

ŠOLSKI CENTER CELJE

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Raziskovalna naloga

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH  
MIKRORAČUNALNIKOV PRI REŠEVALNEM  
ROBOTU

Področje: SŠ Računalništvo

Avtorja:

Oskar Šonc, M-4. c

Lan Senica, M-4. c

Mentor:

mag. Matej Veber, univ. dipl. inž.

ZOTKS, Srečanje mladih raziskovalcev Slovenije 2021

## **IZJAVA**

Mentor Matej Veber, v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti

»Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Analiza uporabnosti različnih mikroračunalnikov pri reševalnem robotu, katere avtorja sta Oskar Šonc in Lan Senica

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo 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,
- raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisnimi pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 14.5.2021

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

## **POVZETEK**

V današnjem svetu si ne moremo predstavljati življenja brez vseh avtomatskih sistemov, ki nam ga olajšujejo. Večina avtomatskih sistemov je krmiljena z mikroračunalniki, zato smo se odločili, da se bomo lotili njihovega raziskovanja in analize njihove uporabe. Ugotoviti želimo, kateri mikroračunalnik je najprimernejši za upravljanje reševalnega robota za tekmovanje RoboCup Rescue RMRC, ki bo letos potekalo v virtualni obliki zaradi pandemije. Najprej smo se odločili, katere specifikacije mikroračunalnika so pomembne za nalogo vodenja reševalnega robota. V raziskovalni nalogi smo podrobneje raziskali šest specifikacij in jih primerjali med tremi različnimi mikroračunalniki. Ob tem smo pridobili veliko novega znanja, se izboljšali v tinskem delu in pridobili izkušnje za prihodnost.

## **SUMMARY**

We cannot imagine today's world without various automatic systems, which make our lives easier. Most automatic systems are navigated by microcomputers therefore we have decided to research them and analyze their use. We wanted to find out which microcomputer is most suitable to navigate the rescue robot used in the RoboCup Rescue competition, which will this year take place online due to the pandemic. First, we decided which microcomputer specifications play the most important role in the navigation of the rescue robot. In our research paper we explored six specifications and compared them in three different microcomputers. Doing this we not only gained lot of new knowledge and improved our teamwork skills but also acquired much valuable experience we will be able to use in the future.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujemo se vsem, ki so nam pomagali pri izdelavi naše raziskovalne naloge. Posebej se zahvaljujemo našemu mentorju mag. Mateju Vebru, ki nam je dajal strokovne nasvete in nas vzpodbujal. Zahvaljujemo se tudi Brigiti Renner, prof., za lektoriranje naloge.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
2	SVETOVNO TEKMOVANJE ROBOCUP RESCUE RMRC.....	3
3	PREDSTAVITEV PROBLEMA .....	6
4	HIPOTEZE.....	7
5	METODE RAZISKOVANJA.....	8
6	PREDSTAVITEV POTEKA RAZISKOVALNE NALOGE .....	9
7	MIKRORAČUNALNIK .....	10
7.1	RASPBERRY PI 3 MODEL B+ .....	10
7.2	RASPBERRY PI 4 MODEL B .....	11
7.3	NVIDIA JETSON NANO .....	12
8	PROGRAMSKA OPREMA .....	14
8.1	LINUX.....	14
8.2	SISTEMSKA PROGRAMSKA OPREMA.....	15
8.3	UPORABNIŠKA PROGRAMSKA OPREMA .....	16
9	PROGRAMIRANJE .....	17
9.1	ZAGON .....	17
9.2	UPRAVLJANJE S POMOČJO MIŠKE, TIPKOVNICE IN EKRANA.....	17
9.3	UPRAVLJANJE S POMOČJO ETHERNET KABLA.....	19
9.4	UPRAVLJANJE S POMOČJO BREZŽIČNE POVEZAVE.....	21
10	PRIMERJAVA MIKRORAČUNALNIKOV .....	23
10.1	PRIMERJAVA PO SPECIFIKACIJAH .....	23
10.2	PRIMERJAVA CEN IN DOBAVLJIVOSTI.....	24
10.3	TOPLOTNA PRIMERJAVA .....	25

10.4	GRAFIČNA PRIMERJAVA.....	28
10.5	PRIMERJAVA PRENOSA PODATKOV .....	32
10.6	PRIMERJAVA S POMOČJO PROGRAMA PHORONIX TEST SUITE .....	34
10.7	POVZETEK PRIMERJAV .....	36
11	PREDSTAVITEV REZULTATOV.....	38
12	MOŽNOST NADALJNJEGA RAZISKOVANJA.....	40
13	ZAKLJUČEK.....	41
14	SEZNAM UPORABLJENIH VIROV .....	42

## KAZALO SLIK

Slika 1: Umetna inteligenca .....	1
Slika 2: Tekmovanje RMRC 2019 .....	3
Slika 3: Poligon z ovirami .....	3
Slika 4: Simboli, ki jih mora robot prepoznati .....	4
Slika 5: Ventili s tipkami .....	4
Slika 6: Primerjava mikroročunalnikov .....	6
Slika 7: Raspberry Pi 3 Model 3B+ .....	11
Slika 8: Raspberry Pi 3 Model 4 B .....	12
Slika 9: Nvidia Jetson Nano .....	13
Slika 10: Linux .....	14
Slika 11: Program za namestitev operacijskega sistema .....	15
Slika 12: Reža za mikro SD-kartico na zadnji strani mikroročunalnika Raspberry Pi .....	16
Slika 13: Terminal .....	16
Slika 14: Namizje operacijskega sistema Raspberry Pi OS .....	18
Slika 15: Ethernet povezava .....	18
Slika 16: Priklop vseh vhodov in izhodov .....	19
Slika 17: Program Putty za SSH-povezavo .....	20
Slika 18: Prijava v sistem .....	20
Slika 19: Nastavitve Raspberry Pija, kjer omogočimo VNC-povezavo .....	21
Slika 20: VNC Viewer z vzpostavljeno povezavo z Raspberry Pijem na okolju Windows .....	22
Slika 21: Ukazi, ki jih potrebujemo .....	25
Slika 22: Branje temperature .....	26
Slika 23: Termalna slika Raspberry Pija 3 B+ .....	27
Slika 24: Termalna slika Raspberry Pija 4 .....	27
Slika 25: Ukazi za namestitev OpenCV-ja .....	28
Slika 26: Preverjanje uspešnosti namestitve OpenCV-ja .....	29
Slika 27: Rezultat prepoznavanja z OpenCV-jem .....	30
Slika 28: Hazmatski simbol .....	31
Slika 29: Program Cascade Training .....	31

Slika 30: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Raspberry Pi 3 B+ .....	32
Slika 31: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Raspberry Pi 4 .....	33
Slika 32: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Nvidia Jetson Nano .....	33
Slika 33: Ukazi, ki jih potrebujemo za delovanje programa .....	34

## **KAZALO GRAFOV**

Graf 1: Primerjava po ceni .....	25
Graf 2: Primerjava hitrosti prenosa .....	33

## **KAZALO TABEL**

Tabela 1: Prikaz specifikacij .....	23
Tabela 2: Prikaz porabe .....	28
Tabela 3: Prikaz časov .....	30
Tabela 4: Prikaz časov za drugi preizkus .....	31
Tabela 5: Rezultati Phoronix Test Suita .....	35
Tabela 6: Prikaz zmagovalcev posameznih primerjav .....	36
Tabela 7: Prikaz hipotez .....	38



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 1 UVOD

Živimo v svetu, v katerem ima tehnologija vedno pomembnejše mesto v naših življenjih. Najrazličnejše vrste tehnologije se vpeljujejo kot pomoč pri vedno več poklicih. V največjem porastu je trenutno umetna inteligenca, ki bo v bližnji prihodnosti nadomestila veliko delovnih položajev, še posebej tistih, ki delajo v stiku z drugimi ljudmi. Ena najboljših lastnosti umetne inteligence je, v primerjavi z ljudmi, popolna objektivnost. Na Kitajskem imajo po mestih velik porast kamer, ki prepoznavajo obraze in različne predmete. Program, ki je nameščen na teh kamerah, nadzoruje obnašanje ljudi v prometu, v nakupovalnih središčih, na ulicah itd. Vsako posebno in nevarno obnašanje program nato sporoči oblastem, ki ustrezno ukrepajo.



*Slika 1: Umetna inteligenca*

*(Vir: <https://siol.net/digisvet/novice/umetna-inteligenca-se-je-moramo-bati-nikakor-483542>)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Kot lahko vidimo, se tehnologija spreminja z bliskovito hitrostjo. Spreminjanje je tako obsežno, da je težko ostati v stiku z najboljšimi produkti. Zato smo se v raziskovalni nalogi odločili raziskati trg mikroračunalnikov in izbrati tri, ki so v našem finančnem razponu. Odločili smo se, da bomo izvedli več testov, ki bodo testirali vsak del mikroračunalnika posebej. Na koncu smo vse teste primerjali in dobili odgovor na vprašanje, kateri mikroračunalnik je najprimernejši za našo nalogo v reševalnem robotu.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

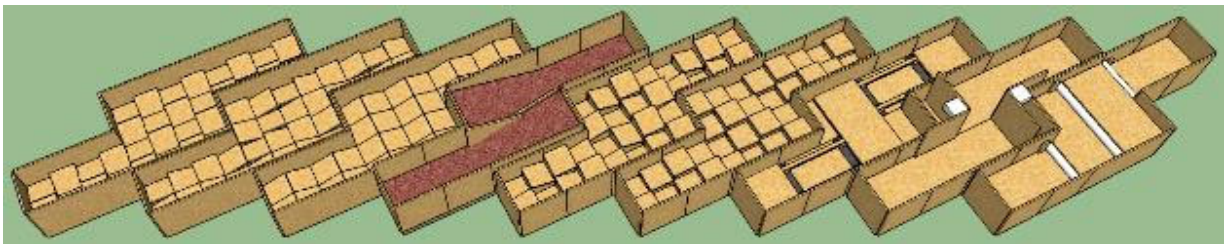
## 2 SVETOVNO TEKMOVANJE ROBOCUP RESCUE RMRC

Letos junija se bomo udeležili svetovnega tekmovanja RoboCup 2021 v Bordeauxu. Tekmovanja se bo udeležilo 3500 tekmovalcev iz 45 držav. Tekmovali bomo na različnih področjih in v različnih panogah. Naša panoga se imenuje RMRC (Rapidly Manufactured Robot Challenge). Cilj tekmovanja je izdelati in sprogramirati robota, ki je daljinsko voden preko kamere. Robot mora opraviti tri različne naloge. Najprej mora prevoziti poligon, ki je sestavljen iz različnih ovir in prepek. Med samo vožnjo lahko operater robota spremlja le preko zaslona, na katerem je slika iz robotove kamere.



*Slika 2: Tekmovanje RMRC 2019*

*(Vir: <https://www.youtube.com/watch?v=4BJ8cRPaDMA>)*



*Slika 3: Poligon z ovirami*

*(Vir: <http://oarkit.intelligentrobots.org/home/the-arena/v0-7-arena/terrains/>)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

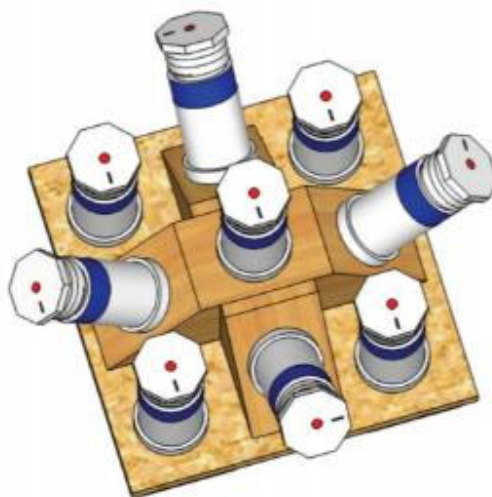
Drugi del tekmovanja je namenjen preverjanju sposobnosti robota pri zaznavanju zahtevanih parametrov okolice. V nalogi je treba s pomočjo kamere dekodirati QR-kodo, različne simbole za nevarnost, razne objekte in izmeriti prisotnost CO<sub>2</sub>. Vse te rezultate mora robot avtomatsko izpisati na ekranu operaterja.



Slika 4: Simboli, ki jih mora robot prepoznati.

(Vir: <http://oarkit.intelligentrobots.org>)

V tretjem delu pa mora robot z robotsko roko odpreti posamezne ventile in pritiskati na tipke, ki so v njih.



Slika 5: Ventili s tipkami

(Vir: <http://oarkit.intelligentrobots.org>)

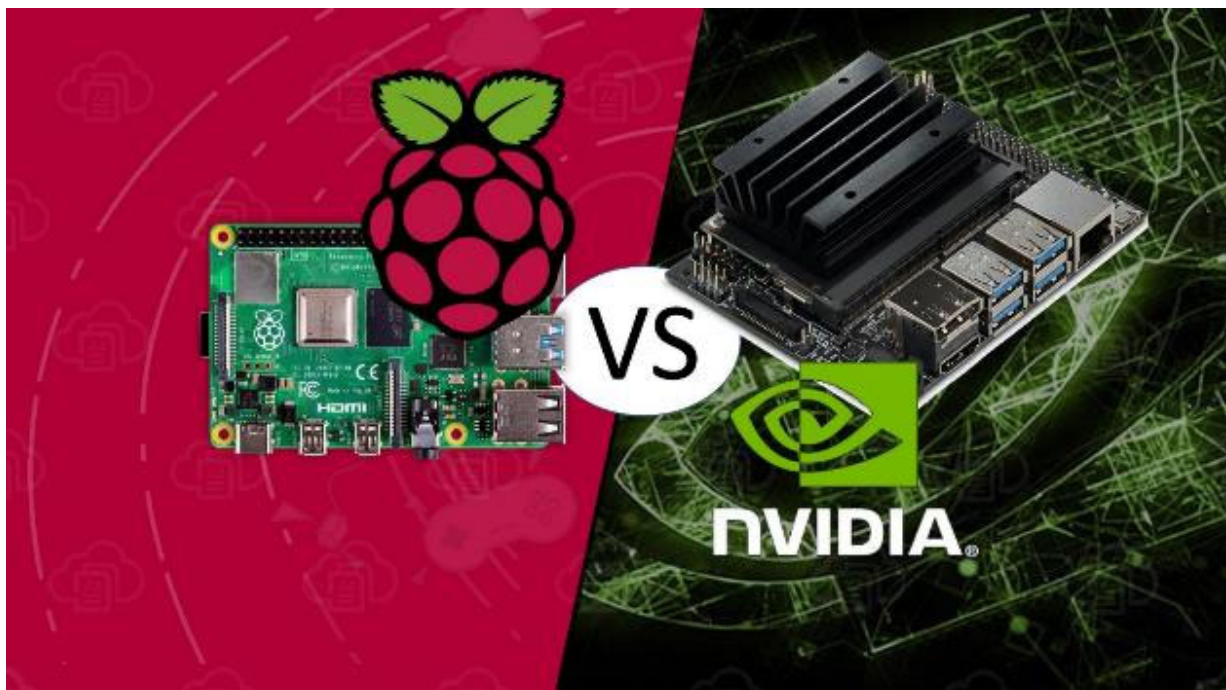
ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Ekipa dobi dodatne točke, če robot vse omenjeno opravi sam brez pomoči operaterja. Zaradi tega se ekipe nagibajo k popolnoma avtonomni vožnji robota. [9]

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

### 3 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V raziskovalni nalogi smo si zadali, da bomo testirali tri različne mikroračunalnike, ki bodo primerni za nalogo procesne enote na reševalnem robotu – le tega z drugo skupino sestavljamo za svetovno tekmovanje. Mikroračunalnike smo testirali na več nivojih, ki so pomembni za našega robota. Pri raziskovanju smo imeli kar nekaj problemov. Največ nam jih je predstavljal Nvidia Jetson Nano in njegova povezljivost s kamero. Na koncu smo vse težave rešili. Probleme smo reševali s pomočjo svetovnega spleta in s pomočjo mentorja.



Slika 6: Primerjava mikroračunalnikov

(Vir: <https://build5nines.com/raspberry-pi-4-vs-nvidia-jetson-nano-developer-kit/>)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 4 HIPOTEZE

Cilj naše raziskovalne naloge je bil, da s pomočjo testiranja vseh treh mikroračunalnikov izvemo, kateri je najprimernejši za upravljanje reševalnega robota. Želeli smo dokončno razrešiti problem, kateri mikroračunalnik je najboljši na določenem področju in tudi cenovno ugoden. S tem bomo v naslednjih letih vedeli, v katerem primeru se splača izbrati posamezni mikroračunalnik.

V ta namen smo si postavili naslednje hipoteze:

- H1 – Nvidia Jetson Nano bo grafično najzmogljivejši.
- H2 – Raspberry Pi 4 bo v vseh pogledih boljši kot Raspberry Pi 3 B+.
- H3 – Raspberry Pi 4 bo procesno najzmogljivejši.
- H4 – Raspberry Pi 4 bo končni zmagovalec primerjave.



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## **5 METODE RAZISKOVANJA**

Pri raziskovanju smo uporabili naslednje metode:

- Primerjalno metodo, ki temelji na primerjanju dveh ali več podobnih elementov. Ta metoda je bila najbolj uporabljena pri raziskovalnem delu, kjer smo primerjali različne specifikacije treh mikroračunalnikov.
- Testiranje vseh treh mikroračunalnikov pri določenih nalogah in primerjanje rezultatov.
- Metodo razčlenitve, ki temeljijo na osnovi razčlenbe neke celote. Na ta način smo si razdelili lastnosti mikroračunalnika na različne skupine, ki smo jih lahko posamezno primerjali.



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## **6 PREDSTAVITEV POTEKA RAZISKOVALNE NALOGE**

Glavni namen raziskovanja je bil, da ugotovimo, kateri mikroračunalnik je najprimernejši za nalogo procesne enote v reševalnem robotu za svetovno tekmovanje RoboCup RMRC 2021. Na začetku smo mislili, da bo to kratko in enostavno raziskovanje, vendar smo med določanjem, kateri mikroračunalnik je najboljša izbira, ugotovili, da bo raziskovanje precej daljše in zahtevnejše.

Ob primerjanju mikroračunalnikov smo upoštevali in primerjali procesno ter grafično moč posameznega mikroračunalnika. Primerjali smo tudi njihovo uporabnost v določenih nalogah. Prav tako smo preverili cenovno dostopnost, saj dijaki nimamo velikega dohodka. V raziskovanje smo vključili še povezljivost mikroračunalnika z računalnikom in s kamero. Pri tem smo imeli kar nekaj težav. Tudi sama velikost robota je bila pomembna, saj smo na tekmovanju z njo omejeni. Zaradi tega nam je bilo pomembno, da je mikroračunalnik zavzel čim manj prostora v robotu.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 7 MIKRORAČUNALNIK

Mikroračunalnik (angleško microcomputer) je računalnik, katerega osrednja obdelovalna enota je samo en čip (mikroprocesor). Mikroračunalniki so nastali v 70. letih 20. stoletja in so predhodniki današnjih osebnih računalnikov. Ime izvira iz dejstva, da so mnogo manjši od osebnih računalnikov. Uporabljajo se večinoma za razvijanje, učenje in upravljanje manjših problemov.

Mikroračunalniki, ki jih bomo analizirali:

- Raspberry Pi 3 Model B+
- Raspberry Pi 4 Model B
- Nvidia Jetson Nano

### 7.1 RASPBERRY PI 3 MODEL B+

Raspberry Pi je mikroračunalnik v velikosti kreditne kartice, ki so ga razvili v Združenem kraljestvu. Raspberry Pi 3 Model B+ je zadnja revizija v liniji Raspberry Pi 3. Njegove specifikacije so:

- 64-bitni 4-jedrni procesor, ki deluje na 1.4 GHz
- 1 GB notranjega LPDDR2-spomina
- dvopasno brezžično omrežje 2.4 GHz in 5 GHz
- Bluetooth 4.2 povezljivost
- Ethernet priključitev
- 40 pinskih priključkov GPIO
- priključek HDMI
- 4 USB 2.0 priključki
- priključka za kamero in zaslon
- mikro SD-reža za shranjevanje operacijskega sistema in podatkov
- napajanje 5 V/2.4 A [7]

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



*Slika 7: Raspberry Pi 3 Model B+*  
*(Lastni vir)*

## **7.2 RASPBERRY PI 4 MODEL B**

Raspberry Pi 4 Model B je naslednik prej omenjenega mikroračunalnika in je trenutno najnovejši mikroračunalnik linije Raspberry Pi. Ima povečano zmogljivost in boljšo združljivost v primerjavi z modelom 3 B+. Njegove specifikacije so:

- procesor Broadcom BCM2711, s 4-jedri Cortex-A72, ki delujejo s 64-biti in hitrostjo 1.5 GHz
- 8 GB notranjega spomina LPDDR4
- dvopasno brezžično omrežje 2.4 GHz in 5 GHz
- Bluetooth 5.0 povezljivost
- Ethernet priključitev
- 40 pinskih priključkov GPIO
- 2 mikro HDMI-priključka, ki podpirata resolucijo do 4k
- 2 USB 3.0 priključka in 2 USB 2.0 priključka

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

- priključka za kamero in zaslon
- mikro SD-reža za shranjevanje operacijskega sistema in podatkov
- napajanje 5 V/2.4 A [8]



Slika 8: Raspberry Pi 3 Model B  
(Lastni vir)

### 7.3 NVIDIA JETSON NANO

Nvidia Jetson Nano je majhen in zelo zmogljiv mikroračunalnik, ki so ga razvili v Združenih državah Amerike in je najzmogljivejši mikroračunalnik v liniji Nvidia Jetson. Njegove specifikacije so:

- procesor 128-core Maxwell, s 4-jedri ARM A57, ki delujejo s 64-biti in hitrostjo 1.43 GHz
- 4 GB notranjega spomina LPDDR4
- Ethernet priključitev
- 40 pinskih priključkov GPIO
- 4 USB 3.0 priključki in 1 USB 2.0 mikro B-priključek
- 1 priključek HDMI

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

- 2 priključka za kamero
- mikro SD-reža za shranjevanje operacijskega sistema in podatkov [3]



*Slika 9: Nvidia Jetson Nano  
(Lastni vir)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 8 PROGRAMSKA OPREMA

Vsak mikroračunalnik ima svoj operacijski sistem, ki skrbi za pravilno delovanje. Nanj pa je mogoče naložiti še drugo programsko opremo, ki nam pomaga pri reševanju problema. Programsko opremo zato delimo na:

- **Sistemska programsko opremo:** operacijski sistem, uporabniški vmesnik, programi za razvoj aplikacij (prevajalniki, povezovalniki, razhroščevalniki ...).
- **Uporabniško programsko opremo:** aplikacije, ki jih je razvil programer za opravljanje različnih uporabniških nalog.

### 8.1 LINUX

Linux je prost operacijski sistem s prosto dostopno izvorno kodo in je zaščiten s splošnim dovoljenjem GNU. GNU je licenca za prosto programiranje. Operacijski sistem jo lahko dobi, če izpolnjuje določena pravila v zvezi s programiranjem. Linux podpira večprocesorski način, številne datotečne sisteme in dovoljuje tudi razširitev pomnilniške enote do 4 GB ali več. Velja za osnovno večopravilno jedro. Sam Linux ni zelo uporaben, saj je to samo jedro operacijskega sistema. Uporaben postane šele, ko mu dodamo različna orodja. Ker si s samim Linuxom ne moremo veliko pomagati, so s pomočjo GNU-ja izdelali skupek jedra Linux in vseh potrebnih orodij. Imenuje se GNU/Linux. [1]



*Slika 10: Linux*

*(VIR: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Linux>)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 8.2 SISTEMSKA PROGRAMSKA OPREMA

Mikroračunalniki Raspberry Pi nimajo vnaprej nameščenega operacijskega sistema. Sami smo se odločili, da bomo uporabljali Raspberry Pi OS, ki je uradni in najbolj uporabljen operacijski sistem. Za namestitev operacijskega sistema potrebujemo mikro SD-kartico in računalnik z okoljem Windows. Operacijski sistem naložimo z uradne spletne strani in ga s pomočjo programa Raspberry Pi Imager zapečemo na kartico. [6]



*Slika 11: Program za namestitev operacijskega sistema  
(Lastni vir)*

Mikro SD-kartico z ustreznim operacijskim sistemom nato vstavimo v režo, ki se nahaja na zadnji strani mikroračunalnika Raspberry Pi.

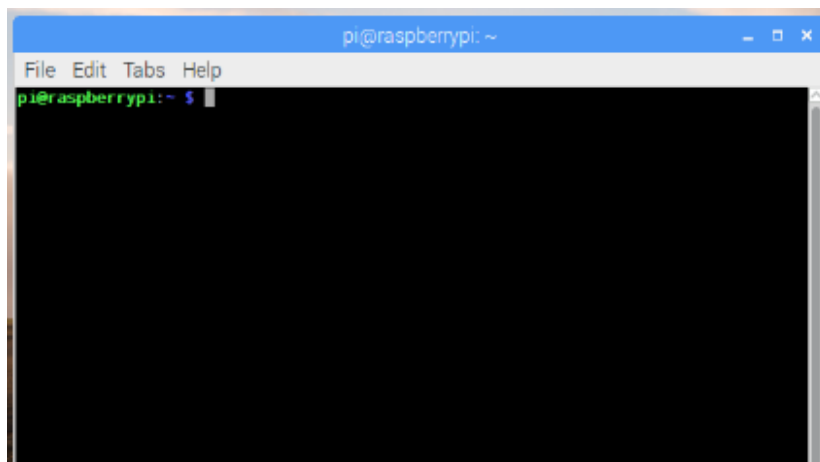
ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



Slika 12: Reža za mikro SD-kartico na zadnji strani mikroračunalnika Raspberry Pi  
(Lastni vir)

### 8.3 UPORABNIŠKA PROGRAMSKA OPREMA

Operacijski sistem Raspberry Pi OS omogoča nalaganje dodatne uporabniške programske opreme. Samo nalaganje je preprosto in poteka preko terminala. V njem pišemo z računalniškim jezikom Python.



Slika 13: Terminal  
(Lastni vir)



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## **9 PROGRAMIRANJE**

### **9.1 ZAGON**

Raspberry Pi z nameščenim operacijskim sistemom zaženemo tako, da priključimo napajanje 5 V. Model 3B+ se napaja s pomočjo mikro USB-kabla, medtem ko se model 4B in Nvidia Jetson Nano napajata s pomočjo USB-C-kabla. Za napajanje smo uporabili adapter mobilnega telefona, saj je zadoščal specifikacijam. Kasneje smo zaradi boljše mobilnosti uporabljali baterijo. Po priključitvi se mikroračunalnik zažene, kar lahko vidimo po utripajočih LED-lučkah.

### **9.2 UPRAVLJANJE S POMOČJO MIŠKE, TIPKOVNICE IN EKRANA**

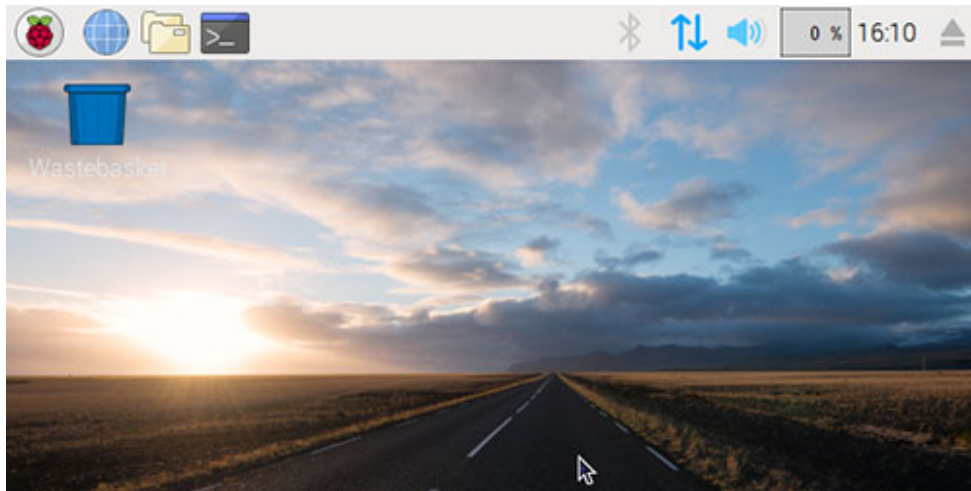
Raspberry Pi je mogoče upravljati podobno kot običajni osebni računalnik. Za to moramo priklopiti miško, tipkovnico in ekran. Po zagonu se nam bo na zaslonu prikazalo grafično namizje operacijskega sistema in bo mogoče upravljanje z miško in tipkovnico. Takšno povezovanje je zelo enostavno, ampak ima nekaj slabosti za naš projekt.

Slabosti so:

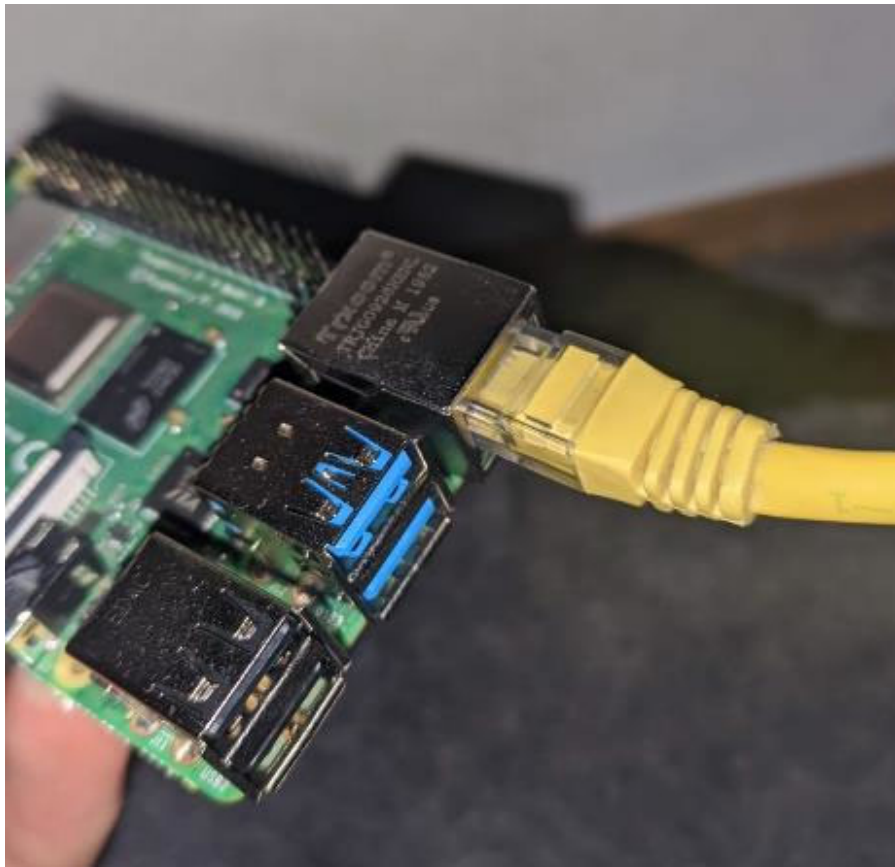
- dodatna oprema
- zamudno priklapljanje in odklapljanje
- stacionarnost

Zaradi navedenih slabosti smo se odločili, da bomo morali poiskati druge načine upravljanja.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



*Slika 154: Namizje operacijskega sistema Raspberry Pi OS  
(Lastni vir)*



*Slika 145: Ethernet povezava  
(Lastni vir)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

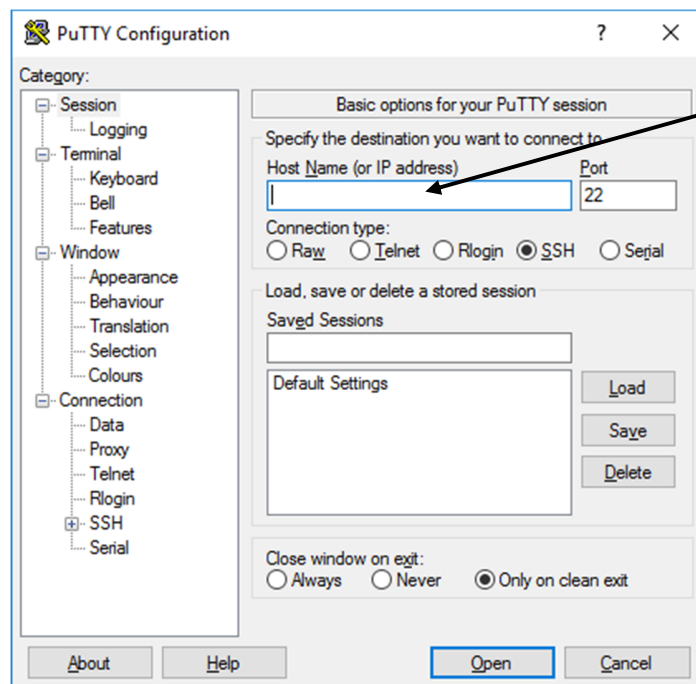
### 9.3 UPRAVLJANJE S POMOČJO ETHERNET KABLA

Na Raspberry Piju se nahaja vhod za Ethernet kabel, ki se običajno uporablja za dostop do spleta, lahko pa se uporablja tudi za upravljanje. Slednje lahko izvedemo s pomočjo povezave SSH, ki jo moramo vklopiti na mikroračunalniku Raspberry Pi. To možnost najdemo pod nastavitvami. Nato potrebujemo računalnik z okoljem Windows in program Putty, ki omogoča povezavo med računalnikom in Raspberry Pijem. V slednjega vklopimo Ethernet kabel in počakamo, da mu računalnik doda IP-naslov, ki ga najdemo s pomočjo terminala na računalniku. V program Putty nato vnesemo IP-naslov mikroračunalnika in s tem vzpostavimo povezavo. Upravljanje mikroračunalnika je preko programa Putty mogoče le s terminalom, kar zahteva dobro poznavanje ukazov za upravljanje. Ta povezava je dosti boljša od prejšnje, saj imamo v Raspberry Pi vključen le en kabel.



*Slika 16: Priklop vseh vhodov in izhodov  
(Lastni vir)*

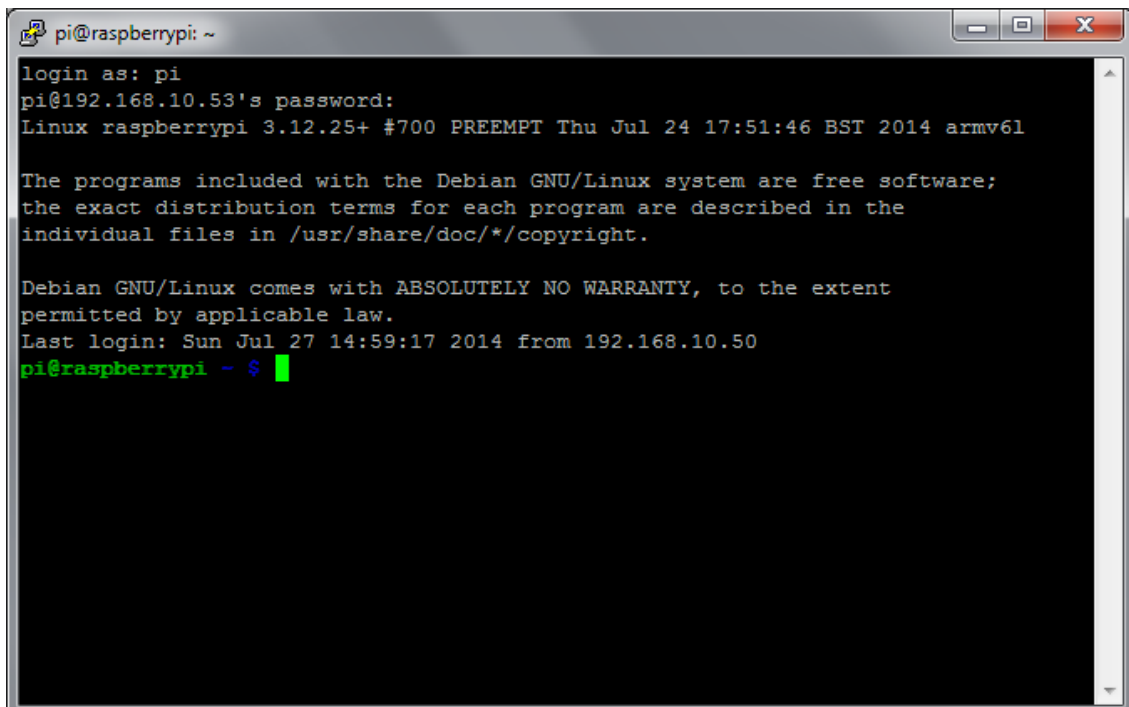
ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



Tukaj vpišemo IP-naslov  
mikroračunalnika za  
povezavo.

Slika 17: Program Putty za SSH-povezavo

(Lastni vir)



Slika 18: Prijava v sistem

(Lastni vir)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

#### 9.4 UPRAVLJANJE S POMOČJO BREŽIČNE POVEZAVE

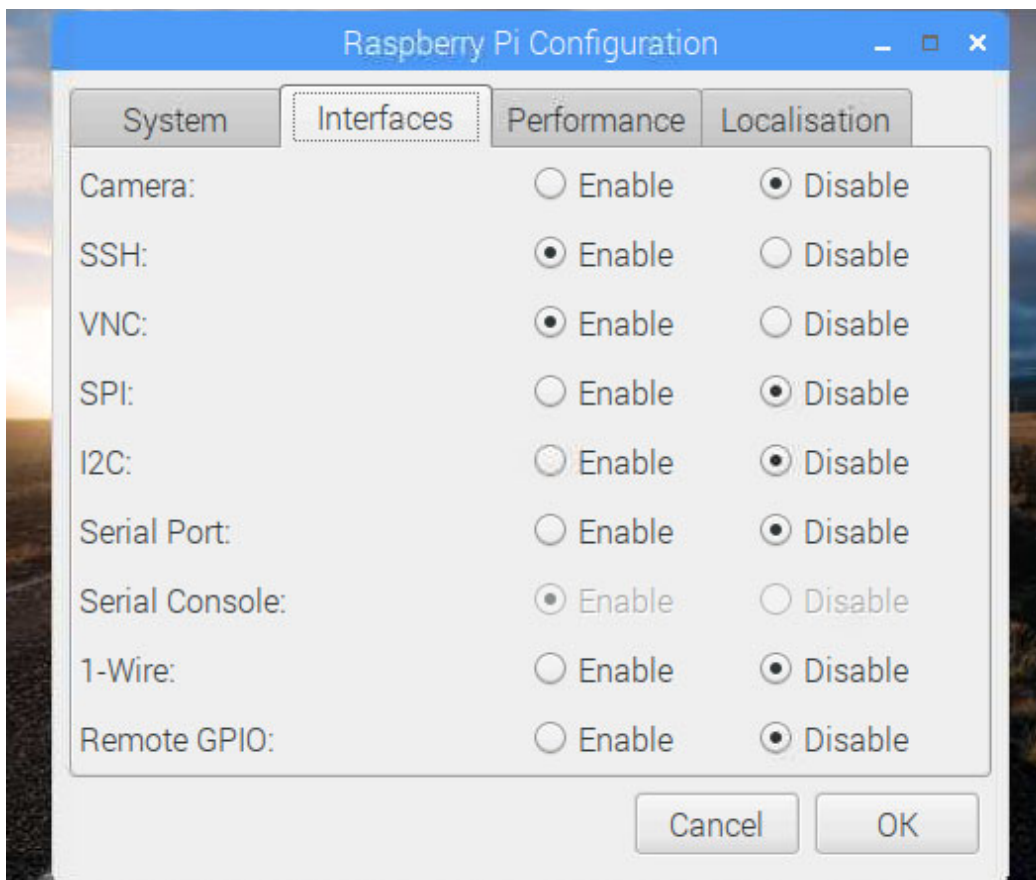
Upravljanje Raspberry Pija s pomočjo brezžične povezave je najtežja, a hkrati najučinkovitejša povezava za naš projekt. Sprva moramo mikroračunalnik povezati na omrežje Wi-Fi in s tem dodati Raspberry Piju nov IP-naslov. V nastavitvah moramo vključiti še VNC-povezavo in prenesti aplikacijo VNC Viewer, ki skrbi za povezavo med računalnikom in Raspberry Pijem. Za povezavo vpišemo IP-naslov mikroračunalnika v program VNC na osebнем računalniku v okolju Windows. Povezava se vzpostavi in prikaže se nam namizje Raspberry Pija. Tako lahko upravljamo mikroračunalnik enako kot s pomočjo ekrana, miške in tipkovnice, le da povezava deluje brezžično. VNC Viewer omogoča grafično upravljanje, ki je ključno za naš projekt. Prek njega lahko spremljamo tudi kamere, senzorje in vse vhodne enote mikroračunalnika. Ta povezava tako omogoča upravljanje mikroračunalnika brez vklopljenih kablov, kar izboljša mobilnost, upravljanje in enostavnost povezave.



Slika 19: VNC Viewer z vzpostavljeno povezavo z Raspberry Pijem na okolju Windows

(Lastni vir)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



*Slika 20: Nastavitve Raspberry Pija za omogočanje VNC-povezave  
(Lastni vir)*



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 10 PRIMERJAVA MIKRORAČUNALNIKOV

Naslednja naloga je bila izbira mikroračunalnika. Izbirali smo med Raspberry Pijem 3 B+, Raspberry Pijem 4 in Nvidia Jetson Nanom. Ploščice se med seboj kar precej razlikujejo, zato smo morali testirati na več ravneh.

### 10.1 PRIMERJAVA PO SPECIFIKACIJAH

Sprva smo primerjali mikroračunalnike po specifikacijah. Slednje smo, za lažjo primerjavo in boljše preglednost, prikazali v tabeli 1.

*Tabela 1: Prikaz specifikacij  
(Lastni vir)*

	<b>Raspberry Pi 3 B+</b>	<b>Raspberry Pi 4</b>	<b>Nvidia Jetson Nano</b>
<b>Arhitektura procesorja</b>	Broadcom BCM2837B0	Broadcom BCM2711	Nvidia Maxwell
<b>Procesor</b>	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A73	ARM Cortex-A57
<b>Število jeder procesorja</b>	4	4	4
<b>Frekvenca procesorja</b>	1,4 GHz	1.5 GHz	1,43 GHz
<b>Grafična kartica</b>	VideoCore IV	VideoCore VI	128-jedrni Maxwell
<b>Velikost delovnega pomnilnika</b>	1 GB	8 GB	4 GB
<b>Tip delovnega pomnilnika</b>	LPDDR2 SDRAM	LPDDR4	LPDDR4

Prikazane specifikacije kažejo, da so si ploščice pri nekaterih specifikacijah podobne, pri nekaterih pa imajo pomembne razlike. Največje razlike se pojavljajo pri arhitekturi procesorja. Raspberry Pi 4 ima tri leta novejšo verzijo arhitekture procesorja kot Raspberry Pi 3 B+; Nvidia Jetson Nano pa ima svojo arhitekturo, ki jo težko primerjamo. Procesor je pri vseh ploščicah enak, le da obstajajo tri različne verzije. Raspberry Pi 4 je zaradi tega pri procesorju najboljši. Tudi pri frekvenci procesorja obstajajo razlike. Raspberry Pi je tudi v tej kategoriji najboljši. Pri grafični kartici pa imamo spet velike razlike. Raspberry Pi ima enak tip, razlikujeta se le v verziji, Nvidia Jetson

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Nano pa ima svojo zelo kakovostno grafično kratico, ki je veliko boljša od drugih dveh. Zaradi naše naloge, pri kateri smo potrebovali veliko grafične moči za obdelovanje slik, je to pomemben podatek. Pri delovnem pomnilniku imamo ponovno velike razlike. Raspberry Pi 4 ima daleč največ delovnega pomnilnika, zato je v tej kategoriji najboljši. Pri tipu pomnilnika pa imamo pri Raspberry Piju 4 in Nvidia Jetson Nano enak LPDDR4-tip, Raspberry Pi 3 B+ pa ima starejšo LPDDR2-verzijo. Mikroračunalnike pa lahko primerjamo še po povezljivosti. Raspberry Pija imata možnost Wi-Fi in Bluetooth povezave, ki sta v našem primeru zelo uporabni.

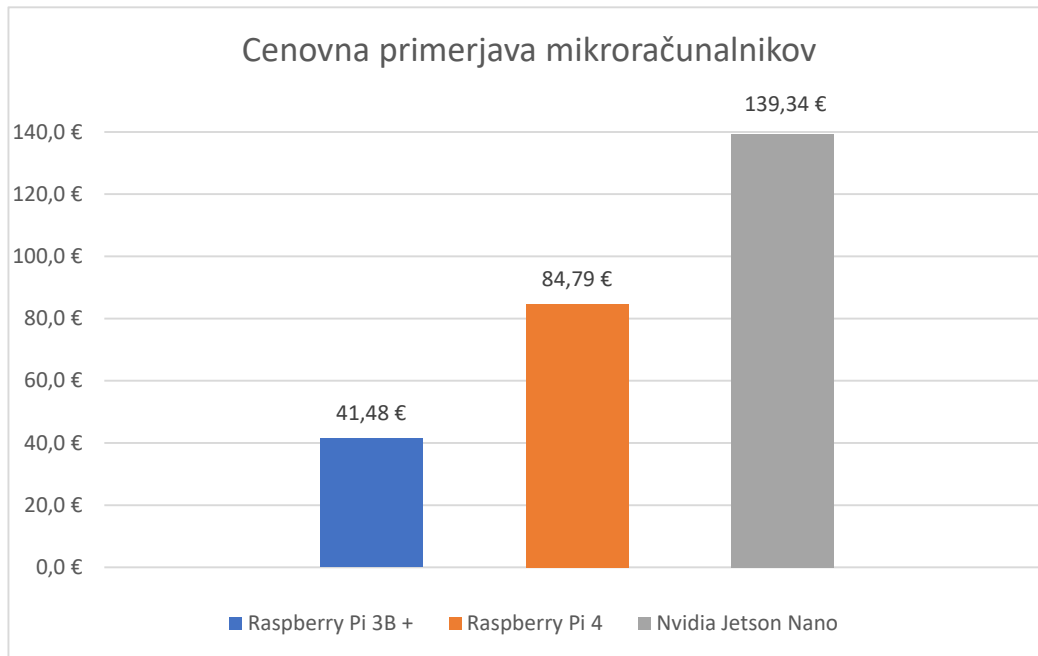
Po specifikacijah je zato najboljši Raspberry Pi 4, ki je bil najboljši v večini testov in ima tudi najboljšo možnost povezovanja.

## **10.2 PRIMERJAVA CEN IN DOBAVLJIVOSTI**

Cena in dobavljivost sta pomembna dejavnika za naš projekt. Še posebej zato, ker so to raziskovalna vezja in se lahko hitro zgodi, da se posamezni del oz. celoten mikroračunalnik pokvari, običajno zaradi kratkega stika ali napake pri priklapljanju. Dobavljivost mikroračunalnikov je v času pisanja odlična, razen za Raspberry Pi 3B+, ki je razprodan. Naročili smo jih v Galago marketu in so bili dobavljeni v nekaj dneh. Pri ceni pa imamo večje razlike. Te smo prikazali s pomočjo stolpičnega diagrama spodaj. Cena Nvidia Jetson Nana je za 64 % višja od Raspberry Pija 4 in za 235 % višja od Raspberry Pija 3 B+. Ti podatki so bili za nas pomembni, saj imamo na razpolago omejena sredstva.



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



Graf 1: Primerjava po ceni

(Vir: Lastni vir)

### 10.3 TOPLITNA PRIMERJAVA

Velik problem takšnih mikroračunalnikov je temperatura procesorja. Procesor se lahko pri večjih procesnih obremenitvah in pri nezadostnem hlajenju segreje do visokih temperatur, ki lahko uničijo mikroračunalnik. Za ta namen se uporabljajo različne hladilne naprave, ki pa niso vključene v mikroračunalnik. Zaradi tega smo še pred namestitvijo zunanjih hladilnih delov primerjali temperaturo procesorjev. Mikroračunalnike smo 10 minut obremenjevali s težavnimi procesnimi nalogami. Za to smo v terminalu uporabili dva ukaza: prvi nam namesti program Stress Test, drugi pa aktivira omenjeni program.

```
1 sudo apt install stress-ng mesa-utils
2 stress-ng
3 vcgencmd measure_temp
```

Slika 219: Ukazi, ki jih potrebujemo.

(Lastni vir)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Program Stress Test nam omogoča obremenitev vseh štirih jeder procesorja z veliko in stalno obremenitvijo. Po 10 minutah smo prebrali temperaturo procesorja s pomočjo tretjega ukaza (slika 21) oz. s pomočjo prikaza temperature v desnem zgornjem delu ekrana (slika 22).

Temperatura Raspberry Pija 3 B+ je bila 63.2 °C, Raspberry Pija 4 74.5 °C in Nvidia Jetson Nano

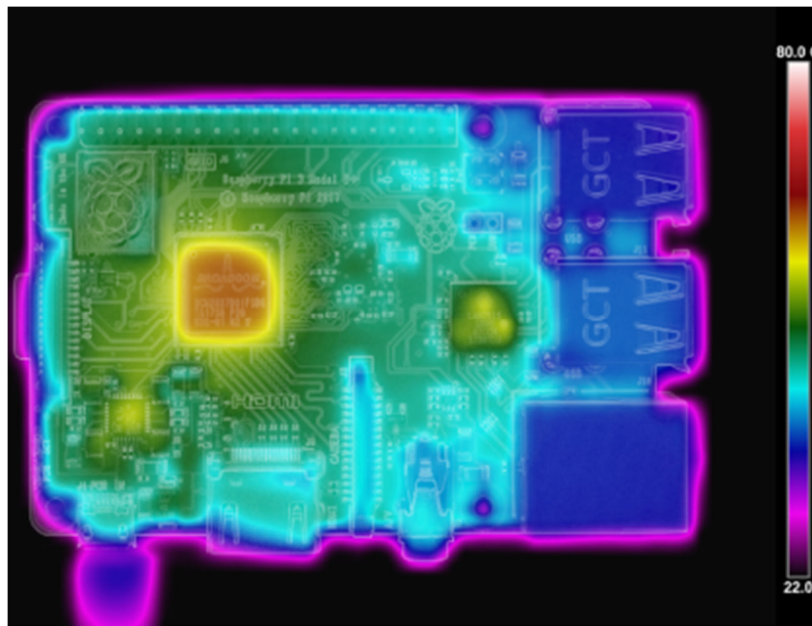


*Slika 202: Branje temperature  
(Lastni vir)*

60.3 °C. Rezultati testiranja so bili nepričakovano, saj smo pričakovali, da bo imela novejša verzija Raspberryja manjšo temperaturo od starejše verzije, vendar je bilo ravno obratno.

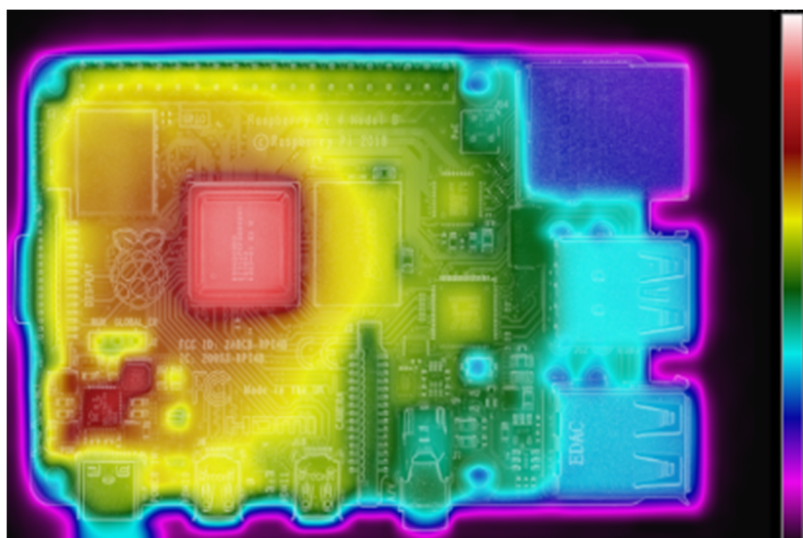
Svoje ugotovitve smo potrdili tudi s termalnima slikama mikroprocesorjev, ki smo ju našli na spletu. S termalnih slik 23 in 24 lahko tudi grafično vidimo višjo temperaturo pri Raspberry Piju 4. Vidno je tudi, kako se temperatura nato iz procesorja razširi na druge komponente. To je lahko problem, saj druge komponente nimajo tako visoke temperaturne obstojnosti kot procesor. S testom smo ugotovili, da temperaturo najboljše odvaja Nvidia Jetson Nano, za njim nepričakovano Raspberry Pi 3 B+ in nazadnje Raspberry Pi 4. Ugotovili smo tudi, da bomo pri uporabi mikroračunalnika za robota zagotovo potrebovali zunanje hlajenje, saj bo robot deloval več kot le 10 minut in bi bila visoka temperatura lahko problematična.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga



Slika 213: Termalna slika Raspberry Pija 3 B+

(Vir: <https://medium.com/@ghalfacree/benchmarking-the-raspberry-pi-4-73e5afbcd54b>)



Slika 224: Termalna slika Raspberry Pija 4

(Vir: <https://medium.com/@ghalfacree/benchmarking-the-raspberry-pi-4-73e5afbcd54b>)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Po omenjenem testu smo dobili še novo idejo, da preizkusimo, če je toplota povezana s porabo električne energije. Želeli smo preizkusiti koliko toka porabi posamezen mikroračunalnik pri petih Voltih v stanju mirovanja. To smo preizkusili z zaporedno vezavo Ampermetra in merjenju toka. Nato smo izračunali še čas, v katerem posamezni mikroračunalnik izprazni 1200 mAh baterijo. Rezultate smo predstavili v spodnji tabeli.

*Tabela 2: Prikaz porabe  
(Lastni vir)*

Mikroračunalnik	Poraba	Čas izpraznjenja baterije
Raspberry Pi 4 B	575 mA	4.8 h
Raspberry Pi 3 B+	400 mA	6.7 h
Nvidia Jetson Nano	280 mA	9.5 h

#### 10.4 GRAFIČNA PRIMERJAVA

Ena izmed najpomembnejših nalog mikroprocesorja našega robota je grafično obdelovanje slik v realnem času. Za to je potrebna velika grafična moč. Za preizkus moramo na mikroračunalnik namestiti OpenCV-knjižnico, ki nam omogoča prepoznavanje objektov preko kamere v realnem času s pomočjo umetne inteligence. Sama namestitev knjižnice je preprosta, vendar pa poteka sorazmerno dolgo časa. Potrebujemo naslednje ukaze, ki jih vstavimo v terminal.

```
mkdir ~/src && cd ~/src
wget https://bootstrap.pypa.io/get-pip.py
$ sudo python3 get-pip.py
sudo pip install opencv-contrib-python
```

*Slika 235: Ukazi za namestitev OpenCV-ja  
(Lastni vir)*

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

S prvimi tremi ukazi namestimo Python Virtual Environment, z zadnjim pa OpenCV. Pri sami namestitvi obstajajo časovne razlike, ki so posledica različne procesne moči mikroračunalnikov. V našem primeru je Raspberry Pi 4 porabil 94 minut, Raspberry Pi 3 B+ 123 minut, Nvidia Jetson Nano pa 115 minut. Ko je namestitev končana, lahko preverimo uspešnost.

```
>>> import cv2
>>> cv2.__version__
'4.5.0'
```

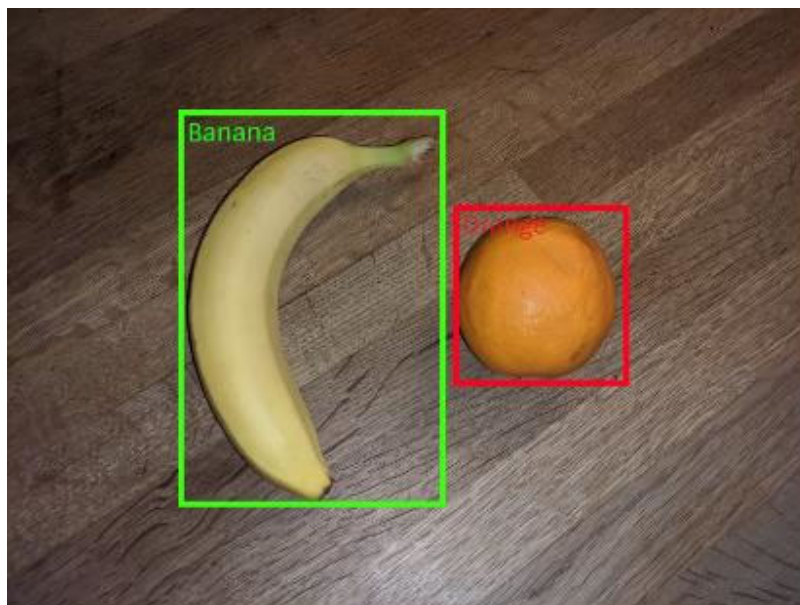
*Slika 246: Preverjanje uspešnosti namestitve OpenCV-ja  
(Lastni vir)*

V terminal vpišemo prva dva ukaza, terminal pa nam potem izpiše verzijo OpenCV-ja in s tem uspešnost namestitve.

Za prvi preizkus smo v program uvozili sliko velikosti 1080 x 980 pikselov, na kateri sta bila dva prepoznavna objekta. Sprva je program potrebno naučiti prepoznavanja zelenih predmetov. To naredimo tako, da iz knjižnice uvozimo že naloženo kodo, ki nam zaznava vnaprej naložene objekte. V našem primeru je bila to slika pomaranče in banane. Preden je bila slika uvožena v program, je bila zmanjšana na velikost 300 x 300 pikselov.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Nato smo 100-krat zapored sliko vstavili v program in izračunali povprečje za natančnejšo primerjavo. Rezultati so prikazani v tabeli spodaj.



Slika 257: Rezultat prepoznavanja z OpenCV-jem  
(Lastni vir)

Tabela 3: Prikaz časov  
(Lastni vir)

Mikrokontrolnik	Najboljši čas	Najslabši čas	Povprečen čas
Nvidia Jetson Nano	40.4 ms	80.8 ms	61.6 ms
Raspberry Pi 4	70.8 ms	150.4 ms	102.7 ms
Raspberry Pi 3 B+	201.0 ms	304.1 ms	272.5 ms

Sledil je še preizkus s hazmatskim simbolom za nevarnost. Slednjega mora robot na tekmovanju samodejno prepoznati. Za ta preizkus smo ponovno uporabili program OpenCV. Vanj pa smo morali dodati še simbol, ki smo ga brali. Problem je nastopil, saj za ta simbol nismo imeli že vnaprej

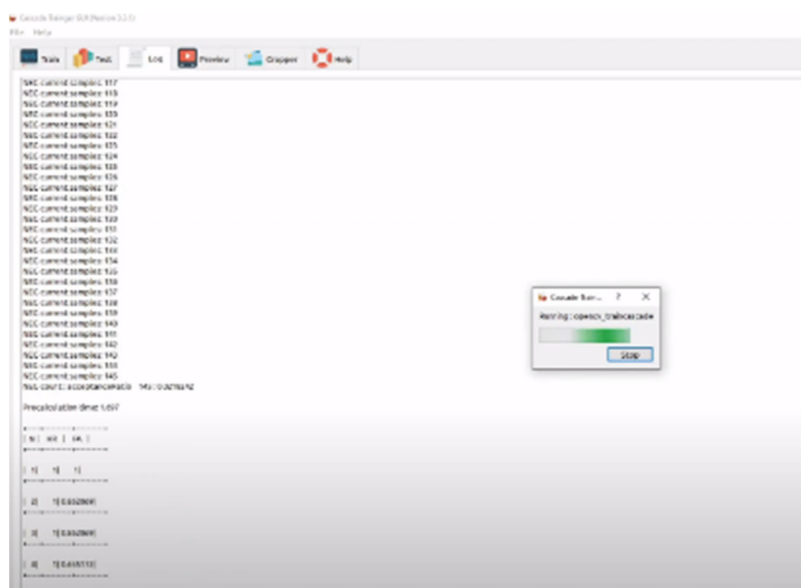
# ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI REŠEVALNEM ROBOTU

## Raziskovalna naloga

narejene kode. Zaradi tega smo uporabili program Cascade training, v katerega smo naložili več fotografij znaka z več kotov. Program nam je nato izvozil datoteko simbola, ki smo ga vstavili v program OpenCV. V našem primeru je to simbol za vnetljiv plin na sliki 28. Rezultate testa smo nato, enako kot v prvem primeru, predstavili v tabeli 3.



Slika 268: Hazmatski simbol  
(Lastni vir)



Slika 279: Program Cascade Trening  
(Lastni vir)

Tabela 4: Prikaz časov za drugi preizkus  
(Lastni vir)

Mikrokrmilnik	Najboljši čas	Najslabši čas	Povprečen čas
Nvidia Jetson Nano	64.6 ms	95.3 ms	80.6 ms
Raspberry Pi 4	88.3 ms	180.4 ms	120.4 ms
Raspberry Pi 3 B+	221.0 ms	324.4 ms	294.4 ms

Rezultati obeh testov so bili pričakovani. Nvidia Jetson Nano je najboljšje opravil oba preizkusa. Po povprečnih časih je bil za približno 66 % hitrejši od Raspberry Pija 4 in za 342 % hitrejši od

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Raspberry Pi 3 B+. Razlike se nam sicer zdijo majhne, a moramo vedeti, da bo v našem primeru mikroračunalnik tako nalogo opravljal v realnem času in se bo ta majhna razlika na daljši čas uporabe poznala.

### 10.5 PRIMERJAVA PRENOSA PODATKOV

V tej primerjavi smo preizkušali hitrost branja podatkov z USB 3.0 SSD-diska in z mikro SD-kartice, na kateri so nameščeni operacijski sistem in vsi podatki. Ta test je bil v celoti opravljen v terminalu mikroračunalnika. Najprej smo opravili test branja podatkov z diska, priklopljenega preko USB-povezave. Ta test smo izvedli s prvim ukazom, kot je vidno na slikah 30, 31 in 32. Prvi test je na Raspberry Pi 3 B+, drugi na Raspberry Pi 4 in tretji na Nvidia Jetson Nano. Drugi je test branja hitrosti z mikro SD-kartice. Ta je izveden z drugim ukazom, kar je vidno na slikah 30, 31 in 32. Drugi test je potekal po istem zaporedju kot prvi. Podatke smo zaradi boljše preglednosti predstavili v stolpičnem diagramu spodaj.

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo hdparm -t --direct /dev/sda1
/dev/sda1:
Timing O_DIRECT disk reads: 86 MB in 3.04 seconds = 28.29 MB/sec
pi@raspberrypi:~ $ sudo hdparm -t --direct /dev/mmcblk0p2
/dev/mmcblk0p2:
Timing O_DIRECT disk reads: 68 MB in 3.08 seconds = 22.06 MB/sec
pi@raspberrypi:~ $ █
```

*Slika 28: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Raspberry Pi 3 B+*  
(Lastni vir)



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo hdparm -t --direct /dev/sda1
/dev/sda1:
Timing O_DIRECT disk reads: 796 MB in 3.00 seconds = 265.18 MB/sec
pi@raspberrypi:~ $ sudo hdparm -t --direct /dev/mmcblk0p2
/dev/mmcblk0p2:
HDIO_DRIVE_CMD(identify) failed: Invalid argument
Timing O_DIRECT disk reads: 124 MB in 3.04 seconds = 40.77 MB/sec
pi@raspberrypi:~ $ █
```

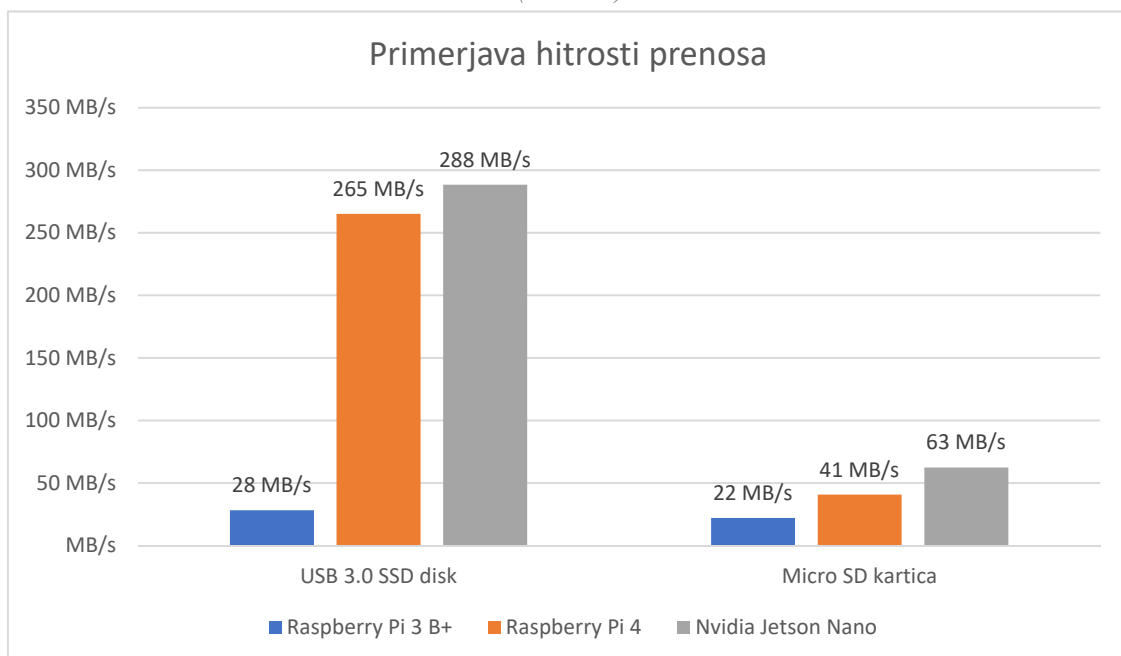
Slika 301: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Raspberry Pi 4

(Lastni vir)

```
ec@Nano:~$ sudo hdparm -t --direct /dev/sda1
/dev/sda1:
Timing O_DIRECT disk reads: 866 MB in 3.00 seconds = 288.35 MB/sec
ec@Nano:~$ sudo hdparm -t --direct /dev/mmcblk0p1
/dev/mmcblk0p1:
Timing O_DIRECT disk reads: 188 MB in 3.01 seconds = 62.52 MB/sec
ec@Nano:~$
```

Slika 292: Branje hitrosti prenašanja podatkov na Nvidia Jetson Nano

(Lastni vir)



Graf 2: Primerjava hitrosti prenosa

(Lastni vir)

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

Kot vidimo na diagramu, so pri branju z USB 3.0 SSD-diska največje razlike. Sploh je velika razlika med Raspberry Pijem 3 B+ in drugima dvema mikroračunalnikoma. To bo posebej pomembno, saj imamo kamero pri robotu priključeno preko USB-povezave in želimo imeti dobro kakovost slike. Pri branju z mikro SD-kartice pa so razlike manjše. Vseeno pa je Nvidia Jetson Nano najboljše opravil ta test, saj je v obeh preizkusih dosegel največjo hitrost prenosa. Sledil mu je Raspberry Pi 4 in nazadnje Raspberry Pi 3 B+.

### 10.6 PRIMERJAVA S POMOČJO PROGRAMA PHORONIX TEST SUITE

Naslednji preizkus je potekal s pomočjo programa Phoronix Test Suite, ki je odprtokodna in avtomatizirana primerjalna analiza moči mikroračunalnika. Sestavljena je iz 11 različnih preizkusov. Samo nalaganje je enostavno in poteka v terminalu, test pa je v našem primeru trajal okoli 2 uri.

```
1 sudo apt-get install -y php-cli php-xml
2 phoronix-test-suite benchmark 1809111-RA
  -ARMLINUX005
3 ~/.phoronix-test-suite/test-results/
```

*Slika 313: Ukazi, ki jih potrebujemo za delovanje programa.*

*(Lastni vir)*

Rezultati so zaradi boljše preglednosti prikazani v tabeli 4.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKORARAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

*Tabela 5: Rezultati Phoronix Test Suita  
(Lastni vir)*

Preizkus	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 3 B+	Nvidia Jetson Nano	Zapiski
Tinymembenc Standard Memcpy	2526.8 MB/s	1288	3501 MB/s	Več MB/s je boljše
3D TTSIOD	32.3075 FPS	16.82 FPS	41.00 FPS	Več FPS je boljše
7-Zip	3701 MIPS	1796 MIPS	3501 MIPS	Večja vrednost MIPS je boljše
C-Ray	609.431 s	2074.0 s	932 s	Manjši čas je boljši
Primesieve	519.238 s	1113 s	468 s	Manjši čas je boljši
AOBench	125.643 s	290 s	187 sekund	Manjši čas je boljši
FLAC Audio	85.805 s	336.07 s	104.01 s	Manjši čas je boljši
LAME MP3 Encoding	124.952 s	301.98 s	144.21 s	Manjši čas je boljši
Perl	0.58082059 s	1.11833973 s	0.7114 s	Manjši čas je boljši
Redis	491168.39 zahtev	240761 zahtev	568431 zahtev	Več zahtev je boljše
PyBench	5673 ms	20923 ms	7080 ms	Manjši čas je boljši

V tabeli zgoraj so predstavljeni končni rezultati testa. Z rumeno so pobarvani najboljши podatki vsakega testa. S testom ugotovimo, da je bil najslabši Raspberry Pi 3 B+, ki ni dosegel najboljšega rezultata na nobenem testu. Na drugem mestu je bil Nvidia Jetson Nano, ki je najboljши pri štirih

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

testih. Večina testov je temeljila na grafični zmogljivosti, zato je bil zmagovalec teh testov pričakovano Nvidia Jetson Nano. Najboljše pa se je odrezal Raspberry Pi 4, ki je zmagal na sedmih od enajstih testov. S tem je tudi postal najboljši mikroračunalnik tega testa.

### 10.7 POVZETEK PRIMERJAV

Po šestih testih smo primerjavo zaključili. Rezultati so prikazani v tabeli spodaj. Za vsak test smo zapisali, katero mesto je mikroračunalnik zasedel. Na koncu pa smo dodelili še točke in jih sešteli. Tri točke smo podelili za prvo mesto, dve za drugo in eno za tretje mesto.

*Tabela 6: Prikaz zmagovalcev posameznih primerjav  
(Lastni vir)*

Primerjava	Raspberry Pi 4	Raspberry 3 B+	Nvidia Jetson Nano
Po specifikacijah	1. mesto	3. mesto	2. mesto
Po ceni in dobavljivosti	1. mesto	2. mesto	3. mesto
Toplotna	3. mesto	2. mesto	1. mesto
Grafična	2. mesto	3. mesto	1. mesto
Prenosa podatkov	2. mesto	3. mesto	1. mesto
Phoronix Test	1. mesto	3. mesto	2. mesto
Seštevek točk	14 točk	8 točk	14 točk

Kot lahko vidimo v tabeli, imamo izenačenje točk med Nvidia Jetson Nanom in Raspberry Pijem 4. Raspberry Pi 3 B+ pa zaostaja za 6 točk. Zaradi tega lahko Raspberry Pi 3 B+ izločimo. Ostala mikroračunalnika pa moramo primerjati drugače. V prejšnjo primerjavo nismo vključili dejstva, da je primerjava po točkah delno nesmiselna, saj posamezne primerjave za našo uporabo niso enakovredne. Med najpomembnejšimi primerjavami so primerjava po specifikacijah, grafična primerjava in primerjava Phoronix Testa. Toplotna primerjava, primerjava po ceni in dobavljivosti

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

ter primerjava prenosa podatkov pa za naš primer niso tako zelo pomembne. Toplotna primerjava zaradi dejstva, da je preprosto rešljiva z zunanjim hlajenjem. Cenovna primerjava ni tako pomembna, ker smo imeli dovolj sredstev. Primerjava po prenosu podatkov pa zato, ker smo tudi z malo manjšim prenosom dobili zadovoljive rezultate. Zaradi tega je končni zmagovalec primerjave Raspberry Pi 4, ki smo ga uporabili za svojega robota.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 11 PREDSTAVITEV REZULTATOV

Po rezultatih raziskave lahko tri hipoteze potrdimo in eno ovržemo.

*Tabela 7: Prikaz hipotez  
(Lastni vir)*

H1 – Nvidia Jetson Nano bo grafično najzmogljivejši.	<b>POTRJENA</b>
H2 – Raspberry Pi 4 bo v vseh pogledih boljši kot Raspberry Pi 3 B+.	<b>DELNO OVRŽENA</b>
H3 – Raspberry Pi 4 bo procesno najzmogljivejši.	<b>POTRJENA</b>
H4 – Raspberry Pi 4 bo končni zmagovalec primerjave.	<b>POTRJENA</b>

### **H1 – Nvidia Jetson Nano bo grafično najzmogljivejši.**

Omenjeni mikroračunalnik je bil daleč najboljši v vseh grafičnih testih, zato smo to hipotezo potrdili.

### **H2 – Raspberry Pi 4 bo v vseh pogledih boljši kot Raspberry Pi 3 B+.**

Pri toplotni primerjavi in pri cenovni primerjavi je bil Raspberry Pi 3 B+ boljši od Raspberry Pija 4, zato smo to hipotezo delno ovrgli ker je Pi3 manj procesorsko zmogljiv in je zato posledično manj toplotnih izgub.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

**H3 – Raspberry Pi 4 bo procesno najzmogljivejši.**

Omenjeni mikroračunalnik je bil najboljši v vseh procesnih testih, zato smo to hipotezo potrdili.

**H4 – Raspberry Pi 4 bo končni zmagovalec primerjave.**

Omenjeni mikroračunalnik je zmagal v največ kategorijah in je bil na koncu izbran za našega robota. Vendar pa ni bil najboljši v vseh kategorijah. V grafični kategoriji je bil končni zmagovalec nekoliko slabši od Nvidia Jetson Nano, vseeno pa je bil v drugih kategorijah boljši. Pri tem se postavi vprašanje, ali je mogoče oba mikroračunalnika povezati in uporabljati skupno. Do realizacije tega nismo prišli, saj je bil čas velik dejavnik. Vseeno menimo, da je bil Raspberry Pi 4 končni zmagovalec testa in zato smo to hipotezo lahko potrdili.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## **12 MOŽNOST NADALJNJEGA RAZISKOVANJA**

Kot smo napisali na začetku naloge, je bil naš cilj najti najprimernejši mikroračunalnik za našega robota. Našli smo zelo dobrega, ki pa ni bil najboljši na vseh področjih. Sploh je bilo problematično grafično področje. Zaradi tega smo med delom prišli do vprašanja, če je mogoče na Raspberry Pi 4 priklopiti zunanjo grafično ploščico. Menimo, da bi to bila dobra možnost nadaljnjega raziskovanja, saj bi bil s tem izbrani mikroračunalnik grafično najzmogljivejši.

Druga možnost nadaljnjega raziskovanja pa je izbira še kakšnega drugega mikroračunalnika. Mogoče celo uporaba zmogljivega pametnega telefona, na katerega bi bilo treba namestiti operacijski sistem, ki bi bil prirejen po meri.

Obstaja pa tudi lažja rešitev, to je, da bi grafično obdelovanje potekalo na zunanjem računalniku, preko katerega je robot tudi voden. Torej bi robot zajel le sliko in jo poslal na zunanji računalnik preko podatkovne povezave, kjer bi bila slika nato grafično obdelana. S tem bi pospešili samo grafično obdelavo in jo naredili zmogljivejšo. Postavi pa se vprašanje, ali bi bilo takšno obdelovanje slike dovolj hitro in ali bi lahko potekalo v realnem času. S tem mislimo, da bi robot celoten čas procesiral sliko, ki jo dobi iz kamere. S tem bi bilo vodenje enostavnejše in popolnoma avtonomno.



ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

### **13 ZAKLJUČEK**

Raziskovalna naloga nam je predstavljala večji izziv, kot smo sprva mislili. Razmišljali smo, da bo za vse tri mikroračunalnike deloval isti program in da bo vse takoj funkcioniralo, vendar smo kmalu ugotovili, da ni povsem tako. Skozi raziskovanje smo se naučili veliko o programskih jezikih, programiranju mikroračunalnikov in njihovih lastnostih. Ob testih smo spoznali številne specifikacije mikroračunalnikov. V prihodnosti bi lahko izvedli še mnoge teste, s katerimi bi preverili tudi druge dele mikroračunalnika. Ugotovili smo, da je za našega robota najuporabnejši Raspberry Pi 4, saj je bil najboljši pri večini testov. Tudi cenovno je zelo ugoden. Menimo, da se bodo v bližnji prihodnosti razvili boljši mikroračunalniki, ki bodo močno presegli testirane v vseh pogledih. V prihodnosti delamo v tej smeri, da bi raziskali tudi te mikroračunalnike.

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

## 14 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] Linux (online). (citirano 20. 1. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Linux>
- [2] Nalaganje OpenCV (online). (citirano 10. 3. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://www.pyimagesearch.com/2018/09/26/install-opencv-4-on-your-raspberry-pi/>
- [3] Nvidia Jetson Nano (online). (citirano 11. 1. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-announces-jetson-nano-99-tiny-yet-mighty-nvidia-cuda-x-ai-computer-that-runs-all-ai-models>
- [4] Phoronix Test (online). (citirano 20. 3. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://www.phoronix-test-suite.com/>
- [5] Povezava z Raspberry Pi (online). (citirano 9. 2. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://projects.raspberrypi.org/en/projects/raspberry-pi-getting-started/3>
- [6] Raspberry OS (online). (citirano 2. 2. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://www.raspberrypi.org/software/>
- [7] Raspberry Pi 3B+ (online). (citirano 11. 1. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [8] Raspberry Pi 4 (online). (citirano 11. 1. 2021). Dostopno na naslovu:  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- [9] RoboCup (online). (citirano 9. 12. 2020). Dostopno na naslovu:  
<https://www.robocup.org/>

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH MIKRORAČUNALNIKOV PRI  
REŠEVALNEM ROBOTU  
Raziskovalna naloga

[10] Termalna slika mikroračunalnika (online). (citirano 21. 2. 2021). Dostopno na naslovu:

<https://www.tomshardware.com/news/raspberry-pi-4-firmware-update-tested,39791.html>