

Mjerenje razine šećera i etanola pomoću piroelektričnog senzora PY2551

Plander, Ivor

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:158911>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH
TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

Mjerenje razine šećera i etanola pomoću piroelektričnog
senzora PY2551

Završni rad

Ivor Plander

Osijek, 2022.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 18.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Ime i prezime Pristupnika:	Ivor Plander
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4576, 24.07.2018.
OIB Pristupnika:	88021543418
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Mjerenje razine šećera pomoću piroelektričnog senzora PY2551
Znanstvena grana rada:	Arhitektura računalnih sustava (zn. polje računarstvo)
Zadatak završnog rad:	Temu rezervirao: Ivor Plander. U ovom radu je potrebno mjeriti razinu šećera pomoću piroelektričnog senzora PY2551. Potrebno je napraviti tiskanu elektroničku pločicu s pojačalom signala sa senzora. Signal je potrebno učitati pomoću analogno-digitalnog pretvornika na mikroupravljaču. Iz signala senzora je potrebno utvrditi razinu šećera i alkohola u vinu.
Prijedlog ocjene završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	18.09.2022.
Datum potvrde ocjene od strane Odbora:	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 23.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Ivor Plander

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4576, 24.07.2018.

Turnitin podudaranje [%]:

2

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Mjerenje razine šećera pomoću piroelektričnog senzora PY2551**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. UREĐAJI ZA MJERENJE RAZINE ŠEĆERA I ETANOLA NA TRŽIŠTU	2
3. FIZIKALNI ZAKONI I POJAVE VEZANI ZA RAD I IZVEDBU UREĐAJA	6
3.1 Određivanje vrste senzora – metoda mjerenja	6
3.2 Piroelektrični učinak	8
4. ODABIR SENZORA, EMITERA I OSTALIH KOMPONENATA	13
4.1 Senzor i periferne komponente	13
4.2 Emiter i periferne komponente	19
4.3 Arduino Nano kod i ostatak programske podrške	29
5. REALIZACIJA ELEKTRONIČKOG DIJELA SUSTAVA	32
5.1 Elektronička pločica senzora	32
5.2. Elektronička pločica emitera	34
5.3. Realizacija mjernog sustava (uređaja)	35
5.4 Određivanje najveće frekvencije upravljanja i testiranje rada sustava	36
6. ZAKLJUČAK	41
LITERATURA	42
SAŽETAK	43
ABSTRACT	44

1. UVOD

Cilj završnog rada je ostvariti uređaj koji će neinvazivnim metodama ili na temelju uzorka očitati razinu šećera i etanola u proizvodima industrije vina. U cilju rješavanja problema potrebno je shvatiti princip na kojem radi senzor te analizom električne sheme i mjerenjem utvrditi njegove ulazne i izlazne električne veličine i valne oblike.

Budući da senzor radi na principu piroelektričnog učinka potrebno je također odrediti vrstu izvora svjetlosti koji osvjetljava sam aktivni element senzora.

Izvor svjetlosti u daljnjem tekstu referiran kao emiter koji je u mogućnosti pobuditi aktivni element senzora mora emitirati elektromagnetske valove u spektru od 3 do 50 μm odnosno u srednjem infracrvenom području (engl. *mid IR*).

Ostatak rada organiziran je kako slijedi. U poglavlju 2 prikazana su postojeća vrhunska rješenja na tržištu. U poglavlju 3 opisana su fizikalna načela i pojave potrebne za razumijevanje rješenja i principa rada osnovnih komponenata. Poglavlje 4 bavi se odabirom optimalnih komponenata. U poglavlju 5 prikazana je realizacija uređaja i komponenata sustava. U poglavlju 6 dan je zaključak.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovom radu je potrebno mjeriti razinu šećera pomoću piroelektričnog senzora PY2551. Potrebno je napraviti tiskanu elektroničku pločicu s pojačalom signala sa senzora. Signal je potrebno učitati pomoću analogno-digitalnog pretvornika na mikroupravljaču. Iz signala senzora je potrebno utvrditi razinu šećera i alkohola u vinu.

2. UREĐAJI ZA MJERENJE RAZINE ŠEĆERA I ETANOLA NA TRŽIŠTU

Tržište vinarskih instrumenata pokriva široku lepezu potreba odnosno mjerenja velikog spektra parametara ovisno o platežnoj moći. Osim raznovrsnosti parametara ulogu u cijeni igra i razina automatizacije. Velike vinarske industrije koje na dnevnoj bazi obrađuju više od 1000 uzoraka teže sofisticiranijim i automatiziranijim rješenjima poput dolje navedenih.

Model *WineScanTMSO₂* na slici 2.1. tvrtke Foss jedan je od instrumenata koji pokrivaju najširu lepezu parametara odnosno pogodan je za mjerenje više od 20 parametara u moštu, moštu za vrijeme fermentacije, gotovom vinu i gotovom slatkom vinu. Cijena uređaja je u rasponu od 30,000 do 50,000 USD prema [6].



Sl. 2.1. Laboratorijski instrument za mjerenje parametara vina tvrtke Foss, model *WineScanTMSO₂*.

Instrument na slici 2.2. također je proizvod tvrtke Foss naziva modela *WineScanTM*. Drugi je uređaj po mogućem broju očitavanja različitih parametara. Funkcionalna razlika u odnosu na *WineScanTMSO₂* je kako se može i prema nazivu zaključiti ne mjeri sulfite u vinu (slobodne i ukupne). Cijena navedenog uređaja procjenjuje se između 30,000 i 50,000 USD.



Sl. 2.2. Laboratorijski instrument za mjerenje parametara vina tvrtke Foss, model WineScan™.

Slika 2.3. prikazuje model *OenoFoss™* tvrtke Foss koji mjeri više od 10 parametara u moštu, moštu u fermentaciji i gotovom vinu uključujući: etanol, šećere, organske kiseline, pH i boju međutim nije dizajniran za mjerenje sulfita. Cijena uređaja se procjenjuje u granicama od 30,000 do 50,000 USD prema [6].



Sl. 2.3. Laboratorijski instrument za mjerenje parametara vina tvrtke Foss, model OenoFoss™.

Prikladno rješenje za manje vinarije je model *OenoFoss™ GO* tvrtke Foss koji mjeri 8 parametara vina uključujući: etanol, glukozu/fruktozu, ukupne suhe tvari, jabučne kiseline i ukupnu kiselost. Razlika u odnosu na predhodne uređaje je mogućnost korištenja u bilo kojem okruženju sa stabilnom radnom površinom na račun manjeg spektra mjerenih parametara. Vrijednost uređaja iznosi između 30,000 i 50,000 USD prema [6].



Sl. 2.4. Portabilni instrument za mjerenje parametara vina tvrtke Foss, model OenoFoss™GO.

U kontrast rješenjima tvrtke Foss, tvrtka Anton Paar nudi slično rješenje po cijenama izeđu 10,000 i 30,000 USD. Model Lyza 5000 Wine mjeri više od 15 parametara u moštu, moštu za vrijeme fermentacije i vinu, a neki od najbitnijih su: etanol, glukoza, fruktoza, kiseline i pH. Uz instrument dostupni su referentni uzorci koji vinarima omogućuju bolje usklađivanje svog proizvoda sa standardom [11].



Sl. 2.5. Laboratorijski instrument za mjerenje parametara vina, Lyza 5000 Wine tvrtke Anton Paar

radi lakše reference navedenih proizvoda slijedi slika 2.6. na kojoj su prikazani parametri po rješenju tvrtke *Foss*. Slika je preuzeta sa službene stranice prema [6].

Parameters by solution

	WineScan™ SO ₂	WineScan™	OenoFoss™
Must	Free SO ₂ Total SO ₂ Brix Density Malic acid pH Tartaric acid Total acidity Acid rot Ethanol Fermentative activity Gluconic acid Glycerol Grey rot Lactic rot Volatile acidity Alpha amino nitrogen Ammonia Citric acid Colour intensity Extract Folin C (Total polyphenol) Fructose Glucose Lactic acid Potassium Reducing sugar OD280 OD520	Brix Density Malic acid pH Tartaric acid Total acidity Acid rot Ethanol Fermentative activity Gluconic acid Glycerol Grey rot Lactic rot Volatile acidity Alpha amino nitrogen Ammonia Citric acid Colour intensity Extract Folin C (Total polyphenol) Fructose Glucose Lactic acid Potassium Reducing sugar OD280 OD520	Brix Density Malic acid pH Tartaric acid Total acidity Gluconic acid Volatile acidity Alpha amino nitrogen Ammonia
Must under fermentation	CO ₂ Density Ethanol Glucose+Fructose Malic acid pH Reducing sugar Total acidity Volatile acidity	CO ₂ Density Ethanol Glucose+Fructose Malic acid pH Reducing sugar Total acidity Volatile acidity	Ethanol Glucose+Fructose Malic acid pH Total acidity Volatile acidity
Finished wine	Free SO ₂ Total SO ₂ A420*** A520*** A620*** Citric acid CO ₂ Density Ethanol Fructose Gluconic acid Glucose Glucose+Fructose Glycerol Lactic acid Malic acid pH Reducing sugar Sorbic acid Tartaric acid Total acidity Folin C (Total polyphenol) Volatile acidity	A420*** A520*** A620*** Citric acid CO ₂ Density Ethanol Fructose Gluconic acid Glucose Glucose+Fructose Glycerol Lactic acid Malic acid pH Reducing sugar Sorbic acid Tartaric acid Total acidity Folin C (Total polyphenol) Volatile acidity	A420*** A520*** A620*** OD 280 Density Ethanol Fructose Glucose Glucose+Fructose Lactic acid Malic acid pH Total acidity Volatile acidity Total sugar*

Sl. 2.6. Prikaz mjerenih parametara za rješenja tvrtke *Foss*

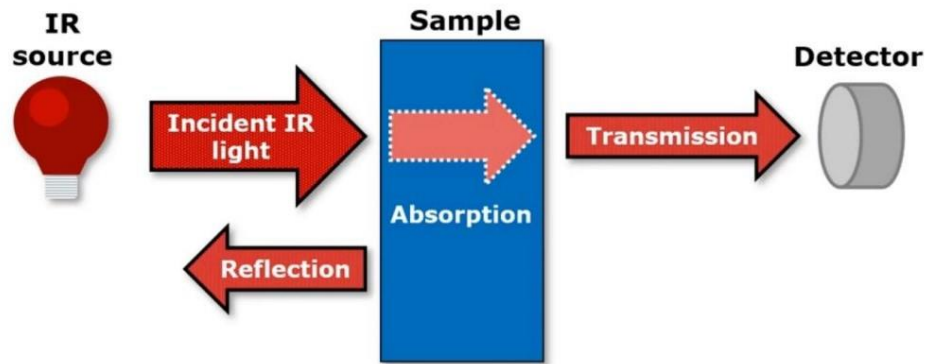
3. FIZIKALNI ZAKONI I POJAVE VEZANI ZA RAD I IZVEDBU UREĐAJA

3.1 Određivanje vrste senzora – metoda mjerenja

Zadatak rada je neinvazivnim metodama ili na temelju malog uzorka izmjeriti razine šećera i etanola vina u bačvi. Kako bi se to postiglo potrebno je pronaći metodu mjerenja koja ne zahtjeva uranjanje alkometra, lakmus papira ili kapanje metiloranža u bačvu ili menzuru odnosno cilj je naprednijom tehnologijom zaobići tradicionalne metode mjerenja koje su i resurno i vremenski zahtjevnije.

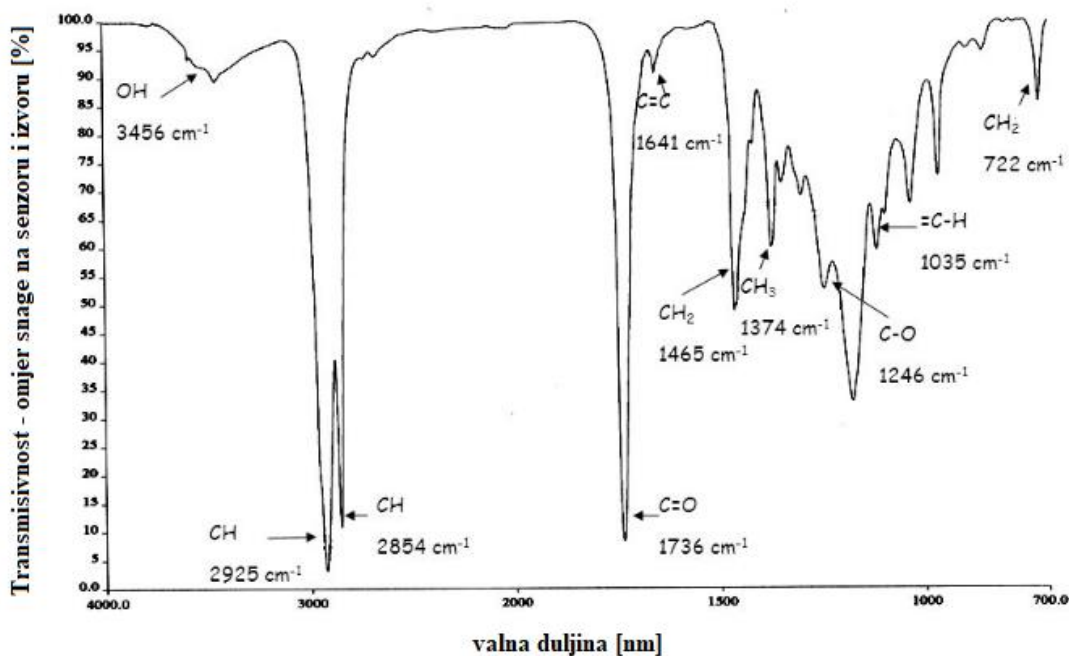
Prvi korak u istraživanju mjernih metoda koje pokrivaju navedene zahtjeve je pronaći slične već gotove tj. na tržištu dostupne proizvode te shvatiti princip rada tih uređaja. U prvi plan dolaze uređaji tvrtki *Foss* i *Anton Paar*. Uređaji navedenih tvrtki koriste metodu pod nazivom *FTIR* spektroskopija odnosno infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom (engl. *Fourier transform infrared spectroscopy*). Navedena metoda se koristi za otkrivanje odnosno detektiranje supstanci koje se nalaze u uzorku, ali ne i njihovu kvantifikaciju. Kako bi se utvrdile koncentracije pojedinih tvari u uzorku koristi se metoda spektrometrije za koju je vrlo često potrebno ovisno o supstanci čija se koncentracija mjeri izolirati određeni dio spektra odnosno određenu frekvenciju. Dakle spektroskopija odgovara na pitanje što, a spektrometrija koliko prema [10].

FTIR je dio tehnike apsorpcijske spektroskopije a koristi se za dobivanje infracrvenog spektra kao rezultat apsorpcije ili emisije uslijed interakcije s krutinama, tekućinama ili plinovima, pojednostavljeni prikaz na slici 3.1. prema [3], [10].



Sl. 3.1. Pojednostavljeni grafički prikaz principa rada apsorpcijske spektroskopije

Iz slike 3.1. lako je zaključiti da se prilikom interakcije infracrvene svjetlosti s uzorkom dio fotona te svjetlosti apsorbira u uzorku a dio te svjetlosti prođe kroz uzorak i detektira se na senzoru prema [9]. Slijedom logike ako se frekvencija izvora infracrvene svjetlosti mijenja mijenjat će se i količina apsorbirane svjetlosti u uzorku što znači da će u frekvencijskoj domeni određeni uzorak koji se ozračava pokazati atenuaciju na frekvenciji koju najviše apsorbira. Drugim riječima, na spektru će manji relativni intenzitet imati frekvencija koju uzorak više apsorbira ,a očitovati će se padovima u samom spektru. Slika 3.2. prikazuje jedan takav spektar prema [3].



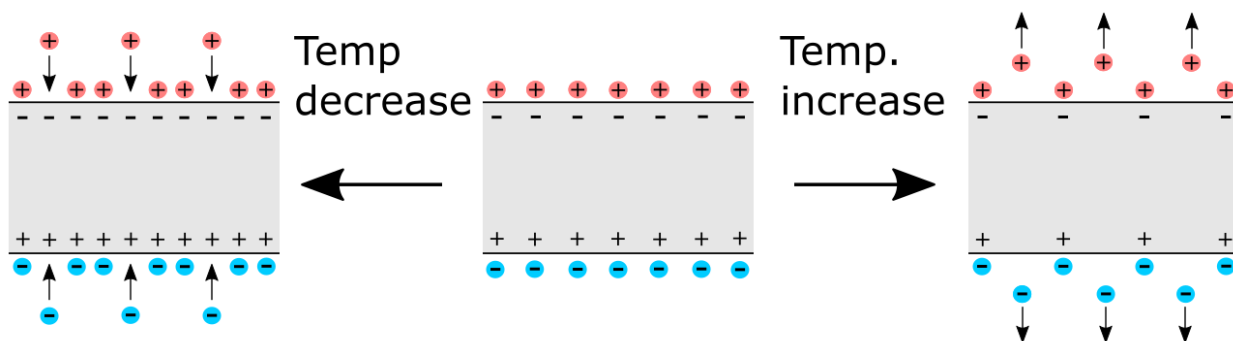
Sl. 3.2. Prikaz grafa spektroskopije

Budući da je spektar supstanci koje se nalaze u i koje bi se ikad mogle ili imale smisla mjeriti u vinu već unaprijed poznat, a njegov raspon je od 2 μm do 14 μm , onda je samo potrebno odrediti kojoj će se supstanci mjeriti koncentracije. Osim toga ta će informacija pomoći pri odabiru emitera za senzor prema [4] .

3.2 Piroelektrični učinak

Senzori koji koriste *FTIR* metode također su piroelektrično osjetljivi. Drugim riječima, za detekciju zračenja koje pada na aktivni element senzora koriste piroelektrični efekt. Za daljni uvod u kratkim crtama je potrebno opisati piroelektrični učinak. Piroelektricitet je svojstvo materijala (kristal turmalina, galijev nitrid GaN, cezijev nitrat CsNO_3 ...) da na površini kristala induciraju naboj uslijed promjene temperature. Taj učinak objašnjava se migracijom pozitivnih i negativnih naboja dotičnog materijala na suprotne krajeve polarne osi.

Budući da se piroelektrični efekt može promatrati isključivo tijekom promjene temperature (zbog spontane polarizacije) korišteni emiter također mora biti pogodan za periodičko upravljanje. Drugim riječima, konstantan izvor zračenja će samo u inicijalnom trenutku pobuditi razdvajanje naboja u materijalu odnosno očitavanje na senzoru nakon čega će promjena s vremenom iščeznuti pa se u tom slučaju razlika između situacije kada je površina senzora osvijetljena ili neosvijetljena neće primjetiti. Pojednostavljeni prikaz piroelektričnog efekta slijedi na slici 3.3.



Sl. 3.3. Prikaz piroelektričnog efekta

3.3 Primjena Planckovog zakona pri odabiru vrste emitera

Bez sustavnog dokazivanja dakle isključivo u funkciji inženjerskog alata u ovom će se poglavlju korištenjem Placnkovog zakona povezati emisija elektromagnetskih valova nadalje referiranih kao EMV odnosno njihova valna duljina sa spektralnom snagom zračenja po jedinici površine, po jedinici prostornog kuta poznatom pod nazivom spektralna radijancija ili spektralna emisivnost. [14]

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right)} - 1} \quad (3-1)$$

$[B] = \frac{W}{sr \cdot m^2 \cdot Hz}$ spektralna snaga zračenja po jedinici površine po jedinici prostornog kuta

$[\nu] = Hz$ frekvencija zračenja EMV-a

$[T] = K$ temperatura savršenog crnog tijela

$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \frac{J}{Hz}$ Planckova konstanta

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ brzina svjetlosti u vakuumu

$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ Boltzmannova konstanta

Radi konteksta u kojem se proučavaju fizikalne pojave vezane za fizičke komponente korištene u ovom radu intuitivnije je prikazati ovisnost spektralne emisivnosti o valnoj duljini (λ) pa koristeći vezu frekvencije i valne duljine (formula 3-2) slijedi da formula (3-1) poprima oblik u formuli (3-3)

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3-2)$$

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} \quad (3-3)$$

Budući da funkcija $B(\nu, T)$ nije linearna i nije ovisna isključivo o frekvenciji (ν), zapis frekvencije preko valne duljine i uvrštavanje navedene relacije u formulu (3-1) nije dostatno. Do relacije $B(\lambda, T)$ se dolazi izjednačavanjem izraza za površinu ispod krivulja $B(\nu, T)$ i $B(\lambda, T)$. Površina ispod krivulja odgovara ukupnoj emisivnosti odnosno radijanciji za sve frekvencije ili valne duljine a jednaka je integralu spektralne emisivnosti. Navedena jednakost mora uvijek vrijediti za interval po kojem se integrira bilo u frekvencijskom ili valnom prostoru. Matematička formulacija navedenog slijedi u formuli (3-4).

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda = \int_{\nu_1}^{\nu_2} B(\nu, T) d\nu \quad (3-4)$$

Povećavanje frekvencija u frekvencijskom prostoru odgovara smanjivanju valnih duljina u valnom prostoru odnosno veza frekvencije i valne duljine je obrnuto proporcionalna pa jednakosti (3-5) i (3-6) slijede iz formule (3-2).

$$\nu_2 = \frac{c}{\lambda_1} ; \nu_1 = \frac{c}{\lambda_2} \quad (3-5)$$

$$\lambda_2 = \frac{c}{\nu_1} ; \lambda_1 = \frac{c}{\nu_2} \quad (3-6)$$

Uvrštavanjem izraza (3-5) u granice integrala u izrazu (3-4) dobiva se jednakost (3-7)

$$\int_{\nu_1}^{\nu_2} B(\nu, T) d\nu = \int_{\frac{c}{\lambda_2}}^{\frac{c}{\lambda_1}} B(\nu, T) d\nu \quad (3-7)$$

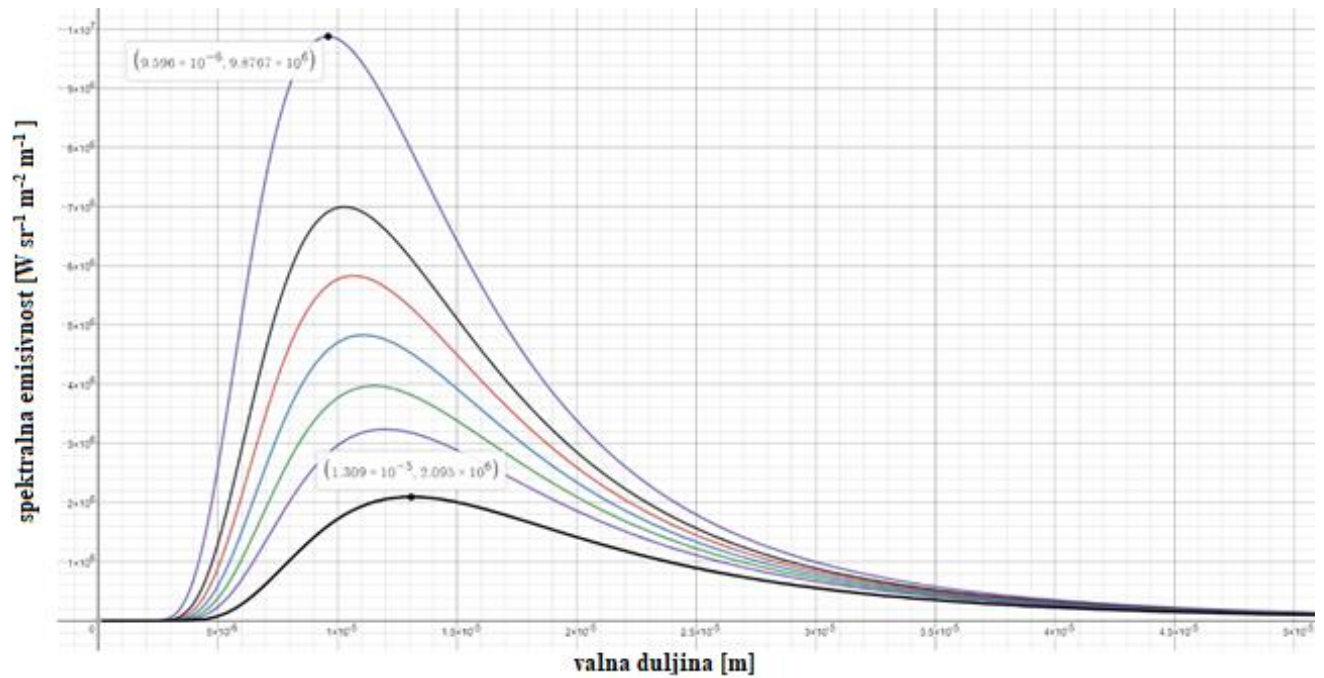
Promjenu prostora po kojem se integrira postiže se zamjenom diferencijala u integralu odnosno umjesto po ($d\nu$) je potrebno integrirati po ($d\lambda$), međutim budući da funkcija $B(\nu, T)$ nije ovisna o (λ) onda je potrebno diferencirati ($d\nu$) po ($d\lambda$) kako bi se očuvala jednakost. Kako se sada integrira u prostoru valnih duljina potrebno je promijeniti i granice integriranja prema (3-6).

$$\int_{\nu_1}^{\nu_2} B(\nu, T) d\nu = \int_{\frac{c}{\nu_2}}^{\frac{c}{\nu_1}} B(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda} d\lambda = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} B(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda} d\lambda = - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda} d\lambda \quad (3-8)$$

Kako su površine ispod krivulja (integrali) funkcija $B(\nu, T)$ i $B(\lambda, T)$ jednaki unutar njihovih koresponirajućih granica tada su i funkcije $B(\nu, T)$ i $B(\lambda, T)$ jednake odnosno vrijedi (3-9)

$$B(\lambda, T) = - B(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda} = B(\nu, T) \cdot \frac{c}{\lambda^2} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} \quad (3-9)$$

Na temelju formule (3-3)=(3-9) koja daje ovisnost emisivnosti o valnoj duljini slijedi slika (3-4). Slika (3-4) prikazuje grafove emisivnosti na y-osi u mjernim jedinicama [$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot m^{-1}$] u ovisnosti o valnim duljinama na x-osi u mjernim jedinicama [m]. Krivulje su prikazane od vrha prema dnu za temperature: 300K, 280K, 270K, 260K, 250K, 240K, 220K



SI. 3.4. Karakteristike zračenja savršenog crnog tijela za različite temperature tijela

Na temelju krivulja se dolazi do podatka koja temperatura zračenja je optimalna za izvedbu emitera odnosno na kojoj temperaturi će spektralna emisivnost biti maksimalna. Iz grafova se vidi da maksimum snage za potrebnu valnu duljinu od $9.5 \mu\text{m}$ postiže tijelo na temperaturi 300K odnosno $573.15 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. ODABIR SENZORA, EMITERA I OSTALIH KOMPONENATA

4.1 Senzor i periferne komponente

Sukladno temi ovoga rada, supstance koje se mjere su etanol i šećeri (glukoza i fruktoza) čiji je spektralni odziv oko $9.5 \mu\text{m}$. U svrhu mjerenja tih supstanci bilo je potrebno pronaći senzor koji odgovara tim specifikacijama. Za primjenu je odabran piroelektrični senzor PY2551 tvrtke *Pyreos*. Osim samog spektralnog odziva u srednjem infracrvenom području senzor također ima ugrađeni filter koji propušta samo dio spektra pogodan za mjerenje etanola i šećera na mjerenom kanalu. Slika 4.1. prikazuje senzor u zaštitnom pakiranju prema [1]. Vrijednost senzora je oko 200 USD.



Sl. 4.1. PY 2551 piroelektrični senzor korišten u izvedbi uređaja

Tehničke specifikacije senzora nalaze se u podatkovnoj tablici (engl. *Datasheet*) kao i preporučena shema spajanja i generalne smjernice za odabir ostalih perifernih komponenata potrebnih za njegov rad. U tablici 4.1. koja je sastavni dio podatkovne tablice prikazani su svi senzori koje nudi tvrtka *Pyreos* kao i njihova preporučena uporaba, valna duljina na kojoj pojedini kanal daje odziv te broj komponente prema [1].

PY-ITV-DUAL-TO39(3+1) (REV. 9.3)

PYREOS
SENSOR INNOVATION

Filters Available

Pyreos has a range of standard filters available.

Part number	Channel 1 CWL μm / (HPB nm)	Channel 2 (tab) CWL μm / (HPB nm)	Use
PY0317	3.91 / (90)	3.30 / (160)	CH ₄
PY2486	3.91 / (90)	3.33 / (160)	H-C
PY0261	3.91 / (90)	3.375 / (190)	H-C
PY0234	3.91 / (90)	4.26 / (180)	CO ₂
PY2343	3.70 / (110)	4.26 / (180)	CO ₂ (Medical)
PY1466	8.44 / (205)	4.26 / (180)	Anaesthesia
PY1943	3.91 / (90)	4.30 / (110)	CO ₂ (Narrow)
PY0238	3.91 / (90)	4.43 / (60)	CO ₂ (Special)
PY0305	3.91 / (90)	4.64 / (180)	CO
PY0259	3.91 / (90)	4.64 / (90)	CO (Narrow)
PY0304	3.91 / (90)	5.30 / (180)	NO
PY2055	3.91 / (90)	6.20 / (200)	NO ₂
PY0303	3.91 / (90)	7.30 / (200)	SO ₂
PY0308	3.91 / (90)	10.6 / (240)	SF ₆ , Ethylene
PY1648	Refrigerant	Reference	Refrigerant R12 (Freon)
PY2197	Fat Reference	Fat	Food
PY2547	Lactose Reference	Lactose	Food
PY2550	Protein Reference	Protein	Food
PY2551	Reference	Sugar, Ethanol	Food, breath
PY1839	5.0 Long Pass	5.0 Long Pass	Broadband for bespoke filters

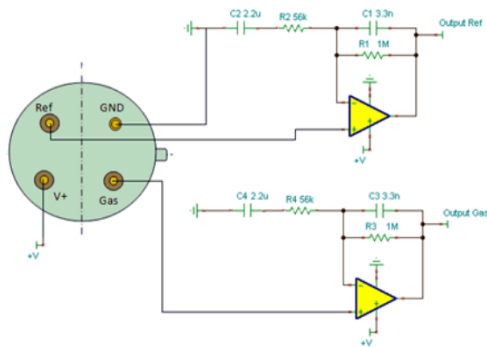
Tablica 4.1. lista dostupnih senzora s detaljima o području uporabe i valnim duljinama kanala

Prvi stupac (engl. *Part number*) sadrži broj odnosno naziv komponente radi lakše reference i snalaženja prilikom narudžbi. Drugi i treći stupac odnose se na dva kanala senzora. Prvi kanal je u slučaju senzora PY2551 referentni kanal i koristi se za oduzimanje pozadine signala od mjernog

signala odnosno prilagođavanje odziva senzora jer se svojstva (spektar) infracrvenog emitera mijenjaju sa starenjem i brojem radnih sati. Na drugom kanalu senzora PY2551 se nalazi filter koji propušta IR valove u spektru $9.5 \mu\text{m}$ s tolerancijom od 400 nanometara. Oznake CWL i HPB su skraćenice od srednja valna duljina (engl. *center wavelength*) i širina pojasa na kojem snaga opada za pola (engl. *half power bandwidth*). Frekvencije na kojima snaga opada za pola odnosno za 3 dB su općenito poznate i kao gornja granična i donja granična frekvencija f_g i f_d . U slučaju PY2551 senzora CWL iznosi $9.5 \mu\text{m}$, a HPB iznosi 400 nanometara. CWL i HPB su bitni parametri iz razloga što je filter na kanalima senzora kreiran da atenuira sve frekvencije izvan te širine pojasa. Četvrti stupac daje informaciju o preporučenom području uporabe odnosno za mjerenje čega je senzor dizajniran.

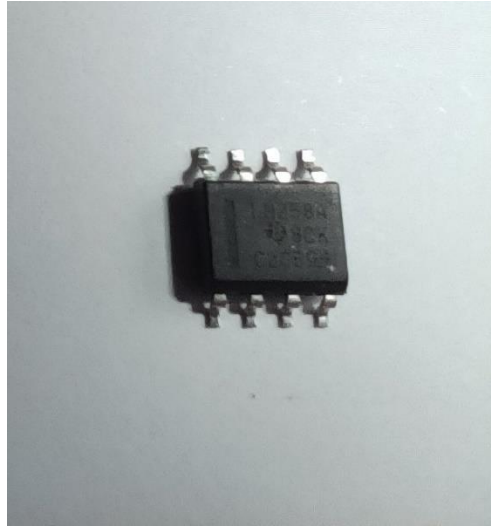
Na slici 4.2. prikazana je preporučena shema spajanja senzora s perifernim komponentama kao i vrijednosti istih prema [1].

Recommended Circuit Diagram



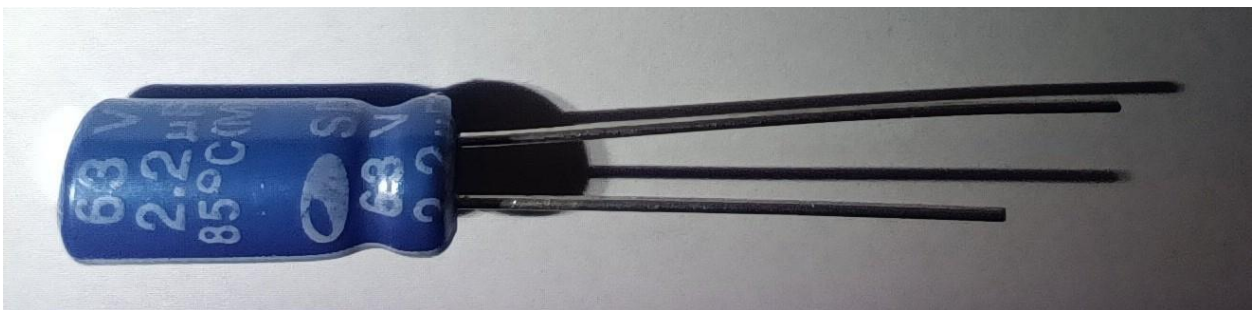
Sl. 4.2. Preporučena shema spajanja senzora i perifernih komponentata

Broj komponente operacijskih pojačala u preporučenoj shemi nije naveden stoga je svako operacijsko pojačalo opće namijene (engl. *General purpose*) dostatno za izvedbu. Za izvedbu je odabrano LM258A operacijsko pojačalo tvrtke *Texas Instruments* u DIP8 tj. dvoredno pakiranje s 8 nožica (engl. *dual in-line package*) u izvedbi SMD tj. površinske montaže (engl. *surface mount device*). Prikaz operacijskog pojačala korištenog u izvedbi uređaja na slici 4.3. Specifikacije prema [15].



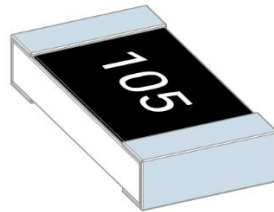
Sl. 4.3. LM258A operacijsko pojačalo

Ostatak komponenata su također SMD izvedbe osim elektrolitskih kondenzatora C2 i C4 vrijednosti $2.2\mu\text{F}$, nominalnih dimenzija 5mm u promjeru i 11mm u po visini tolerancije $\pm 20\%$. Slika 4.4. prikazuje korišteni kondenzator u izvedbi uređaja. Budući da se kondenzator koristi za filtriranje šuma daleko viših frekvencija od onih na kojima radi senzor njegova tolerancija nije presudna za ispravan rad. [15]

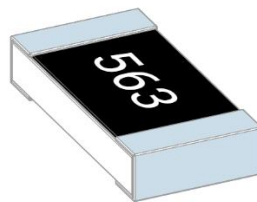


Sl. 4.4. Kondenzator C2 i C4 vrijednosti $2.2\mu\text{F}$ korišten u izvedbi uređaja

Otpornici R1, R3, R2 i R4 vrijednosti $1M\Omega$ i $56k\Omega$ su kodnih dimenzija 1608 odnosno 1.6mm duljine i 0.8mm širine, tolerancije $\pm 0.5\%$. Slike 4.5. ($1M\Omega$) i 4.6. ($56k\Omega$) prikazuju model otpornika prema [8], [15].

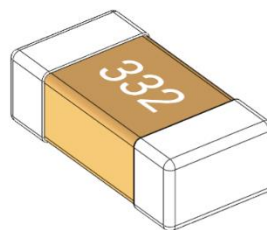


Sl. 4.5. Model otpornika R1 i R3



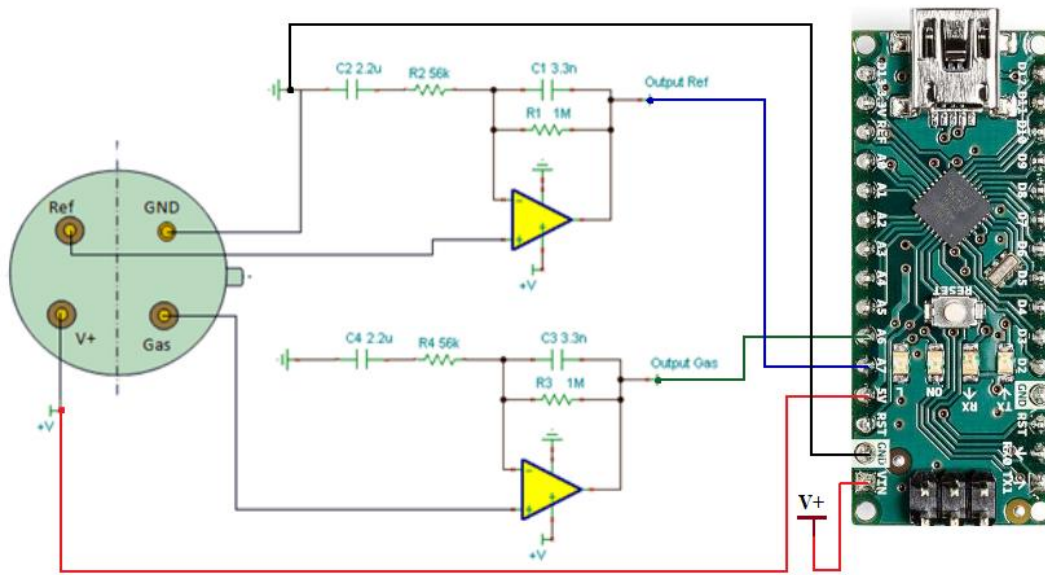
Sl. 4.6. Model otpornika R2 i R4

Keramički kondenzatori C1 i C3 vrijednosti $3.3nF$ su kodnih dimenzija 2012 odnosno 2.0mm po dužini i 1.2mm po širini, tolerancije 2%. Slika 4.7. prikazuje model kondenzatora prema [15], [2].



Sl. 4.7. Model kondenzatora C1 i C3

Izlazi operacijskih pojačala daju analogni vremenski promijenjiv signal budući da je pobuda na senzoru promijenjiva. To znači da nije moguće instrumentom kao što je voltmetar izmjeriti vrijednost izlaza i donjeti zaključak o vrijednosti parametra koji se mjeri pod uvjetom da postoji referentna vrijednost za mjereni uzorak. Rješenje je uzorkovati signal i mjerne točke prikazivati na grafu u stvarnom vremenu ili spremati podatke u memoriju i naknadno ih prikazati na grafu za određeni vremenski interval. U oba slučaja potrebno je analogni signal pretvoriti u digitalni signal pogodan za obradu u digitalnim sustavima. Komercijalno i vrlo dostupno rješenje je AD (analogno-digitalnu) pretvorbu i uzorkovanje signala odraditi s *Arduino Nano* razvojnom pločicom čija je jezgra *ATmega328P* mikroupravljač. Dakle analogni izlazi operacijskih pojačala tj. točke *Output Ref* i *Output Gas* spajaju se svaka na svoj analogni ulaz Arduina prema [12]. *Arduino Nano* se može napajati eksterno naponom 6-20V ili putem USB priključka kojim se prenosi kod. Isti napon koristi se za referencu u AD pretvaraču arduina. Alternativna opcija je postavljanje *Aref* napona na arduinu odnosno naponske reference za AD pretvarač pri čemu je potrebno osigurati da najveća analogna vrijednost očitavanja ne prelazi tu referentnu vrijednost. Koja god referentna vrijednost je uzeta ona se dijeli na $2^{10} = 1024$ dijela budući da je AD pretvarač *Atmega328P* mikrokontrolera 10-bitni, pri čemu taj kvocijent određuje razlučivost očitavanja. Za primjer, ako je vrijednost referentnog napona 5V onda je razlučivost AD konverzije jednaka $5/1024$ odnosno svakih 4.88mV krećući od 0V se vrijednost izlaza AD pretvarača poveća za 1. Najveća vrijednost na AD izlazu nije 1024 već 1023 budući da je jedna vrijednost zauzeta za 0. Osim Analognih ulaza *Arduino* također daje i napajanje za senzor. Prema specifikacijama u podatkovnoj tablici, napajanje senzora može varirati od 2.7V do 8.0V stoga je napon iznosa 5V kojeg *Arduino* daje na nožici "5V" idealan za ovu primjenu. Najveća struja koju arduino može dati na izlazu od 5V je 800mA što za 2 reda veličine više nego što je potrebno. Shema spoja senzora i *Arduina* na slici 4.8. .



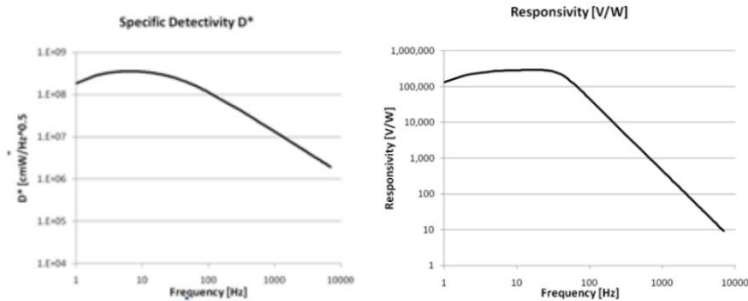
Sl. 4.8. Shema spoja senzora s perifernim komponentala i Arduino Nano razvojnom ploćicom

4.2 Emiter i periferne komponente

Poznavaje spektralnog odziva senzora tj. valne duljine podude koja je potrebna za senzor je prvi uvjet za definiranje vrste emitera. Slijedom rečenog emisija EMV-a emitera odnosno njegov spektralni odziv mora biti u području do barem $10 \mu\text{m}$. Preciznije rečeno graf spektralne emisivnosti emitera treba imati značajne amplitude na valnim duljinama oko $10 \mu\text{m}$. Najniža krivulja na slici (grafu) 3.4. aproksimira spektralnu emisivnost emitra.

Slijedom rečenog u poglavlju 3.2 drugi zahtjev je da se emiter može periodički upravljati. Sukladno preporuci u podatkovnoj tablici senzora frekvencija EMV-a koji pobuđuju senzor (slijedno tome i frekvencija upravljanja emitera) bi trebala biti u rasponu od 1Hz do 100 Hz. Frekvencijske karakteristike na slici 4.9. prikazuju specifičnu detektivnost i responzivnost senzora u ovisnosti o frekvenciji EMV-a koji pobuđuju aktivni element senzora. Na grafu je vidljivo da je na frekvenciji 10 Hz specifična detektivnost i responzivnost najveća stoga je 10 Hz dobra početna točka za upravljanje emitera.

Frequency Characteristics

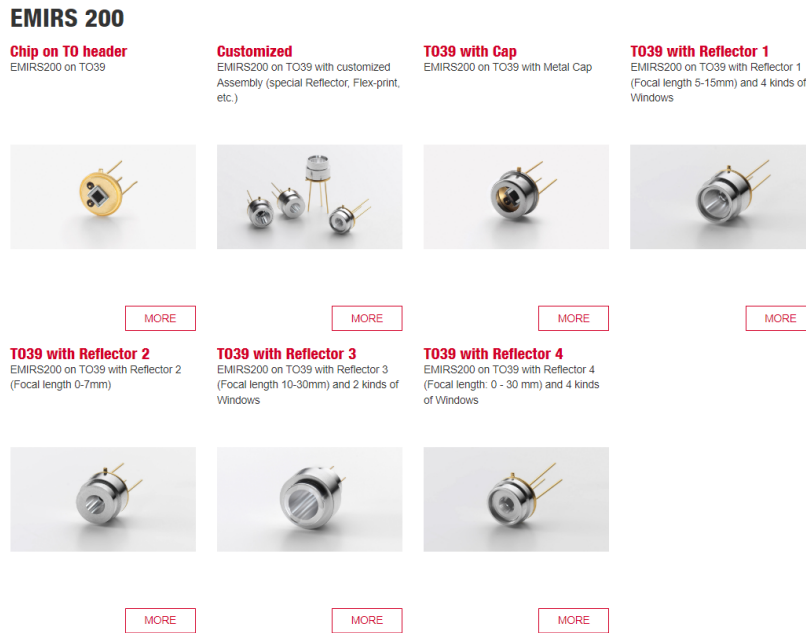


Sl. 4.9. Grafovi specifične detektivnosti i responzivnosti

Na temelju grafova na slici 3.4. iz predhodnog poglavlja intuitivno je zaključiti da se povećanjem temperature povećava snaga zračenja za određenu valnu duljinu pa se postavlja pitanje zašto ne postaviti temperaturu zračenja tako da snaga zračenja bude veća za par redova veličine u odnosu na temperaturu 300K. Odgovor leži u izvedbi realnih komponenata tj. da bi se spektralna emisivnost povećala za više od 100 puta potrebno je da temperatura tijela (aktivnog elementa emitera) bude 1000K odnosno 1273.15 °C što je vrlo teško do gotovo neizvedivo. Drugi razlog je vezan za brzinu upravljanja odnosno frekvenciju rada emitera. Budući da je potrebno postići frekvencije rada preko 10Hz a temperatura utječe na brzinu hlađenja i zagrijavanja aktivnog elementa. Dakle zbog termodinamičkih uvjeta postoji mogućnost da na navedenim temperaturama emiter nebi mogao postići potrebnu frekvenciju rada . Treći razlog leži u činjenici da je snaga šuma na senzoru daleko manja od najmanje snage zračenja koja se postiže i tijelom na temperaturi od 220K pa nije potrebno predimenzionirati sustav u nedogled.



Slijednom svih zahtjeva iznesenih za fizikalne i električke karakteristike, uređaji (emiteri) tvrtke *Axetris* prema [7] pokazali su se kao optimalan izbor dostupan na tržištu. Na slici 4.10. prikazana je linija proizvoda tvrtke *Axetris* . Navedeni proizvodi su dio IRS (engl. *infrared spectroscopy*) linije proizvoda naziva *EMIRS200*. U kontrast liniji proizvoda *EMIRS200* postoji linija proizvoda pod nazivom *EMIRS50* koji su i do 3 puta manji fizičkim veličinama, 2 puta efikasniji (u pretvorbi električne u toplinsku energiju) pa je time i snaga komponente manja, 3 puta brži u smislu frekvencije upravljanja tj. za isti postotak modulacije frekvencija upravljanja je veća i postižu bolji omjer signala i šuma (na senzoru) zbog veće frekvencije. Unatoč boljim karakteristikama, *EMIRS200* konkretno

TO39 pakiranje s reflektorom 3 (engl. *TO39 with reflector 3*) je emiter koji bolje odgovara potrebama zbog varijabilne fokalne udaljenosti. Ostale karakteristike koje manjkaju na *EMIRS200* u odnosu na *EMIRS50* su dostatne za kvalitetnu izvedbu i ne kompromitiraju kvalitetu rada konačnog uređaja prema [7].



Sl. 4.10. Linija proizvoda EMIRS200

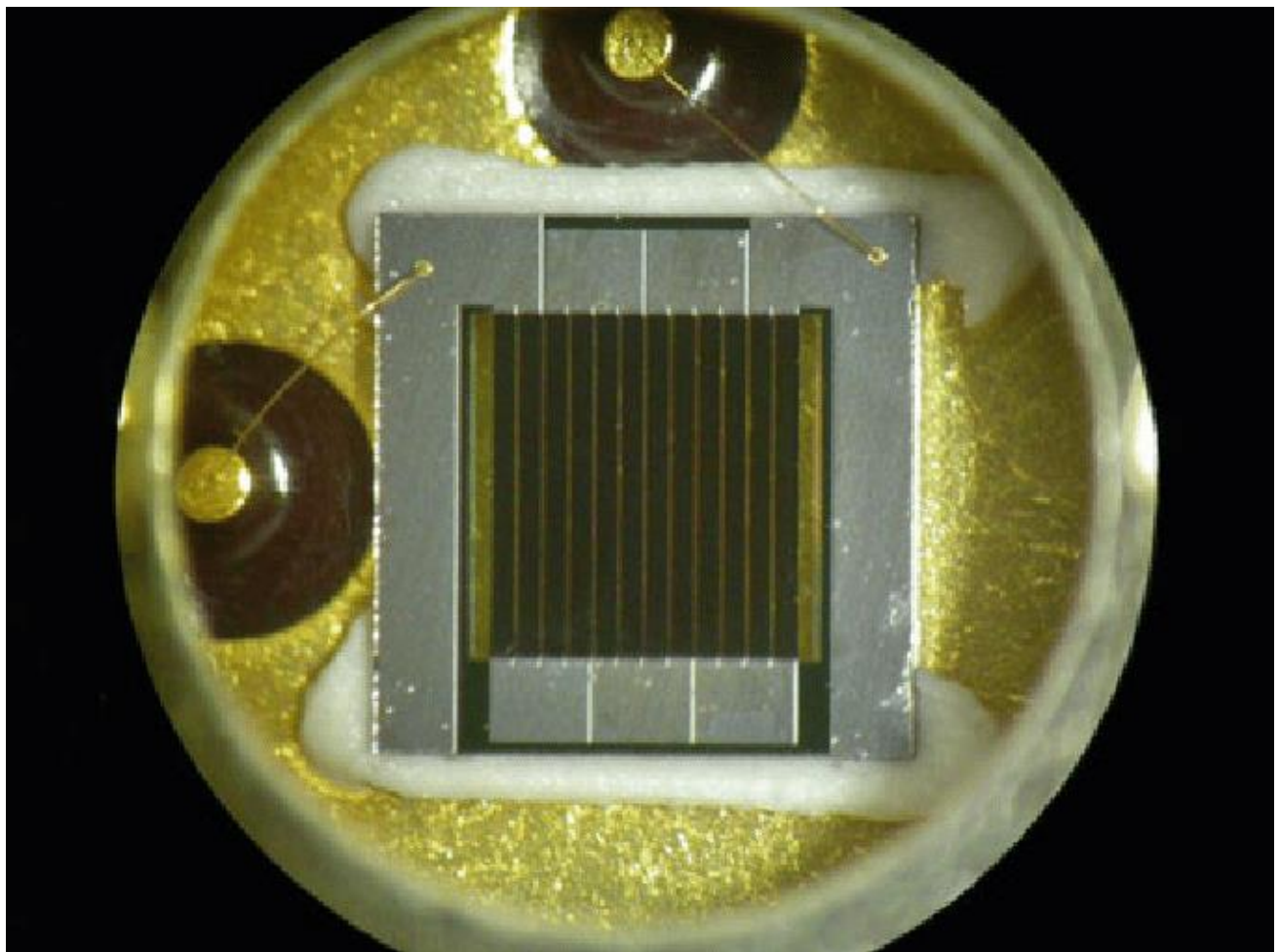
Budući da emiteri nisu dostupni za kupnju direktno sa stranice proizvođača traženi emiter TO39 s reflektorom 3 u nastavku referiran kao emiter je naručen sa stranice *DigiKey*, slika 4.11. . Cijena emitera je kao što je prikazano 210 USD [13].

<input type="checkbox"/>	 <p>EMIRS200 601.612 IR SOURCE, TO39 WITH REFLECTOR 3 Axetris</p>	5 Marketplace	1 : \$210.00000 Bulk	-	Bulk 	Active	Infrared (IR)	-
--------------------------	---	------------------	-------------------------	---	--	--------	---------------	---

Sl. 4.11. TO39 s reflektorom 3 na stranici DigiKey

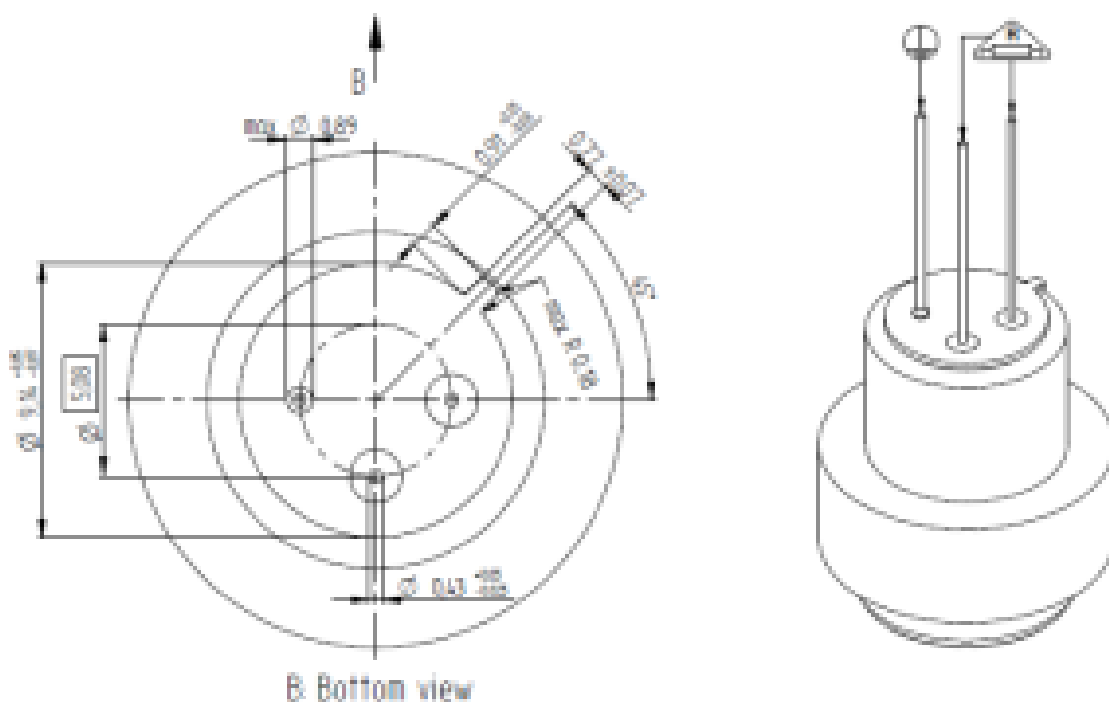
U daljnjem opisu emitera na navode se bitne fizikalne i električke karakteristike navedene u podatkovnoj tablici. Na slikama 4.13. – 4.17. nalaze se podatci o karakteristikama, ograničenjima i električnim shemama za spajanje.

Slika 4.13. prikazuje fizičke dimenzije emitera i električka svojstva nožica. Pakiranje se sastoji od tijela i 3 nožice. Jedna od nožica služi za uzemljenje (GND pin) koja ustvari nema galvansku vezu s aktivnim dijelom i električki ne služi za rad emitera već je isključivo fizička veza na tijelo emitera. To je vidljivo na slici 4.12. koja prikazuje uvećani aktivni element emitera. Sa slike je također vidljiv način izvedbe aktivnog dijela emitera, vodljivi crni materijal je u trakama nanešen na staklenu pločicu koja ga izolira od GND nožice i od ostatka tijela emitera. Na dvijema nožicama vidljiv je vodič koji ih spaja s aktivnim elementom.



Sl. 4.12. Slika aktivnog dijela emitera pod povećalom

Preko dvije nožice odrađuje se mjerenje otpora na temelju kojeg se određuje maksimalna dozvoljena radna temperatura aktivnog elementa. GND pin Detaljnije o određivanju temperature i osiguravanju ne prelaženja iste u narednom paragrafu iznad slike 4.14. .

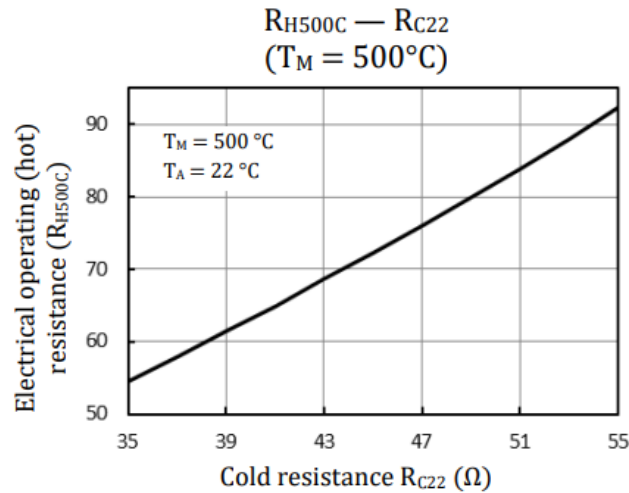


Sl. 4.13. Fizikalne dimenzije i opis nožica (pinova)

Budući da je emiter otpornička (rezistivna) komponenta radom odnosno prolaskom struje kroz tanku membranu aktivnog elementa ista se zagrijava stoga je potrebno osigurati da temperatura ne prijeđe maksimalnu dozvoljenu temperaturu koju zadaje proizvođač a iznosi 500°C . Na grafu na slici 4.14. prikazana je ovisnost otpora pri maksimalnoj dozvoljenoj temperaturi u odnosu na temperaturu ambijenta. Iz grafa proizlazi linearna aproksimacija navedenih ovisnosti a izražena je crveno zaokruženom jednačbom u tablici na slici 4.15. .

Mjerenjem otpora dok emiter nije spojen na izvor napajanja između nožica naznačenih na 3D modelu na slici 4.13. a na fizičkoj komponenti će to biti dvije nožice koje nisu galvanski vezane za tijelo emitera odnosno GND nožicu dobija se otpor pri temperaturi ambijenta R_{c22} . Na temelju formule iz

tablice sa slike 4.15. i podatka R_{C22} izračunava se otpor pri maksimalnoj dozvoljenoj temperaturi odnosno R_{H500c} koji se također može dobiti i očitavanjem sa grafa na slici 4.14. . Posrednim mjerenjem otpora R_{H500c} odnosno povratnom vezom osigurava se maksimalna radna temperatura ispod 500°C . O shemi i metodi osiguravanja maksimalne radne temperature ispod 500°C će biti više riječi u posljednjem paragrafu ovog poglavlja.



Electrical operating (hot) resistance R_H versus
electrical cold resistance R_{C22} at $T_A = 22^{\circ}\text{C}$

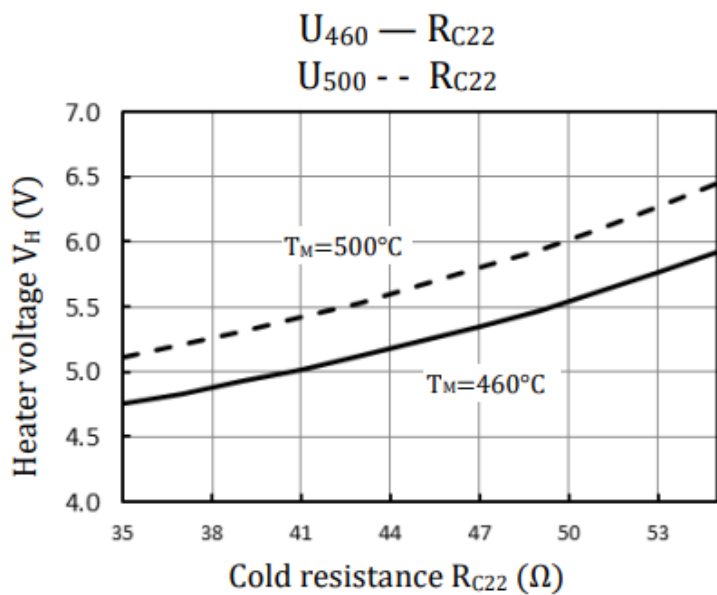
SI. 4.14. Graf ovisnosti otpora pri radnoj temperaturi (500°C) u odnosu na otpor pri temperaturi ambijenta

■ Absolute Maximum Ratings ($T_A = 22^{\circ}\text{C}$)

Parameter	Symbol	Rating		Unit
Heater membrane temperature ¹	T_M	500		$^{\circ}\text{C}$
Window		CaF ₂	Sapphire	
Optical output power (hemispherical spectral) ($T_M = 500^{\circ}\text{C}$)	P_{00}	29	17	mW
Optical output power between 4 μm and 5 μm ($T_M = 500^{\circ}\text{C}$)	P_{4-5}	4.4	4.2	mW
Optical output power between 6 μm and 8 μm ($T_M = 500^{\circ}\text{C}$)	P_{6-8}	6.0	1.2	mW
Optical output power between 8 μm and 10 μm ($T_M = 500^{\circ}\text{C}$)	P_{8-10}	3.6	0	mW
Optical output power between 10 μm and 13 μm ($T_M = 500^{\circ}\text{C}$)	P_{10-13}	1.9	0	mW
Electrical cold resistance (at $T_M = T_A = 22^{\circ}\text{C}$)	R_{C22}	35 to 55		Ω
Electrical operating (hot) resistance ² (at $T_M = 500^{\circ}\text{C}$ with $f \geq 5$ Hz and $t_{on} \geq 8$ ms)	R_{H500c}	1.883 * R_{C22} - 12.02		Ω
Package temperature	T_P	80		$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature	T_S	-20 to +85		$^{\circ}\text{C}$
Ambient temperature ³ (operation)	T_A	-40 to +125		$^{\circ}\text{C}$
Heater area	A_H	2.1 x 1.8		mm ²
Frequency ⁴	f	5 to 50		Hz

SI. 4.15. Tablica električkih i optičkih karakteristika emitera, relacija R_{C22} i R_{H500c} crveno zaokružena

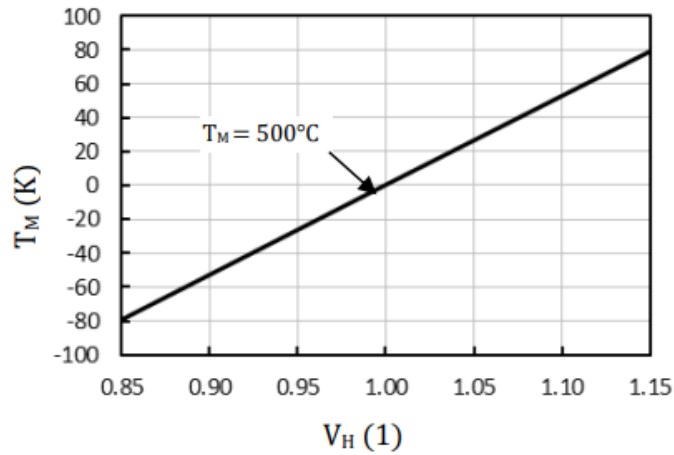
Druga metoda za osiguravanje maksimalne radne temperature ispod 500°C je osiguravanjem konstantnog napona emitera. Dakle prvi korak je opet mjerenje otpora pri uvjetima ambijentalne temperature i kada emiter nije spojen na izvor napajanja, zatim se sa grafa sa slike 4.16. očita napon na aktivnom elementu koji bi trebao biti konstantan tijekom cijelog vremena rada emitera. Ovom metodom proizvođač garantira sa sigurnošću od 95% da radna temperature neće prijeći vrijednost od 500°C. Na poslijetku graf na slici 4.17. daje informaciju o relativnoj promjeni temperature uslijed relativne promjene napona. Sa grafa je vidljivo da će promjena napona aktivnog elementa za 5% uzrokovati promjenu temperature od približno 25%. Drugim riječima, ukoliko je potrebno osigurati promjenu (konstantnost) temperature u granicama od $\pm 5\%$ napon je potrebno držati u granicama od $\pm 1.25\%$.



Mean¹ and upper bound of heater voltage V_H vs. cold resistance R_{C22}

Sl. 4.16. Graf ovisnosti napona i otpora aktivnog elementa pri ambijentalnoj temperaturi (T_A=22°C)

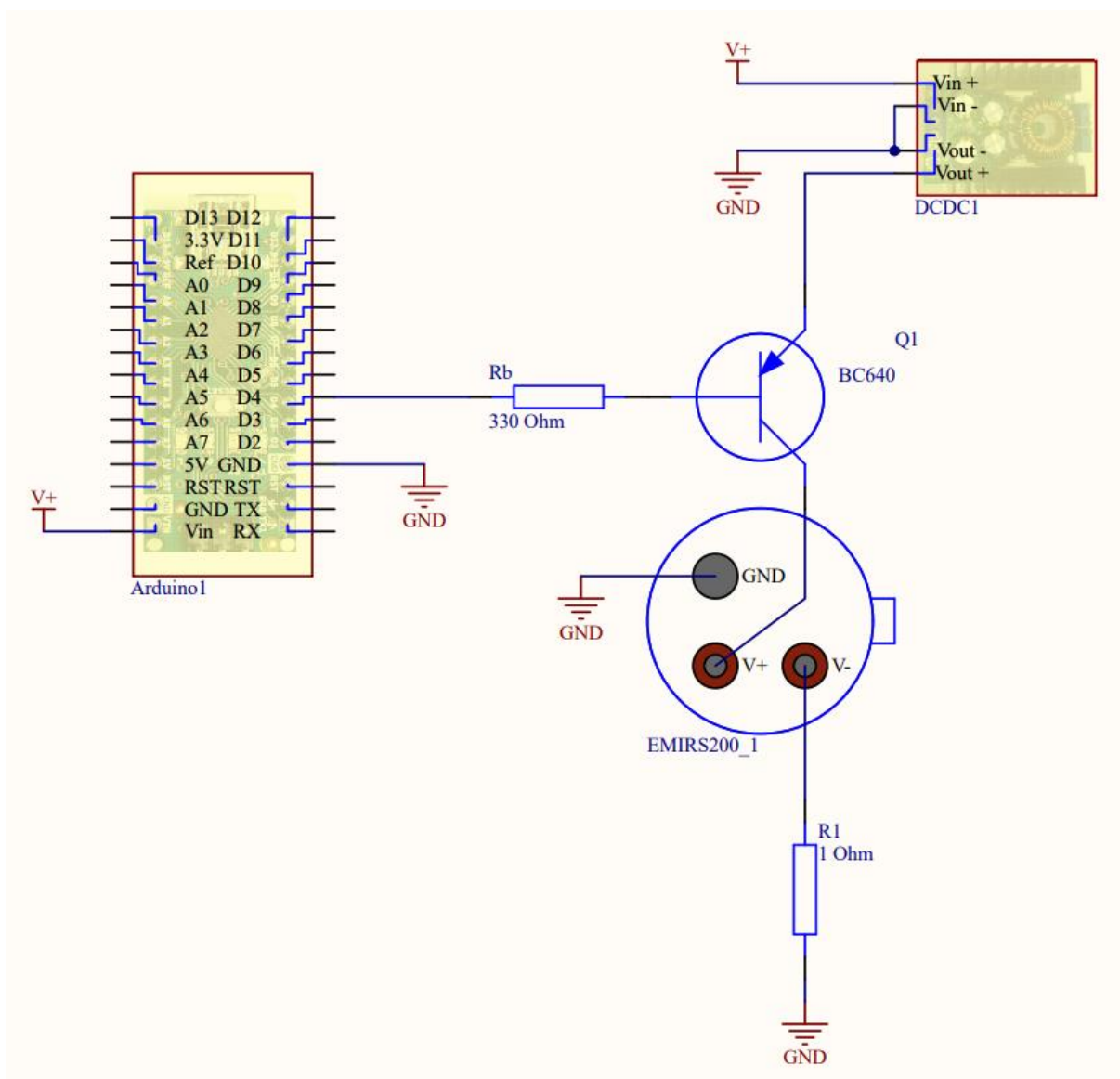
$$T_M - V_H$$



Relative change of membrane temperature (T_M) by changing heater voltage (V_H)

Sl. 4.17. Graf relativnih ovisnosti napona i temperature aktivnog elementa

Arduino Nano osim AD pretvorbe također podržava i *PWM* tj. pulsno širinsku modulaciju (engl. *pulse width modulation*) digitalnih signala. Međutim *ATmega328P* mikrokontroler koji se nalazi na *Arduino* ne može dati veću izlaznu struju od 40mA po jednom digitalnom izlazu (pinu), a to je 2 puta manje od najmanje potrebne struje za rad emitera. Zaobilazak navedenog ograničenja postiže se zasebnim napajanjem za emiter, a upravljanje tranzistorom u seriji s emiterom. Shema na slici 4.18. prikazuje navedeno rješenje.



Sk. 4.18. Shema spoja emitera

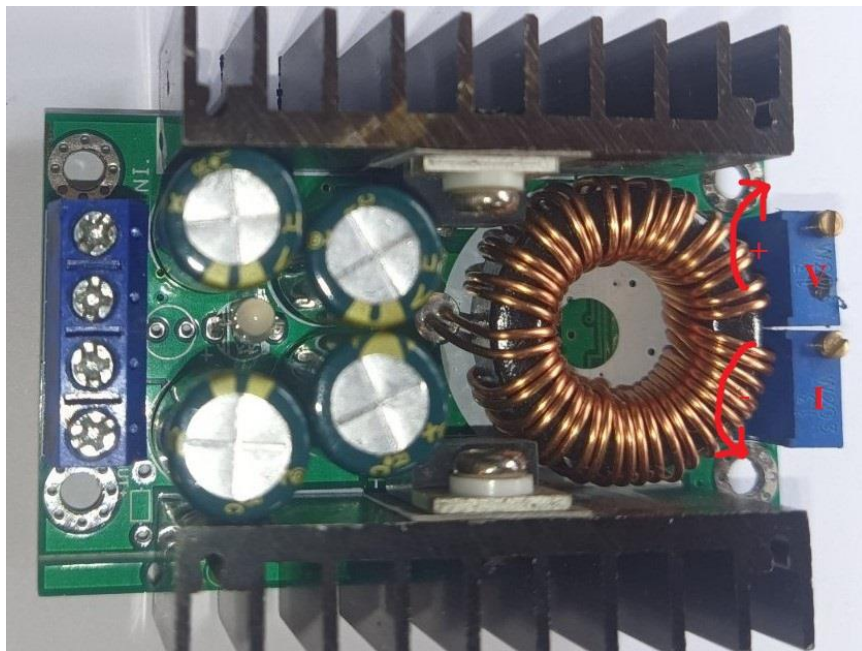
Za napajanje emitera korišten je komercijalno dostupan istosmjerni naponski pretvarač (engl. *DC-DC buck converter*) poznat u struci i kao *DC-DC konverter*. Upravljanje se odrađuje PNP tranzistorom opće namjene u konfiguraciji sklopke na napajanju (engl. *high side switch*). U seriju s emiterom dodan je i shunt otpornik vrijednosti 1 Ohm kako bi se omogućilo mjerenje struje kroz emiter u slučaju potrebe. Ulazni napon *DC-DC konvertera* je od 0 do 30V a najveća dozvoljena struja iznosi 8A dakle

u visokim granicama sigurnosti. Izlazni napon konvertera je od 1.25V do napona napajanja konvertera V_{in+} . Tranzistor BC640 je u TO-92 pakiranju i može podneti struje kolektora do -500mA napon kolektor-emiter (U_{ce}) do -80 V i napon baza-emiter (U_{be}) do -5V. Osim naponske regulacije *DC-DC konverter* ima i mogućnost strujnog ograničavanja što je dodatna mjera sigurnosti protiv kvara komponenata. Strujno ograničenje $I_{c(max)}$ proračunava se prema formuli (4.2-1).

$$I_{c(max)} = \frac{V_+ - U_{ce(zas.)}}{R_{C22} + 1} \quad (4.2-1)$$

V_+ je napon napajanja *DC-DC konvertera*, $U_{ce(zas.)}$ je kolektor-emiter napon zasićenja tranzistora, tipično oko 0.3V za silicijeve tranzistore. R_{c22} je otpor aktivnog elementa emitera pri temperaturi ambijenta od 22°C dok nije u pogonu.

Strujno i naponsko ograničenje na *DC-DC konverteru* podešava se mehanički okretanjem promjenjivog otpornika kao što je prikazano na slici 4.19. .



Sl. 4.19. Korišteni DC-DC konverter, strijelice pokazuju smjer vrtnje potenciometara za povećavanje ili smanjivanje strujnog/naponskog ograničenja

4.3 Arduino Nano kod i ostatak programske podrške

Budući da je u predhodnim potpoglavljima bilo riječi o električkim i fizičkim karakteristikama *Arduino Nano* razvojne pločice u ovom poglavlju će isključivo biti riječi o programskom kodu kojeg izvodi *ATmega328P* mikrokontroler. Na slici 4.20. slijedi izlistanje koda napisanog u *Arduino* razvojnom okruženju (engl. *Arduino integrated development enviroment*) prema [5], [12].

```

pali_gasi_zaruljicu_v3
1 //GREEN = GAS(signal) A6
2 //BLUE = REF A7
3
4 int digitalPin = 4; //PD4
5
6 const unsigned long period = 130; //[ms]
7 const unsigned long timeToLow =90; //time in HIGH
8 const unsigned long timeToHigh = period - timeToLow; //time in LOW
9
10 unsigned long pastTime = 0;
11 unsigned long presentTime = 0;
12
13 int analogRefPin = A7;
14 int analogSigPin = A6;
15 int vReading;
16 bool flag = false;
17
18 void setup() {
19     DDRD = (1 << digitalPin) | DDRD;//pinMode(digitalPin, OUTPUT);
20     Serial.begin(230400);
21 }
22
23 void loop() {
24     presentTime = millis();
25
26     if( ((presentTime - pastTime) >= timeToLow) && !flag ){
27         PORTD = ~(1 << digitalPin) & PORTD;//digitalWrite(digitalPin, LOW);
28         pastTime = presentTime;
29         flag = !flag;
30     }
31     else if( ((presentTime - pastTime) >= timeToHigh) && flag ){
32         PORTD = (1 << digitalPin) | PORTD; //digitalWrite(digitalPin, HIGH);
33         pastTime = presentTime;
34         flag = !flag;
35     }
36     vReading = analogRead(analogSigPin) - analogRead(analogRefPin);
37     Serial.println("{TIMEPLOT:Voltage|data|sig_minus_ref|T|" + (String)vReading + "}");
38 }

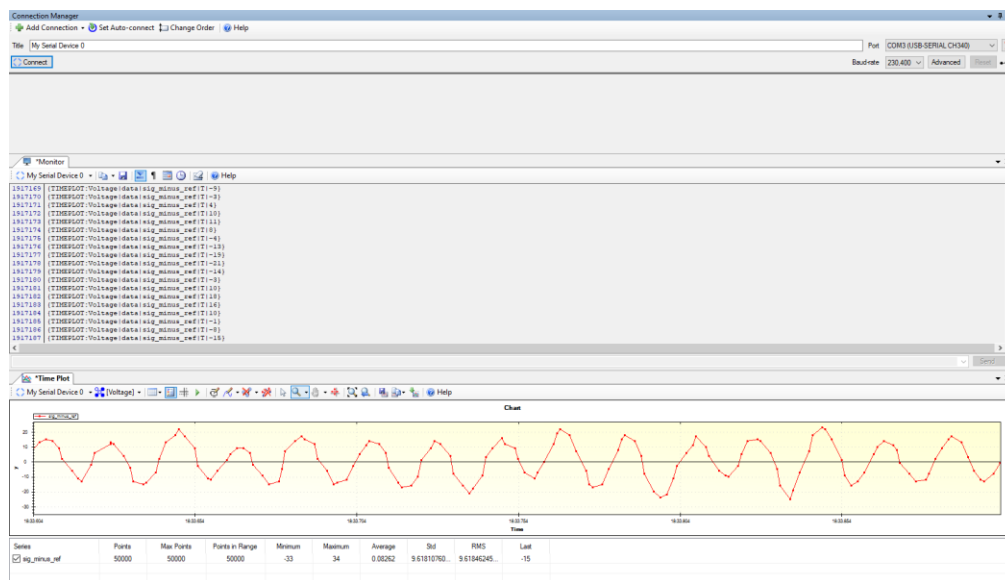
```

Sl. 4.20. Programski kod za mjerenje vrijednosti analognih izlaza senzora i upravljanje emitera kojeg izvodi ATmega328P na Arduino razvojnoj pločici

U linijama koda od 6.-10. definiraju se globalne varijable koje služe za upravljanje frekvencije i širine *PWM* signala koji upravlja tranzistorom. Ostale globalne varijable se koriste za definiranje ulaza i izlaza. Varijable *flag* se koristi za prebacivanje između visokog i niskog naponskog stanja prilikom upravljanja *PWM*-a. U 18. liniji koda direktnim pisanjem po registru se definira digitalni pin 4 kao ulaz, a sljedeća linija koda inicijalizira serijsku komunikaciju. U linijama koda 23. do 36. tj u *loop* funkciji se na temelju zabilježenog trenutnog vremena i proteklog vremena koje se ažurira svakim ostvarenjem grananja određuje hoće li izlaz biti u logičkoj jedinici ili nuli. Usporedbom razlike trenutnog i proteklog vremena s vremenom do promjene sljedećeg stanja se omogućava pulsno

širinska modulacija. Posljednje dvije linije koda ažuriraju vrijednost očitavanja s analognih ulaza i šalju ih serijskom komunikacijom na računalo. *String* varijabla u *Serial.print* funkciji mora biti zapisana na točno predodređen način kako bi ju program koji sluša na serijskoj komunikaciji mogao ispravno dekodirati. Predložak prema kojem se kreira *String* varijabla objašnjen je u idućem paragrafu.

Drugi dio programske podrške je program *MeguinoLink* [16] koji prima podatke sa serijske sabirnice i uređene parove točaka koje se sastoje od podataka o vrijednosti očitanoj na senzoru (y-os) i lokalnog vremena na računalu (x-os) plotaju na grafu. Na slici 4.21. prikazuje se grafičko sučelje programa sa sastavnim dijelovima potrebnim za uspostavu komunikacije i ispis (plot) podataka. Kako bi program bio u mogućnosti dešifrirati poslanu vrijednost potrebno je *String* formatirati na sljedeći način `{TIMEPLOT:ime_kanala|data|ime_niza_podataka|podatka|T|}`. Unutar jednog skupa podataka što predstavlja *ime_kanala* može se slati više nizova što predstavlja *ime_niza_podataka*. Plavo obojane naredbe su ključne riječi, *data* govori da se radi o podacima za plot, *T* govori programu da primljene podatke uparuje s lokalnim vremenom računala, umjesto toga može se serijskom komunikacijom slati vrijeme uzorka, međutim kako broj podataka za prijenos logično utječe na brzinu izvođenja programa onda je korištenje ključne riječi *T* resursno povoljnije. U zadnjem dijelu se upisuju podatci koji se šalju.

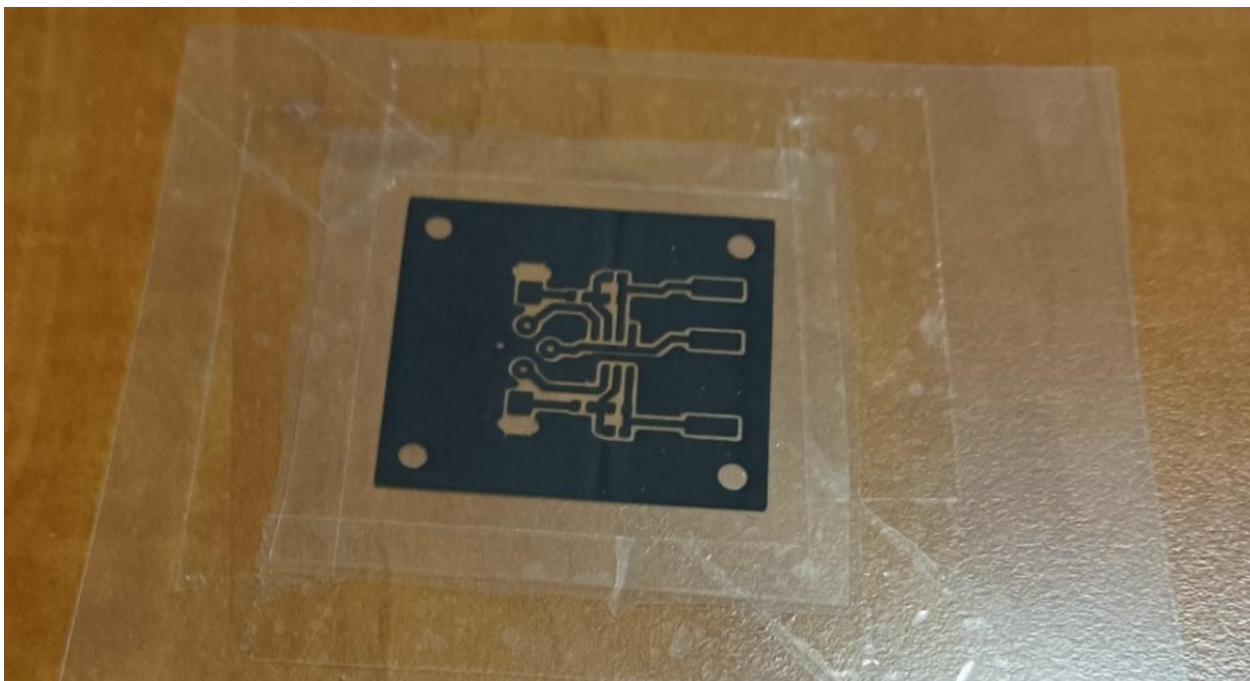


Sl. 4.21. Grafičko sučelje Meguinolink programa

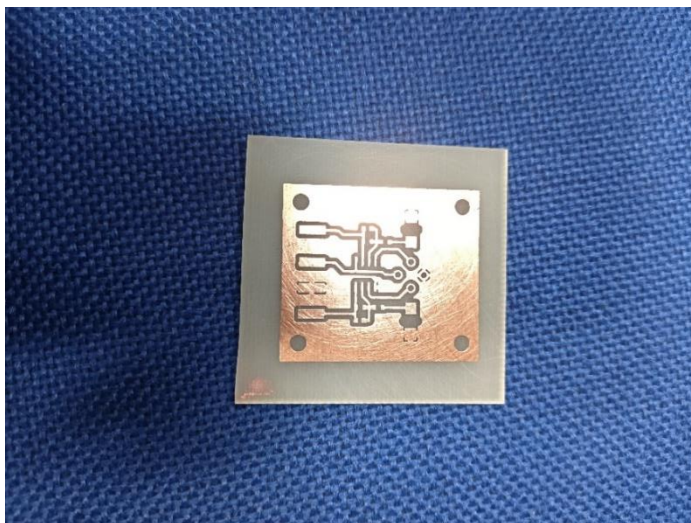
5. REALIZACIJA ELEKTRONIČKOG DIJELA SUSTAVA

5.1 Elektronička pločica senzora

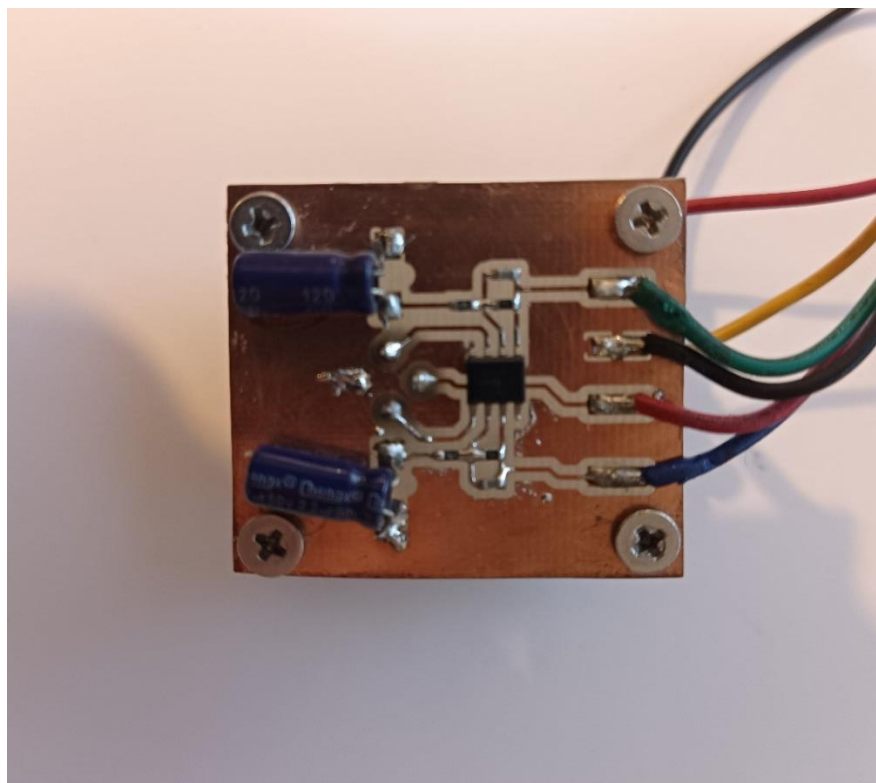
Elektronička pločica u struci poznata pod nazivom *PCB* (engl. *printed circuit board*) na kojoj se nalazi senzor dizajnirana je u programu *Eagle* i izrađena u laboratoriju Fakulteta elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija (FERIT) u Osijeku. Na slici 5.1. prikazan je negativ isprintan na prozirnici pomoću kojeg se razvija fotorezistivni lak, a slika 5.2. prikazuje *PCB* nakon jetkanja. Slike 5.3. i 5.4. prikazuju *PCB* na kojem se nalazi zalemljen senzor i sve periferne komponente.



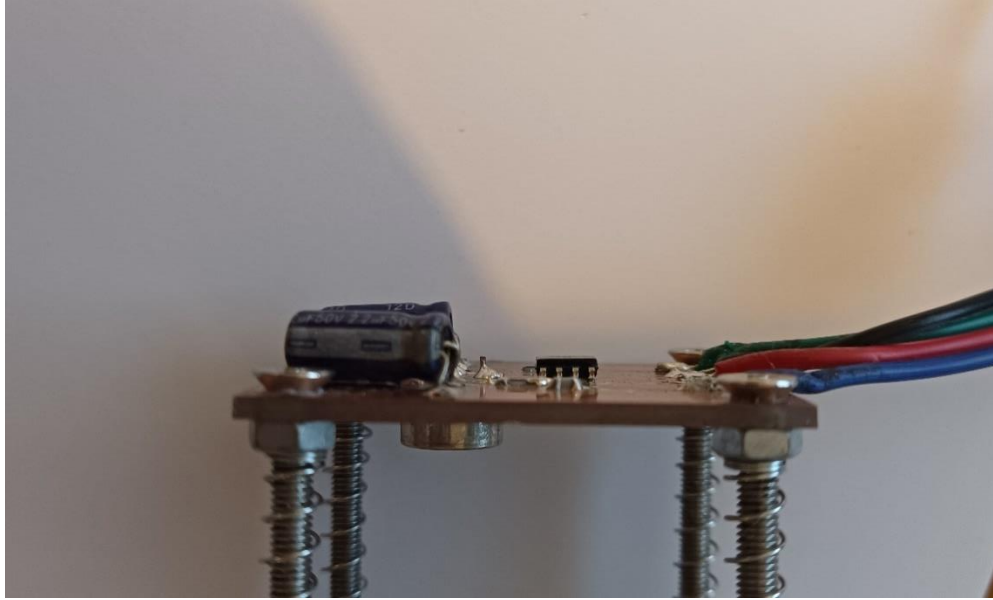
Sl. 5.1. Negativ na prozirnici



Sl. 5.2. PCB nakon jetkanja



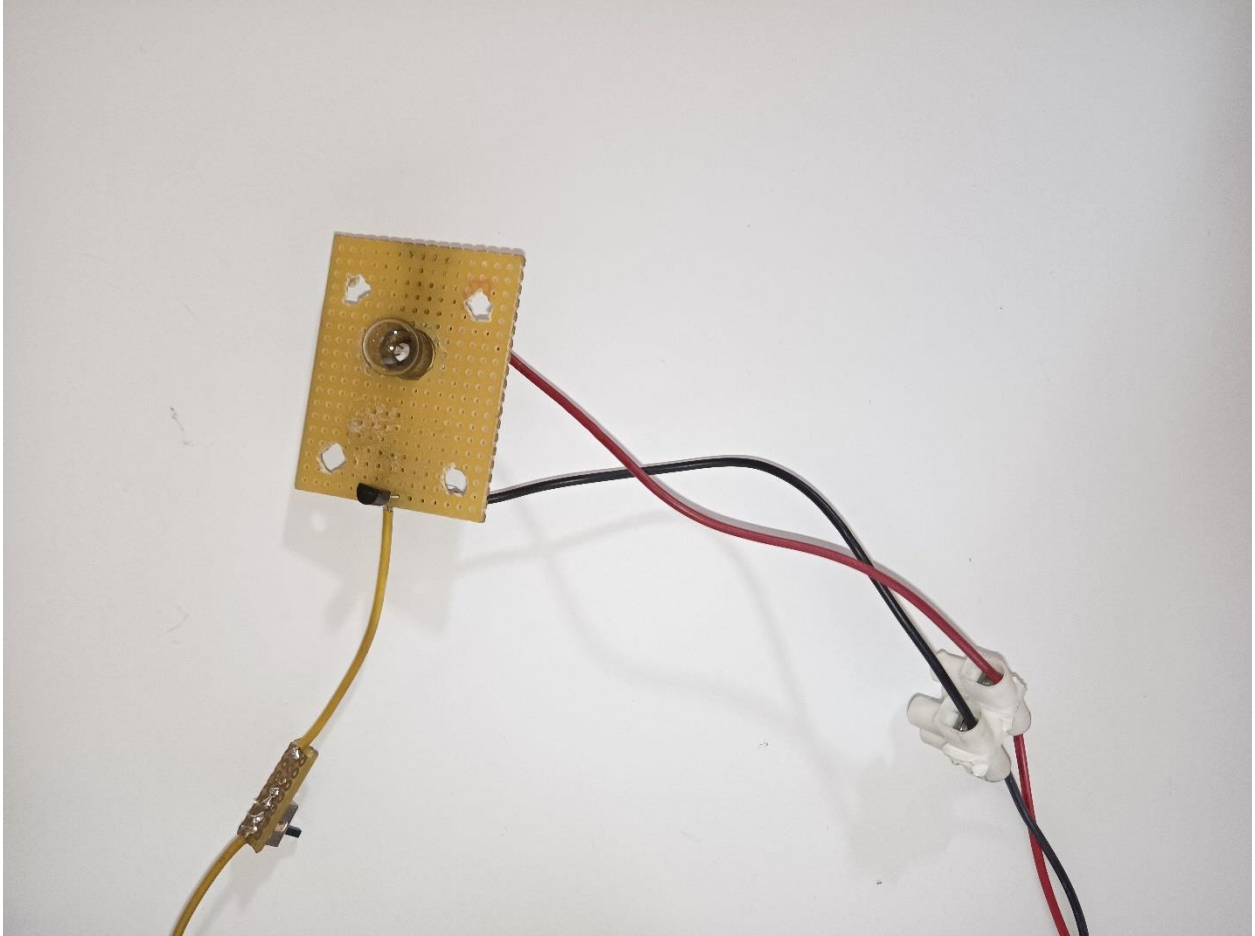
Sl. 5.3. Priferne komponente senzora na PCB-u



Sl. 5.4. Periferne komponente senzora s gornje strane i senzor s donje strane

5.2. Elektronička pločica emitera

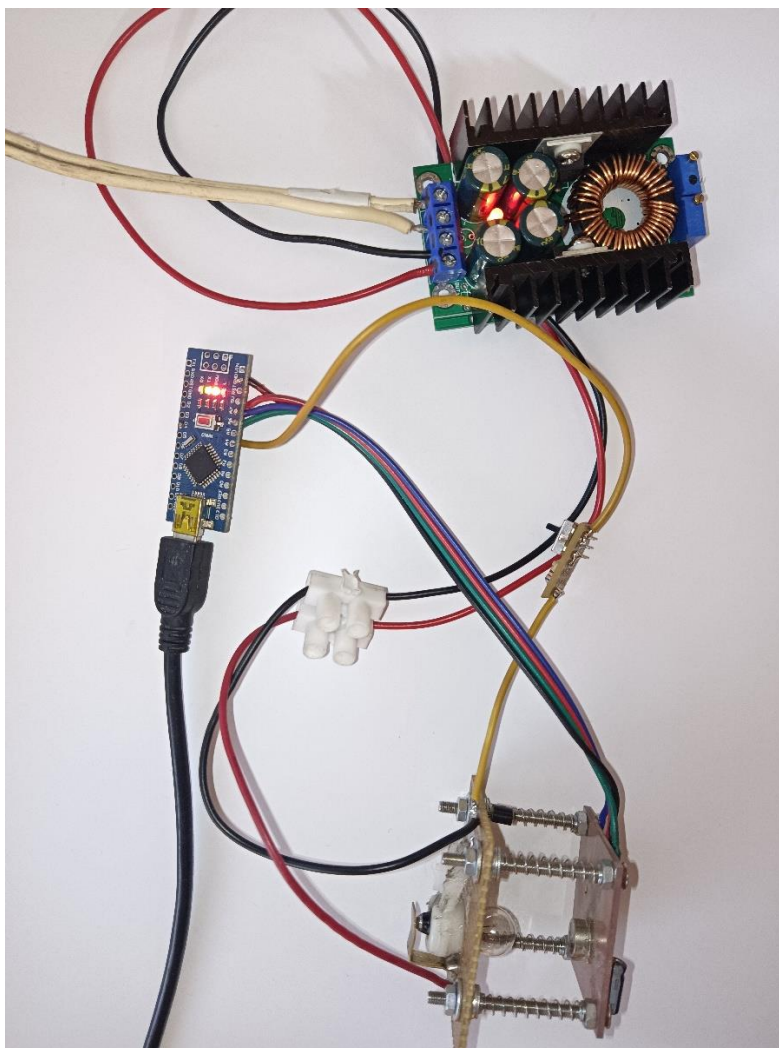
Budući da zbog aktualnih geopolitičkih situacija emiter nije bilo moguće nabaviti u roku izrade i predaje ovog rada, *PCB* emitera kao i sam emiter su improvizirani u cilju postizanja preliminarnih rezultata na temelju kojih se može doći do zaključka o izvedivosti uređaja. Emiter je zamijenjen inkandesentnom žaruljicom snage 0.8W koja postiže isključivo minimalno potreban spektar zračenja i frekvenciju upravljanja, ostatak komponenata osim shunt otpornika je ostao prema na slici 4.18. *PCB* emitera je probušena bakrena pločica s rupama. Prikaz izvedbe emiterskog dijela elektronike na slici 5.5. .



Sl. 5.5. PCB za emitorsko dio elektronike i zalemljene komponente na PCB-u

5.3. Realizacija mjernog sustava (uređaja)

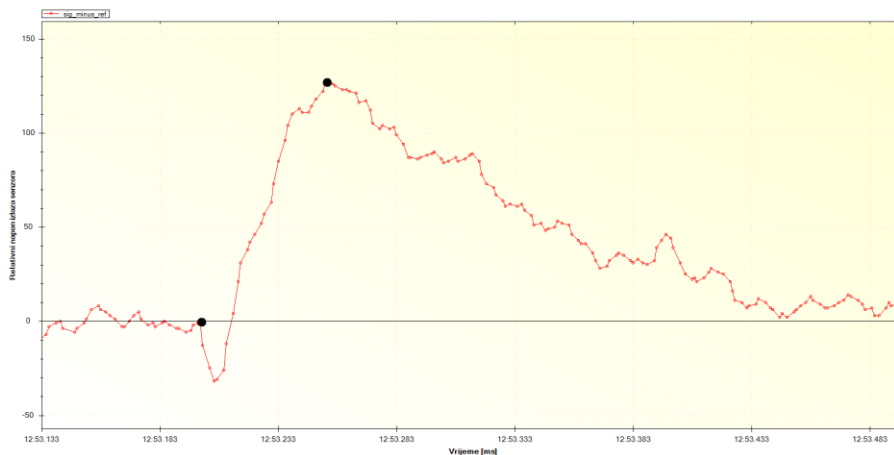
Kompletni mjerni sustav je spoj emitorskog i senzorskog dijela elektronike. Spoj shema na slikama 4.8. i 4.18. je kompletna shema prema kojoj je realiziran sustav. Slika 5.6. prikazuje cijeli sustav spreman za preliminarno mjerenje uzoraka.



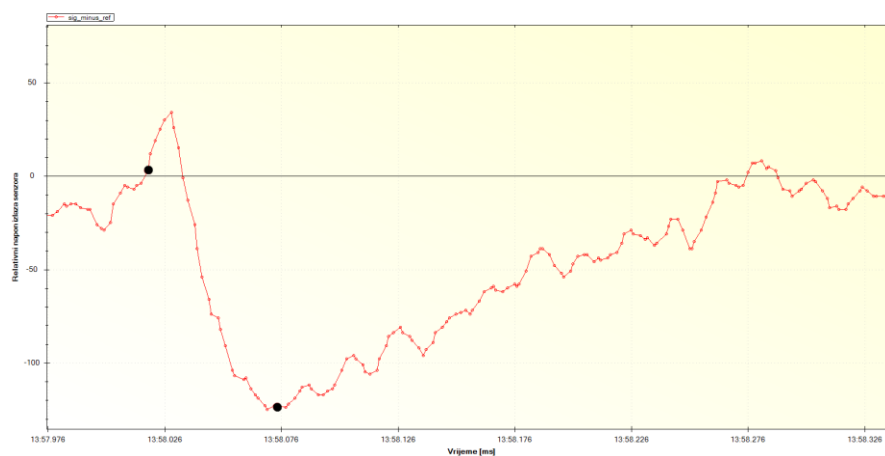
Sl. 5.6. Kompletni mjerni sustav

5.4 Određivanje najveće frekvencije upravljanja i testiranje rada sustava

U cilju postizanja što boljih i preciznijih mjerenja prvi korak je odrediti najveću moguću frekvenciju upravljanja žaruljice (emitera) i najmanju širinu pulsa *PWM* signala kako bi se postigla maksimalna optička snaga. Ukoliko se žaruljica upravlja prebrzo i ne stigne se upaliti do kraja ili ugasi do kraja neće se posići najveća promjena optičke snage koja je potrebna za optimalan rad senzora. Isto vrijedi i za emiter. Slika 5.7. prikazuje graf na temelju kojeg se određuju navedene vrijednosti. Grafovi su plotani u programu *MeguinoLink* [16].



Sl. 5.7. Valni oblik odziva senzora na stepenastu funkciju (paljenje) žaruljice

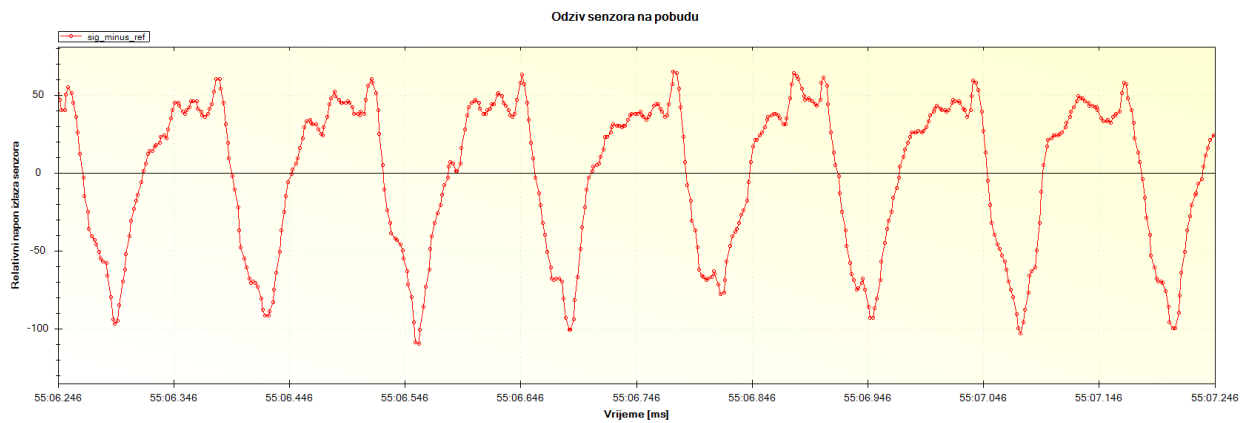


Sl. 5.8. Valni oblik odziva senzora na stepenastu funkciju (gašenje) žaruljice

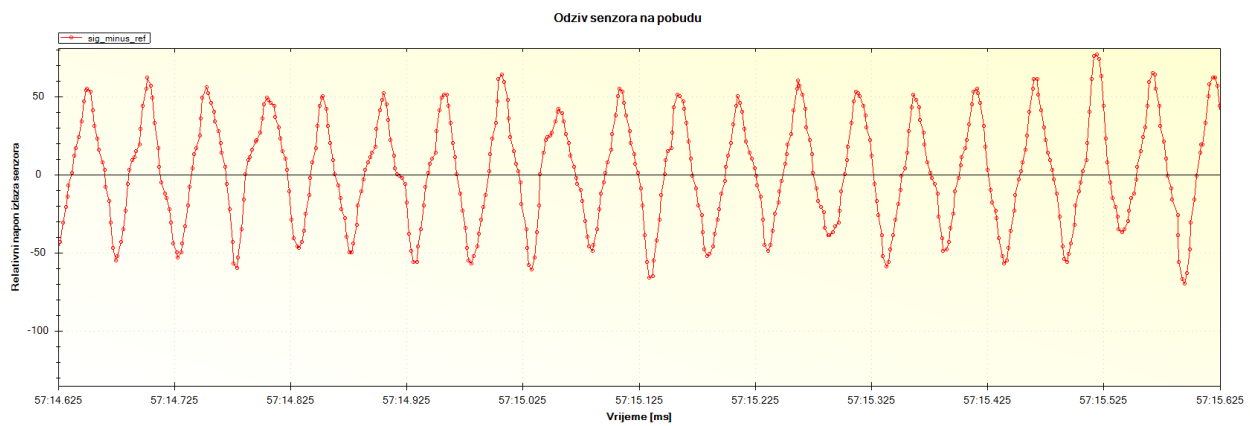
Iz grafova se može očitati vrijeme potrebno da žaruljica dosegne maksimalnu snagu odnosno potpuno se upali (slika 5.7.) i potpuno se ugasi (slika 5.8.) . Potrebna vremena za potpuno paljenje i gašenje se očitava od točke kada promjena krene rasti ili padati do točke kada funkcija na grafu opet krene mijenjati svoju derivaciju. Crnim oznakama su oznčene navedene točke za grafove na slikama. Izračunato vrijeme za potpuno paljenje žaruljice (apsolutna razlika zabilježenog vremena u dvijema točkama) iznosi 90 ms, a izračunato vrijeme za potpuno gašenje iznosi 40 ms. Slijedom toga period upravljanja ne smije biti manji od 130 ms tj. frekvencija veća od 7.7 Hz. Širina pulsa *PWM* signala je ograničena vremenima paljenja i gašenja. Bilo koja širina pulsa je moguća (0-100%) dokle god visoko

i nisko stanje signala traju jednako ili više od potrebnih vremena gašenja i paljenja. Anlogni postupak može se primjeniti na *EMIRS200* emiter.

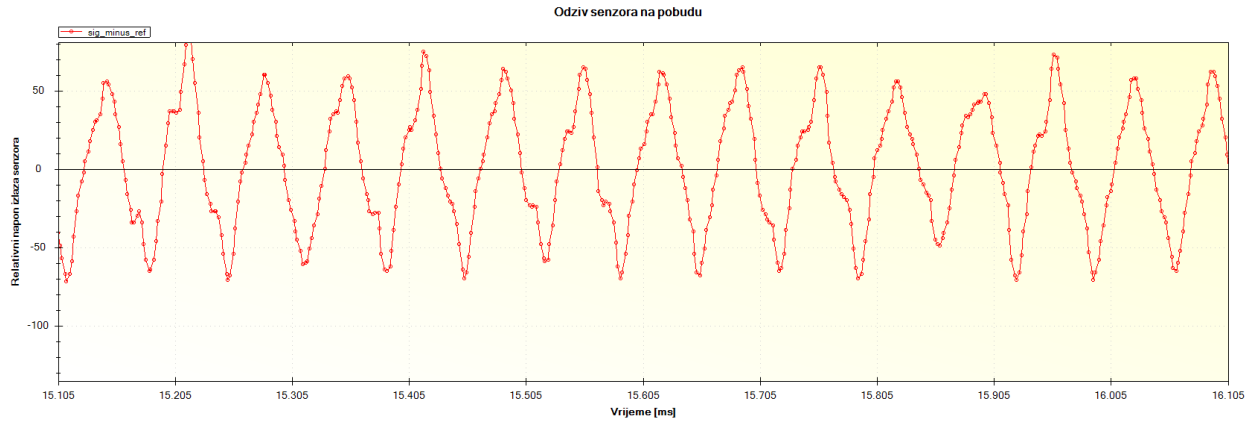
Na slikama 5.9. do 5.4.8. prikazani su valni oblici tj. grafovi relativog napona tj. napona u odnosu na referencu Arduina izražen cijelobrojno u vremenu za različite frekvencije upravljanja i različite širine *PWM* signala navedene u naslovu slika.



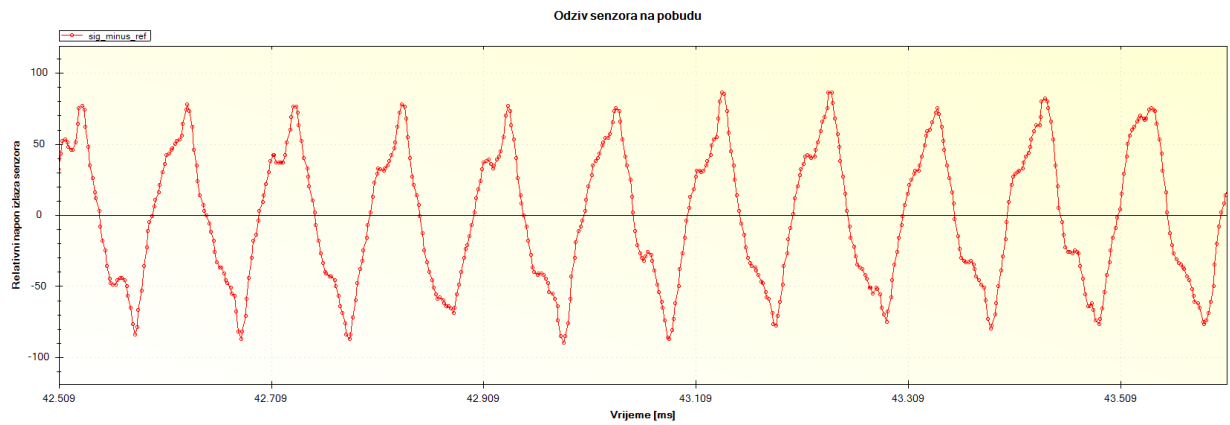
Sl. 5.9. Period = 130 ms, širina pulsa = 90 ms



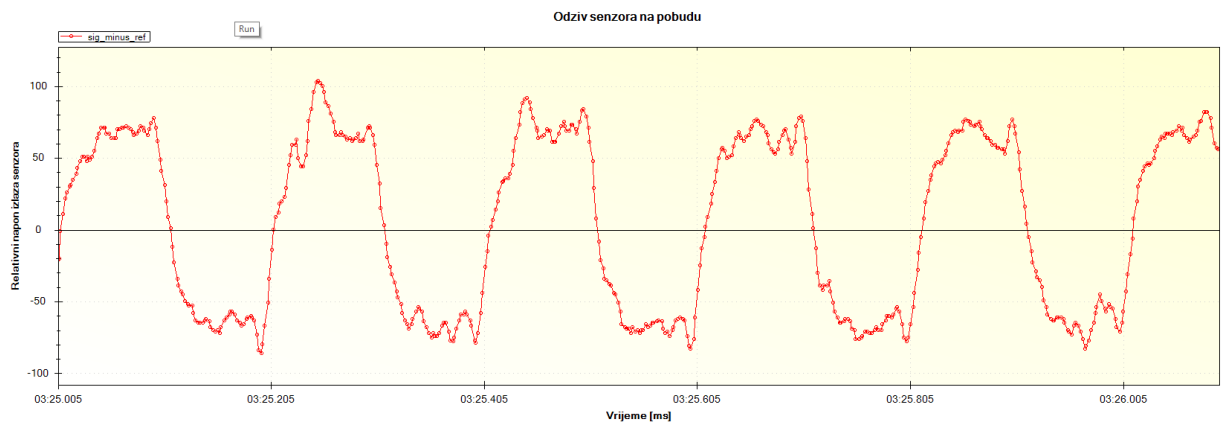
Sl. 5.10. Period = 50 ms, širina pulsa = 25 ms



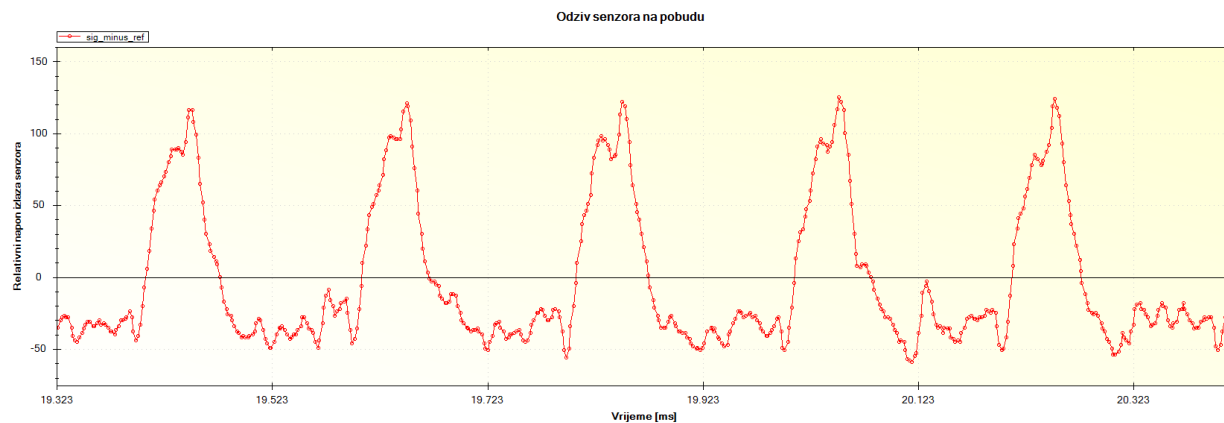
Sl. 5.11. Period = 66 ms, širina pulsa = 33 ms



Sl. 5.12. Period = 100 ms, širina pulsa = 50 ms



Sl. 5.13. Period = 200 ms, širina pulsa = 100 ms



Sl. 5.14. Period = 200 ms, širina pulsa = 50 ms

Na višim frekvencijama u odnosu na niže i/ili pri graničnim vrijednostima širine pulsa vidljivo je očekivano atenuiranje signala ali i pozitivan efekt izostanka šuma. Mjerenjem je utvrđeno da je frekvencija šuma oko 50Hz što je posljedica korištenja napajanja koja se napajaju iz gradske mreže ali i lošeg filtriranja istih.

6. ZAKLJUČAK

Realizirani mjerni sustav pogodan je zbog mogućosti gotovo potpune automatizacije za upotrebu u velikim pogonima gdje je nužno u kratkom vremenu odraditi velik broj mjerenja. Automatizacija također uklanja ljudski faktor u cijelom procesu što u konačnici dovodi do poboljšanja i dosljednosti kvalitete proizvoda. U radu su pokriveni osnovni fizikalni pojmovi bez kojih se ne može ući u proučavanje i na poslijetku poboljšavanje mjernih sustava ove vrste. Na temelju fizikalnih pojava odabrane su komponente i dane moguće alternative istih. Prilikom realizacije sustava znanja o fizikalnim pojmovima i pojavama su primjenjena kako bi se dao smisao mjernim podacima i zaobišle prepreke uzrokovane trenutnim geopolitičkim situacijama. Analizom mjernih podataka dane su i opće smjernice za uporabu i poboljšanje i nastavak razvoja sustava. Sukladno navedenom mane sustava su neotpornost na šum gradske mreže što se može riješiti zasebnim napajanjem iz baterije ili kvalitetni filtriranjem. Sustav bi također mogao bolje raditi uz kvalitetniju izvedbu elektroničkih pločica i upotrebom projektiranih komponenata u odnosu na korištene. Filtriranje analognih izlaza senzora također otvara prostor za poboljšanje, ali nije od kritične važnosti. Frekvencije uzorkovanja nisu predstavljale prepreku međutim preporučeno bi bilo koristiti odvojne mikrokontrolere za upravljanje i uzorkovanje.

LITERATURA

- [1] <https://pyreos.com/wp-content/uploads/2020/11/Pyreos-Analog-TO-Two-Channels.pdf>, (datum zadnje pristupa 18.9.2022.)
- [2] <https://www.digikey.com/en/products/filter/ceramic-capacitors/60?s=N4IgTCBcDaIM4FsAmACAxgQwA4gLoF8g>
- [3] Emily Moore, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR): Methods, Analysis and Research Insights (Chemical Engineering Methods and Technology), Nova Science Publishers, Incorporated, 2016
- [4] <https://wiki.anton-paar.com/us-en/attenuated-total-reflectance-atr>
- [5] https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [6] <https://www.fossanalytics.com/en/productfinder>
- [7] <https://www.axetris.com/en/irs/products/emirs200>
- [8] <https://www.digikey.com/en/products/filter/chip-resistor-surface-mount/52?s=N4IgTCBcDaIE4FMDOBLJAXA9nEBdAvkA>
- [9] <https://www.murata.com/en-us/products/sensor/infrared/overview/basic/about>
- [10] ATASCIENTIFIC, Spectrometry and spectroscopy: whats the difference?, <https://www.atascientific.com.au/spectrometry>
- [11] <https://www.anton-paar.com/us-en/products/details/lyza-5000-wine>
- [12] https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Nano-Rev3.2-SCH.pdf
- [13] <https://www.digikey.com/en/products/filter/led-emitters-infrared-uv-visible/94?s=N4IgTCBcDaIKIFkCSAIAymADJkBdAvkA>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Planck%27s_law
- [15] <https://www.digikey.com/en/products>
- [16] <https://www.megunolink.com/>

SAŽETAK

U ovom radu realiziran je sustav za mjerenje etanola i šećera pomoću PY2551 piroelektričnog senzora. Pobuda senzora je inkandesentna žaruljica s pripadajućim perifernim komponentama za upravljanje. Upravljanje i očitavanje podataka je izvedeno Arduino Nano razvojnim sustavom. Napajanje sustava je napajanje računala koje se napaja iz gradske mreže a regulacija napona se odrađuje pomoću naponskog pretvarača. Sustav je testiran i grafovima su prikazani rezultati.

Ključne riječi: FTIR spektroskopija, Planckov zakon, piroelektrični senzor, infracrveni emiter, Arduino Nano

ABSTRACT

Title: Measuring ethanol and sugar quantity with PY2551 pyroelectric sensor

In this paper, alcohol and sugar measuring device was realized with use of PY2551 pyroelectric sensor. Incandescent light bulb controlled by adequate components was used to excite the sensor. Control and sampling of data is done by Arduino Nano development board. Power supply for the system is standard computer power supply powered from city network (220V). Voltage regulation for the system components is a buck voltage converter. System was tested and for each measurement graph is plotted.

Keywords: FTIR spectroscopy, Planck's law, pyroelectric sensor, infrared emitter, Arduino Nano