

# UPRAVLJAČKA JEDINICA MOTORA AUTOMOBILA - SPEEDUINO

---

**Jurčević, Adrian**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:921420>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-09**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ADRIAN JURČEVIĆ

**UPRAVLJAČKA JEDINICA MOTORA  
AUTOMOBILA - SPEEDUINO**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2022.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ADRIAN JURČEVIĆ

**UPRAVLJAČKA JEDINICA MOTORA  
AUTOMOBILA - SPEEDUINO**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc. Denis Kotarski

KARLOVAC, 2022.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Ime i prezime	Adrian Jurčević	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta		
JMBAG		
Studij (staviti znak <b>X</b> ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni studij strojarstva	
Godina upisa	2018	
Datum podnošenja molbe		
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

Naslov teme na hrvatskom: Upravljačka jedinica motora automobila - Speeduino	
Naslov teme na engleskom: Car engine control unit - Speeduino	
Opis zadatka: U završnom radu razmatra se projektiranje upravljačke jedinice motora automobila koja se temelji na Speeduino modulu te na primjeni Arduino upravljačke jedinice s pripadnim komponentama. U okviru radu potrebno je: <ul style="list-style-type: none"><li>• opisati princip rada i temeljne komponente motora s unutarnjim izgaranjem,</li><li>• opisati upravljački dio motora automobila,</li><li>• odabrati komponente, projektirati i izraditi upravljačku jedinicu motora temeljenu na Speeduino modulu,</li><li>• testirati rad jedinice, podesiti odabrane parametre i provesti analizu rada upravljačke jedinice.</li></ul>	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno koristeći znanje stečeno tokom školovanja, stručne domaće i strane literature te uz pomoć mentora.

Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na podršci za vrijeme studija. Zahvaljujem se mentoru na odabranoj temi te pomoći prilikom izrade završnog rada.

Adrian Jurčević

Karlovac, \_\_\_\_\_ 2022.

Potpis: \_\_\_\_\_

## SAŽETAK

Cilj završnog rada je unaprijediti automobil starije generacije zamjenom upravljačke jedinice motora. Korištenje i održavanje automobila starije generacije može postati otežano zbog kvarova, gubitaka voznih karakteristika, povećane potrošnje goriva te povećane emisije štetnih ispušnih plinova. Tema završnog rada je projektirati, izraditi, ugraditi i podesiti upravljačku jedinicu motora korištenjem Arduino i Speeduino komponenti. Izrađena upravljačka jedinica motora Speeduino treba zamijeniti postojeću, ukloniti nedostatke te poboljšati rad motora automobila. Kako bi jedinica projektirala i pravilno radila potrebno je znati osnove: principa rada motora s unutarnjim izgaranjem, zadatke upravljačke jedinice motora, upravljanja i regulacije, rada na motornim vozilima.

Ključne riječi: Arduino, Speeduino, MSUI

## **SUMMARY**

Main goal of this undergraduate thesis is to upgrade older generation car by changing its engine control unit. Using and maintaining older generation car can get difficult due to breakdowns, driving characteristic loss, increased fuel consumption and harmful exhaust gas emissions. Topic of this final paper is to plan, produce, install and tune engine control unit using Arduino and Speeduino components. Produced control unit should replace existing unit, eliminate faults and improve cars engines work. Requirements for planning and properly working unit are knowledge of: working principle of internal combustion engine, engine control unit's assignment, control and regulation, working on motor vehicles.

Keywords: Arduino, Speeduino, ICE



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORETSKE OSNOVE .....	2
2.1. Motor s unutarnjim izgaranjem .....	2
2.2. Otto motor.....	4
2.3. Upravljačka jedinica motora .....	7
2.3.1. Ulazi .....	9
2.3.1.1. Senzor brzine vrtnje i položaja motora .....	10
2.3.1.2. Senzori opterećenja motora .....	12
2.3.1.3. Ostali senzori.....	13
2.3.2. Izlazi .....	15
2.3.2.3. Brizgaljke.....	15
2.3.2.4. Indukcijski svitak.....	16
2.3.2.5. Aktuator praznog hoda .....	17
3. TEMELJNE KOMPONENTE SUSTAVA .....	18
3.1. Arduino .....	18
3.1.1. Arduino Mega 2560 .....	18
3.1.1.1. Atmel ATmega 2560 mikrokontroler.....	19
3.2. Speeduino .....	20
3.2.1. Speeduino V0.4 pločica .....	21
3.2.2. Speeduino firmware.....	22
4. RAZRADA ZADATKA .....	23
4.1. Učitavanje firmware-a .....	23
4.2. Izrada upravljačke jedinice motora .....	24
4.2.1. Konstrukcija nosača Speeduino pločice .....	25
4.2.3. Postavljanje kratkospojnika.....	28
4.2.4. Ugradnja u vozilo .....	29
4.3. Podešavanje upravljačke jedinice - TunerStudio.....	30
4.3.1. Izrada projekta .....	31
4.3.2. Postavke.....	31
4.3.3. Kalibracija senzora .....	32
4.3.4. Podešavanje mapa podatka.....	32
5. TESTIRANJE I ANALIZA REZULTATA.....	35
5.1. Potrošnja goriva prije zamjene upravljačke jedinice motora .....	35
5.2. Poboljšanja karakteristika i potrošnja goriva nakon zamjene upravljačke jedinice motora ....	35

6. ZAKLJUČAK.....	36
-------------------	----

## POPIS SLIKA

Slika 1: Konstrukcija motora s unutarnjim izgaranjem [1].....	2
Slika 2: MSUI vozila Honda Civic.....	3
Slika 3: Taktovi Otto motora [1].....	5
Slika 4: Blok shema senzora, upravljačke jedinice i aktuatora [1].....	7
Slika 5: Upravljački lanac [1] .....	8
Slika 6: Regulacijski krug [1] .....	8
Slika 7: Upravljačka jedinica motora vozila Honda Civic.....	9
Slika 8: Zupčanik senzora položaja motora .....	10
Slika 9: Hall efekt senzor položaja motora .....	11
Slika 10: Signal senzora položaja motora .....	11
Slika 11: Senzor pritiska zraka.....	13
Slika 12: Širokopolasna $\lambda$ - sonda.....	14
Slika 13: Konstrukcija brizgaljke [1].....	15
Slika 14: Konstrukcija indukcijskog svitka [1] .....	16
Slika 15: Tranzistorski sklop .....	17
Slika 16: Arduino Mega 2560 .....	19
Slika 17: Speeduino pločica.....	21
Slika 18: Učitavanje firmware-a na Arduino pločicu .....	23
Slika 19: Upravljačka jedinica motora bez poklopca .....	24
Slika 20: Nosač Speeduino pločice u kućištu upravljačke jedinice motora .....	25
Slika 21: Prototip (lijevo) i završni proizvod (desno).....	26
Slika 22: Upravljačke jedinica motora – Speeduino .....	28
Slika 23: Upravljačka jedinica ugrađena u vozilo .....	29
Slika 24: Sučelje programa TunerStudio.....	30
Slika 25: Automobil na ispitnim valjcima .....	32
Slika 26: Tablica željenog omjera zraka i goriva .....	33
Slika 27: Tablica goriva.....	33
Slika 28: Tablica točke paljenja.....	34
Slika 29: Snimljene vrijednosti u radu motora .....	34

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Značajke Arduino Mega 2560 [2].....	18
Tablica 2: Spajanje Speeduino pločice s vozilom: .....	27
Tablica 3: Postavke kratkospojnika.....	29
Tablica 4: Vrijednosti senzora temperature.....	32

## POPIS OZNAKA

Oznaka fizikalne veličine	Naziv	Veličina
°	stupanj	
°C	Celzijev stupanj	Temperatura
bar	bar	Tlak
V	volt	Električni napon
Hz	herc	Frekvencija
m	metar	Duljina
$\Omega$	ohm	Električni otpor
l, L	litra	Obujam
$\lambda$	lambda	Faktor zraka (stvarno/stehiometrijsko)

## 1. UVOD

Automobilska industrija uvijek je pratila razvoj tehnologija i tražila njihovu primjenu. Razvojem tehnologije i industrije automobili su postajali jeftiniji i dostupniji. Povećanjem broja vozila počeli su se razvijati i različiti sigurnosni i ekološki standardi. Nove tehnologije učinile su automobile snažnijima, ekonomičnijima, sigurnijima, ali i složenijima. Tijekom 1980-ih godina u automobile se počinju ugrađivati elektronički sustavi upravljanja radom motora koji istiskuju mehaničke. Takvi rani sustavi nisu prilagodljivi kao moderniji, mogućnosti dijagnosticiranja kvarova su im ograničene ili ih ni nemaju, a u slučaju kvarova dijelovi se teško pronalaze. Problemi ovise o samom sustavu te načinima na koje se može prilagođavati. Većinom su mehaničke prilagodbe, kao podešavanje položaja senzora čime se utječe na kvalitetu smjese ili trenutak paljenja smjese, potencijometri za podešavanje kvalitete smjese praznog hoda i slično. Posljedice takvih nedostataka mogu biti pad snage motora, povećana potrošnja goriva, štetni produkti izgaranja, tromost prilikom ubrzavanja. Nedostaci otežavaju korištenje vozila koja gube svoje karakteristike te vozila ne mogu proći obavezni tehnički pregled.

Ugradnja Speeduino upravljačke jedinice motora proširuje mogućnosti upravljanja radom motora. Olakšava pronalaženje kvarova i problema očitavanjem podataka s upravljačke jedinice, omogućava postizanje boljih karakteristika motora i smanjenje potrošnje goriva optimiranjem ubrizgavanja goriva i trenutka paljenja smjese te poboljšava vozne karakteristike automobila. Uz odgovarajuće znanje na svaki motor može se ugraditi ovakva upravljačka jedinica. Speeduino koristi Arduino pločicu, programski jezik i sučelje čije poznavanje omogućuje razumijevanje rada ovakve upravljačke jedinice motora.

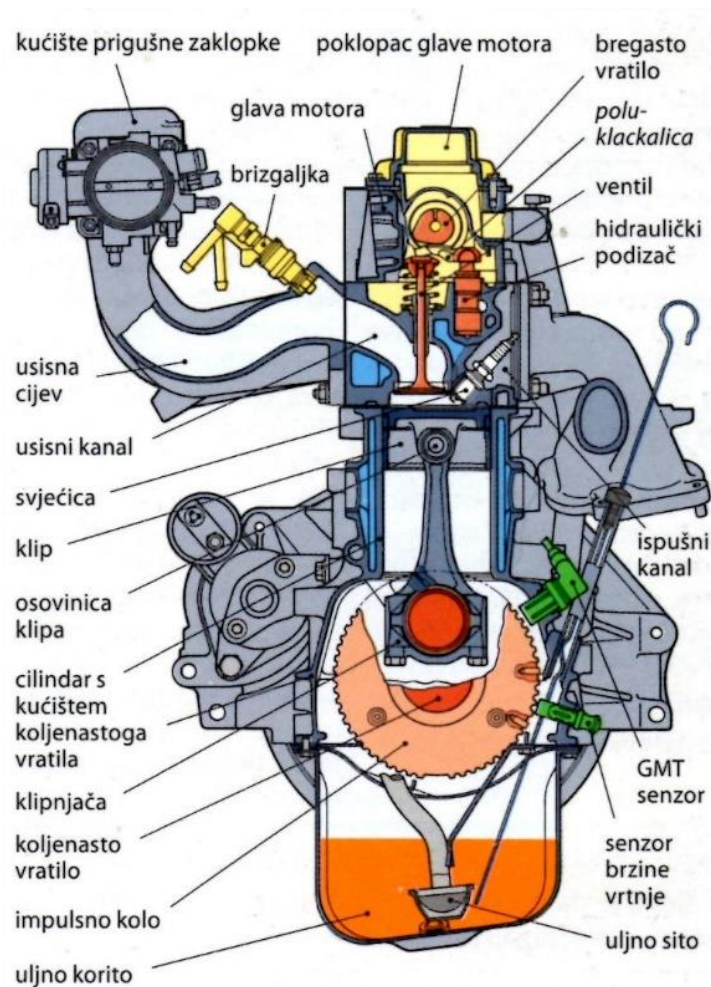
Cilj eksperimenta biti će utvrditi mogu li se zamjenom upravljačke jedinice motora automobila starije generacije i dodatnim mogućnostima poboljšati rad, karakteristike i ekonomičnost motora s unutarnjim izgaranjem kod automobila te otkloniti poteškoće.

## 2. TEORETSKE OSNOVE

### 2.1. Motor s unutarnjim izgaranjem

Motor je stroj koji neki oblik energije pretvara u mehanički rad. Motor s unutarnjih izgaranjem (MSUI) je toplinski motor. Toplinski motor je stroj koji toplinsku energiju pretvara u mehanički rad. Uz MSUI postoje i motori s vanjskim izgaranjem. MSUI se sastoje od kućišta motora, klipnog mehanizma, razvodnog mehanizma, sustava za pripremu i paljenje smjese, sustava za hlađenje, podmazivanje i ispušnog sustava. [1]

Osnovni dijelovi Otto četverotaktnog motora prikazani su na slici, a princip rada opisan je u slijedećem poglavlju.



Slika 1: Konstrukcija motora s unutarnjim izgaranjem [1]

MSUI je u principu klipni stroj kojemu se u cilindar dovodi gorivo i zrak čijim izgaranjem nastaje toplina i tlak koji djelujući na klip obavljaju mehanički rad. Toplinska energija se dobiva iz kemijske, izgaranjem smjese zraka i goriva. Izgaranje je proces oksidacije goriva čime se proizvodi toplina. Goriva su smjesa spojeva ugljikovodika ,a mogu biti plinovita ili kapljevita. Motori automobila od plinovitih goriva najčešće koriste LPG, ukapljeni naftni plin. Ukapljeni plin je smjesa butana i propana. Kapljevita goriva su smjese pentana, heksana, heptana, oktana i cetana. Kod automobila se koriste benzin i diesel. Prema gorivu koje koriste, načinu pripreme i paljenja smjesa razlikuju se Otto i Diesel motori. Otto motori mogu imati vanjsku ili unutarnju pripremu smjese, a paljenje je izvedeno dovođenjem energije iskrom. Diesel motori imaju isključivo unutarnju pripremu smjese, a karakteristično je samozapaljenje smjese nakon ubrizgavanja goriva u prostor izgaranja. MSUI se mogu podijeliti i po broju taktova i vremenu potrebnom za odvijanje ciklusa na četverotaktne i dvotaktne. Četverotaktni motori imaju barem 2 ventila po cilindru pomoću kojih se vrši izmjena plinova dok dvotaktni koriste klip i kanale u cilindru. MSUI je moguće podijeliti po rasporedu cilindara na redne, V, VR i bokser te prema načinu hlađenja na zrakom ili tekućinom hlađene motore. [1]



*Slika 2: MSUI vozila Honda Civic*



## 2.2. Otto motor

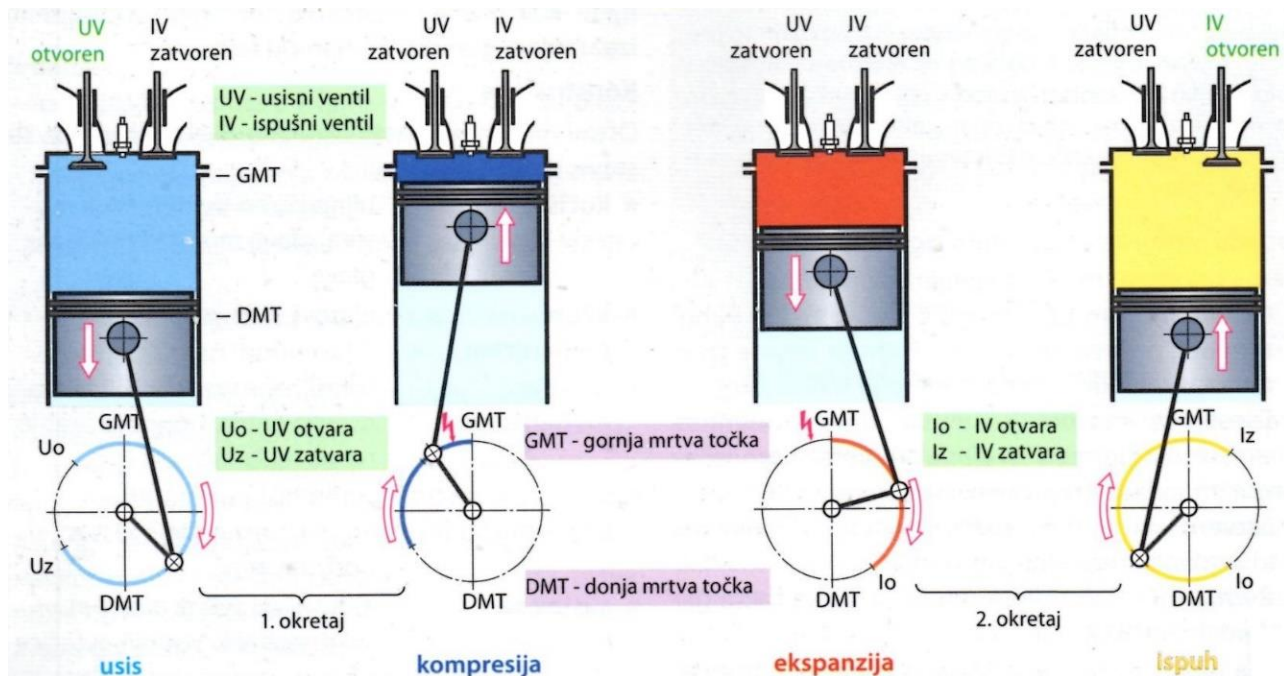
Značajke Otto motora su:

- pogon lakohlapljivim gorivom (benzin, LPG),
- vanjska ili unutarnja pripreme smjese,
- paljenje smjese iskrom,
- izgaranje pri konstantnom volumenu,
- kvantitativna regulacija smjese.

Kvantitativna regulacija smjese je način regulacije snage motora određivanjem stupnja punjenja cilindra smjesom zraka i goriva. Stupanj punjenja određuje položaj prigušne zaklopke usisa motora. Zrak koji ulazi u motor prolazi kroz filter, pored prigušne zaklopke te otvaranjem usisnih ventila ulazi u motor. Ubrizgavanjem goriva u zrak neposredno prije usisnih ventila dolazi do vanjske pripreme smjese, a moguće je i ubrizgavanje goriva u prostor izgaranja kod sustava s unutarnjom pripremom smjese. Smjesa zraka i goriva mora biti homogena i većinom stehiometrijskog sastava kako bi se ostvarilo potpuno izgaranje.

Radni ciklus Otto motora odvija se u četiri takta: usis, kompresija, ekspanzija i ispuh pri čemu se koljenasto vratilo okrene dva puta, a bregasto jednom. Prilikom jednog okretaja koljenastog vratila klip napravi put od jedne do druge mrtve točke. Potrebno je razlikovati takt od procesa. Takt je hod klipa od jedne do druge krajnje točke, koje se nazivaju gornja mrtva točka (GMT) i donja mrtva točka (DMT).

Slika 3 prikazuje četiri takta radnog ciklusa koji su opisani u narednom odlomku.



Slika 3: Taktovi Otto motora [1]

Prvi takt je usis. Klip se giba od GMT do DMT, volumen se povećava, usisni ventil je otvoren te smjesa zraka i goriva pripremljena u usisnoj grani ulazi u cilindar. Kako bi se poboljšalo punjenje cilindra i postigla veća snaga motora, usisni ventil otvara se do  $45^\circ$  prije GMT i zatvara do  $90^\circ$  nakon DMT. Proces usisa traje duže od samog takta usisa.

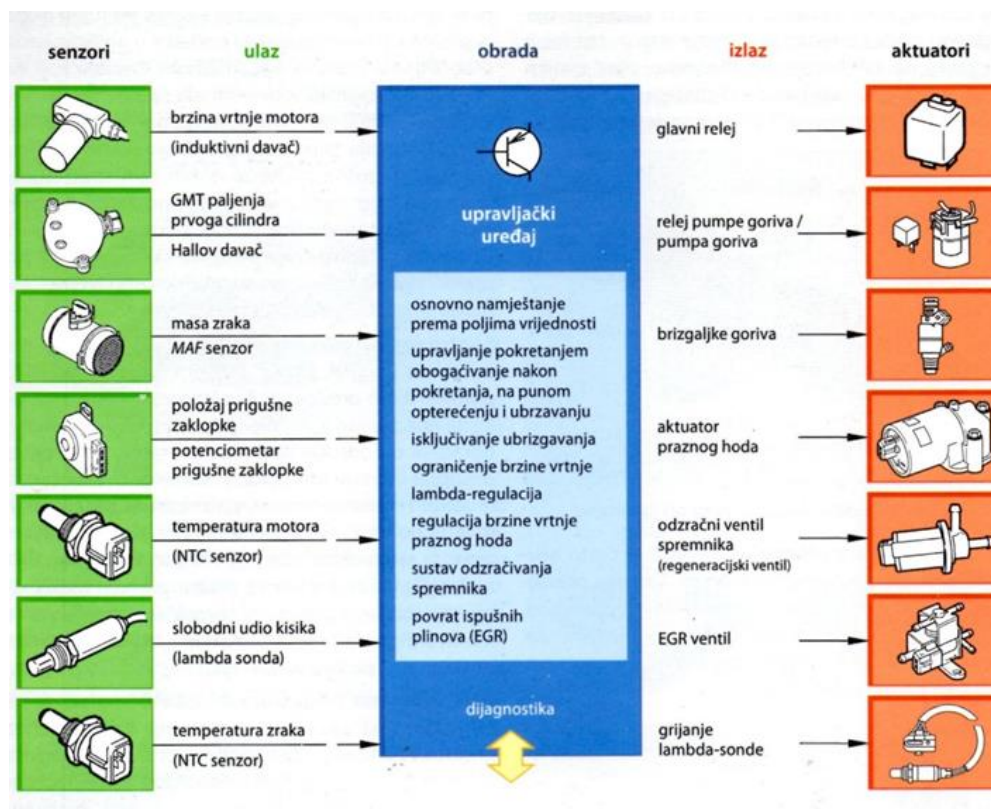
Takt kompresije počinje gibanjem klipa od DMT do GMT, pri tome dolazi do smanjenja volumena i porasta tlaka i temperature. Komprimirana smjesa se zagrije do  $500^\circ\text{C}$ , a tlak se može povisiti do 18 bara. Tokom procesa kompresije gorivo u potpunosti isparava te se miješa sa zrakom. Proces kompresije traje od zatvaranja usisnog ventila do zapaljenja smjese. Paljenje smjese vrši se dovođenjem energije iskrom koja preskače između elektroda svjeće. Od preskakanja iskre do potpunog zapaljenja smjese potrebno je vrijeme od otprilike 1 ms. Iskra preskače nekoliko desetaka stupnjeva prije GMT kako bi najviši tlak izgaranja bio neposredno nakon GMT.

Gibanjem klipa od GMT počinje takt ekspanzije. Najviši tlakovi i temperature izgaranja moraju se stvoriti 5 do  $10^\circ$  nakon GMT, a mogu iznositi do 60 bara i  $2500^\circ\text{C}$ . Tokom ekspanzije tlak i temperatura izgaranja pretvaraju se u mehanički rad, ovo je jedini radni takt.

Tokom takta ispuha klip istiskuje ispušne plinove. Ispušni plinovi su pod tlakom oko 4 bara i temperaturi do 900°C. Proces ispuha počinje otvaranjem ispušnog ventila 45-90° prije DMT u taktu ekspanzije. Ispušni plinovi koji velikom brzinom struje u ispuh omogućuju pojavu podtlaka krajem procesa ispuha što omogućava ranije otvaranje usisnog ventila i povisuje stupanj punjenja cilindra. Vrlo kratko su i usisni i ispušni ventili otvoreni, a to se naziva prekrivanje ventila. [1]

### 2.3. Upravljačka jedinica motora

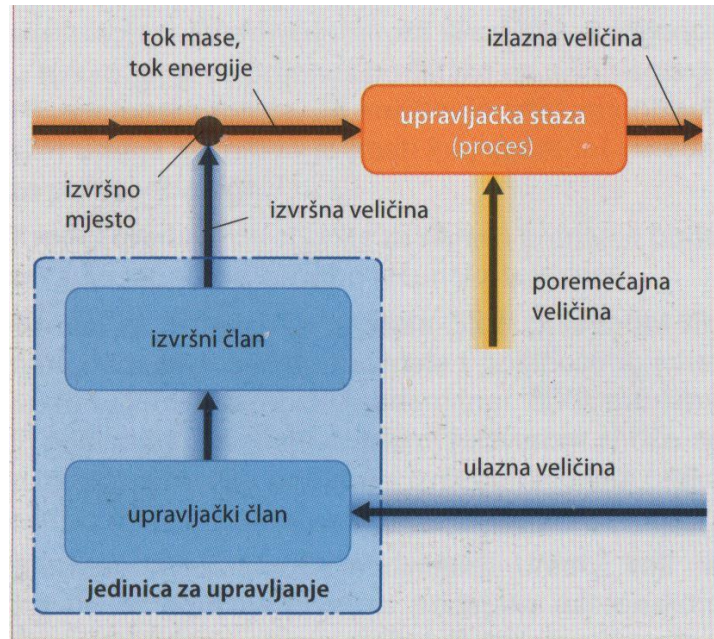
Upravljanje i regulaciju rada motora vrši upravljačka jedinica principom Ulaz-Obrada-Izlaz. Ulaz se sastoji od senzora koji pretvaraju fizikalne veličine u mjerni signal. Sensori prikupljaju informacije i šalju ih u upravljačku jedinicu. Obrada se vrši u upravljačkoj jedinici koja uspoređuje stvarne vrijednosti s referentnima te izračunava upravljanje izlazima. Izlazi su aktuatori u sustavima pripreme i paljenja smjese. Slika 4 prikazuje primjer principa Ulaz-Obrada-Izlaz upravljačkog uređaja sustava ubrizgavanja goriva kod Otto motora.



Slika 4: Blok shema senzora, upravljačke jedinice i aktuatora [1]

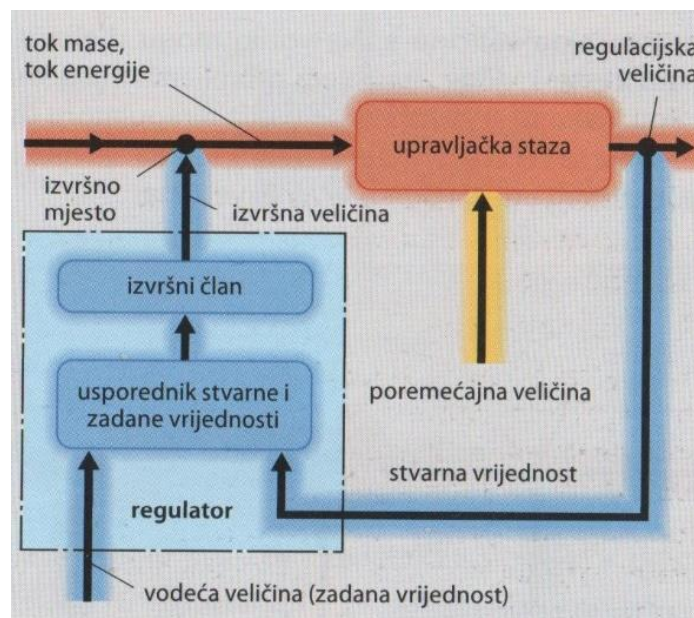
Upravljačke jedinice motora često su izvedene kao Motronic sustavi, što znači da jedna jedinica upravlja sustavom ubrizgavanja i sustavom paljenja.

Upravljanje je proces pri kojem ulazne veličine utječu na izlazne veličine sustava pri čemu se ne provjerava odgovaraju li stvarne izlazne veličine željenima. Značajka upravljanja je otvoreni tok odvijanja procesa sustava. Takav sustav naziva se upravljački lanac.



Slika 5: Upravljački lanac [1]

Regulacija je proces pri kojemu se stvarna izlazna veličina mjeri i uspoređuje sa željenom veličinom, a odstupanje se otklanja djelovanjem na ulaz. Značajka regulacije je povratna veza. Ovakav sustav naziva se regulacijski krug ili zatvoreni krug upravljačkog djelovanja.



Slika 6: Regulacijski krug [1]

Referentne vrijednosti pohranjene su memoriji upravljačke jedinice u obliku karakterističnih polja vrijednosti, 2D i 3D poljima podataka. Osim rada motora u različitim uvjetima upravljačka jedinica mora omogućiti pokretanje hladnog i zagrijanog motora, zagrijavanje i ubrzavanje motora, obogaćivanje smjese pri punom opterećenju, prekid ubrizgavanja prilikom kočenja motorom, lambda regulaciju, regulaciju praznog hoda, ograničavanje brzine vrtnje, uključivanje pumpe goriva, sigurnosni režim rada i samodijagnostiku. [1]



*Slika 7: Upravljačka jedinica motora vozila Honda Civic*

### 2.3.1. Ulazi

Senzori prikupljaju informacije koje se mogu podijeliti na osnovne i korekcijske upravljačke veličine. Zadatak im je pratiti pogonska stanja i neelektrične veličine pretvoriti u električne signale. Osnovne veličine su brzina vrtnje motora i opterećenje motora. Pomoću osnovnih veličina upravljačka jedinica određuje potrebno vrijeme ubrizgavanja goriva i trenutak paljenja smjese. Ovisno o uvjetima rada potrebno je vršiti prilagodbe pri čemu se koriste korekcijske veličine. Temperatura motora, temperatura usisanog zraka te udio kisika u ispušnim plinovima su primjeri korekcijskih veličina. [1]

### 2.3.1.1. Senzor brzine vrtnje i položaja motora

Brzina vrtnje motora mjeri se induktivnim ili Hall senzorima na koljenastom ili bregastom vratilu. Induktivni senzor sastoji se od trajnog magneta i namotaja bakrene žice s jezgrom od mekog željeza te feromagnetnog zupčanika davača. Zupčanik davača najčešće je postavljen na koljenastom vratilu.



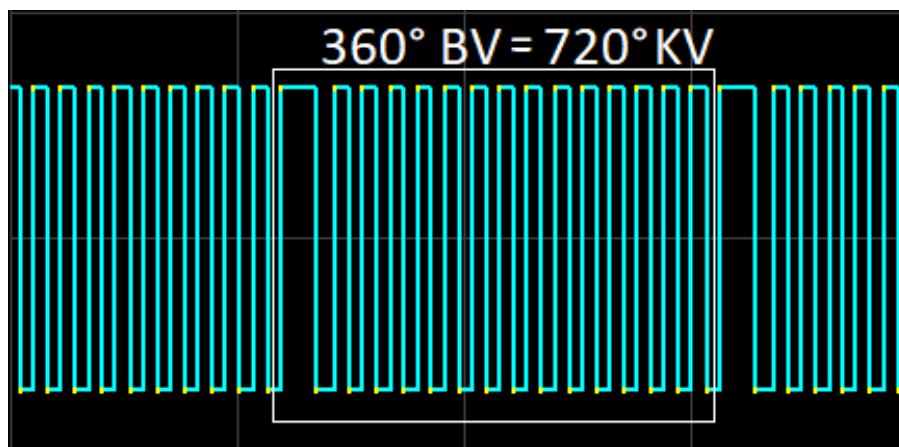
Slika 8: Zupčanik senzora položaja motora

Prolaskom zubi davača kroz magnetsko polje senzora dolazi do promjene magnetskog toka te se u namotaju inducira napon. Pomoću frekvencije induciranog napona upravljačka jedinica određuje brzinu vrtnje motora. Položaj motora se može odrediti uklanjanjem jednog ili više zuba na zupčaniku davaču. Time dolazi do veće promjene magnetskog polja pri čemu se inducira veći napon. Signal induktivnog senzora je sinusnog oblika. Induktivni senzori su pasivni, što znači da nisu spojeni na izvor napajanja za razliku od Hall efekt senzora koji su aktivni i trebaju napajanje kako bi radili. Hall efekt senzori sastoje se od Hallovog elementa, trajnog magneta i integriranog spoja. Kroz poluvodički sloj Hallovog elementa protječe struja napajanja. Djelovanjem magnetskog polja, elektroni u poluvodičku usmjeravaju se na jednu stranu te nastaje Hallov napon. Kao i kod induktivnih senzora, do promjene magnetskog polja dolazi prolaskom zuba zupčanika ili zastora rotora kroz magnetsko polje. Unutar senzora nalazi se elektronički sklop koji Hallov napon pojačava i pretvara u napon senzora. Napon senzora ili signal je 5 ili 12 V, pravokutnog oblika. [1]



Slika 9: Hall efekt senzor položaja motora

Signal senzora položaja motora korišten u ovome radu prikazan je na slici 10. Prethodne slike 8 i 9 prikazuju zupčanik i senzor koji su korišteni. Zupčanik davača pokretan je bregastim vratilom, ima 16 pravilno raspoređenih zubi, od kojih jedan nedostaje. Zub koji nedostaje prepoznaje se izostanku impulsa, a time se određuje položaj motora. Speeduino upravljačka jedinica prepoznaje izostali zub ako je vremenski razmak između impulsa 1,5 puta veći od vremenske razlike prethodna dva zuba. Bijeli pravokutnikom je označeno područje jednog ciklusa, jednog okretaja bregastog vratila, odnosno dva koljenastog vratila.



Slika 10: Signal senzora položaja motora

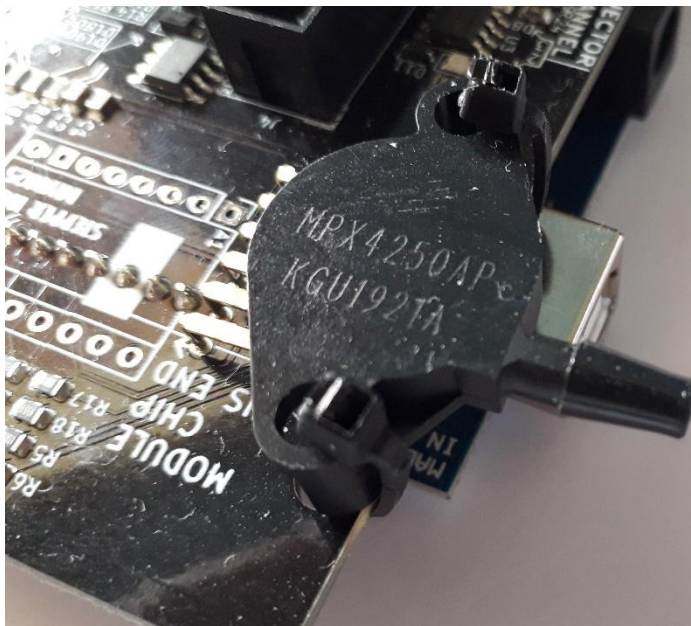


### 2.3.1.2. *Senzori opterećenja motora*

Opterećenje motora može se odrediti protokom zraka kroz motor, tlakom zraka u usisnoj grani te položajem prigušne zaklopke. Protok zraka kod motora mjeri se senzorom volumnog protoka ili senzorom masenog protoka zraka. Senzor volumnog protoka zraka sastoji se od mjerne zaklopke i kompenzacijske zaklopke, spiralne opruge i potenciometra. Protok zraka zakreće mjernu zaklopku pri čemu upravljačka jedinica motora očitava signal sa potenciometra i temelju pohranjenih vrijednosti računa količinu zraka usisanu u motor. Ovakve senzore koristili su rani sustavi elektroničkog ubrizgavanja te su ih istisnuli senzori masenog protoka zraka. Senzor masenog protoka zraka može imati vruću žicu ili vrući film. Protok usisanog zraka hladi grijani element te upravljačka jedinica računa protok zraka pomoću struje potrebne da grijani element održi istu temperaturu. U sensorima protoka često se nalaze senzori temperature usisanog zraka. Senzori volumnog protoka zraka pružaju otpor protoka zraka te se kod motora visokih snaga ne koriste.

Senzor tlaka može biti postavljen direktno na usisnu cijev ili na upravljačku jedinicu spojen pneumatskom vezom sa usisnom cijevi. Senzor tlaka se sastoji od elektroničkog sklopa za obradu i tlačne komore sa senzorskim elementom. Senzorski element je membrana koja zatvara komoru s referentnim tlakom. Promjenom tlaka usisne cijevi dolazi do deformacije membrane. Na membrani se nalaze piezoelektrični otpornici koji mijenjaju otpor ovisno o deformaciji membrane. Elektronički sklop prati promjenu otpora, pojačava signal sa otpornika te kompenzira temperaturne promjene. Senzori tlaka imaju linearnu karakteristiku. Prema naponu sa senzora upravljačka jedinica izračunava usisanu količinu zraka. [1]

Slika 11 prikazuje senzor pritiska zraka postavljen na Speeduino pločicu.



Slika 11: Senzor pritiska zraka

Potenciometar prigušne zaklopke prati položaj prigušne zaklopke Otto motora. Sastoji se od dvije otporničke staze i klizača spojenog s osovinom prigušne zaklopke. Zakretanjem zaklopke mijenja se otpor potenciometra i signal prema upravljačkoj jedinici motora, s time da napon jednog potenciometra raste, a drugog pada linearno s povećanje zakreta prigušne zaklopke. Pomoću signala senzora brzine vrtnje i potenciometra prigušne zaklopke upravljački uređaj može izračunati usisanu količinu zraka. Ovaj senzor služi kao senzor dinamike zakreta, odnosno brzine promjene kuta prigušne zaklopke. [1]

### 2.3.1.3. Ostali senzori

Senzori koji prate korekcije veličine su senzori temperature motora i rashladnog sredstva, temperature usisnog zraka, senzor okolišnog tlaka, lambda sonda. Senzor temperature motora nalazi se u bloku ili glavi motora. Zadatak im je elektroničko mjerenje temperature. Glavna komponenta im je poluvodički NTC mjerni otpornik kojem se s povišenjem temperature smanjuje otpor. Upravljačka jedinica koristi signal sa senzora temperature motora za obogaćivanje smjese prilikom hladnog pokretanja. Senzor temperature usisanog zraka omogućuje upravljačkoj jedinici točnije izračunavanje usisane količine zraka.

Lambda sonda je jedan od rijetkih senzora koji se ugrađuje u ispušni sustav motora. Ovisno o udjelu kisika u ispušnim plinovima daje određeni naponski signal. Niski udio kisika u ispušnim plinovima pokazatelj je bogate smjese, viška goriva naspram stehiometrijskog omjera dok je visoki udio kisika pokazatelj siromašne smjese. To je jedini senzor koji upravljačkoj jedinici pruža povratnu vezu. Postoji više vrsti lambda sonde: s naponskim skokom, s otporničkim skokom te širokopoljasne. Sonde s naponskim i otporničkim skokom rade u vrlo uskom području kada je  $\lambda = 1$ , dok širokopoljasne obuhvaćaju vrijednosti veće od 0.7. Pomoću sonde s naponskim ili otporničkim skokom upravljačka jedinica može znati da li je smjesa bogata ili siromašna, ali ne koliko odstupa od stehiometrijske, što je moguće upotrebom širokopoljasne sonde. Širokopoljasne sonde moraju imati odgovarajuću regulacijsku elektroniku. Pomoću signala širokopoljasne sonde upravljačka jedinica može stvoriti svaku zahtijevanu vrstu smjese. [1]

Slika 12 prikazuje širokopoljasnu  $\lambda$  – sondu Bosch LSU 4.9 sa priključkom.



Slika 12: Širokopoljasna  $\lambda$ -sonda

### 2.3.2. Izlazi

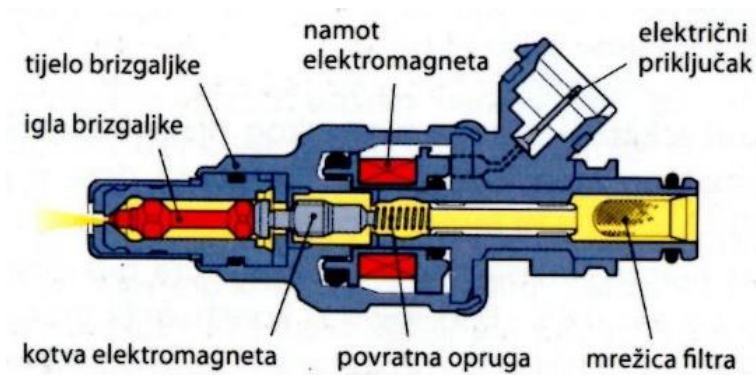
Upravljačka jedinica upravlja radom motora preko izvršnih članova. Kod Otto motora su to brizgaljke, indukcijski svitci i aktuator praznog hoda. Upravljačka jedinica motora većinu izlaza aktivira spajanjem na minus pol (masu) kako bi se izbjeglo uništavanje jedinice u slučaju kratkog spoja jer nema struje kratkog spoja. Napajanje aktuatora je izvedeno preko releja. [1]

#### 2.3.2.3. Brizgaljke

Većina sustava ubrizgavanja kod Otto motora koristi po jednu električno upravljaju brizgaljku po cilindru koja ubrizgava gorivo u usisnu cijev neposredno ispred usisnog ventila. Upravljačka jedinica motora aktivira elektromagnet zatvaranjem strujnog kruga na masu. Protjecanjem struje kroz namot elektromagneta nastaje magnetsko polje koje privlači kotvu, podiže iglu te gorivo pod tlakom izlazi kroz otvor. Prestankom djelovanja magnetskog polja opruga vraća kotvu te igla zatvara otvor. [1]

Količina ubrizganog goriva ovisi o:

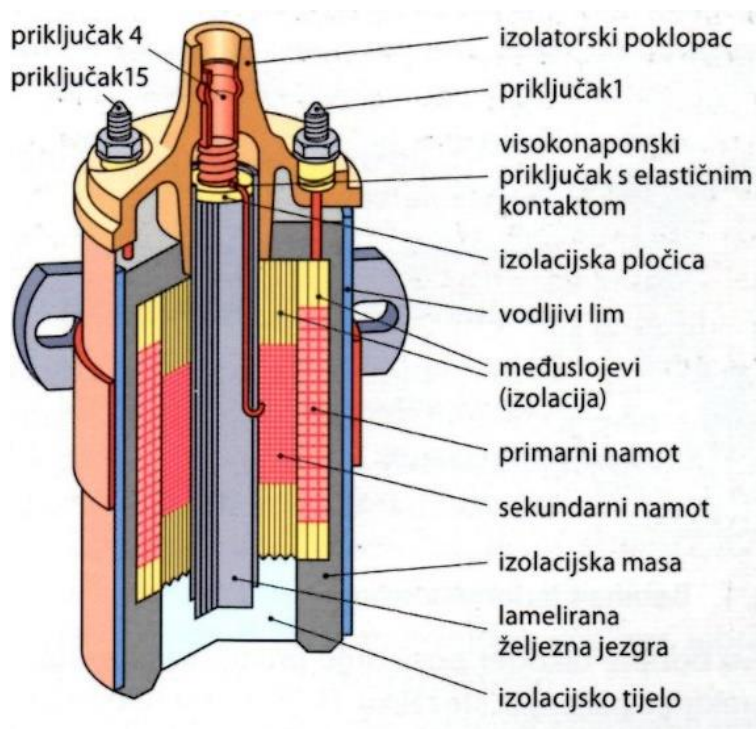
- trajanju otvorenosti brizgaljke,
- količini ubrizgavanja u jedinici vremena (svojstvo brizgaljke),
- tlaku,
- vrsti goriva.



Slika 13: Konstrukcija brizgaljke [1]

#### 2.3.2.4. Indukcijski svitak

Indukcijski svitak je transformator čiji je zadatak inducirati visoki napon potreban za nastanak iskre na elektrodama svjeće. Osnovni dijelovi su primarni i sekundarni namot, priključci i željezna jezgra. Primarni namot se sastoji od nekoliko stotina namotaja debele bakrene lakom izolirane žice, dok se sekundarni sastoji od vrlo tanke izolirane bakrene žice s nekoliko desetaka tisuća namotaja. Protjecanjem struje kroz primarni namot energija se pohranjuje u obliku magnetskog polja. Prekidanjem toka struje kroz primarni namot dovodi do indukcije visokog napona u sekundarnom namotu. Taj visoki napon izaziva preskakanje iskre na svjećici i paljenje smjese zraka i goriva.



Slika 14: Konstrukcija indukcijskog svitka [1]

Upravljačka jedinica motora prekida tok struje kroz primarni namot pomoću tranzistorskih prekidačkih sklopova. Tranzistorski sklopovi mogu biti ugrađeni na upravljačku jedinicu, ili na indukcijskom svitku, zbog velikog zagrijavanja. [1]

Slika 14 prikazuje konstrukciju indukcijskog svitka, a na slici 15 prikazan je tranzistorski sklop korišten u radu. Ovaj sklop ugrađen je u razvodnik paljenja automobila.



Slika 15: Tranzistorski sklop

#### 2.3.2.5. Aktuator praznog hoda

Regulacija brzine vrtnje praznog hoda ima zadatak održati brzinu vrtnje pri zatvorenoj prigušnoj zaklopki na zadanoj vrijednosti ovisno o temperaturi motora. Hladan motor ima veće otpore te je potreban veći broj okretaja praznog hoda. Brzinu vrtnje praznog hoda regulira aktuator praznog hoda ili aktuator prigušne zaklopke. Upravljačka jedinica motora upravlja aktuatorom PWM signalima, pri čemu oni propuštaju zrak u motor pored prigušne zaklopke. Aktuator praznog hoda može biti izveden s elektromagnetskim ventilom ili koračnim motorom. Umjesto aktuatora praznog hoda može se koristiti aktuator prigušne zaklopke. Aktuator prigušne zaklopke sastoji se od koračnog elektromotora te prijenosnog mehanizma spojenog na prigušnu zaklopku motora. Brzinom vrtnje praznog hoda upravlja se zakretom prigušne zaklopke.

### 3. TEMELJNE KOMPONENTE SUSTAVA

#### 3.1. Arduino

Arduino je elektronička platforma otvorenog koda koja se jednostavno koristi te je namijenjena za učenje programiranja i korištenja mikrokontrolera. Arduino pločice mogu očitavati ulaze i pretvarati ih u izlaze, pomoću programa. Koristi se Arduino programski jezik i software. Prvobitno je Arduino bio namijenjen studentima kao alat za učenje i izradu prototipova. Ubrzo su pločice prilagođene za različite primjene, od jednostavnih edukacijskih do složenih i snažnih pločica za industrijsku primjenu. Arduino je kroz godine izdao više od 100 različitih pločica i opreme. Niska cijena, mogućnost korištenja Arduino IDE-a na više platformi, jednostavno programiranje i otvoreni kod čine Arduino prikladnim za izradu upravljačke jedinice motora. [2]

##### 3.1.1. Arduino Mega 2560

Speeduino pločica je mišić upravljačke jedinice, sadrži drivere, ulaze i izlaze dok je Arduino Mega 2560 (slika 16) mozak koji sadrži procesor, memoriju i pohranu te se spaja sa Speeduino pločicom kako bi komunicirao s motorom vozila putem električne instalacije. Arduino Mega 2560 je 8 bitna pločica s 54 digitalna ulaza/izlaza, 16 analognih ulaza i 15 PWM izlaza. Radi na frekvenciji od 16MHz. Pločica se može napajati preko USB priključka ili vanjskog izvora. [4]

Tablica 1: Značajke Arduino Mega 2560 [2]

Mikrokontroler	ATmega2560
Radni takt	16 MHz
Memorija	256 KB
Radni napon	5 V
Napon napajanja	6 – 20 V, preporučeno: 7 – 12 V
Broj ulaza/izlaza	54
Broj PWM izlaza	15
Broj analognih ulaza	16
Dimenzije pločice	101.52 mm x 53.3 mm



Slika 16: Arduino Mega 2560

#### 3.1.1.1. *Atmel ATmega 2560 mikrokontroler*

Speeduino koji je korišten u radu koristi Arduino Mega 2560 pločicu čija je osnova Atmel ATmega 2560 mikrokontroler. Mikrokontroler je računalo smješteno na jedan integralni sklop. Vođeno programskim naredbama obrađuje podatke. Sastoji se od procesora, radne i programske memorije, ulazne i izlazne jedinice. ATmega 2560 je 8 bitni mikrokontroler visokih performansi i male potrošnje energije. Radi na frekvencijama do 16MHz.



### 3.2. Speeduino

Speeduino je nastao iz želje za jednostavnim, jeftinim i potpuno podesivim sustavom upravljanja motora automobila. Glavna prednost Speeduino-a je niska cijena i korištenje Arduino platforme otvorenog koda. Pruža sav potreban hardware, firmware i software otvorenog koda za izradu prilagodljive upravljačke jedinice motora. Speeduino dostiže očekivanja entuzijasta bez velikih ulaganja potrebnih kod korištenja ostalih upravljačkih jedinica motora. [3]

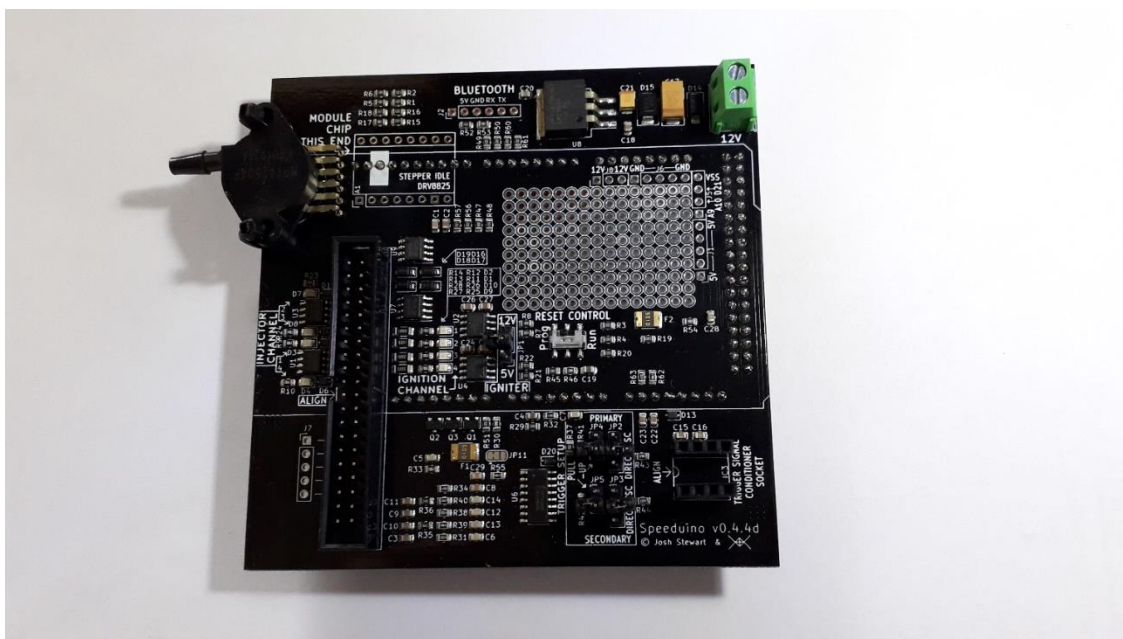
Osnovna svojstva Speeduino upravljačkih jedinica [3]:

- Podrška za motore sa 1 – 8 cilindara
- Interpolacijska polja podataka 16x16
- Popis podržanih vrsta senzora položaja motora
- Upravljanje tlakom nabijanja motora
- Detaljno i brzo praćenje rada motora
- Mogućnost automatskog podešavanja smjese
- Korištenje različitih goriva
- Kalibracija senzora
- Mogućnost izmjene između dvije mape podataka

### 3.2.1. Speeduino V0.4 pločica

Speeduino V0.4 je ispitna pločica razvijena s ciljem izrade postojeće pločice i njezinih sposobnosti uz nižu cijenu, jedan priključak za komunikaciju s vozilom te lakšu ugradnju u vozilo. [4]

Prilikom eksperimenta korištena je Speeduino 0.4.4 pločica prikazana na slici 17.



Slika 17: Speeduino pločica

Svojstva Speeduino 0.4.4.d pločice [4]:

- 4 kanala za brizgaljke,
- 4 izlaza za sustav paljenja,
- Potpuno zaštićeni ulazni za senzore: temperature vode i zraka, položaja prigušne zaklopke te kisika u ispušnim plinovima,
- Mogućnost ugradnje sklopova za dodatnu obradu signala senzora položaja motora,
- Mogućnost ugradnje senzora pritiska zraka usisne grane na pločicu,
- Mogućnost upravljanja releja pumpe goriva, ventilatora hladnjaka vode i slično,

- Izlaz za pokazivač broja okretaja,
- Dvopolni priključak za napajanje,
- 40-pinski IDC priključak za spajanje s vozilom.

### 3.2.2. Speeduino firmware

Speeduino firmware je kod koji pokreće hardware te se učitava na Arduino pločicu. [4]

Petlja u kodu ima dvije zadaće, odrediti potrebe MSUI te sukladno njima upravljati ubrizgavanjem goriva te zapaljenjem smjese.

Princip rada petlje nakon pokretanja MSUI elektropokretačem:

- Očitati vrijednosti svih senzora,
- Odrediti broj okretaja motora,
- Odrediti korekcije trajanja aktiviranja brizgaljke,
- Potražiti vrijednost u polju vrijednosti,
- Preračunati vrijednost u dužinu trajanja aktiviranja brizgaljke,
- Potražiti vrijednost točke paljena u polju vrijednosti,
- Odrediti položaj motora, kut zakreta koljenastog vratila,
- Odrediti kut zakreta KV za aktiviranje svake brizgaljke,
- Odrediti kut zakreta KV za početak paljenja smjese,
- Odrediti raspored za aktiviranje brizgaljke i početak paljenja smjese. [5]

## 4. RAZRADA ZADATKA

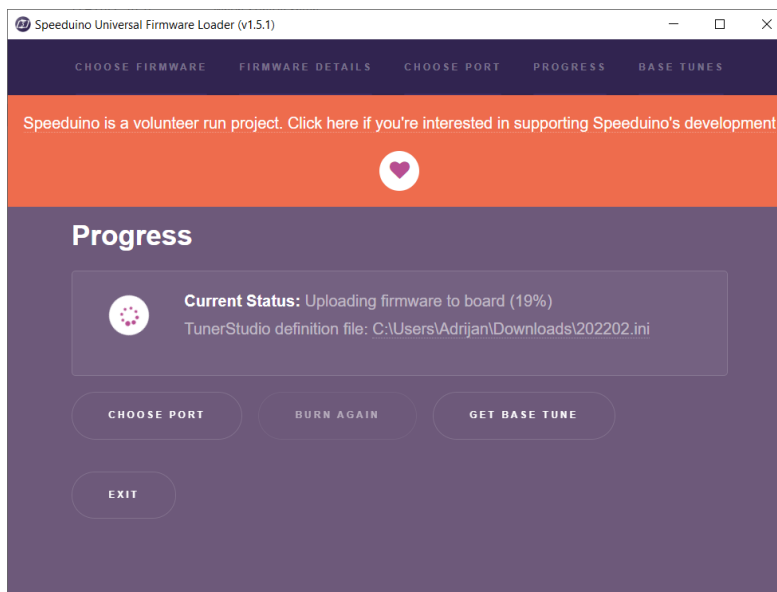
### 4.1. Učitavanje firmware-a

Speeduino pokreće firmware, kod napisan u Arduino IDE programu koji pokreće pločicu i njezine operacije. Firmware je jedini software kojeg Speeduino koristi za rad.

Učitavanje firmware na Arduino Mega 2560 pločicu izvršeno je pomoću odgovarajućeg USB-B kabela i programa SpeedyLoader (slika18).

Koraci:

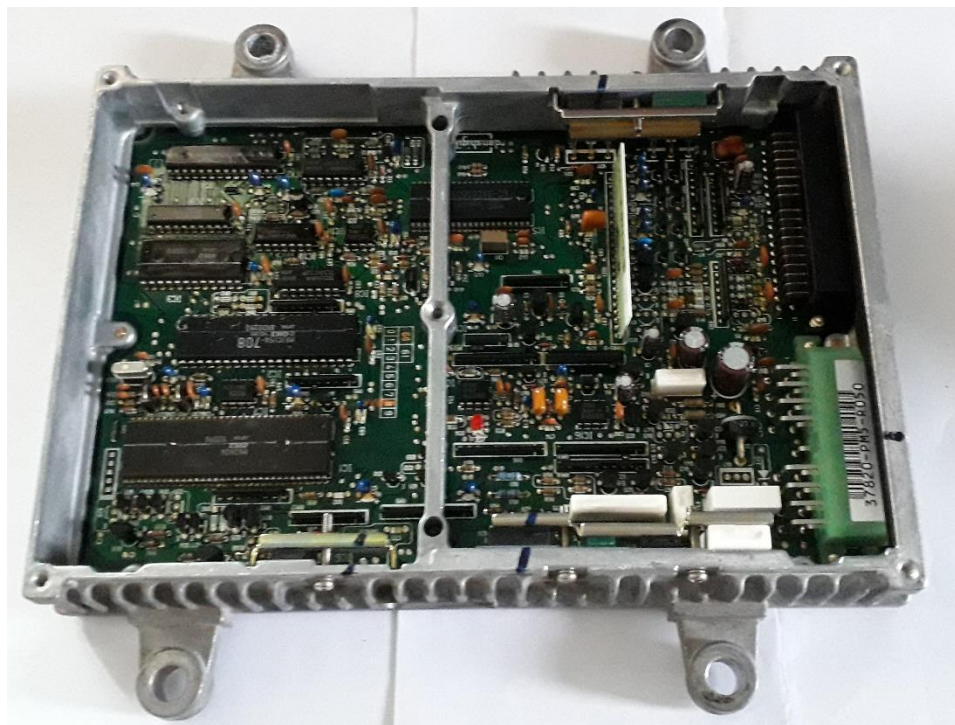
- Pokretanje programa SpeedyLoader
- Priključivanje Arduino Mega 2560 pločice putem USB-B kabela na računalo
- Odabir firmware-a
- Odabir PORT-a
- Učitavanje



Slika 18: Učitavanje firmware-a na Arduino pločicu

## 4.2. Izrada upravljačke jedinice motora

Speeduino upravljačka jedinica motora smještena je u kućište koje se već nalazi u vozilu. Kako bi to bilo moguće, korištene su spojnice sa tvorničke upravljačke jedinice, urađene su preinake na kućištu te je izrađen nosač nove Speeduino upravljačke jedinice.



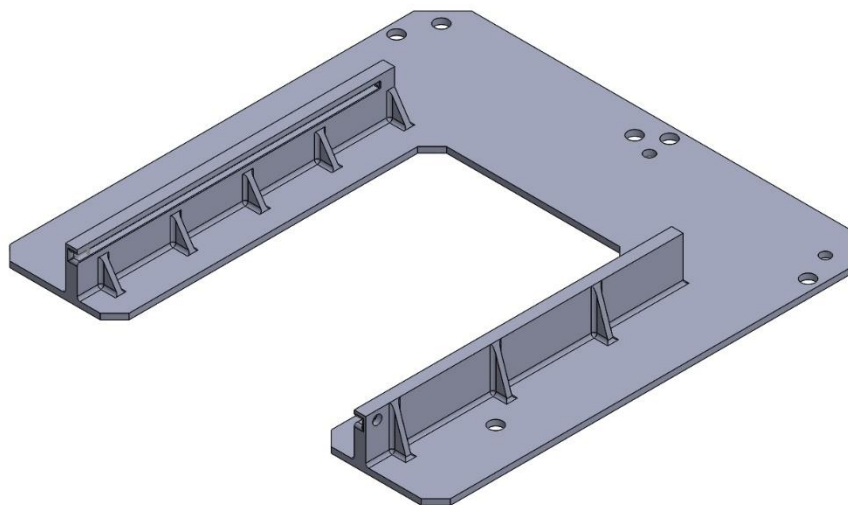
Slika 19: Upravljačka jedinica motora bez poklopca

Na kućištu upravljačke jedinice odrađene su preinake:

- Izrezivanje središnjeg dijela kućišta
- Izrezivanje utora za USB kabel
- Konstrukcija i izrada nosača pločice
- Izrada ožičenja

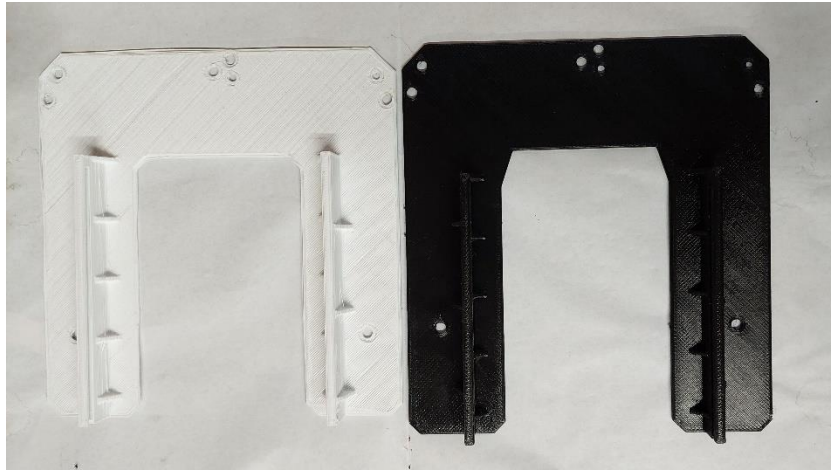
#### 4.2.1. Konstrukcija nosača Speeduino pločice

Prema kućištu je konstruiran nosač Speeduino upravljačke jedinice. Mjerenjem kućišta i pločice upravljačke jedinice određene su vanjske dimenzije nosača, promjer i položaja 9 provrta za vijke, te položaj Speeduino upravljačke jedinice. Pomičnim mjerilom izmjereni su promjeri provrta za vijke. Kroz četiri provrta prolaze vijci kojima se ugrađuju priključci na nosač, dok preostalih pet služe se spajanje konstruiranog nosača s kućištem upravljačke jedinice vijcima.



*Slika 20: Nosač Speeduino pločice u kućištu upravljačke jedinice motora*

Nosač prikazan na slici 20 konstruiran je korištenjem programa Solidworks. Nosač je izrađen aditivnom tehnologijom. Izrađen je prototip od materijala PLA. Zatim je upravljačka jedinica sklopljena te su otkriveni nedostaci konstrukcije. Nedostaci su otklonjeni promjenom položaja Speeduino i Arduino pločice u odnosu na priključke i kućište. Nosač je potom izrađen iz PETG materijala radi boljih svojstava (slika 21).



*Slika 21: Prototip (lijevo) i završni proizvod (desno)*

#### 4.2.2. Izrada ožičenja

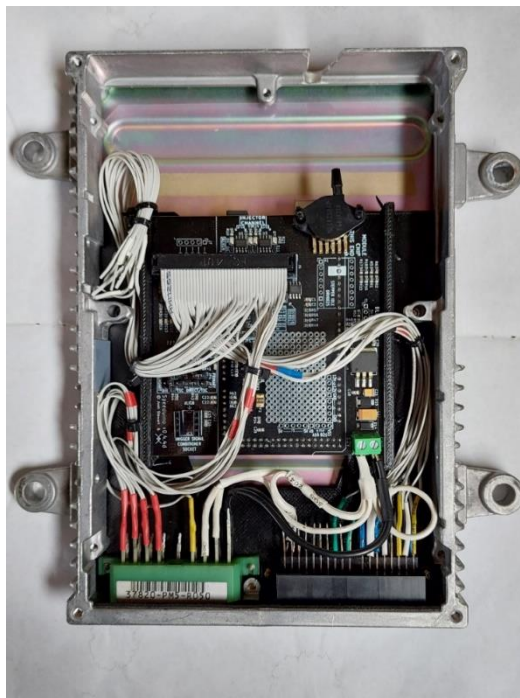
Kako bi Speeduino upravljačka jedinica mogla komunicirati s vozilom, izrađeno je ožičenje. Speeduino pločica sadrži muški 40-polni priključak. Ožičenje na jednoj strani ima ženski IDC 40-polni priključak, a na drugoj strani su spojeni priključci s upravljačke jedinice tvorničke ugradnje. Speeduino pločica ima unaprijed određene ulaze i izlaze te je za potrebe priključivanja na vozilo izrađena slijedeća tablica.

Tablica 2: Spajanje Speeduino pločice s vozilom:

Speeduino PIN	Funkcija	Priključak na vozilu
1	Brizgaljka 1 - Pin 1/2	A1
2	Brizgaljka 2 - Pin 1/2	A5
3	Brizgaljka 3 - Pin 1/2	A7
4	Brizgaljka 3 - Pin 2/2	A7
5	Brizgaljka 4 - Pin 1/2	A3
6	Brizgaljka 4 - Pin 2/2	A3
7	Paljenje 1ch	B15, B17
8	/Paljenje 4ch	
9	Masa	
10	Masa	C2
11	MAP senzor (0-5V)	
12	Masa	C14
13	5V	C15
14	/Flex Fuel sensor	
15	/Ventilator	
16	Pumpa goriva	A12, A14
17	Pokazivač broja okretaja	C16
18	Prekidač pedale kvačila	
19	Senzor temperature rashladnog sredstva	C6
20	Senzor temperature usisanog zraka	C5
21	Senzor kisika u ispušnim plinovima	B20
22	Senzor položaja prigušne zaklopke	C7
23	Masa	C12
24	/Senzor položaja bregaste	
25	Senzor položaja radilice	C1
26	/	
27	/	
28	5V	C13
29	/	
30	/	
31	/	
32	/	
33	/Paljenje 3 ch	
34	/Paljenje 2 ch	
35	/Kontrola prednabijanja	
36	/Prazni hod 2	
37	PWM Prazni hod	A11
38	/VVT	
39	Brizgaljka 2 - Pin 2/2	A5
40	Brizgaljka 1 - Pin 2/2	A1
	Napajanje senzora položaja motora - 12V	C3
	*/ - NE KORIŠTENNO	



Na slici 22 je prikazana upravljačka jedinica motora Speeduino s potrebnim ožičenjem, priključcima i nosačem ugrađena u kućište. Nakon postavljanja poklopca upravljačka jedinica je ugrađena u vozilo umjesto tvorničke jedinice.



Slika 22: Upravljačke jedinica motora – Speeduino

#### 4.2.3. Postavljanje kratkospojnika

Kratkospojnici se postavljaju ovisno o vrsti senzora i potrebnom izlazu kanala paljenja. Kratkospojnik JP1 postavlja izlaz kanala paljenja na 5 ili 12 V, što ovisi o sustava paljenja. Arduino može obraditi samo signal pravokutnog oblika istosmjernog napona do 5 V. Signal induktivnih senzora je sinusnog oblika i mora biti ispravljen korištenjem dodatnog sklopa za ispravljanje signala, kao i signal Hall efekt senzora višeg od 5 V. U radu je korišten Hall efekt senzor signala 5 V kojega proces može obraditi bez dodatne obrade. Speeduino ima mogućnost obrade dva signala senzora položaja, jednog na koljenastom, drugom na bregastom vratilu motora. Kratkospojnici JP2 i JP3 postavljaju se ovisno o vrsti senzora, odnosno o potrebi za dodatnom obradom signala. Kratkospojnici JP4 i JP5 se postavljaju kada senzor nema stabilan položaj, niski ili visoki položaj te varira između stanja. [4]

Tablica 3: Postavke kratkospojnika

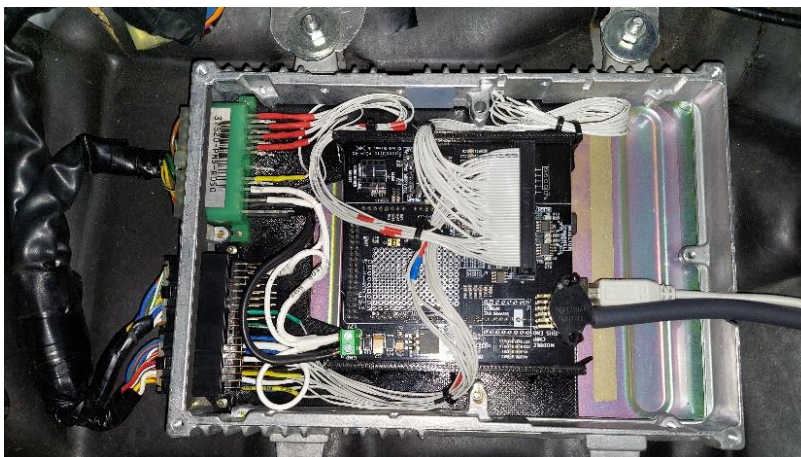
Kratkospojnik	Položaj
JP1	5 V
JP2	Hall/Direct
JP3	/
JP4	1000Ω
JP5	/

#### 4.2.4. Ugradnja u vozilo

Prilikom projektiranja i izrade upravljačke jedinice vodilo se računa o mjestu i načinu ugradnje. Upravljačka jedinica je izrađena kako bi se ugradila umjesto tvorničke jedinice uz minimalne preinake na vozilu. Preinake su provedene na zupčaniku davača senzora položaja motora, ugradnji Hall efekt senzora položaja motora te ugradnji širokopojasne  $\lambda$ -sonde. Jedinica se povezuje s motor putem 3 električna priključka i pneumatske veze, a pričvršćuje se na vozilo vijčanim spojem.

Postupak ugradnje:

- Demontaža tvorničke upravljačke jedinice,
- Izrada preinaka na vozilu,
- Montaža izrađene upravljačke jedinice.



Slika 23: Upravljačka jedinica ugrađena u vozilo

### 4.3. Podešavanje upravljačke jedinice - TunerStudio

Pomoću programa TunerStudio izvršeno je podešavanje upravljačke jedinice motora. Osnovni podaci uneseni u program jesu: način (algoritam) rada, radni volumen motora, broj cilindara, broj, položaj i karakteristika brizgaljki, korištena pločica te željeni omjer zraka i goriva. Zatim je provedena kalibracija senzora, koja se sastoji od izbora korištenih senzora ili upisivanja karakteristika senzora u tablice. Nakon podešavanja i provjere svih podataka automobil je postavljen na ispitne valjke kako bi se pravilno podesila polja vrijednosti. Ispitni valjci se koriste za simulaciju različitih uvjeta, mjerenje okretnog momenta i snage te testiranja u automobilske industriji.



Slika 24: Sučelje programa TunerStudio

Slika 24 prikazuje korisničko sučelje programa TunerStudio korištenog za podešavanje upravljačke jedinice motora. Sučelje je potpuno podesivo, moguće je izabrati izgled i raspored izbornika, vrstu i način prikazivanja različitih informacija iz upravljačke jedinice. Na slici su prikazane informacije: broj okretaja motora, korekcija smjese pomoću signala  $\lambda$  – sonde, trenutna točka paljenja, željeni broj okretaja praznog hoda, pritisak u usisnoj grani, temperatura usisanog zraka, temperatura rashladnog sredstva motora te kvaliteta smjese prema signalu  $\lambda$  – sonde.

#### 4.3.1. Izrada projekta

Prilikom prvog pokretanja TunerStudio programa potrebno je napraviti projekt, mapu u kojoj se nalaze podaci o postavkama te snimljeni podaci za vrijeme rada motora. Izabiran je koji firmware je učitana na Arduino, način komunikacije, mjerne jedinica za  $\lambda$ , temperaturu i pritisak. Zatim su učitane početne vrijednosti, koje omogućuju pokretanje motora i rad na nižem broju okretaja, ali ne osiguravaju optimalne vrijednosti za rad motora.

#### 4.3.2. Postavke

Odabrane su postavke: način određivanja opterećenja motora, broj i način ubrizgavanja po ciklusu, način rada, položaj i broj brizgaljki, radni obujam motora, broj cilindara i tip motora te stehiometrijski omjer za korišteno gorivo. Većina podataka potrebnih za podešavanje preuzete su iz baza podataka, kao na primjer Haltech internetska stranica.

Neke od postavki:

- Broj cilindara: 4,
- Plan pločice: Speeduino V0.4
- Protok brizgaljke: 240,
- Stehiometrijski omjer: 14.7,
- Položaj brizgaljki: Usisni kanal,
- Broj brizgaljki: 4,
- Broj zubi zupčanika davača: 16,
- Broj izostalih zubi: 1,
- Brzina vrtnje davača: bregasto vratilo,
- Položaj prvog zuba davača: 142° nakon GMT prvog cilindra.

#### 4.3.3. Kalibracija senzora

Kako bi Speeduino jedinica točno očitala signala senzora mora znati koji senzori su priključeni. Kalibracija je postupak unošenja podatka putem TunerStudio programa u upravljačka jedinicu. Kalibracija senzora položaja prigušne zaklopke sastoji se od pohranjivanja vrijednosti senzora u krajnjim položajima, odnosno bez pomaka papučice gasa, i sa potpuno pritisnutom papučicom. Vrijednosti za senzore pritiska zraka i faktora zraka ( $\lambda$  – sonda) kalibrirane su odabirom senzora iz baze podataka TunerStudio programa, za senzor pritiska zraka: MPX4250 te za senzor faktora zraka: 14point7. Vrijednosti za senzore temperature rashladnog sredstva motora i usisanog zraka nisu pronađene u bazi podataka te su unesene ručno kako je prikazano u tablici 4.

Tablica 4: Vrijednosti senzora temperature

Temperatura u °C	Otpor senzora u $\Omega$
-10	9300
20	2800
100	125

#### 4.3.4. Podešavanje mapa podatka

Kako bi se pravilno i na siguran način podesila polja vrijednosti i omogućili optimalni uvjeti rada motora, automobil je postavljen na ispitne valjke te pričvršćen za podlogu (slika25). Ispitni valjci su alat pomoću kojih se simuliraju različita opterećenja motora.



Slika 25: Automobil na ispitnim valjcima

Polja vrijednosti su 3D, interpolacijske tablice koje koriste broj okretaja motora kao horizontalnu os, a opterećenje motora, iskazano preko pritiska zraka usisne grane, kao vertikalnu os. Slika 26 prikazuje tablicu željenog omjera zraka i goriva. Željeni omjer jednak je stehiometrijskome većinu vremena, osim kod punog opterećenja. Tada je potrebna bogata smjesa kako bi hladila prostor izgaranja. Stehiometrijski omjer omogućuje potpuno izgaranje goriva. Upravljačka jedinica koristi tablicu za izvršavanje korekcije smjese pomoću signala  $\lambda$  – sonde.

O p t e r e ć e n j e / k p a	100	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
	96	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
	88	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
	80	13.4	13.4	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4
	74	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
	64	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
	56	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	50	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	46	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	40	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	36	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	30	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	26	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	20	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	16	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	10	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
$\lambda$	800	900	1200	1700	2200	2700	3200	3700	4200	4700	5200	5700	6200	6700	7200	7700	
Broj okretaja motora (okr/min)																	

Slika 26: Tablica željenog omjera zraka i goriva

Tablica goriva ili VE tablica je glavni izvor podatka potreban za kontroliranje količine ubrizganog goriva. VE je skraćenica od engl. „volumetric efficiency“, a označuje postotak popunjenosti cilindra zrakom. Podatak iz tablice jedinica preračunava u vrijeme otvorenosti brizgaljke. Podešavanje se vrši održavanja istog broja okretaja motora pri različitim opterećenjima, te se sukladno vrijednostima  $\lambda$  – sonde podešavaju vrijednosti u VE tablici. Ispitni valjci omogućuju potrebne uvjete i olakšavaju postupak podešavanja. Slika 27 prikazuje tablicu goriva nakon podešavanja.

O p t e r e ć e n j e / k p a	100	99	99	102	102	104	109	111	111	116	116	115	115	115	111	107
	96	96	96	102	104	102	105	111	107	113	113	115	115	115	111	107
	90	91	91	97	103	102	102	111	107	110	110	115	115	115	111	107
	86	94	94	99	100	98	102	108	108	111	111	111	111	111	111	111
	74	84	84	92	95	94	99	103	101	102	103	103	103	103	103	103
	70	80	80	88	93	92	92	97	95	99	98	98	98	98	98	98
	66	76	77	86	88	90	90	91	92	97	94	92	92	92	92	92
	60	71	71	85	84	80	81	86	83	88	88	88	88	88	88	88
	56	67	67	80	79	76	79	81	77	83	85	85	85	85	85	85
	50	62	62	68	70	71	78	80	77	80	81	81	81	81	81	81
	46	58	58	65	69	68	76	77	74	80	78	78	78	78	78	78
	40	53	53	65	70	70	71	74	70	73	73	73	73	73	73	73
	36	49	49	63	65	63	66	67	64	70	70	70	70	70	70	70
	30	49	49	58	57	55	60	59	57	60	57	57	57	57	57	57
	26	49	49	50	52	54	55	46	52	57	53	53	53	53	53	53
	16	49	49	49	42	41	35	35	48	50	49	49	49	49	49	49
$\lambda$	800	900	1100	1600	2100	2700	3400	4200	4800	5000	5200	5500	5700	5900	6500	7200
Broj okretaja motora (okr/min)																

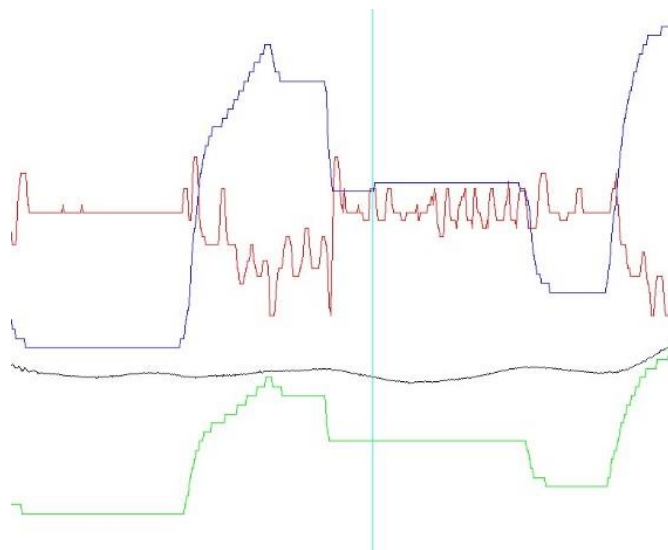
Slika 27: Tablica goriva

Polja vrijednosti točke paljenja upisuju se prema vrijednostima iz baza podataka, a postoje i različiti matematički izrazi i programi kojima se mogu dobiti približne vrijednosti. Vrijednosti u poljima su točke paljenje izražene u stupnjevima KV prije GMT. Optimalne vrijednosti dobivaju se na ispitnim valjcima. Početne vrijednosti se postupno povećavaju uz praćenje porasta snage motora. Optimalne vrijednosti (slika 28) su one na kojima se dobije najveći okretni moment i snaga motora. Veće vrijednosti koje ne pridonose porastu snage su opasne i moraju se umanjiti kako ne bi došlo do oštećenja motora.

O p t e r e ć e n j e / k p a	100	0	0	9	13	16	20	21	22	22	23	24	24	25	26	27	27
	96	1	1	9	13	17	21	22	23	23	24	25	26	26	27	28	28
	88	3	3	10	14	18	22	23	26	26	27	28	28	29	30	31	31
	80	5	5	11	15	19	23	24	29	29	30	30	31	31	33	33	33
	74	6	6	11	16	19	24	25	31	31	32	32	33	33	35	35	35
	66	9	9	12	17	20	25	26	34	34	34	35	35	36	37	38	38
	56	11	11	13	18	22	27	28	37	37	38	38	39	39	41	41	41
	50	13	13	13	18	23	28	29	40	40	40	40	40	41	43	43	43
	46	14	14	13	19	23	28	30	41	41	41	41	42	42	44	44	44
	40	15	15	14	19	24	29	31	43	43	43	43	44	44	44	44	44
	36	16	16	14	20	24	30	32	43	43	43	44	44	44	44	44	44
	30	16	16	15	21	25	31	33	43	43	43	44	44	44	44	44	44
	26	16	16	15	21	26	31	34	43	43	43	44	44	44	44	44	44
	20	16	16	16	22	26	32	35	43	43	43	44	44	44	44	44	44
	16	16	16	16	22	27	33	36	43	43	43	44	44	44	44	44	44
	10	16	16	16	30	32	34	37	39	42	44	44	44	44	44	44	44
	↙	800	900	1200	1700	2200	2700	3200	3700	4200	4700	5200	5700	6200	6700	7200	7300
	Broj okretaja motora (okr/min)																

Slika 28: Tablica točke paljenja

TunerStudio ima mogućnost snimanja vrijednosti tokom rada motora. Snimljene vrijednosti mogu se pregledati pomoću MegaLogViwer programa što olakšava podešavanje upravljačke jedinice. Na slici 29 prikazane su vrijednosti: broj okretaja motora (crna), položaj prigušne zaklopke (zelena), kvaliteta smjese (crvena) i pritisak usisne grane (plava).



Slika 29: Snimljene vrijednosti u radu motora

## 5. TESTIRANJE I ANALIZA REZULTATA

Upotrebom automobila uočen je nedostatak prilikom povećanja broja okretaja motora kod manjih brzina te nemirnim radom na praznom hodu. Problem je posebno izražen prilikom pretjecanja u drugom i trećem stupnju prijenosa, te voženje po zahtjevnim prometnicama. Vozne karakteristike vozila su narušene te je otežano korištenje automobila.

### 5.1. Potrošnja goriva prije zamjene upravljačke jedinice motora

Prije zamjene upravljačke jedinice motora napravljen je eksperiment potrošnje goriva. Spremnik goriva je napunjen u potpunosti, te je vozilo korišteno nekoliko stotina kilometara, a zatim je spremnik ponovo napunjen. Automobil je vožen 372 km, većinom otvorenom cestom brzinom od 60 do 80 kilometara na sat, te 80 km autocestom brzinom od 100 km/h. Na vožnji je utrošeno 21.85 litara goriva. Jednostavnim izračunom utvrđena je potrošnja od 5,88 litra goriva na 100 kilometara.

$$\frac{\text{Količina utrošenog goriva [L]}}{\text{Prijeđeni put [km]}} \times 100 = \text{Potrošnja goriva } \left[ \frac{\text{L}}{100} \text{ km} \right] \quad (1)$$

Test je ponovljen prilikom svakodnevnog korištenja vozila u duljini od 417 km pri čemu je potrošeno 24,53 l goriva, gdje je ponovo postignuta potrošnja od 5,88 l/100km.

### 5.2. Poboljšanja karakteristika i potrošnja goriva nakon zamjene upravljačke jedinice motora

Nakon ugradnje i podešavanja Speeduino upravljačke jedinice napravljena je probna vožnja. Upravljačka jedinica motora podešena je isključivo za MSUI i automobil u kojeg je ugrađena. Prilikom korištenja automobila uočena su poboljšanja voznih karakteristika, povećana elastičnost motora te nisu primijećene poteškoće prilikom povećanja broja okretaja motora. Uočen je mirniji rad motora na praznom hodu, a s time i smanjenje vibracija unutar automobila.

Test potrošnje goriva proveden je na duljini od 400 km pri čemu je automobil potrošio 22,6 l goriva. Za vrijeme testa uvjeti su bili približno isti kao i na prethodnom testu. Uvrštavanjem brojeva u matematički izraz (1) vidljivo je da automobil ostvario prosječnu potrošnju goriva 5,65 od l/100km s upravljačkom jedinicom motora Speeduino. Optimalni uvjeti rada motora smanjili su potrošnju goriva za 4%.



## 6. ZAKLJUČAK

Izrađena je upravljačka jedinica motora automobila korištenjem Arduino i Speeduino komponenti. Izrada i pravilan rad upravljačke jedinice zahtjeva teorijska i praktična znanja: princip rada motora s unutarnjim izgaranjem, poznavanje upravljačke jedinice, osnova upravljanja i regulacije te rada s Arduino. Upravljačka jedinica ugrađena je na automobil starije generacije koji je imao nedostatke u radu motora s unutarnjim izgaranjem. Zamjenom upravljačke jedinice proširene su mogućnosti upravljanja i regulacije rada motora automobila. Provedeno je detaljno podešavanje upravljačke jedinice na ispitnim valjcima. Podešavanjem različitih mapa vrijednosti moguće je postići optimalne uvjete rada motora. Optimiranjem rada motora postignute su poboljšanja u radu motora, otklonjene poteškoće i problemi u radu, poput nemirnog praznog hoda. Probnim vožnjama uočene su bolje vozne karakteristike automobila, uklonjeni nedostaci te smanjenja potrošnja goriva čime je postignut cilj eksperimenta.

Ugradnjom upravljačke jedinice motora automobila – Speeduino uz dodatne preinake moguće je i korištenje više goriva ili mješavina goriva, ugradnja oksidacijskog katalizatora za pročišćivanje ispušnih plinova ili zamjena zastarjelih sustava pripreme smjese i paljenja.

## LITERATURA

- [1] Vadjon, V., Popović, G.: *Tehnika motornih vozila*, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Centar za vozila Hrvatske, Hrvatska obrtnička komora, Zagreb, 2015.
- [2] Arduino, dostupno na: <https://www.arduino.cc>, pristupljeno 18.5.2022.
- [3] Speeduino GitHub, dostupno na: <https://github.com/speeduino>, pristupljeno 25.5.2022.
- [4] Speeduino priručnik, dostupno na: [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf), pristupljeno 25.5.2022.
- [5] Speeduino priručnik za razvoj, dostupno na: [https://wiki.speeduino.com/en/dev/Code\\_overview](https://wiki.speeduino.com/en/dev/Code_overview), pristupljeno 20.9.2022.
- [6] EFI Analytics, dostupno na: <http://www.tunerstudio.com>, pristupljeno 20.9.2022.
- [7] Haltech podaci, dostupno na: <https://support.haltech.com/portal/en/kb/articles/b-series>, pristupljeno 20.9.2022.

## **PRILOZI**

- CD