,74	1,33
"Connector"	11	0,46	0,83
"Crystal"	6	0,35	0,63
"Fuse"	2	0,02	0,04
Vsota	2928	55,64	100,00

Tabela 4.4: Doprinos k odpovedi po posameznih družinah za MIL-HDBK-217F.

4.2.2. Telcordia SR-322

V tabeli 4.5 so predstavljeni rezultati za λ od plošče XX7 po standardu Telcordia SR-322 pri različnih ambientalnih temperaturah. Pričakovano je λ najmanjša pri 20°C ter najvišja pri 80°C.

Temperatura [°C]	λ [št. odp./10 ⁹ ur]	MTBF [ur]	MTBF [let]
20.0	3431,67	291404	34,11
30.0	3455,71	289376	33,87
40.0	4561,88	219208	25,66
50.0	6332,70	157911	18,48
60.0	8897,15	112396	13,15
70.0	12609,60	79304	9,28
80.0	18398,00	54353	6,36

Tabela 4.5: Primerjava zanesljivosti celotne plošče po Telcordia SR-322 v odvisnosti od temperature okolja.

V tabeli 4.6 so izbrani predstavniki največjih skupin, ki so imeli največje povprečje λ po standardih MIL-HDBK-217F in Telcordia SR-332. Vrednost λ je izračunana s programskim orodjem BQR CARE po standardu Telcordia SR-332 pri ambientalni temperaturi 20°C.

Komponenta	λ [št. odp. / 10 ⁹ ur]
IC I1	25,59
TRANZISTOR T1	8,40
DIODA D1	1,30
KONDENZATOR C1	2,15
UPOR R1	0,01

Tabela 4.6: Izračun predstavnikov družin z orodjem BQR CARE po standardu Telcordia SR-332.

V tabeli 4.7 so razporejene družine elektronskih vezij in njihov doprinos k odpovedi v celotnem sistemu pri temperaturi 20°C. Izračun je narejen z orodjem BQR CARE po standardu MIL-HDBK-217F.

Družina vezij	Količina v sistemu	Vsota λ v sistemu [FR/10 ⁹ ur]	Doprinos v sistemu [%]
"Miscellaneous"	6	793,24	23,12
"IC"	95	745,87	21,73
"Diode"	160	622,25	18,13
"Resistor"	927	531,40	15,49
"Capacitor"	1511	326,02	9,50
"Inductive"	185	236,61	6,89
"Crystal"	6	80,00	2,33
"Transistor"	15	61,89	1,80
"Switch"	3	17,56	0,51
"Connector"	11	12,32	0,36
"OptoDevice"	7	3,67	0,11
"Fuse"	2	0,80	0,03
Vsota	2928	3431,63	100,00

Tabela 4.7: Doprinos k odpovedi po posameznih družinah za Telcordia SR-332.

4.2.3. Zanesljivost v času

Po enačbi (3) je $R(t)$ časovno eksponentno padajoča funkcija, kar je tudi predstavljeno na sliki 2.2. V tabeli 4.8 je narejen izračun $R(t)$ za standard MIL-HDBK-217F pri 20°C za časovne točke 1, 3, 10, 50, in 100 let. Za enako temperaturo in časovne točke je v tabeli 4.9 narejen izračun $R(t)$ za standard Telcordia SR-332.

t [let]	R(t)
1	0,61422
3	0,24023
10	0,00862
50	$4,75544 \times 10^{-11}$
100	$2,26142 \times 10^{-21}$

Tabela 4.8: Izračun $R(t)$ v podanih časovnih točkah za standard MIL-HDBK-217F.

t [let]	R(t)
1	0,970386
3	0,915797
10	0,745872
50	0,230845
100	0,053289

Tabela 4.9: Izračun $R(t)$ v podanih časovnih točkah za standard Telcordia SR-332.

4.3. Ročni izračun

Za ročni izračun po enačbah sem izbral po enega predstavnika vsake družine. Kriterij za izbiro komponent je bilo največje povprečje λ komponente med standardoma MIL-HDBK-217F in Telcordia SR-332. Izbrane komponente so upoštevane v tabelah 4.3, 4.6, 4.10 in 4.11. Izračuni so bili narejeni za okolje G_B pri ambientni temperaturi 20°C.

Lastnosti izbranih komponent so:

- I1 – 32-bitni mikroprocesor s783 nožicami,
- T1 – MOSFET tranzistor,
- D1 – nizkonapetostna dioda,
- C1 – filmski kondenzator, 10 nF,
- R1 – 20 kΩ filmski upor.

4.3.1. MIL-HDBK-217F

Pri ročnem izračunu po standardu MIL-HDBK-217F sem izračunal λ za komponente I1 po (17), C1 po (18), R1 po (19), T1 po (20) in D1 po (21). V tabeli 4.10 so predstavljeni rezultati izračuna. Pričakovano ima daleč največjo λ mikroprocesor s 783 nožicami, kar 12,1% celotnega vezja.

Komponenta	λ [št. odp. / 10^9 ur]
IC I1	33760,0
TRANZISTOR T1	467,0
DIODA D1	25,4
KONDENZATOR C1	17,6
UPOR R1	18,7

Tabela 4.10: Ročni izračun λ predstavnikov družin po enačbah za MIL-HDBK-217F.

4.3.2. IEC 62380

Celotna kosovnica po IEC 62380 ni bila narejena zaradi omejitve licence v programu BQR. Izračunane so bile določene komponente po papirni obliki standarda. λ za komponento I1 je bila izračunana po enačbi (26), ostale komponente pa po ustreznih enačbah iz [10]. Rezultati izračuna so predstavljeni v tabeli 4.11. Izračun je bil narejen za ambientno temperaturo 20°C.

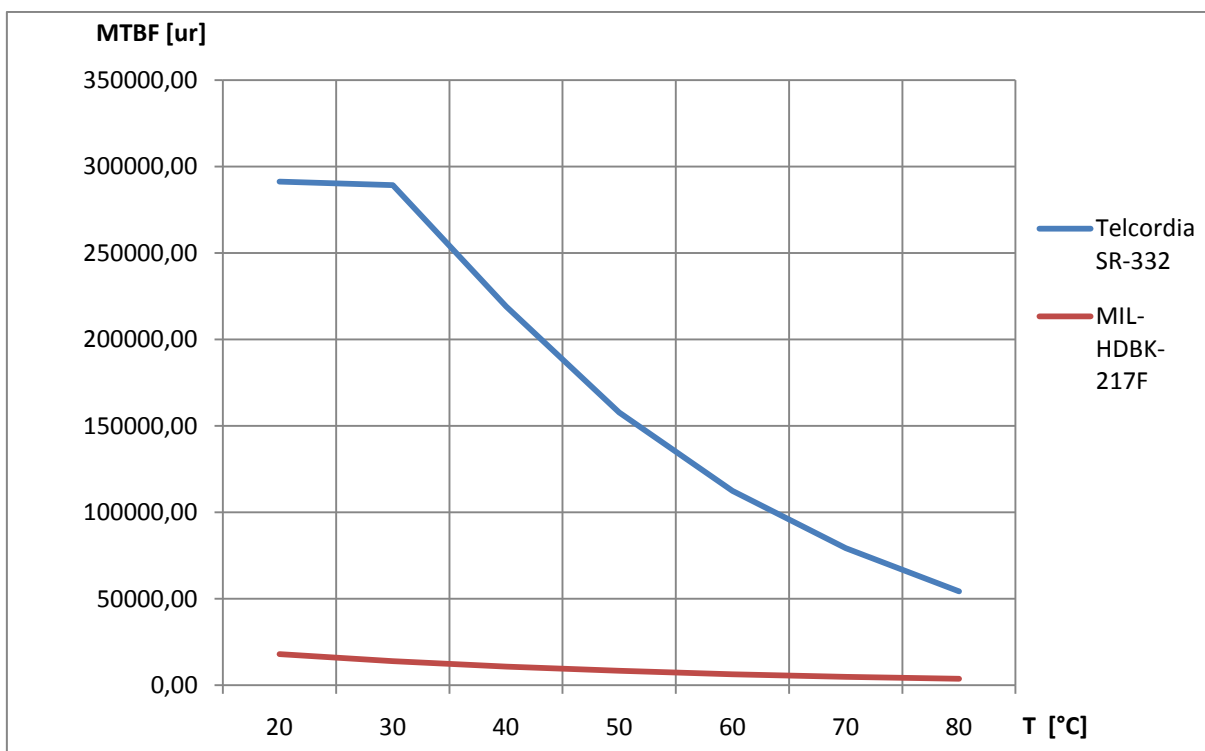
Komponenta	λ [št. odp. / 10^9 ur]
IC I1	318,82
TRANZISTOR T1	44,03
DIODA D1	41,00
KONDENZATOR C1	0,43
UPOR R1	0,57

Tabela 4.11: Ročni izračun λ predstavnikov družin po enačbah za IEC 62380.

4.4. Povzetek

4.4.1. Zanesljivosti sistema kot celote

Kot je razvidno iz slike 4.1, je razlika med avtomatskim izračunom kosovnice po standardih Telcordia SR-332 in MIL-HDBK-217F precejšnja. Telcordia SR-332 je za velikostni razred 10 bolj optimistična. Opazna je tudi omejitev standarda Telcordia SR-332, da za temperature manjše od 30°C privzame temperaturo 30°C.



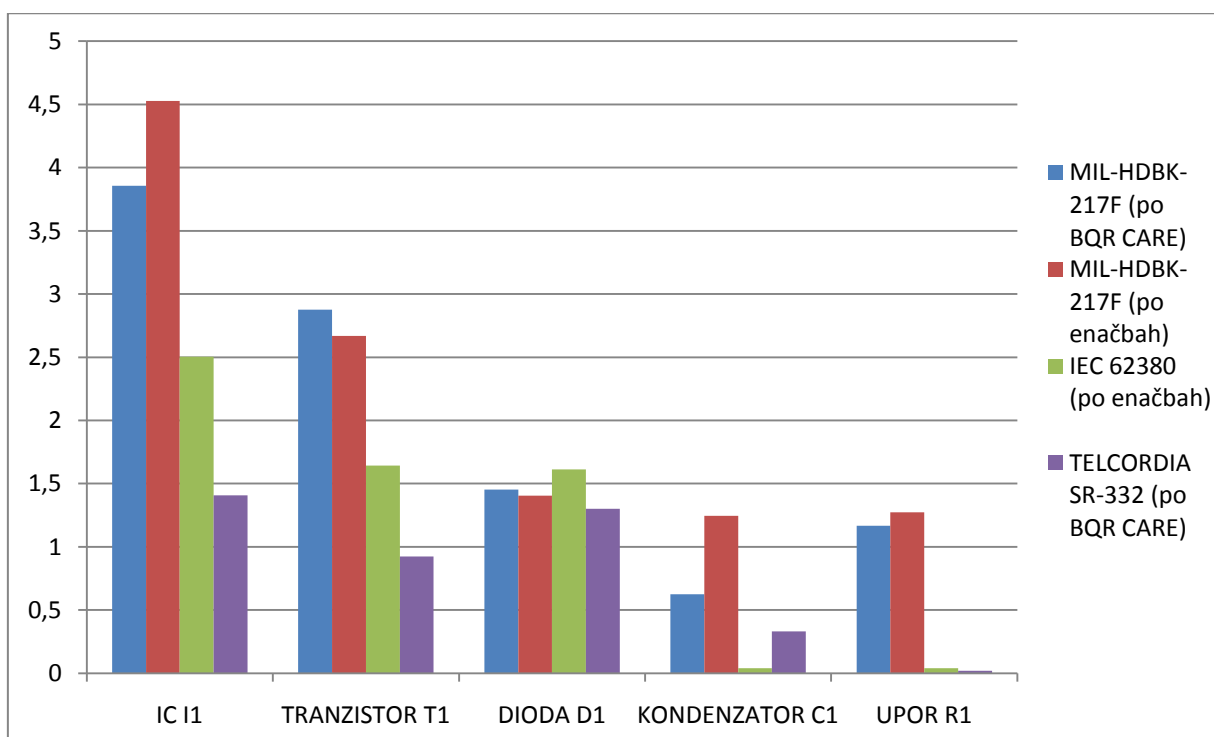
Slika 4.1: Primerjava zanesljivosti celotne plošče XX7 (po tabelah 4.2 in 4.5).

4.4.2. Zanesljivosti izbranih komponent

V tabeli 4.12 so predstavljene vrednosti λ posameznih predstavnikov družin pri temperaturi 20°C. Po pesimizmu izstopata obe MIL-HDBK-217F metodi in deloma tudi IEC 62380. Izračuni po Telcordia SR-332 so pričakovano najbolj optimistični, kar je tudi razvidno iz slike 4.2.

Komponenta	MIL-HDBK-217F (BQR CARE): λ	MIL-HDBK-217F (po enačbah): λ	IEC 62380 (po enačbah): λ	TELCORDIA SR-332 (BQR CARE): λ
IC I1	3,8559	4,5284	2,5035	1,4082
TRANZISTOR T1	2,8754	2,6693	1,6437	0,9245
DIODA D1	1,4532	1,4051	1,6128	1,3000
KONDENZATOR C1	0,6254	1,2455	0,0411	0,3316
UPOR R1	1,1656	1,2718	0,0424	0,0011

Tabela 4.12: Primerjava zanesljivosti posameznih komponent po različnih standardih (vrednosti so logaritemske z osnovo 10, enota je št. odp. / 10^9 ur).



Slika 4.2: Primerjava zanesljivosti posameznih komponent po različnih standardih (skala je logaritemska z osnovo 10, enota je št. odp. / 10^9 ur).

4.4.3. Komentar standardov

Kot je bilo povedano že v opisih standardov, se je izkazalo pri rezultatih izračuna kosovnice: MIL-HDBK-217F je vedno brez izjeme izredno bolj pesimističen od Telcordia SR-332. Praviloma je tudi bolj pesimističen od IEC 63280, le pri nekaterih bolj enostavnih komponentah ne, kjer pri IEC 63280 standardu prevlada namembnost.

Pesimizem λ po standardih lahko simbolično opišem z izrazom

$$\lambda_{MIL-HDBK-217F} > \lambda_{IEC\ 63280} > \lambda_{Telcordia\ SR-332} \cdot \quad (34)$$

Torej je λ za isti izdelek izračunana po MIL-HDBK-217F standardu večja, kot je izračunana λ po IEC 63280. Najmanjšo verjetnost odpovedi izmed treh izračunov pa predvideva standard Telcordia SR-332.

Število podatkov n o posameznih komponentah, ki jih moramo vedeti za izračun λ , lahko simbolično zapišemo z izrazom

$$n_{IEC\ 63280} > n_{MIL-HDBK-217F} > n_{Telcordia\ SR-332} \cdot \quad (35)$$

Ko sem računal λ po standardu MIL-HDBK-217F s pomočjo programskega orodja BQR CARE in nato še ročno po enačbah, sem glede na enake vhodne podatke pričakoval podobne, če ne celo enake rezultate. Zelo me je presenetilo, da je bil rezultat po enačbah praviloma veliko bolj pesimističen od rezultata, izračunanega s programskim orodjem. Iz tega sklepam, da program namenoma predstavi bolj optimistično napoved za komponente, da vsaj delno zmanjšajo pesimizem standarda MIL-HDBK-217F. Dopuščam tudi možnost, da imajo razvijalci programov za izračun zanesljivosti novejši (MIL-HDKB-217F revision 2 je zadnja verzija iz leta 1995, od takrat pa so komponente vezij zelo napredovale) in bolj realne podatke.

Kot problem MIL-HDBK-217F standarda pri uporabi za komercialne namene bi izpostavil še očitno favoriziranje komponent, ki so izdelane za potrebe vojske. Komponente za komercialno uporabo so zato, po [4], lahko kaznovane tudi s faktorjem 300 in več, čeprav je ta razlika v kvaliteti komponent v praksi občutno manjša oziroma je v določenih primerih zanemarljiva. V tabeli 4.8 lahko vidimo, da je verjetnost delujočega sistema XX7 po enem letu samo 61,42 %, po treh letih pa ta verjetnost pade na le 24,02 %.

Ker nisem imel na voljo celotnega standarda Telcordia SR-332, lahko podam samo svojo oceno tega standarda. Po mojih izkušnjah je Telcordia SR-332 zelo poenostavljen, prenovljen

in bolj razdelan MIL-HDBK-217F. Glede na to, da je bil razvit kasneje kot MIL-HDBK-217F, je tudi bolj sodoben in uporablja novejša podatke za izračun odpovedi.

Poenostavitev standarda Telcordia SR-332 se kaže tudi v tem, da enači podobne komponente. Večji vpliv ima pripadnost posamezne komponente določeni družini elektronskih vezij kot same lastnosti izbrane komponente. Tako celotna družina elektronskih vezij pade znotraj enega velikostnega razreda, ne glede na lastnost posameznih elementov znotraj družine. Nasprotno se lahko pri MIL-HDBK-217F posamezne komponente znotraj iste družine zaradi svojih lastnosti razlikujejo tudi do dva velikostna razreda.

Kot primer izredne poenostavitve pri standardu Telcordia SR-332 lahko pogledamo mikroprocesor, kjer število nožic v primerjavi z MIL-HDBK-217F ali IEC 62380 ni več pomembno, prav tako nista pomembni notranja in zunanja kompleksnost. Pomembni sta tehnologija in kvaliteta izdelave ter bitna širina. Podobno lahko vidimo pri spominskih čipih, kjer je poleg tehnologije in kvalitete izdelave pomembna le velikost spomina. Poleg mikroprocesorja se tudi pri ostalih komponentah (razen konektorjev) pri standardu Telcordia SR-332 zanemari število nožic. Povsem se zanemari tudi temperatura spoja, namesto nje pa nas zanima gretje elementov (angl. *power dissipation*). Napetost komponent se pri izračunu upošteva le še pri diodah in kondenzatorjih.

V tabeli 4.9 lahko vidimo, da je pri standardu Telcordia SR-332 verjetnost delujočega sistema XX7 po enem letu 97,39%, po treh letih pa 91,58%.

Zaradi vsega tega se je smotrno vprašati, ali ni standard Telcordia SR-332 občasno celo preveč optimističen, saj nekatere komponente po tem standardu dosegajo MTBF tudi nekaj 100.000 let.

Kot zanimivost glede programa BQR CARE bi izpostavil manjšo razliko v λ v tabeli 4.5 med temperaturama 20 in 30°C. Po standardu Telcordia SR-332 se za izračun λ ambientne temperature manjše od 30°C smatrajo kot 30°C. Z upoštevanjem tega dejstva, ne bi smelo biti razlike med izračunom λ za ambientno temperaturo 20 in 30°C. Tudi to dejstvo potrjuje vsaj manjše prilagajanje standardov v programskih paketih za zanesljivostno analizo.

Standard IEC 62380 najbolj izstopa glede na ostale standarde zanesljivosti. Največja razlika glede na ostale standarde so misijski profili (angl. *mission profiles*), ki upoštevajo različne namembnosti in okolja delovanja naprave. Vendar lahko ta parameter povsem izgubi pomen pri opremi, ki deluje 24 ur na dan v enakem okolju. Ti profili na izračun vplivajo le pri komponentah, kjer prihaja do velikih sprememb v ambientalni temperaturi (npr. od zelo visokih temperatur čez dan, do zelo nizkih temperatur ponoči) ali pa kjer so velike spremembe v načinu delovanja (ekstremni primer je izstrellek, ki nekaj let počiva v skladišču, nato gre skozi fazo izstrelitve ter fazo leta).

Manjše, še posebej enakomerne temperaturne in okoljske spremembe v času, bi lahko nadomestili z njihovimi povprečnimi vrednostmi, kar bi zelo poenostavilo računanje.

Po standardu IEC 62380 ima v določenih primerih zelo veliko vlogo namembnost opreme. Kot je razvidno iz slike 4.2, ima dioda D1 po IEC 62380 največjo λ ($\lambda_{D1} = 41,001$), kar je za faktor 2 večje od sicer najbolj pesimističnega standarda MIL-HDBK-217F. Največji doprinos k λ_{D1} ima dejstvo, da se D1 uporablja v telekomunikacijski opremi. Lastnosti same komponente D1 pa imajo doprinos k skupni λ_{D1} samo 1,001.

Večina oglaševanih prednosti, ki naj bi IEC 62380 postavile daleč od MIL-HDBK-217F standarda (npr. misijski profili, on/off razmerje, itd.), lahko v formulah kaj hitro izgubi svoj vpliv. Prav tako se še vedno uporablja fiksne konstante za celotne družine komponent, ki pa niso dodatno obrazložene. Ker pa je IEC 62380 dosti mlajši standard kot MIL-HDBK-217F in upošteva veliko novejših komponent, so le-te veliko bolj podrobno kategorizirane ter posodobljene.

5. Zaključek

Ob izdelavi izdelka se vedno poraja tudi vprašanje njegove zanesljivosti. Ravno iz tega razloga so v uporabi standardi, s pomočjo katerih lahko pridobimo ocenjene vrednosti zanesljivosti našega končnega izdelka.

Vendar se izkaže, da je med standardi velika razlika med načinom izračuna zanesljivosti, zato je tudi objektivnost izračuna vprašljiva. Že samo z izbiro drugega standarda lahko dobimo izračun zanesljivosti za določen izdelek bolj pesimističen ali optimističen.

Iz marketinškega vidika večja izbira sploh ni slaba, saj je za reklamne namene bolje, da ima izdelek čim višji MTBF. Probleme pa ima tukaj stranka, ki želi primerjati primerljive izdelke različnih proizvajalcev. Proizvajalci običajno navedejo samo metodo, po kateri so izračunali zanesljivost svojega izdelka, brez pomembnih dodatnih pojasnil, kakšne vrednosti so za določene faktorje uporabili. Tako imajo tudi znotraj standarda veliko manevrskega prostora.

Zato tudi ni vse v razlikah med standardi. Tudi znotraj standarda lahko vpivamo na končni rezultat, npr. preko prilagajanja faktorja kakovosti ali preko korekcijskih faktorjev. Tako lahko proizvajalcu komponent, ki se je v preteklosti izkazal z zanesljivimi izdelki in ki mu tudi v prihodnje zaupamo, damo nižji korekcijski faktor. Nasprotno lahko povečamo korekcijski faktor še nepreverjenemu proizvajalcu komponent, katere vključujemo v naš končni izdelek.

Tako pridemo do zaključka, da nam vrednosti MTBF oz. λ ter standard, po katerem sta bili izračunani, ne odražata vedno realne zanesljivosti komponente. To lahko zanesljivo določimo samo z lastnim testiranjem, ki pa je dolgotrajno in drago.

Literatura in viri

[1] Wikipedia, Integrated Circuit

URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit

[2] Teorija zanesljivosti

URL: http://lrss.fri.uni-lj.si/sl/teaching/rzd/lectures/3_Teorija_zanesljivosti.pdf

[3] Guidelines to Understanding Reliability Prediction

URL: http://www.epsma.org/pdf/MTBF%20Report_24%20June%202005.pdf

[4] MIL-HDBK-217F, *Reliability Prediction of Electronic Equipment*, 1991. Notice 1 (1992) and Notice 2 (1995).

[5] Teorija zanesljivosti

URL: http://www.epsma.org/pdf/MTBF%20Report_24%20June%202005.pdf

[6] A Survey of the Currently Available Reliability Prediction Models

URL: http://www.relex.com/products/whitepapers/art_predmdls.pdf

[7] Uporaba MIL-HDBK-217F

URL: http://lrss.fri.uni-lj.si/sl/teaching/rzd/tutorials/vaja2_3/RZD_uporaba_MIL_HDBK.pdf

[8] Telcordia SR-332, kazalo

URL: http://telecom-info.telcordia.com/ido/AUX/SR_332_TOC.i02.pdf

[9] IEC 62380 Reliability Prediction

URL: http://www.reliabilityeducation.com/intro_iec62380.html

[10] IEC 62380, Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment, First edition, 2004.

[11] Metode ocenjevanja zanesljivosti pri Telcordia SR-332

URL: <http://www.isograph-software.com/rwbovertel.htm>

[12] Telcordia SR-332, 8. poglavje.

[13] BQR CARE[®] technology maximizes product reliability

URL: <http://www.bqr.com/content/view/15/28/lang,en/>