

Projektiranje i izrada elektroničkog uređaja za praćenje temperature proizvoda

Pušić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:982133>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**Projektiranje i izrada elektroničkog uređaja za praćenje
temperature proizvoda**

Završni rad br. 11/MEH/2022

Karlo Pušić

Bjelovar, listopad 2022.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Student: **Karlo Pušić**

JMBAG: 0314021116

Naslov rada (tema): **Projektiranje i izrada elektroničkog uređaja za praćenje temperature proizvoda**

Područje: **Tehničke znanosti**

Pojlje: **Elektrotehnika**

Grana: **Elektronika**

Mentor: **Goran Benkek, struč. spec. ing. el.**

zvanje: **predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. **dr. sc. Zoran Vrhovski, predsjednik**
2. **Goran Benkek, struč. spec. ing. el., mentor**
3. **Danijel Radočaj, mag. inž. meh., član**

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 11/MEH/2022

U sklopu završnog rada potrebno je:

1. Opisati funkcionalnost i namjenu uređaja za praćenje temperature proizvoda
2. Analizirati i odabrati sklopovlje uređaja za praćenje temperature proizvoda sukladno definiranim zahtjevima
3. Projektirati, izraditi i opisati prototipnu tiskanu pločicu uređaja za praćenje temperature proizvoda
4. Izraditi i opisati postupak izrade baterije za napajanje uređaja za praćenje temperature proizvoda
5. Ispitati karakteristike baterije uređaja za praćenje temperature proizvoda
6. Testirati funkcionalnost uređaja za praćenje temperature proizvoda

Datum: 13.09.2022. godine

Mentor: **Goran Benkek, struč. spec. ing. el.**



Zahvala

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru Goranu Benkeku, struč. spec. ing. el. koji mi je kroz godine studiranja na Veleučilištu u Bjelovaru približio tematiku izrade elektroničkih uređaja, dodatno me zainteresirao za smjer mehatronike i omogućio te pružio sva dodatna znanja izvan okvira predavanja.

Također zahvaljujem se profesorima dr.sc. Zoranu Vrhovskom i Danijelu Radočajju, mag.inž. meh. za održavanje intuitivne i zanimljive nastave bez koje ovaj završni rad ne bi bio moguć te nikada ne bih radio na ovakvim projektima bez logičkog razmišljanja i znanja stečenih tijekom studiranja na Veleučilištu u Bjelovaru

Posebnu zahvalu iskazujem vlasniku tvrtke ED Solutions d.o.o. mr.sc. Krešimiru Đuračiću za stipendiranje svih godina studiranja, održavanje odlične stručne prakse i pružanju prilika za rad na projektima međunarodne razine uz moto „Ima li napretka? (ILN)“.

Veliko hvala mojoj obitelji koja me podržavala tijekom studiranja i bez čije podrške sve ovo ne bi bilo moguće, što im ne smeta mjerna oprema i razni pokusi na blagovaonskom stolu.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Uređaj za praćenje temperature proizvoda	2
2.1 <i>NHS3100 mikroupravljač</i>	3
2.2 <i>Izrada sheme</i>	4
2.2.1 Blok tipkala	4
2.2.2 Blok izvodi za testiranje	5
2.2.3 Blok LED indikator	7
2.2.4 Blok NFC antena s integriranim filterom	8
2.2.5 Blok programiranje s odgovarajućim konektorom	9
2.3 <i>Izrada tiskane pločice</i>	10
2.3.1 Dizajn NFC antene	15
2.4 <i>Proces lemljenja komponenti na tiskanu pločicu</i>	16
2.4.1 Čišćenje tiskane pločice izopropilnim alkoholom	17
2.4.2 Postavljanje tiskane pločice u nosač za predložak	17
2.4.3 Nanošenje lemne paste	18
2.4.4 Pregled pločice prije lemljenja	19
2.4.5 Postavljanje komponenti	20
2.4.6 Zagrijavanje i lemljenje	21
3. Printana baterija	24
3.1 <i>Podloga baterije</i>	25
3.2 <i>Karakteristike baterije</i>	26
3.3 <i>Proizvodnja baterija</i>	27
4. Testiranje funkcionalnosti uređaja	30
5. Zaključak	32
6. Literatura	33
7. Oznake i kratice	34
8. Sažetak	35
9. Abstract	36

1. Uvod

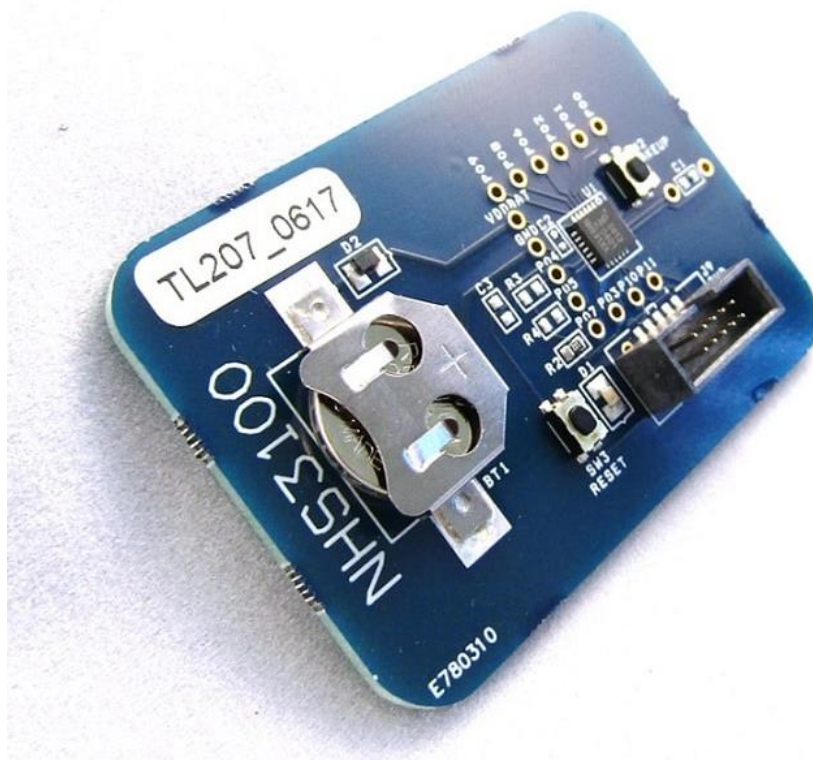
Unazad nekoliko godina sljedivost proizvoda od proizvodnje do krajnjeg potrošača je postala iznimno važna zbog povećanog udjela krivotvorenih proizvoda koji su se pojavili na tržištu. Ako je riječ o lijekovima o kojima ovisi život korisnika koji ih konzumira potrebno je minimizirati šanse da je lijek krivotvoren i da do krajnjeg korisnika dolazi originalan i pravilno skladišten lijek spreman za konzumaciju. Također je povećan broj neispravnih temperaturno osjetljivih proizvoda zbog povećanja opsega kupovine hrane putem Interneta, kao i u dućanima hrane koji prilikom transporta zahtijevaju pravilno hlađenje ili smrzavanje.

Tema ovog završnog rada je rješavanje problema praćenja temperature sljedivosti proizvoda kako bi do krajnjeg korisnika stigao proizvod koji je pravilno skladišten, nije opasan po život i nije krivotvoren.

U drugom poglavlju opisan je uređaj za praćenje temperature proizvoda te je opisan njegov princip rada, izrada sheme, izrada tiskane pločice i proces proizvodnje. U trećem poglavlju opisan je napredni proces izrade baterije postupkom printanja, proces proizvodnje baterije te analiza rada uređaja uz osnovne karakteristike s odgovarajućim grafovima. U četvrtom poglavlju uređaj je testiran i zabilježene temperature su analizirane. Na kraju je dan zaključak završnog rada.

2. Uređaj za praćenje temperature proizvoda

Uređaj za praćenje temperature proizvoda sastoji se od NHS3100 Smart Sensor mikroupravljača s integriranim NFC (engl. *Near field communication*) modulom i modulom za mjerenje temperature te Arm Cortex M0+ procesorom. Za primjenu praćenja temperature proizvoda čiji transport može trajati i više od 30 dana potrebno je osigurati nisku potrošnju energije s mogućnošću slanja uređaja u energetske modove potrošnje dubokog sna (engl. *deep sleep*) za što bolju iskoristivost kapaciteta baterije. Integrirani krug NHS3100 sadržava internu EEPROM memoriju veličine 4 kB što je za numerički podatak temperature kroz određeni vremenski period dovoljno, budući da se podatak uzima u predefiniranim intervalima, točnije svakih X sekundi/minuta/sati/dana. Interval mjerenja ovisi o primjeni, proizvodu, transportu i osobi koja uređaj konfigurira. Slika 2.1 prikazuje NHS3100 prototipno okruženje.



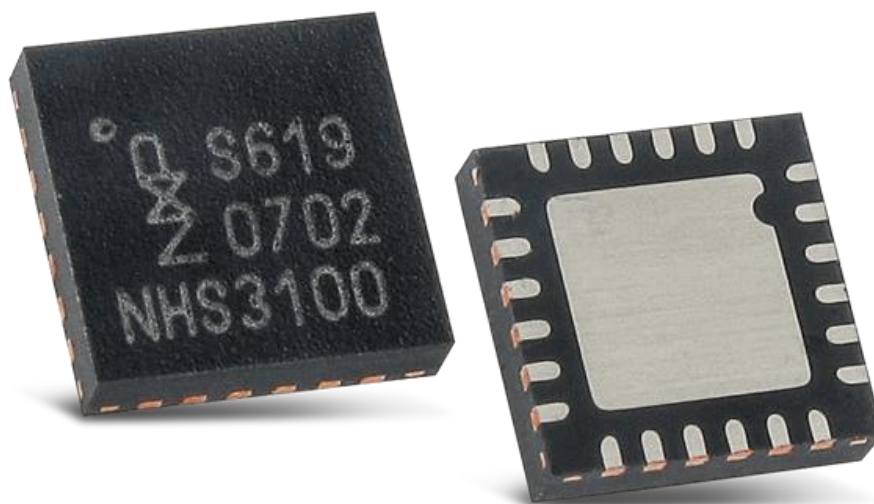
Slika 2.1: NHS3100 prototipno okruženje tvrtke NXP [1]

2.1 NHS3100 mikroupravljač

U završnom radu korišten je NHS3100 mikroupravljač tvrtke NXP u HVQFN24 kućištu (slika 2.2).

Karakteristike NHS3100 mikroupravljača jesu:

- Radni napon: 1.72V do 3.6V
- Mogućnost napajanja putem NFC polja bez potrebe baterije (samo očitavanje trenutne temperature)
- Aktivacija putem NFC polja
- Programiranje putem NFC polja korištenjem DFU/OTA (engl. *over-the-air device firmware upgrade*)
- Integriran modul za praćenje potrošnje energije u svrhu optimizacije vijeka trajanja baterije
- Više vrsta stanja napajanja: stanje sna, stanje dubokog sna, stanje dubokog gašenja i stanje ugašene baterije.
- Samostalno resetiranje nakon uključivanja
- Integriran NFC modul
- Integriran oscilator do 8 MHz
- Integrirana EEPROM memorija za pohranjivanje podataka veličine 4kB od kojih je 320 bajtova zaštićeno
- Integriran senzor temperature s preciznošću od $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$

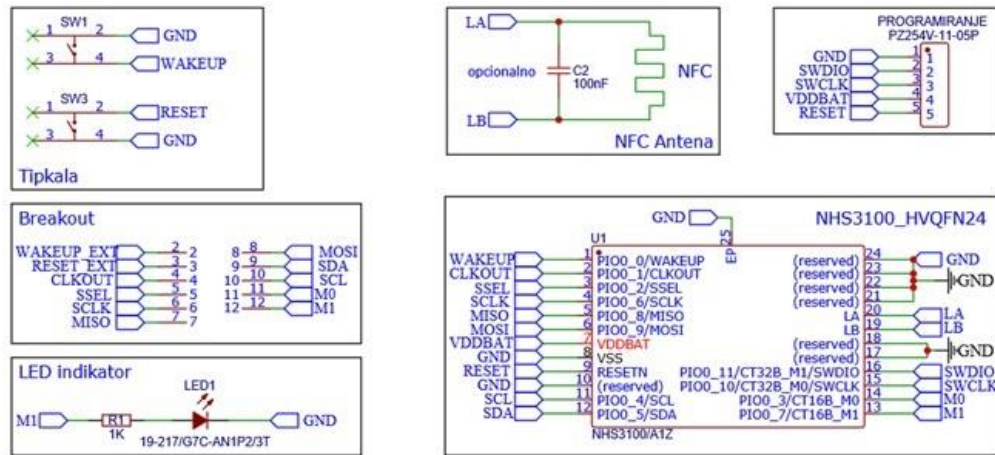


Slika 2.2: NHS3100 mikroupravljač u HVQFN24 kućištu [1]

Ovisno o tehnologiji proizvodnje tvrtka NXP proizvodi tri vrste kućišta, međutim u ovom radu zbog jednostavnosti proizvodnje, odabrano je HVQFN24 kućište mikroupravljača.

2.2 Izrada sheme

Prije izrade tiskane pločice potrebno je izraditi električnu shemu (slika 2.3) i slijediti preporuke proizvođača.



Slika 2.3: Električna shema uređaja za praćenje temperature proizvoda

Radi jednostavnije upotrebe i razumijevanja električna shema podijeljena je u više blokova i razlikujemo:

- Blok tipkala
- Blok izvodi za testiranje (engl. *breakout*)
- Blok LED indikator
- Blok NFC antena s integriranim filterom
- Blok programiranje s odgovarajućim konektorom

Shema je izrađena prateći preporuke proizvođača navedene u dokumentaciji mikroupravljača NHS3100, uz izmjene u području NFC antene, konektora za programiranje i izvoda za testiranje.

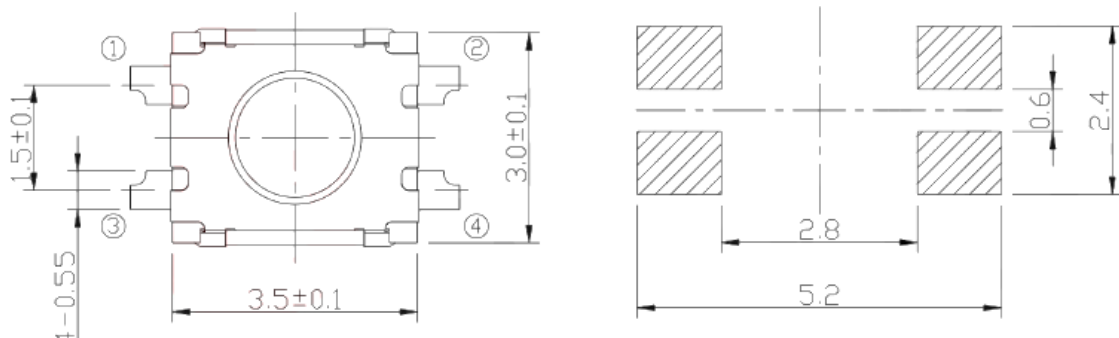
2.2.1 Blok tipkala

Kako bi se uređaj mogao resetirati ili probuditi iz stanja sna ili stanja dubokog sna u dizajn je potrebno dodati dva tipkala. Radi jednostavnosti korištenja odabrana su tipkala G-Switch GT-TC030A tvrke G-Switch (slika 2.4).



Slika 2.4: Tipkalo G-Switch [2]

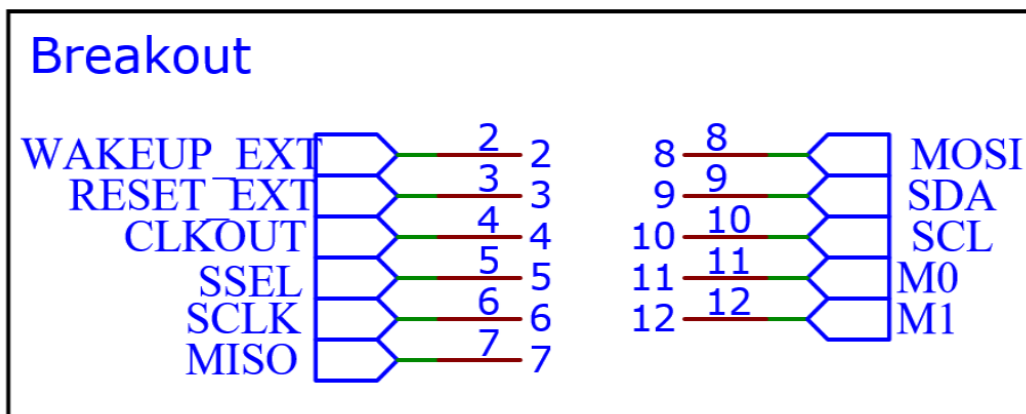
Izbor tipkala baziran je na dimenzijama i funkciji na uređaju (slika 2.5), budući da se radi o vrlo malom uređaju vrlo male potrošnje. Odabrana je SMD verzija tipkala zbog jednostavnijeg postavljanja i ručnog lemljenja vrućim zrakom, ali i zbog budućih planova serijske proizvodnje na automatiziranom stroju za lemljenje (engl. *Pick and Place*).



Slika 2.5: Dimenzije tipkala s označenim kontaktima za tiskanu pločicu [2]

2.2.2 Blok izvodi za testiranje

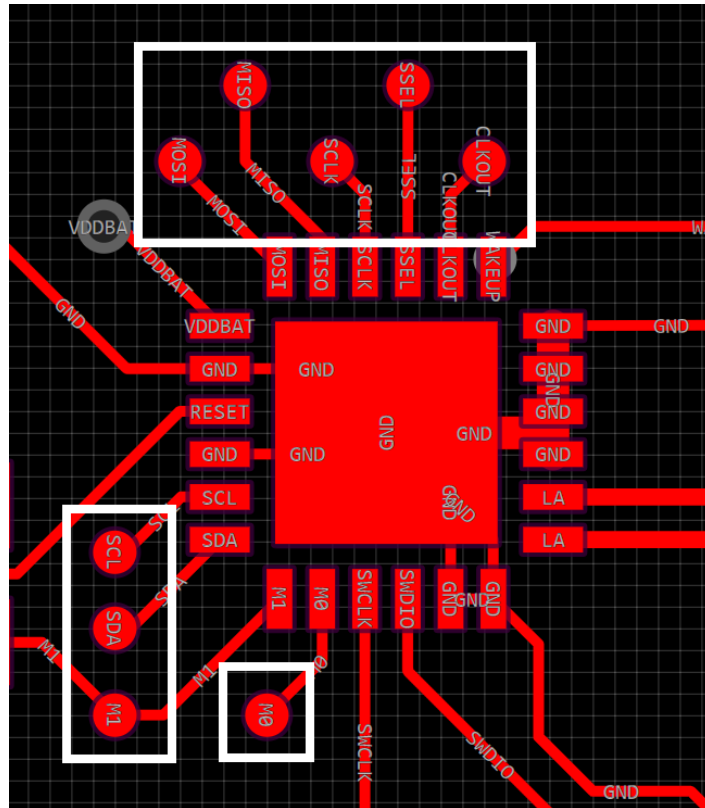
Blok izvodi za testiranje (engl. *breakout*, slika 2.6) služi kao niz kontakata na tiskanoj pločici (slika 2.7) koji se koriste za ispitivanje i testiranje uređaja u proizvodnji automatskom ili ručnom metodom.



Slika 2.6: Breakout blok izvodi za testiranje

Kontakti koji su spojeni na izvode za testiranje:

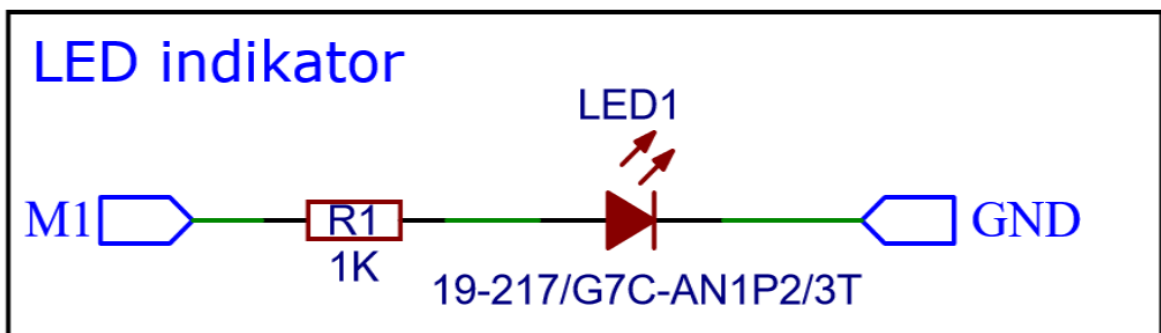
- WAKEUP_EXT – Eksterni ulaz za buđenje mikroupravljača iz stanja sna ili dubokog sna, putem oznaka kratkospojen na shemi s kontaktom WAKEUP.
- RESET_EXT – Vanjski ulaz za resetiranje mikroupravljača, putem oznaka kratkospojen na shemi s kontaktom RESET.
- CLKOUT – Clock izlaz iz mikroupravljača
- SSEL, SCLK, MISO, MOSI – SPI/SSP komunikacija
- SDA, SCL – I²C komunikacija
- M0, M1 – 16 bitni timer izlaz 0 i izlaz 1



Slika 2.7: Izvodi na tiskanoj pločici označeni su bijelim pravokutnicima

2.2.3 Blok LED indikator

Blok LED indikator (slika 2.8) prikazuje upravljanje svjetlećom diodom na tiskanoj pločici. Cilj uređaja je što manja potrošnja energije što znači da se dioda ne koristi često, već za prikaz potencijalnih grešaka ili grešaka tijekom programiranja.



Slika 2.8: Blok LED indikator s odgovarajućim komponentama

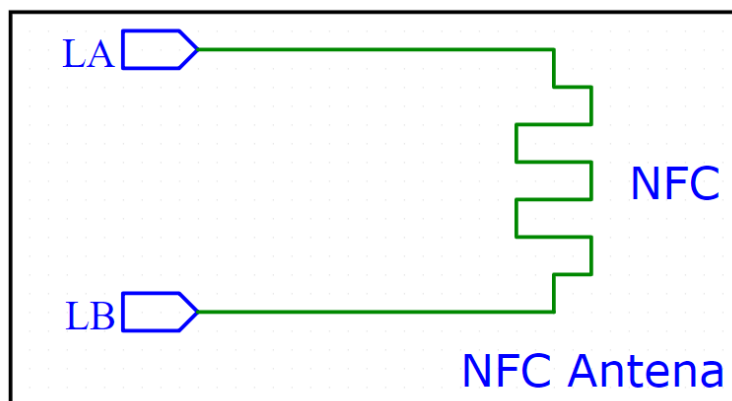
Otpornik R1 vrijednosti 1000Ω služi za ograničavanje struje koja teče diodom obzirom da dioda ne služi za osvjetljavanje, već samo kao indikator. Proizvođač diode je tvrtka *Everlight Elec*, model 19-217/G7C-AN1P2/3T (slika 2.9).



Slika 2.9: Everlight Elec dioda [2]

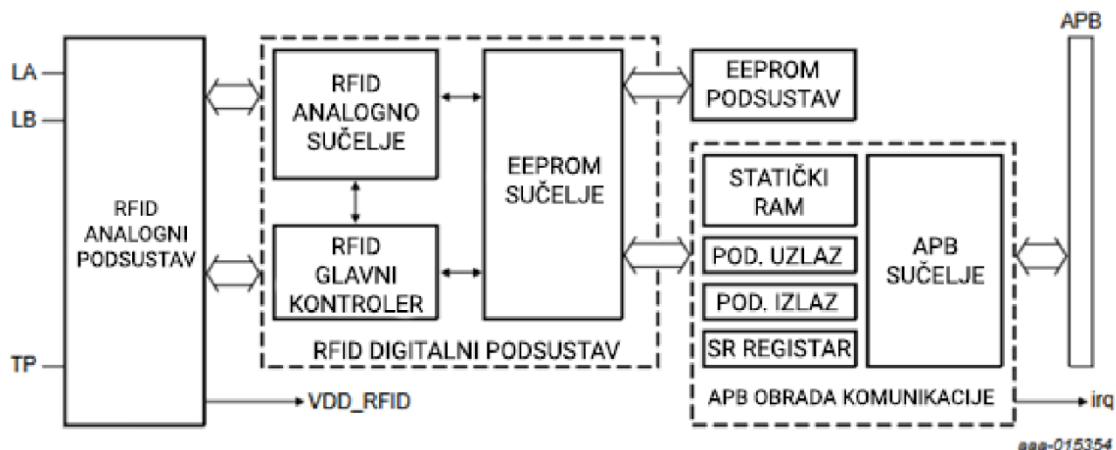
2.2.4 Blok NFC antena s integriranim filterom

Blok NFC antena (slika 2.10) sastoji se od izvoda koji se nalaze na NHS3100 mikroupravljaču, NFC antene i filtera antene. LA i LB izvodi nalaze se na mikroupravljaču te označavaju izvode za NFC antenu, terminal A i terminal B (slika 2.11).



Slika 2.10: Blok NFC antena s integriranim filterom

Blok dijagram (slika 2.11) prikazuje NFC modul unutar NHS3100 mikroupravljača, točnije prikazuje analogni i digitalni sustav unutar mikroupravljača koji zaprima i odašilje podatke putem NFC komunikacije.



Slika 2.11: Blok dijagram NFC modula unutar mikroupravljača [1]

Uzevši u obzir preporuke od proizvođača spojen je kondenzator C2 kapaciteta 100 nF (slika 2.12).



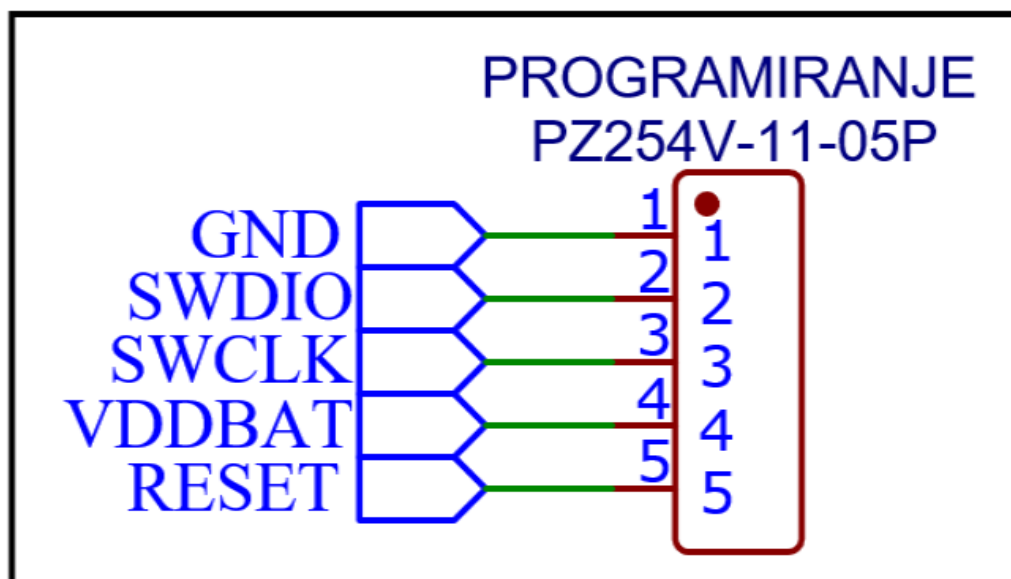
Slika 2.12: Kondenzator C2 100 nF [2]

Korištenje ovog kondenzatora je opcionalno i služi isključivo za filtriranje NFC antene, točnije fino podešavanje rezonantne frekvencije antene na 13.56 MHz i impedancije. Rezultati su dobiveni eksperimentalno, u slučaju uređaja za praćenje temperature proizvoda kondenzator nije potreban s obzirom na to da antena ima pretpostavljena svojstva, koja su precizno izračunata prilikom dizajniranja.

2.2.5 Blok programiranje s odgovarajućim konektorom

Blok programiranje s odgovarajućim konektorom prikazuje izvode mikroupravljača koji se spajaju na programator putem konektora „PROGRAMIRANJE“ (slika 2.13) kako bi se

mogao prenijeti program na mikroupravljač u slučaju da NFC antena ne postoji ili ne radi ispravno.



Slika 2.13: Blok programiranje s odgovarajućim konektorom

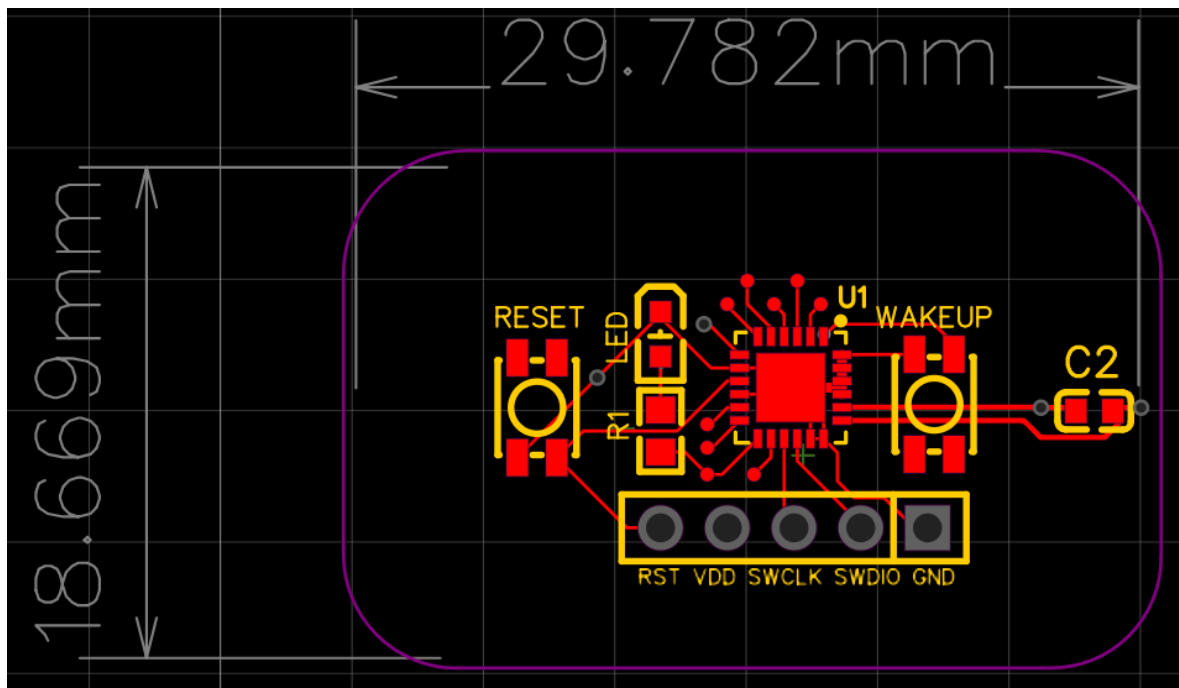
Putem konektora (slika 2.14) se može prenositi program punilac i programski kod, dok je putem NFC polja moguće prenositi samo programski kod. Za prenošenje programskog koda putem NFC polja potrebno je izraditi program punilac koji to podržava.



Slika 2.14: Konektor za programiranje [2]

2.3 Izrada tiskane pločice

Tiskana pločica vezana je za električnu shemu na slici 2.5 te je izrađena po preporukama navedenim u dokumentaciji NHS3100 mikroupravljača. Slika 2.15 prikazuje gornji sloj tiskane pločice.

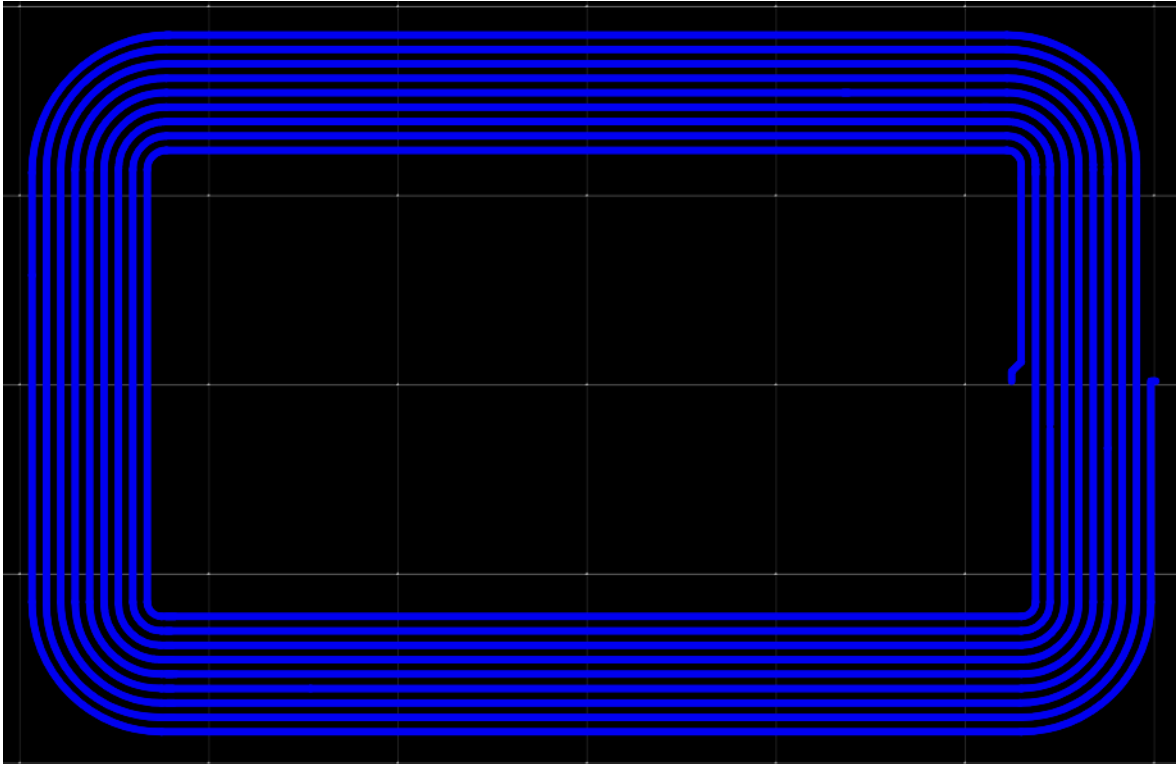


Slika 2.15: Dizajn tiskane pločice uz dimenzije, gornji sloj

Tijekom izrade tiskane pločice bitno je obratiti pozornost na dizajn NFC antene (slika 2.16) o kojoj ovisi komunikacija s mobilnim uređajem. Loše izrađena NFC antena koja ne odgovara NFC standardu koji je implementiran u NHS3100 mikroupravljaču rezultira lošom komunikacijom s mobilnim uređajem putem kojega se izmjereni podatci preuzimaju. Loše izrađena antena nema točan induktivitet, impedanciju, nema točan razmak vodova i izvedbu kutnih spojeva. Također loše izrađena NFC antena onemogućuje napajanje uređaja.

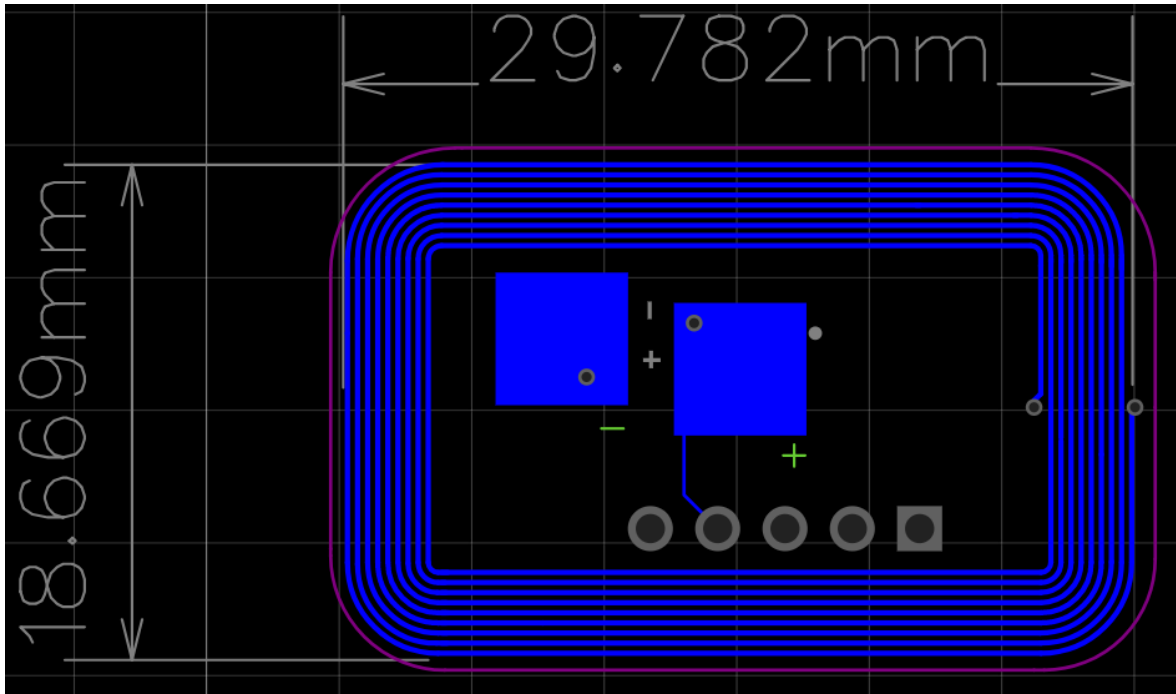
Tehničke specifikacije tiskane pločice:

- Dimenzije: 31.1 x 19.7mm
- Bazni materijal: FR4
- Broj slojeva: 2
- Boja tiskane pločice: zelena
- Test letećom sondom: uspješno odrađen



Slika 2.16: NFC antena

Slika 2.17 prikazuje donji sloj tiskane pločice.



Slika 2.17: Dizajn tiskane pločice uz dimenzije, donji sloj

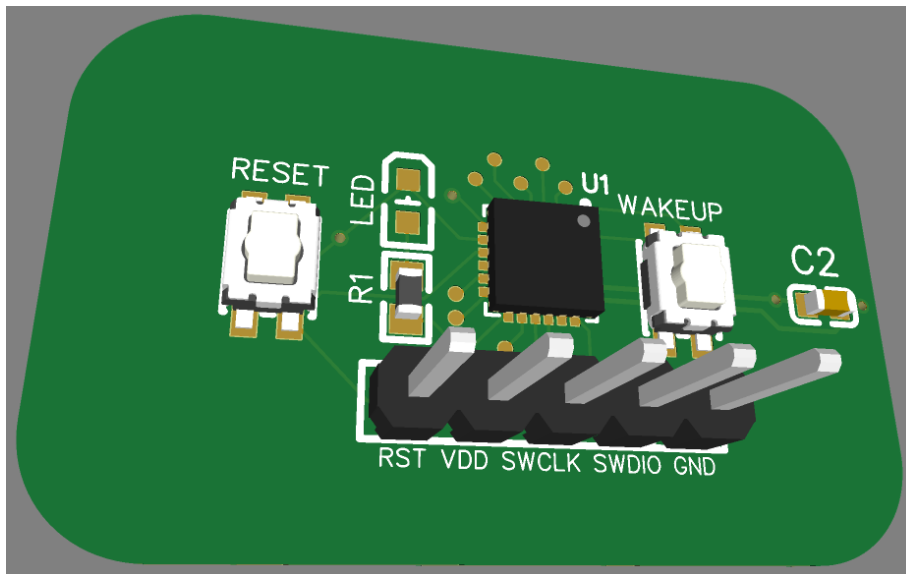
S donje strane tiskane pločice kreirana su dva izvoda putem kojih se uređaj može napajati s laboratorijskog izvora ili baterije. Radi jednostavnosti lemljenja tijekom testiranja, napajanje

je izvedeno i na konektor za programiranje te se može napajati putem programatora (slika 2.18).

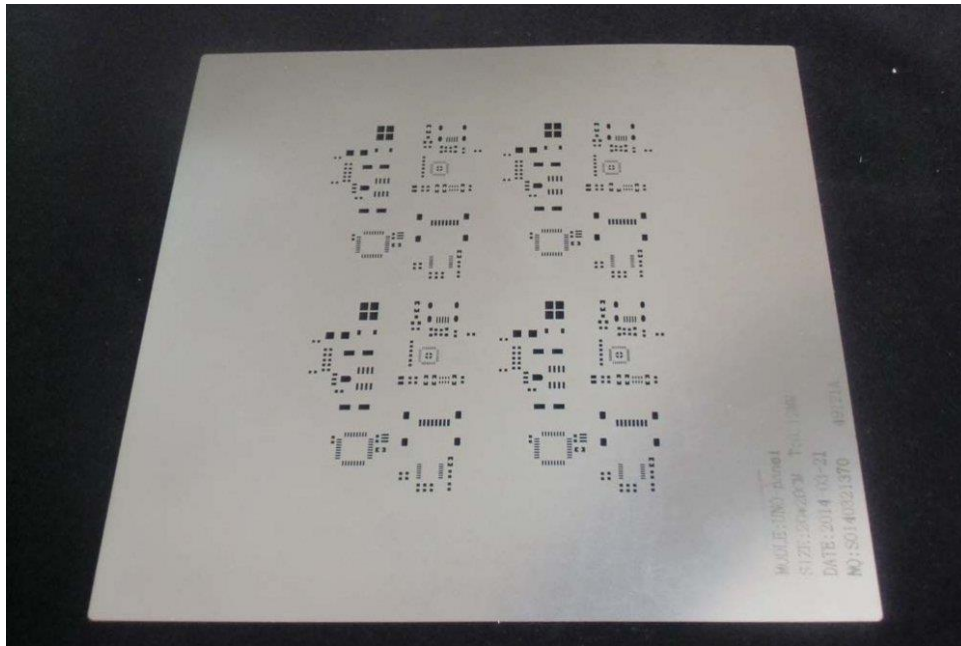


Slika 2.18: Programator tvrtke NXP [1]

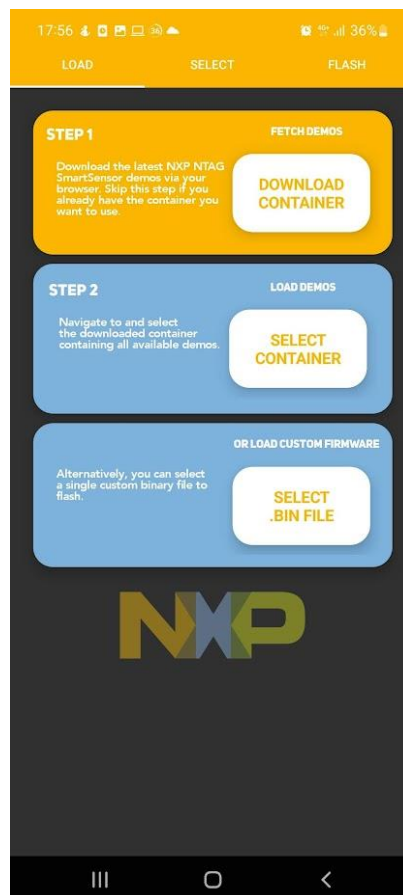
Slika 2.19 prikazuje 3D model tiskane pločice s NHS3100 mikroupravljačem i jednom dodatnom komponentom, točnije konektorom za programiranje. Nakon lemljenja koristeći vrući zrak i lemnu pastu nanесenu putem predloška za nanošenje lemne paste (slika 2.20), pločica je programirana putem NFC komunikacije te je prenesen NXP primjerak programa za praćenje temperature (slika 2.21).



Slika 2.19: Tiskana pločica u 3D prikazu



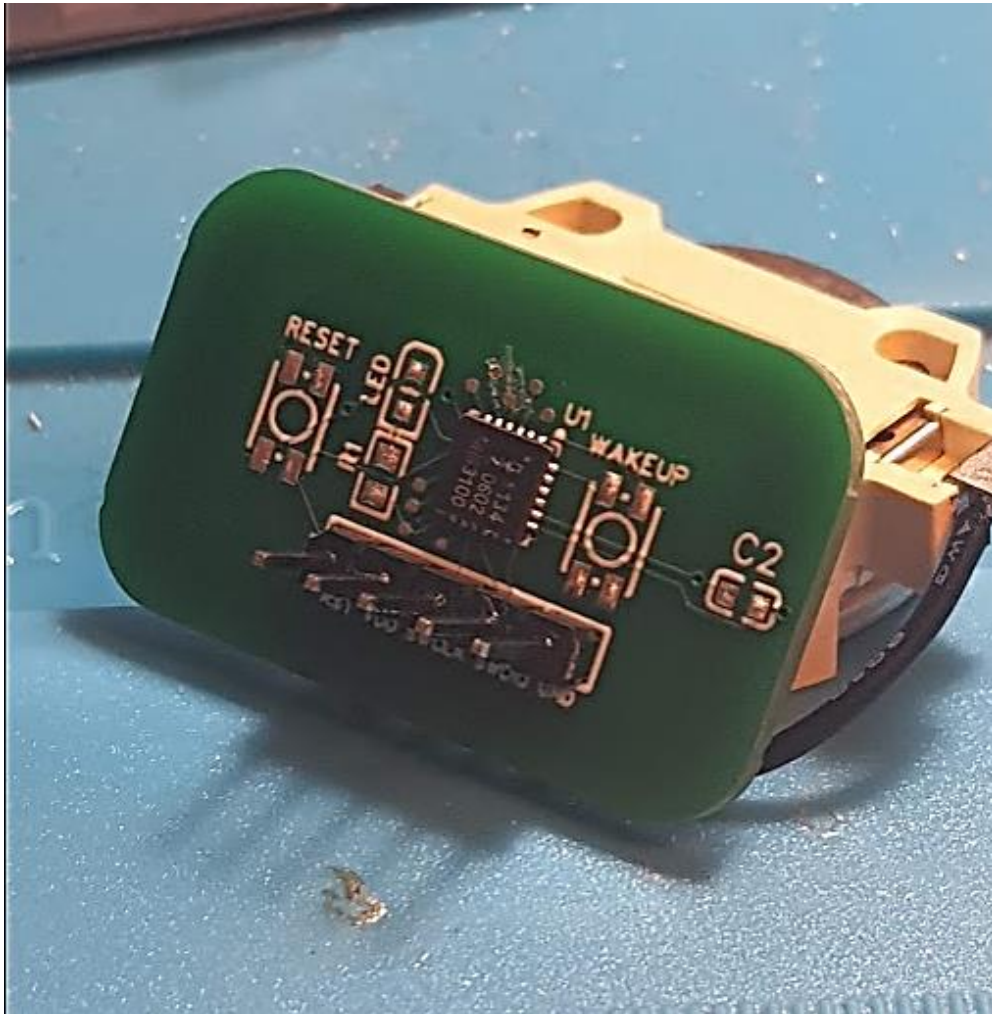
Slika 2.20: Predložak za nanošenje lemne paste na tiskanu pločicu [3]



Slika 2.21: NXP aplikacija za prenošenje programa na NHS3100 mikroupravljač

Skeniranjem mobilnim uređajem podaci se prenose i pravilno očitavaju. Bitno je za napomenuti da je NHS3100 mikroupravljač osjetljiv na nagle temperaturne promjene koje

se događaju prilikom lemljenja ručnim vrućim zrakom što može utjecati na točnost očitavanja temperature vrijednosti. Kako je riječ o prototipu koji se neće koristiti za masovnu proizvodnju lemljenje ručnim vrućim zrakom ne utječe znatno na kvalitetu. Tiskana pločica naručena je od renomiranog proizvođača tiskanih pločica JLCPCB uz uslugu izrade predloška za nanošenje lemne paste. Odabrana je LOCTITE GC10 lemna pasta radi jednostavnog skladištenja i odličnih lemnih performansi uz jednostavno i brzo nanošenje. Slika 2.22 prikazuje izrađeni uređaj.



Slika 2.22: Izrađena tiskana pločica sa Renata CR2477N baterijom u odgovarajućem kućištu

2.3.1 Dizajn NFC antene

Dizajn NFC antene ključan je za pravilnu komunikaciju s mobilnim uređajem. Ako je NFC antena pogrešno napravljena ili dizajnirana, posljedice su loša ili nepostojeća komunikacija s mobilnim uređajem, povećana potrošnja energije i smanjen doseg. Jedna od

prednosti NHS3100 mikroupravljača je ta da se cijeli uređaj može napajati putem induciranog napona NFC antene.

Izračunate karakteristike antene na tiskanoj pločici (slika 2.23):

- Dimenzije antene: 29.782 x 18.669 mm
- Broj namota: 8
- Debljina vodova: 0.2mm
- Razmak vodova: 0.381mm
- Induktivitet: 2.317 uH

Equivalent conductor diameter (Output#1):

0.09440701425936818

Average Length (Output#2):

25.560161580083957

Average Width (Output#3):

14.771335247701883

Inductance in μH (Output#4):

2.3172507851938264

Slika 2.23: Izračun induktiviteta NFC antene pomoću RFWireless kalkulatora [4]

Testiranje NFC antene vršilo se eksperimentalno uz korištenje mobilnog uređaja Samsung Note 10 i Tlogger aplikacije. Domet NFC antene je okvirno 5 cm od tiskane pločice (ovisno o uređaju koji skenira) i uređaj se može napajati putem NFC antene. Priključivanjem baterije ili laboratorijskog napajanja možemo konfigurirati praćenje temperature i vremenski interval.

2.4 Proces lemljenja komponenti na tiskanu pločicu

Proces lemljenja komponenti na tiskanu pločicu može se podijeliti u nekoliko koraka radi jednostavnosti, a sastoji se od:

- Čišćenje tiskane pločice izopropilnim alkoholom

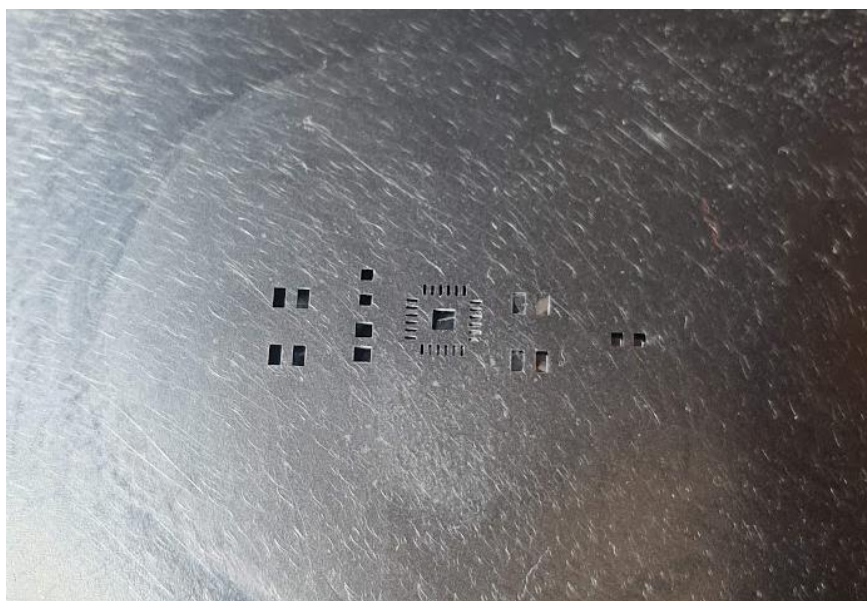
- Postavljanje tiskane pločice u nosač
- Nanošenje lemne paste
- Pregled pločice prije lemljenja
- Postavljanje komponenti
- Zagrijavanje i lemljenje

2.4.1 Čišćenje tiskane pločice izopropilnim alkoholom

Prije nanošenja lemne paste potrebno je očistiti tiskanu pločicu od masnoća i nečistoća. U suprotnom može doći do kontaminacije lemne paste, oštećenja predloška ili odbijanja lemne paste od kontakta. Za čišćenje koristi se izopropilni alkohol budući da nakon isparavanja ne ostavlja talog dok odlično odmašćuje površinu bez oštećenja ili nagrivanja vodova.

2.4.2 Postavljanje tiskane pločice u nosač za predložak

Prije nanošenja lemne paste potrebno je učvrstiti tiskanu pločicu u nosač kako bi se kontakti poravnali s laserski izrezanim rupama na predlošku za nanošenje lemne paste (slika 2.24). Uzima se jedna pločica iz pakiranja otpornog na vlagu (slika 2.25), zatim se pločica postavlja ispod predloška za nanošenje lemne paste i provjerava se jesu li kontakti poravnavati.



Slika 2.24: Predložak izrađen za tiskanu pločicu s rupama koje odgovaraju kontaktima

Prije i nakon korištenja predložak je preporučljivo očistiti s izopropilnim alkoholom kako se rupe za kontakte ne bi zapunile s lemnom pastom.



Slika 2.25: Tiskane pločice u pakiranju otpornom na vlagu

2.4.3 Nanošenje lemne paste

Kada se laserski izrezane rupe na predlošku poklope s kontakima na tiskanoj pločici prelazi se na korak nanošenja lemne paste. Prije korištenja lemna pasta postavlja se u mikser za lemnu pastu (slika 2.26). Tijekom vremena dolazi do odvajanja sredstva za lemljenje i lemnih kuglica koje je potrebno vratiti u homogenu masu. Sredstvo otklanja oksidirani sloj metala s kontakta i otklanja zrak kako bi se spriječilo oksidiranje i lemna svojstva. Lemne kuglice sastoje se od 60% kositra i 40% olova i čine većinski udio lemne paste, dok je udio masti za lemljenje 12%.



Slika 2.26: Mikser za lemnu pastu [5]

Nakon što lemnna pasta postane homogena smjesa, uzima se mala količina lemne paste i postavlja na predložak. Pakiranje lemne paste zatvara se i vraća u uvjete skladištenja koje je propisao proizvođač, dok se koristi samo pasta koja je postavljena na predložak.

Koristeći pomoćni alat za lemnu pastu izdvajamo malu količinu lemne paste i nanosimo preko rupa izrezanih na predlošku za nanošenje lemne paste, pritom pridržavajući predložak kako se ne bi odvojio od tiskane pločice. Nakon nanošenja predložak podižemo i provjeravamo nanese li lem, točnije poziciju, količinu i raspoređenost. Ako je nanos zadovoljavajući tiskanu pločicu podižemo iz nosača i stavljamo na stranu, dok predložak vraćamo u horizontalnu poziciju kako bi se izbjeglo oštećenje.

2.4.4 Pregled pločice prije lemljenja

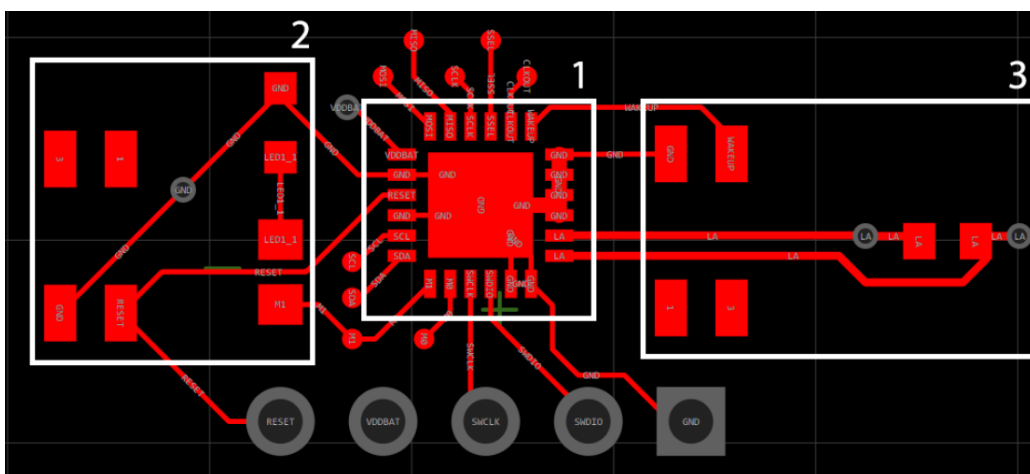
Prije lemljenja potrebno je pregledati nanese li lemnu pastu pod mikroskopom (slika 2.27). Ovaj korak nije potreban u slučaju nanošenja profesionalnim uređajem za nanošenje lemne paste, ali budući da se radi o improviziranom nosaču tiskane pločice potreban je dodatan korak.



Slika 2.27: Digitalni mikroskop Andostar [6]

2.4.5 Postavljanje komponenti

Pravilno postavljanje komponenti ključan je korak u ispravnosti uređaja. Radi jednostavnosti definiran je redosljed postavljanja montažnom shemom (slika 2.28) koji kreće s kompleksnijim komponentama prema jednostavnijim komponentama. Bitno je napomenuti da se konektor za programiranje postavlja i lemi nakon što se postave i zaleme komponente koje se montiraju površinski. Konektor za programiranje jedina je *TH* (engl. *through hole*) komponenta na cijelom uređaju.



Slika 2.28: Montažna shema

Redoslijed postavljanja komponenti:

1. Postavljanje NHS3100 mikroupravljača
2. Postavljanje lijevog tipkala *RESET*, diode *LED* i otpornika *R1*
3. Postavljanje desnog tipkala *WAKEUP* i kondenzatora *C2*

2.4.6 Zagrijavanje i lemljenje

Nakon što su komponente postavljene, tiskanu pločicu postavljamo u držač i prelazimo na zagrijavanje i lemljenje. Za ovaj proces koristi se ručna lemilica na vrući zrak (slika 2.29).

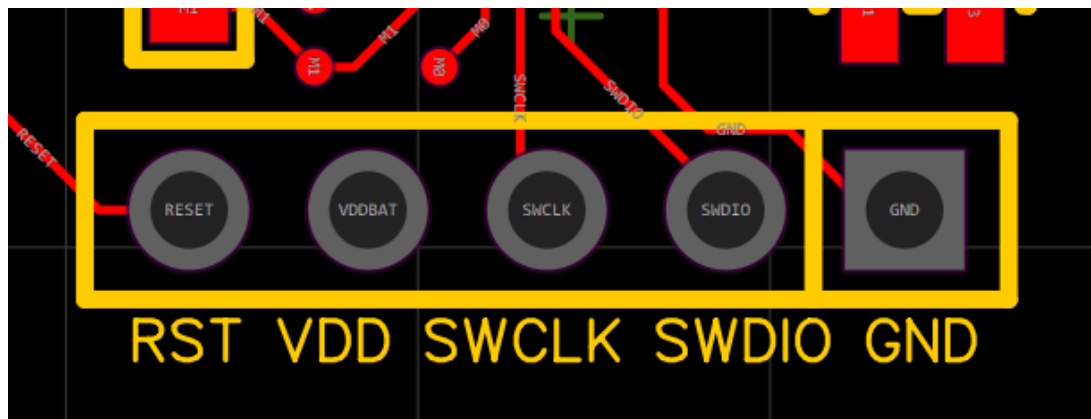


Slika 2.29: Multicomp Pro ručna lemilica na vrući zrak

Za zagrijavanje i lemljenje koriste se postavke (bazirane na Multicomp Pro):

- Brzina zraka: 25% maksimalne brzine
- Temperatura zagrijavanje: 300°C
- Temperatura lemljenja: 380°C
- Temperatura hlađenja: 240°C

Nakon lemljenja tiskana pločica se hladi na sobnoj temperaturi. Nakon hlađenja postavljamo konektor za programiranje (slika 2.30).



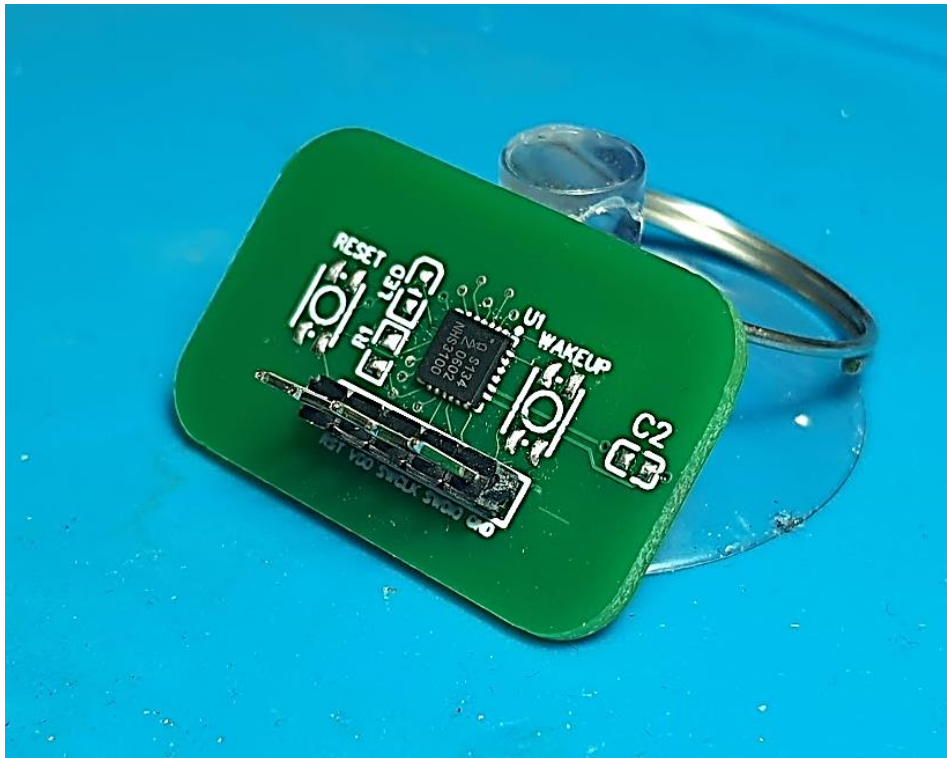
Slika 2.30: Konektor za programiranje

S obzirom na to da je konektor za programiranje *TH* komponenta za lemljenje koristimo ručnu lemlicu (slika 2.31).



Slika 2.31: Ručna lemilica [7]

Odabir lemne paste baziran je na prijašnjem iskustvu i specifikacijama koje pasta pruža. Neke od bitnijih specifikacija su mast za lemljenje koja ne nagriza, točnije mast koju nije potrebno čistiti ultrazvučnom kupkom i neće oksidirati na tiskanoj pločici. Nakon lemljenja konektora za programiranje pločica je dovršena (slika 2.32)



Slika 2.32: Primjer zalemljenog mikroupravljača i konektora za programiranje

3. Printana baterija

Printana baterija izrađena raznim grafičkim tehnologijama (npr. sitotisak) bazirana je na provodljivim bojama renomiranog proizvođača koji se bavi isključivo proizvodnjom i sintezom provodljivih boja. Za proizvodnju baterija koristi se niz od 7 provodljivih boja raznih električnih karakteristika (slika 3.1). Prednost ovih baterija je brzina proizvodnje korištenjem raznih grafičkih tehnologija i razlika potencijala od 1.5V po ćeliji. Tablica 3.1 prikazuje karakteristike baterije.

Tablica 3.1: Karakteristike baterije izlaznog napona 3V [8]

Tip baterije:	Zn - ZnCl ₂ - MnO ₂
Napon praznog hoda:	~3V (dvije ćelije)
Struja kratkog spoja:	~50 mA
Kapacitet:	1-2 mAh*
Podloga:	175 μm
Debljina slojeva:	~350 μm
* Ovisno o načinu upotrebe i debljini slojeva	

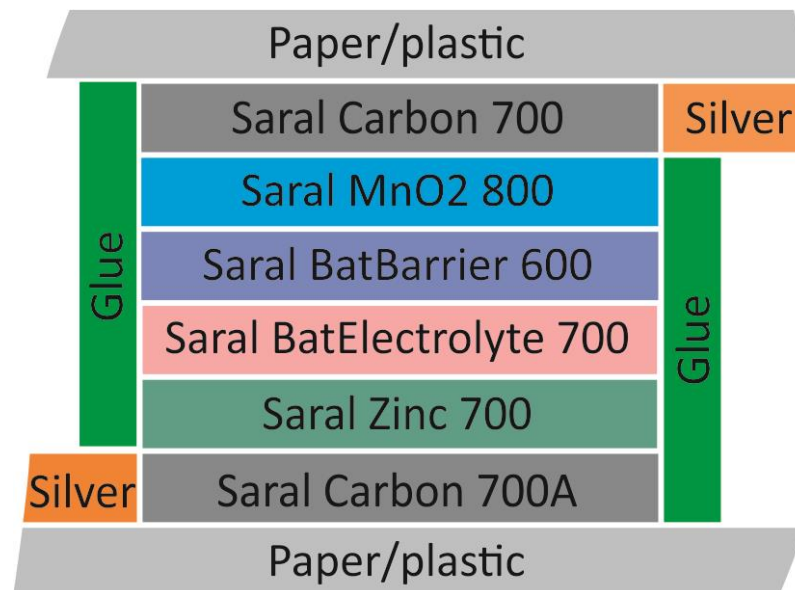
Prednost ove vrste baterija je što električni potencijal nastaje kemijskom reakcijom cinka i mangan dioksida, što znači da se baterije ne moraju puniti prije upotrebe. Prednost alkalnih baterija je njihova energetska gustoća i činjenica da mogu jako dugo stajati prije korištenja bez prevelikih gubitaka. Da bi se ostvario kapacitet koristi se tekući elektrolit i baterije proizvedene ovom metodom imaju kapacitet 1-2 mAh. Kapacitet drastično ovisi o proizvodnom procesu, debljini sita, pritisku tijekom nanošenja slojeva, sušenju i laminiranju.



Slika 3.1: Prikaz Saral Ink vodljivih boja [8]

3.1 Podloga baterije

Podloga baterije je PET folija na koju se nanose slojevi redosljedom prikazanim na slici 3.2.



Slika 3.2: Prikaz slojeva unutar printane baterije [8]

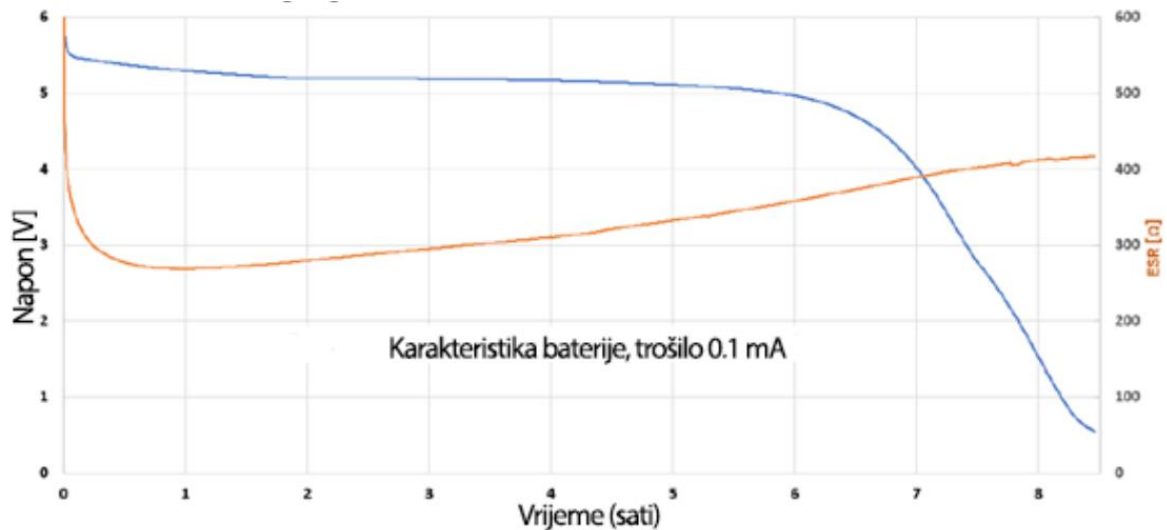
Razlika potencijala koja se dobiva kemijskom reakcijom iznosi 1.5V te njezin kapacitet ovisi o debljini slojeva i površini. Baterije se mogu spajati u serijski spoj kako bi se dobio veći napon pogodan za napajanje mikroupravljača. Bitno je napomenuti kako printane baterije nisu otporne na velike struje što znači ako se dogodi kratki spoj baterija se više ne može koristiti. Najveća dozvoljena struja baterije je 20mA, ali taj podatak ovisi o unutarnjem otporu baterije i samom proizvodnom procesu koji se može dodatno poboljšati. Vodovi koji se spajaju na mikroupravljač napravljeni su od srebra, budući da je printani bakar prilikom testiranja baterija izazivao kemijsku reakciju s ljepilom i tekućim elektrolitom što nije poželjno u proizvodnji. Izrađena baterija prikazana je na slici 3.3.



Slika 3.3: Prikaz baterije s 2 ćelije spojene u serijski spoj

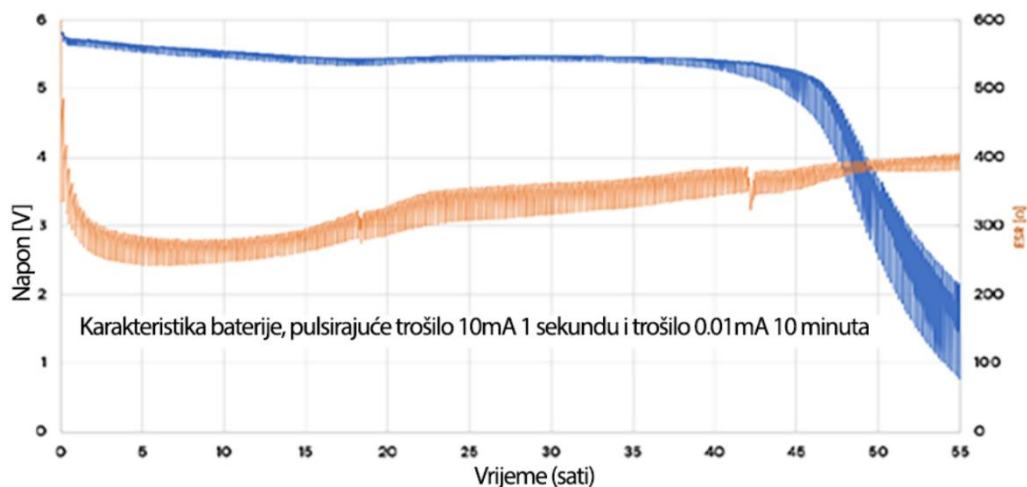
3.2 Karakteristike baterije

Testiranje svojstava baterije napravila je tvrtka Saral Ink. Na slici 3.4 vidljiv je odnos vremena i napona baterije s konstantnim trošilom od 0.1 mA. Testirana baterija je napravljena od više ćelija, što rezultira naponom od 6V. Bitno je napomenuti da s vremenom raste unutarnji otpor baterije ESR gdje nakon 7 sati korištenja napon naglo pada sve do 0.6V gdje se gasi trošilo.



Slika 3.4: Odnos vremena i napona baterije s trošilom konstantnih 0.1 mA [8]

Slika 3.5 prikazuje odnos vremena i napona s pulsirajućim trošilom od 10mA u trajanju od 1s svakih 10 minuta, dok je ostatak vremena spojeno trošilo od 0.01mA. Slika 3.5 prikazuje realnije korištenje gdje se mikroupravljač budi iz stanja dubokog sna svakih 10 sekundi, odradi zadane radnje koristeći 10mA i vraća se u stanje dubokog sna u kojemu troši 0.01mA.



Slika 3.5: Odnos vremena i napona s pulsirajućim trošilom 10 mA svakih 10 minuta [8]

3.3 Proizvodnja baterija

Za proizvodnju printanih baterija koristi se stroj za sitotisak (slika 3.6) s odgovarajućim sitom ovisno o slojevima. S obzirom da je riječ o dosta preciznom nanošenju slojeva bitno je imati kvalitetan stroj za sitotisak jer odstupanja između slojeva ne smije biti ili mogu biti minimalna. Ukoliko nakon nanošenja elektrolita on procuri izvan zone nanošenja sitom, bateriji naglo raste unutarnji otpor, pada izlazni napon i nije iskoristiva.



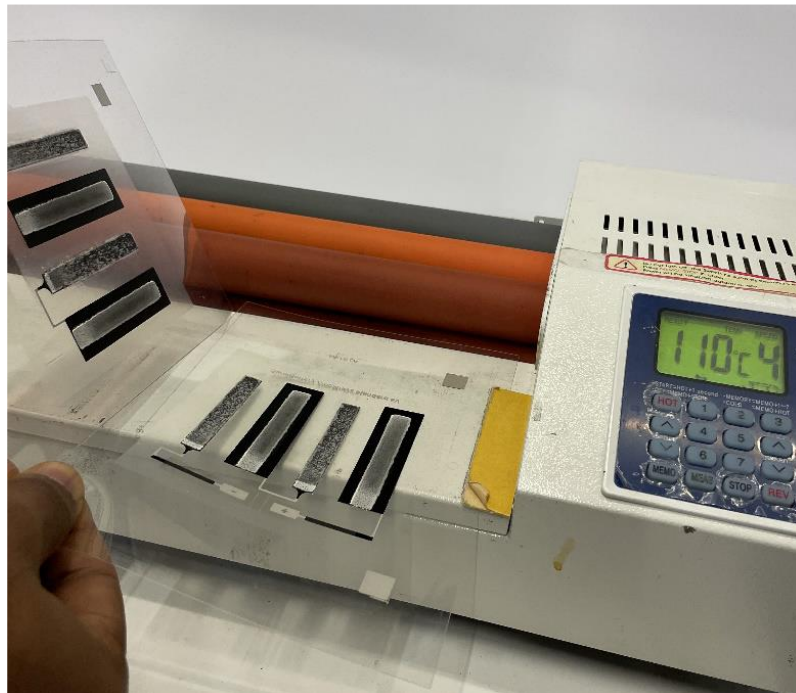
Slika 3.6: Stroj za sitotisak s vakumskom podlogom [9]

Nakon nanošenja slojeva smola se suši na temperaturi od 90°C jednu minutu. Tek nakon sušenja nanosi se tekući elektrolit *BatElectrolyte 700* koji se ne suši, već se laminira koristeći stroj za laminiranje (slika 3.7).



Slika 3.7: Stroj za laminiranje [10]

Nakon nanošenja elektrolita, dvije strane folije preklapamo i postavljamo u laminator na 110°C (slika 3.8).

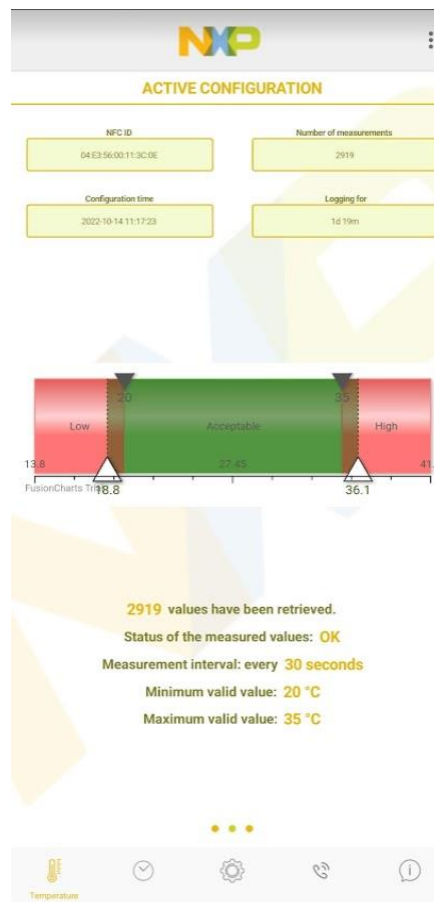


Slika 3.8: Preklapanje slojeva baterije [8]

Bitno je namjestiti pritisak laminatora kako tekući elektrolit ne bi procurio, rezultati su dobiveni eksperimentalno s obzirom da pritisak ovisi o modelu laminatora. Nakon laminiranja baterija je testirana multimetrom. Ako baterija ima napon od približno 3V, testiranje se nastavlja. Ako baterija nema napon ili je ispod 2.5V potrebno je analizirati proizvodni proces i napraviti adekvatne promjene za bolje rezultate.

4. Testiranje funkcionalnosti uređaja

Testiranje uređaja trajalo je jedan dan uz uzorkovanje svakih 30 sekundi. Prikupljeno je 2919 uzoraka. Slika 4.1 prikazuje NXP mobilnu aplikaciju i zabilježene temperaturne vrijednosti svakih 30 sekundi. Aplikacija putem NFC komunikacije obrađuje zabilježene podatke i prikazuje ih u obliku tablice ili interaktivnih grafova.



Slika 4.1: Prikaz zabilježenih temperatura unutar Tlogger aplikacije

Tablica 4.1 prikazuje zabilježene podatke tijekom uzorkovanja. Prikazano je 10 mjerenja zbog relativno velikog broja podataka. Uzorkovanje je vršeno svakih 30 sekundi u intervalu od 4 minute i 30 sekundi. Uz temperaturu zabilježen je datum i vrijeme uzimanja podatka.

Tablica 4.1: Prikaz zabilježenih podataka

Broj:	Vrijeme:	Temperatura (°C):
1	2022-10-14 9:40:03	22.4
2	2022-10-14 9:40:33	22.3
3	2022-10-14 9:41:03	22.3
4	2022-10-14 9:41:33	22.3
5	2022-10-14 9:42:03	22.3
6	2022-10-14 9:42:33	22.4
7	2022-10-14 9:43:03	22.3
8	2022-10-14 9:43:33	22.3
9	2022-10-14 9:44:03	22.4
10	2022-10-14 9:44:33	22.4

Tijekom analize podataka nisu uočena znatna odstupanja temperature. Potvrđena je stabilnost odziva mjerene veličine odnosno nema rasipanja mjerenog rezultata.

5. Zaključak

Sljedivost proizvoda od proizvodnje do krajnjeg potrošača je postala iznimno važna zbog povećanog udjela krivotvorenih i pokvarenih proizvoda na tržištu. Korištenje uređaja koji prate put proizvoda sve do njegove kupovine postaju dio svakodnevnice. Njihova potražnja i tržište raste, ali predstavljaju trošak i zagađenje okoliša. Cilj je izraditi uređaj niske potrošnje energije, niskog troška proizvodnje i što manjih dimenzija. Koristeći mikroupravljač NHS3100 ostvarujemo vrlo nisku potrošnju energije što nam omogućuje korištenje baterija manjeg kapaciteta i alternativne proizvodne procese. U mikroupravljaču je integriran senzor temperature što eliminira potrebu za vanjskim komponentama, značajno pojednostavljuje proizvodnju i površinu tiskane pločice. Komunikacija putem NFC polja također je integrirana u mikroupravljač i omogućuje programiranje putem mobilnog uređaja, ali i prijenos izmjerenih podataka u nekom vremenskom intervalu. Za provjeru koncepta odabrana je tehnologija proizvodnje baterije od renomiranog proizvođača vodljivih boja koje su nanese u slojevima poštujući preporuke proizvođača. Obzirom da je riječ o tehnologiji alkalne baterije električni potencijal se dobije kemijskom reakcijom cinka i mangan dioksida. Baterije je moguće izraditi raznim grafičkim tehnologijama i jedna ćelija dobivena tiskom rezultira razlikom potencijala od 1.5V. Karakteristike baterije ovise o proizvodnom procesu koji je vrlo osjetljiv i potrebno je pratiti preporuke proizvođača. Izradom ovog prototipa dokazali smo da je moguće napraviti uređaj za mjerenje temperature i poboljšati sljedivost i kvalitetu proizvoda. Značajna karakteristika prototipa je brzina i cijena proizvodnje uređaja, ali i baterije. Riječ je o vrlo novoj tehnologiji proizvodnje baterija s vodljivim bojama, ali se radi na razvoju i poboljšanju tehnologije za još bolje rezultate. Testiranje uređaja trajalo je jedan dan i dobiveni su zadovoljavajući rezultati.

6. Literatura

- [1] NXP. NHS3100 datasheet. 2021. Dostupno na: <https://www.nxp.com/> (05.10.2022.)
- [2] LCSC. Distributer komponenti. Dostupno na: <https://lcsc.com/> (08.10.2022.)
- [3] AliExpress. JDBPCB Official. Dostupno na: <https://www.aliexpress.com/i/32384936205.html> (08.10.2022.)
- [4] RF Wireless World. NFC Rectangular Antenna Calculator. Dostupno na: <https://www.rfwireless-world.com/calculators/NFC-rectangular-antenna-calculator.html> (08.10.2022.)
- [5] Amazon. Worefusi Solder Paste Mixer 2 tanks. Dostupno na: <https://www.amazon.com/Wotefusi-Solder-Automatic-Mixing-Machine/dp/B06ZY348JB> (08.10.2022.)
- [6] AliExpress. Andostar digital microscope. Dostupno na: <https://bit.ly/3VaE71H> (08.10.2022.)
- [7] AliExpress. Quicko T12 Soldering station. Dostupno na: <https://bit.ly/3RMwUSz> (08.10.2022.)
- [8] Saralon GmbH. Conductive battery inks. Dostupno na: <https://www.saralon.com/en/inks/> (08.10.2022.)
- [9] Amazon. TECHTONGDA Vacuum screen printing. Dostupno na: <https://amzn.to/3T65VCF> (08.10.2022.)
- [10] AliExpress. V480 Paper Laminating machine. Dostupno na: <https://www.aliexpress.com/item/1005004205753724.html> (08.10.2022.)
- [11] M. Boada, A. Lazaro, D. Girbau, R. Villarino: Battery-less NFC Sensors for the Internet of Things. 2022. Dostupno na: <https://www.iste.co.uk/book.php?id=1939> (13.10.2022.)
- [12] Dogan Ibrahim: Microcontroller Based temperature Monitoring and Control. 2002. Dostupno na: <https://www.elsevier.com/books/microcontroller-based-temperature-monitoring-and-control/ibrahim/978-0-7506-5556-9> (13.10.2022.)
- [13] NXP. Smart pharma solutions save lives. 2016. Dostupno na: <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75017700.pdf> (13.10.2022.)
- [14] NXP. Low-power, compact solution for temperature logging with NFC. 2015. Dostupno na: <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75017603.pdf> (13.10.2022.)

7. Oznake i kratice

TH – (engl. *Through hole*), komponenta čiji se kontakti postavljaju kroz tiskanu pločicu za razliku od *surface mount* komponenti koje se postavljaju na površinu tiskane pločice.

EEPROM – (engl. *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) Električno izbrisiva programibilna memorija

LED – (engl. *Light Emiting Diode*) Svjetleća dioda

Voltage, V – Napon (volt)

Time, hr – Vrijeme (sati)

mm – (engl. *millimetre*) Milimetar

A – (engl. *Ampere*) Amper

V – (engl. *volt/voltage*) Volt

Multimetar – (engl. *multimeter*) Mjerni uređaj koji ima sposobnost mjerenja više električnih karakteristika odabirom radnih načina.

Predložak za nanošenje lemne paste – (engl. *stencil*) Tanki komad metala s laserski izrezanim rupama ovisno o dizajnu tiskane pločice preko kojih se nanosi lemna pasta koja ostaje na kontaktima

Flying probe test – (engl. *flying probe test*) Test letećom sondom koja provjerava vodljivost i ispravnost tiskanih vodova

RFID – (engl. *radio-frequency identification*) Tehnologija koja koristi radio frekvenciju kako bi se razmjenivale informacije između uređaja

8. Sažetak

Naslov: Projektiranje i izrada elektroničkog uređaja za praćenje temperature proizvoda

U ovom radu opisano je projektiranje i proizvodnja elektroničkog uređaja za praćenje temperature proizvoda. Izrađen je uređaj niske potrošnje, cijene i jednostavnog proizvodnog procesa s inovativnom baterijom napravljenom grafičkim tehnologijama. Integrirani senzor temperature u NHS3100 mikroupravljaču omogućuje praćenje temperature dok se baterija koristi za napajanje i spremanje podataka u internu memoriju mikroupravljača. Navedene su karakteristike uređaja, njegove dimenzije i potpuni proizvodni proces uz dizajn tiskane pločice i dizajn NFC antene. Navedene su karakteristike printane baterije korištenjem provodljivih boja koje rade na principu alkalnih baterija. Električni potencijal postiže se kemijskom reakcijom cinka i mangan dioksida u obliku provodljivih boja nanesenih raznim grafičkim tehnologijama. Uočeni su zadovoljavajući rezultati prilikom testiranja uređaja.

Ključne riječi: sljedivost proizvoda, NHS3100, praćenje temperature, printane baterije, provodljive boje, NFC

9. Abstract


Title: Design and manufacturing of electronic device for product temperature monitoring

This paper describes design and manufacturing of electronic device for product temperature monitoring. A device with low consumption, low cost and a simple production process was created with an innovative battery made using various printing technologies. An integrated temperature sensor in the NHS3100 processor allows temperature monitoring, while the battery is used for power and data storage in the processor's internal memory. The characteristics of the device, its dimensions and the complete production process are listed along with the design of the printed circuit board and the design of the NFC antenna. The characteristics of the printed battery using conductive inks which work on the principle of alkaline batteries, are listed. The electrical potential difference is achieved by the chemical reaction of zinc and manganese dioxide, in form of laminated conductive inks printed with various printing technologies. The device was tested and no significant temperature deviations were recorded.

Keywords: product traceability, NHS3100, temperature monitoring, printed batteries, conductive inks, NFC

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, 17.10.2022.	KARLO PUŠIĆ	

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

KARLO PUŠIĆ

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 17.10.2022.



potpis studenta/ice