

Univerzitet u Kragujevcu  
Fakultet inženjerskih nauka



# Mikroprocesorski sistemi

## Projektna dokumentacija:

Sistem dozvole lansiranja projektila iz tenka preko USART komunikacije

Student:  
Aleksandar Kondić, 575/2015

Predmetni nastavnik:  
Prof. dr Aleksandar Peulić

# Sadržaj

<b>1 Izjava o samostalnoj izradi rada</b>	<b>3</b>
<b>2 Projektni zadatak</b>	<b>4</b>
2.1 Format zahteva i odgovora u USART komunikaciji	4
<b>3 Tehnički opis sistema</b>	<b>5</b>
3.1 Razvojno okruženje EasyMx PRO™ v7 for STM32®	5
3.2 EasyMx PRO™ v7 for STM32® MCUcard with STM32F746VGT6	6
3.3 mikroC PRO for ARM	7
3.4 mikroProg Suite for ARM	8
<b>4 Tehnički uslovi</b>	<b>9</b>
4.1 Maksimalne ocene tehničkih uslova uređaja	9
4.2 Generalni operativni uslovi uređaja	9
<b>5 Prilog o primenjenim propisanim merama zaštite na radu u skladu sa Zakonom o bezbednosti i zdravlju na radu</b>	<b>10</b>
<b>6 Predmer i predračun radova i materijala</b>	<b>11</b>
<b>7 Specifikacija materijala</b>	<b>11</b>
<b>8 Potrebni odgovarajući proračuni</b>	<b>12</b>
<b>9 Odgovarajuća grafička dokumentacija</b>	<b>13</b>
9.1 Šema povezivanja senzora, mikrokontrolera i spoljnog uređaja koji šalje zahteve	13
9.2 Relevantne blok šeme mikrokontrolera	14
<b>10 Literatura</b>	<b>17</b>

## 1. Izjava o samostalnoj izradi rada

### IZJAVA

Potpisivanjem izjavljujem da ja, Aleksandar Kondić, student Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu (broj indeksa: 575/2015), samostalno, uz konsultacije sa predmetnim nastavnikom i korišćenjem literature koja je naznačena u projektnoj dokumentaciji, vršim izradu svog projektnog zadatka i dokumentacije iz predmeta Mikroprocesorski sistemi.

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

*A. Kondić*

## 2. Projektni zadatak

Na raznim delovima tenka postavljeni su senzori koji prate različite parametre tenka. Izlazi iz svih senzora su digitalni i jedine moguće vrednosti izlaza su logička jedinica (1 - 5V) ili logička nula (0 - 0V).

Potrebno je napisati program za mikroprocesor koji je deo mikrokontrolera, koji korišćenjem USART komunikacije, omogućenom USART modulom mikrokontrolera u kojem se mikroprocesor nalazi, odgovara na zahteve spoljnog uređaja za lansiranje projektila iz cevi kupole tenka. Odgovor na zahtev zavisi od trenutnog stanja u kojem se tenk nalazi, koje je određeno vrednostima izlaza pomenutih senzora.

Parametri tenka koji se razmatraju su:

- da li je zatvoren poklopac otvora vozača,
- da li je zatvoren poklopac otvora komandira,
- da li su zatvorena vrata nišandžije,
- da li su zatvorena vrata punjača,
- da li je cev oslobođena,
- da li je punjač slobodan, i
- da li tenk ima dozvolu za gađanje.

Ako je odgovor na neko od ovih pitanja “da”, onda je logička vrednost na izlazu senzora koji meri odgovarajući parametar jednaka jedinici (1), u suprotnom je jednaka nuli (0).

### 2.1 Format zahteva i odgovora u USART komunikaciji

Format zahteva je jedan bajt koji ima heksadecimalnu vrednost 0x61.

Mikrokontroler šalje odgovor samo ukoliko primljeni podatak odgovara napomenutom formatu zahteva. Format odgovora je takođe jedan bajt. Bit najmanje težine (bit 0 u ovom tekstu) predstavlja odgovor na zahtev za lansiranje projektila i logička vrednost 1 tog bita znači da tenk može da lansira projektil, dok logička vrednost 0 tog bita znači da tenk ne može da lansira projektil.

Ostali bitovi u bajtu odgovora predstavljaju stanje ispunjenja uslova koje trenutno stanje tenka mora da ispuni da bi dobio dozvolu za lansiranje projektila. Ti uslovi su direktno povezani sa parametrima koje prate senzori na tenku, i **logička nula** u odgovoru znači da je odgovarajući uslov **ispunjen**, dok logička jedinica znači da odgovarajući uslov nije ispunjen. Sledi lista uslova kao i njihovo mapiranje na bitove bajta odgovora:

- *bit 7 (bit najveće težine u ovom tekstu)* - zatvoren je poklopac otvora vozača,
- *bit 6* - zatvoren je poklopac otvora komandira,
- *bit 5* - zatvorena su vrata nišandžije,
- *bit 4* - zatvorena su vrata punjača,
- *bit 3* - cev je oslobođena,
- *bit 2* - punjač je slobodan, i
- *bit 1* - tenk ima dozvolu za gađanje.

Ovakav format odgovora ima specifično značenje. Ako su svi uslovi ispunjeni, vrednost bita 0 je logička jedinica dok su logičke vrednosti svih ostalih bitova nule, što predstavlja kod dozvolje za lansiranje projektila. Ako nisu svi uslovi ispunjeni, onda je vrednost bita 0 logička nula, dok svaki bit koji predstavlja uslov koji *nije* ispunjen ima vrednost logičke jedinice. Ostali bitovi (bitovi koji odgovaraju uslovima koji su ispunjeni), naravno, imaju vrednost logičke nule.

### 3. Tehnički opis sistema

Tokom izrade ovog projektnog zadatka korišćene su sledeće tehničke komponente:

- Razvojno okruženje EasyMx PRO™ v7 for STM32®
- EasyMx PRO™ v7 for STM32® MCUcard with STM32F476VGT6

Vredi napomenuti i softverske komponente koje su korišćene tokom izrade ovog projektnog zadatka:

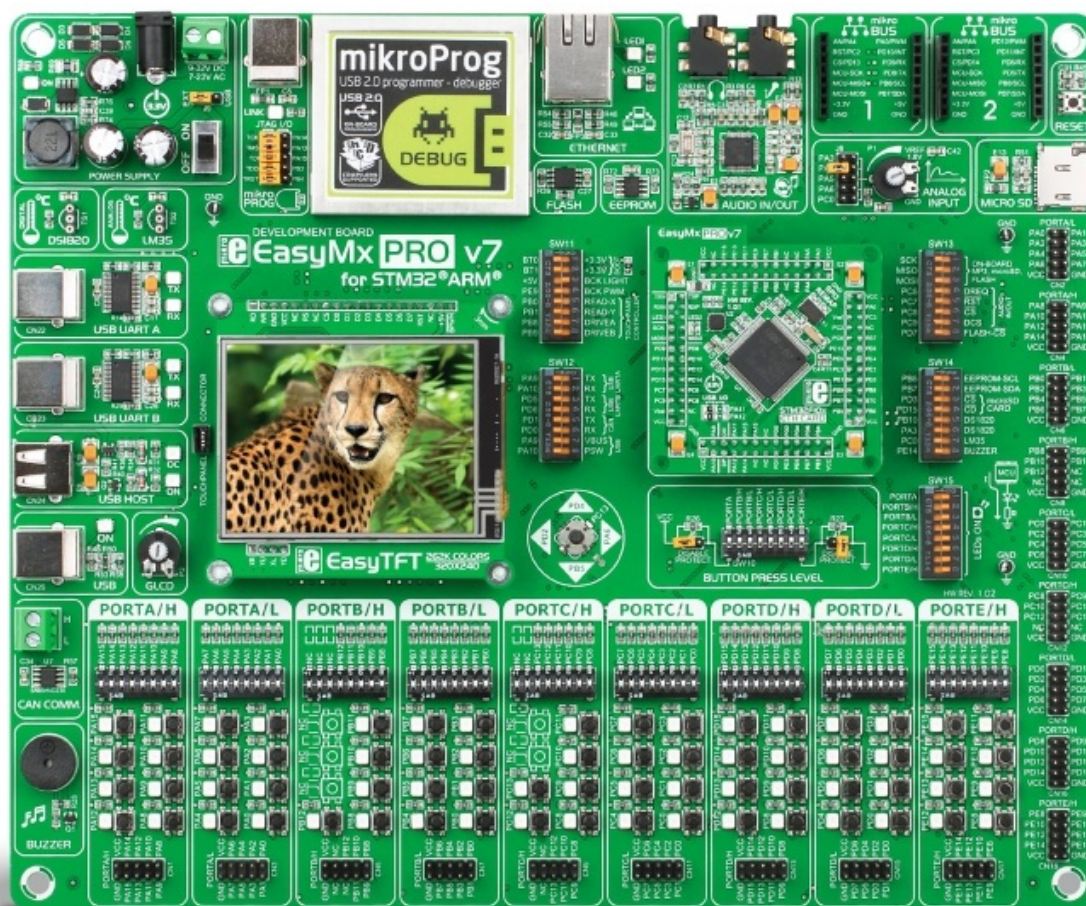
- mikroC PRO for ARM
- mikroProg Suite for ARM

#### 3.1 Razvojno okruženje EasyMx PRO™ v7 for STM32®

EasyMx PRO v7 for STM32 ARM® je razvojno okruženje za STM32 ARM uređaje. Sadrži široki spektar modula i ulazno/izlaznih elemenata koji su pogodni kao korisnički interfejs prema mikrokontroleru, koji je koristan prilikom projektovanja i razvoja mikroprocesorskih sistema.

Tehnička specifikacija:

<b>Primena:</b>	Razvoj i testiranje <i>firmware</i> -a, kreiranje prototipova, učenje o programiranju <i>embedded</i> sistema
<b>Veličina displeja:</b>	2.8"
<b>Rezolucija:</b>	320x240px
<b>Grafički kontroler:</b>	Ugrađen unutar MCU kartice
<b>Ekran osetljiv na dodir:</b>	Rezistivni
<b>Arhitektura:</b>	ARM (32-bitna)
<b>MCU:</b>	MCU sa mikrokontrolerom STM32F476VGT6
<b>Moduli:</b>	Priključci za LM35 i DS1820 senzore temperature, džojstik, ADC potencijometri
<b>Programator:</b>	mikroProg for STM32
<b>Skladištenje podataka:</b>	Serijska FLASH memorija, serijski EEPROM (1024 bajtova), slot za microSD karticu
<b>Zvuk i audio:</b>	Piezo buzzer, VS1053 MPEG Audio codec, Audio konektori
<b>Proširivost:</b>	2 x mikroBUS priključka, 2 x IDC10 zaglavlja za svaki PORT
<b>Integrisanje:</b>	montažne rupe
<b>Napajanje:</b>	5V preko USB-a ili 9-32V AC, 7-23V DC preko adaptera



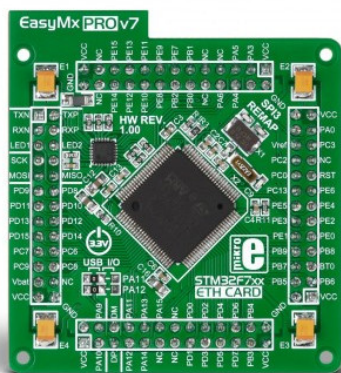
Slika 1: Razvojno okruženje EasyMX PRO™ v7 for STM32®

### 3.2 EasyMx PRO™ v7 for STM32® MCUcard with STM32F746VGT6

MCU kartica je modul razvojnog okruženja koja služi za povezivanje mikrokontrolera sa razvojnim okruženjem. Ovo je prva MCU kartica za EasyMx PRO v7 koja nosi ARM® Cortex®-M7 mikrokontroler. Ova MCU kartica na sebi ima STM32F746-100 mikrokontroler sa periferijama koje se nalaze na čipu. Takođe sadrži kristalni oscilator frekvencije od 25 MHz, USB komunikacione linije i Ethernet primopredajnik.

### Tehnička specifikacija:

<b>Arhitektura:</b>	ARM (32-bitna)
<b>MCU:</b>	STM32F476VGT6
<b>Brzina MCU:</b>	462 DMIPS, 216 MHz, 2.14 DMIPS/MHz
<b>Napajanje:</b>	3.3V
<b>Kompatibilnost sa:</b>	EasyMx PRO v7 for STM32



Slika 2: MCU kartica sa STM32F746VGT6 mikrokontrolerom



Slika 3: STM32F746VGT6 mikrokontroler

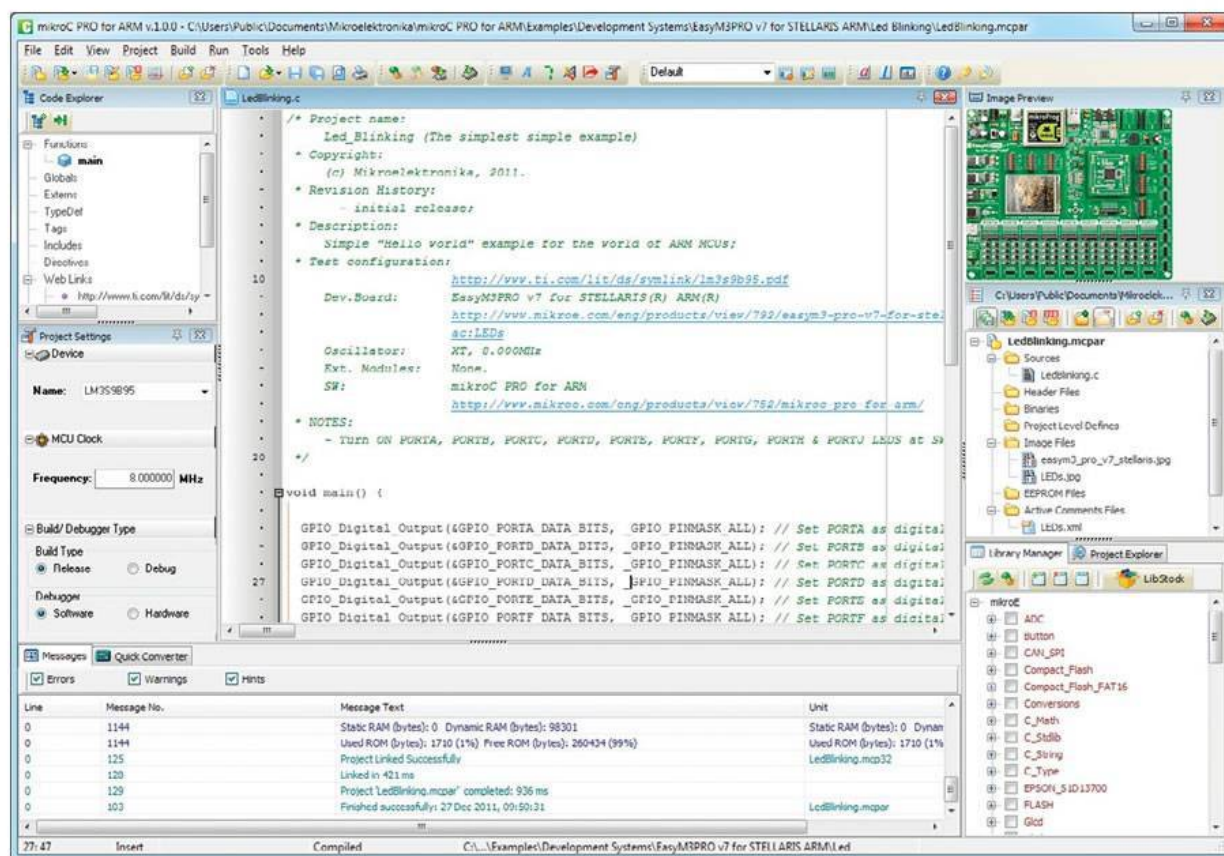
### 3.3 mikroC PRO for ARM

mikroC PRO for ARM je integrisano softversko razvojno okruženje za programiranje mikroprocesora ARM arhitekture u programskom jeziku C - sa ponekim modifikacijama programskog jezika od strane Mikroelektronike. U sebi takođe sadrži mikroC Pro programski prevodilac za ARM mikrokontrolere/uređaje. Za izradu ovog projekta bila je dovoljna besplatna (demo) verzija programa zbog male veličine rezultujućeg programskog koda za mikroprocesor.

Sledi lista ponekih karakterističnosti ovog razvojnog okruženja softvera:

- Preko 1200 funkcija iz ugrađenih biblioteka
- Preko 400 primera programskog koda za različite podržane uređaje
- Preko 1140 podržanih mikrokontrolera
- FreeRTOS podrška za razvoj sistema koji rade u realnom vremenu
- Visual TFT integrisano razvojno okruženje za razvoj grafičkih aplikacija
- Hardware debugging
- Obimna dokumentacija
- Doživotna licenca

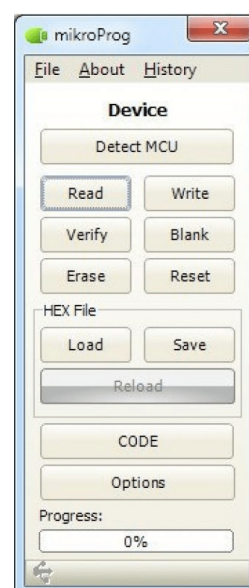




Slika 4: mikroC PRO for ARM softversko razvojno okruženje

### 3.4 mikroProg Suite for ARM

*mikroProg Suite* je softver koji se koristi za upravljanje programatorom razvojnog okruženja - bio on ugrađen kao komponenta razvojnog okruženja ili eksterna komponenta. On je ključan deo programiranja mikrokontrolera kodom koji je generisao programski prevodilac. Takođe omogućava upravljanje kodom i podacima posle procesa programiranja mikrokontrolera. Interfejs ove aplikacije prikazan je na slici 5.



Slika 5: mikroProg Suite for ARM



## 4. Tehnički uslovi

U realnoj praktičnoj primeni ovog sistema, neće biti korišćeni ni EasyMx razvojno okruženje, niti MCU kartica na kojoj se nalazi mikrokontroler sa dodatnim periferijama, već će se samo koristiti mikrokontroler (STM32F476VGT6). Iz navedenog sledi da tehnički uslovi sistema zavise isključivo od tehničkih uslova samog mikrokontrolera.

### 4.1 Maksimalne ocene tehničkih uslova uređaja

Slede apsolutno maksimalni operativni i skladišni uslovi mikrokontrolera, gde prekoračenje ograničenja koji slede u najvećem broju slučajeva rezultuje u oštećenju samog mikrokontrolera:

- **Naponski uslovi:**

- Napajanje:  $-0.3V \leq V_{DD} \leq 4V$
- Napon na ulaznim pinovima:  $-0.3V \leq V_{IN} \leq 4V$

- **Strujni uslovi:**

- $I_{V_{DD}max} = 100mA$  — Maksimalna jačina struje jedne dovodne linije napajanja
- $I_{V_{SS}max} = -100mA$  — Maksimalna jačina struje jedne odvodne linije napajanja (uzemljena linija)
- $|I_{IOmax}| = 25mA$  — Maksimalna jačina struje koju ulazno/izlazni pin šalje ili prima
- $\max \sum I_{V_{DD}} = 320mA$  — Maksimalna jačina ukupne dovodne struje napajanja
- $\max \sum I_{V_{SS}} = -320mA$  — Maksimalna jačina ukupne odvodne struje napajanja

- **Termički uslovi:**

- $-65^{\circ}C \leq T_{STG} \leq 150^{\circ}C$  — Opseg temperature okruženja u kojem uređaj može da se skladišti bez njegovog rada
- $T_{Jmax} = 125^{\circ}C$  — Maksimalna radna temperatura poluprovodničkih komponenti uređaja

### 4.2 Generalni operativni uslovi uređaja

U sledećoj listi su opisani opsezi parametara mikrokontrolera koji su tipični za takav mikrokontroler tokom njegovog rada:

- $1.7V \leq V_{DD} \leq 3.3V$  — Operativni opseg napajanja mikrokontrolera
- $-0.3V \leq V_{IN} \leq 3.3V$  — Operativni opseg napona na ulaznim pinovima
- $P_{Dmax} = 351mW$  — Maksimalna disipacija snage
- $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 125^{\circ}C$  — Opseg operativne temperature poluprovodničkih elemenata

Neka od ovih ograničenja se tehnički mogu prekoračiti, ali samo uz oprez.

## **5. Prilog o primenjenim propisanim merama zaštite na radu u skladu sa Zakonom o bezbednosti i zdravlju na radu**

Prilikom izrade projektnog zadatka ispoštovana su bezbednosna pravila koja su u skladu sa Zakonom o bezbednosti i zdravlju na radu („Sl. glasnik RS“, br. 101/2005).

## 6. Predmer i predračun radova i materijala

Uzeće se u obzir samo materijali koji su potrebni za realizaciju ovog projektnog zadatka, izuzimajući elemente koji su spoljni u odnosu na realizovani sistem, kao što su senzori, potrebno kabliranje, uređaj koji šalje zahteve mikrokontroleru preko USART komunikacije, i sam tenk čiji se parametri mere. Takođe će se izostaviti cena vršenja razvoja samog sistema (rada), zato što je on u ovom slučaju praktično besplatan.

Slede materijali koji su bili potrebni za izradu projektnog zadatka, zajedno sa njihovim cenama:

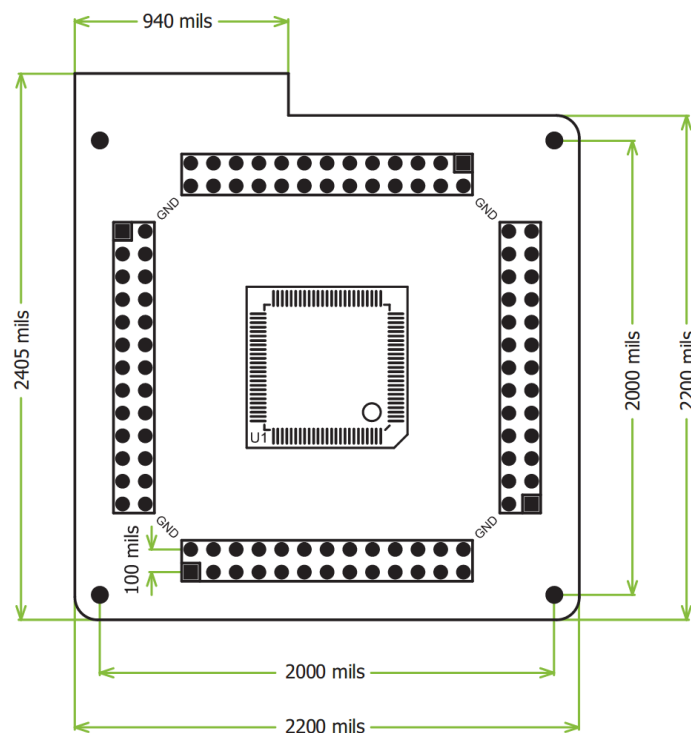
- Razvojno okruženje EasyMx PRO™ v7 for STM32®: **169.00 USD ≈ 17457.99 RSD**
- EasyMx PRO™ v7 for STM32® MCUcard with STM32F476VGT6: **39.00 USD ≈ 4028.77 RSD**
- **Ukupno:** 208.00 USD ≈ 21486,76 RSD

Treba napomenuti da su cene naznačenih proizvoda preuzete sa zvanične internet prezentacije Mikroelektronike u valuti *USD* i konvertovane u valutu *RSD* koristeći kursnu listu Narodne banke Srbije, sve u trenutku izrade projektne dokumentacije.

## 7. Specifikacija materijala

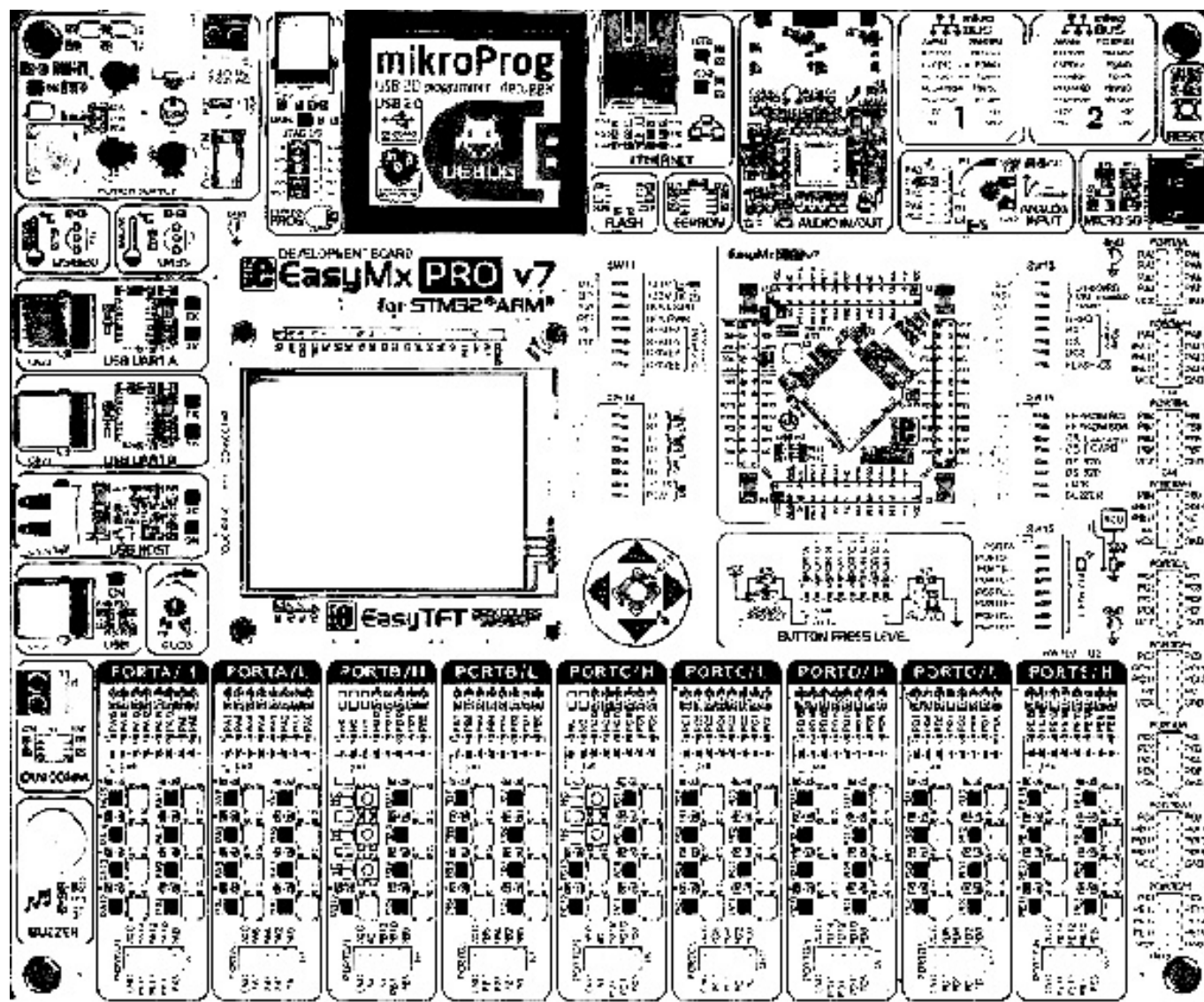
Pošto su svi materijali koji su korišćeni prilikom izrade ovog projektnog zadatka zapravo tehnički moduli, a tehničke specifikacije tih modula su naznačene u odeljku 3, u ovom odeljku navedene su dimenzije materijala sa slikama.

Dimenzije MCU kartice: 55.88mm x 61.09mm



Slika 6: MCU kartica

Dimenzije EasyMx Pro v7 razvojnog okruženja: 28.83cm x 24.76cm



Slika 7: EasyMx Pro v7

## 8. Potrebni odgovarajući proračuni

Prilikom izrade ovog projekta nisu vršeni nikakvi proračuni u kontekstu izbora komponenti i fizičkih veličina. Realizacija projektnog zadatka bavila se isključivo logičkim vrednostima na digitalnim pinovima.

Možda vredi napomenuti bitovske operacije koje se izvršavaju nad logičkim vrednostima ulaza koji su povezani sa senzorima, radi dobijanja vrednosti bajta odgovora, koji se šalje pomoću USART komunikacije pri zahtevu od spoljnog uređaja. Pošto se svi ulazni pinovi mikrokontrolera koji su povezani sa senzorima nalaze na nižem delu porta D - PORTD/L - vrednosti sa svih senzora dostupni su u okviru jednog bajta koji predstavlja PORTD/L u programu. Pošto su viši bitovi odgovora na zahtev zapravo invertovani bitovi ulaza (PORTD/L), dovoljno je invertovati vrednost bajta koji predstavlja ulaze na PORTD/L, a bit najmanje težine postaviti u skladu sa ispunjenjem svih uslova tenka za lansiranje projektila, da bi se izračunala vrednost odgovora na zahtev. Ovaj način računanja odgovora na zahtev prikazan je u sledećem listingu:

```
1 odgovor = ~GPIOD_IDR & ~1; // Invertuj sve bitove inputa i poslednji
    bit ocisti
2 if(odgovor == 0) { // Ako su svi uslovi ispunjeni
```

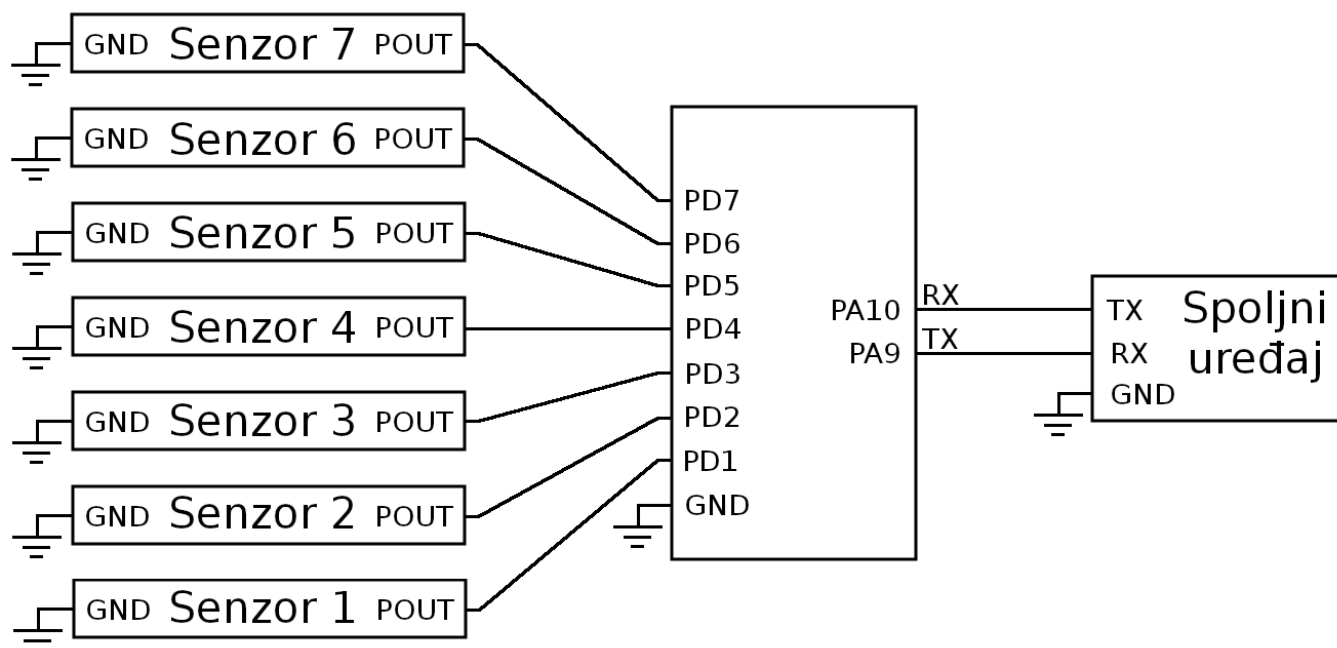
```

3   odgovor |= 1; // Setuj bit indikatora da moze da se gadja iz tenka
4   }
5   UART1_Write(odgovor);

```

## 9. Odgovarajuća grafička dokumentacija

### 9.1 Šema povezivanja senzora, mikrokontrolera i spoljnog uređaja koji šalje zahteve

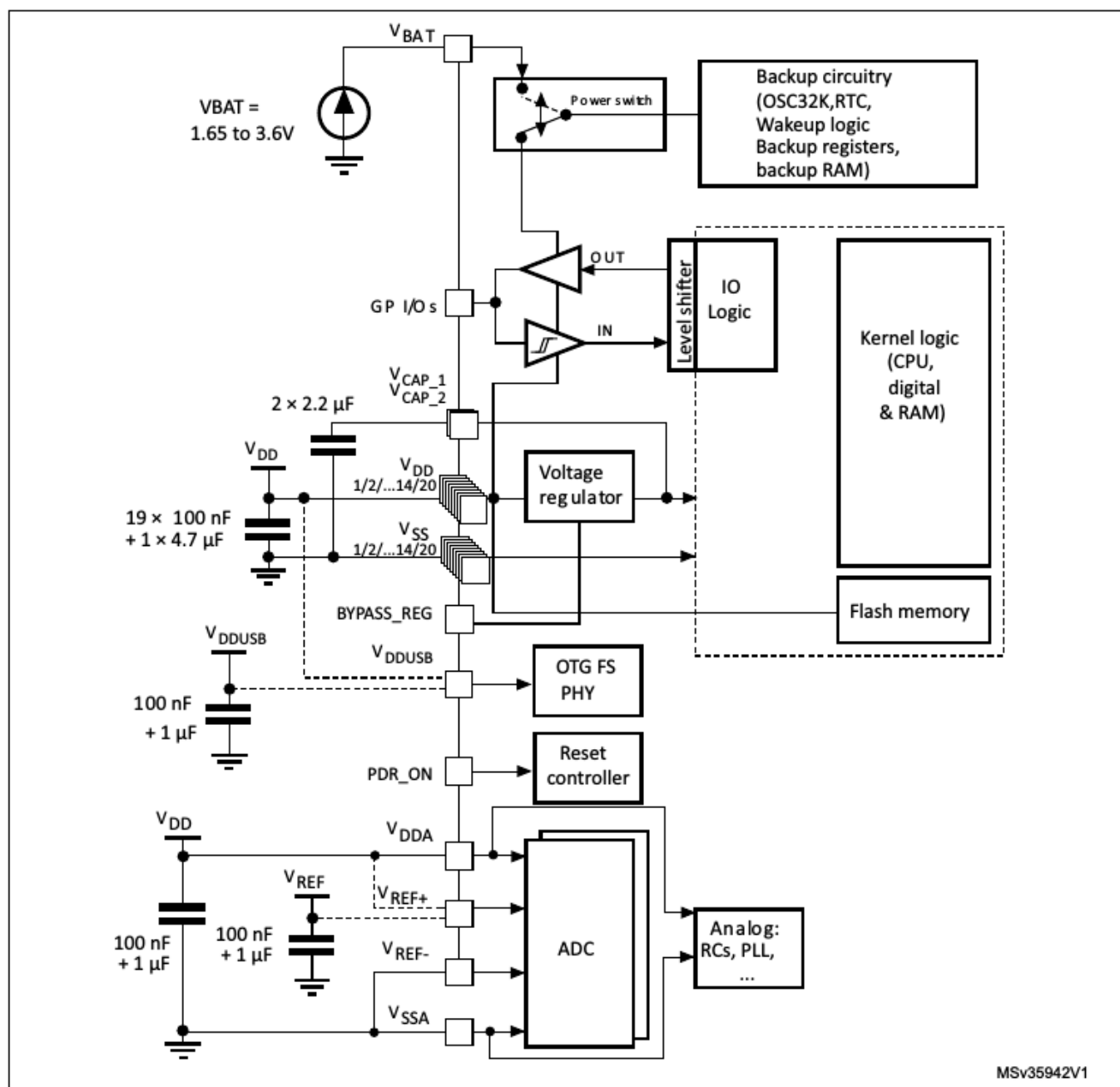


Slika 8: Šema povezivanja senzora, mikrokontrolera i spoljnog uređaja koji šalje zahteve i prima odgovore

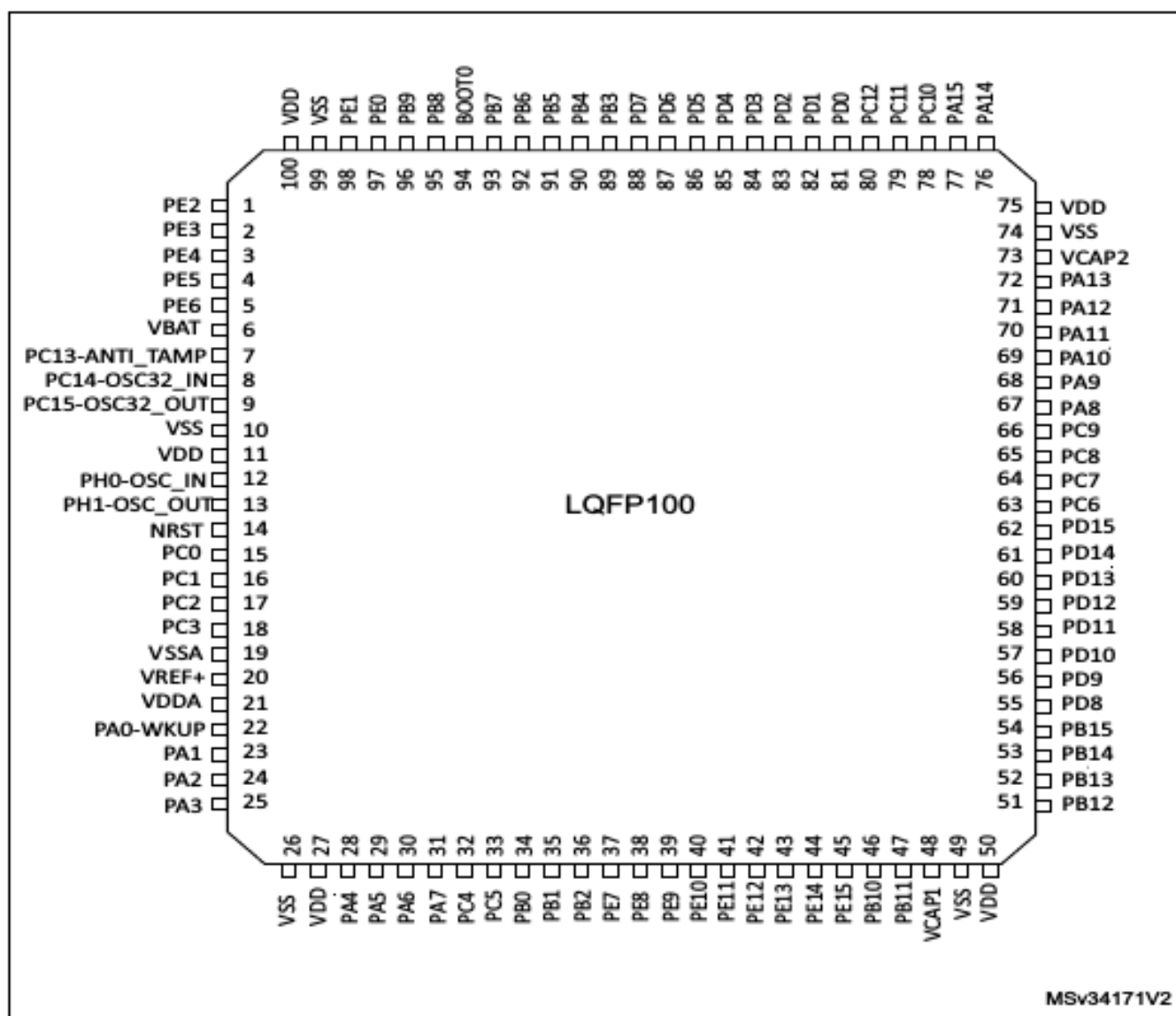
Svaki od senzora na šemi prati po jedan od navedenih parametara tenka. U kontekstu odgovora koji mikrokontroler šalje spoljnom uređaju, redosled ovih senzora nije ni bitan, ali bi redosled trebao da bude specifičan da bi se pokoravao preciznoj definiciji projektnog zadatka, gde je naznačeno koji bit ulaznog registra predstavlja koji parametar tenka.

Slika 9: Blok šema mikrokontrolera STM32F476VGT6





Slika 10: Šema napajanja za mikrokontroler STM32F476VGT6



Slika 11: Pinovi na mikrokontroleru STM32F476VGT6

## 10. Literatura

- [1] EasyMx Pro v7 na sajtu Mikroelektronike (9. januar 2019):  
<https://www.mikroe.com/easymx-pro-stm32>
- [2] MCU kartica sa mikrokontrolerom STM32F476VGT6 na sajtu Mikroelektronike (9. januar 2019):  
<https://www.mikroe.com/easymx-pro-v7-stm32-stm32f746vgt6>
- [3] Datasheet za mikrokontroler STM32F476VGT6 (9. januar 2019):  
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f746vg.pdf>
- [4] mikroC PRO for ARM (9. januar 2019):  
<https://www.mikroe.com/mikroc-arm>
- [5] GPIO biblioteka za mikroC (9. januar 2019):  
[http://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/arm/help/gpio\\_library.htm](http://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/arm/help/gpio_library.htm)
- [6] UART biblioteka za mikroC (9. januar 2019):  
[http://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/arm/help/uart\\_library.htm](http://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/arm/help/uart_library.htm)
- [7] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu (9. januar 2019):  
<http://www.minrzs.gov.rs/files/doc/bezbednost/zakon%20o%20bezbednosti%20i%20zdravlju%20na%20radu.pdf>
- [8] Kursna lista Narodne banke Srbije (9. januar 2019):  
<https://www.kursna-lista.com/kursna-lista-nbs>