

ISPITIVANJE UTICAJA SREDINE NA RAD ELEKTRONSKIH UREĐAJA**ENVIRONMENTAL TESTING OF ELECTRONIC DEVICES**Milana Srbinovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je prikazano ispitivanje uticaja sredine na rad elektronskih uređaja, na primeru USB komunikacionog uređaja u skladu sa ISO 16750 standardom. Akcenat je stavljen na klimatska ispitivanja, koja se izvode u specijalno namenjenim klima komorama u opsegu temperatura od -40 °C do 85 °C. Rezultati ukupno 4 testiranja su prikazani i diskutovani.

Ključne reči: Testiranje uređaja, ispitivanje uticaja sredine, temperaturni testovi.

Abstract – This paper presents environmental testing of USB connectivity device in accordance with ISO 16750 standard. The focus of this thesis is on climate testing which are performed in special climate chambers with temperature range -40 °C - 85 °C. Total of 4 tests results are also presented and discussed.

Keywords: Device testing, Environmental testing, Temperature tests.

1. UVOD

Jedna od bitnih faza u proizvodnji elektronskih i električnih uređaja jeste njihovo testiranje. Testiranje, tj. Ispitivanje, predstavlja skup radnji koje se koriste za proveru usklađenosti bilo kog elementa sistema kao i celine sa njegovom svrhom i funkcijama. Ove akcije se planiraju i sprovode tokom celog životnog ciklusa sistema. Bilo da je reč o sistemu kao celini ili pojedinom elementu sistema, od velike je važnosti izvršiti niz ispitivanja kako bi se potvrdila njegova funkcionalnost [1].

Prilikom projektovanja proizvoda potrebno je uzeti u obzir sve zahteve koji su definisani tehničkim zakonodavstvom, sa ciljem da se zaštite potrošač i okolina. Tehnički zahtevi predstavljaju uslove ili karakteristike koje sistem ili njegova komponenta treba da poseduju kako bi nalogo-davac, standard, specifikacija ili korisnik bili zadovoljeni [2].

Kako bi uređaj mogao biti plasiran na tržište bitno je da bude usklađen sa svim sigurnosnim, zdravstvenim, i drugim zajedničkim interesima koje priopisuje regulatorno telo, što se potvrđuje postavljanjem znaka usaglašenosti, tzv. CE znaka (fr. *conformité européenne*) [3],[4]. Iz tog razloga neophodno je realizovati seriju testiranja na osnovu kojih će se izvršiti procena sistema i utvrditi da li je u skladu sa svim propisima, zahtevima i opisom [5].

U ovom radu je prikazan postupak testiranja jednog električnog uređaja koji je namenjen za dalju ugradnju u vozila kao što su traktori, bageri, kombajni, itd. Opisani su postupci ispitivanja uslova okoline, a u literaturi [6]-[9] navedeni su ISO standardi čije se smernice prate prilikom izvođenja testova. Akcenat je stavljen na klimatska ispitivanja koja za cilj imaju simuliranje različitih uslova okoline u kojima uređaj može da se nađe u toku upotrebe, i ispitivanje njegove funkcionalnosti u datim uslovima. Testiranje je vršeno na izrazito niskim i visokim temperaturama, u opsegu od -40 do 85 °C, sa uključenim i isključenim uređajem.

Rad je opisan kroz četiri poglavlja od kojih je prvo uvodno. Drugo poglavlje sadrži opise testiranja uslova okoline, sa akcentom na klimatska testiranja. U okviru trećeg poglavlja prikazana je postavka testa i diskutovani su dobijeni rezultati. Četvrto poglavlje predstavlja kratak zaključak.

2. ISPITIVANJE USLOVA OKOLINE

Ispitivanje uslova okoline podrazumeva skup procedura koje se izvršavaju u kontrolisanim uslovima sa unapred određenom postavkom. Ova ispitivanja prate smernice ISO 16750 standarda koji se odnosi na sistematično definisanje i primenjivanje niza internacionalno prihvaćenih uslova, testova i zahteva koji se tiču sredine u kojoj će se uređaj koristiti i kojoj će biti izložen tokom svog životnog veka.

ISO 16750 definiše sledeće testove:

- ISO 16750-1: Opšti zahtevi [1],
- ISO 16750-2: Električni i EMC testovi [6],
- ISO 16750-3: Mehanički testovi [7],
- ISO 16750-4: Klimatski testovi [8],
- ISO 16750-5: Hemijski testovi [9].

2.1. Osnovni funkcionalni test

Zadatak osnovnog funkcionalnog testa je da se utvrdi da li uređaj koji se ispituje poseduje sve funkcionalnosti na sobnoj temperaturi dok je uključen i nije izložen spoljašnjim uticajima [1].

U okviru ovog rada testiran je USB komunikacioni uređaj (slika 1) čija je osnovna funkcionalnost uspostavljanje komunikacije (WLAN, LTE, *Bluetooth* i GNSS) između glavne računarske jedinice vozila pod *Linux* operativnim sistemom sa jedne strane i korisnika, dispečera sa druge.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bila dr Mirjana Damjanović, red. prof.



Slika 1. Izgled uređaja

2.2 Temperaturni i klimatski testovi

Temperaturni testovi se izvode u skladu sa ISO 16750-4 standardom, a podrazumevaju funkcionalno testiranje izdržljivosti uređaja koji se ispituje pri promeni temperature i vlažnosti vazduha u kontrolisanim uslovima. Ispitivanja se izvode u specijalno namenjenim klima komorama (slika 2) gde je moguće pratiti i kontrolisati uslove u kojima se uređaj nalazi. Klima komora *KK-1700CHLT*, proizvođač Kambič [10], koja se koristila za ispitivanja je zapremine 1700 litara, ima opseg kontrolisanja temperature od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, i relativne vlažnosti vazduha od 10% do 98%.



Slika 2. Klimatska komora Kambič *KK-1700CHLT* [10]

U sklopu temperaturnih i klimatskih ispitivanja izvode se sledeći testovi:

- Testiranje na minimalnoj temperaturi skladištenja sa isključenim uređajem,
- Testiranje na minimalnoj radnoj temperaturi sa uključenim uređajem,
- Testiranje na maksimalnoj temperaturi skladištenja sa isključenim uređajem,
- Testiranje na maksimalnoj radnoj temperaturi sa uključenim uređajem,
- Temperaturni koračni test,
- Ciklični temperaturni test,
- Temperaturni stres test,
- Ciklični temperaturni test sa regulacijom vlažnosti,
- Ciklični temperaturni test sa tačkom rose,
- Temperaturni test sa regulacijom vlažnosti [8].

Od prethodno navedenih testova u okviru ovog rada urađeni su koračni test, testiranje na maksimalnoj

temperaturi sa isključenim uređajem, testiranje na minimalnoj temperaturi sa uključenim uređajem i testiranje na minimalnoj temperaturi sa isključenim uređajem.

3. MERNI POSTAVKA ZA KLIMATSKA ISPITIVANJA

Merni sistem čine klimatska komora (slika 3a) i dva dodatna računara za kontrolisanje rada komore i praćenje funkcionalnosti uređaja (slika 3b).



a)



b)

Slika 3. Merna postavka za klimatska testiranja:
a) fotografija unutrašnjosti klima komore *KK-1700CHLT*,
b) dodatni uređaji koji služe za kontrolisanje rada komore i praćenje funkcionalnosti uređaja

Uređaju se pristupa putem USB serijske komunikacije, sa platforme na bazi *Linux* operativnog sistema. Za ispitivanja se koristi računar koji će simulirati *Linux* platformu za koju je dizajniran uređaj, odakle se prate funkcionalnosti (GSP veza, LTE veza, WLAN i BT veza) i parametri kao što su vreme, brzina komunikacije, brzina odziva, temperatura.

Računarskoj jedinici komore se može pristupiti lokalno, preko ekrana koji se nalazi na vratima, ili udaljeno pomoću drugog računara ostvarivanjem RS232 serijske komunikacije. Na ovaj način je moguće vršiti beleženje svih parametara komore.

Na računaru koji proverava funkcionalnost uređaja se nalazi test program koji vrši proveru komunikacije, ispisuje podatke od značaja u okviru *Picocom* terminala i vrši njihov upis u tekstualnu datoteku.

3.1. Rezultati temperaturnog koračnog testa

Na početku testiranja neophodno je navesti broj koraka, nakon čega se za svaki vrši upisivanje temperature. Na ovaj način će komora sa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ najpre postepeno spuštati

temperaturu do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, a zatim podizati do $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, sa korakom od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Potrebno vreme da se temperatura komore promeni za $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ je 10 minuta. Takođe, treba uzeti u obzir da je zbog efekta termičke mase potrebno određeno vreme da se temperatura uređaja izjednači sa temperaturom komore, i ono iznosi oko 20 minuta. Kada se dostigne $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura se naglo spušta do $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i komora se isključuje. Za to vreme se prate funkcionalnosti uređaja kao i temperatura komore i vreme obavljanja testa, a dobijeni podaci se upisuju u dve odvojene tekstualne datoteke.

```
Step no 10
Mon 15 May 2023 07:31:25 PM CEST
picocom v3.1

Type [C-a] [C-h] to see available commands
Terminal ready
Tk=-15.08 Tset=-20.0 Tramp=-20.0 Rhc=100.0
RhSet= 0.0 V=100.00 Tv=-13.47 RUN=1 CN=00168 ID=KK1700CH14044491
Terminating...
```

Slika 4. Praćenje parametara komore

Na početku se ispisuju redni broj koraka i trenutno vreme. Zatim sledi ispis parametara komore. Na primeru prikazanom na slici 4, trenutna temperatura komore (T_k) je $-15.08\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok je zadata (T_{set}) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kontrola nagiba tj. brzine promene temperature (T_{ramp}) nije uključena te program komore u T_{ramp} upisuje vrednost T_{set} . Regulacija vlažnosti vazduha (Rh_{set}) je takođe isključena. Oznake V i Tv se odnose na brzinu i temperaturu ventilatora. Poslednja dva podatka odnose se na serijski broj komore.

Na slici 5 prikazan je izgled dela tekstualne datoteke dobijene praćenjem funkcionalnosti uređaja. Na početku se ispisuje redni broj testa, kao i podatak o vremenu, nakon čega slede podaci o temperaturi koji se dobijaju od LTE modula. Prva vrednost se odnosi na temperaturu jezgra procesora i iznosi $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, druga na temperaturu u neposrednoj okolini jezgra i iznosi $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$, a treća na temperaturu neposredno pored modula $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (spoljna).

```
253 test
Mon 15 May 20:14:03 CEST 2023

Module Temperature
picocom v3.1

+QTEMP: -11,-16,-20
OK
```

Slika 5. Praćenje funkcionalnosti uređaja

Nakon ovoga sledi ispis GPS testa (slika 6). Podaci koji su od značaja jesu podaci o poziciji ispisani po standardima *nmea* protokola, trenutno vreme (UTC), geografska dužina (engl. *longitude*), geografska širina (engl. *latitude*) i nadmorska visina (engl. *altitude*).

Sledeći podaci koji se upisuju u datoteku (slika 7) su rezultati *Bluetooth*, *LTE* i *WLAN ping* testova kojima se ispituje brzina komunikacije.

Iz dobijenih rezultata izdvajaju se podaci o vremenu i temperaturi dobijeni sa komore, i unose u *Microsoft excel* tabelu. Na istom grafiku (slika 8) predstavljene su zadata (T_{set}) i trenutna temperatura komore ($T_{chamber}$) u zavisnosti od vremena izvršavanja. Test je započet u 15.40, a završen je narednog dana u 10.05 (dakle, trajao je 18 h i 25 min).

```
253 GPS test
-----
3GPP
operator mcc: 220
operator mnc: 01
location area code: FFFE
tracking area code: 005729
cell id: 0019C903
-----
GPS
nmea: $GPGSA,A,3,01,03,04,17,19,21,28,31,,,,,1.0,0.6,0.7,1*2C
$GPRMC,181404.00,A,4515.909950,N,01950.284058,E,0.0,46.8,150523,2.4,E,A,V*7C
$GPGSV,3,1,12,01,60,150,29,03,72,331,30,04,47,212,29,09,15,222,16,1*6C
$GPGSV,3,2,12,17,33,279,35,19,24,306,20,21,38,150,31,22,,,27,1*58
$GPGSV,3,3,12,28,25,056,30,31,32,090,26,06,07,313,,32,00,046,,1*67
$GPVTG,46.8,T,44.4,M,0.0,N,0.0,K,A*2D
$GPGGA,181405.00,4515.909950,N,01950.284055,E,1,08,0.6,85.1,M,39.0,M,,*57
utc: 181405.00
longitude: 19.838068
latitude: 45.265166
altitude: 85.100000
```

Slika 6. Rezultati GPS testa

```
253 Bluetooth test

Ping: 00:27:13:D3:47:41 from 04:C4:61:BE:41:37 (data size 44) ...
44 bytes from 00:27:13:D3:47:41 id 0 time 208.57ms
44 bytes from 00:27:13:D3:47:41 id 1 time 72.41ms
44 bytes from 00:27:13:D3:47:41 id 2 time 84.87ms
44 bytes from 00:27:13:D3:47:41 id 3 time 96.03ms
4 sent, 4 received, 0% loss
```

```
253 LTE speed test

PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) from 10.43.240.42 wan0: 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=117 time=246 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=117 time=34.7 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=117 time=36.8 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=117 time=29.8 ms
```

```
--- 8.8.8.8 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3004ms
rtt min/avg/max/mdev = 29.823/86.830/246.021/91.943 ms
```

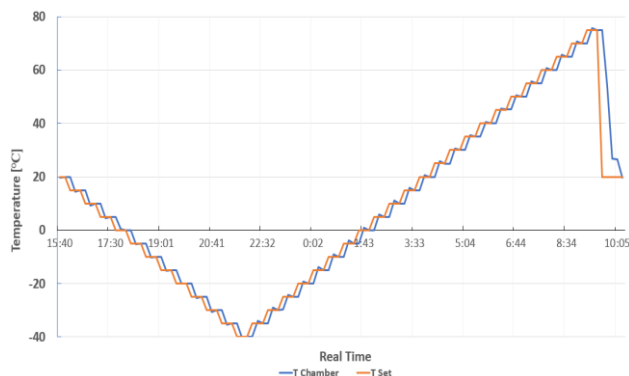
```
253 WiFi speed test

PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) from 172.30.2.55 wlan0:c461be4136: 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=119 time=10.3 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=119 time=10.3 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=119 time=9.96 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=119 time=9.75 ms

--- 8.8.8.8 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3004ms
rtt min/avg/max/mdev = 9.749/10.079/10.329/0.237 ms
```

Slika 7. Rezultati Bluetooth, LTE i WLAN testa

Pregledom tekstualnih datoteka dobijenih sa uređaja može se zaključiti da se USB uređaj u toku testiranja ponašao prema očekivanjima. Pregledom tekstualnih datoteka dobijenih sa komore može se potvrditi da je regulacija temperature bila ispravna. Ovaj test je od velikog značaja kako bi se ispitalo da li se javljaju nepravilnosti u malim delovima opsega radne temperature.



Slika 8. Grafički prikaz koračnog testa, gde je zadata temperatura T_{set} (narandžasta linija), a temperatura komore $T_{chamber}$ (plava) u toku 18 h i 25 min

3.2 Testiranje na minimalnoj temperaturi sa uključenim uređajem

Testiranje se izvodi na radnoj temperaturi od -40 °C, u trajanju od 24h sa uključenim uređajem. Test simulira situaciju kada bi se uređaj našao u sredini sa izrazito niskom temperaturom. Na slici 9 predstavljen je primer WiFi testa kojim se proverava da li uređaj poseduje WLAN komunikaciju u zadatim uslovima. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da uređaj poseduje željene funkcionalnosti u toku testiranja.

985 WiFi speed test

```
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) from 172.30.2.87 wlx04c461be4650: 56(84) bytes of data
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=119 time=12.2 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=119 time=9.44 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=119 time=9.57 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=119 time=10.4 ms

--- 8.8.8.8 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 9.436/10.410/12.204/1.104 ms
```

Slika 9. Prikaz WiFi testa kojim se ispituje brzina komunikacije

3.3 Rezultati testiranja na maksimalnoj temperaturi sa isključenim uređajem

Test se izvodi na temperaturi skladištenja od 85 °C, u trajanju od 48h sa isključenim uređajem čime se simuliraju uslovi sredine u kojima se uređaj može naći tokom transporta. U toku trajanja ovog testa podaci o komunikaciji nisu praćeni jer je uređaj isključen. Po završetku testiranja neophodno je uključiti uređaj kako bi se proverilo da li i dalje poseduje sve funkcionalnosti na sobnoj temperaturi. Na slici 10 predstavljen je deo tekstualne datoteke koja sadrži podatke o temperaturi komore u toku trajanja testa. Nakon testiranja uređaj se ponašao prema očekivanjima.

```
Terminating...
Thanks for using picocom
Iteration 2
Wed 8 Feb 14:20:24 CET 2023
picocom v3.1
Type [C-a] [C-h] to see available commands
Terminal ready
Tk= 22.89 Tset= 85.0 Tramp= 85.0 Rhc= 86.5 RhSet= 0.0
V=100.00 Tv= 20.52 RUN=1 CN=00155 ID=KK1700CH14044491
```

Slika 10. Prikaz parametara komore u toku testiranja na temperaturi od 85 °C sa isključenim uređajem

3.4 Testiranje na minimalnoj temperaturi sa isključenim uređajem

Testiranje se izvodi na minimalnoj temperaturi od -40 °C, u trajanju od 24h sa isključenim uređajem čime se simuliraju uslovi skladištenja i transporta uređaja. Kako je tokom testiranja uređaj isključen, podaci o komunikaciji nisu praćeni. Po završetku testiranja neophodno je uključiti uređaj kako bi se proverilo da li i dalje poseduje sve funkcionalnosti. Na slici 11 predstavljen je prikaz temperature komore. Kao i u prethodnom slučaju, uređaj poseduje sve funkcionalnosti nakon testiranja.

```
Iteration 3
Tue 7 Feb 11:38:36 CET 2023
picocom v3.1
Type [C-a] [C-h] to see available commands
Terminal ready
Tk= 15.68 Tset=-40.0 Tramp=-40.0 Rhc=100.0 RhSet= 0.0
V=100.00 Tv= 16.44 RUN=1 CN=00155 ID=KK1700CH14044491
```

Slika 11. Prikaz parametara komore u toku testiranja na temperaturi od -40 °C sa isključenim uređajem

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se prikažu postupci ispitivanja uticaja okoline na rad elektronskog uređaja, gde se simuliraju različiti uslovi u kojima on može da radi.

Predstavljeni su rezultati koračnog temperaturnog testa, u trajanju od 18h i 25min, ispitivanja na maksimalnoj temperaturi sa isključenim uređajem i testiranja na minimalnoj temperaturi sa uključenim i isključenim uređajem. Praćeno je da li u toku i nakon testiranja uređaj poseduje funkcionalnosti kao što su WLAN, LTE, Bluetooth i GNSS veza. Iz dobijenih rezultata se može zaključiti da uređaj uspešno izvršava komunikaciju i normalno funkcioniše u svim ispitivanim uslovima.

U daljem procesu validacije i verifikacije uređaja planira se izvođenje mehaničkih, hemijskih, IP (engl. *Ingress Protection*) kao i EMI i EMC testova.

5. LITERATURA

- [1] ISO 16750-1 Road vehicles —General.
- [2] Bijan, Y., Yu, J., Stracener, J., & Woods, T. (2013). Systems requirements engineering—State of the methodology. *Systems Engineering*, 16(3), 267-276.
- [3] <https://pks.rs/strana/sekcija/ce-znak-sta-je-ce-znak> Pristupljeno: 30.6.2023.
- [4] European Union official website, “CE Marking”, https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_en.htm, Pristupljeno: 14.6.2023.
- [5] The “Blue Guide” on the implementation of EU product rules, European Union, DG Enterprise and Industry, 2014.
- [6] ISO 16750-2 Road vehicles —Electrical loads.
- [7] ISO 16750-3 Road vehicles —Mechanical loads.
- [8] ISO 16750-4 Road vehicles —Climatic loads.
- [9] ISO 16750-5 Road vehicles —Chemical loads.
- [10] <https://kambic.com/klima-komore/> Pristupljeno: 14.6.2023.

Kratka biografija:

Milana Srbinovski rođena je u Vršcu 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjena elektronika odbranila je 2023. god. kontakt: milanasrbinovski@gmail.com