

ŠOLSKI CENTER CELJE



Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Raziskovalna naloga

NADGRADNJA MULTIFUNKCIJSKEGA  
AVTONOMNEGA VOZILA Z ROBOTSKO  
ROKO

Avtorji:

Vid ČERNEC, M–3. c

Miha KAJBIČ, M–3. c

Žan KRAMŽAR, M–3. c

Mentorji:

Matjaž CIZEJ, univ. dipl. inž.

Robert OJSTERŠEK, mag. inž.

Stevo ROMANIČ, dipl. inž.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje 2016

## **POVZETEK**

V današnjem času se vse več pozornosti namenja razvoju in izdelavi avtonomnih strojev in naprav, ki bi človeku olajšali delo ter ga nadomestili v morebitnih nevarnih situacijah. Lep zgled nam daje večina avtomobilskih korporacij z avtomobili, pri katerih za upravljanje ni potreben človeški faktor. Vso to tehnologijo je mogoče najti tudi v robotiki, ki nam je vzbudila zanimanje za koncept Kukine avtonomne robotske platforme, zaradi katere se je porodila ideja o nadgradnji vozila. Raziskovalni učni projekt predstavlja nadgradnjo in izboljšavo že obstoječega multifunkcijskega avtonomnega vozila. Ker na trgu že obstajajo podobne platforme, smo se v tem projektu odločili narediti tržno, kot tudi tehnološko konkurenčno vozilo in pri tem pridobiti največ znanja za nadaljnje projekte.

*Ključne besede:* avtonomni stroji, robotska platforma, multifunkcijsko avtonomno vozilo, nadgradnja, izboljšava.

# KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA .....	1
1.2	HIPOTEZE.....	1
1.3	METODE RAZISKOVANJA.....	2
2	PREDSTAVITEV POTEKA RAZISKOVALNE NALOGE .....	3
2.1	PREGLED AVTONOMNEGA VOZILA PRED NADGRADNJO.....	4
2.1.1	KONSTRUKCIJA VOZILA.....	5
2.1.2	IZDELAVA ZADNJIH PROSTOVRTIČIH KOLES .....	7
2.1.3	IZDELAVA OHIŠJA SENZORJEV .....	7
2.1.4	SISTEM ZA NADZOR DELOVANJA BATERIJ (BMS).....	8
2.1.5	LCD-PRIKAZOVALNIK NA DOTIK.....	10
2.3	PREDSTAVITEV NADGRADNJE VOZILA .....	11
2.3.1	SISTEM VODENJA .....	11
2.3.2	OPIS PROGRAMA.....	14
2.3.3	ROBOTSKA ROKA KUKA KR5 SIXX R650 WP .....	19
2.3.4	RAZSMERNIK ZA NAPAJANJE ROBOTA.....	21
2.3.5	KUKA KRC 2 SR ROBOTSKI KRMILNIK .....	22
2.3.6	KUKA UPRAVLJALNI PANEL KCP (TEACH PENDANT).....	23
2.3.7	ROBOTSKI PROGRAM .....	24
2.4	KALKULACIJA IN RAZISKAVA TRGA.....	25
3	PREDSTAVITEV REZULTATOV .....	29
4	ZAKLJUČEK.....	30
5	ZAHVALA.....	31
6	VIRI.....	32
7	IZJAVA.....	33

## KAZALO SLIK

Slika 1: Idejna skica .....	3
Slika 2: Konstrukcija avtonomnega vozila.....	4
Slika 3: Karoserija.....	5
Slika 4: Plošča pred nadgradnjo .....	6
Slika 5: Plošča po nadgradnji .....	6
Slika 6: Prostovrteče kolo .....	7
Slika 7: Ohišje senzorja.....	8
Slika 8: Ohišje senzorja, natisnjeno s 3D-tiskalnikom.....	8
Slika 9: Vezava BMS-a z ostalimi komponentami .....	9
Slika 10: BMS REC 9R.....	9
Slika 11: Prikazovalnik stanja baterij.....	10
Slika 12: Mikroračunalnik Arduino Mega 2560 .....	11
Slika 13: 1Sheeld vmesnik .....	12
Slika 14: 1Sheeld, nameščen na mikroračunalniku.....	13
Slika 15: Inicializacija spremenljivk in knjižnica OneSheeld.....	14
Slika 16: Nastavitvena zanka .....	15
Slika 17: Glavna zanka.....	16
Slika 18: Pogoji vožnje .....	17
Slika 19: Izračun razdalje v času.....	18
Slika 20: Pretvorba mikrosekund v centimetre .....	18
Slika 21: KUKA KR5 sixx R650 WP .....	20
Slika 22: Izbran razsmernik.....	21
Slika 23: Robotski krmilnik .....	22
Slika 24: Upravljalni panel KCP.....	23
Slika 25: Slika robotskega programa .....	24
Slika 26: Končni izdelek .....	29

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Osnovni podatki robotske roke .....	19
Tabela 2: Hitrosti in dosegi po oseh.....	20
Tabela 3: Karakteristike razsmernika.....	21
Tabela 4: Skupni materialni stroški.....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
Tabela 5: Stroški dela.....	26

## 1 UVOD

Namen naše raziskovalne naloge je raziskati, predstaviti in tudi realizirati pot, s katero bi bilo možno, z izboljšavo programskega dela in nadgradnjo že obstoječega vozila, priti do tehnološko in tržno konkurenčnega multifunkcijskega avtonomnega vozila. Prvotna ideja projekta je bila, da na avtonomno platformo namestimo robotsko roko, s katero bi lahko opravljali različne naloge in pri tem zajeli kar največ področij mehatronike.

### 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Problem že obstoječega multifunkcijskega avtonomnega vozila je, da nam v obstoječem stanju prav veliko ne koristi, saj v njem ni komponent, ki bi omogočale izvrševanje raznih nalog. Težave pa so se pojavljale tudi v dosedanem programu za vodenje vozila, zato smo se v raziskovalni nalogi odločili, da poskusimo skonstruirati in izdelati ustrezen sklop, ki bi ga pritrdili na vozilo in se s tem približali podobnim multifunkcijskim avtonomnim platformam. Te je mogoče zaslediti na tržišču. Poleg vsega pa bi z dodelavo oziroma novim programom izboljšali vozne lastnosti in varnost vozila.

### 1.2 HIPOTEZE

Cilj naše raziskovalne naloge je izdelati in na že obstoječe vozilo namestiti sklop, s katerim bi vozilo lahko opravljalo različne naloge ter z novim programom odpraviti težave, ki so se do sedaj pojavljale pri vožnji. Za doseganje tega si moramo postaviti ustrezne hipoteze. S tem želimo pokazati, da je obstoječe vozilo še možno dodelati do takšne mere, da bi postalo tržno zanimivo. Hkrati pa želimo spoznati delovanje drugih multifunkcijskih avtonomnih vozil in na podlagi teh izdelati najprimernejšo nadgradnjo.

Za nadaljnje raziskovanje smo si zastavili sledeče hipoteze:

- S primerjanjem različnih multifunkcijskih avtonomnih vozil pridemo do najprimernejše rešitve.
- Vozilo bo po nadgradnji tržno zanimivo in primerljivo s podobnimi vozili.
- Z novim programom bomo odpravili probleme, ki so se pojavljali pri vožnji.
- Signalni in močnostni del bo mogoče upravljati preko novega vmesnika na razvojni platformi.

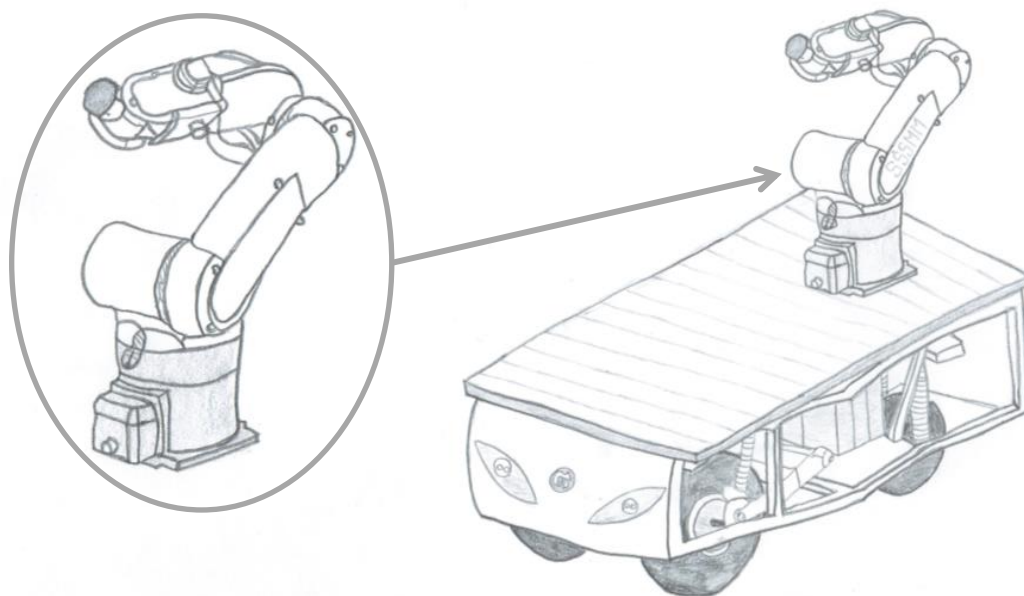
- Celotna nadgradnja ne bo predraga.

### **1.3 METODE RAZISKOVANJA**

V naši raziskavi smo uporabili dve metodi raziskovanja: metodo analize, ki temelji na osnovi razčlenitve neke celote na osnovne sestavne dele, smo uporabili pri razčlenitvi celotne nadgradnje; s primerjalno metodo smo primerjali različne avtonomne robotske platforme in tako prišli do najprimernejše rešitve.

## 2 PREDSTAVITEV POTEKA RAZISKOVALNE NALOGE

Glavni namen raziskovalne naloge je bil nadgraditi že obstoječe multifunkcijsko avtonomno vozilo. Ker je celotno vozilo že v osnovi dobro dodelano, se nam je na začetku iskanje pomanjkljivosti pokazalo kot zelo zahtevno. Pomanjkljivost se je pokazala že pri prvem zagonu vozila. Za prvo pomanjkljivost lahko označimo programski del, pri katerem se je izkazalo, da izbira vmesnika za brezžično povezavo Arduino Wifi Shield ni bila najboljša. V ta namen smo na tržišču poiskali lažje programirljiv vmesnik za povezovanje mikroročunalnika Arduino Mega z uporabnikovim mobilnim telefonom. S tem smo odpravili težave glede vožnje vozila, ne pa tudi glede naprave, ki nam omogoča izvrševanje raznih nalog. Zato smo se odločili, da ta dva problema odpravimo. Za odpravo prvega problema se nam je zdelo najbolj smotrno na vozilo namestiti robotsko roko in s tem najelegantneje rešiti problem glede naprave za izvrševanje različnih nalog. Na trgu je bilo potrebno najti takšno, ki bi ustrezala vsem parametrom, ki so pogojena z lastnostmi vozila. V končni fazi raziskovalne naloge pa je sledil izračun celotnih stroškov izdelave, s čimer smo pokrili še podjetniško plat projekta.



Slika 1: Idejna skica

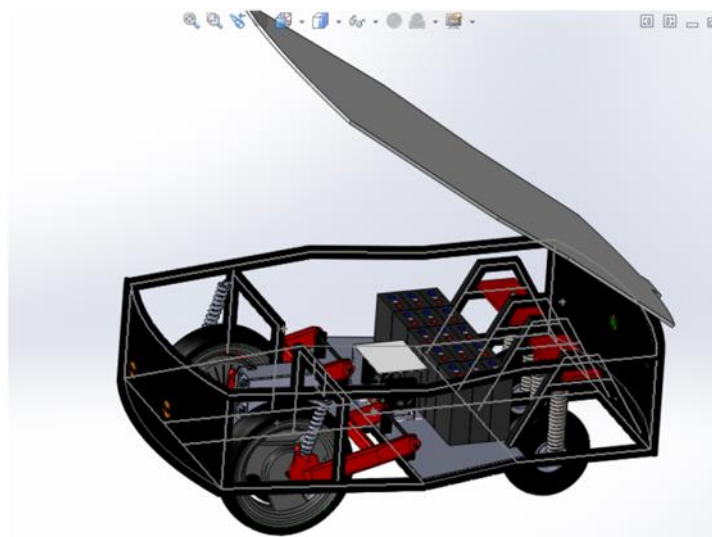


## 2.1 PREGLED AVTONOMNEGA VOZILA PRED NADGRADNJO

Osnovna ideja o izdelavi multifunkcijske avtonomne mobilne platforme se je porodila že prejšnji generaciji tretjih letnikov tehnikov mehatronike. Njihovo raziskovanje je zajemalo korake od začetnega konstruiranja do končnega delujočega produkta. Najprej je bila izdelana začetna oblika vozila, nato so nadaljevali s konstruiranjem in izdelavo komponent ter zaključili z integracijo sistema, s katero je bil delujoči izdelek dokončan.

Pri osnovni obliki vozila so bivši izdelovalci vozila stremeli k enostavnosti in dostopnosti vozila v vse prostore tovarn oziroma večjih podjetij. Zaradi tega je za osnovni material konstrukcije izbrana pohištvna cev 30 x 30 x 2 mm, ki konstrukciji zagotavlja veliko trdnost in potrebno togost. Postopek varjenja posameznih delov je enostaven, kar je bilo mogoče zagotoviti s pravilno izbiro materiala. Prednost jeklene pohištvne cevi je tudi enostavna dograditev vseh ostalih potrebnih sestavnih delov robotske platforme.

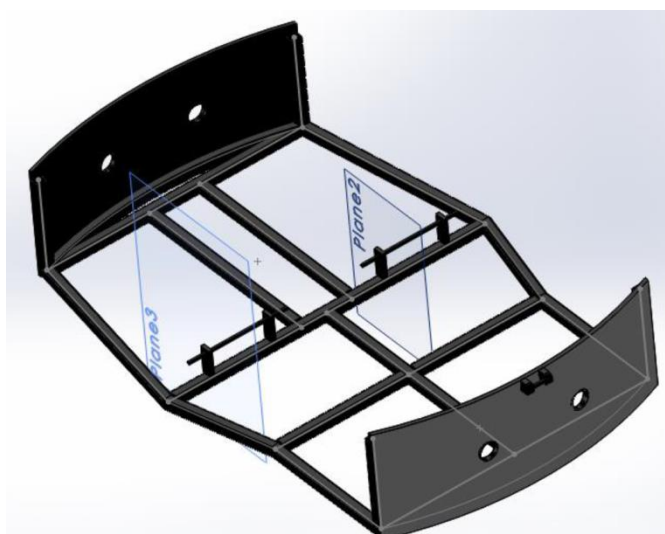
Zagotovljena je tudi enaka porazdelitev teže na obe pogonski in dve prosti vrtljivi kolesi. To so dosegli tako, da se težišče avtonomnega vozila nahaja ravno na sredini med obema osema; tu so nameščene baterije in elektronika. Oblika mobilne platforme je enostavna, kar nam omogoča preprosto nadziranje in upravljanje vozila. Ker pa so se med vožnjo po neravni podlagi pojavila nihanja, so sprednja kolesa gibljivo vpeta preko nihajnih vilic, zadnja pa preko dveh blažilnikov blažijo vibracije in nihanja.



Slika 2: Konstrukcija avtonomnega vozila

### 2.1.1 KONSTRUKCIJA VOZILA

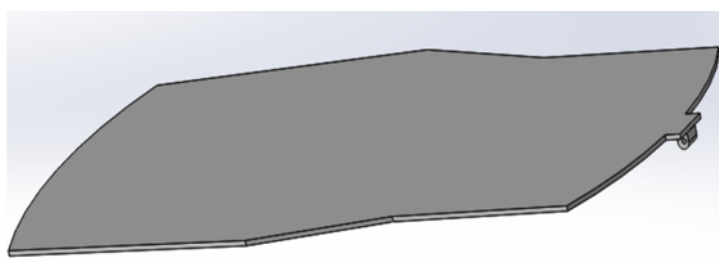
Šasija je sestavljena iz posameznih segmentov pohištenih cevi dimenzije 30 x 30 mm. Posamezni segmenti podvozja so zvarjeni v končno obliko, zvari so ustrezno obdelani, celotna karoserija pa je izdelana v pogojenih tolerančnih mejah glede na izdelovalne postopke. Šasija je bila v zaključni fazi obdelave prašno, barvno in korozijsko ustrezno zaščitena. Vozilo ima ravno zaradi nizkega težišča in stabilne robustne konstrukcije možnost ne zgolj preproste, ampak tudi kompleksnejše nadgradnje. Oblika vozila je zasnovana na dveh posameznih segmentih, ki predstavljata prednji in zadnji del, na sredini pa se združita v najširšem delu vozila. Pri konstrukciji je bilo potrebno upoštevati vse potrebne dodatne elemente za pritrditev posameznih delov. Pogonski kolesi sta preko nihajnih vilic pritrjeni na karoserijo. To nam zagotavlja mirno in gladko vožnjo naše platforme po različnih vrstah podlage. Karoserija poleg podvozja vsebuje še dve pločevinasti plošči, ki se nahajata na prednjem in zadnjem delu mobilne platforme. V ta namen je uporabljena pocinkana 1 mm debela pločevina, ki je ustrezno obdelana, da se prilagaja obliki vozila.



Slika 3: Karoserija

Na tej pločevini so bile že vnaprej pripravljene izvrtine za ultrazvočne senzorje in signalizacijsko LED-osvetlitev zadaj. Enaka pločevina je uporabljena tudi pri izdelavi spodnje plošče vozila, kamor so nameščene baterije, elektronika in ostale komponente. Stranske površine pa so zaprte s prozornim PVC-steklom, ki nam omogoča enostavno opazovanje

signalizacijskih stanj elektronike. Prav tako se tudi na vsaki strani nahajata po dve izvrtini za ultrazvočne senzorje. Prozorno PVC-steklo je uporabljeno tudi v sami notranjosti vozila, zato da ločuje posamezne segmente in zaščiti komponente pred prašnimi delci, ki bi lahko med vožnjo vozila po nečistih prostorih zlahka prišli v notranjost. Zgornjo ploščo, ki je bila narejena iz aluminijeve litine, smo zamenjali z aluminijastimi profili FESTO. Čeprav je predhodna plošča že zdržala dovolj veliko maso, pa smo jo morali zamenjati ravno zato, ker smo nanjo želeli namestiti nadgradnjo. Plošča je preko vrtljivega tečaja vpeta na osnovno šasijo, kar omogoča preprost dostop do notranjosti vozila.



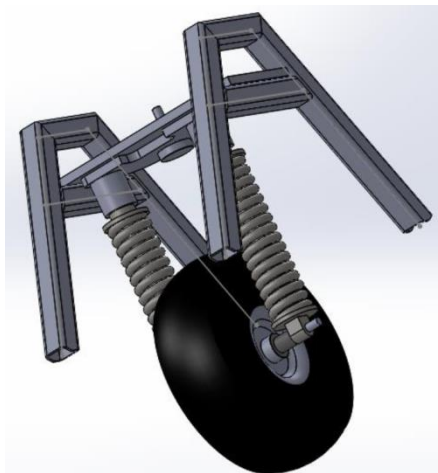
*Slika 4: Plošča pred nadgradnjo*



*Slika 5: Plošča po nadgradnji*

### 2.1.2 IZDELAVA ZADNJIH PROSTOVRTIČIH KOLES

Izdelano je bilo tudi vpetje z amortizacijo zadnjih, manjših koles, ki sta preko dveh nosilcev in nosilne plošče s pomočjo aksialnega ležaja vpeti na karoserijo. To je narejeno tako, da je puša potisnjena skozi kolo in na vsaki strani pritrjena z vzmetjo. To nam omogoča veliko nosilnost koles in možnost vrtenja koles za 360° okoli svoje osi.

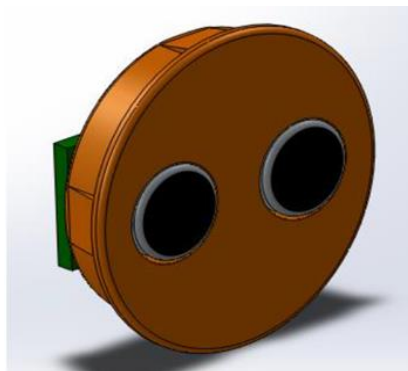


Slika 6: Prostovrteče kolo

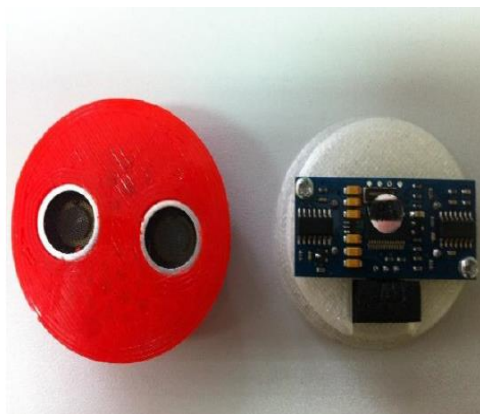
### 2.1.3 IZDELAVA OHIŠJA SENZORJEV

Ohišja, ki so nujno potrebna, da so naši varnostni ultrazvočni senzorji vseskozi pravilno nameščeni, so izdelana s pomočjo 3D-tiskalnika, ki ga je izdelala bivša generacija. Najprej je bilo potrebno v SolidWorksu narisati model, nato pa ga pretvoriti v poseben program v G-kodo, s pomočjo katere lahko tiskalnik pravilno natisne želeni izdelek. V tej fazi izdelave smo pridobili čas in denar, saj je tiskanje plastičnih izdelkov ne le hitrejše za zahtevnejše izdelke, ampak tudi cenejše, kot če bi ga izdelali s CNC-strojem. Za merjenje razdalje med objektom in avtonomnim vozilom so uporabljeni Parallax ultrazvočni senzorji serije PING))). Uporabili smo preproste metode merjenja razdalje, ki se uporabljajo za robotske aplikacije. Senzor meri čas preleta signala, ki je oddan in odbit od ovire. Vsak senzor je preko enega pina povezan z mikroračunalnikom Arduino, napajanjem 5 V in maso. PING))). senzor zaznava objekte v bližini tako, da najprej pošlje kratek ultrazvočni pulz, sledi pa zaznava istega odbitega signala.

Ultrazvočni valj potuje skozi zrak, se odbije od ovire in se vrne v senzor. Senzor zaznava čas od poslanega do prejetega signala. Slednjega nato pretvori v dolžino.



Slika 7: Ohišje senzorja

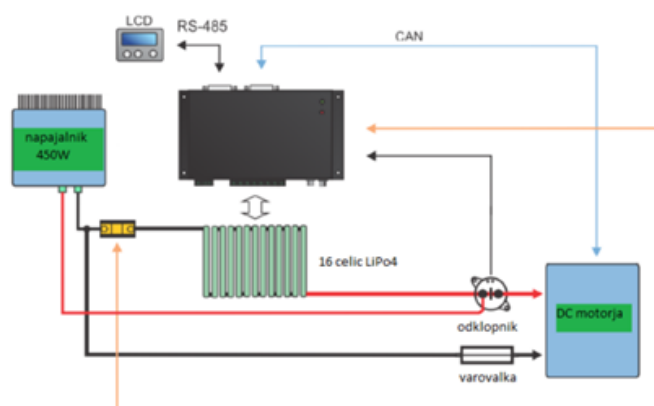


Slika 8: Ohišje senzorja, natisnjeno s 3D-tiskalnikom

#### 2.1.4 SISTEM ZA NADZOR DELOVANJA BATERIJ (BMS)

Sistem za nadzor delovanja baterij (BMS) je naprava, ki nam omogoča spremljanje in nadziranje delovanja posamične celice v baterijskem paketu petnajstih celic. Za dograditev te naprave smo se odločili zato, ker se zmogljivost in napetost akumulatorske baterije razlikuje od celice do celice. Poleg tega je tudi odvisna od števila ciklov polnjenja in praznjenja. Za zanesljivo in dolgotrajno delovanje so na vozilu nameščene  $LiPO_4$  baterije. Proizvajalec, pri katerem je bil naš BMS kupljen, je slovensko podjetje REC. Ker smo želeli, da nam baterije dajejo 48 V, smo posamezne celice v vozilu vezali zaporedno. Želeli smo, da bi z lahkoto preverili, kakšna je napetost na vsaki celici. V ta namen smo morali vsako baterijo posebej povezati z BMS. Baterijske celice se polnijo preko 450 W napajalne enote. Čas polnjenja nam

nadzoruje BMS. Ker čezmerno polnjenje in praznjenje vpliva na njihovo življenjsko dobo, nam BMS natančno določuje, kolikšna je največja in najmanjša dovoljena napetost na posamezni bateriji. Sistem za nadzorovanje baterij se napaja z napetostjo 12 V. Vsaka celica posebej premore napetost od 3,3 do 3,5 V in niha glede na stanje ostalih celic. Zaradi izgradnje baterijskega zabojnika smo morali k baterijam priključiti še temperaturni senzor, s pomočjo katerega z lahkoto preverimo, kakšna je temperatura pri baterijah. Če temperatura naraste, imamo hlajenje zagotovljeno z dvema ventilatorjema.



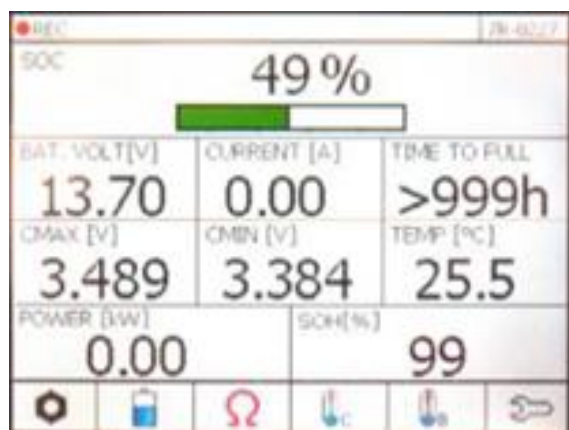
Slika 9: Vezava BMS-a z ostalimi komponentami



Slika 10: BMS REC 9R

### 2.1.5 LCD-PRIKAZOVALNIK NA DOTIK

Zaslon je bil nameščen v avtonomno vozilo zato, da nam služi kot nekakšen grafični prikazovalnik, s pomočjo katerega z lahkoto nadziramo delovanje in stanje celotnega baterijskega kompleta. Zaslon preko vodila RS-485 komunicira z modulom (BMS). Na prikazovalniku LCD je vidno stanje polnjenja, čas polnitve, tokovi in napetosti v posamičnih celicah.

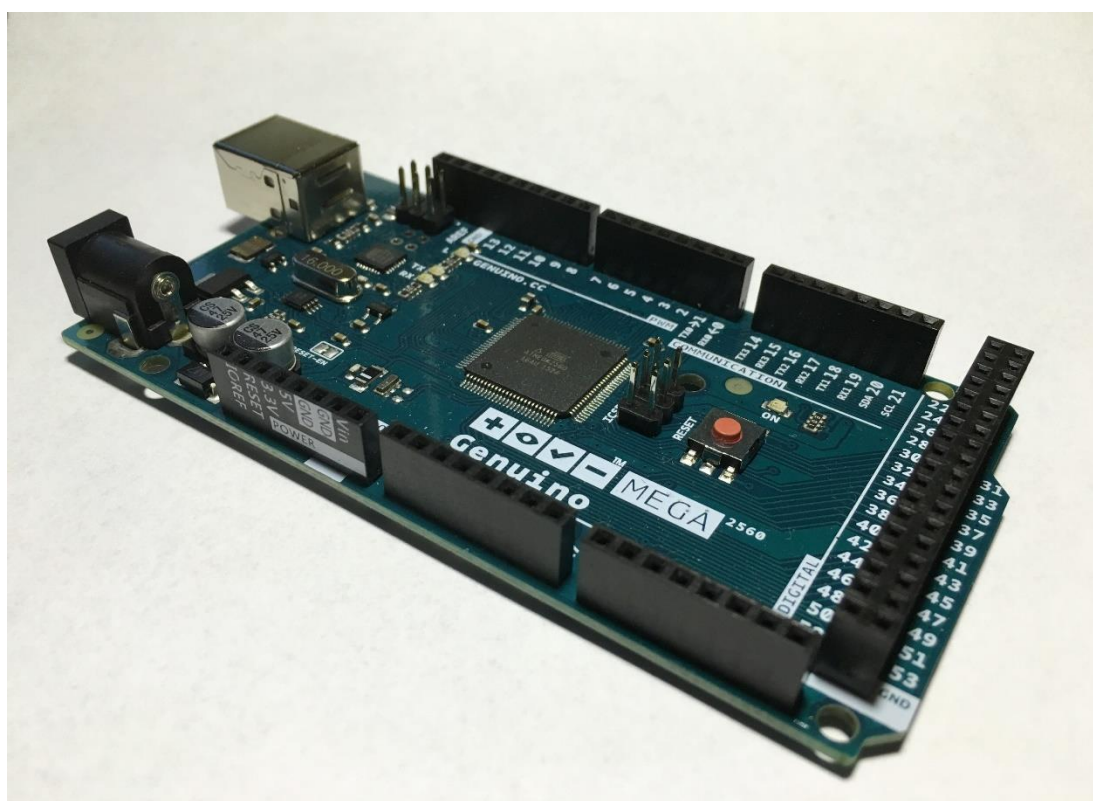


Slika 11: Prikazovalnik stanja baterij

## 2.3 PREDSTAVITEV NADGRADNJE VOZILA

### 2.3.1 SISTEM VODENJA

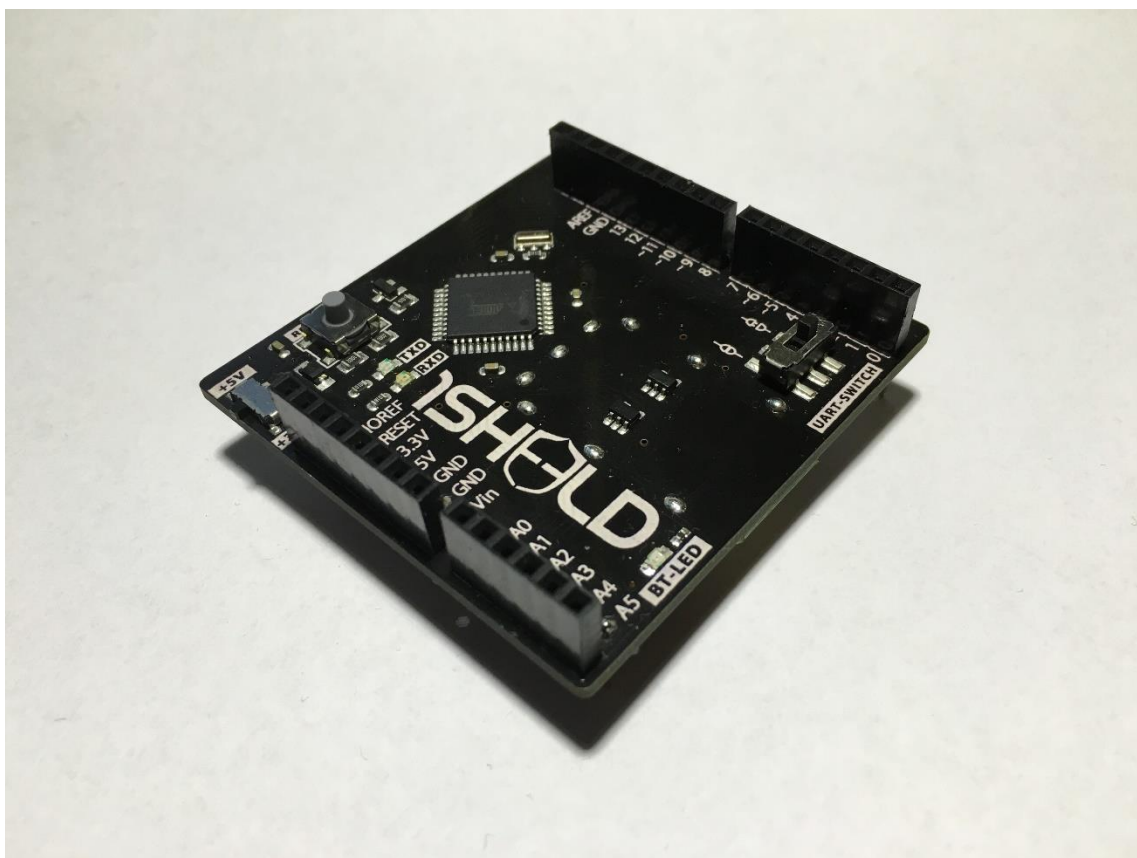
Za osnovo našega vodilnega sistema smo uporabili mikroračunalnik Arduino Mega, osnovan na mikroprocesorju ATmega 2560 proizvajalca Atmel. Arduino Mega se ponaša s 54 digitalnimi izhodno/vhodnimi priključki, od katerih je 15 takšnih, ki nam lahko dajejo pulzno širinsko modulacijo (PWM) in 16 analognih priključkov. V osnovi ima 16 MHz oscilator ter poleg omenjenega ponuja še USB-priključek za enostavno povezavo z osebnim računalnikom. Arduino Mega ponuja 256 KB spomina, od katerega je 8 KB že zasedenega s programsko opremo, ki omogoča nalaganje programa (bootloader). Delovna napetost mikroračunalnika znaša 5 V in nam na izhodu ponuja tok velikosti 20 mA oziroma 50 mA v primeru uporabe 3.3 V napajanja. Mikroračunalnik lahko prav tako napajamo preko zunanje vira napetosti. Priporočeno je, da znaša med 6 V in 20 V.



Slika 12: Mikroračunalnik Arduino Mega 2560

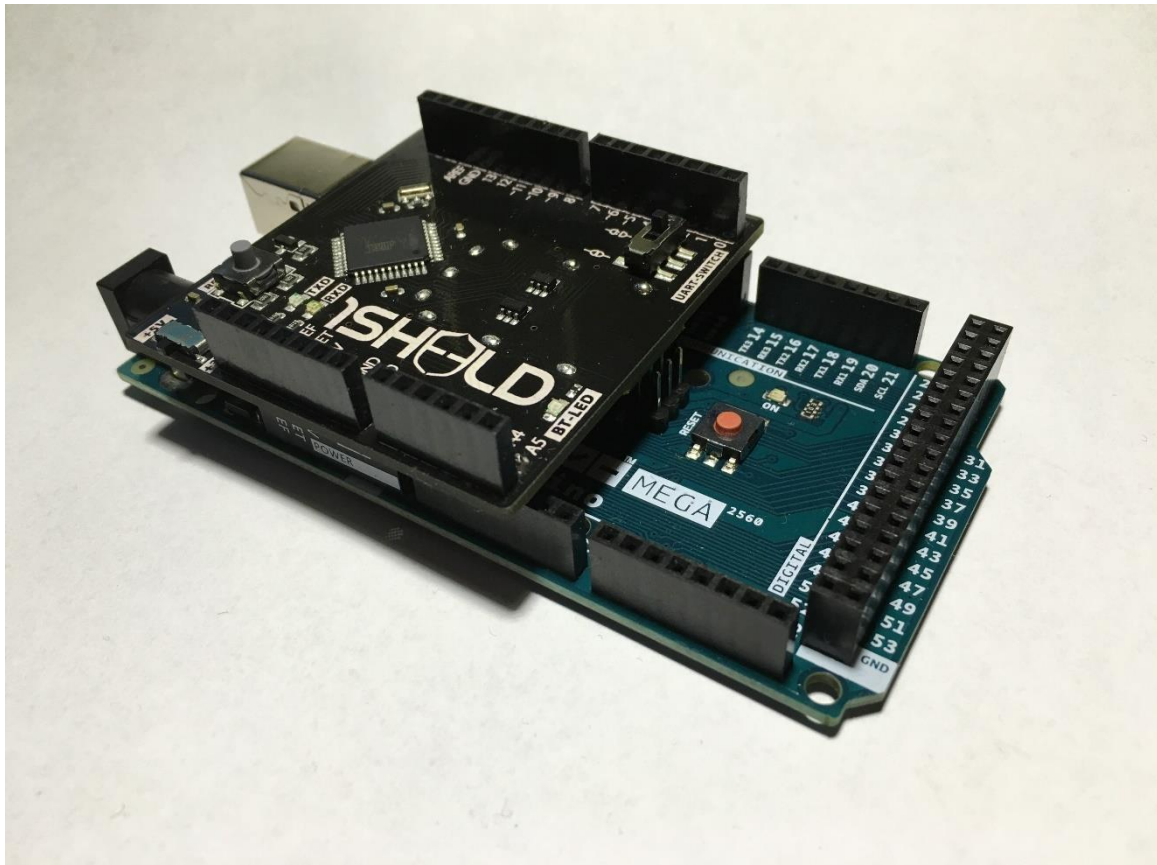


Za razliko od naših predhodnikov, ki so za povezavo med mikroračunalnikom in mobilnim telefonom uporabili Wifi Shield vmesnik, smo v našem primeru uporabili 1Sheeld bluetooth vmesnik. 1Sheeld je enostavno povezljiv z različnimi razvojnimi ploščami Arduino. S pomočjo istoimenske mobilne aplikacije uporabnikom operacijskega sistema Android omogoča široko paleto funkcij, kot so: LCD-Screen, Gyroscope, Switches, LEDs, Accelerometer, Magnetometer, GSM, Wi-Fi, GPS itd. Ob fizičnem spoju z mikroračunalnikom Arduino se 1Sheeld obnaša kot vmesnik za prenos informacij med mikroračunalnikom in Android pametnim telefonom, vendar mora slednji vsebovati Bluetooth. Med drugim je 1Sheeld tudi programska platforma in aplikacija, na kateri lahko izbiramo med različnimi vmesniki. Ta nam omogoča, da ga uporabljamo kot vhod oz. izhod iz mikroračunalnika. S tem lahko uporabljamo vse senzorje, ki so že v osnovi vgrajeni v naš mobilni telefon, namesto da bi kupili dejanski vmesnik.



Slika 13: 1Sheeld vmesnik

Samo vodenje vozila temelji na brezžični povezavi med mobilnim telefonom in mikroračunalnikom s fizično nameščenim 1Sheeld vmesnikom. Z nagibanjem telefona preko aplikacije 1Sheeld razbiramo vrednosti giroskopa ter jih s pomočjo v nadaljevanju opisanega programa ustrezno obdelamo in uporabimo za proženje DC-motorjev. Slednji se glede na kot zasuka s pomočjo H-mostiča pravilno aktivirajo.



*Slika 14: 1Sheeld, nameščen na mikroračunalniku*

### 2.3.2 OPIS PROGRAMA

Krmilni program za vožnjo je napisan v programskem jeziku C++ z razvojnim okoljem Arduino IDE. Na začetku programa je najprej navedena knjižnica brezžičnega vmesnika OneSheeld, čemur sledi še inicializacija vseh spremenljivk, ki se pojavljajo tekom samega programa.

```
#define CUSTOM_SETTINGS
#define INCLUDE_GRAVITY_SENSOR_SHIELD // knjižnico za branje giroskopa iz telefona
#include <OneSheeld.h> // knjižnica OneSheeld

//INICIALIZACIJA SPREMENLJIVK
float x, y , xval, yval; // spremenljivke za določitev vrednosti senzorja
int levi_naprej = 10; // pin za levi motor naprej PWM
int desni_naprej = 6; // pin za desni motor naprej PWM
int n_voznje = 0;
int senzor1 = A0; //inicilizacija senzorja1
int senzor2 = A1; //inicilizacija senzorja2
int senzor3 = A2; //inicilizacija senzorja3
int senzor4 = A3; //inicilizacija senzorja4
int senzor5 = A4; //inicilizacija senzorja5
int senzor6 = A5; //inicilizacija senzorja6
```

*Slika 15: Inicializacija spremenljivk in knjižnica OneSheeld*

Najprej z izbrano funkcijo CUSTOM\_SETTINGS določimo le eno področje iz knjižnice, v našem primeru je to INCLUDE\_GRAVITY\_SENSOR\_SHIELD, s čimer nam ta funkcija onemogoči, da krmilnik bere celotno knjižnico. Funkcija nam omogoča branje podatkov s telefona, v tem primeru vrednosti giroskopa in komuniciranje s pametnim telefonom. Sledi navedba knjižnice OneSheeld, ki je potrebna za vir podatkov komunikacijskega modula OneSheeld.

Po navedbi knjižnice je potrebno določiti vse spremenljivke oziroma vhode ter izhode mikroračunalnika, ki se pojavljajo v programu. Prve spremenljivke x, y, xval in yval služijo za same vrednosti, ki prihajajo iz telefona in jih kasneje uporabljamo za izvajanje vožnje. Sledita izhodni spremenljivki mikroračunalnika, to sta levi\_naprej in desni\_naprej, ki pa nista

navadna digitalna izhoda, ampak sta regulirana s pomočjo PWM<sup>1</sup>-signala. To pomeni, da na izhod pošiljamo pulze in s tem dobimo reguliran izhodni signal. Na koncu sledi še inicializacija priključkov ultrazvočnih senzorjev, in sicer so priključeni na analogne vhode mikroračunalnika.

```
void loop() {  
  OneSheeld.begin(); //začetek komunikacije z Onesheeldom  
  
  pinMode(levi_naprej, OUTPUT); //nastavitev spremenljivke kot izhod  
  pinMode(desni_naprej, OUTPUT); //nastavitev spremenljivke kot izhod  
  
}
```

*Slika 16: Nastavitvena zanka*

Po končani inicializaciji smo morali v nastavitveni zanki oz. void setup() s funkcijo OneSheeld.begin() nastaviti začetek komunikacije z OneSheeld modulom. Po začetku komunikacije smo morali določiti vhode in izhode. To je potrebno storiti, saj lahko vsakemu digitalnemu priključku s funkcijo pinMode določimo, ali bo vhod oziroma izhod. Prav s slednjo smo nastavili pina levi\_naprej in desni\_naprej kot izhod.

Po končani inicializaciji in nastavitvi izhodov smo začeli pisati program v glavno zanko void loop(), ki se neprestano izvaja.

---

<sup>1</sup>PWM – pulse width modulation ali pulzna širinska modulacija

```
void loop() {  
  
    //prebiranje vrednosti senzorja iz telefona  
    x = GravitySensor.getX();  
    y = GravitySensor.getY();  
  
    //preračun resolucije  
    xval = (abs(x)*20/5); // preračun resolucije X  
    yval = (abs(y)*30/6); // preračun resolucije Y  
  
    //izbira načina vožnje  
    switch (n_voznje) {  
        case 0:  
            analogWrite(desni_naprej,LOW);  
            analogWrite(levi_naprej,LOW);  
            break;  
        case 1:  
            analogWrite(desni_naprej,xval);  
            analogWrite(levi_naprej,xval);  
            break;  
        case 2:  
            analogWrite(desni_naprej,yval);  
            break;  
        case 3:  
            analogWrite(levi_naprej,yval);  
            break;  
    }  
}
```

Slika 17: Glavna zanka

Na začetku glavne zanke smo napisali funkcijo za branje vrednosti senzorja iz telefona. To smo storili z ukazom iz knjižnice GravitySensor.getX(), ki nam prebira vrednosti senzorja, ko telefon nagnemo naprej oz. nazaj. GravitySensor.getY() pa nam prebira vrednosti senzorja, ko telefon nagnemo levo oz. desno. Te surove vrednosti iz telefona so za nas neuporabne, zato smo naredili preračun resolucije s pomočjo podatkovnega lista proizvajalca modula OneSheeld.

Sledi kontrolni stavek switch, ki ga pogosto uporabljamo pri določenih izbirah, v našem primeru za izbiro načina vožnje. Pogoji za klic posameznih načinov so določeni v nadaljevanju programa. V vsakem načinu uporabljamo funkcijo analogWrite, s katero zapisujemo vrednosti od 0 do 255, na podlagi nagiba telefona na PWM-izhod mikroračunalnika.

```
//vrednosti X koordinate za izbiro nacina voznje
if (x >= 2) {
    n_voznje = 1;
}

//vrednosti Y koordinate za izbiro nacina voznje
if (y >= 1) {
    n_voznje = 2;
}
else if (y <= -1) {
    n_voznje = 3;
}

//pogoj za zavstavitve vseh motorjev
else if (x < 2 && y < 1) {

    if (x > -2 && y > -1){
        n_voznje = 0;
    }
}
```

Slika 18: Pogoji vožnje

Na zgornji sliki vidimo pogoje, s katerimi kličemo posamezni način vožnje. Na podlagi vrednosti senzorja določamo, kateri način naj pokličemo. Te pogoje smo zapisali s pomočjo osnovnega kontrolnega stavka if.

```
// inicializacija spremenljivk za razdaljao in cm
long razdalja1,cm1;
long razdalja2,cm2;
long razdalja3,cm3;
long razdalja4,cm4;
long razdalja5,cm5;
long razdalja6,cm6;

//////////////////////////////////////////senzori//////////////////////////////////////////
//pošiljanje ultrazvočnega signala
pinMode(senzor1, OUTPUT); //senzor kot izhod
digitalWrite(senzor1, LOW); //v začetku na OFF
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(senzor1, HIGH); //pošiljemo val
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(senzor1, LOW); //senzor po pošiljanju na OFF

//preverjanje ultrazvočnega signala
pinMode(senzor1, INPUT); //senzor kot analogni vhod
razdalja1=pulseIn(senzor1, HIGH); //branje razdalje v času

//pretvorba časa v cm
cm1= mikrosekundevCentimetrel(razdalja1);
delay(50); //zakasnitev za stabilnost
if(cm1<40){
    n_voznje=0;
}
```

Slika 19: Izračun razdalje v času

Zaradi varnosti smo v program dodali 6 ultrazvočnih senzorjev, ki konstantno spremljajo razdaljo od vozila do neke ovire. Na primer, če se 40 cm pred vozilom pojavi ovira, se vozilo nemudoma ustavi. To smo rešili tako, da senzor najprej nastavimo kot oddajnik in preko njega pošljemo val dolg 2 mikrosekunde in po 5 mikrosekundah nastavimo, da je senzor kot sprejemnik, ki posledično sprejema valove. S pomočjo preračuna smo dobili najprej mikrosekunde in jih pretvorili v centimetre. Sklop programa za en senzor lahko vidimo na zgornji sliki. Na spodnji sliki pa vidimo narejen preračun razdalje.

```
//preračun razdalje
long mikrosekundevCentimetrel(long mikrosekunde1)
{
    return mikrosekunde1 /29/2;
}
```

Slika 20: Pretvorba mikrosekund v centimetre

Temu sklopu programa za en senzor smo v nadaljevanju dodali še ostalih 5 in s tem dobili končno obliko ter delovanje programa.

### 2.3.3 ROBOTSKA ROKA KUKA KR5 SIXX R650 WP

Na vozilo smo namestili robota Kuka KR5 sixx R650 WP in njegov robotski krmilnik KRC2. Robot ima šest osi, od katerih so vse rotacijske. Zgrajen je tako, da posnema delovanje človeške roke. KUKA KR5 sixx R650 WP spada med manjše robote, vendar je kljub temu hiter, zmogljiv in uporaben industrijski robot.

V spodnjih tabelah so navedeni osnovni podatki robotske roke.

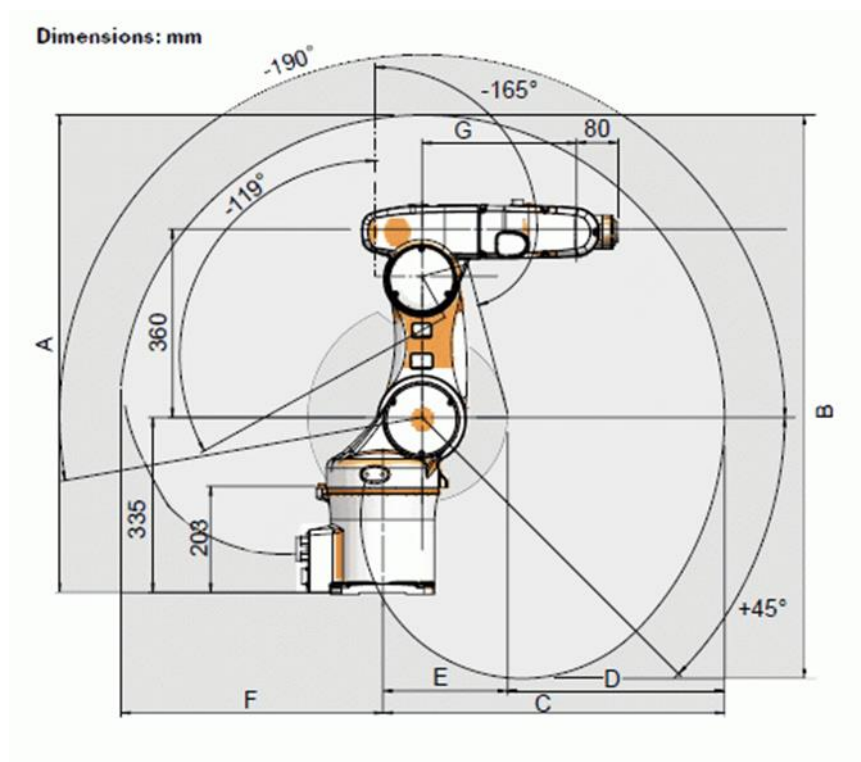
*Tabela 1: Osnovni podatki robotske roke*

Doseg	650 mm
Največja obremenitev	5 kg
Število osi	6
Ponovljivost	±0.02 mm
Teža	127 kg
Delovna temperatura	od +10 °C do +55 °C
Krmilnik	KRC2



Tabela 2: Hitrosti in dosegi po oseh

	HITROSTI PO OSEH	DOSEG PO OSEH
Os 1	375 °/s (6.54 rad/s)	±170°
Os 2	300 °/s (5.24 rad/s)	+45°–190°
Os 3	375 °/s (6.54 rad/s)	+165°–119°
Os 4	410 °/s (7.16 rad/s)	±190°
Os 5	410 °/s (7.16 rad/s)	±120°
Os 6	660 °/s (11.52 rad/s)	±358°



Slika 21: KUKA KR5 sixx R650 WP

### 2.3.4 RAZSMERNIK ZA NAPAJANJE ROBOTA

Izbrati smo morali razsmernik, ki bo zadoščal karakteristikam porabnika. V našem primeru je to robotska roka. Poleg vseh potreb porabnikov smo morali razsmernik izbrati tudi glede na napajanje vozila. Vozilo ima napajalno napetost 48 V DC, zato smo razsmernik iskali s karakteristikami: vhodne napetosti 48 V DC in izhodne napetosti 230 V AC z močjo 3000 W. Po dolgem iskanju smo našli razsmernik, ki ustreza našim zahtevam.



Slika 22: Izbran razsmernik

Tabela 3: Karakteristike razsmernika

Vhodna napetost	48 V DC
Izhodna napetost	230 V AC
Izhodna moč	3000 W
Max moč (1s)	6000 W
Oblika sinusa	čisti sinus
Izkoristek pri nominalni moči	> 85 %
Masa	7 kg
Dimenzije	4605 x 230 x 110 mm

### 2.3.5 KUKA KRC 2 SR ROBOTSKI KRMILNIK

Robotski krmilnik KRC 2 SR in Kuka KR5 sta medsebojno kompatibilna. Robotsko roko in krmilnik smo morali povezati z močnostnim vodnikom ter z enkoderskim vodnikom. Močnostni vodnik ima za vsako os oziroma pogon svoje napajanje. Preko enkoderskega vodnika dobimo na krmilnik povratne podatke o položaju in hitrosti vsakega pogona posebej.

Kompaktni KUKA KRC 2 SR krmilnik je narejen za majhne robote, ki potrebujejo natančno in hitro gibanje. Robotski krmilnik ima za programski vmesnik operacijski sistem Windows. Omogoča nadzor pogonov, nadzor varnostnega sistema in lahko komunicira z ostalo periferijo.



*Slika 23: Robotski krmilnik*

### 2.3.6 KUKA UPRAVLJALNI PANEL KCP (TEACH PENDANT)

Krmilnik ima tudi izhodni konektor za povezavo z upravljalnim panelom oz. Teach Pendant. Panel je grafični vmesnik oz. komunikator z robotskim krmilnikom. Na njem lahko dejansko programiramo, nastavljamo razne parametre in robota lahko tudi ročno vozimo.



Slika 24: Upravljalni panel KCP

Na zgornji sliki je shema upravljalnega panela, na kateri lahko vidimo nekaj osnovnih delov. Tukaj je opisanih nekaj osnovnih funkcij panela:

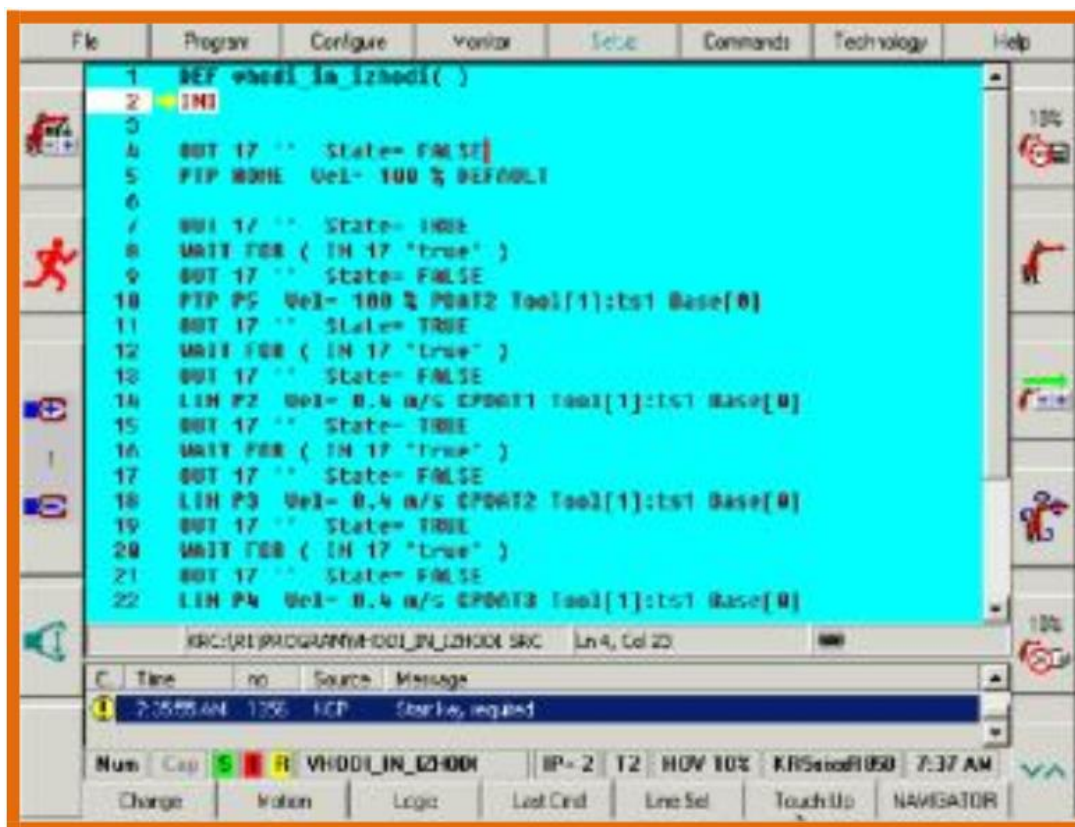
- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. izbira režima (avtomatsko, ročno, test 1, test 2) | 10. numerična tipkovnica |
| 2. vklop pogonov                                     | 11. variabilne tipke     |
| 3. izklop pogonov                                    | 12. tipka start nazaj    |
| 4. stop gobica                                       | 13. tipka start          |
| 5. 6D-miška,   | 14. tipka izbira okna    |
| 6. upravljalne tipke +,-                             | 15. tipka ESC            |
| 7. tipka Enter oz. potrdi                            | 17. statusne tipke       |
| 8. kurzorske tipke                                   | 18. tipka meni           |
| 9. tipkovnica  |                          |

### 2.3.7 ROBOTSKI PROGRAM

Pri programiranju Kuka robotov uporabljamo programski jezik KRL, ki je kratica za programski jezik, ki ga uporabljamo pri programiranju. Kuka robot language je bil razvit na podlagi programskega jezika basic. S tem jezikom lahko izvajamo ukaze, ki jih robot kasneje v samem delovanju izvrši.

Robot zna v osnovi izvajati 3 osnovne premike v prostoru. To so:

1. **PTP** (Point to point) je poimenovanje za gib, s pomočjo katerega se robot prestavi po najkrajši možni poti do neke določene točke.
2. **LIN** (Linear) je gibanje, pri katerem se robotska roka giblje linearno po prostoru v smeri x, y in z.
3. **CIRC** (Circular) je gib, pri katerem se robotska roka giblje po neki krožnici. Pri tem načinu moramo poleg končne določiti še sredinsko točko.



Slika 25: Slika robotskega programa

## 2.4 KALKULACIJA IN RAZISKAVA TRGA

Ker smo si v uvodu zadali cilj, da projekt raziščemo še po podjetniški plati, bomo v nadaljevanju predstavili raziskavo trga in kalkulacijo stroškov, ki so nastali med izdelavo avtonomnega multifunkcijskega vozila ter med samo nadgradnjo. Na tržišču se pojavlja veliko avtonomnih robotskih platform, ki se po konstrukciji in principu delovanja lahko primerjajo z našim vozilom. Vendar je za tržno raziskavo najprej potrebno poznati stroške, ki so nastali na vozilu, da lahko sploh začnemo delati primerjave. Cena, po kateri lahko nekemu ponudimo svoj izdelek, je odvisna od različnih faktorjev. Najprej so to lastni stroški. Slednji nastanejo med izdelavo in priporočeno je, da so povrnjeni. K njim prištevamo porabo materiala, uporabo strojev in stroške dela.

*Tabela 4: Skupni materialni stroški*

Št.	Naziv materiala	Cena na kos, m, m <sup>2</sup> (€)	Količina (kos, m, m <sup>2</sup> )	Cena materiala(€)
1.	Podvozje oz. ohišje	69	1	69
2.	Pnevmatika pogonska	28	2	56
3.	Pnevmatika prosta	15	2	30
4.	Amortizerji koles	18	8	144
5.	Elektro motor	150	2	300
6.	Zavorni sistem	325	1	325
7.	ALU profili	20	17	340
8.	Pločevina	10	2	20
9.	Pleksi steklo	20	3	60
10.	Zaščitna podlaga	10	2	20
11.	Amortizerji za ploščad	25	2	50
12.	Baterija	100	15	1500
13.	Usmernik	25	1	25
14.	BMS sistem	325	1	325
15.	Arduino Mega	67	1	67
16.	OneSheeld	55	1	55
17.	DC napajalnik	17	1	17
18.	H-mostič	11	2	22
19.	Kontaktor 48v	115	3	345
20.	Rele	4	1	4
21.	Ventilator	6	2	12
22.	Glavno stikalo	15	1	15
23.	STOP gobica	7	1	7
24.	Vklopno stikalo	7	1	7
25.	Ultrazvočni senzor	32	6	192
26.	Razdelilna el. Plošča	5	2	10
27.	Žični kanali	12,5	2	25
28.	Glavni vodniki	3	4	12
29.	Ostali vodniki	2	15	30
30.	Ohišja senzorjev	17	6	102
31.	Razdelilna doza	5	1	5
32.	Kuka (robotska roka)	5300	1	5300
33.	Razsmernik 48v/230v	500	1	500
SKUPNI STROŠKI MATERIALA				9991

Tabela 5: Stroški dela

	CENA URE (€/h)	ŠT. UR (h)	CENA (€)
MONTAŽA	10	350	3500
PROGRAMIRANJE	30	70	2100
STROJNI DEL	25	100	2500
SKUPNO DELO			8100

V zgornjih tabelah so predstavljeni vsi stroški, ki so nastali pri izdelavi in nadgradnji vozila. Kakšno ceno bomo ponudili, je odvisno tudi od dobička, ki si ga zastavimo. V našem primeru smo hoteli doseči 20 % dobiček in ga izračunali po naslednjem postopku.

$$\text{Lastni stroški} = \text{stroški dela} + \text{skupni stroški materiala}$$

$$\text{Lastni stroški} = 9991 \text{ €} + 8100 \text{ €} = 18091 \text{ €}$$

$$\text{Znesek dobička} = \text{lastni stroški} \times (\text{željen dobiček}/100 \%)$$

$$\text{Znesek dobička} = 18091 \text{ €} \times (20 \%/100 \%) = 3618,2 \text{ €}$$

Z lastnimi stroški lahko izračunamo neto in bruto prodajno ceno. Neto prodajna cena poleg lastnih stroškov vsebuje še delež dobička, vendar za razliko od bruto prodajne cene ne vsebuje davka na dodano vrednost, ki v našem primeru znaša 22 %.

$$\text{Neto prodajna cena} = \text{lastni stroški} + \text{znesek dobička}$$

$$\text{Neto prodajna cena} = 18091 \text{ €} + 3618,2 \text{ €} = 21709,2 \text{ €}$$

$$\text{Davek na dodano vrednost} = \text{neto prodajna cena} \times \text{delež davka na dodano vrednost}$$

$$\text{Davek na dodano vrednost} = 21709,2 \text{ €} \times (22 \%/100 \%) = 4776 \text{ €}$$

*Bruto prodajna cena = neto prodajna cena + davek na dodano vrednost*

$$\text{Bruto prodajna cena} = 21709,2 \text{ €} + 4776 \text{ €} = 26485,2 \text{ €}$$

V primeru, da hočemo zagotovo doseči zastavljen dobiček, moramo v ceno vključiti vse odbitke od cene, kot so rabat proizvajalca in morebitne popuste. Rabat je popust, ki ga proizvajalec odobri prodajalcu za prodajo dobavljenega izdelka. Popust nam predstavlja nek dobrobit, ki ga proizvajalec odobri prodajalcu za predčasno plačilo dobavljenega izdelka ali pa ga trgovec odobri končni stranki. Vendar je treba od neto prodajne cene najprej odšteti rabat, pred izračunom končne nakupne cene pa še popust. V našem primeru smo odobrili 5 % rabat in 7 % popusta.

*Rabat = neto prodajna cena × delež rabata*

$$\text{Rabat} = 21709,2 \text{ €} \times (5 \% / 100 \%) = 1085,5 \text{ €}$$

*Ciljna prodajna cena = neto prodajna cena – rabat*

$$\text{Ciljna prodajna cena} = 21709,2 \text{ €} - 1085,5 \text{ €} = 20623,7 \text{ €}$$

*Popust = ciljna prodajna cena × delež popusta*

$$\text{Popust} = 20623,7 \text{ €} \times (7 \% / 100 \%) = 1443,7 \text{ €}$$

*Gotovinska prodajna cena = ciljna prodajna cena – popust*

$$\text{Gotovinska prodajna cena} = 20623,7 \text{ €} - 1443,7 \text{ €} = 19180 \text{ €}$$

*Dobiček = gotovinska prodajna cena – lastni stroški*

$$\text{Dobiček} = 19180 \text{ €} - 18091 \text{ €} = 1089 \text{ €}$$

*Delež dobička = dobiček / lastni stroški*

$$\text{Delež dobička} = 1089 \text{ €} / 18091 \text{ €} \times 100 \% = 6 \%$$



Šele ob dobljenih rezultatih smo lahko pričeli z raziskavo trga. Pri tem nismo primerjali zgolj samih lastnosti, ampak tudi ceno vozila. Ugotovili smo, da imajo že skoraj vse večje korporacije, ki se ukvarjajo z izdelavo robotov, zasnovano podobno vozilo. Pomembna razlika med našim vozilom in robotsko platformo Kuka youBot je v ceni. Primerjali in ugotovili smo, da cenovno sovpadata naše vozilo, z nosilnostjo 200 kg, in omenjena platforma Kuka, z nosilnostjo 2 kg. Ta velika razlika v nosilnosti vozila nas je prepričala, da lahko z dokaj majhnimi stroški dokončamo vozilo in s tem cenovno konkuriramo večjim dobaviteljem. Zasledili smo številne natečaje, ki jih razpisujejo razna podjetja za izdelavo avtonomnih robotskih platform. V ta namen je bilo narejeno in na spletu objavljeno že veliko konceptov.

### 3 PREDSTAVITEV REZULTATOV

S pomočjo zastavljenih hipotez in raziskovalnih metod nam je raziskavo uspelo pripeljati do konca. Kljub mnogim zapletom in težavam pri programiranju in izdelavi opisane nadgradnje smo uspeli raziskati in izdelati primerno obliko željenega sistema. Popravek samega programa ni zgolj izboljšal vozne lastnosti, ampak tudi omogočil povezavo signalnega dela z močnostnim. Z raziskavo vozil, ki se pojavljajo na trgu, smo ugotovili, da naš izdelek ni edini, vendar dovolj konkurenčen. S tem smo potrdili hipotezo, ki govori, da bo vozilo tržno zanimivo in primerljivo s podobnimi vozili. Cena takšnega sistema ni previsoka v primerjavi z obstoječimi robotskimi platformami. Zavedamo se dejstva, da ni pomembno zgolj izdelati tržno konkurenčen izdelek, ampak ga je pomembno tudi prodati.



Slika 26: Končni izdelek

## **4 ZAKLJUČEK**

Ker se v svetu pojavlja vse večje zanimanje za avtonomne naprave se je podobna tehnika začela uporabljati tudi v robotiki v obliki avtonomnih robotskih platform. Če imajo že vse večje robotske korporacije razvite robotske platforme, tudi mi nismo hoteli zaostajati. Ker se kolesa razvoja neusmiljeno vrtijo, je bilo potrebno narediti avtonomno robotsko vozilo, ki ne bi bilo samo tehnično, ampak tudi tržno zanimivo in primerljivo s podobnimi platformami. Na srečo je bil velik del narejen že pri naših predhodnikih. Tako smo že obstoječe vozilo nadgradili z drugačnim vmesnikom za povezavo med uporabnikom in mikroračunalnikom ter ključnim delom nadgradnje – robotsko roko. Z zastavljenimi cilji in hipotezami nam je nadgradnjo uspelo tudi realizirati. Zadane cilje in hipoteze smo, kljub velikim težavam pri programiranju, uspešno uresničili. Uspelo nam je rešiti težavo z vožnjo in vse komponente spraviti v cenovni okvir, ki smo si ga zadali.

## **5 ZAHVALA**

Zahvaljujemo se g. Robertu Ojsteršku, mag. inž. meh., za pomoč pri vezavi in koordinaciji skozi celoten projekt. Prav tako se zahvaljujemo g. Matjažu Cizeju, univ. dipl. inž., za pomoč pri vezavi močnostnega dela in izračunu vseh nastalih stroškov, ter g. Stevu Romaniču, dipl. inž., ki nam je pomagal pri izdelavi strojnih komponent.

Zahvaljujemo se tudi naši profesorici slovenščine ge. Brigiti Renner, prof., ki si je vzela čas in skrbno prebrala ter lektorirala raziskovalno nalogo.

## 6 VIRI

[1] BASTIAN, P. Elektrotehniški priročnik. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije. 2013.

[2] HARB, R. Krmilna tehnika. 4. natis. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije. 2011.

[3] 1Sheeld (online). (citirano 8. 3. 2016). Dostopno na naslovu:  
[www.1sheeld.com/blog/download-1sheeld-schematics-and-board-files/](http://www.1sheeld.com/blog/download-1sheeld-schematics-and-board-files/)

[4] Arduino Mega (online). (citirano 8. 3. 2016). Dostopno na naslovu:  
[www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560](http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560)

[5] Kuka kr5 sixx r650 (online). (citirano 8. 3. 2016). Dostopno na naslovu:  
[www.robots.com/kuka/kr-5-sixx-r650](http://www.robots.com/kuka/kr-5-sixx-r650)

## 7 IZJAVA

Mentorji (-ice), Matjaž Cizej, Robert Ojsteršek in Stevo Romanič, v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljamo, da je v raziskovalni nalogi z naslovom

Nadgradnja multifunkcijskega avtonomnega vozila z robotsko roko,  
katere avtorji (-ice ) so Vid Černec, Miha Kajbič, Žan Kramžar.

-besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,

-pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,

-da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo (-ičino) dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,

-da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,

-da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oz. besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,

-da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 8. 3. 2016

žig šole

Podpis mentorjev(-ic)

Podpis odgovorne osebe