

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Elektronický asistent pro rozhodčí
Bakalářská práce

2024

Šimon Pipek

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Šimon Pipek**
Osobní číslo: **I21059**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Elektronický asistent pro rozhodčí**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je navrhnout a vytvořit elektronického asistenta pro fotbalového rozhodčího. Asistent bude informovat hlavního sudího o událostech na hřišti pozorovaných asistenty. V teoretické části student provede rozbor pravidel fotbalu a možných událostí. Na základě tohoto rozboru provede návrh rozhraní. Dále provede rozbor možností přenosu informací mezi dvěma a více pohybujícími se účastníky a na základě rozboru provede návrh zařízení pro přenos informací mezi asistenty a hlavním rozhodčím. Funkčnost studentem navrženého zařízení bude ověřena na funkčním vzorku, který student za tímto účelem vyrobí.

Rozsah pracovní zprávy: **30**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUREŠ, Jiří. *Pravidla fotbalu: platná od ...* 1988-. Praha: Olympia, 1988-. ISBN 978-80-7376-647-4.
[2] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051: [měření, řízení a regulace pomocí několika jednoduchých přípravek]*. MC & praxe. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-048-2.
[3] KESL, Jan. *Elektronika. Učebnice – základní studijní materiál pro střední školy*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-075-x.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Rejfek, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2024**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. ledna 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Elektronický asistent pro rozhodčí jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10.5.2024

Šimon Pipek v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce Ing. Luboši Rejfkovi, Ph.D. za jeho ochotu a pomoc při zpracování této práce. Rád bych poděkoval své rodině a přátelům, jenž mě při psaní této práce podporovali.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro fotbalové rozhodčí, které umožňují asistentům rozhodčího upozornit hlavního rozhodčího na událost na hřišti. Hlavním cílem bylo vytvořit systém, který zlepší komunikaci mezi rozhodčími, zvýšil efektivitu jejich práce. V teoretické části jsou rozebrány pravidla fotbalu, aby bylo dosaženo správného návrhu zařízení. Dále je popsán návrh hardwaru, zahrnující výběr komponent. Dále je rozebrán návrh softwaru, zahrnující firmware pro master a slave zařízení, s důrazem na funkci jednotlivých částí kódu a jejich vzájemnou komunikaci. V experimentální části je provedeno testování zařízení v reálných podmínkách na fotbalovém hřišti. Testování zahrnuje různé scénáře a vzdálenosti pro ověření spolehlivosti a dosahu signálu mezi zařízeními.

KLÍČOVÁ SLOVA

sport, fotbal, rozhodčí, praporky, ESP8266, Wi-Fi

TITLE

Electronic assistant for the referee

ANNOTATION

This bachelor's thesis deals with the design and implementation of a device for football referees, allowing assistant referees to alert the main referee about an event on the field. The main goal was to create a system that would improve communication between referees and increase their efficiency. In the theoretical part, the rules of football are analyzed to achieve the correct design of the device. The hardware design is described, including the selection of components. The software design, including firmware for the master and slave devices, is also discussed with an emphasis on the functionality of individual parts of the code and their mutual communication. In the experimental part, the device is tested in real conditions on a football field. The testing covers various scenarios and distances to verify the reliability and range of the signal between devices.

KEYWORDS

sport, football, referee, flags, ESP8266, Wi-Fi

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ	10
ÚVOD.....	12
1 TEORETICKÝ ROZBOR	13
1.1 Historie AR a jejich vybavení	13
1.2 Využití elektronických praporků.....	13
1.3 Asistent rozhodčího	14
1.4 Rozměry hrací plochy ve fotbale	16
1.5 Pohyb rozhodčích po hrací ploše	18
1.6 Účel zařízení	21
1.7 Funkce zařízení	21
1.8 Motivace k výrobě	22
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
2.1 Situace na trhu	23
2.1.1 SignalBip	23
2.1.2 Kazanci Sportwear.....	24
2.1.3 ERVOCOM.....	24
2.2 Koncept navrhovaného řešení.....	25
2.3 Bezdrátová komunikace mezi rozhodčím a asistentem	26
2.3.1 Bluetooth.....	26
2.3.2 Wi-Fi.....	27
2.3.3 ZigBee.....	27
2.3.4 LoRa.....	28
2.4 Porovnání RF technologií	28

2.5	Rozbor antén	29
2.5.1	Leptaná anténa na DPS	29
2.5.2	Externí anténa s konektorem SMA	30
2.5.3	Porovnání antén	31
2.6	Mikrokontrolér	31
2.6.1	ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102	31
2.6.2	ESP-WROOM-32	33
2.6.3	Arduino Nano 33 IoT	33
2.7	Výběr MCU	34
2.8	Programovací firmware	35
2.8.1	Arduino IDE	35
2.8.2	MicroPython	35
2.8.3	NodeMCU Lua firmware	36
2.9	Výběr programovacího firmware	36
3	NÁVRH VÝROBY ZAŘÍZENÍ	37
3.1	Baterie	37
3.2	Nabíječka Li-ion článku TP4056	37
3.3	Vibrační signalizace	39
3.4	Akustická signalizace	39
3.5	Schéma zapojení slave zařízení	39
3.6	Schéma zapojení master zařízení	40
3.7	Cena projektu	42
3.8	Firmware zařízení	42
4	3D model	47
4.1	Sestavení zařízení	49

5	TEST FUNKČNOSTI.....	51
6	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	PŘÍLOHY	57

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Vyznačení hrací plochy (Kureš, 2022a)	17
Obrázek 2: Pohyb rozhodčích na hrací ploše (Kureš, 2022b)	19
Obrázek 3: Elektronické praporky SingalBip (SignalBip, c2024)	23
Obrázek 4: Elektronické praporky Kazanci Sportwear (Refereestore, c2024).....	24
Obrázek 5: Elektronické praporky ERVOCOM (ERVOCOM, c2024)	25
Obrázek 6: Leptaná anténa na kitu ESP8266.....	30
Obrázek 7: Externí anténa s SMA konektorem	30
Obrázek 8: NodeMCU ESP 8266 (LaskaKit, 2024d).....	32
Obrázek 9: GeB Li-Ion Baterie 18650 2600mAh 3.7V (LaskaKit, 2024c).....	37
Obrázek 10: Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou microUSB (LaskaKit, 2024f)	38
Obrázek 11: Mini vibrační motor (LaskaKit, 2024e)	39
Obrázek 12: Aktivní bzučák 3.3 V (LaskaKit, 2024a).....	39
Obrázek 13: Schéma zapojení obvodu pro práci jako slave v jednotce pro asistenta rozhodčího. [Modifikace zapojení převzatého schéma vývojové desky]	40
Obrázek 14: Schéma zapojení obvodu pro práci jako master v jednotce pro hlavního rozhodčího. [Modifikace zapojení převzatého schéma vývojové desky]	41
Obrázek 15: Vývojový diagram Master zařízení	44
Obrázek 16: Vývojový diagram Slave zařízení	46
Obrázek 17: 3D model pro Master zařízení	48
Obrázek 18: 3D model pro Slave zařízení (rukojeť)	48
Obrázek 19: Elektronika uvnitř rozloženého master zařízení.....	49
Obrázek 20: Elektronika uvnitř rozloženého slave zařízení	49
Obrázek 21: Sestavené master zařízení	50
Obrázek 22: Sestavené slave zařízení	50
Obrázek 23: Plánek testování ve venkovních podmínkách	51
Obrázek 24: Rozměry hrací plochy použité na testování	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozměry ESP8266	32
Tabulka 2: Ceny projektu.....	42
Tabulka 3: Testování na hrací ploše	52

ÚVOD

Fotbal je nejoblíbenějším a nejrozšířenějším sportem na světě, a proto se neustále vyvíjí a přizpůsobuje moderním technologiím s cílem zlepšit fair play a spravedlnost zápasů. Jedním z klíčových prvků tohoto procesu je role rozhodčího, který je zodpovědný za správný průběh hry a dodržování pravidel. Z tohoto důvodu je neustále potřeba inovovat vybavení rozhodčích, aby mohli svou práci vykonávat efektivněji.

Tradiční praporky, které asistenti rozhodčích (AR) v profesionálních fotbalových ligách používají již mnoho let, prošly v posledních letech zásadní proměnou. Už to nejsou jen mechanické praporky, ale jsou vybaveny integrovaným elektronickým systémem. Tento systém umožňuje asistentovi rozhodčího informovat hlavního rozhodčího (R) o možných situacích, aniž by hlasitě signalizoval nebo narušoval průběh hry. Tento posun přináší větší spolehlivost, efektivitu a rychlost rozhodovacího procesu.

Tato práce je zaměřena na vývoj elektronických praporků pro fotbalového rozhodčího. Tyto zařízení představují nový standard ve vybavení rozhodčích, který kombinuje výhody tradičních praporků s moderními technologiemi. Cílem této práce je popsat návrh, výrobu a funkci elektronických praporků, které budou vyhovovat potřebám jak hlavního rozhodčího, tak i asistentů rozhodčího.

Práce se zaměří na historii praporků ve fotbale, rozbor aktuálních pravidel fotbalu v souvislosti s praporky asistentů rozhodčího, představí principy fungování a výhody elektronických praporků a nakonec nastíní strukturu práce, která se bude zabývat návrhem, výrobou a testováním těchto zařízení.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

Tato kapitola se zaměřuje na teoretický rozbor problematiky elektronických praporků pro rozhodčí ve fotbale. Za tímto účelem jsou provedeny rešerše vývoje praporků ve fotbale, role asistentů rozhodčího a definice jejich činností na základě pravidel. Pro účely návrhu bylo také potřeba definovat vlastnosti a rozměry herní plochy za účelem definice klíčových požadavků na navrhovaný elektronický systém.

1.1 Historie AR a jejich vybavení

Praporky jsou nepostradatelným prvkem fotbalového vybavení asistenta již po mnoho desetiletí. Jejich účelem je upozornit rozhodčího při rozhodování o ofsajdech, autových situacích a dalších důležitých momentech, jenž má asistent rozhodčího v kompetenci.

Historie praporků sahá až do prvních dnů organizovaného fotbalu v 19. století. V té době byly praporky jednoduché, často ručně vyrobené nástroje, obvykle vyrobené z dřeva a látky. Jejich účel byl základní: umožnit asistentům rozhodčího signalizovat situace na hřišti, které by jinak mohly uniknout pozornosti hlavního rozhodčího.

Postupem času se design praporků vyvíjel, aby lépe odpovídal potřebám moderní hry. Mechanické praporky s dřevěným tělem byly nahrazeny lehčími a odolnějšími materiály, jako je hliník a plast. Stejně tak jako materiál a barvy látky. U profesionálních praporků je navržena tak, aby byla co nejvíce reflexní (reflexní žlutá a oranžová) ve všech různých prostředích a podmínkách. Dále jsou vybaveny rotačním systémem, jenž má za úkol zabránit zamotání praporku.

1.2 Využití elektronických praporků

Elektronické praporky představují inovativní přístup k asistenci rozhodčích ve fotbale. Tyto moderní zařízení kombinují tradiční úlohu praporků s pokročilými elektronickými technologiemi, aby poskytly spolehlivější a efektivnější způsob komunikace mezi asistenty rozhodčího (AR) a hlavním rozhodčím (R).

Vývoj elektronických praporků je reakcí na stávající problémy s tradičními praporky, jako jsou obtížnosti s komunikací v hlučném prostředí, riziko lidských chyb nebo nedorozumění a omezená viditelnost za špatných povětrnostních podmínek. Dále slouží rozhodčímu v

momentech, kdy je důležité se dívat na souboje, jenž hráči svádějí, aby mohl správně posoudit, zdali došlo k porušení pravidel.

1.3 Asistent rozhodčího

V tomto oddílu se podíváme na situace, kdy je třeba signalizace (spolupráce) od AR, které mohou při utkání nastat tak, jak je popisují Pravidla fotbalu.

„Povinností asistenta je signalizovat, že

- míč celým objemem opustil hrací plochu a které družstvo je oprávněno provést kop z rohu, kop od branky, vhazování
- hráč v ofsajdové pozici má být potrestán za ofsajd
- je připraveno střídání
- při provádění pokutového kopu brankář předčasně opustil brankovou čáru a jestli míč celým objemem přešel přes brankovou čáru; pokud jsou delegováni brankoví rozhodčí, zaujme AR při provádění pokutového kopu postavení na úrovni pokutové značky

Úlohou asistenta rozhodčího je rovněž kontrolovat správný průběh střídání hráčů.“ (Kureš, 2022c)

V části Výklad k pravidlu v sekci V průběhu utkání se setkáváme s veškerými povinnostmi a kompetencemi AR. Dále jsou popsány situace, které nejsou popsány, či nevyplývají z překladu oficiálních pravidel fotbalu jako takových.

„6.5 AR se v průběhu utkání pohybuje podél pomezí čáry mimo hrací plochu tak, aby nepřekážel ve hře a aby se ho míč mohl dotknout, jen když je ze hry. Kdyby se však přesto míč odrazil od AR zpět do hrací plochy, aniž předtím úplně přešel za pomezí nebo za brankovou čáru, je stále ve hře a rozhodčí tedy hru nepřerušuje.“ (Kureš, 2022c)

„6.7 AR je povinen si v průběhu utkání všimnout i chování osob na lavičkách a upozornit rozhodčího, kdykoli některá z těchto osob neoprávněně opustí technickou zónu. AR v průběhu utkání sleduje i rozsvičování náhradníků a upozorní rozhodčího, pokud by rušivě zasahovali do průběhu utkání. AR rovněž dbá, aby při zranění hráče nevstoupili na hrací plochu více než dva

příslušníci družstva (obvykle lékař a masér), popřípadě obsluha s nosítky, ale až poté, co od rozhodčího obdrželi ke vstupu na hrací plochu souhlas.“ (Kureš, 2022c)

„6.8 Považuje-li AR za nutné ohlásit rozhodčímu něco, co s hrou přímo nesouvisí, sdělí mu to, až když je míč ze hry. Jen v případech vyžadujících okamžitý zákrok upozorní rozhodčího zdvihnutím praporku a pokynem ruky ho zavolá k sobě.“ (Kureš, 2022c)

„6.9 AR pomáhá rozhodčímu v řízení utkání v souladu s pravidly. Kromě situací uvedených přímo v Pravidle 6 ještě signalizuje zejména porušení Pravidla 11 a Pravidla 12 a dosažení branky. Porušení Pravidla 12 signalizuje AR pouze v situacích, o kterých se domnívá, že je rozhodčí nemohl vidět, nebo v situacích, kdy rozhodčí evidentně rozhodl nesprávně; konečné rozhodnutí o přestupku však přísluší výhradně rozhodčímu.“ (Kureš, 2022c)

„6.12 Závažné okolnosti, které mohou podstatným způsobem ovlivnit hru, např. dosažení branky, kterou rozhodčí neviděl, nebo porušení pravidel, k nimž došlo těsně před dosažením branky (ofsajd, ruka útočícího hráče, míč ze hry), signalizuje AR až do doby, dokud ho rozhodčí nepostřehne; jeho signalizaci je povinen převzít i druhý AR. Totéž platí i pro připravené střídání hráčů.“ (Kureš, 2022c)

„6.13 Spolupráce AR a rozhodčího při posuzování přestupků hráčů:

- v případě, že rozhodčí má přestupek ve svém zorném poli a AR je přesvědčen, že přestupek rozhodčí viděl lépe, přestupek nesignalizuje,
- v případě, že rozhodčí sice přestupek viděl, ale od AR si vyžádá pomoc (např. zrakovým kontaktem), sdělí AR dohodnutým skrytým (diskrétním) signálem rozhodčímu svůj názor,
- v případě, že k přestupku došlo mimo zorné pole rozhodčího nebo v případě, kdy AR je přesvědčen, že rozhodčí přestupek nemohl vidět, signalizuje AR přestupek předepsanou signalizací.“ (Kureš, 2022c)

„6.14 Přestupky, které se staly za zády rozhodčího a vyžadují podle názoru AR udělení osobního trestu, musí AR signalizovat vždy. Podle závažnosti přestupku a s přihlédnutím k možné výhodě ve hře tak učiní buď ihned, nebo až při nejbližším přerušení hry. V mimořádně závažných případech, kdy hrozí nebezpečí z prodlení, použije AR tzv. zvýrazněné signalizace (viz Praktické pokyny pro rozhodčí).“ (Kureš, 2022c)

Z této části můžeme vidět veškeré úlohy, jenž má asistent v průběhu utkání na starosti. Pokud se AR domnívá, že rozhodčí přehlédl závažný přestupek (či přestupek předcházející dosažení branky), tak tuto skutečnost má nahlásit rozhodčímu. Dále mohou nastat situace, kdy dojde k porušení pravidel, ale není Pravidly fotbalu daná signalizace praporkem (viz. Některé výše uvedené příklady). Většinou jde o případy výtržnosti obecnstva či problémy v technické zóně. Nebo v případech, kdy AR potřebuje pozdržet navázání hry, aby daný problém vyřešil (např. upozornil funkcionáře za jeho nevhodné chování). V těchto případech může být použit elektronický systém praporku k upoutání pozornosti R. AR po upoutání pozornosti si ho signálem rukou přivolá k sobě a sdělí mu skutečnost, jenž se na hrací ploše (či mimo ni) odehrála. V případě použití komunikačního zařízení předá tuto informaci bez toho, aby R musel k AR doběhnout. Konečné rozhodnutí je vždy v gesci rozhodčího.

Rozhodnutí Fotbalové Asociace České Republiky (FAČR)

Dále z pravidel fotbalu vydaných (Kureš, 2022c) v části Rozhodnutí FAČR z bodu 3. vyplývá, že praporky AR mají doporučené rozměry 30 x 50 cm a mají mít výraznou barvu, nejlépe červenou nebo žlutou. V praxi se u praporků používá i kombinace těchto barev (šachovnice).

1.4 Rozměry hrací plochy ve fotbale

Pro správné navržení technologie elektronických praporků je klíčové zohlednit rozměry hrací plochy, které vyplývají z pravidel fotbalu. Podle 1. pravidla fotbalu se rozměry hřišť mohou velmi lišit:

- Délka pomezí čáry: Od 90 do 120 metrů.
- Délka brankové čáry: Od 45 do 90 metrů.

Pro mezinárodní utkání jsou stanoveny standardy:

- Pomezí čára: 100 až 110 metrů.
- Branková čára: 64 až 75 metrů.

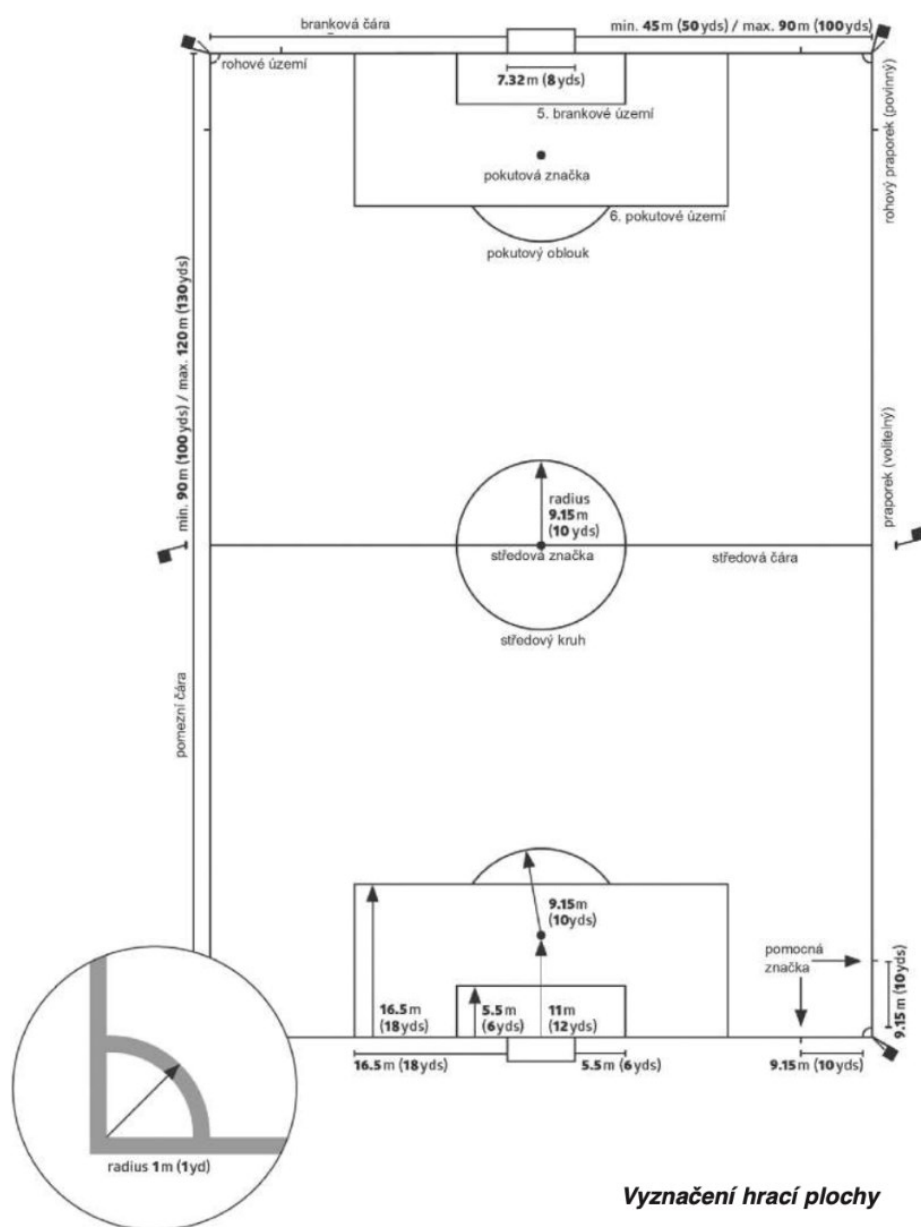
Pro české stadiony, které hostí zápasy I. ligy, jsou stanoveny pevné rozměry:

- Pomezí čára: 105 metrů.
- Branková čára: 68 metrů.

Pro soutěže II. ligy mohou být rozměry mírně odlišné:

- Pomezí čára: 100-105 metrů.
- Branková čára: 64-68 metrů.

V nižších českých soutěžích jsou rozměry často menší než výše uvedené standardy. (Kureš, 2022c). Příklad rozměrů a vyznačení hřiště je na Obrázek 1.



Obrázek 1: Vyznačení hrací plochy (Kureš, 2022a)

Pro optimální fungování elektronických praporků je důležité zohlednit vzdálenost, na kterou by mělo zařízení efektivně fungovat. V případě hřišť s ligovými rozměry (105 x 68 m) činí diagonála (úhlopříčka) přibližně 125 metrů. Tato vzdálenost teoreticky představuje největší možnou vzdálenost, na kterou by mělo zařízení fungovat.

V reálných podmínkách se často setkáváme s fotbalovými hřišti, která mají menší rozměry než standardní ligová hřiště. Tyto omezené rozměry zahrnují nejen délku a šířku hřiště, ale také vzdálenosti, na které je potřeba, aby elektronické praporky fungovaly spolehlivě. Rozhodčí a asistenti mají omezený pohyb, jak fyzicky, tak metodicky, což ovlivňuje optimální vzdálenost, na kterou je potřeba zařízení nastavit. V praxi se tedy často setkáváme s tím, že elektronické praporky musí fungovat na vzdálenostech v rozmezí od 20 do 70 metrů. Toto rozmezí vzdáleností je dána konkrétními podmínkami každého fotbalového hřiště a pohybu rozhodčích po hrací ploše.

1.5 Pohyb rozhodčích po hrací ploše

Pohyb rozhodčích a asistentů rozhodčího po hrací ploše (HP) je klíčovým aspektem správného řízení fotbalových zápasů. Jejich schopnost volně se pohybovat a efektivně sledovat dění na hřišti je nezbytná pro řádné uplatňování pravidel a správné rozhodování.

Rozhodčí a AR musí neustále udržovat kontakt s herním děním, což zahrnuje sledování pozic hráčů, pohybu míče a případných nepravidelností. Jejich pohyb po HP je často dynamický a rychlý, protože se musí pohybovat do správných pozic pro co nejlepší výhled a správné posouzení situace.

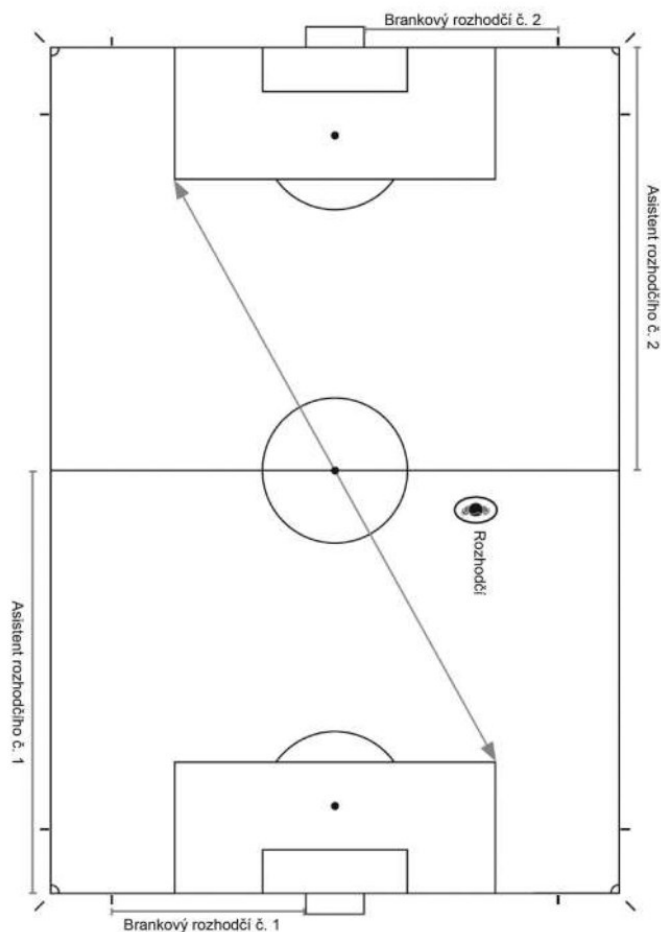
Při pohybu po HP se R a AR často mění směr a rychlost, což může ovlivnit dosah a stabilitu bezdrátové komunikace mezi elektronickými praporky. Například při rychlém běhu po boku hřiště může dojít k dočasnému zastínění signálu mezi master a slave zařízeními, což může vést k chvilkové ztrátě spojení.

Optimalizace umístění a konfigurace elektronických praporků je proto důležitá. Musí být zajištěno, že zařízení jsou umístěna tak, aby mohla efektivně komunikovat i při rychlém a dynamickém pohybu R a AR po HP. To může zahrnovat strategické umístění praporků na těle rozhodčích nebo volbu vhodných antén pro maximalizaci dosahu signálu.

Analýza pohybu R a AR po HP je klíčová pro navrhování a testování elektronických praporků, aby bylo zajištěno jejich spolehlivé fungování v reálných zápasových podmínkách. Pouze dobře navržené a optimalizované elektronické praporky mohou pomoci rozhodčím při řízení fotbalových zápasů s maximální efektivitou a spravedlností.

Zde Praktické pokyny pro rozhodčí z Pravidel Fotbalu:

„1. Všeobecné informace k pohybu a k pozičnímu postavení: Nejlepší poziční postavení je vždy to, ze kterého může rozhodčí učinit správné rozhodnutí. Veškerá doporučení ohledně pozičního postavení se přizpůsobí na základě konkrétních informací o týmech, hráčích a s ohledem na průběh samotného utkání.“ (Kureš, 2022c) Metodický pohyb rozhodčích na hrací ploše znázorněn na Obrázek 2.



Obrázek 2: Pohyb rozhodčích na hrací ploše (Kureš, 2022b)

Následuje výňatek z Pravidel fotbalu (Kureš, 2022c) týkající se spolupráce a pohybu rozhodčích na hrací ploše:

„Spolupráce mezi rozhodčím a příslušným asistentem rozhodčího:

- Rozhodčí obvykle používá diagonální způsob řízení (pohybuje se po diagonále nebo po „rozšířené“ diagonále).
- Rozhodčí se pohybuje na úrovni hry, aby měl o hře dobrý přehled a hra mohla nerušené plynout. Přitom příslušného asistenta má mít v zorném poli rozhodčího.
- Rozhodčí by měl být zároveň dostatečně blízko samotné hře, aniž by ovšem tuto hru svým pozičním postavením jakkoli narušoval.

To, co je „třeba vidět“, nemusí být nezbytně v bezprostřední blízkosti míče. Rozhodčí by měl zároveň sledovat:

- konfrontace hráčů mimo míč
- možné přestupky v oblasti, kam se hra přesouvá
- přestupky po odehrání míče

Poziční postavení asistenta rozhodčího a ostatních rozhodčích

Asistent rozhodčího se pohybuje na úrovni předposledního hráče bránícího družstva nebo s míčem, je-li tento blíže brankové čáře, než předposlední hráč bránícího družstva. Asistent rozhodčího musí být i při běhu vždy obrácen čelem do hrací plochy. Na krátké vzdálenosti by se asistent rozhodčího měl na pomezí čáře pohybovat úkroky do stran. To je důležité především pro posouzení ofsajdové situace, aby asistent rozhodčího měl lepší přehled.

Brankový rozhodčí stojí za brankovou čarou s výjimkou situací, kdy je nezbytně nutné přejít přímo na brankovou čáru, aby mohl posoudit, zda míč překročil brankovou čáru či nikoliv. Brankový rozhodčí nesmí s výjimkou mimořádných okolností vstupovat na hrací plochu.“ (Kureš, 2022c)

1.6 Účel zařízení

Elektronický praporek slouží k upoutání pozornosti hlavního rozhodčího v situacích, kdy není možné nebo vhodné použít hlasovou komunikaci mezi rozhodčím a asistentem. Dále praporek umožňuje asistentům rozhodčího signalizovat porušení pravidel, jako jsou ofsajdy, přestupky, nebo dosažení branky, i když se nacházejí na vzdálenější části hřiště mimo zorné pole hlavního rozhodčího. Hlavní rozhodčí je upozorněn zvukovým nebo vibračním signálem, kterým je informován o důležité události na hřišti. Tento signál je aktivován asistentem pomocí elektronického praporku umístěného pod jeho dres na ruce v oblasti bicepsu. Po upoutání pozornosti hlavního rozhodčího asistenti používají standardizované gesto či signál k signalizaci rozhodčímu, které je definováno pravidly fotbalu nebo domluvené předzápasové domluvě mezi rozhodčími. Elektronický praporek je alternativou k zvýšenému hlasovému projevu, který by asistenti museli použít v situacích, kdy není možné nebo vhodné použít hlasovou komunikaci. Elektronické zvukové zařízení je zmíněno v Pravidlech fotbalu (Kureš, 2022c, str. 160) a to ve druhém článku – Asistenti rozhodčího a je jedním z doporučených prostředků pro komunikaci mezi rozhodčími.

1.7 Funkce zařízení

Elektronické praporky se skládají ze dvou identických praporků, z nichž každý je určen jednomu asistentovi rozhodčího, a ze speciálního zařízení nošeného hlavním rozhodčím. Tyto části zařízení jsou propojeny bezdrátovou komunikací, která umožňuje rychlý a spolehlivý přenos informací mezi praporky a zařízením rozhodčího.

Praporky jsou vybaveny tlačítkem umístěným na jejich rukojeti. To slouží k aktivaci signálu směrem k hlavnímu rozhodčímu. Po stisknutí tlačítka se signál odesílá k zařízení rozhodčího. Některé modely praporů poskytují zpětnou vazbu v podobě vibrace po úspěšném doručení signálu, aby asistent měl potvrzení o jeho doručení a v případě neúspěchu přenosu mohl využít jinou formu komunikace.

Zařízení pro hlavního rozhodčího umožňuje nastavení signálu, který bude rozhodčí dostávat při aktivaci praporků. To může být zvukový, vibrační nebo oba signály současně. Zařízení lze také vypnout nebo zapnout přepínačem.

1.8 Motivace k výrobě

Motivace k výrobě tohoto zařízení byla vysoká pořizovací cena ostatních výrobců tohoto zařízení. Vzhledem k poměrně jednoduchému systému a zapojení bylo usouzeno, že vývoj a výroba tohoto systému je možná za mnohem nižší cenu, než je pořizovací cena komerčního řešení. Další motivací byla možnost otestovat aplikaci bezdrátové komunikace a rozšířit své znalosti v této oblasti. Cílem práce je tak vyrobit funkční zařízení které bude plnit požadovanou funkci a jeho pořízení nebude nákladné.

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

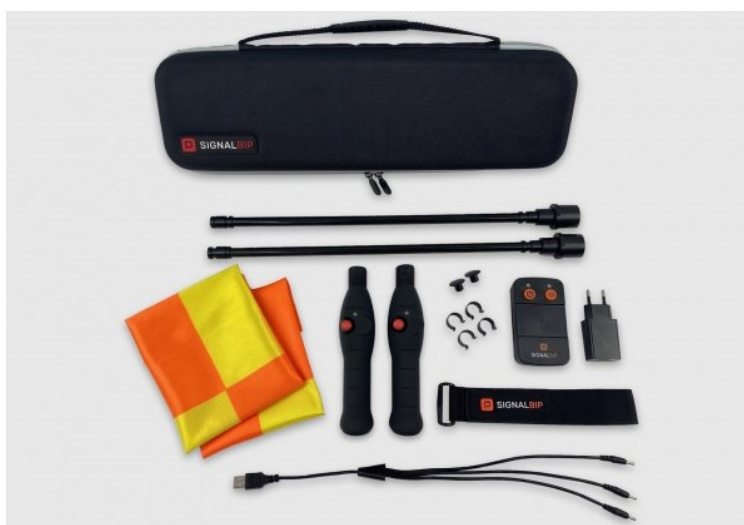
V této kapitole je popsána praktická stránka bakalářské práce. Důraz je kladen na konkrétní implementaci elektronických praporků pro rozhodčí ve fotbale. Na základě analýzy situace na trhu, technologií, mikrokontrolérů a programovacích firmwarů bylo v závěru provedeno shrnutí dostupných obvodů a kitů, které lze využít při tvorbě této bakalářské práce.

2.1 Situace na trhu

Na současném trhu se nachází zařízení od tří různých firem, z nichž každá přináší specifika ohledně způsobu napájení a přepravy. Převládajícím systémem v mezinárodních utkáních je ERVOCOM, zatímco v národních a nižších soutěžích jsou běžně používány i systémy SignalBip a Kazanci Sportwear.

2.1.1 SignalBip

SignalBip (Obrázek 3) je francouzský systém vyráběný společností SignalBip. Praporky tohoto systému musí být demontovány pro přepravu a poté složeny do přepravního pouzdra. Montáž a demontáž praporů jsou snadné díky šroubovacím součástkám. Na rukojeti praporku je umístěno jedno tlačítko, které umožňuje asistentovi odeslat signál hlavnímu rozhodčímu. Baterie praporků se dobíjejí pomocí přiloženého adaptéru. Pager umístěný na paži může vydat vibrační nebo zvukový signál, a uživatel si může vybrat, který signál bude aktivní. Cena tohoto systému se pohybuje okolo 14 000 Kč. (SignalBip, c2024)



Obrázek 3: Elektronické praporky SingalBip (SignalBip, c2024)

2.1.2 Kazanci Sportwear

Kazanci Sportwear (Obrázek 4) nabízí systém, který používá 9V baterie, jež je nutné pravidelně vyměňovat. Praporky tohoto systému nevyžadují demontáž pro přepravu. Na rukojeti praporku jsou umístěna dvě tlačítka, což zajišťuje pohodlné přenášení praporku mezi rukama a zároveň zajišťuje funkčnost i v případě poruchy jednoho tlačítka. Pager umožňuje nastavení hlasitosti a nabízí tři úrovně hlasitosti. Udávaný dosah tohoto systému je 150 metrů, a cena se pohybuje kolem 12 000 Kč. (Refereestore, c2024)



Obrázek 4: Elektronické praporky Kazanci Sportwear (Refereestore, c2024)

2.1.3 ERVOCOM

Systém ERVOCOM (Obrázek 5) je určen pro profesionální a mezinárodní soutěže FIFA (Mezinárodní federace fotbalových asociací – Fédération Internationale de Football Association) a UEFA (Unie evropských fotbalových asociací - Union Européenne de Football Association). Využívá vyšší úrovně ochrany přenosu signálu a umožňuje potvrzení přijetí signálu pomocí vibrace praporku. Praporky tohoto systému nepotřebují demontáž pro přepravu a napájeny jsou 9 V bateriemi. Mají také indikátor stavu baterie pomocí LED a funkci automatického vypnutí v případě nepoužívání. Systém umožňuje použití více praporů současně

bez vzájemného rušení a nabízí tři úrovně hlasitosti. Cena systému se pohybuje okolo 20 000 Kč. (ERVOCOM, c2024)



Obrázek 5: Elektronické praporky ERVOCOM (ERVOCOM, c2024)

2.2 Koncept navrhovaného řešení

Zařízení elektronického asistenta pro rozhodčí bude sestávat ze tří hlavních komponent: dvou praporků (slave) a jednoho pageru (master). Praporky budou navrženy tak, aby bylo jejich použití co nejjednodušší a manipulace s nimi během zápasu co nejsnazší. Konstrukce praporků bude navržena tak, aby minimalizovala potřebu demontáže před přepravou, což zajistí rychlou a snadnou přenositelnost zařízení.

Pager bude sloužit k přijímání signálů od praporků a upozorňování hlavního rozhodčího na důležité události na hřišti. Umožní nastavit volbu a zapnutí, či vypnutí zvukového signálu a vibračního signálu podle preference rozhodčího. Pager bude také schopen rozlišovat mezi signály z různých praporů pomocí odlišných signálů, například přerušovaného a soustavného signálu. Baterie v pageru budou navrženy tak, aby vydržely po celou dobu trvání zápasu, bez potřeby výměny baterií během hry. Tyto komponenty budou vzájemně komunikovat bezdrátově a zaručí tak efektivní a spolehlivé fungování systému elektronických praporů pro fotbalového rozhodčího.

2.3 Bezdrátová komunikace mezi rozhodčím a asistentem

Radio Frequency (RF) je termín používaný k označení elektromagnetických signálů nebo vlnových délek v rozsahu radiových vln. Jedná se o technologii bezdrátové komunikace, která využívá elektromagnetického pole pro přenos dat prostřednictvím rádiových vln.

RF technologie jsou využívány v široké škále aplikací, včetně komunikačních systémů, bezpečnostních systémů, lékařských zařízení, průmyslové automatizace a mnoha dalších. Tyto technologie umožňují bezdrátovou komunikaci na různé vzdálenosti a frekvence, což poskytuje flexibilitu a široké využití v různých oblastech.

Jednou z hlavních výhod RF technologií je schopnost přenosu dat na velké vzdálenosti bez potřeby fyzického propojení. To umožňuje vzdálené monitorování, řízení a sledování zařízení nebo procesů, což přináší efektivitu a flexibilitu v různých aplikacích. RF technologie se dělí do různých kategorií v závislosti na použité frekvenci, výkonu, dosahu a dalších parametrech. Mezi nejběžnější typy RF technologií patří Bluetooth, WiFi, ZigBee, LoRa a mnoho dalších. Každá z těchto technologií má své specifické vlastnosti a využití, což umožňuje optimalizovat bezdrátovou komunikaci pro konkrétní aplikace a potřeby.

2.3.1 Bluetooth

Bluetooth je standardem pro bezdrátovou komunikaci, který propojuje různá elektronická zařízení, jako jsou tablety, mobilní telefony, sluchátka, sportovní hodinky a další. Tato technologie umožňuje přenos audia, videa a dalších souborů mezi zařízeními, a dokonce se využívá i pro bezpečnostní lokátory. Bluetooth byl vynalezen v roce 1994 švédskou společností Ericsson jako alternativa kabelovým spojením mobilních zařízení.

Dosah Bluetooth zařízení se obvykle pohybuje v řádech desítek až stovek metrů při přímé viditelnosti mezi zařízeními. V uzavřených prostorách však může dosah klesat v závislosti na okolních faktorech. Bluetooth pracuje v nelicencovaném frekvenčním pásmu 2,4 GHz, které sdílí s několika dalšími bezdrátovými systémy, jako je například IEEE 802.11 (Wi-Fi). Je proto důležité, aby se tyto systémy navzájem nerušily. (Alza, 2022)

Technologie Bluetooth využívá nízké vysílací výkony a metodu frekvenčního skákání nosné (Frequency Hopping) v rozprostřeném spektru (FHSS). Tato kombinace umožňuje spolehlivou komunikaci mezi zařízeními i v prostředí s rušením.

2.3.2 Wi-Fi

WiFi, zkratka pro Wireless Fidelity, je technologie bezdrátové lokální sítě (WLAN), která umožňuje přenos dat mezi různými zařízeními pomocí rádiových vln. Tato technologie je široce využívána pro bezdrátové připojení k internetu, sdílení souborů a tiskáren a komunikaci mezi zařízeními v domácnostech, kancelářích a veřejných prostorech.

WiFi pracuje v licencovaném frekvenčním pásmu 2,4 GHz nebo 5 GHz a umožňuje rychlé přenosy dat s vysokou spolehlivostí. Standard WiFi je definován sadou specifikací známých jako IEEE 802.11, které se dělí podle různých verzí a doplňujících standardů. Mezi nejznámější standardy patří 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac a 802.11ax (WiFi 6).

WiFi sítě mohou mít různé pokrytí a dosah, který závisí na použitých zařízeních, prostředí a překážkách. Moderní WiFi routery a přístupové body často podporují technologie jako MIMO (Multiple Input Multiple Output) a beamforming, které zlepšují pokrytí a výkon sítě.

Jednou z výhod WiFi je možnost připojení více zařízení k jedné síti a sdílení internetového připojení. WiFi také umožňuje pohodlné připojení k internetu v různých prostředích bez nutnosti použití kabelů. Díky své popularitě a dostupnosti je WiFi jednou z nejběžnějších technologií pro bezdrátovou komunikaci.

WiFi technologie se neustále vyvíjí a zdokonaluje, což vede k vylepšeným rychlostem, spolehlivosti a bezpečnosti přenosu dat. S rozvojem chytrých domácností a internetu věcí (IoT) se očekává, že WiFi bude hrát ještě důležitější roli v moderním digitálním světě.

2.3.3 ZigBee

ZigBee je bezdrátová technologie, která se používá pro sítě typu PAN (Personal Area Network) a IoT (Internet of Things). Jedná se o nízkopřenosovou, energeticky úspornou a spolehlivou technologii, která je vhodná pro komunikaci mezi různými zařízeními v blízkém okolí. Tato technologie pracuje v nelicencovaném pásmu 2,4 GHz nebo 868/915 MHz a je optimalizována pro krátké vzdálenosti a nízkou spotřebu energie. ZigBee využívá síťovou topologii typu mesh, což znamená, že každé zařízení v síti může komunikovat přímo s ostatními zařízeními, což zlepšuje pokrytí a spolehlivost sítě.

Mezi hlavní vlastnosti ZigBee patří nízká spotřeba energie, malá latence, bezpečnost a jednoduchá instalace a konfigurace. ZigBee se často využívá pro různé aplikace v domácnostech a průmyslu, včetně chytrých domácností, monitorování a řízení budov, průmyslové automatizace a senzorických sítí. Díky svým vlastnostem a flexibilitě je ZigBee jednou z klíčových technologií pro rozvoj IoT a propojení různých zařízení a systémů. (Alza, c2023)

2.3.4 LoRa

LoRa (Long Range) je bezdrátová technologie navržená pro dlouhé dosahy a nízkou spotřebu energie. Jedná se o bezdrátovou technologii s velkým dosahem, která umožňuje přenos dat na velké vzdálenosti, a to až několik kilometrů ve venkovním prostředí. LoRa využívá modulaci chirp spread spectrum (CSS), která umožňuje přenos dat na dlouhé vzdálenosti při nízké spotřebě energie.

Tato technologie je často využívána pro aplikace v IoT (Internet of Things), kde je potřeba přenášet data z velkého počtu senzorů umístěných na širokém území, například pro monitorování a sledování v průmyslu, zemědělství, městském plánování, environmentálním monitoringu a dalších oblastech. LoRa poskytuje robustní a spolehlivé spojení i v obtížných prostředích, jako jsou vzdálené oblasti nebo oblasti s hustou zástavbou.

Hlavní výhody LoRa zahrnují dlouhý dosah, nízkou spotřebu energie, schopnost proniknout přes překážky a budovy, možnost provozu v nelicencovaném pásmu a snadnou nasaditelnost a škálovatelnost. Díky těmto vlastnostem je LoRa vhodnou volbou pro aplikace, které vyžadují spolehlivé a energeticky efektivní bezdrátové spojení na dlouhé vzdálenosti.

2.4 Porovnání RF technologií

Pro porovnání různých RF technologií, jako je Bluetooth, ZigBee, LoRa a Wi-Fi, lze použít různá kritéria hodnocení:

1. **Dosah:** Bluetooth má obvykle dosah v řádu desítek až stovek metrů, což je dostatečné pro většinu osobních zařízení. ZigBee je optimalizován pro krátké vzdálenosti (do 100 metrů), zatímco LoRa poskytuje velmi dlouhý dosah, až několik kilometrů ve

venkovním prostředí. Wi-Fi má střední až dlouhý dosah, což je ideální pro pokrytí v domácnostech a kancelářích.

2. **Spolehlivost:** Všechny tyto technologie mají obecně vysokou spolehlivost ve správně navržených sítích. Bluetooth je spolehlivý pro osobní zařízení, ZigBee je známý svou robustností v průmyslových prostředích, LoRa poskytuje spolehlivé spojení i v obtížných podmínkách, a Wi-Fi je běžně používaný pro spolehlivé bezdrátové připojení v domácnostech a kancelářích.
3. **Energetická náročnost:** Bluetooth a ZigBee jsou obecně známé pro svou nízkou energetickou náročnost, což je výhodné pro bateriově napájená zařízení. LoRa je také energeticky úsporný, což umožňuje dlouhou výdrž baterie. Wi-Fi má střední až vysokou energetickou náročnost.
4. **Dostupnost:** Bluetooth je široce dostupný a podporován v mnoha zařízeních. ZigBee má také dostatečnou dostupnost, zejména pro průmyslové aplikace. LoRa je omezenější, ale stále se rozšiřuje, zvláště v oblastech IoT a smart cities. Wi-Fi je nejširší dostupnou technologií a je běžně podporován v domácnostech, kancelářích a veřejných prostorech.

Na základě rozboru byla zvolena technologie Wi-Fi jako nejvhodnější pro použití elektronických praporků pro rozhodčí. Wi-Fi nabízí dostatečný dosah, vysokou spolehlivost a širokou dostupnost, což je ideální pro naše potřeby v prostředí sportovních událostí.

2.5 Rozbor antén

V této kapitole se zaměříme na porovnání dvou typů antén, které mohou být použity v zařízení: leptaná anténa na desce plošného spoje (DPS) kitu NodeMCU ESP8266 a externí anténa s konektorem SMA. Pro účely této práce se zaměříme na jejich vlastnosti, výhody a nevýhody, a následně dojdeme k závěru, která anténa je vhodná pro testování zařízení.

2.5.1 Leptaná anténa na DPS

Leptaná anténa je integrovanou součástí desky NodeMCU ESP8266 (Obrázek 6). Tato anténa je vytvořena přímo na DPS a je navržena tak, aby byla kompaktní a účinná pro potřeby vestavěných systémů a IoT zařízení. Leptaná anténa je velmi malá a zabírá minimální prostor na desce. Jelikož je součástí DPS, není potřeba dodatečné montáže nebo externích konektorů.

Pro mnoho aplikací v oblasti IoT a malých zařízení poskytuje leptaná anténa dostatečný dosah signálu. Leptaná anténa je součástí desky, což snižuje celkové náklady na hardware.



Obrázek 6: Leptaná anténa na kitu ESP8266

2.5.2 Externí anténa s konektorem SMA

Externí anténa s konektorem SMA (Obrázek 7) je často používaná v profesionálních a sériových výrobcích, kde je potřeba zajistit stabilní a silný signál. Tato anténa je připojena ke konektoru SMA, který je pevně spojen se zařízením. Anténu je možno umístit mimo zařízení pro lepší příjem signálu. Některé externí antény umožňují změnu směru a díky tomu optimalizovat příjem signálu.



Obrázek 7: Externí anténa s SMA konektorem

2.5.3 Porovnání antén

Pro testování zařízení postačí použití leptané antény na kitu NodeMCU ESP8266. Toto rozhodnutí je opodstatněno několika klíčovými faktory:

Leptaná anténa je integrovaná do DPS a nezabírá dodatečný prostor. To usnadňuje montáž a manipulaci se zařízením během testování. Leptaná anténa snižuje celkové náklady na hardware, což je důležité pro prototypování a testovací fázi projektu. Pro účely testování zařízení na fotbalovém hřišti je dosah leptané antény dostatečný. Následné testy ukázaly, že připojení je spolehlivé až na vzdálenost 300 metrů při přímém výhledu, což splňuje požadavky na funkčnost v reálných podmínkách.

Externí anténa s konektorem SMA by byla vhodná pro sériovou výrobu, kde je potřeba zajistit maximální dosah a stabilitu signálu, například v náročnějších prostředích nebo při větších vzdálenostech. Pro testovací účely však leptaná anténa poskytuje dostatečnou výkonnost a přináší výhody ve formě jednoduchosti a nízkých nákladů.

2.6 Mikrokontrolér

Tato část se věnuje rozboru trhu v oblasti mikroprocesorů, za účelem výběru vhodného mikroprocesoru pro řízení navrhovaného systému. Mikrokontrolér je malý, integrovaný obvod, který obsahuje procesor, paměť a další periferie, které umožňují řídit různá zařízení a systémy. Tyto zařízení jsou navrženy tak, aby prováděly specifické úkoly nebo funkce, jako je například řízení elektronických zařízení, sběr a zpracování dat, nebo ovládání různých senzorů a akčních členů. Mikrokontroléry jsou často používány v embedded systémech, průmyslové automatizaci, elektronických zařízeních pro domácnosti, lékařských přístrojích a dalších aplikacích, kde je vyžadována spolehlivá a efektivní řídicí funkce.

Mikrokontroléry jsou klíčovými součástmi našeho elektronického zařízení pro rozhodčí, které řídí celý proces komunikace mezi praporky a pagerem prostřednictvím WiFi.

2.6.1 ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102

NodeMCU Dev Board je založen na čipu ESP8266 od společnosti Espressif. Tento modul kombinuje funkce přístupového bodu Wi-Fi a stanice s mikrokontrolerem a umožňuje použití jednoduchého programovacího jazyka. Díky své flexibilitě a rozsáhlé komunitě vývojářů je

NodeMCU populární volbou pro různé projekty IoT a elektroniky. Je vybaven USB-serial čipem CP2102 pro snadnou komunikaci s počítačem a programování.

Cena tohoto zařízení se pohybuje okolo 100 Kč, což ho činí cenově dostupnou volbou pro mnoho projektů v oblasti IoT a elektroniky.

Rozměry zařízení jsou demonstrovány v Tabulka 1 nebo na Obrázek 8.

Tabulka 1: Rozměry ESP8266¹

Délka:	46 mm
Šířka:	26 mm
Výška:	7 mm
Váha:	8,26 g



Obrázek 8: NodeMCU ESP 8266 (LaskaKit, 2024d)

¹ (LaskaKit, 2024d) IoT ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 WIFI modul, c2024. LaskaKit [online]. [cit. 2024-04-28].

Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/iot-esp8266-lua-nodemcu-amica-cp2102-wifi-modul/>

2.6.2 ESP-WROOM-32

ESP-WROOM-32 je silný Wi-Fi+BT+BLE MCU modul, který je vhodný pro širokou škálu aplikací, od nízkonapěťových senzorů až po náročnější úkoly, jako je komprese hlasového záznamu, streamování hudby nebo dekodování MP3.

Jádrem tohoto produktu je čip ESP32-D0WDQ, který je navržen tak, aby se dal škálovat a přizpůsobit. Dvě CPU jádra lze individuálně ovládat a frekvence je nastavitelná od 80 MHz po 240 MHz.

ESP32 integruje bohatou sadu periférií, od kapacitních dotykových snímačů, Hallových snímačů, zesilovačů s nízkým šumem, rozhraní SD karet, Ethernet, SPI, UART, I2S a I2C. Integrace Bluetooth, Bluetooth LE a Wi-Fi zajistí, že široký rozsah aplikací může být cílen.

Wi-Fi umožňuje velký dosah a přímé připojení k internetu přes Wi-Fi router, zatímco použití Bluetooth umožní uživateli pohodlné připojení k telefonu nebo vysílání nízkonapěťových signálů pro detekci.

Proud v režimu spánku čipu ESP32 je méně než 5 μ A, což umožňuje napájení z baterie a použití například pro nositelnou elektroniku. ESP32 podporuje přenosovou rychlost až 150 Mbps a 20.5 dBm výstupní výkon antény zajistí dlouhý dosah.

Operační systém vybraný pro ESP32 je freeRTOS with LwIP; TLS 1. s hardwarovou akcelerací je také integrován. Vývojáři mohou bez problému aktualizovat produkty i po vydání díky zabezpečenému přenosu dat (OTA).

2.6.3 Arduino Nano 33 IoT

Následuje úryvek z popisu zařízení z (LaskaKit, 2024b):

„Arduino Nano 33 IoT je nejjednodušší a nejlevnější vstupní bod, jak vylepšit stávající zařízení (a vytvářet nová), aby byla součástí IoT. Ať už pracujete na budování senzorové sítě připojené k vaší kanceláři nebo domácímu routeru, nebo pokud chcete vytvořit zařízení BLE odesílající data na mobilní telefon, Nano 33 IoT je vaše komplexní řešení pro mnoho základních IoT aplikací. Hlavním procesorem desky je 32bitový SAMD21 Arm® Cortex®-M0 s nízkou spotřebou. Připojení WiFi a Bluetooth® se provádí pomocí modulu od společnosti u-blox NINA-W10. Jedná se o nízkoenergetický čip pracující ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Kromě

toho je zabezpečená komunikace zajištěna prostřednictvím krypto čipu Microchip® ECC608. Deska je osazena 6osou IMU, díky čemuž je tato deska ideální pro jednoduché vibrační výstražné systémy, krokoměry, relativní umístění robotů atd.

Připojení k síti WiFi stejně snadné jako blikání kontrolky LED. Svou desku můžete připojit k jakémukoli druhu existující WiFi sítě, nebo ji použít k vytvoření vlastního přístupového bodu. Konkrétní sadu příkladů, které poskytujeme pro Nano 33 IoT, najdete na referenční stránce knihovny WiFiNINA.

Komunikační čipová sada na Nano 33 BLE může být jak Bluetooth klientem, tak i hostitelem. Ve světě platform mikrokontrolérů něco docela jedinečného.“ (LaskaKit, 2024b)

2.7 Výběr MCU

Při porovnání mikrokontrolérů (MCU) jako Arduino Nano 33 IoT, ESP-WROOM-32 a ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 je několik klíčových faktorů, které je třeba zvážit:

1. **Výkon a výpočetní kapacita:** Arduino Nano 33 IoT a ESP-WROOM-32 mají oba vyšší výpočetní kapacitu a větší paměťové prostředky než ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102. To znamená, že jsou schopny zpracovávat složitější úlohy a aplikace, které vyžadují vyšší výkon.
2. **Podpora bezdrátové komunikace:** Všechny tři MCU podporují bezdrátovou komunikaci, ale každý se specializuje na jiný typ. Arduino Nano 33 IoT a ESP-WROOM-32 se zaměřuje na komunikaci přes WiFi a Bluetooth, zatímco a ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 jsou primárně určeny pro WiFi komunikaci.
3. **Flexibilita a kompatibilita:** Arduino Nano 33 IoT je kompatibilní s Arduino IDE a využívá jazyk Arduino C/C++, což je populární a snadno použitelné prostředí pro vývojáře. ESP-WROOM-32 a ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 jsou oba kompatibilní s ESP-IDF (ESP32 Development Framework) a NodeMCU firmwarem, což umožňuje rozsáhlou podporu knihoven a nástrojů pro vývoj aplikací.
4. **Cena:** Arduino Nano 33 IoT je dražší než ESP-WROOM-32 a ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102. ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 je nejlevnější z těchto tří MCU.

Pro finální projekt byl zvolen MCU ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102, který je ze všech cenově nejdostupnější (cena okolo 100 Kč). Zároveň pro potřeby projektu je dostačující svým výkonem a funkcemi. Tento modul bude použit v projektu jako řídicí jednotka všech zařízení. Bude monitorovat stav tlačítka (sepnuté/rozepnuté), vyhodnocovat události, komunikovat s ostatními jednotkami a řídit zvukové nebo vibrační signály. Díky vestavěné podpoře WiFi umožňuje snadnou bezdrátovou komunikaci v rámci sítě. NodeMCU je schopno fungovat jako webový server, ovládat periferie pomocí GPIO pinů a komunikovat s cloudovými službami.

2.8 Programovací firmware

Tato kapitola se zabývá výběrem vývojového prostředí pro tvorbu firmwaru pro navrhovaný systém. Programovací firmware je klíčovým prvkem každého zařízení, protože definuje, jaké instrukce a funkce jsou k dispozici pro řízení hardwaru a provádění určitých úkolů.

2.8.1 Arduino IDE

Arduino IDE je oblíbené vývojové prostředí, které poskytuje uživatelům snadný způsob programování mikrokontrolérů.

Jedním z hlavních benefitů použití Arduino IDE je velká komunita uživatelů, která sdílí své znalosti a zkušenosti vytvořením mnoha návodů, knihoven a projektů. To umožňuje rychlý vývoj, prototypování aplikací a snadné řešení případných problémů.

2.8.2 MicroPython

MicroPython je implementace programovacího jazyka Python optimalizovaná pro použití v mikrokontrolérech a vestavěných systémech. Tento jazyk umožňuje psát kód přímo v Pythonu, což může být výhodné pro uživatele, kteří mají zkušenosti s tímto jazykem nebo preferují jeho syntaxi a jednoduchost.

Jednou z klíčových výhod MicroPythonu je možnost interaktivního programování, kdy je možné spouštět a testovat kód přímo na zařízení, aniž by bylo nutné ho kompilovat a nahrávat do paměti mikrokontroléru. To umožňuje rychlé prototypování a experimentování s různými funkcemi a algoritmy.

MicroPython je také vybaveno širokou škálou knihoven a modulů, které usnadňují práci s různými periferiemi a komponentami. To umožňuje vývojářům rychle a efektivně vytvářet rozsáhlé projekty s minimálním úsilím.

2.8.3 NodeMCU Lua firmware

NodeMCU Lua firmware je alternativní firmware, který umožňuje psát kód v programovacím jazyce Lua. Tento firmware poskytuje jednoduché a přehledné prostředí pro vývoj IoT aplikací a experimentování s různými funkcemi mikrokontroléru.

Jednou z hlavních výhod NodeMCU Lua firmware je jednoduchost a přístupnost pro začátečníky. Lua je snadno čitelný a intuitivní programovací jazyk, což umožňuje rychlé porozumění a vytváření kódu i bez předchozích zkušeností s programováním.

NodeMCU Lua firmware je také vybaveno vestavěnými knihovnami a moduly pro práci s různými periferiemi a komponentami. To usnadňuje vývoj, prototypování aplikací a umožňuje vývojářům rychle reagovat na změny a požadavky projektu.

2.9 Výběr programovacího firmware

V našem projektu bude použito Arduino IDE pro programování mikrokontrolérů. Arduino IDE je open-source integrované vývojové prostředí, které poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní pro psaní, nahrávání a ladění kódu pro Arduino a další podporované mikrokontroléry. Arduino IDE je podporováno širokou komunitou vývojářů a nadšenců, což znamená, že je k dispozici mnoho užitečných zdrojů, knihoven a příkladů kódu. To usnadňuje vývoj aplikací a řešení problémů. Arduino IDE obsahuje rozsáhlou knihovnu knihoven a příkladů kódu pro různé typy senzorů, akčních členů a komunikačních rozhraní. To zrychluje vývoj a umožňuje vývojářům rychle implementovat potřebné funkce. Dále Arduino IDE je k dispozici pro různé operační systémy, včetně Windows, macOS a Linuxu, což umožňuje vývoj aplikací na různých zařízeních.

3 NÁVRH VÝROBY ZAŘÍZENÍ

Při návrhu a implementaci elektronických praporků pro rozhodčí byl vybrán mikročip ESP8266 pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními pomocí WiFi, jenž má ESP8266 zabudovanou. V správný chod projektu je nutné použít dalších součástek. V této kapitole je proveden výběr vhodných součástek a modulů pro tvorbu navrhovaného systému. Dále je v kapitole popsáno schéma zapojení jednotlivých modulů (modul pro hlavního rozhodčího a modul pro jeho asistenty).

3.1 Baterie

Pro napájení všech zařízení v projektu bylo zvolena sada dobíjecích lithium-iontových baterií GeB 18650 s kapacitou 2600mAh (Obrázek 9). Tyto baterie nabízí spolehlivý zdroj energie s dostatečnou kapacitou pro provoz zařízení po požadovanou dobu. Pro dobíjení baterií používáme nabíječku Li-ion článků TP4056 s integrovanou ochranou. Tato nabíječka poskytuje spolehlivý a bezpečný způsob dobíjení baterií přímo v rámci projektu. Nabíječka je vybavena ochrannými mechanismy, které chrání baterie před přetížením, přepólováním a přehřátím. Možnost opakovaného dobíjení bez nutnosti demontáže zařízení při vybití baterie. Eliminace nutnosti pravidelného pořizování nových baterií snižuje náklady na dlouhodobý provoz projektu. Snižování množství odpadu a lepší ekologická stopa ve srovnání s použitím běžných nebo nepoužitelných baterií.



Obrázek 9: GeB Li-Ion Baterie 18650 2600mAh 3.7V (LaskaKit, 2024c)

3.2 Nabíječka Li-ion článku TP4056

Tento model je určen pro nabíjení lithiových akumulátorů, s použitím konstantního proudu / konstantního napětí (CC/CV). Kromě toho, že tento modul bezpečně lithiové baterie nabíjí,

poskytuje jim rovněž požadovanou ochranu. Tento modul používá regulátor nabíjení TP4056 Li-Ion IC a samostatnou ochranu IC. Na trhu existují další typy modulů, které používají TP4056, ale ty nemají žádné ochranné obvody nebo IS pro poskytnutí potřebné ochrany lithiových baterií. Tento modul používá jak TP4056, tak DW01A (Obrázek 10). Tato kombinace pak má v praxi následující funkce ochrany:

- Řízení konstantního proudu a konstantní napětí pro nabíjení připojené lithiové baterie,
- Ochrana proti vybíjení – chrání baterii proti vybití pod 2.4V, což je minimum pro „zdraví“ baterie,
- Pokud se připojený akumulátor vybití pod 2.4V, modul odpojí baterii, dokud napětí baterie nedosáhne minimálně 3.0V. V tu chvíli modul opět umožní používat baterii. Ačkoli model snižuje výstupní výkon baterie v době jejího vybití, je stále baterii umožněno nabíjet přes diody MOSFETu (FS8205A).
- Ochrana proti přepětí – modul bude baterii bezpečně nabíjet do 4.2V,
- Nadproudová a zkratová ochrana – modul vypne baterie, pokud rychlost vybíjení překročí 3A nebo pokud výstup bude zkrácen,
- Soft-start omezí proud,
- Dobíjení (rekondice baterie) - v případě, že je úroveň napětí připojené baterie menší než 2.9V, bude modul dobíjet proudem 130mA, dokud napětí baterie opět nedosáhne 2.9V, přičemž v tomto okamžiku nabíjení se proud zvyšuje z lineárního na konfigurovaný nabíjecí proud.

Modul zahrnuje dvě indikační LED diody. Červená LED dioda indikuje nabíjení. Modrá LED dioda indikuje kompletní nabití. (Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou microUSB, c2024a)



Obrázek 10: Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou microUSB (LaskaKit, 2024f)

3.3 Vibrační signalizace

Pro vibrace v projektu je zvolen miniaturní vibrační motor, který operuje v rozmezí napětí od 2.5 do 5 V (Obrázek 11). Jeho průměr činí 10 mm a tloušťka 2.7 mm. Při napájení 5 V dosahuje otáček až 11 000 za minutu. Díky svým kompaktním rozměrům se snadno vejde do zařízení bez zbytečných problémů. Bude umístěn jak v master zařízení (pro vibrační signál), tak v slave zařízení (pro potvrzení přenosu informace).



Obrázek 11: Mini vibrační motor (LaskaKit, 2024e)

3.4 Akustická signalizace

Pro akustickou signalizaci v projektu je vybrán elektromagnetický bzučák s napájecím napětím 3.3V, vybavený vestavěným oscilátorem pro generaci pulzů (Obrázek 12). Bude implementován pouze do master zařízení.

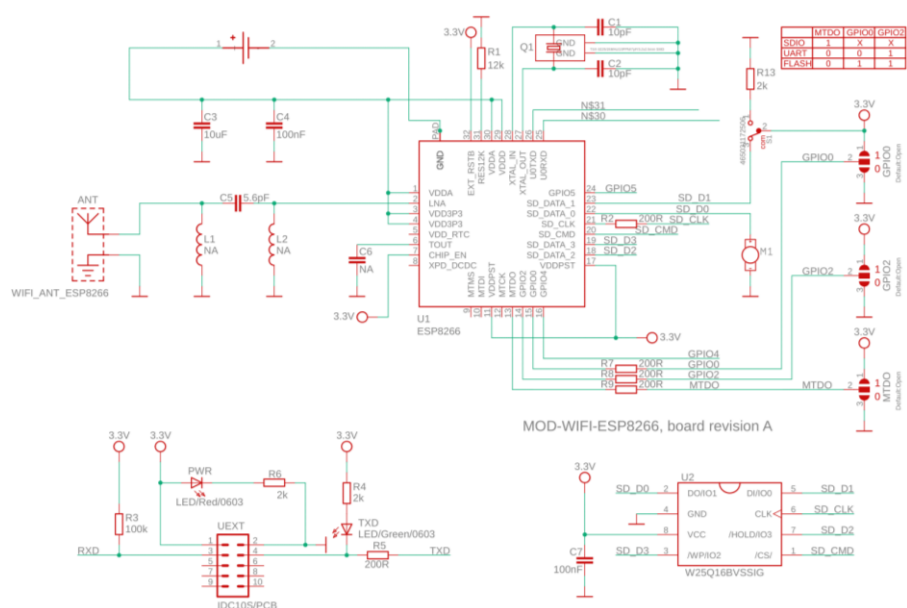


Obrázek 12: Aktivní bzučák 3.3 V (LaskaKit, 2024a)

3.5 Schéma zapojení slave zařízení

Schéma zapojení slave zařízení s ESP8266 je vidět na Obrázek 13. Projekt je napájen baterií (Obrázek 9) s přepínačem, který ovládá zapnutí/vypnutí MCU, který řídí všechny další součásti.

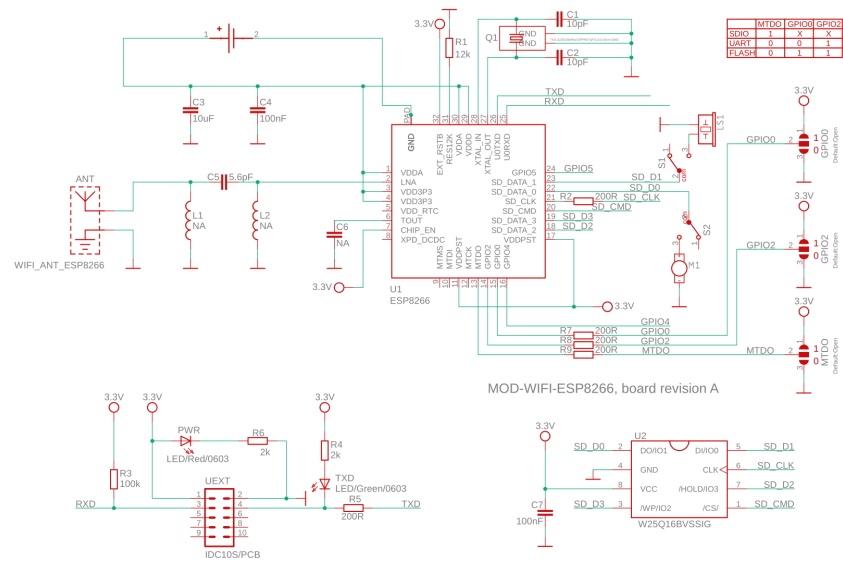
Na pin D1 je připojeno tlačítko. Na pinu D0 je připojen vibrační motor (Obrázek 11). Bylo odstraněno nepotřebné a přidány elektronické prvky pro požadovanou funkčnost. Na základě upraveného schématu (ke kterému bylo přidáno vůči Obrázek 13 i schéma programátoru) byla vytvořena nová DPS pro instalaci do komunikační jednotky, návrh této DPS je ukázán v Příloha E, Obrázek E.1 popisuje masku pro spodní stranu, Obrázek E.2 masku pro vrchní stranu a Obrázek E.3 osazovací schéma.



Obrázek 13: Schéma zapojení obvodu pro práci jako slave v jednotce pro asistenta rozhodčího. [Modifikace zapojení převzatého schéma vývojové desky]

3.6 Schéma zapojení master zařízení

Schéma zapojení master zařízení s ESP8266 je vidět na Obrázek 14. Projekt je napájen baterií (Obrázek 9) s přepínačem, který ovládá zapnutí/vypnutí MCU, který řídí všechny další součásti. Na pin D1 je připojen bzučák (Obrázek 12) s přepínačem. Na pinu D0 je připojen vibrační motor (Obrázek 11) s přepínačem. Odstraněno nepotřebné a přidány elektronické prvky pro požadovanou funkčnost. Na základě upraveného schématu (ke kterému bylo přidáno vůči Obrázek 14 i schéma programátoru) byla vytvořena nová DPS pro instalaci do komunikační jednotky, návrh této DPS je ukázán v Příloha F, Obrázek F.1 popisuje masku pro spodní stranu, Obrázek F.2 masku pro vrchní stranu a Obrázek F.3 osazovací schéma.



Obrázek 14: Schéma zapojení obvodu pro práci jako master v jednotce pro hlavního rozhodčího. [Modifikace zapojení převzatého schéma vývojové desky]

Jedním z hlavních důvodů pro použití vývojového kitu ESP8266 je rychlost a flexibilita vývoje. NodeMCU kit umožňuje rychlé prototypování a testování různých funkcionalit bez nutnosti čekání na výrobu a montáž vlastních DPS. To je obzvláště důležité v raných fázích projektu, kdy je potřeba rychle testovat různé návrhy a koncepty. Dále použití vývojového kitu ESP8266 významně snižuje počáteční náklady na vývoj. Výroba vlastních DPS je často spojena s vysokými náklady na výrobu malých sérií, zejména v případě nutnosti opakovaných úprav a optimalizací. Vývojové kity jsou dostupné za nízkou cenu a poskytují všechny potřebné komponenty integrované na jedné desce. NodeMCU kit ESP8266 integruje mnoho funkcí, které by jinak vyžadovaly dodatečné komponenty na vlastní DPS. Použití vývojového kitu tedy zjednodušuje návrh a snižuje množství potřebných externích komponent. Vývojové kity jako NodeMCU umožňují jednoduché programování prostřednictvím USB rozhraní, což usnadňuje nahrávání a ladění kódu. Integrované vývojové prostředí (IDE) a podpora pro různé programovací jazyky, jako je Arduino, poskytují uživatelsky přívětivé prostředí pro vývoj. Použití vývojového kitu umožňuje snadnou integraci s dalšími komponenty a perifériemi během testovací fáze. To zahrnuje senzory, tlačítka a další moduly, které mohou být rychle připojeny a otestovány bez nutnosti složitých pájení a úprav. Pro sestavení výsledného zařízení nebylo třeba přecházet k využití DPS, vzhledem k výrobě jednoho setu zařízení. Pro sériovou výrobu by bylo využito navržených DPS.

3.7 Cena projektu

V Tabulka 2 můžeme vidět ceny všech zakoupených součástek tohoto projektu. Výsledná cena projektu dle tabulky činí 798 Kč. Tuto cenu je třeba doplnit o náklady na propojovací kabely, rezistory a spotřebovaný filament při 3D tisku. Celková cena projektu se tak pohybuje kolem 900 Kč při implementaci do již existujícího (zakoupeného) praporku.

Porovnáme-li tuto cenu s cenami komerčních systémů, zjišťujeme značný rozdíl. Cena komerčních systémů se totiž pohybuje od 12 000 Kč výše. Tento významný rozdíl v ceně může být pro uživatele velmi atraktivním faktorem při rozhodování o tom, které řešení zvolit.

Tabulka 2: Ceny projektu

Produkt:	Počet ks:	Cena:
ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 WIFI	3	3x 98 Kč = 294 Kč
Tlačítko 6x5x5mm	2	2x 2 Kč = 4 Kč
Bzučák 3.3V	1	6 Kč
Mini vibrační motor 10x3.4mm - 5V	3	3x 18 Kč = 54 Kč
GeB Li-Ion Baterie 18650 2600mAh 3.7V	3	3x 128 Kč = 384 Kč
Nabíječka Li-ion článku TP4056	3	3x 14 Kč = 42 Kč
Přepínač	7	7x 2 Kč = 14 Kč

3.8 Firmware zařízení

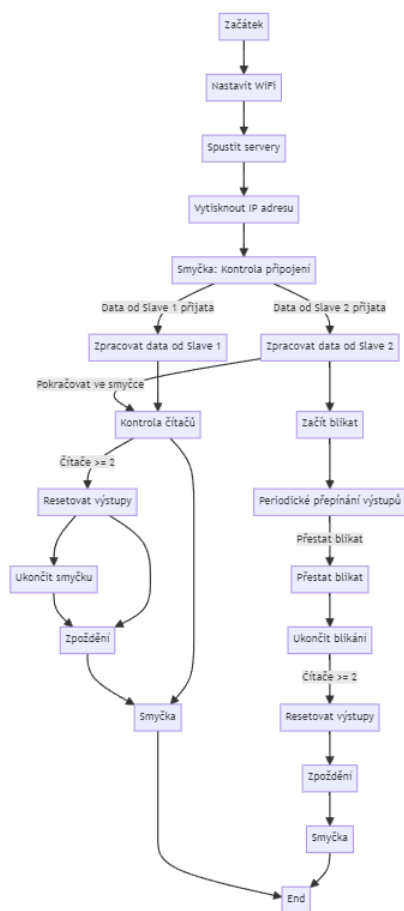
Program, který je nahrán do jednotlivých ESP8266, je znázorněn pomocí vývojových diagramů pro každé zařízení zvlášť. Obrázek 15 zobrazuje vývojový diagram pro zařízení master, zatímco vývojový diagram pro zařízení slave je k dispozici na Obrázek 16. Tato vizualizace poskytuje přehled o programové logice a funkcích každého zařízení, což usnadňuje pochopení jejich chování a interakcí v rámci celého systému.

V kódu je využito knihovny ESP8266WiFi.h. Tato knihovna umožňuje mikrokontroléru ESP8266 pracovat s Wi-Fi funkcemi, jako je nastavení přístupového bodu (AP) nebo připojení

k existující Wi-Fi síti. U master zařízení program začíná inicializací všech parametrů používaných v programu (SSID, heslo, porty serverů, inicializace proměnných).

V setup části masteru (Příloha B) dochází ke spuštění sériového monitoru, nastavují se výstupy vstup/výstup, spouští se WiFi a příslušné servery pro komunikaci. Po spuštění se do sériového monitoru vypíše potvrzovací hláška a vypíše se IP adresa zařízení.

Funkce `loop()` je hlavní smyčkou programu, která se opakuje neustále po dobu běhu programu. Funkce `server1.available()` a `server2.available()` zjišťují, zda jsou k dispozici nové připojení ke serverům pro komunikaci se slave zařízeními. Pokud je k dispozici nové připojení od slave zařízení, funkce `readStringUntil('\n')` čte data, která byla poslána ze slave zařízení, do okamžiku, kdy narazí na znak nového řádku (`\n`). Tato data jsou pak uložena do proměnných `slave1Data` a `slave2Data`. Pokud jsou přijata data od slave zařízení 1, spustí se sériový výstup s těmito daty a nastaví se výstupy pinů na HIGH. Proměnná `counter1` se resetuje na hodnotu 0. Pokud jsou přijata data od slave zařízení 2, spustí se sériový výstup s těmito daty a spustí se blikání výstupů pinů. Proměnná `counter2` se resetuje na hodnotu 0. Pokud je aktivováno blikání (`flashing` je `true`), dochází ke střídání stavů výstupů pinů. To způsobí přerušovaný zvukový a vibrační signál. Pokud `counter1` i `counter2` dosáhnou určeného počtu opakování (kdy nejsou resetovány přijutím informace o stisknutém tlačítku), jsou výstupy pinů resetovány na LOW. To zajistí, že výstupy budou v klidovém stavu, když nejsou aktivní žádné akce od slave zařízení. Proměnné `counter1` a `counter2` jsou inkrementovány v každém průchodu smyčkou, což zajišťuje sledování počtu opakování a ovládání časování akcí v programu.



Obrázek 15: Vývojový diagram Master zařízení

V programu Slave zařízení (Příloha A) se stejně jako v masteru používá knihovna ESP8266WiFi.h, která umožňuje komunikaci s WiFi sítěmi pomocí ESP8266 mikrokontrolérů. *ssid* a *password* určují název a heslo WiFi sítě, ke které se slave zařízení bude připojovat. *masterIP* je IP adresa master zařízení, ke kterému bude slave zařízení komunikovat, *local_IP* určuje lokální IP adresu.

Funkce `setup()` se skládá z obdobných částí jako master. Rozdíl je v inicializaci WiFi, kdy slave vyhledává dostupnou WiFi. `WiFi.begin(ssid, password, 0, NULL, true)` iniciovala připojení k WiFi síti s daným jménem a heslem. Poslední parametry představují tzv. callback funkce, které budou zavolány při různých událostech spojených s WiFi, v tomto případě jsou `NULL` (žádné funkce) a `true` indikuje, že automatické připojení k WiFi bude povoleno. `while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)` je smyčka, která čeká, dokud zařízení není úspěšně připojeno k WiFi síti. Během čekání se na sériový port vypisuje zpráva "Connecting to WiFi...". Po úspěšném

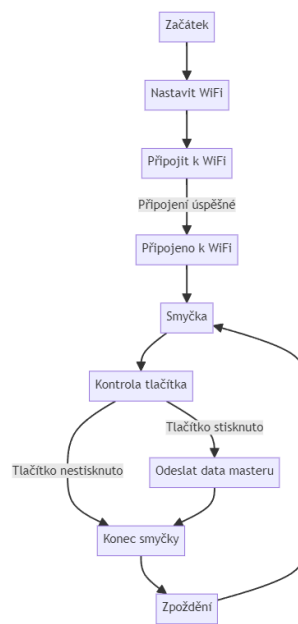
připojení k WiFi síti se na sériový port vypíše zpráva "*Slave zařízení připojeno k WiFi.*" Tato inicializační část kódu zajistí, že slave zařízení se úspěšně připojí k WiFi síti a je připraveno na komunikaci s master zařízením.

Funkce loop() v kódu slave zařízení neustále monitoruje stav tlačítka připojeného k pinu 5. Pokud je tlačítko stisknuto, odešle informaci na master zařízení. Pokud není stisknuto, zůstane LED na slave zařízení vypnutá. Tímto způsobem slave zařízení reaguje na stisky tlačítka a komunikuje s master zařízením.

Funkce sendToMaster (viz. Zdrojový kód 1) je volána v případě, že je stisknuto tlačítko připojené k pinu 5 na slave zařízení. Tato funkce slouží k odeslání informace o stisknutí tlačítka na master zařízení. Nejprve se vytvoří instance objektu WiFiClient, který umožňuje komunikaci přes Wi-Fi. Poté se funkce pokusí připojit k master zařízení pomocí jeho IP adresy a specifikovaného portu. Pokud se připojení úspěšně naváže, funkce odešle zprávu obsahující informaci o stisknutí tlačítka a poté ukončí spojení. Pokud se připojení nezdaří, funkce vypíše chybovou hlášku a vibrační motor na slave zařízení zůstane vypnutý.

```
void sendToMaster(String data, uint16_t port) {
    WiFiClient client;
    if (client.connect(masterIP, port)) {
        client.println(data);
        client.stop();
        Serial.println("Data sent to master on port " + String(port)
+ ": " + data);
        digitalWrite(16, HIGH);
    } else {
        Serial.println("Connection to master on port " +
String(port) + " failed.");
        digitalWrite(16, LOW);
    }
}
```

Zdrojový kód 1: Část kódu zajišťující přenos informace o stisknutém tlačítku na master zařízení a potvrzení o úspěšném přenosu informace



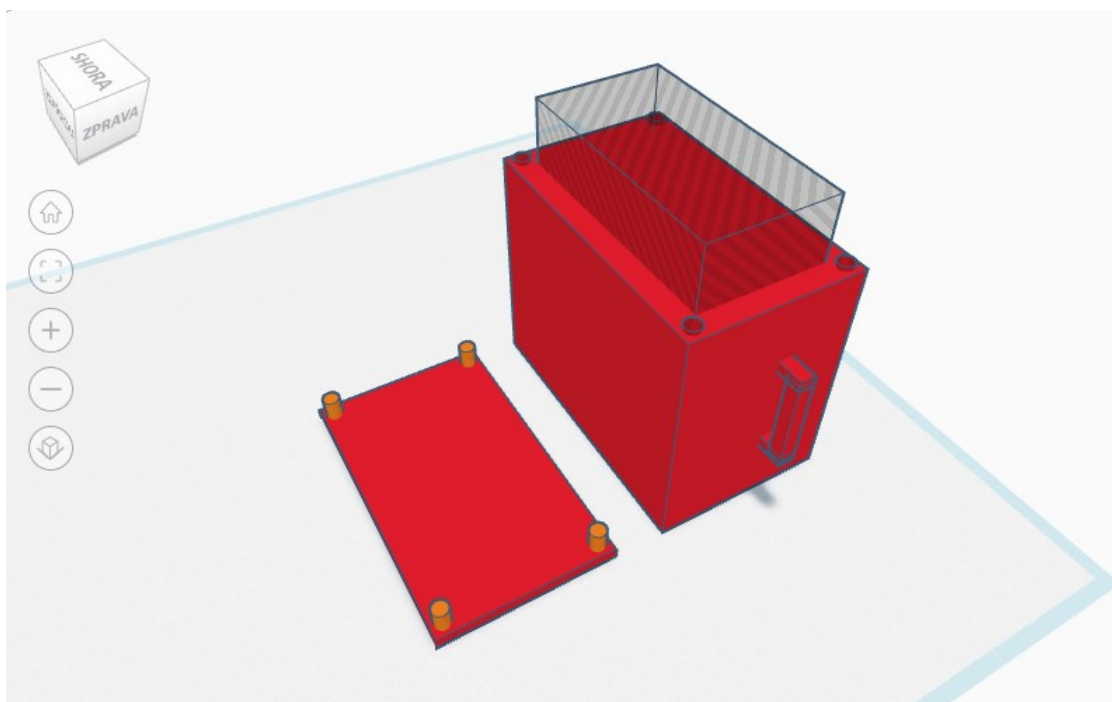
Obrázek 16: Vývojový diagram Slave zařízení

4 3D model

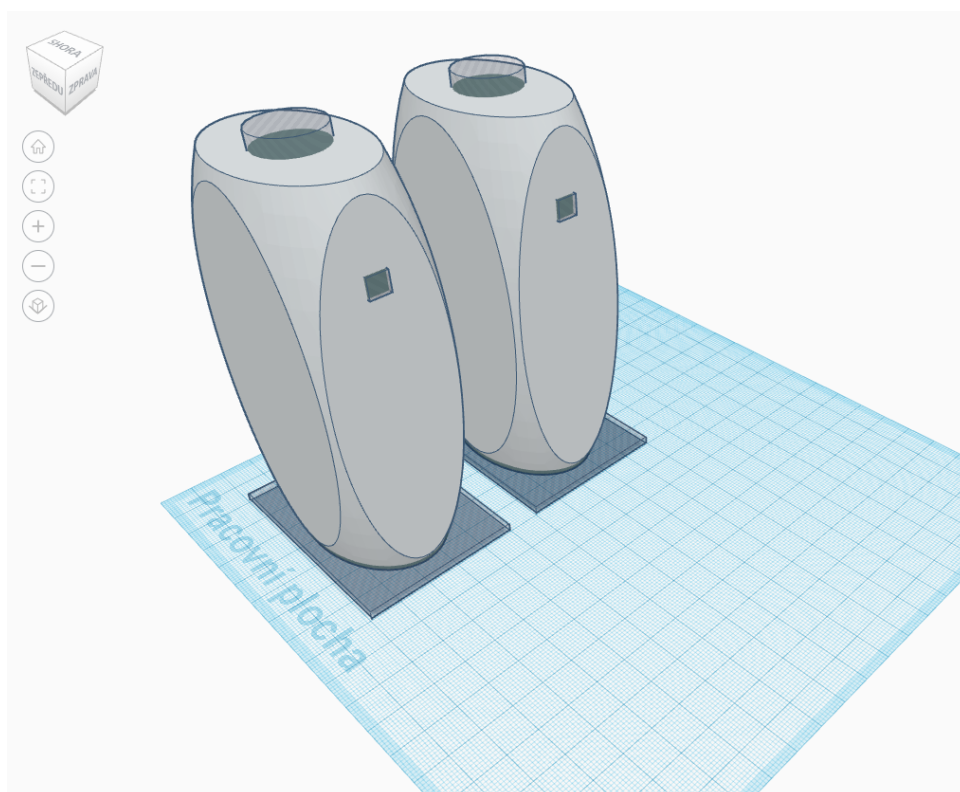
Proces návrhu 3D modelu elektronického praporku probíhal v prostředí Tinkercad, což je online platforma pro tvorbu 3D modelů, elektronických obvodů a dalších věcí. Tinkercad poskytuje uživatelům snadno použitelné nástroje pro vytváření a editaci 3D objektů bez nutnosti instalace speciálního software.

- Registrace a zahájení projektu: Proces začal registrací na platformě Tinkercad a vytvořením nového projektu pro návrh elektronického praporku. V rámci projektu byly definovány požadované rozměry, tvary a umístění jednotlivých komponent.
- Modelování komponent: Následně byly vytvořeny jednotlivé komponenty elektronického praporku, jako například tělo zařízení, anténa, LED diody, tlačítka a další. Pomocí nástrojů pro modelování byly definovány jejich tvary, rozměry a proporce.
- Propojení a integrace komponent: Po vytvoření jednotlivých komponent byly propojeny a integrovány do jednoho celku. Bylo zajištěno správné umístění a vzájemné propojení komponent tak, aby vytvořený 3D model odpovídal požadavkům a specifikacím.
- Optimalizace a kontrola: Po dokončení modelování byla provedena optimalizace a kontrola vytvořeného 3D modelu. Byla zkontrolována správnost rozměrů, tvarů a proporcí komponent, stejně jako jejich vzájemná kompatibilita a funkčnost.
- Dokončení a export: Po dokončení optimalizace byl 3D model elektronického praporku dokončen a připraven k exportu. Byly provedeny poslední úpravy a jemné nastavení detailů, aby byl zajištěn vysoký standard výsledného modelu.
- Ověření výsledku: Vytvořený 3D model byl podroben důkladnému ověření a posouzení, zda splňuje všechny požadavky a specifikace. Bylo zkontrolováno jeho vzhled, funkčnost a připravenost k dalším fázím vývoje a výroby.

Návrh v prostředí Tinkercad umožnil efektivní a pohodlný proces tvorby 3D modelu elektronického praporku s využitím dostupných nástrojů a funkcí. Tinkercad poskytl uživatelsky přívětivé prostředí pro tvorbu a editaci 3D objektů a umožnil rychlou realizaci návrhu bez nutnosti použití složitých profesionálních CAD programů.



Obrázek 17: 3D model pro Master zařízení



Obrázek 18: 3D model pro Slave zařízení (rukojeť)

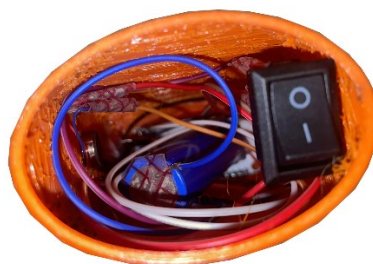
4.1 Sestavení zařízení

Pro sestavení finálního produktu budou použity již zakoupené praporky, do kterých bude integrována veškerá elektronika pro slave zařízení. Pro tuto integraci byl vytvořen model rukojeti (viz. Obrázek 18), který byl vytištěn na 3D tiskárně. Do této vyrobené rukojeti budou umístěny všechny potřebné komponenty. Stejně tak byl vytvořen model pro master zařízení (viz. Obrázek 17), který byl také vytištěn na 3D tiskárně, a do něho budou umístěny veškeré komponenty. Pro umístění zařízení na ruku rozhodčího bude třeba zakoupení pásku na suchý zip, který se provleče připravenými úchyty na obalu zařízení pro R.



Obrázek 19: Elektronika uvnitř rozloženého master zařízení

Kvůli zabezpečení před nechtěným vypnutím či zapnutím při pohybu, nárazu s jiným hráčem nebo míčem byly všechny přepínače umístěny uvnitř zařízení (viz. Obrázek 19 a Obrázek 20). Pouze tlačítko, pomocí kterého se přenáší signál ze slave do master zařízení, vyčnívá z povrchu modelu a je možné měnit jeho stav (viz. Obrázek 22).



Obrázek 20: Elektronika uvnitř rozloženého slave zařízení

Zařízení se uvede do zapnutého stavu před zápasem pomocí přepínače umístěného uvnitř každého zařízení (viz. Obrázek 19 a Obrázek 20). Po spuštění všech zařízení by mělo do

několika sekund proběhnout automatické připojení všech zařízení a celý systém by měl být připraven k použití. K navolení zapnutí, či vypnutí zvukového nebo vibračního signálu slouží další dva přepínače uvnitř master zařízení (viz. Obrázek 19). Po navolení se obal zařízení uzavře (viz. Obrázek 21) a nasadí na ruku rozhodčího pomocí pásku.



Obrázek 21: Sestavené master zařízení

AR nepotřebují nasazení žádného dalšího zařízení. Potřebují pouze praporek, jenž je standardní výbavou AR při utkání (viz. Obrázek 22). Pro použití zařízení stačí stisknout tlačítko na rukojeti. MCU zařízení vyhodnotí stisk tlačítka a vyšle signál do master zařízení. MCU v master zařízení po zachycení informace rozpozná, ze kterého zařízení informace přišla a podle toho vydá přerušovaný, či soustavný zvukový či vibrační signál (dle nastavení zařízení). Po potvrzení předání informace do master zařízení se rozvibruje i praporek v ruce asistenta se sepnutým tlačítkem.

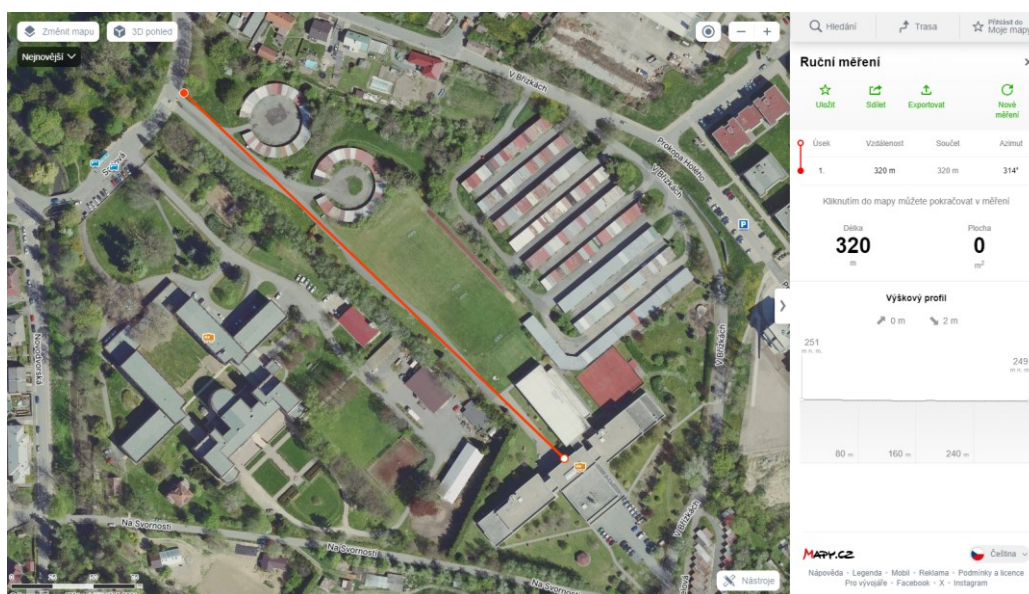


Obrázek 22: Sestavené slave zařízení

5 TEST FUNKČNOSTI

Pro ověření funkčnosti zapojení a správnosti výběru všech komponentů proběhlo testování zařízení v terénu. Prvotní testy byly zaměřeny na správnost výběru součástek. Při správném natočení antény ESP8266 (v horizontálním stavu) v přímém výhledu mezi ESP8266 bylo bezdrátové připojení spolehlivé na 300 metrech. Připojení mezi zařízeními na tuto vzdálenost proběhlo i při chvilkové ztrátě signálu. K připojení po obnovení přímého výhledu nastalo do 2 vteřin. Po restartu všech zařízení se slave zařízení k masteru připojilo na 125 metrech přímého výhledu, což vyhovuje použití po celé ploše fotbalového hřiště.

Při stínění tělem docházelo k chvilkovým výpadkům od 70 metrů, což je standardní větší vzdálenost mezi zařízeními, která může při zápasových podmínkách nastat. Pro maximální eliminaci tohoto problému bude doporučeno rozhodčímu nosit master zařízení na pravém rameni, kde by měl být přímý výhled mezi masterem a slave co nejvíce času, kdy se rozhodčí neřívá na asistenta rozhodčího (tudíž je předpoklad použití funkce elektronického praporku).



Obrázek 23: Plánek testování ve venkovních podmínkách

Druhý provedený test (Tabulka 3) byl již zaměřen na spolehlivost přenosu signálu na hrací ploše (rozměry hřiště viz. Obrázek 24). Testy byly sestaveny z různých scénářů a v různých směrech natočení na hrací ploše. Každý scénář byl proveden z různých vzdáleností tak, aby byly otestovány většina situací, jenž v zápasech standardně nastávají.

Tabulka 3: Testování na hrací ploše

Scénář testu	Vzdálenost (m)	Spolehlivost přenosu (%)	Poznámky:
Přímý výhled bez překážek (úhel < 90°)	20	100	
	70	100	
	120	95	Extrémní scénář
Stínění tělem rozhodčího (úhel > 90°)	20	100	
	70	90	
	120	80	Extrémní scénář
Běh po hrací ploše	20-100	90	Různé natočení těla

U každého scénáře a vzdálenosti bylo provedeno 20 opakování (10 testů pro každý praporek). U právních dvou scénářů se mezi pokusy měnil úhel natočení těla tak, aby v dráze přenosu byla větší překážka (tělo rozhodčího). Většina neúspěšných pokusů byla při maximálním stínění. Při těchto neúspěšných pokusech bylo následně provedena simulace pohybu (vystrčení ruky mimo tělo), kdy se modul při většině případů znovu připojil a následně proběhl úspěšný přenos signálu. U těchto situací je v tabulce test označen jako neúspěšný. U běhu po hrací ploše byly započítávány pouze případy, kdy přenos proběhl okamžitě (cca do 0,5 vteřiny), aby byly vyloučeny případy, kdy se modul následně připojil a až teprve poté se přenesla informace o stisku tlačítka. U těchto neúspěšných pokusů, se přenos uskutečnil přibližně po 2 vteřinách od stisku tlačítka.



Obrázek 24: Rozměry hrací plochy použité na testování

Testy prokázaly spolehlivost zařízení se zabudovanou anténou ESP8266. Při standartních vzdálenostech mezi R a AR, které při zápasech nastávají (20-80 metrů) byla spolehlivost větší než 90 % i při stínění tělem. V extrémních případech již spolehlivost systému se zabudovanou anténou kitu ESP8266 klesla na 80 %. V simulaci zápasových podmínek bylo dle výsledků prokázáno, že systém by měl být funkční pro využití v zápasových podmínkách. Při neúspěšných pokusech v tabulce došlo pouze k prodlevě mezi stiskem tlačítka a správného přenosu signálu. Tato prodleva se pohybovala od 1-5 vteřin. Pro zlepšení výsledků by mohlo být použito externí antény, či po hřišti rozmístit retranslační stanice, jenž by přeposílaly signál i při stínění.

Test v reálných zápasových podmínkách mi po konzultaci s komisí rozhodčích a dalšími rozhodčími nebyl umožněn vzhledem k probíhající sezóně a chybějícímu testování v modelovém/přátelském utkání. Komise rozhodčích konstatuje, že testování systému v průběhu utkání by mohlo narušit regulérnost soutěže a odvést pozornost rozhodčích od samotného zápasu, zejména v případě, že systém není plně funkční. Systém bude v reálných podmínkách otestován až po odevzdání této práce (při letní fotbalové přestávce).

6 ZÁVĚR

Projekt se podařilo zrealizovat v jeho plném rozsahu, jak udává zadání bakalářské práce. Z testování funkčnosti zařízení v terénu vyplývá, že při správném nastavení a optimálním umístění antén bylo bezdrátové připojení spolehlivé na vzdálenost až 300 metrů. I při ojedinělé chvilkové ztrátě signálu docházelo k obnovení připojení do 2 sekund. Jelikož asistent rozhodčího musí držet tlačítko až do reakce hlavního rozhodčího a navíc je asistent informován o úspěšném předání zprávy na master jednotku, nepředstavuje toto překážku ve správné funkci zařízení. Přestože při testování v reálných zápasových podmínkách nebylo možné ověřit dosah a spolehlivost zařízení, získané informace naznačují, že systém je schopen efektivně fungovat na fotbalovém hřišti.

Pro eliminaci možných výpadků signálu při stínění tělem rozhodčího je doporučeno umístit master zařízení na pravé rameno, aby byl co nejvíce času zajištěn přímý výhled mezi masterem a slave. Tato konfigurace by měla minimalizovat případné problémy s komunikací a zajistit spolehlivé použití funkce elektronického praporku během zápasů.

Jelikož nebylo možné provést testování v reálném zápasovém prostředí je důležité, aby systém prošel dalším ověřením a testováním po odevzdání této práce. Pouze tak lze zajistit, že elektronické praporky budou plně funkční a spolehlivé pro použití v reálných fotbalových soutěžích. Dále bylo navržen PCB design pro zajištění větší spolehlivosti zařízení. V tomto designu je místo antény zaveden SMA konektor pro zavedení externí antény, která by vhodným umístěním zlepšila spolehlivost systému i v extrémních případech. Pro testování ve venkovním prostředí postačil model využívající kitu ESP8266, ke kterému jsou připojeny požadované elektronické obvody potřebné pro správnou funkčnost zařízení.

Možnou úpravou systému do budoucna je využít retranslačních stanic, které vytvoří síť přeposílající pokyny v případě ztráty přímého spojení přes tyto stanice a tím by se mohlo zamezit občasným krátkodobým výpadkům, které byly pozorovány.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (LaskaKit, 2024a) Aktivní bzučák 3.3 V, c2024. In: *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/aktivni-bzucak-3-3v/>
- (LaskaKit, 2024b) Arduino Nano 33 IoT, originál, c2024. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/arduino-nano-33-iot--original/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw88yxBhBWEiwA7cm6pYX-aTOmOZkHU5xk3ZtlKsIZMBtFygZ_P3Iiej2b9_NFt59WwiFxB0ChoIQAvD_BwE
- (Alza, 2022) Bluetooth (INFORMACE): verze, dosah, frekvence a protokoly, 2022. *Alza* [online]. 5.10.2022, s. 1 [cit. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/slovník/bluetooth-art12370.htm#bluetooth>
- (*Refereestore*, c2024) *Electronic radio flag system - Kazanci Sportwear model 2020* [online], c2024. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.refereestore.at/en/collections/fahnensysteme/products/elektronisches-funkfahnen-system-kazanci-sportwear-modell-2020>
- (LaskaKit, 2024c) GeB Li-Ion Baterie 18650 2600mAh 3.7V, c2024. In: *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/geb-li-ion-baterie-18650-2600mah-3-7v/>
- (LaskaKit, 2024d) IoT ESP8266 Lua NodeMcu Amica CP2102 WIFI modul, c2024. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/iot-esp8266-lua-nodemcu-amica-cp2102-wifi-modul/>
- (Kureš., 2022c) KUREŠ, Jiří, 2022. *Pravidla fotbalu: platná od ... 2022*. Praha: Olympia. ISBN 978-80-7376-647-4.
- (Kureš, 2022a) KUREŠ, Jiří, 2022a. Pravidla fotbalu. In: *Pravidla fotbalu: platná od 2022*. Praha: Olympia, s. 65-69. ISBN 978-80-7376-647-4.
- (Kureš, 2022b) KUREŠ, Jiří, 2022b. Pravidla fotbalu. In: *Pravidla fotbalu: platná od 2022*. Praha: Olympia, s. 147. ISBN 978-80-7376-647-4.
- (LaskaKit, 2024e) Mini vibrační motor 10x3.4mm - 5V, c2024. In: *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/mini-vibracni-motor-10x3-4mm-5v/>
- (LaskaKit, 2024f) Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou microUSB, c2024a. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-s-ochranou-microusb/>
- (*ERVOCOM*, c2024) *Referee Paging System RPS2156* [online], c2024. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: https://www.ervocom.ch/en/module/business_areas/5-critical-communication/products/25-referee-paging-system-rps2156
- (SignalBip, c2024) RECHARGEABLE ELECTRONIC REFEREE BEEPER FLAGS, c2024. *SignalBip* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://signalbip.com/en/130-rechargeable-electronic-beeper-flags.html>

(Alza, c2023) ZigBee: ovládejte svou domácnost vzdáleně, c2023. *Alza* [online]. [cit. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/zigbee>

PŘÍLOHY

Příloha A Zdrojový kód Slave zařízení	58
Příloha B Zdrojový kód Master zařízení.....	59
Příloha C 3D model obalu pro master zařízení.....	61
Příloha D 3D model rukojeti pro slave zařízení	62
Příloha E Schéma navržené desky pro slave zařízení.....	63
Příloha F Schéma navržené desky pro master zařízení.....	65

Příloha A Zdrojový kód Slave zařízení

```
#include <ESP8266WiFi.h>
const char* ssid = "ESP8266_MASTER";
const char* password = "G4c9x0pPajZbVad1qf5M";
IPAddress masterIP(192, 168, 4, 1);
IPAddress local_IP(192, 168, 1, 2);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(16, OUTPUT);
  WiFi.begin(ssid, password, 0, NULL, true);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }
  Serial.println("Slave zařízení připojeno k WiFi.");
}

void loop() {
  bool buttonPressed = digitalRead(5);
  if (buttonPressed) {
    String dataToSend = "Button 1 pressed!";
    sendToMaster(dataToSend, 80);
  }
  else
  {
    digitalWrite(16, LOW);
  }
}

void sendToMaster(String data, uint16_t port) {
  WiFiClient client;
  if (client.connect(masterIP, port)) {
    client.println(data);
    client.stop();
    Serial.println("Data sent to master on port " + String(port)
+ ": " + data);
    digitalWrite(16, HIGH);
  } else {
    Serial.println("Connection to master on port " +
String(port) + " failed.");
    digitalWrite(16, LOW);
  }
}
```

Zdrojový kód A.1: Kód pro slave zařízení

Příloha B Zdrojový kód Master zařízení

```
#include <ESP8266WiFi.h>

const char* ssid = "ESP8266_MASTER";
const char* password = "G4c9x0pPajZbVad1qf5M";
// IP adresy slave zařízení
IPAddress slave1IP(192, 168, 1, 2);
IPAddress slave2IP(192, 168, 1, 3);
IPAddress local_IP(192, 168, 4, 1);
int counter1 = 0, counter2 = 0;
bool flashing = false;

WiFiServer server1(80);
WiFiServer server2(81); // Nový server na jiném portu pro slave2

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(16, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  WiFi.mode(WIFI_AP);
  WiFi.softAP(ssid, password);
  server1.begin();
  server2.begin(); // Spustit i druhý server

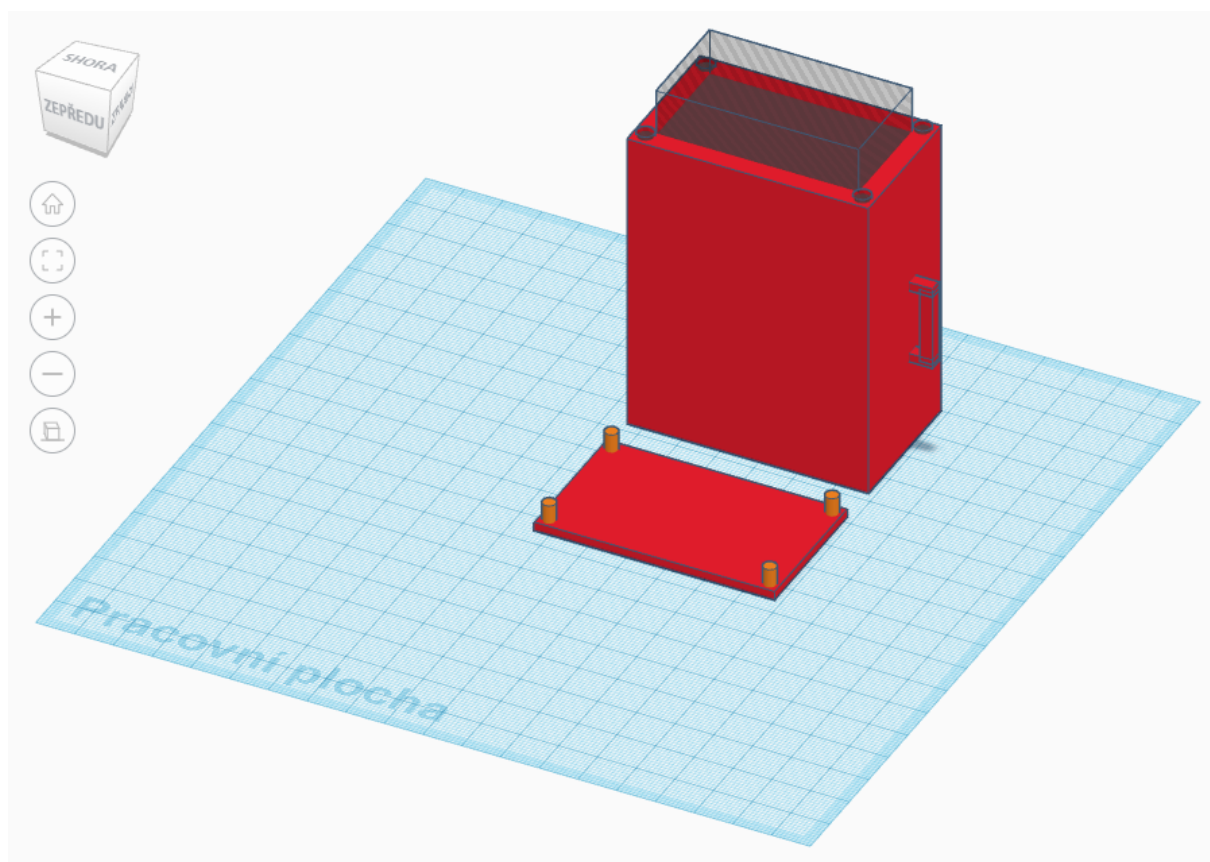
  Serial.println("Master spuštěn! IP adresa: " +
WiFi.softAPIP().toString());
}

void loop() {
  WiFiClient slave1Client = server1.available();
  WiFiClient slave2Client = server2.available();
  delay(10);
  if (slave1Client && slave1Client.connected()) {
    String slave1Data = slave1Client.readStringUntil('\n');
    Serial.println("Slave 1: " + slave1Data);
    digitalWrite(16, HIGH);
    digitalWrite(5, HIGH);
    counter1 = 0;
  }
  if (slave2Client && slave2Client.connected()) {
    String slave2Data = slave2Client.readStringUntil('\n');
    Serial.println("Slave 2: " + slave2Data);
    flashing = true;
    counter2 = 0;
  }
}
```

```
if (flashing) {
  if (counter2 % 2 == 0) { // Přepínání výstupů
    digitalWrite(16, HIGH);
    digitalWrite(5, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(16, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
  }
  delay(200);
  if (counter2 >= 2) {
    flashing = false;
    counter2 = 0;
  }
} else {
  if (counter1 >= 2 && counter2 >= 2) {
    // Pokud není aktivní blikání, resetujeme oba výstupy
    digitalWrite(16, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
  }
}
counter1++;
counter2++;
}
```

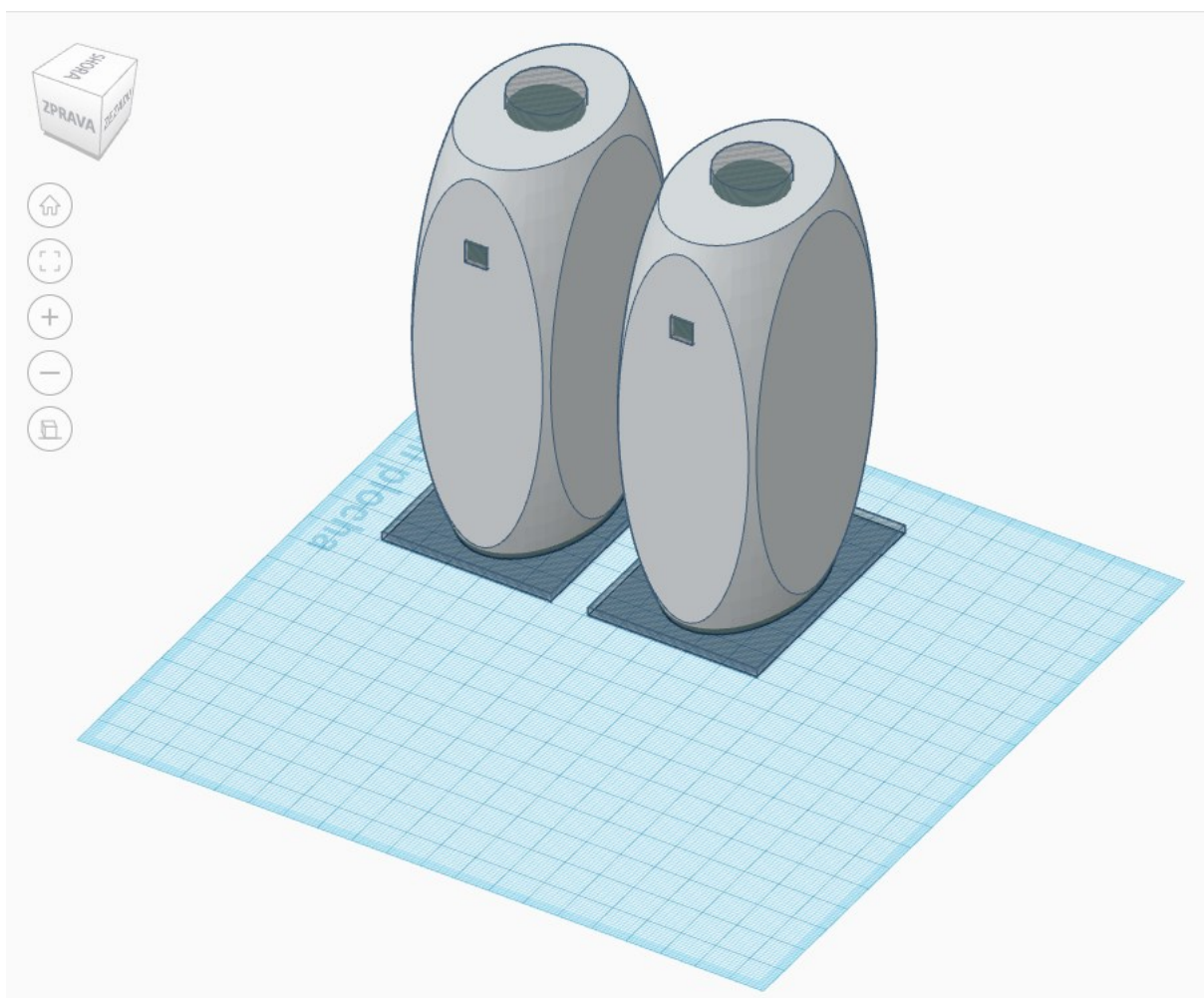
Zdrojový kód B.1: Kód pro master zařízení

Příloha C 3D model obalu pro master zařízení

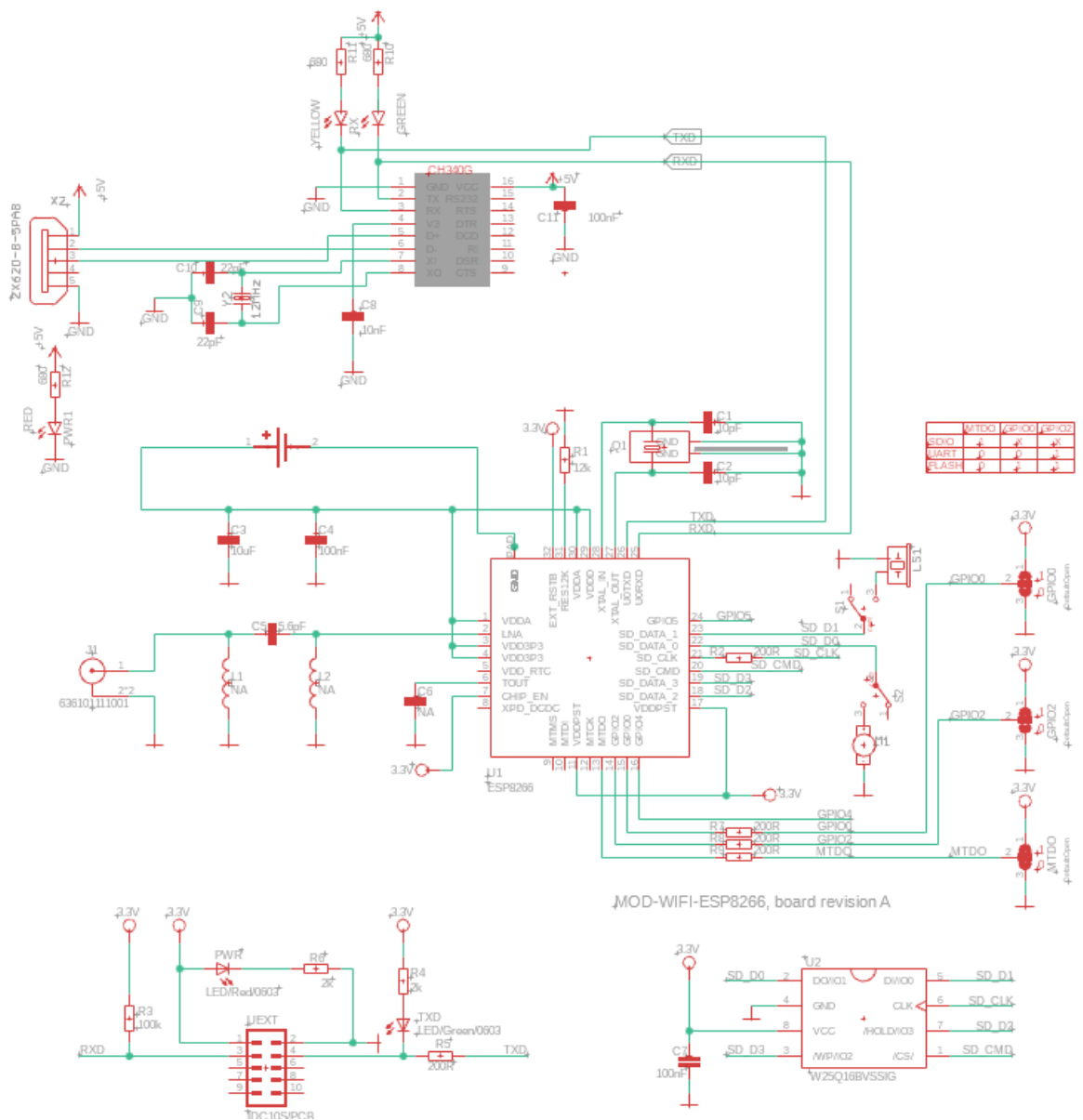


Obrázek C.1: 3D model master zařízení

Příloha D 3D model rukojeti pro slave zařízení



Obrázek D.1: 3D model slave zařízení (rukojet'



Obrázek F.4: Schéma zapojení pro DPS navržené pro slave zařízení