

Embedded systémy a ich implementácia v rámci mobilných robotických systémov

Diplomová práca

Vedúci práce: doc. Ing. Ján Jadlovský, CSc.

Bc. Adam Březina

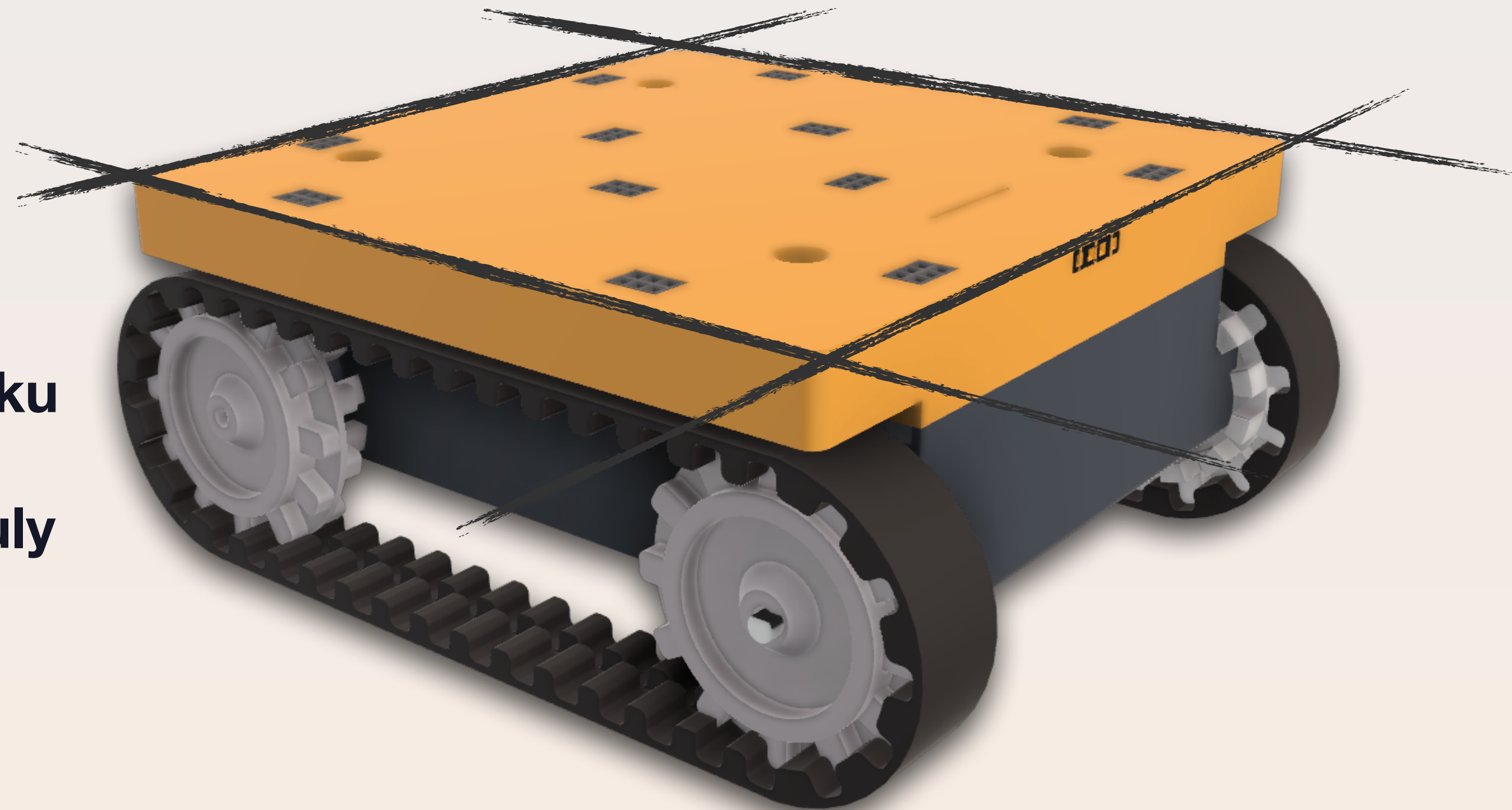
2. ročník Ing. štúdia, Inteligentné systémy

Obsah prezentácie

- 1. Modulárna robotická platforma — ModBot**
- 2. DSR v rámci CMMRaPI na KKUI**
- 3. CERN**
- 4. Porovnanie použitých protokolov**
- 5. Publikácie**
- 6. Otázky oponenta**

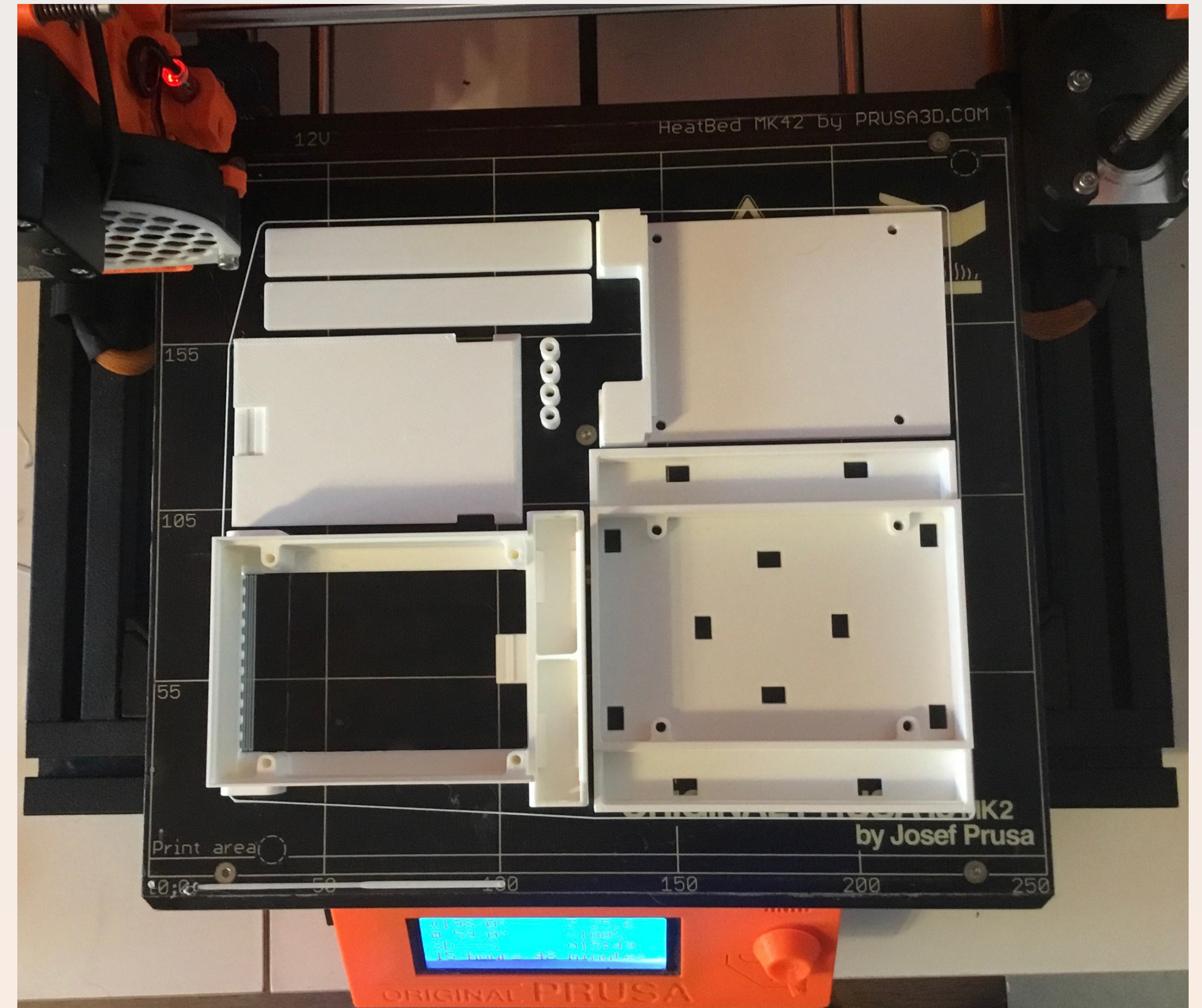
1. Modulárna robotická platforma

- vstavané **Raspberry Pi Zero W**
- 32-bitový mikroprocesor od firmy STM
- motory od firmy Pololu s prevodom 1:210
- enkódery s rozlíšením 12 pulzov na 1 otáčku
- **adresovateľná UART zbernica** pre moduly
- **C++ API**
- **ROS modul**

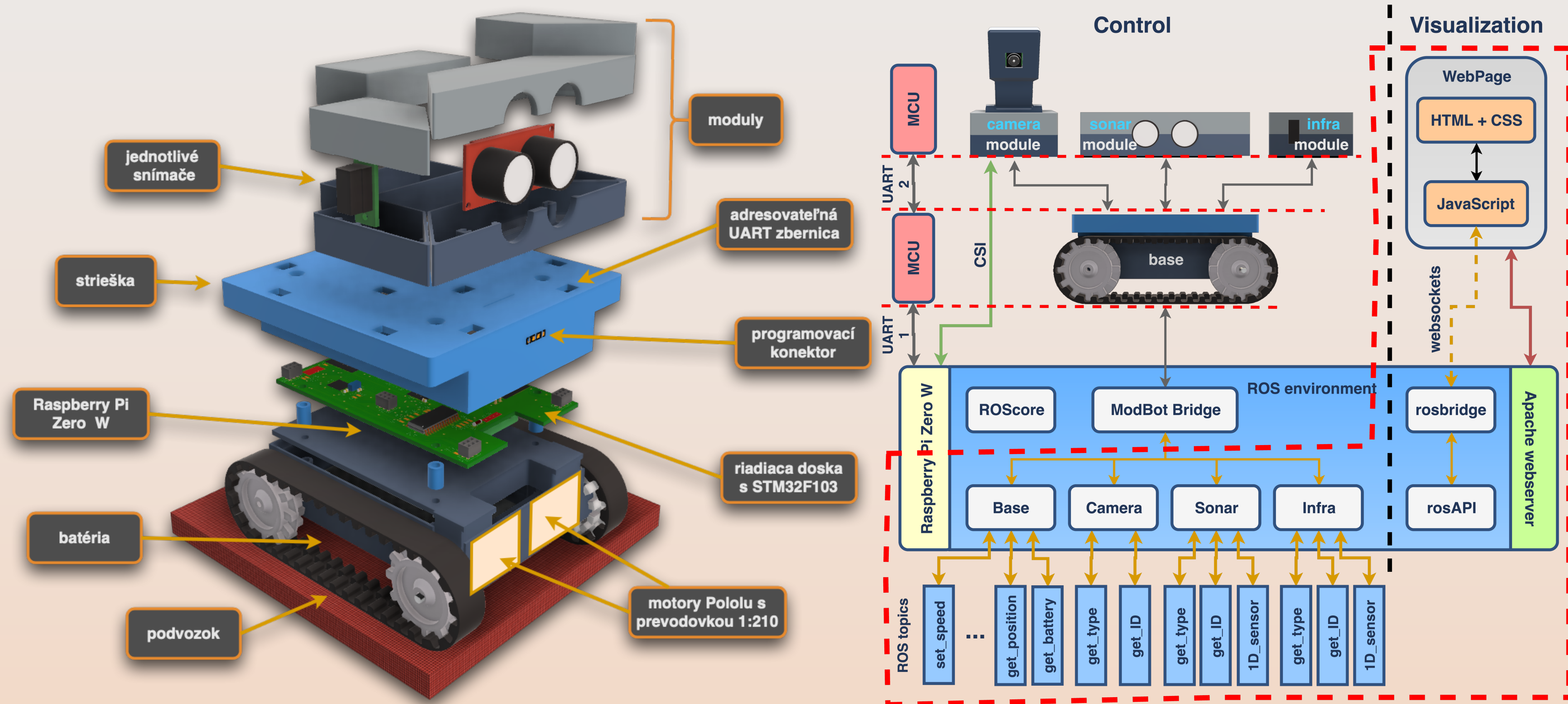


1. Modulárna robotická platforma

- použitie 3D tlačne (Prusa MK2S)
- možnosť rýchleho prototypovania
- výška jednej vrstvy - 0.1mm
- 16 hodín - základne časti
- cca 1.5 hodiny - jeden prídavný modul

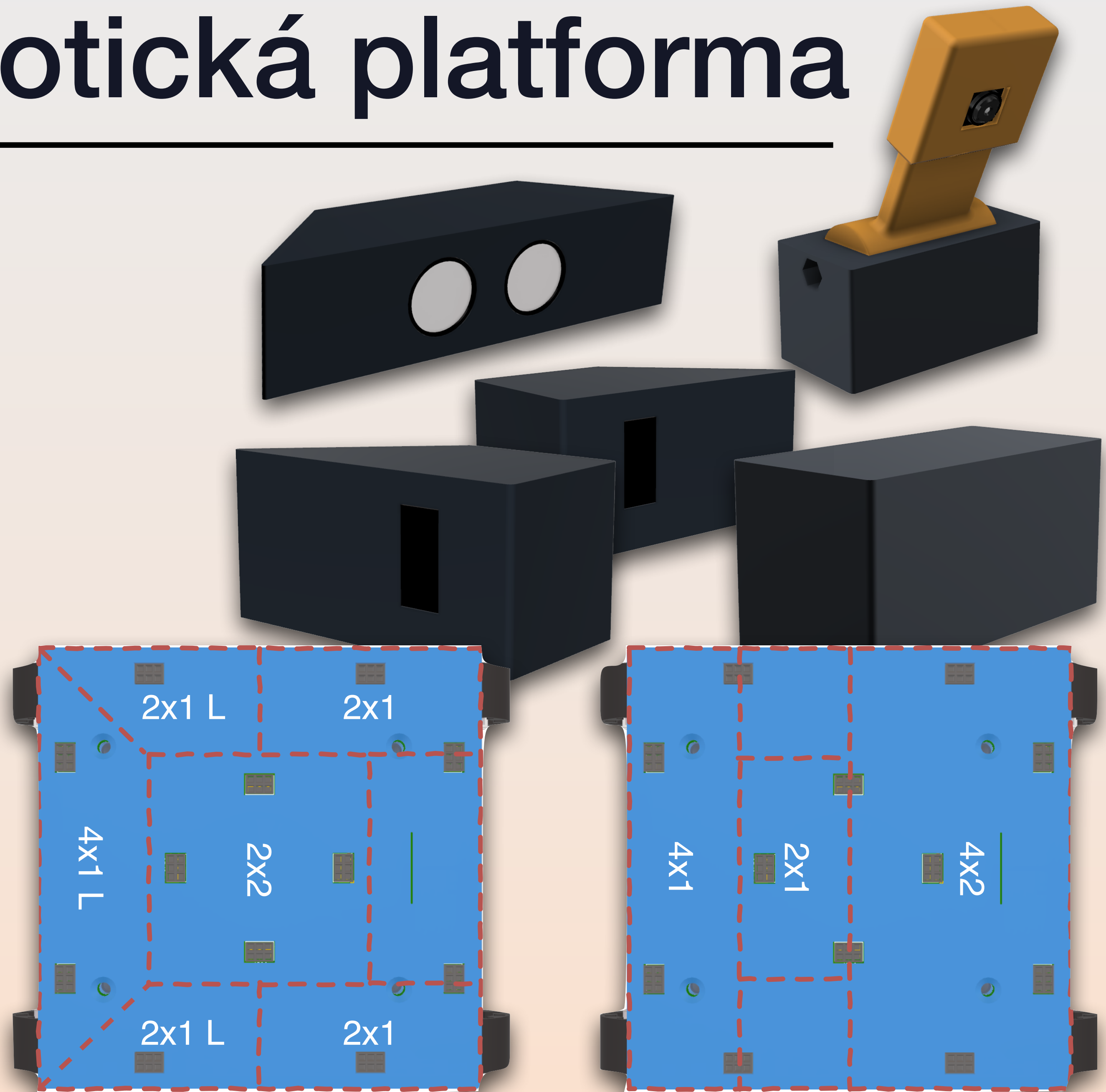


1. Modulárna robotická platforma



1. Modulárna robotická platforma

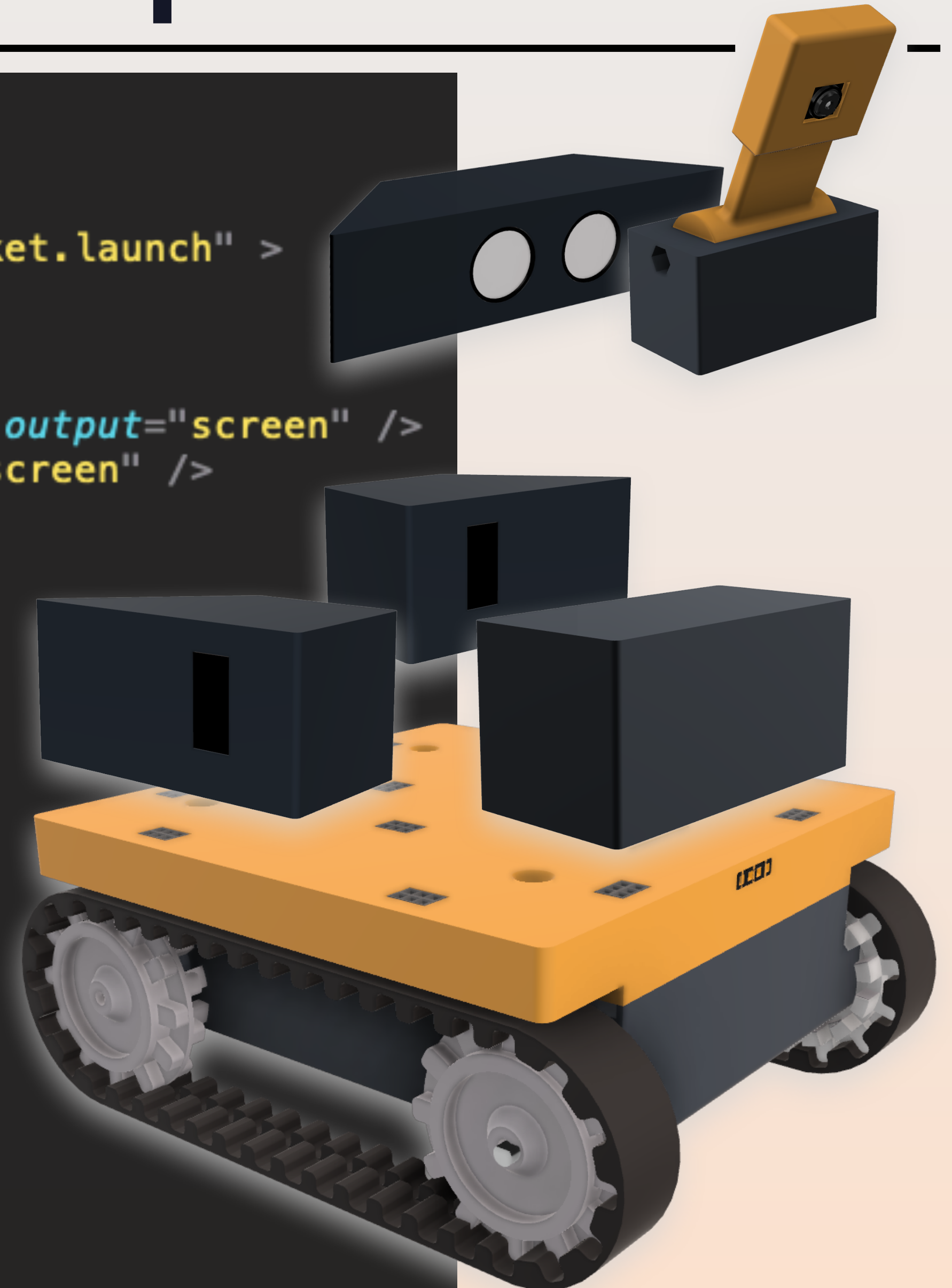
- pripojenie pomocou **UART** zbernice
- 32-bitový mikroprocesor od firmy STM
- moduly podľa navrhnutej mriežky
- **Sonar** - meranie vzdialnosti (1-400cm)
- **Camera** - snímanie okolia
- **Infra** - detekcia objektu (5-15cm)
- **Gyro** - akcelerometer a gyroskop



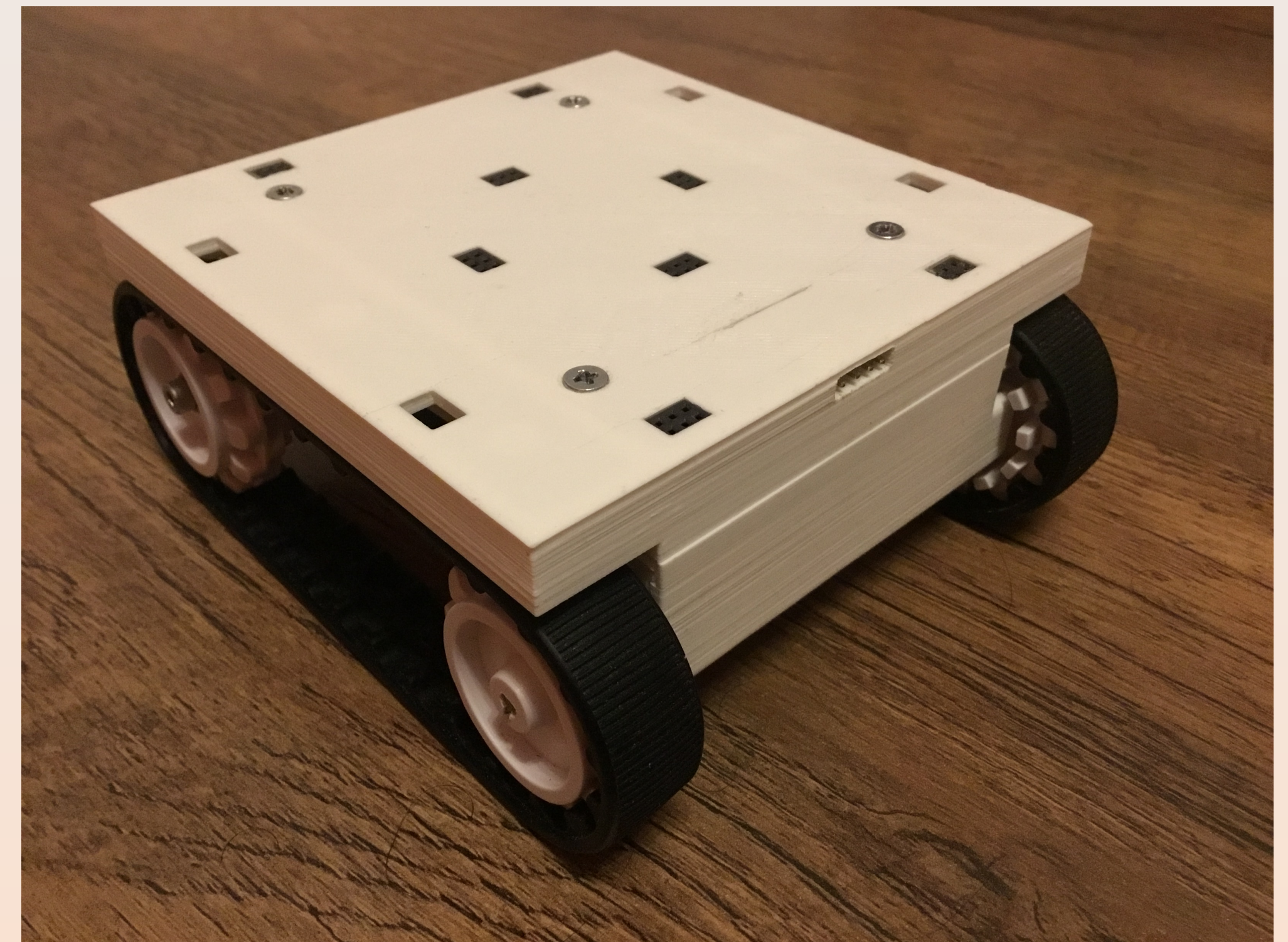
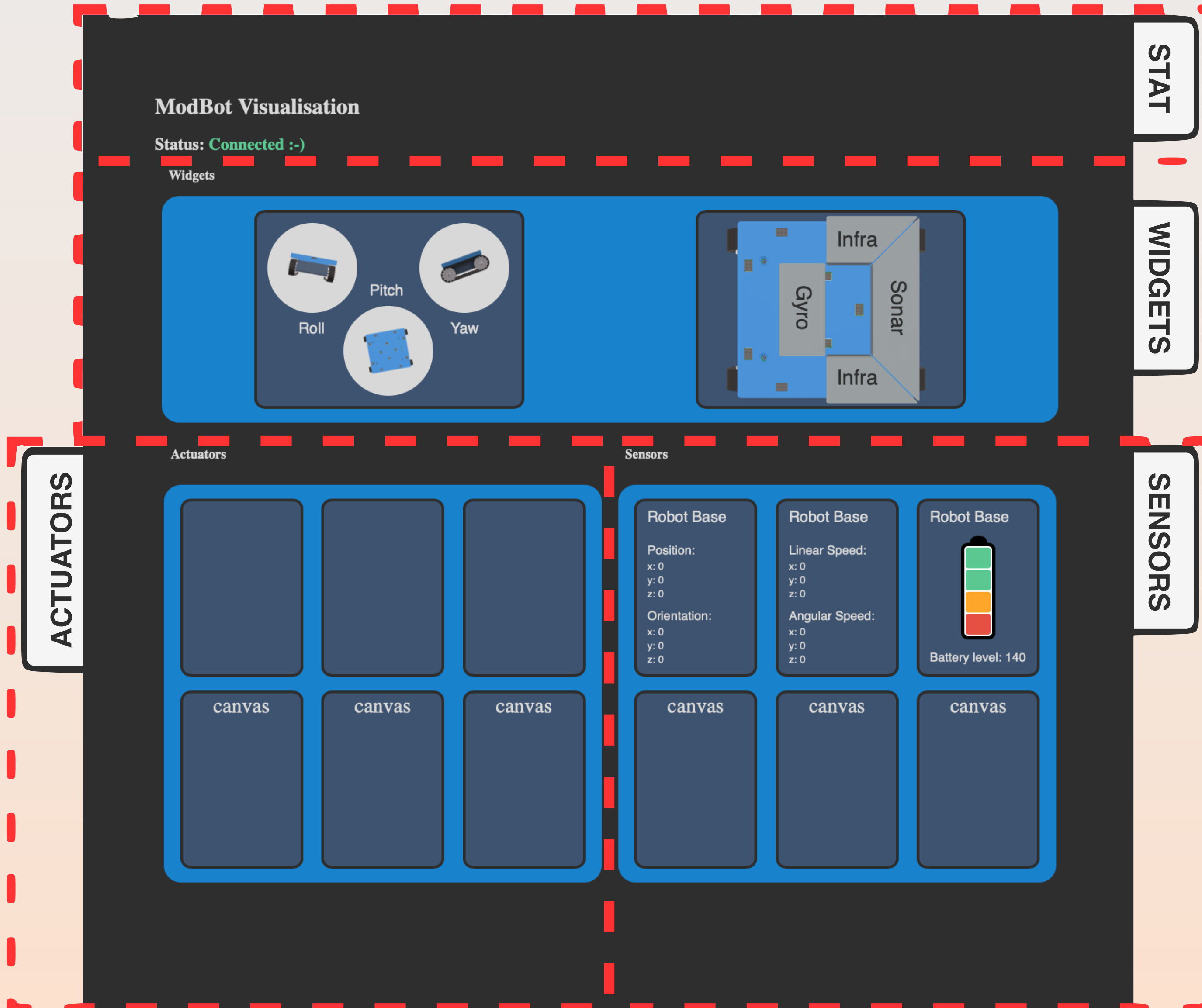
1. Modulárna robotická platforma

modi_base_mod_ws.launch •

```
1 <launch>
2   <include file="$(find rosbridge_server)/launch/rosbridge_websocket.launch" >
3     <arg name="port" value="9090"/>
4   </include>
5   <group ns="modbot">
6     <node name="modi_bridge" pkg="modi" type="modi_bridge_node" output="screen" />
7     <node name="modi_base" pkg="modi" type="modi_node" output="screen" />
8     <group ns="modules">
9       <node name="sonar" pkg="modules" type="sonar_node">
10         <param name="id" type="string" value="10" />
11         <param name="type" type="string" value="4x1L" />
12       </node>
13
14       <node name="infra_L" pkg="modules" type="infra_node">
15         <param name="id" type="string" value="11" />
16         <param name="type" type="string" value="2x1L" />
17       </node>
18
19       <node name="infra_R" pkg="modules" type="infra_node">
20         <param name="id" type="string" value="12" />
21         <param name="type" type="string" value="2x1L" />
22       </node>
23     </group>
24   </group>
25 </launch>
```

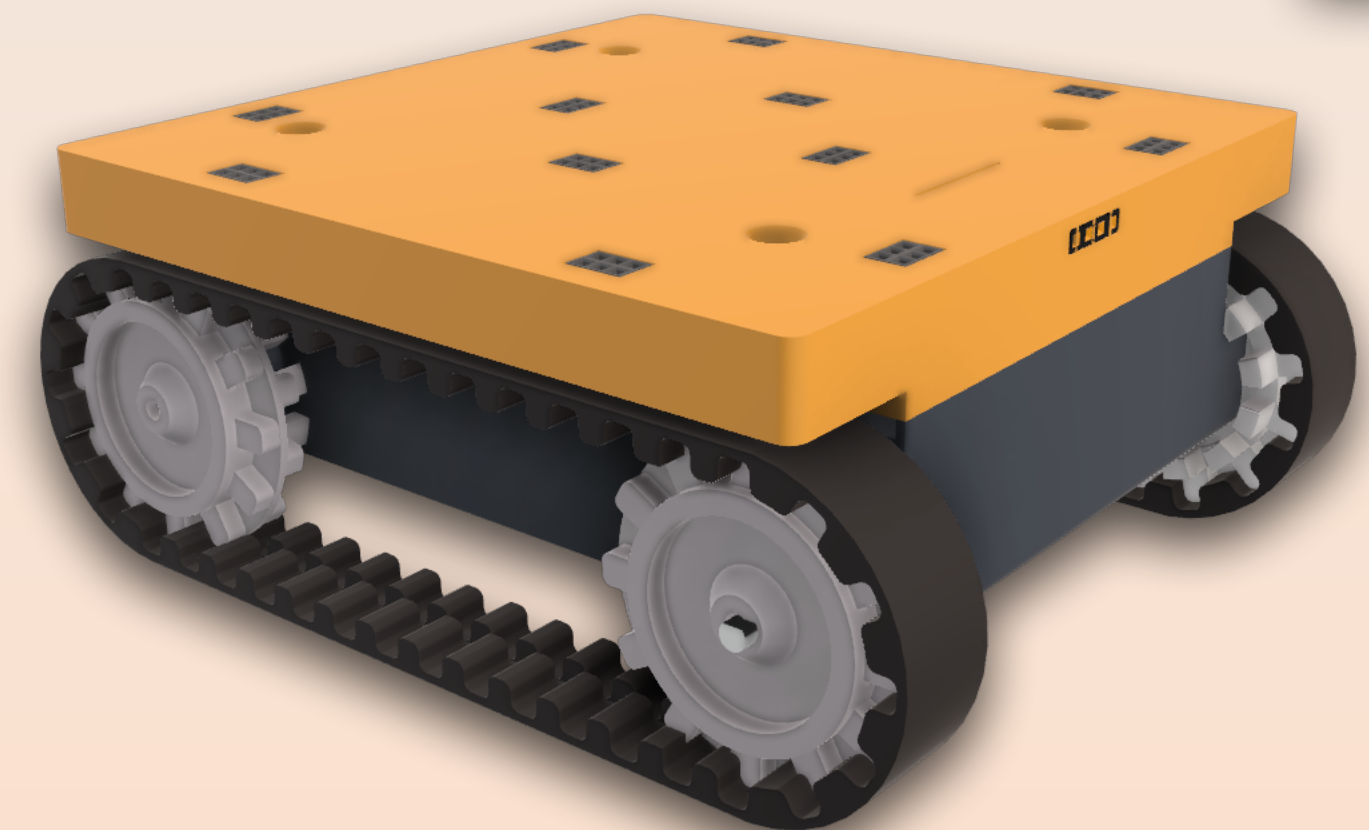
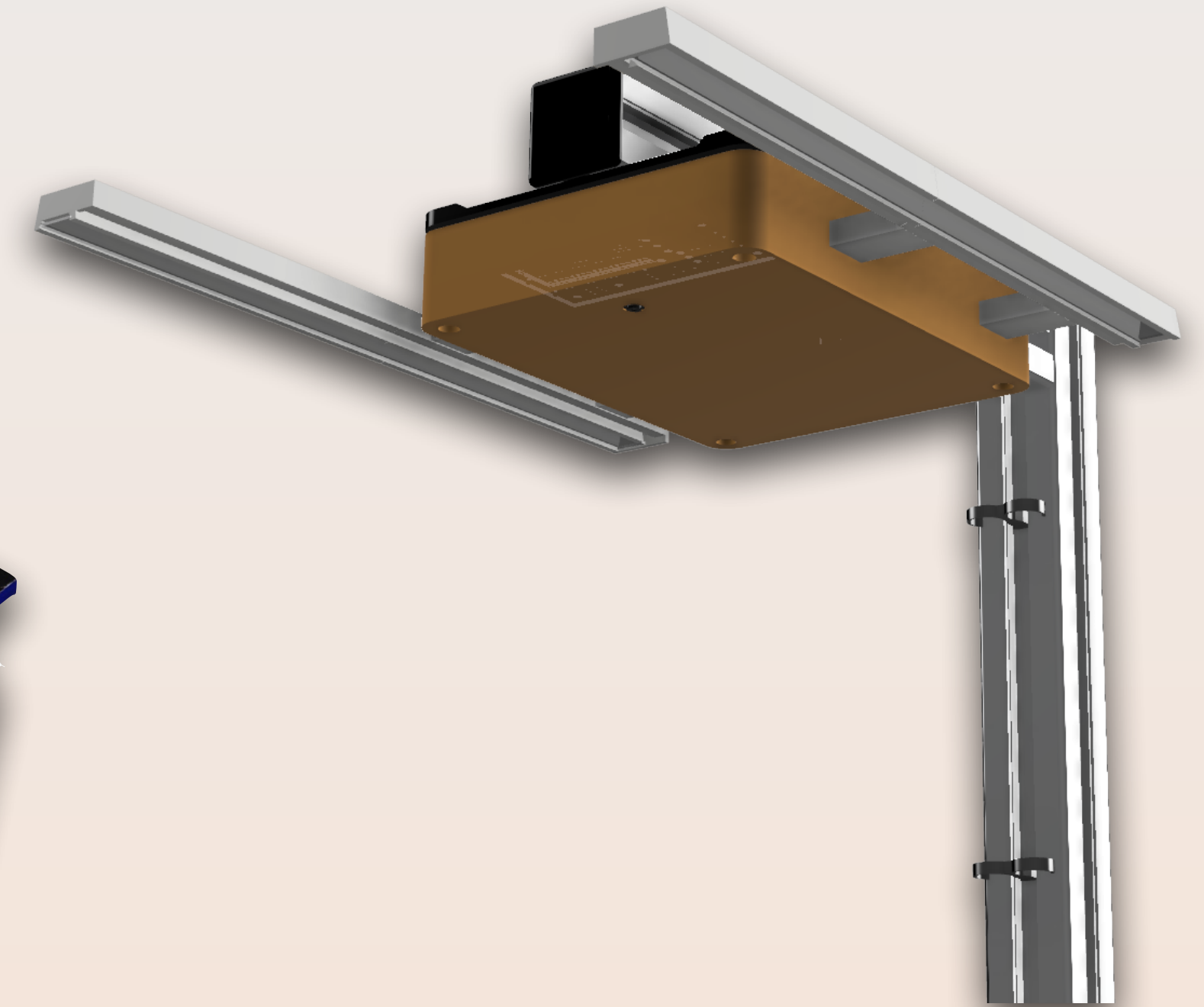
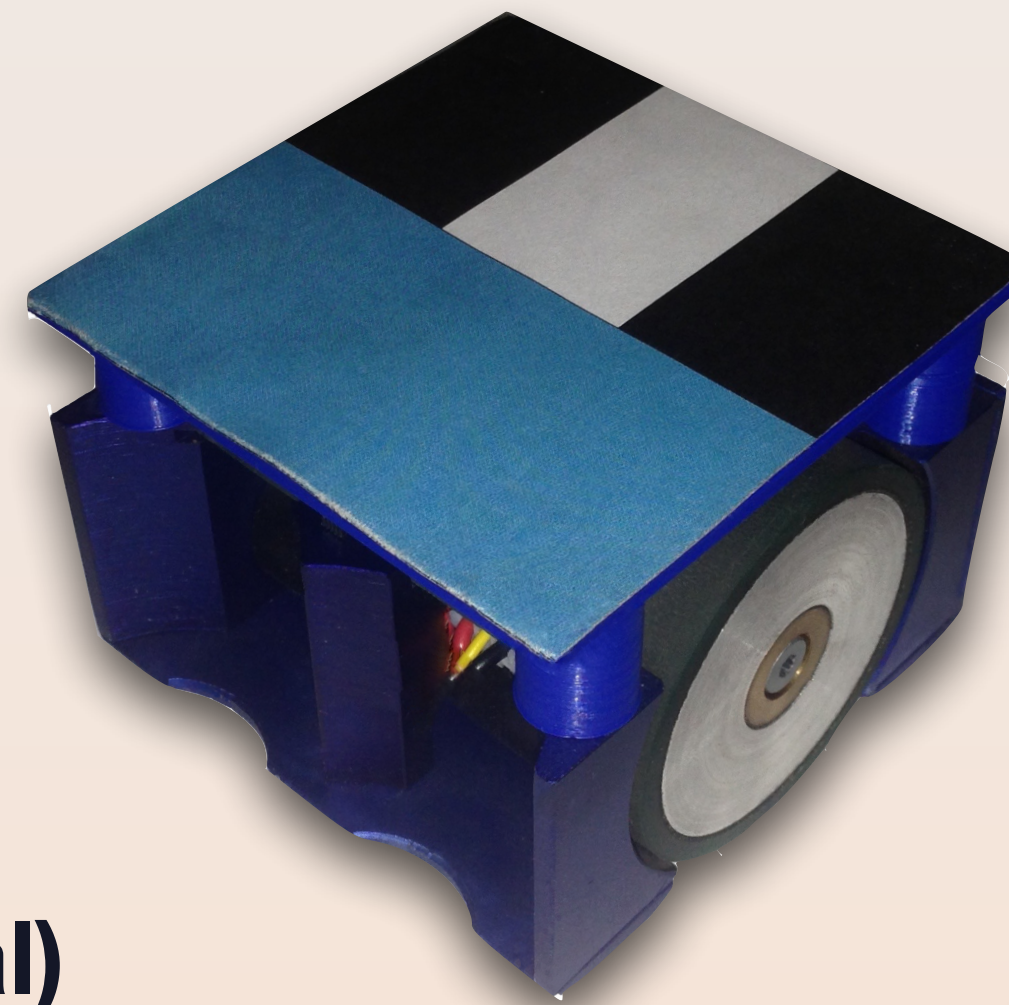


1. Modulárna robotická platforma



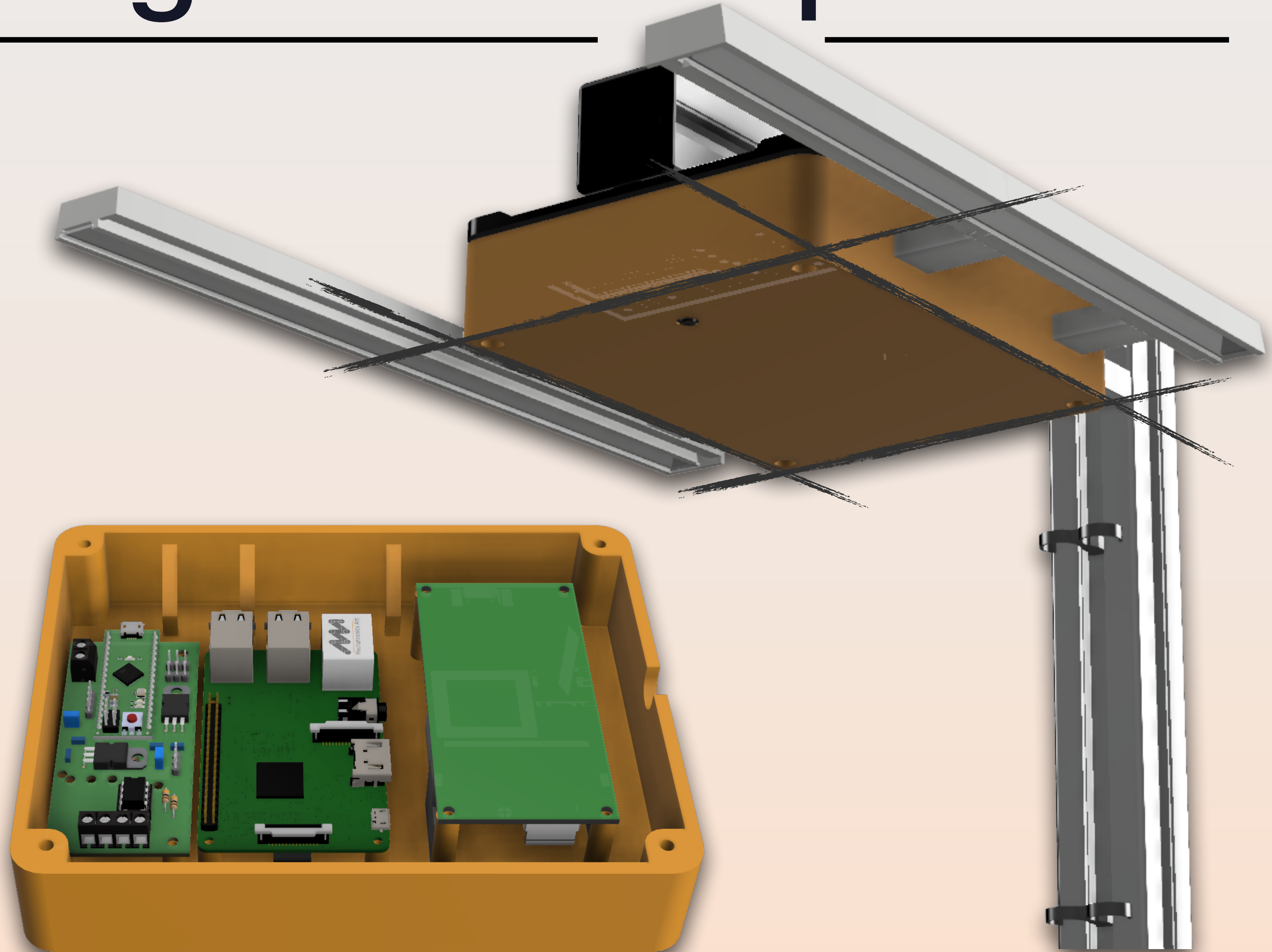
2. DSR na CMMRaPI na KKUI

- pyramidálne riešenie DSR
- model **ModBot** - modulárny robot
- model **gul'ôčka na ploche**
- model **MiroSot player** (robotický futbal)

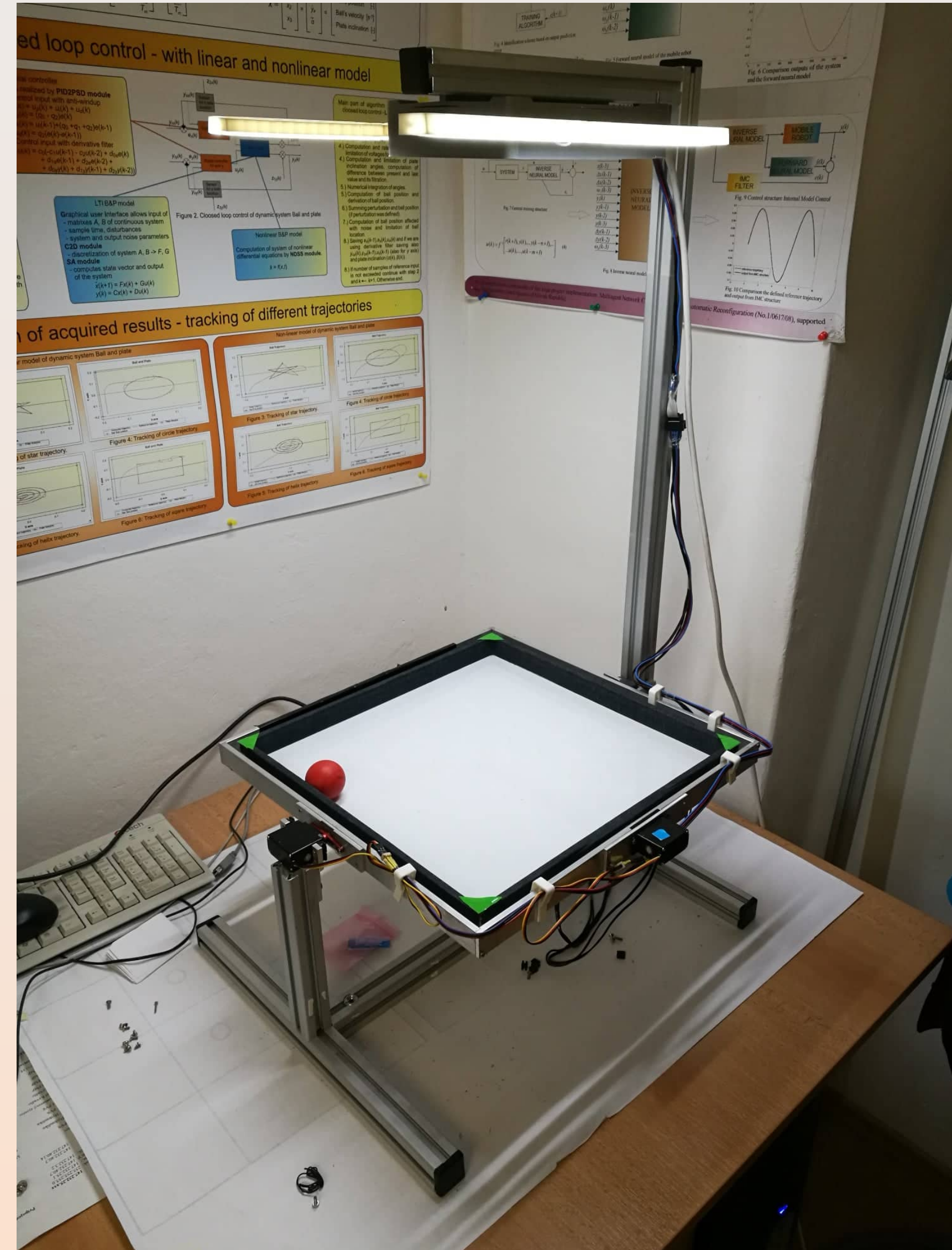
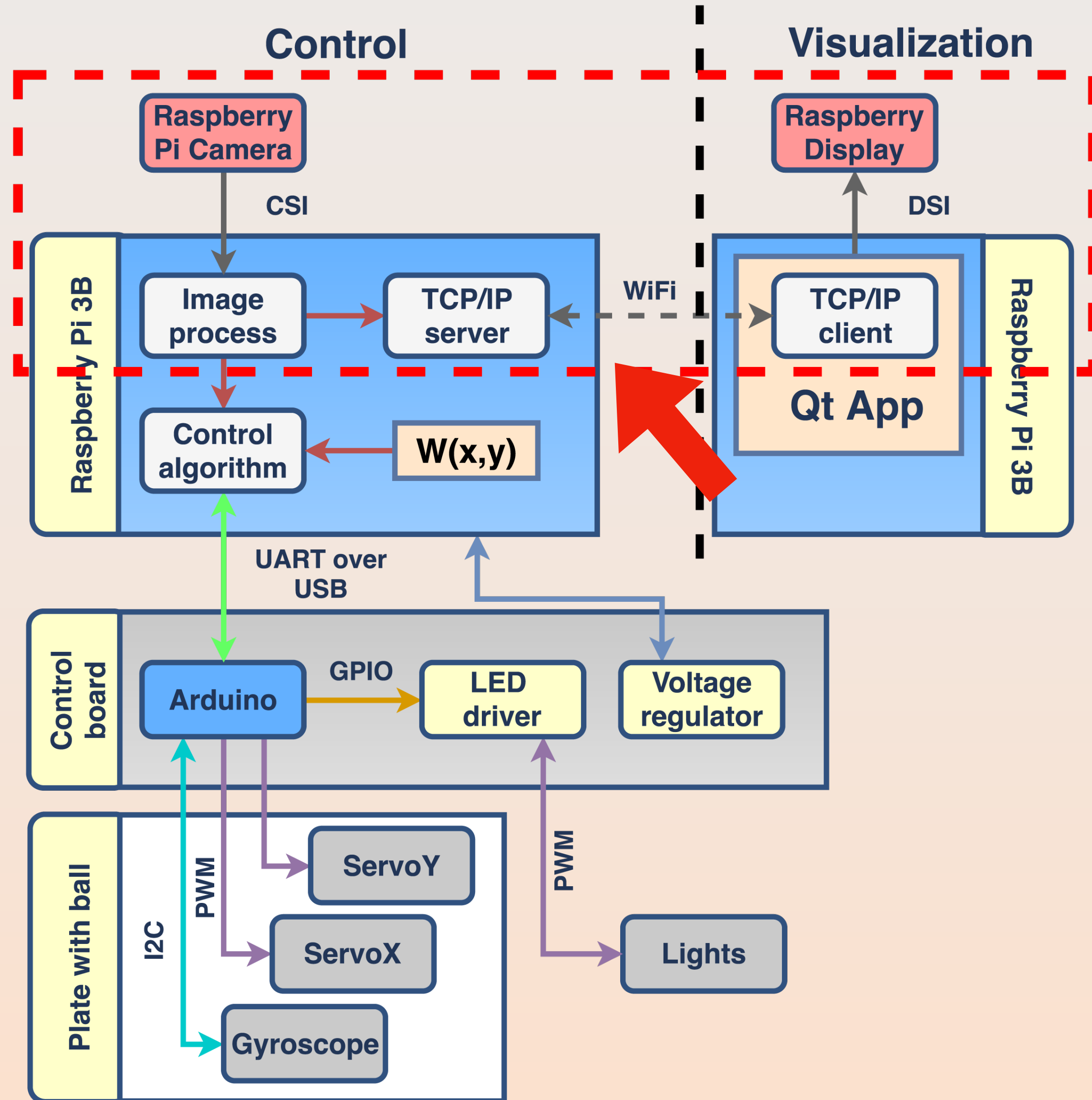


2. DSR: model guľôčka na ploche

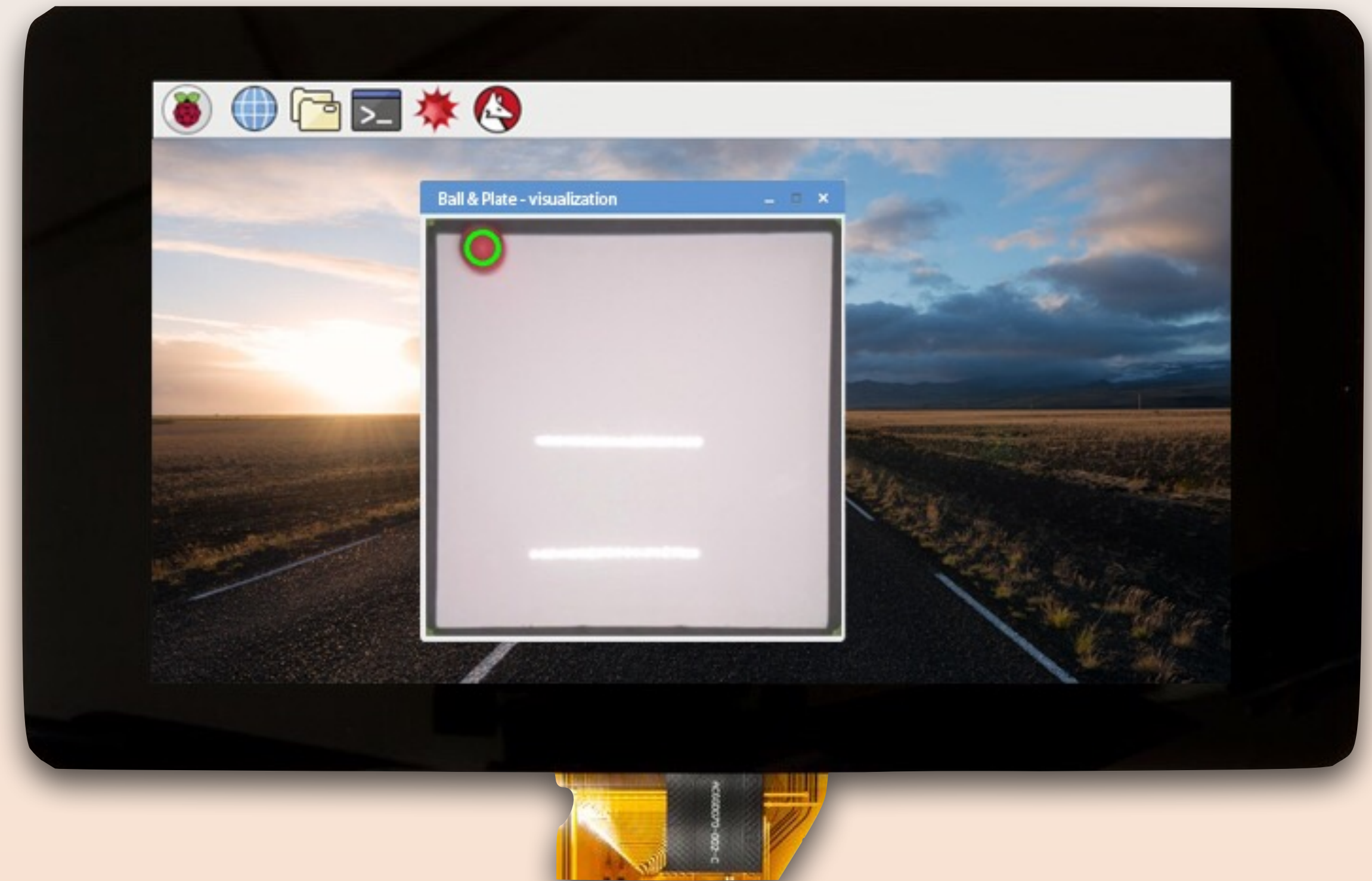
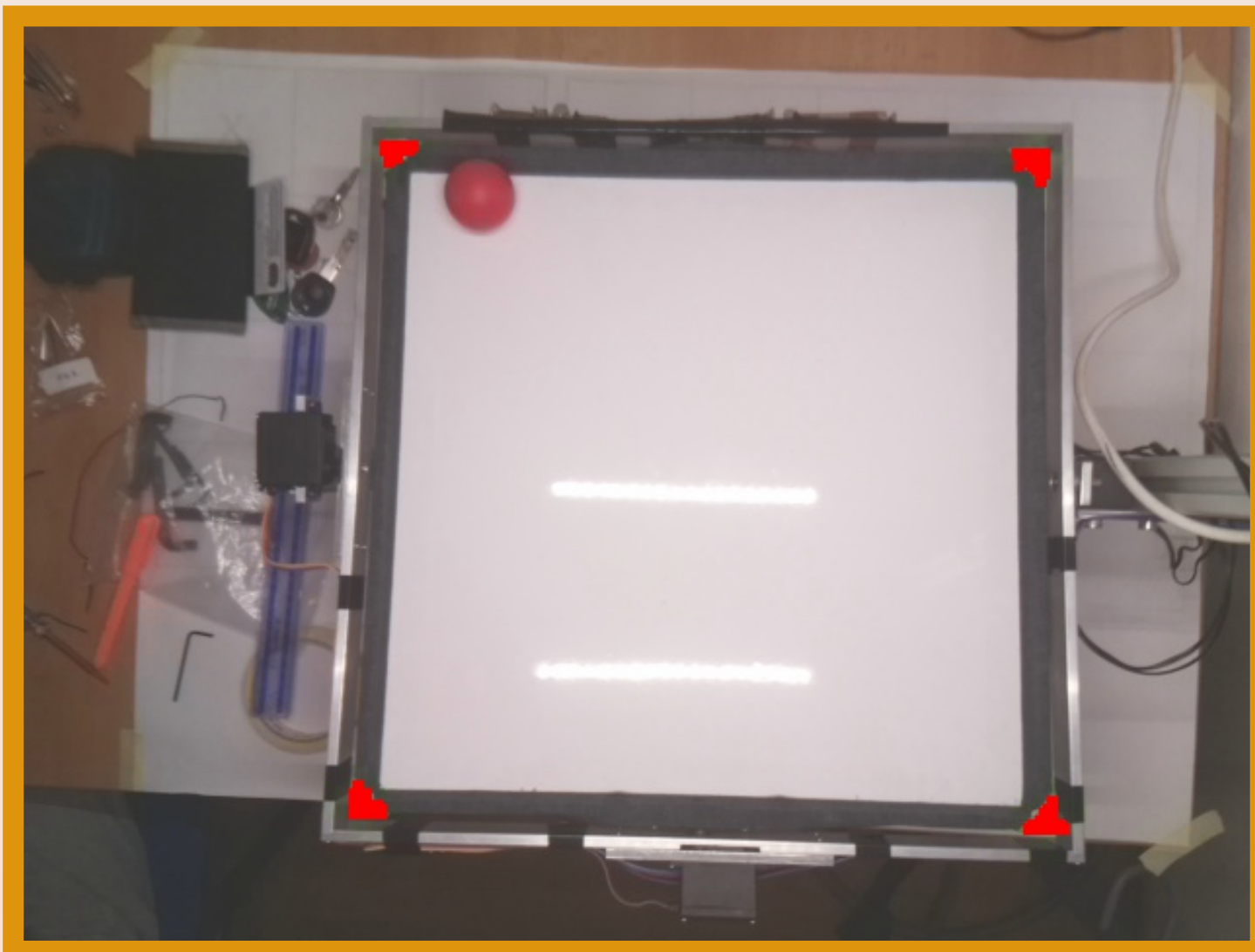
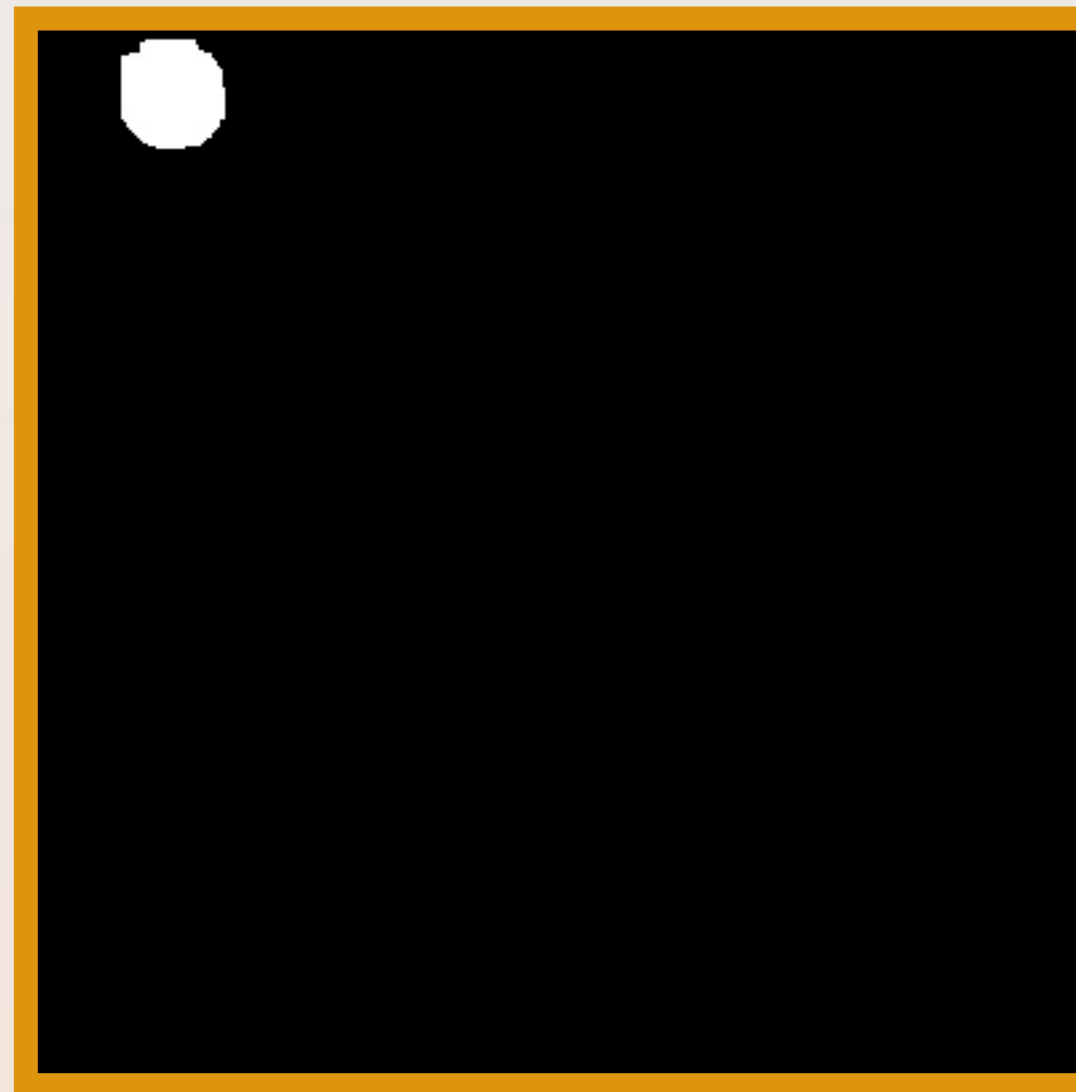
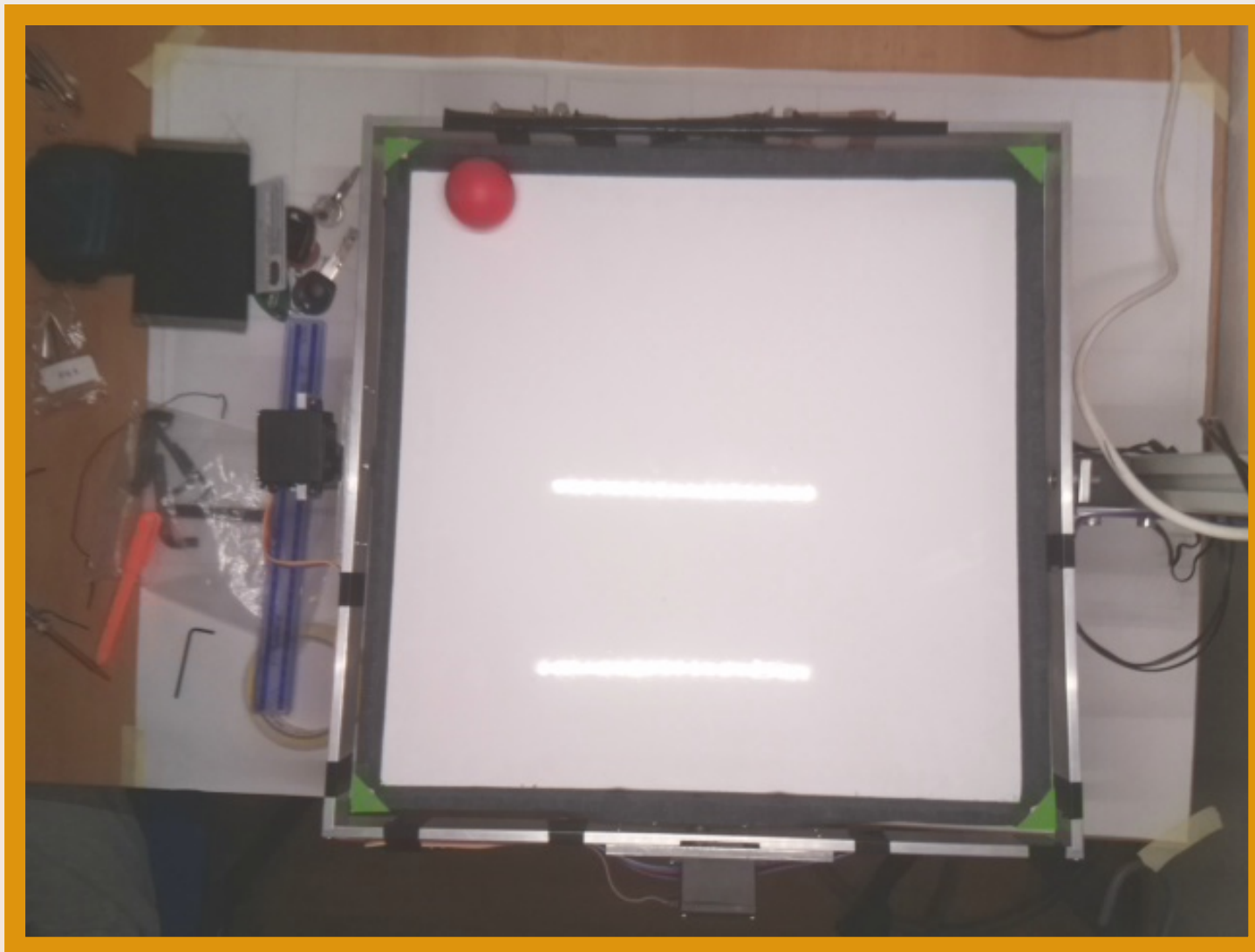
- vstavané **Raspberry Pi 3B+**
- vstavaná **Raspberry Camera**
- Arduino nano
- digitálne servomotory Hitec
- možnosť využitia gyroskopu
- vstavaný zdroj napájania



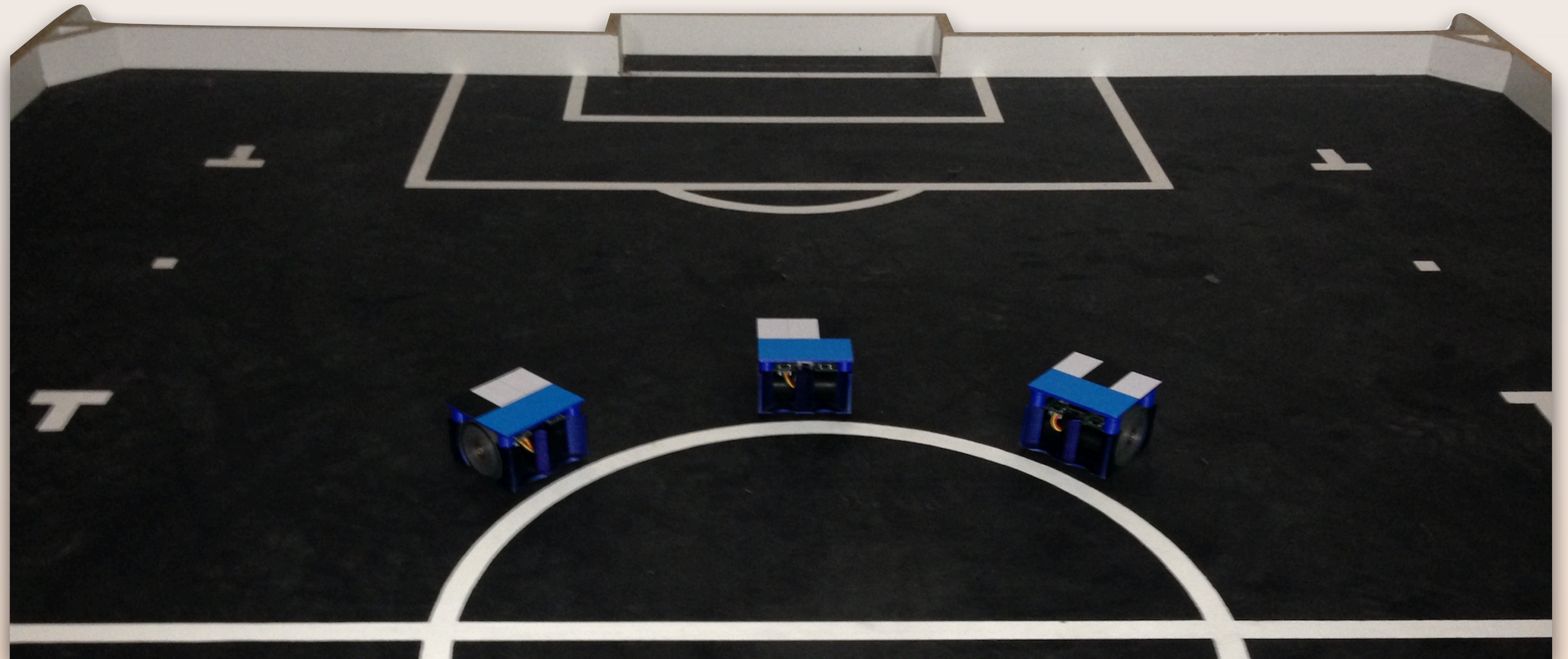
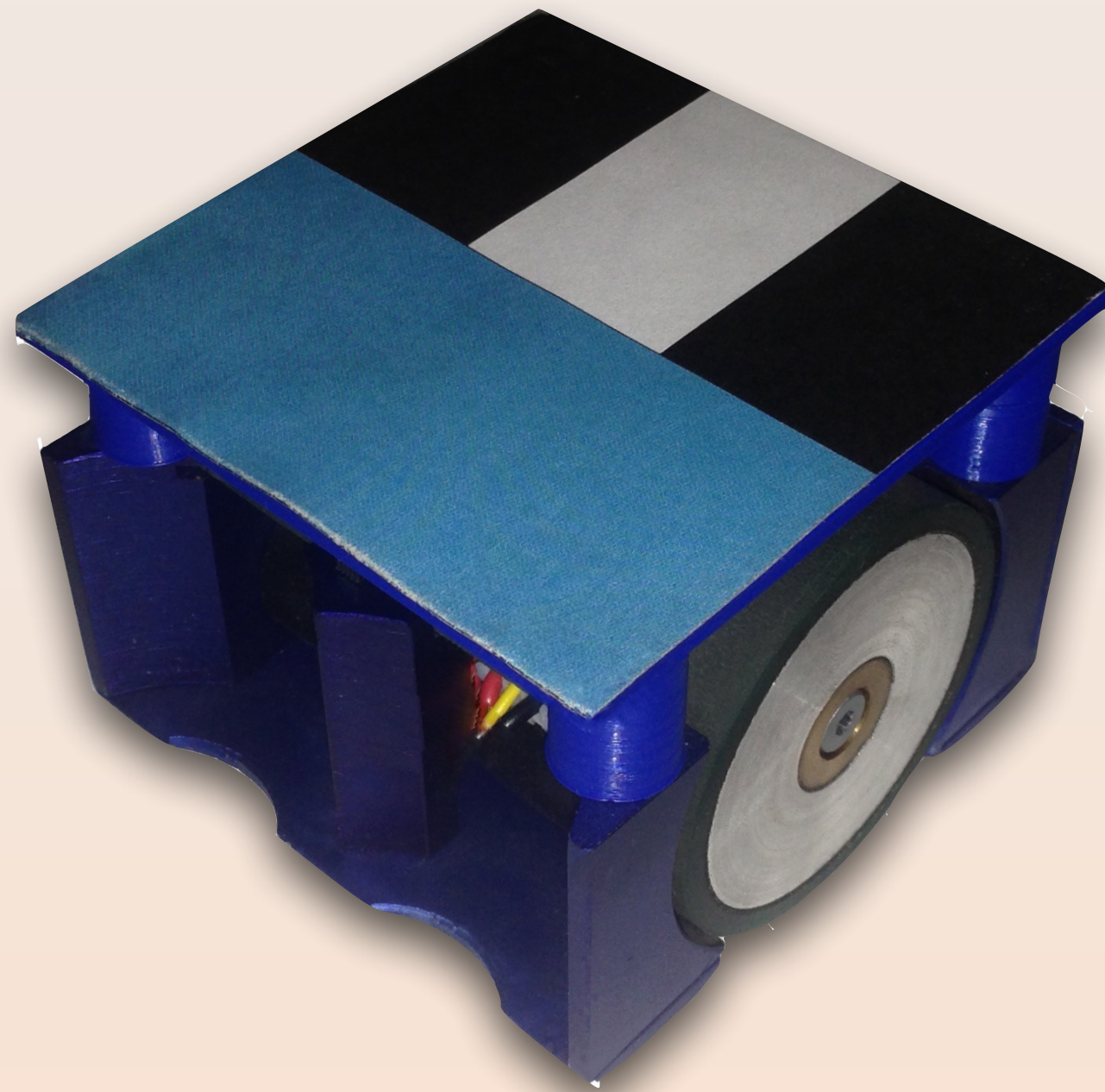
2. DSR: model guľôčka na ploche



2. DSR: model guľôčka na ploche

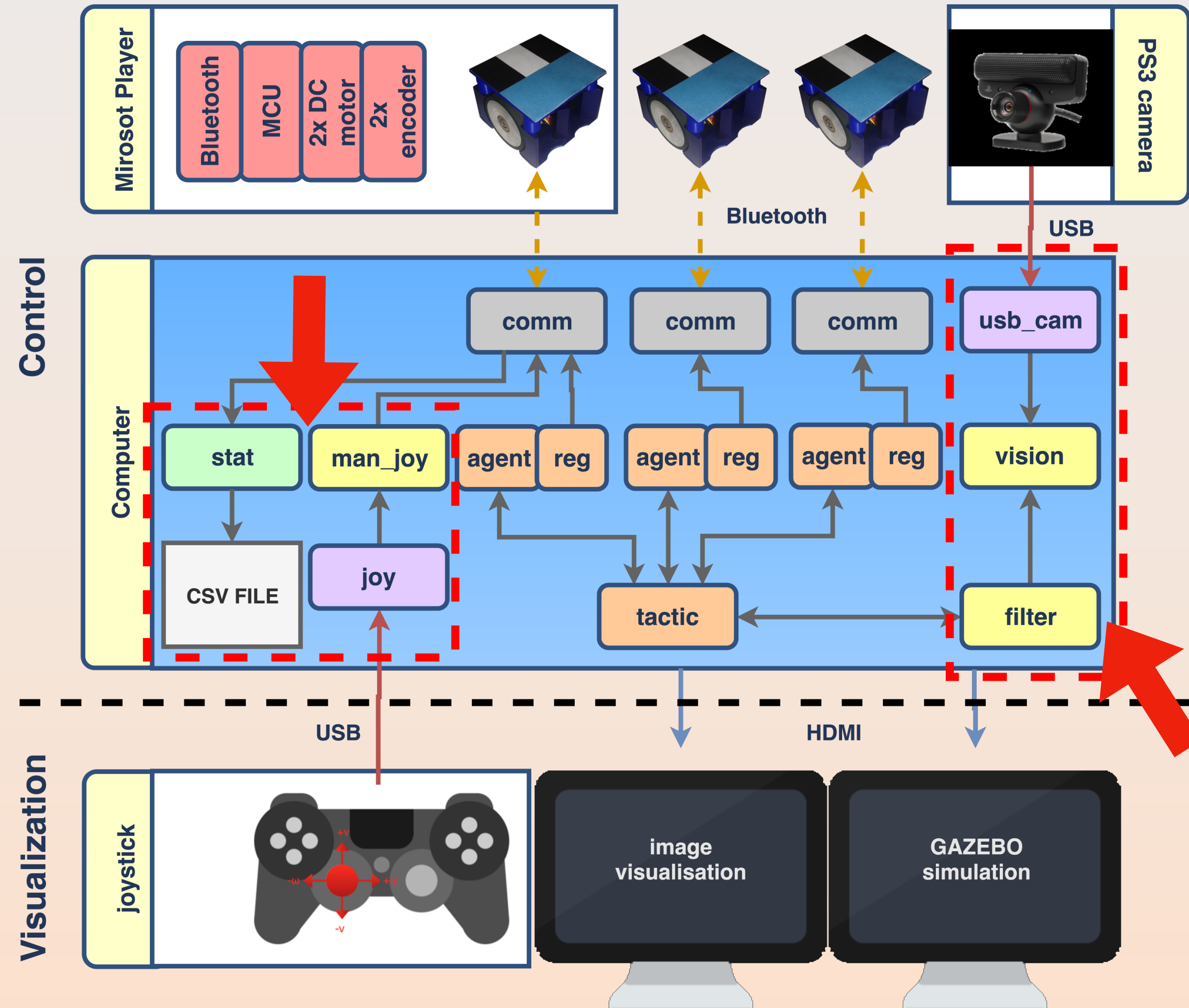


2. DSR: Prac. robotického futbalu

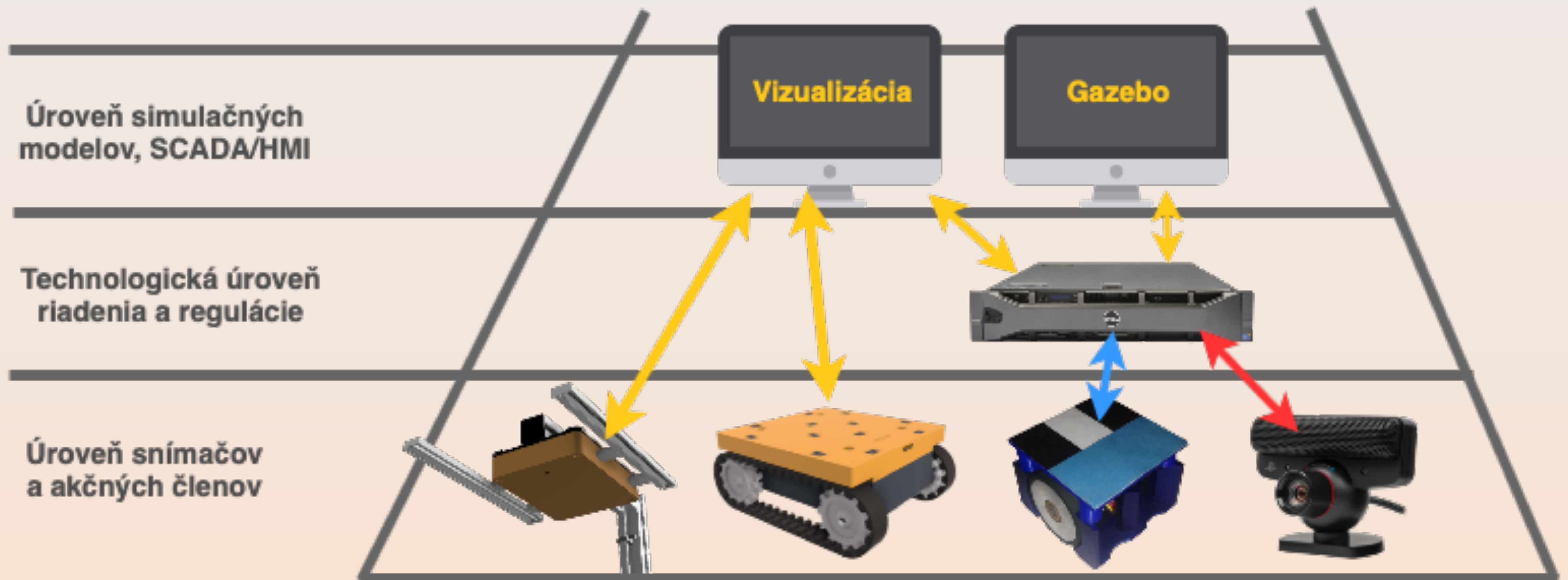


2. DSR: Prac. robotického futbalu

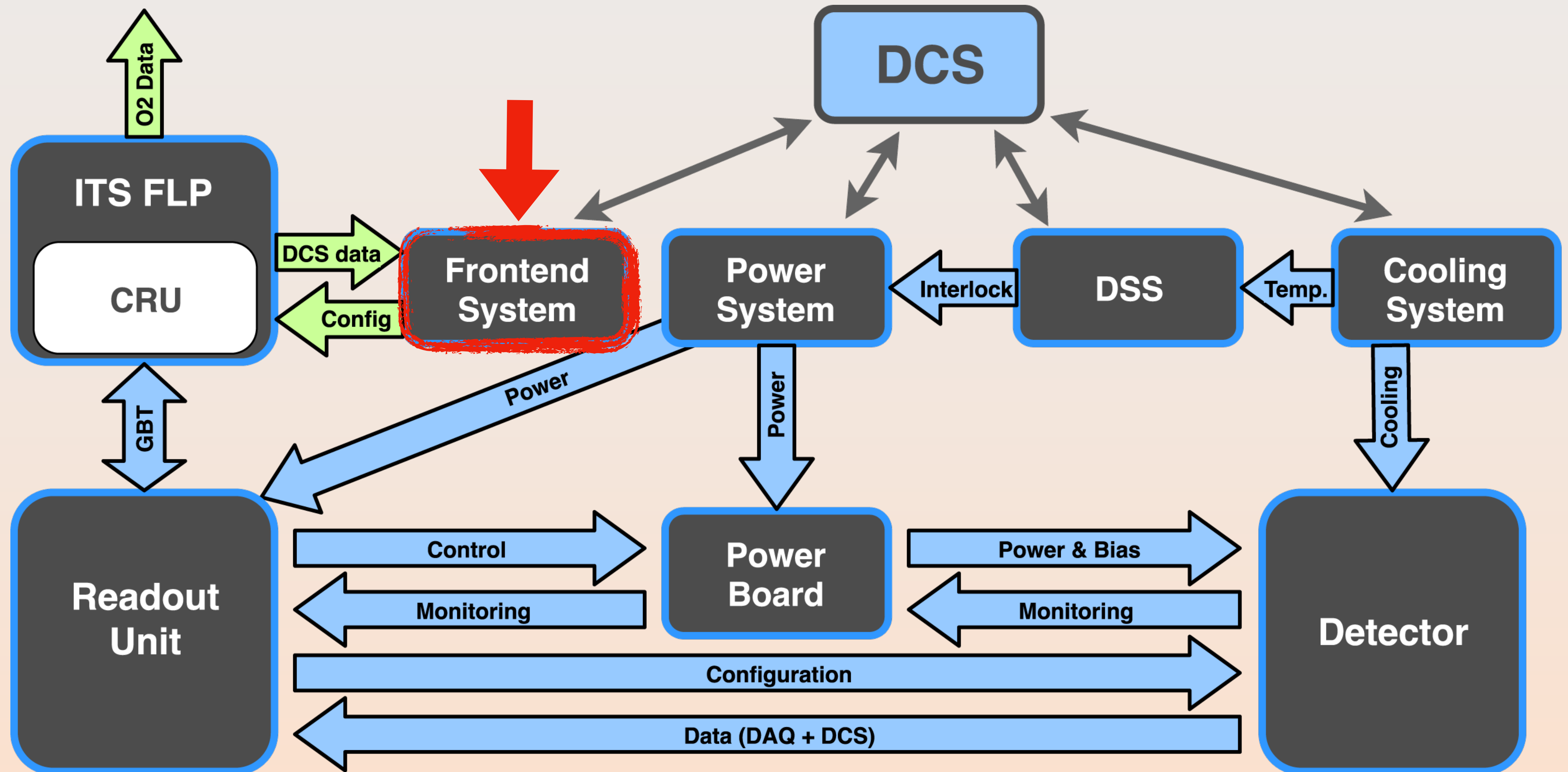
- roboti s diferenciálnym podvozkom
- Bluetooth komunikácia s PC
- riešenie v platforme **ROS**
- modul **Vision** - rozpoznávanie obrazu
- modul **Filter** - korekcia natočenia robotov
- modul **Stat** - logovanie dát do .csv
- modul **Man-Joy** - prepočet hodnôt z joysticku na lineárnu a uhlovú rýchlosť



2. DSR: Zaradenie modelov



3. Pracovisko CERN - FREDv2.0



3. Pracovisko CERN - FREDv2.0

FRED_config_data.conf •

```
1 FRED_NAME = FRED_TUKE_V2
2 FRED_DNS = aldc012
3
4 ALF = {
5     DNS = aldc012
6
7     LOOPBACK = {
8         SERIAL = 0
9         LINK = 2
10        TYPE = SWT
11        MESSAGE = 123456789
12    }
13
14    ITS/VERSION = {
15        SERIAL = 0
16        LINK = 1
17        TYPE = SCA
18        FILE = ./commands/its_version.sqc
19        #MESSAGE = 140100D1,1@v
20        OUT_VAR = v
21    }
22 }
23 }
```

```
24
25 # only virtual alf connected to nothing
26 ALF = {
27     DNS = visitor-41245320
28
29     SIM = {
30         SERIAL = -1
31         LINK = 0
32         TYPE = SCA
33         MESSAGE = 01010101,00000000@SIM
34         OUT_VAR = SIM
35     }
36 }
```

3. Pracovisko CERN - SCA editor

I2C.data x

1

0x11=I2C_R_STR #Read Status register

2

0x20=I2C_W_MSK #Write mask register

3

0x21=I2C_R_MSK #Read mask register

4

0x30=I2C_W_CTRL #Wtrite Control register

MainWindow

Address part of sequence:

Data part of sequence:

Add

Search sequences:

Reset

Table of available sequences:

	SEQUENCE	ID:CH:L:CMD,data	INFO
1	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI0	
2	02040010,01ec0200	2 : I2C1 : 4 :	
3	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
4	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI0	
5	02040010,03ec0200	2 : I2C1 : 4 :	
6	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
7	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI0	
8	02040010,07ec0200	2 : I2C1 : 4 :	
9	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
10	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI0	
11	02040010,0fec0200	2 : I2C1 : 4 :	
12	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
13	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI0	
14	02040010,1fec0200	2 : I2C1 : 4 :	
15	02040010,1fec0200	2 : I2C1 : 4 :	
16	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
17	02010001,00000000	2 : SPI : 4 : SPI R MOSI0	

	SEQUENCE	ID:CH:L:CMD,data	INFO
1	00010002,9c000000	0 : SPI : 4 :	SPI write 32bit data
2	00010003,00000000	0 : SPI : 4 :	
3	00010004,0f000000	0 : SPI : 4 :	
4	00010006,10000000	0 : SPI : 4 :	
5	02040010,00000000	2 : I2C1 : 4 :	
6	02010011,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI1	
7	02040020,ff03c0ff	2 : I2C1 : 4 : I2C_W_MSK	
8	02010021,00000000	2 : SPI : 4 : SPI_R_MOSI2	
9	14040040,00000000	20 : I2C1 : 4 : I2C_W_DATA0	
10	14020070,00100000	20 : GPIO : 4 : GPIO_W_INTS	
11	14010071,00000000	20 : SPI : 4 : SPI_GO	
12	03020031,00000000	3 : GPIO : 4 : GPIO_R_INTSEL	
13	03020030,09000000	3 : GPIO : 4 : GPIO_W_INTSEL	
14	03020031,00000000	3 : GPIO : 4 : GPIO_R_INTSEL	
15	04020031,00000000	4 : GPIO : 4 : GPIO_R_INTSEL	
16	04020030,09000000	4 : GPIO : 4 : GPIO_W_INTSEL	
17	04020031,00000000	4 : GPIO : 4 : GPIO R INTSEL	

Open

Save

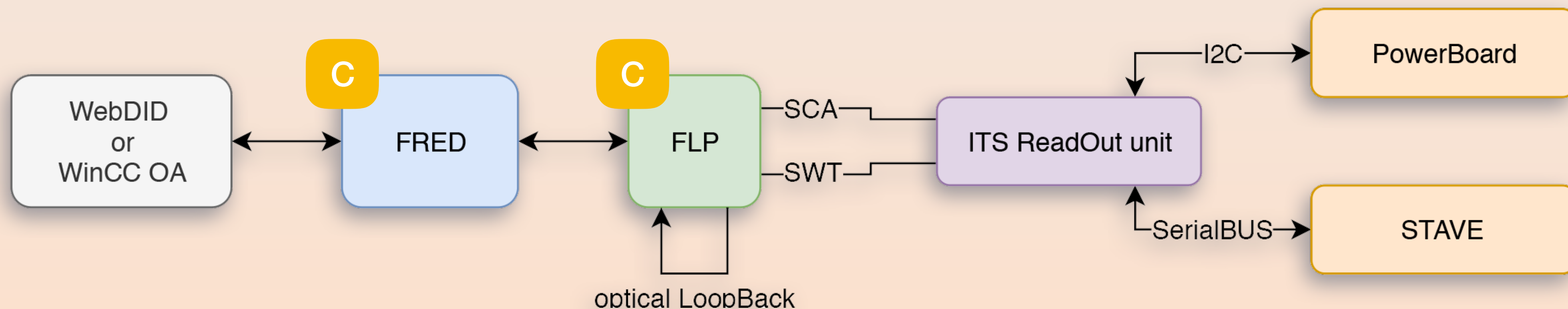
Import to available sequences

3. Pracovisko CERN - testy

- priemer z 1000 hodnôt
- vyradenie outliers hodnôt
- vypočítaný priemer
- meranie zápisu na časť detektora (STAVE)

Stave	1 READ	100 READs	10 000 READs
C -> FRED	1 061µs	8 613µs	1 064 911µs
C -> FLP	495µs	6 969µs	752 191µs

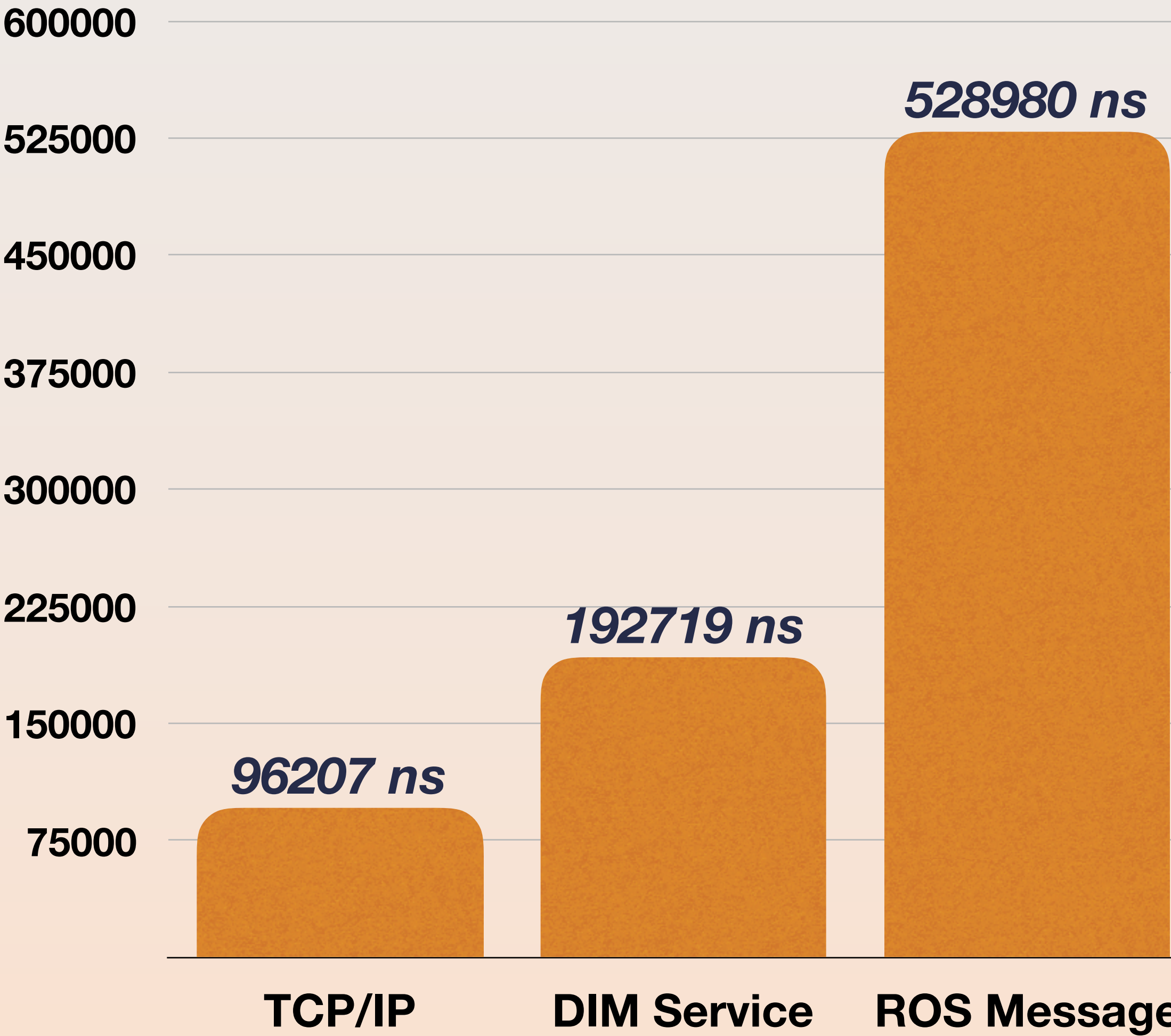
Stave	1 WRITE	100 WRITEs	10 000 WRITEs
C -> FRED	1 059µs	7 719µs	736 264µs
C -> FLP	501 µs	5 641µs	617 050µs



4.

Porovnanie protokolov TCP/IP, DIM a ROS

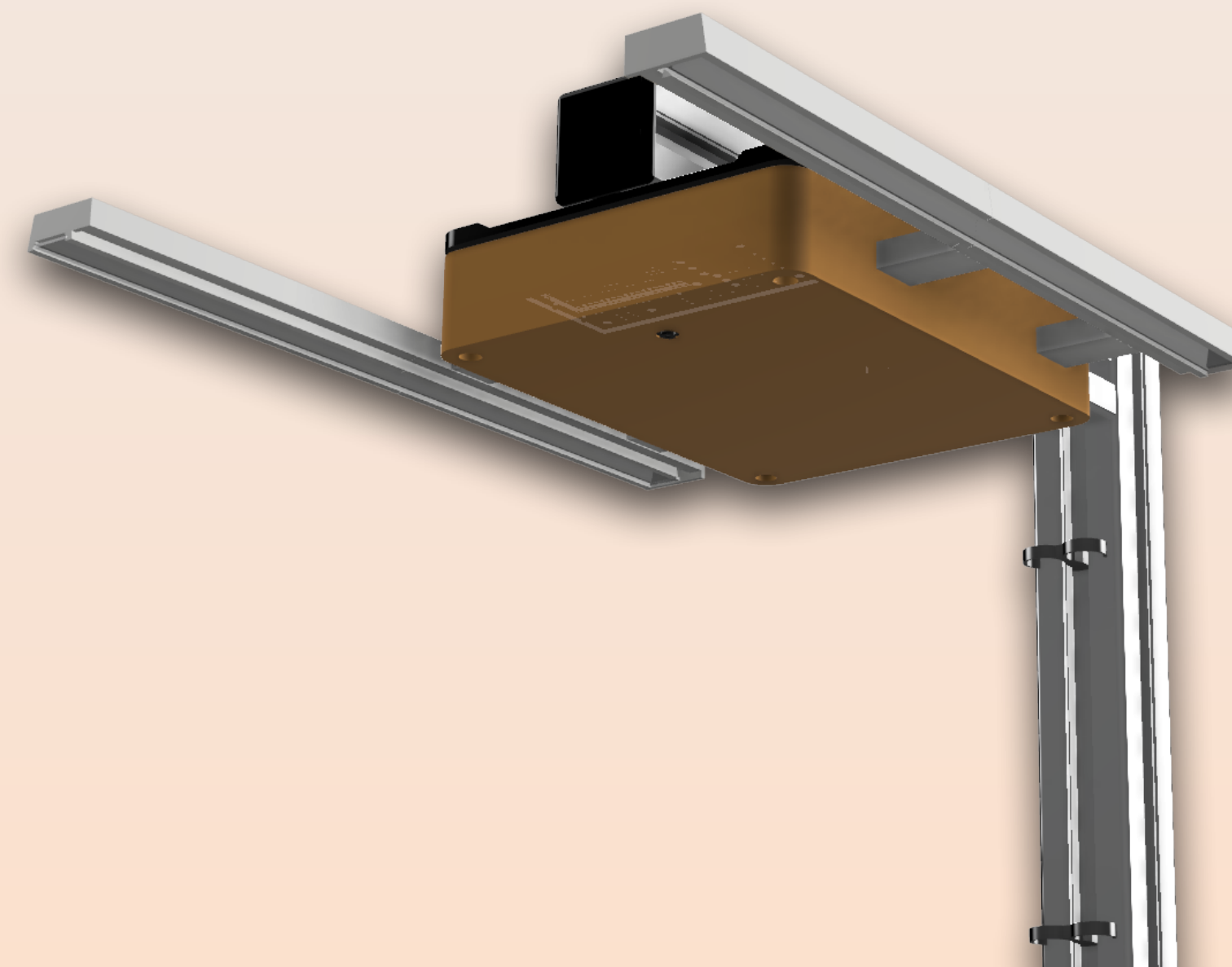
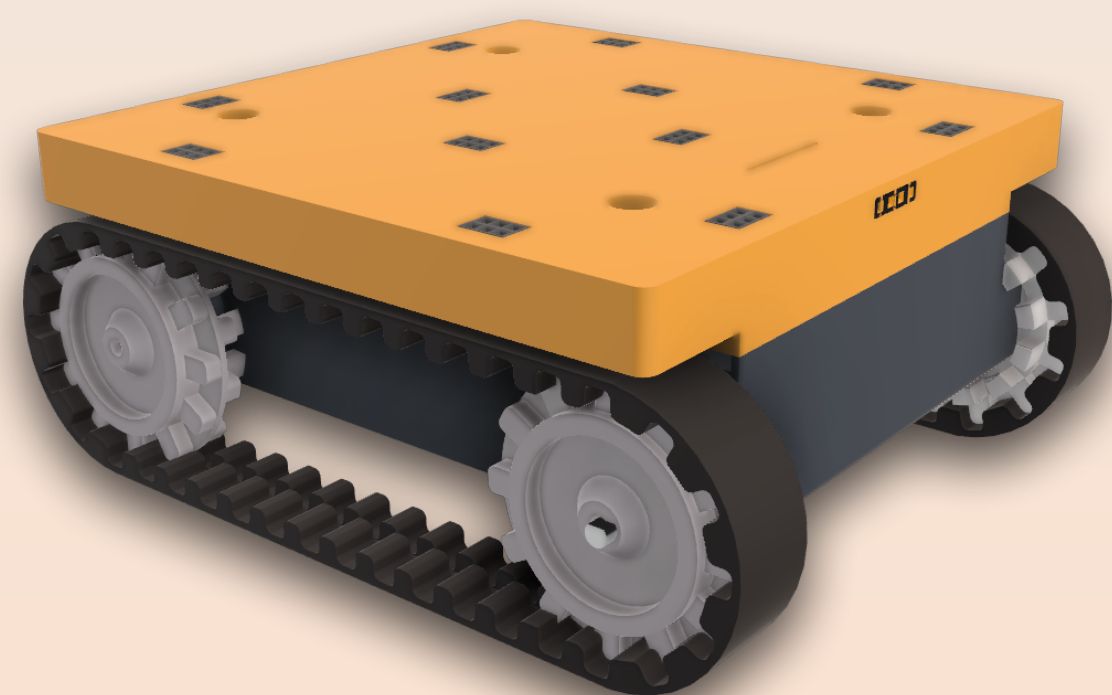
	TCP/IP	CERN DIM	ROS
možnosť API	✗	✓	✓
multi klientská	✗	✓	✓
definovanie nových typov	✗	✗	✓
parametrický server	✗	✗	✓



5. Publikácie

- **BŘEZINA, A., TKÁČIK, M., JADLOVSKÝ, J. 2019: Upgrade of the ball and plate laboratory model.vstavana**
- **TKÁČIK, M., BŘEZINA, A., JADLOVSKÝ, J. 2019: Design of the modular mobile robotic platform.**
- **JADLOVSKÝ. J, et al. 2017: Návrh metodiky pre modelovanie, riadenie, simuláciu a nedeštruktívnu diagnostiku mobilných robotov. In: Strojárstvo/Strojírenství: Engineering Magazine**
- **Hvizdoš, J.; Vaščák, J., Březina, A.: Object Identification and Localization by Smart Floors, The IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 2015, pp. 113-117, DOI:10.1109/INES.2015.7329649.**

Ďakujem
za
pozornosť



6. Otázky oponenta

Uvedené laboratórne modely v práci vytvárajú veľký priestor na riešenie ďalších úloh. Viete uviesť víziu pre aký účel v rámci KKUI by mohli byť v budúcnosti využité?

- V prípade robota ModBot ide o široký záber robotických aplikácií. Tento záber je ovplyvnený aktuálnym počtom modulov (aktuálne 4), ktorý môže ďalšími prácami pribúdať. Univerzálna platforma prináša možnosť zdieľať vytvorené funkčné celky medzi aplikáciami a urýchliť tak vývoj tých ďalších. Užívateľ si môže skúsiť programovanie na úrovni C++ ale aj platformy ROS. Môže ísť o aplikácie navigácie, rozpoznávania obrazu alebo odometrie. Nízka cena robota vytvára predpoklad pre riešenie napríklad SWARM robotických aplikácií. Tiež je tu miesto na 3D modelovanie alebo návrh radiacich dosiek do nových modulov.
- Modernizácia modelu guľôčka na ploche pridala k modelu gyroskop, čo môže prispieť k jednoduchšej kalibrácii plochy alebo riešenia diagnostických úloh v rámci modelu. Výmenou počítača za slabšie Raspberry Pi 3B+ viedlo k tvorbe optimalizovanejšieho spracovania obrazu, čo môžeme vidieť už na práve prebiehajúcich záverečných prácach. Tiež vidím priestor v návrhu vzdialeného ovládania modelu pomocou rôznych protokolov. Úpravy prispeli hlavne k odolnosti modelu voči poruchám.
- V prípade robotického futbalu išlo o zavedenie modulárneho systému ROS, ktorý ponúka priestor na porovnávanie modulov s rôznymi parametrami a rozširovanie futbalu o nové moduly s ďalšou funkcionalitou. Taktiež je tu priestor na zlepšenie rozpoznávania obrazu a filtrovania dát z robotov.

6. Otázky oponenta

Viete si predstaviť využitie platformy ROS pre laboratórny model Gul'ôčka na ploche? Ak áno, pre aký účel by mohla byť využitá?

- **Zavedenie platformy ROS prináša možnosť modulárneho riešenia jednotlivých funkčných celkov modelu. Ide tak o oveľa jednoduchší vývoj alternatívnych funkčných celkov a porovnávanie na úrovni ROS launchfile-ov, kde si užívateľ vyskladá programové časti modelu, ako chce.**
- **Ďalšou výhodou zavedenia platformy ROS a publikovania jednotlivých stavov systému pomocou ROS správ a servisov zabezpečuje bránu pre program MATLAB/Simulink, v ktorom dokážeme riešiť úlohy riadenia alebo diagnostiky oveľa rýchlejšie ako v prostredí C alebo C++.**
- **Platforma ROS tiež ponúka vytváranie modulov v jazykoch C++, Python a Lisp, ktoré medzi sebou jednoducho komunikujú už spomenutými ROS správami a servismi.**

6. Otázky oponenta

V práci uvádzate rôzne varianty komunikačných protokolov. Vedeli by ste ich vhodne kvantitatívne/kvalitatívne porovnať (napr. porovnať ich priepustnosť, resp. uviesť výhody/nevýhody oproti ostatným a pod.)?

- Všetky použité protokoly sú založené na TCP/IP, čiže doručenie paketu je isté. Ďalším faktorom, ktorý je vhodné spomenúť, je jednoduchosť nasadenia a rýchlosť posielania dát. Zaujímavé chovanie môžeme pozorovať pri platforme ROS, kde pri rýchlom posielaní dát platforma ROS automaticky zahadzuje staršie správy na úkor tých novších, ak sú prístupné v jeden čas, čo je samozrejme kľúčové pre real-time aplikácie, mať stále čo najnovšie dáta.
- Na slide “Porovnanie protokolov TCP/IP, DIM a ROS” sme mohli vidieť, že DIM protokol je podstatne rýchlejší ako protokol platformy ROS. Protokol DIM je navrhnutý priamo na účely rýchlej komunikácie a zberu dát v rámci experimentov v CERNe, s veľmi obmedzenými možnosťami a niekedy zdĺhavejším nasadením ako v prípade platformy ROS.
- Platforma ROS prichádza s najpomalšou komunikáciou, no stále je možné pri použití výkonejších počítačov riešiť real-time aplikácie, kde tento protokol ponúka jednoduché nasadenie a možnosť vytvárania vlastných typov správ. Tieto typy správ sa automaticky prekládajú do všetkých podporovaných jazykov. V porovnaní s protokolom DIM môžeme vidieť podobnosť hlavne v ROS Service a DIM RPC, ktoré majú rovnakú funkcionality.

6. Otázky oponenta

V práci neuvádzate s akými konceptmi alebo návrhmi riešení úloh na DCS experimentu ALICE v CERN-e ste prišli konkrétne vy resp. tím v ktorom ste pracovali v rámci vášho pracoviska na KKUI. Môžete ich prosím konkretizovať?

- V rámci tímu pracujeme na Experimente ALICE, kde vyvíjame časti DCS (Detector Control System) experimentu ALICE. Na jednotlivých pracovných cestách bolo potrebné pohotovo riešiť stále nové problémy, keďže pribúdali požiadavky napríklad na server FRED alebo nezrovnalosti pri paralelnom vývoji hardvéru a softvéru.
- Ja som ako prvé spracoval aplikáciu, v ktorej bolo možné upravovať súbory s obsahom správ. Aplikáciu sme videli na slide “Pracovisko CERN - SCA editor”. Táto aplikácia mala vytvorený banku už známych SCA sekvencií, ktoré sa prekladali na základe datasheetu do jasnejšie čitateľnej podoby, kde namiesto “14040040,00000000” dát, ktoré sa posielali, aplikácia vyhl'adala tento príkaz v banke sekvencií a užívateľ tak dostal informáciu I2C1:Write:DATA0.
- Ďalšou mojou úlohou bolo rozšírenie prvej verzii serverovej aplikácie FRED o možnosť základného konfigurovania pripojených serverov FLP a následne automatické generovanie DIM komunikácie smerom hore pre vizualizáciu a smerom dole na server FLP.
- Poslednou mojou úlohou bolo vytvorenie testov pre získanie informácií o priepustnosti a rýchlosti posielania správ medzi jednotlivými serverovými aplikáciami FRED a ALF a taktiež časy čítania z READOUT elektroniky. Tieto testy boli realizované vo forme terminálovej aplikácie, kde vstup zadávame pomocou parametrov pri spúšťaní.