

ТЕХНОЛОГИЈА МЕРЕЊА ГАСОВА У ВАЗДУХУ ПОМОЋУ MQ-9 СЕНЗОРА

TECHNOLOGY FOR MEASURING GASES IN THE AIR VIA THE MQ-9 SENSOR

Давид Колоски

III разред, Електротехничка школа “Никола Тесла”, Панчево, Србија

Ненад Миленковић

Регионални центар за таленте „Михајло Пупин“ Панчево

РЕЗИМЕ : На тржишту се налази велики број сензора за мерење концентрације гасова у ваздуху, при чему постоји веома велика ценовна разлика. У истраживачком раду је анализирана употребљивост сензора MQ-9. Мерења су вршена на 2 од доступних 5 мерних станица широм Панчева (јер само 2 од тих 5 мерних станица поседују мераче за угљен-моноксид, чија су нам мерења потребна како бисмо израчунали одступања од тих вредности). MQ-9 се показао као поуздано и приступачно решење за мерење у различитим условима.

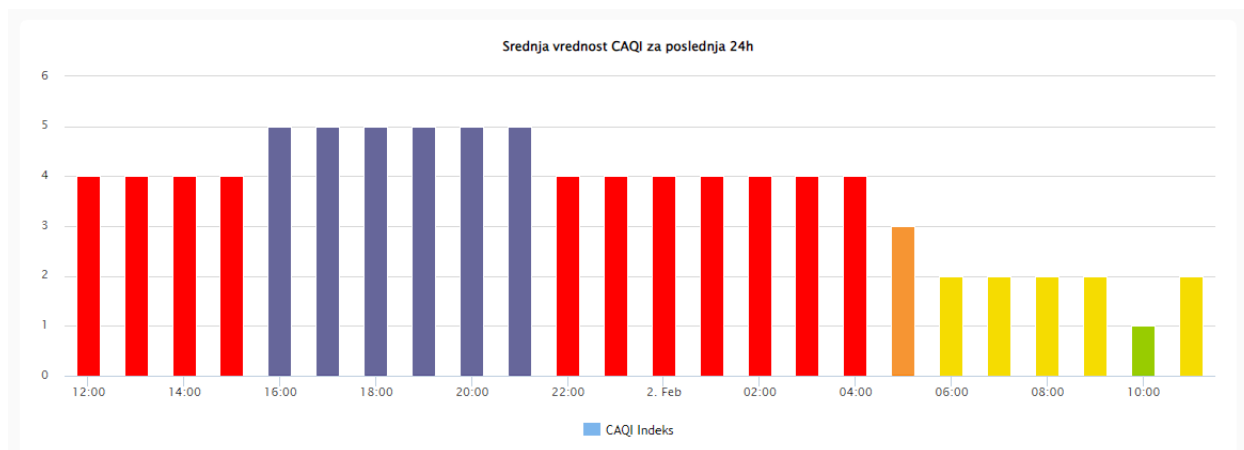
КЉУЧНЕ РЕЧИ : угљен-моноксид, људи са посебним потребама, сензор, MQ-9

ABSTRACT: There is a large number of gas concentration sensors available on the market, with a significant price difference. In the research work, the usability of the MQ-9 sensor was analyzed. Measurements were done on 2 out of the 5 available measure stations across Pančevo (because only 2 out of those 5 contain carbon dioxide meters, whose measurements we need so we can calculate deviation from those values). MQ-9 performed as a reliable and affordable solution for measurement under different circumstances.

KEYWORDS: carbon-monoxide, people with special needs, sensor, MQ-9

УВОД

У Србији, постоје многи градови који имају повећану концентрацију честица које могу негативно утицати на организам појединца. Проблем је присутан у целој земљи, али се највише истиче у нашем граду – Панчеву. Честице које се налазе у ваздуху у великим количинама су: PM2.5, PM10 честице, SO₂, NO₂ и најзад СО (угљен-моноксид) који нам представља главни гас за мерење у овом истраживању. Поред Панчева у Србији се налази чак 15 градова који су више загађени од најзагађенијег града у целој Европи (Nowy Sacz, који се налази у Пољској). Занимљив, али у исто време и узнемирујућ податак је да се од 46 мерних станица широм Србије на чак 39 читавао изузетно загађен ваздух. Наиме у Панчеву постоји 5 мерних станица (1. се налази у улици Цара Душана, 2. код ватрогасног дома који се налази у Доњем граду у улици Жарка Зрењанина, 3. у пределу града – Војловица и та мерна станица је лоцирана поред Месне заједнице „Војловица“, 4. је смештена ван града Панчева у оближњем селу Старчево где се налази код Панчевачког пута близу скретања у Леђинову улицу и 5. мерна станица је постављена код Опште болнице у Панчеву).



СЛИКА 1: Мерења по средњој вредности CAQL у Панчеву за последња 24h

FIGURE 1 Measurements of the average CAQL (Central Air Quality Index) in Pančevo for the last 24 hours

Конкретно CAQL индекс представља вредност где су сви гасови узети у обзир како би се добила једна вредност која карактерише загађеност ваздуха у том пределу. Што је та вредност већа то је ваздух загађенији. Као што можемо видети са слике најзагађенији сати у нашем граду су између 16h и 21h (љубичасто означава јако загађен ваздух, црвено загађен, наранџаста прихватљив, жута добар и зелена одличан квалитет ваздуха).

Будући да се Панчево налази поред рафинерије и да је град са великим прометом, СО може представљати проблем за било ког грађанина. Међутим упркос томе, у Панчеву се налазе само две станице које могу да мере угљен-моноксид, а то су мерна станица у улици Цара Душана и станица у Старчеву (која нам није од превелике користи, будући да се не налази у самом Панчеву).

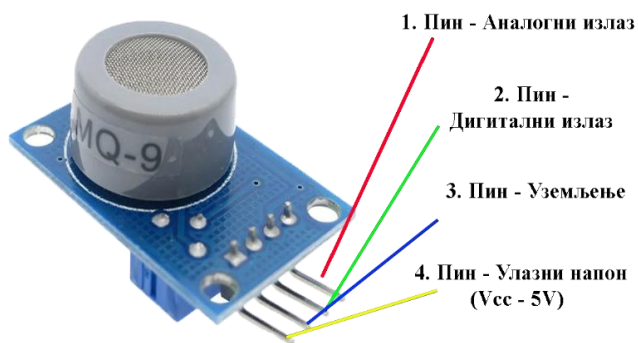


СЛИКА 2: Пример мерне станице (конкретно се ова налази у Војловици)
FIGURE 2 Example measurement station (specifically located in Vojlovica)

Посетили смо 2 мерне станице у Панчеву (јер се на само 2 од свих 5 мери угљен-диоксид који је главна тема овог истраживања), како бисмо помоћу нашег сензора MQ-9 измерили загађеност и тиме израчунали одступања од званичних мерења и тиме утврдили колико је сензор MQ-9 поуздан и прецизан.

ПРИНЦИП РАДА MQ-9 СЕНЗОРА

При раду са различитим сензорима, закључено је да је овај сензор најпоузданији за мерење конкретне честице у ваздуху (у овом случају – угљен-диоксид). Остали сензори су у могућности да мере квалитет ваздуха али не тако ефикасно.



СЛИКА 3: MQ-9 сензор са појединачно обележеним пиновима
FIGURE 3 MQ-9 sensor with individually labeled pins



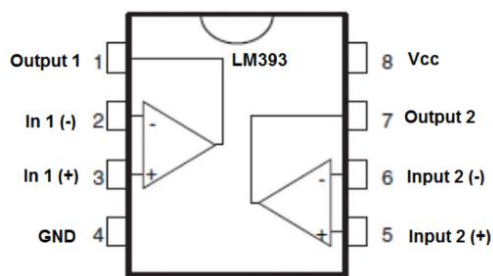
СЛИКА 4: Сензора има шест пина
FIGURE 4: The sensor has six pins



СЛИКА 5: Полеђина MQ-9 сензора
FIGURE 5: The backside of the MQ-9 sensor

На слици 5 можемо видети како изгледа полеђина сензора. На њему се налази LED индикатор за излаз, LED индикатор за паљење, LM 393 компаратор напона (објашњен у параграфу доле) и потенциометар за осетљивост (који служи за подешавања прага концентрације гаса и тиме чини сензор мање или више осетљивим). LED индикатор за паљење се пали док је сензор укључен.

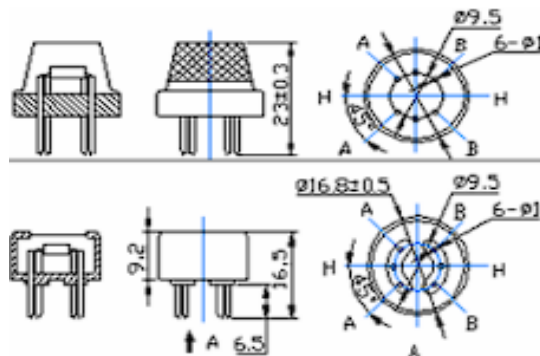
LM393 је двоструки независни прецизни компаратор напона способни за рад са једним или подељеним напајањем. Садржи 8 пинова од којих 3x2 (подељени у групе од по 3) су повезани са инвертором. Један пин је намењен за улазни напон а последњи за уземљење. Спецификације улазног пробојног напона до 2,0mV чине овај уређај одличним избором за многе примене



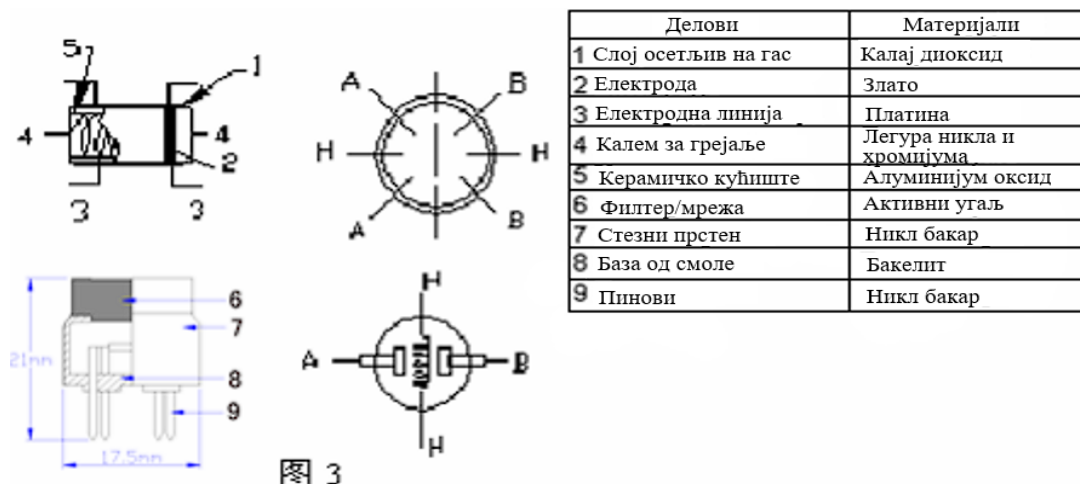
СЛИКА 6: LM393 компаратор напона
FIGURE 6 LM393 voltage comparator

Помоћу њега је конкретно могуће мерити гасове попут метана, калај-диоксида и нама најпотребнијих – дима и угљен-моноксида. У зависности од тога колико је сензор загрејан, од тога зависи и који ће гас мерити. Сензор је могуће управљати преко “Arduino” платформе, уз помоћ програма исте компаније под називом “Arduino IDE” . MQ-9 је могуће повезати помоћу 4 пина која се налазе на самој ивици штампане плоче сензора. 1. пин представља улаз за напајање, који је једносмеран и износи 5V, 2. пин представља уземљење, 3. пин представља дигитални излаз док 4. пин представља аналогни излаз. Овај

сензор је познат по његовој дугорочности и јефтиниости што га чини изузетно приступачним.

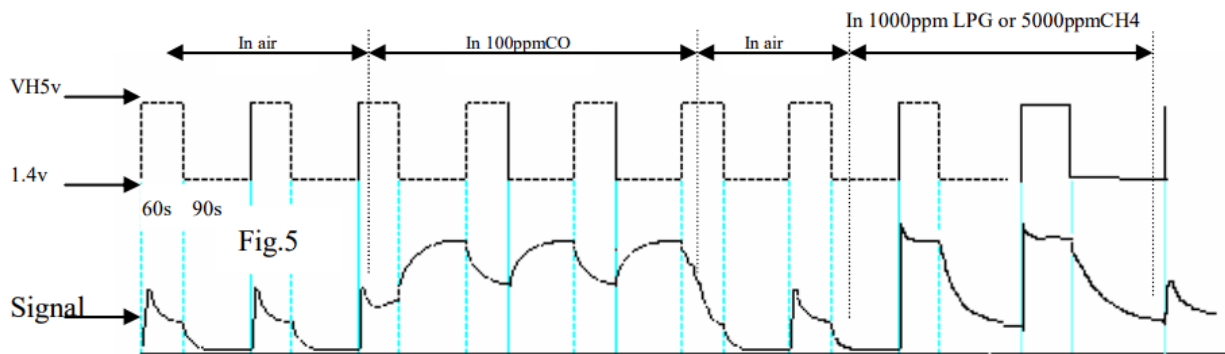


СЛИКА 7: Димензије сензора
FIGURE 7: The dimensions of the sensor



СЛИКА 8: Делови сензора, димензије и материјали од кога је направљен
FIGURE 8: Parts of the sensor, dimensions, and materials it is made of

На слици горе приказани су делови од којих се састоји овај сензор, материјали од којих је сваки део направљен као и димензијег самог сензора. Састављен је од керамичког дела (део 5) који је облика ваљка где се са горње стране налази нерђајућа метална мрежица . У њега је смештен осетљиви слој за гас (део 1), електрода за мерење (део 2 и део 3) као и калем за грејање (део 4). Слој за гас функционише тако што се калем загрева 60 секунди на напону од 5V затим се загрева 90 секунди на напону од 1.4V.



СЛИКА 9: График сигнала сензора
FIGURE 9: Sensor signal graph

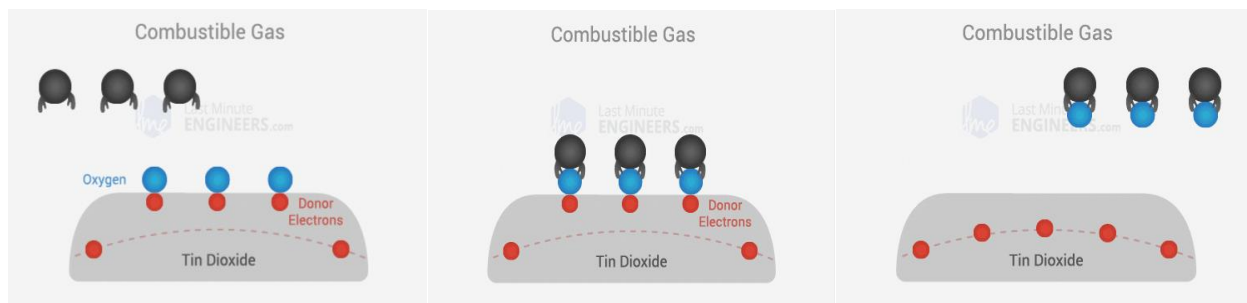
Сигнал је издељен на конкретно четири дела. У првом делу сензор се налази у чистом ваздуху те овако изгледа његов сигнал. Када се пребаци у подручје са ваздухом у ком има 100ppm угљен диоксида сигнал му се мења, као и када се врати назад у чист ваздух а затим у простор са 1000ppm течног нафтног гаса или 5000ppm метана (односно запаљивих гасова) где је у оба случаја идентичан сигнал. Без обзира где се сензор налази он се загрева на начин претходно објашњен.

Сам сензор функционише помоћу слоја осетљивог на гас (стр.5, слика 8, део 1). Како он изгледа и функционише можемо видети у реду слика на следећој страни.

Керамика са основом алуминијум оксидом

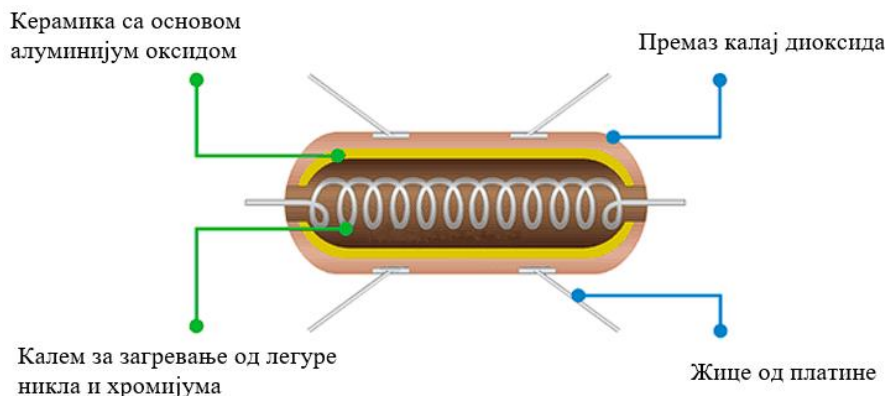


СЛИКА 10: Осетљиви слој
FIGURE 10: "Sensing layer"



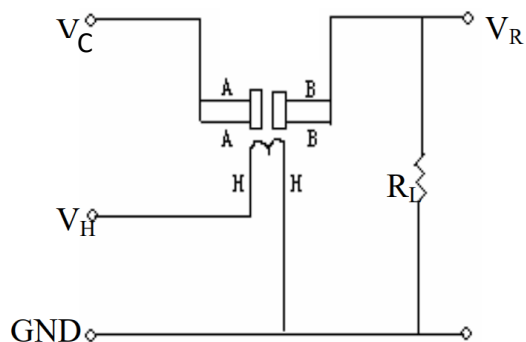
СЛИКЕ 11,12,13: Начин на који осетљиви слој функционише
FIGURE 11, 12, 13: The way the sensing layer functions"

На слици 11, можемо приметити да су донори закачени за кисеоник те не дозвољавају проток тих електрона кроз калај диоксид (на слици “Tin Dioxide”). Када (слика 12) запаљиви гас или угљен моноксид „узму“ кисеоник, тада (слика 13) се донори електрони враћају на првобитну путању где настављају проток кроз слој. Тиме се може установити колико и да ли има одређених гасова у ваздуху.



СЛИКА 14: Детаљан приказ осетљивог слоја
FIGURE 14: Detailed depiction of the sensing layer

Слика 11 представља заправо исти део као и Слика 4 као и десни део на Слици 6. Жице су, као што можемо видети на Слици 6, означене словима А, В и Н. Она означавају места на којима се доводи напон. На слици испод приказано је коло у коме можемо видети који напон долази на које место. А и В служе за довод сигнала док Н служи за довод струје за загревање калема.



Као што можемо видети са слике, на место А долази напон V_c који је једносмерни као и напон V_r који долази на место В. Ова два напона могу бити истог интензитета, односно да долазе са исте мреже. Напон V_h долази на место Н где се загрева калем који служи да обезбеди жељену радну температуру сензора. Ово је важно јер сензор може да мери различите гасове у ваздуху а у зависности од тога колико је загрејан сензор у могућности је да мери одређене честице.

СЛИКА 15: Електрично коло MQ-9 сензора
FIGURE 15: The electrical circuit of the MQ-9 sensor

На пример уколико је на напон V_h спроведен напон од 5V сензор је у могућности да реагује и мери метан, пропан и остале запаљиве гасове, док ако га ставимо на нешто мањи напон, од 1.4V, он ће бити у могућности да мери угљен-моноксид. Сензор не може у исто

време да мери и једне и друге честице. Уколико сензор мери угљен-моноксид, број честица по милиону (или ppm односно parts per million што представља колико се одређених честица налазе у узетом примерку од милион честица) ће износити између 10-1000ppm, док је за случај запаљивих гасова та вредност између 1000-10000ppm.

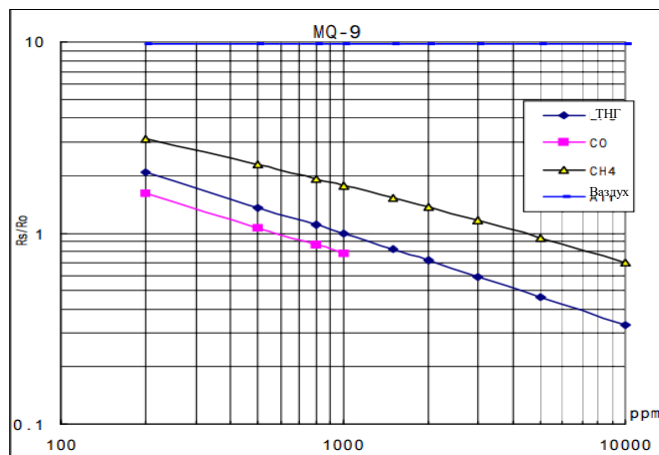
ТАБЕЛА 1. Карактеристике сензора

TABLE 1. The characteristics of the sensor

Карактеристике	Назив појма	Симбол	Вредности
Карактеристике при нормалним условима	Напон кола	V_C	$\leq 10V$ DC
	Напон за загревање	V_H	5.0V $\pm$ 0.2V AC или DC 1.5V $\pm$ 0.1V AC или DC
	Време загревања	T_L	60 $\pm$ 1s (за напон од 5V) 90 $\pm$ 1s (за напон од 1.5V)
	Отпорник оптерећења	R_L	Произвољан
	Отпорник грејача	R_H	31 Ω $\pm$ 3 Ω (На собној температури)
	Потрошња грејача	P_H	$\leq 350mW$
	Отпорник осетљивости	R_S	2k Ω -20k Ω (у простору са 100ppm угљен-моноксида)
	Осетљивост	S	$R_S(y \text{ ваздуху})/R_S(100ppm \text{ CO}) \geq 5$
	Пад	α	$\leq 0.6(R_{300ppm}/R_{100ppm} \text{ CO})$
Карактеристике осетљивости	Температура/Влажност	-	-20°C $\pm$ 2°C/65% $\pm$ 5%RH
	Просто коло	-	V_C : 5.0V $\pm$ 0.1V V_H (за 5V): 5.0V $\pm$ 0.1V V_H (за 1.5V): 1.5V $\pm$ 0.1V
	Време загревања	-	Преко 48 сати
Услови околине за нормалан рад	Температура сензора	T_{ao}	-20°C-50°C
	Температура околине	T_{as}	-20°C-50°C
	Релативна влажност	RH	Мање од 95%
	Концентрација кисеоника	O_2	21% $\pm$ 2% (утиче на осетљивост сензора)

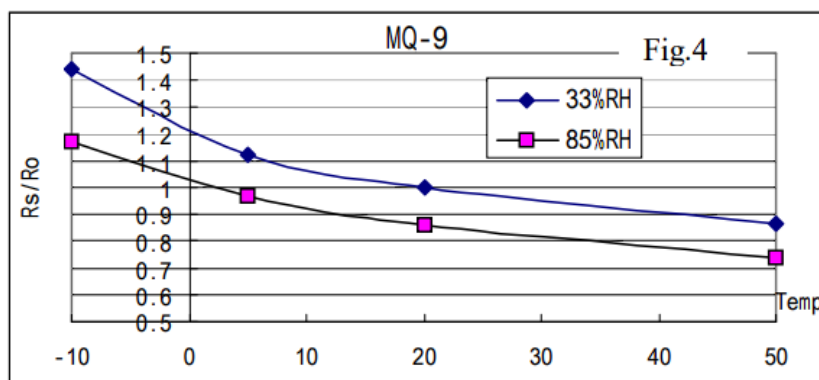
На табели 1, можемо видети карактеристике сензора, препоручени напони за идеалну употребу, услови простора у којем ће се мерити гасови и температуре под којима је могућ рад. Уколико неки од услова бива незадовољен може доћи до пометњи у раду, нетачних резултата мерења или квара сензора.

На сликама 16 и 17, приказани су графици осетљивости при чему су сензори били у оптималном стању (температура: 20°C, влажност 65 %, концентрација кисеоника 21% и отпорник оптерећења 10k Ω).



СЛИКА 16: Осетљивост MQ-9 приказана графиком
FIGURE 16: The sensitivity of the MQ-9 shown in a graph

Слика 16, приказује зависност односа отпорника R_s и R_o , где је R_s отпор сензора при концентрацији разних гасова док је R_o отпор сензора на 1000ppm ТНГ (течни нафтни гас) честица у чистом ваздуху, са честицама по милиону (ppm). Примећујемо да је код чистог ваздуха највећи однос отпорника, други највећи код метана, други најмањи је течни нафтни гас док је онај са најмањим односом угљен-моноксид. Такође примећујемо да код свих честица (осим ваздуха) са порастом честица по милиону опада однос отпорника.



СЛИКА 17: Карактеристике осетљивости MQ-9 приказане графиком
FIGURE 17: The sensitivity characteristics of the MQ-9 shown in a graph

На слици 17 је график на којем је приказан однос температуре и влажности сензора. Дате су две вредности релативне влажности 33%Rh и 85%Rh. Овде су R_s отпор сензора на 1000ppm ТНГ-а у ваздуху на 33%Rh и 20°C, док је R_o отпор сензора на 1000ppm ТНГ-а у ваздуху на различитим влажностима и температурама. Можемо приметити да што је

ваздух сувљи то је однос отпорника R_s/R_o већи. Такође са порастом температуре смањује се однос отпорника.

Како би сензор нормално функционисао следеће ствари су забрањене:

- Изложеност силикону
- Изложеност високо корозивним гасовима
- Изложеност алкалним металима
- Додир са водом
- Замрзавање површине сензора
- Повезивање на напон већег од дозвољеног
- Напон на погрешним пиновима

Уколико се нешто од претходно наведених ствари десе може доћи до смањења осетљивости сензора, уништавање жица или конектора или други кварови. Такође треба избегавати следеће ствари:

- Кондензација
- Коришћење у простору са великом концентрацијом гасова
- Дуго време некоришћења
- Дуго времена проведено у штетном окружењу (попут велике температуре, влажности или загађењу)
- Вибрација
- Јаки ударци

У табели 2, су кодови који прате коришћење сензора.

ТАБЕЛА 2. Карактеристике сензора
TABLE 2. The characteristics of the sensor

код за мерење	код за калибрацију
<pre>const int LED = 2; const int DO = 8; void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(LED, OUTPUT); pinMode(DO, INPUT); } void loop() { int alarm = 0; float sensor_volt; float RS_gas; float ratio; float R0 = 0.91; int sensorValue = analogRead(A0); sensor_volt = ((float)sensorValue / 1024) * 5.0; RS_gas = (5.0 - sensor_volt) / sensor_volt</pre>	<pre>void setup() { Serial.begin(9600); } void loop() { float sensor_volt; float RS_air; // Rs in clean air float R0; // R0 in 1000 ppm LPG float sensorValue=0; //Рачун просечне вредности for(int x = 0 ; x < 100 ; x++) { sensorValue = sensorValue + analogRead(A0); } sensorValue = sensorValue/100.0; sensor_volt = (sensorValue/1024)*5.0; RS_air = (5.0-sensor_volt)/sensor_volt; R0 = RS_air/9.9; //Према MQ-9 "datasheet"-у</pre>

<pre> ratio = RS_gas / R0; // ratio = RS/R0 Serial.print("sensor_volt = "); Serial.println(sensor_volt); Serial.print("RS_ratio = "); Serial.println(RS_gas); Serial.print("Rs/R0 = "); Serial.println(ratio); Serial.print("\n\n"); alarm = digitalRead(D0); if (alarm == 1) digitalWrite(LED, HIGH); else if (alarm == 0) digitalWrite(LED, LOW); delay(1000); } /*У питању је код који врши мерење, тако што рачуна читавања сензора помоћу напона , отпорника сензора у ваздуху са концентрацијом честица које мери сензор (Pc_gas) и референтног отпорника (P0) добејеног у претходном коду ,затим пали лампицу која је повезана на Ардуино тако што чита стање дигиталног излаза из модула сензора*/ </pre>	<pre> Serial.print("sensor_volt = "); Serial.print(sensor_volt); Serial.println("V"); Serial.print("R0 = "); Serial.println(R0); delay(1000); } /*У овом коду се врши калибрација сензора рачунањем референтног отпорника (P0, који се користи у коду за мерење) помоћу отпорника у чистом ваздуху (Pc_аир) и напона на сензору вредности се рачунају 100 пута што побољшава прецизност сензора и рачуна се напон сензора*/ </pre>
---	--

ЗАКЉУЧАК

MQ-9 сензор је изузетно приступачан, има дуг животни век те га чини идеалним одабиром за било ког корисника. Није у могућности да мери све врсте гасова али зато има тачност која је задовољавајућа за апликације којима тачност није на првом месту. Конкретно на учешћу Регионалног центра за таленте „Михајло Пупин“ на такмичењу „СТЕАМ изазов“ користили смо сензор MQ-9 који нам је омогућио решење захтева мерења већег броја параметара ваздуха, пуњење базе података и употребу MQTT Cloud Service-а за слање нотификације грађанима. Изузетно је једноставан за повезивање што је само разлог више за коришћење овог сензора.

РЕФЕРЕНЦЕ

1. Web сајт: *Grad Pančevo* <http://pancevo.kosava.net/#>
2. Web документ: *Hanwei Electronics* www.hwsensor.com
https://raw.githubusercontent.com/SeeedDocument/Grove-Gas_Sensor-MQ9/master/res/MQ-9.pdf
3. Web документ: *Henan Hanwei Electronics Co. Ltd* www.hwsensor.com
<https://www.pololu.com/file/0J314/MQ9.pdf>
4. Web сајт: *Circuits DIY, MQ-9 Carbon Monoxide Coal Liquefied Combustible gas Sensor Module* <https://www.circuits-diy.com/mq9-carbon-monoxide-coal-liquefied-combustible-gas-sensor-module/>
5. Web сајт: *Last Minute Engineers, MQ-2 Gas Sensor* <https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-senser-arduino-tutorial/> (принцип рада MQ-9 и MQ-2 сензора је идентичан)
6. Web документ: *Onsemi*, www.onsemi.com
<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm393-d.pdf>
7. Web сајт: *Balkan Green Energy News* <https://balkangreenenergynews.com/rs/cist-vazduh-za-sve-koji-su-glavni-izvori-zagadenja-vazduha/>