



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUTOMATICKÉ HERNÍ STANOVÍŠTĚ

XX

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Vavrinec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2023



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Tomáš Vavrinec

ID: 240893

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Automatické herní stanoviště

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci semestrálního projektu navrhněte automatické herní stanoviště pro outdoorové hry.

Stanoviště navrhněte tak, aby bylo schopné komunikovat na krátkou (jednotky metrů) i dlouhou vzdálenost s ostatními zařízeními které se hry zúčastní. Ovládání zařízení musí být použitelné ve venkovním prostředí s optickou i zvukovou zpětnou vazbou.

Termín zadání: 18.9.2023

Termín odevzdání: 15.12.2023

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout elektronické zařízení pro využití v outdoorových hrách. Primárně jde o návrh automatického herního stanoviště, ale došlo i k návrhu jednoduchého osobního zařízení. Tato práce se zabývá teoretickým návrhem elektroniky. Je kladen důraz na výběr vhodných systémů k aplikaci ve hrách a z nich vychází návrh elektroniky. Návrh je rozdělen do několika skupin, návrh osobního zařízení a návrh herního stanoviště, který se dále dělí na návrh jádra a jeho modulů.

KLÍČOVÁ SLOVA

mikrokontrolér, ESP32, ESP32-C3-MINI-1, ESP32-S3, ESP32-S3-WROOM, outdoorové hry, herní stanoviště, herní zařízení

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design an electronic device for use in outdoor games. Primarily the design of an automatic gaming station, but there has also been a design of a simple personal device. This thesis deals with the selection and rough design of the electronics. Emphasis is placed on the selection of appropriate systems for application in games and the design of electronics based on these. The design is divided into several groupings, the personal device design and the game station design which is further divided into the design of the core and its modules.

KEYWORDS

microcontroller, ESP32, ESP32-C3-MINI-1, ESP32-S3, ESP32-S3-WROOM, outdoor games, gaming stations, gaming facilities

VAVRINEC, Tomáš. *Automatické herní stanoviště*. Semestrální práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2023. Vedoucí práce: doc. Ing.. Pavel Šteffan, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Tomáš Vavrinec

VUT ID autora: 240893

Typ práce: Semestrální práce

Akademický rok: 2023/24

Téma závěrečné práce: Automatické herní stanoviště

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského 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, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu doc. Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

1 Důvody elektronizace zážitkových her	11
1.1 Hry	11
1.1.1 King of the Hill	11
1.1.2 Špiónské sítě	12
1.1.3 Než se čas naplní	13
1.1.4 Duchové	14
2 Požadavky na zařízení	15
2.1 Dynamická zařízení	15
2.2 Statická zařízení	15
2.3 Využití telefonu	17
2.4 Moduly	18
2.4.1 Modul dvířka	18
2.4.2 Zvukový modul	19
2.4.3 Komunikační modul	19
2.4.4 Výběr bezdrátové komunikace dlouhého dosahu	20
3 Návrh statického zařízení	21
3.1 Struktura elektroniky základní jednotky	23
3.1.1 LED deska	23
3.1.2 Hlavní deska	23
3.1.3 Výběr mikrokontroleru	25
3.1.4 Propojení hlavní desky a LED desky	26
3.1.5 Modulový konektor	27
3.1.6 Konektor programátor	28
3.1.7 USB-C	28
3.1.8 Konektor komunikačního modulu	28
3.1.9 Mechanické uspořádání	28
4 Návrh dynamického zařízení	29
4.1 Výběr součástek	29
4.2 Návrh schematu a DPS	30
4.3 Prototypy	30
4.4 Mechanické stavba	31
Závěr	35
4.5 Použité zdroje	36

Seznam symbolů a zkratek	41
A Některé příkazy balíčku <i>thesis</i>	42
A.1 Schémata a DPS Semisemaforu	42
B Druhá příloha	45

Seznam obrázků

2.1	Úvodní blokové schéma zařízení	16
2.2	Základní blokové schéma zařízení	17
2.3	Blokové schéma modulu dvířka	19
3.1	Návrh vzhledu zařízení	23
3.2	Dostupné vyhovující mikrokontrolery	25
3.3	Moduly s mikrokontrolery	26
4.1	Zarušená komunikace s ledkami	30
4.2	Vzhled Semisemaforu	31
4.3	Soustava modelů pro tisk	32
4.4	DPS Semisemaforu opatřena vložkou	33
4.5	Reálný kus Semisemaforu	34
4.6	Řez tlačítky	34
A.1	Původní DPS Semisemaforu	42
A.2	Původní schéma Semisemaforu	43
A.3	Výsledné schéma Semisemaforu	44

Úvod

Pravděpodobně si každý z nás dokáže vybavit nějakou hru, která se odehrává venku, někde v lese nebo na louce. Podobné hry bývají typické pro letní tábory nebo třeba skauty. Často se jedná o hru s jasnými pravidly na přesně vymezeném hřišti jako je třeba fotbal nebo možná hravější vlajkovaná, kde je cílem přenést vlajku soupeře na své území. Často jde ale o hry, které se odehrávají v širém okolí a průběh se neskládá z jen jednoho cíle, jako dát gól, ale spíš z řady samostatných úkolů, které na sebe navazují. Tyto hry také mívají méně či více výrazný příběh, který hráčům vysvětluje, proč právě dělají to co dělají a takové hry budu označovat jako outdoorové hry.

Outdoorové hry bývají často složeny ze stanovišť, na kterých mají hráči plnit různé úkoly. Aby bylo možné tyto úkoly zadat a vyhodnotit jejich výsledek, je většinou nutné, aby na stanovišti byl nějaký organizátor a stanoviště obsluhoval. Tyto úkoly jsou ale často poměrně prosté a není tak problém je automatizovat, což může organizátory uvolnit k jiné činnosti. Outdoorové hry by navíc znatelně oživila aktivní komunikace mezi stanovištěmi, která by mohla i vytvořit prostor pro nové herní mechaniky.

Řada outdoorových her využívá různá podomácku vyrobená zařízení, které někdo z organizátorů postavil za účelem konkrétní hry. Taková zařízení ale autora stojí velké množství času, protože jej musí celé od základu navrhnout, vyrobit a pak je jej schopen obsluhovat jen on. Navíc je pak takové zařízení typicky použito jen u jedné nebo dvou her, po kterých jej autor buď rozebere, nebo bezpečně uloží někam, kde si jej náhodou všimne o deset let později při úklidu. V neposlední řadě bývají jakýmsi zlatým hřebem celé akce např. týdenního tábora a jejich kouzlo je především v odlišnosti od zbytku akce.

Z těchto důvodů padlo rozhodnutí na vývoj univerzálního automatického herního stanoviště, které by se dalo opakováně použít na různé hry i ve větším počtu. Podstatnou součástí je pochopitelně i pokud možno co nejintuitivnější ovládání, aby uživatele nezdržovalo od zábavy.

1 Důvody elektronizace zážitkových her

Outdoorové hry mají často příběh, který se dá vyprávět konkrétními úkoly na stanovištích. Na některých stanovištích proto musí být lidská obsluha, na jiných ale může být lidská obsluha z příběhového pohledu nežádoucí. Když má hráč například vyřadit automatický bezpečnostní systém je lidská obsluha stanoviště poslední možnost. Podobná stanoviště proto bývají realizovány pomocí různých papírků a provázků. To určitě má své kouzlo, ale i tak je u podobného stanoviště vhodné mít obsluhu. Elektronické řešení podobných stanovišť by ale mohlo otevřít úplně nový svět možností.

Abych mohl vytvořit univerzální automatické herní stanoviště, je potřeba si nejprve ujasnit, jaké vlastnosti by takové zařízení mělo mít. Za tímto účelem popíší několik her, které jsou většinou navrženy bez použití elektroniky a zkusím domyslet, jak by se tyto hry mohly použitím elektroniky změnit.

1.1 Hry

1.1.1 King of the Hill

Tato hra je převzata z portálu hranostaj.cz [1].

Nejlépe se hraje se dvěma týmy, může se ale hrát i s více. Uprostřed hracího pole je kruh, ideálně na vyvýšeném místě, o který se bude bojovat. Oba týmy mají svou základnu, ze které na počátku hry vyráží. Základny jsou na opačných stranách kruhu a zhruba stejně vzdáleny. Bojuje se šiškami nebo koulemi. Když je někdo vybit, jde zpátky k základně, aby se oživil. V základnách jsou všichni nesmrtelní a ti kdo do ní nepatří, do ní nevstupují. Hraje se většinou na 3 kola. V jednom kole zazní 3 signály.

1. týmy se rozeběhnou k prostřednímu kruhu.
2. kruh je dostupný k obsazení. (asi půl minuty po signálu 1)
3. konec kola, hráči se vrátí na základnu. (týmy si můžou základny proměňovat, aby to bylo víc fér)

Prostřední kruh se obsadí tak, že je v něm pouze jeden tým, nebo alespoň jeden z týmu. Potom z něj můžou odejít, ale riskují tak, že ho obsadí někdo jiný. Všichni můžou vstupovat do kruhu. U prostředního kruhu je vedoucí, který má několik stopek. Měří všem týmům kolik času strávili v kruhu. Konec kola je tehdy, když stráví jeden tým v kruhu daný čas (obvykle 10-20 minut). Kdo vyhraje kolo dvakrát nebo třikrát (podle toho kolik je týmů a jak má hra být dlouhá), vyhrává.

V této hře by se elektronika dala vhodně využít na měření času, který měl každý tým nadvládu nad územím. Zároveň by se zjednodušilo vyhodnocení hry, protože

by se všechny časy jednoduše vyhodnotily automaticky. I časování jednotlivých kol by se tak dalo jednoduše automatizovat. Hra by se také dala rozšířit o další herní prvky, například o možnost získat nějaké bonusy, když tým obsadí území v určitém čase. Také by mohly přibýt další obsuditelná území, aby týmy musely bojovat na více frontách a pro výhru by musely zabrat více území naráz.

1.1.2 Špiónské sítě

Tato hra je převzata z portálu hranostaj.cz [2] a je určena k hraní na pozadí jiné akce, typicky letního tábora.

Každý správný filmový špión, který má navázat kontakt s neznámým kolegou, mu musí nejprve nonšalatně položit nenápadnou otázku "Máme to ale chladný večer, že?" a teprve pokud mu neznámý kolega odpoví správnou odpovědí "Ano, v Paříži je v této roční době nezvykle chladno.", tak bude vědět, že mu může plně důvěřovat. Hráči se tedy podobně jako špion ocitnou v nebezpečné době, plné agentů a tajných organizací a oni musí rozklíčovat, kdo je s nimi a kdo proti nim. Hraje se delší dobu, kdy hra probíhá "na pozadí". Podle počtu hráčů nebo příběhu se určí kolik bude tajných organizací. Každá organizace má jednu kódovou otázku s navazující odpovědí. Jednotlivé otázky spolu s odpověďmi se napíší na lístečky a ty se náhodně rozdají hráčům tak, aby tajné organizace měli přibližně stejný počet členů (vždy alespoň 2).

Otázky a odpovědi mohou být

- Co jsi včera dělal?
- Jezdil jsem na kole, ale rozbila se mi přehazovačka.
- Dneska je docela teplo, co?
- To jo, jestli to takhle půjde dál, tak nám vyschne studna.
- Jdeš příští týden na výpravu?
- Bohužel ne, musím být doma a učit se zlomky.

Z logiky věci musí být otázka nenápadná, tak aby případný dotázaný špión z jiné organizace nepojal podezření. Pokud bude mít podezření, může dotyčného (nenápadně) nahlásit vedoucímu hry i spolu s podezřelou otázkou, a pokud uhodne, dostane plusový bod. Odpověď by také měla být nenápadná, ale dosti specifická, aby ji špión z jiné organizace omylem neodpověděl. Cílem je ptát se lidí nenápadně a při nalezení spoluagenta z organizace postupovat dále systematicky a neptat se zbytečně stejněho člověka dvakrát na stejnou otázku. Hra končí po časovém limitu, nebo pokud každá organizace najde své členy. Na konci se sečtou body za každý navázaný kontakt a body za každého správně nahlášeného podezřelého agenta. Hru může hrát i jen několik agentů, kteří se musí najít v "davu civilistů", kteří hru nehrají.

V této hře by se elektronika dala využít např. na úschovu a předávání důležitého předmětu, třeba klíče nebo tajných fotografií. Každý hráč by tak dostal předmět, který by musel předat někomu jinému. Za tímto účelem by každý hráč měl svoji zamykacelnou příhrádku, která by se dala otevřít jen po zadání hráčem nastaveného hesla. Protože jsou ale všichni špioni a navzájem se neznají, hráč přímo neví komu má předmět předat. Má pouze jeho popis a musí tedy zjistit kdo to je. Body by pak šlo získat dvěma způsoby, úspěšným předáním objektu a odcizením cizího objektu. Hráči tedy mají motivaci tvářit se jako osoba, které má jiný hráč předat svůj objekt, aby se tak dozvěděli heslo k jeho příhrádkce a mohli mu jeho předmět odcizit. Je faktum, že po úspěšném předání zůstává příhrádkce stejné heslo jako předtím, pokud jej tedy dotyčný sám nezmění. Pokud tak neučiní, riskuje, že mu jeho předchozí kolega předmět odcizí, protože už toto heslo zná.

1.1.3 Než se čas naplní

Tato hra je převzata z portálu hranostaj.cz [3].

Legenda

Blíží se vteřina zkázy, teroristé schovali bombu a teď se jen třesou nedočkáním, až tlaková vlna smete z povrchu zemského nenáviděnou lokaci. Tuto škodolibou radost jim poněkud překazily mírové jednotky OSN odhodlané výbuchu zamezit. Jak to dopadne? Vše je v rukách hráčů.

Příprava

Poté, co skupinka vedoucích připraví a následně do herního pole (velkého klidně přes celou obec) rozmístí tři papíry s šiframi a jeden s nápisem "BOMBA" (který je o to zajímavější, že na něj jsou přicvaknuté tři gumičky), nastane chvíle zasvěcení hráčů do legendy a pravidel hry. Aby věděli, na které straně stojí, vylosují si svou roli - totiž: voják, pyrotechnik (ti jediní své role odhalí) a terorista.

Doporučený počet postav:

3 pyrotechnyci

4 a víc vojáků

počet teroristů cca polovina počtu vojáků

Hra

Ve stejném okamžiku, kdy začíná hra, spouští se budík odpočítávající hodinu zbývající do výbuchu bomby. V této době musí vojáci nalézt papír s nápisem "BOMBA" a sehnat pyrotechniky na její deaktivaci. Stačí když každý pyrotechnik roztrhne jednu z přicvaknutých gumiček, což výbušninu zneškodní. Jediný pyrotechnik smí s bombou manipulovat, nehrozí tedy, že by ji teroristé přenášeli z místa na místo. Jelikož je herní pole rozlehlé, nabízí se zde berličky pro hledající a to v podobě stop, neboli

šifer. Když vojáci dešifrují zprávu, dozví se něco víc o místě, kde bombu hledat. V tom tkví také první příležitost pro teroristy. Vytvářením falešných šifer se dají hledači solidně zmást. Avšak hlavním posláním teroristů není ani tak mystifikace jako eliminace. Stačí, aby se některý octnul s vojákem, ba co hůř s pyrotechnikem, o samotě a odhalením své role může ukončit účast dotyčného na hře. Důležitá je však ta samota, je-li na dohled jakýkoliv neterorista, vražda neplatí a vyřazení ze hry postihne útočníka. Pokud se mírové misi podaří bombu do hodiny zneškodnit, vítězí. Jsou-li však hledači příliš pomalí, nebo je zabit pyrotechnik, vítězí teroristé.

V této hře by se elektronika dala využít na měření času, který zbývá do výbuchu bomby a identifikaci jednotlivých povolání. Úspěšným vyluštěním jedné z šifer by tak hráči mohli získat nějaký předmět, který by jim poskytl výhodu a to třeba částečně i bez jejich vědomí. Teroristi by tak mohli získat třeba zbraň, co by jim umožnila zabít víc jak jednoho člověka naráz a vojáci naopak dejme tomu neprůstřelnou vestu, která by je mohla ochránit před utokem teroristy. Při deaktivaci bomby by také mohlo být se správným vybavením možné, aby pyrotechnik na dálku naváděl vojáka při zneškodňování bomby.

1.1.4 Duchové

Tato hra počítá už v základu s elektronikou a je na ní založena.

Ve hře jsou tři typy zařízení, nabíječka, artefakt a lucernička. Hráči mají za úkol nabít pět artefaktů na určených místech. K tomu jim slouží lucernička, kterou má každý hráč svoji a nosí ji s sebou, dále nabíječka, která je společná pro všechny a během hry se nepohybuje. Každá lucerna je schopna uchovat až desetinu energie k nabítí artefaktu. Na nabítí artefaktu je tak třeba více nabitych lucerniček. Lucernička se nabíjí přiblížením k nabíječce a stiskem tlačítka, stejně tak se nabíjí i artefakt z lucerničky. Jak lucernička tak artefakt se časem sama lehce vybíjí a když hráč stiskne tlačítko ve chvíli, kdy není v dosahu artefaktu ani nabíječky, vybije se dvakrát rychleji. Při stisku tlačítka se ale také lucernička rozsvítí, svítí tak hráči na cestu a odpuzuje duchy. Když se duch dotkne hráče, hráč na pět minut vypadává ze hry. Hlavní nebezpečí duchů ale spočívá v tom, že mohou vybíjet artefakty i lucerničky a to velmi rychle. Hráči si tedy musí dát pozor, aby jim duchové nevybili artefakt během jejich cesty k nabíječce a zpět.

V případě, že by duchy hrál druhý tým hráčů a ne organizátoři, měli by mít nějaký regulační mechanizmus. Například by potřebovali ke své činnosti jiný druh energie, který by při své činnosti spotřebovali. Zároveň by ztráceli energii, když na ně protihráč posvítí, aby měli důvod se tomu vyhýbat.

Tuto hru je vhodné hrát v co největší tmě, aby hráči potřebovali světlo svých lucerniček. Za světla to nebude mít tu správnou atmosféru.

2 Požadavky na zařízení

Z potřeb popsaných her vyplývají požadavky na zařízení. Tato zařízení lze rozdělit na statická a dynamická, podle toho, zda je má hráč nosit všude s sebou nebo s nimi jen interaguje na nehybném stanovišti. V obou dvou případech je vhodné mít co možná nejjednodušší metodu vytváření her. Není tedy vhodné program pro každou hru psát v samostatném projektu v jazyce C. Proto je potřeba mít nějakou metodu, která umožní vytvářet hry v nějakém jednodušším jazyce např. v Pythonu a nebo JavaScriptu.

2.1 Dynamická zařízení

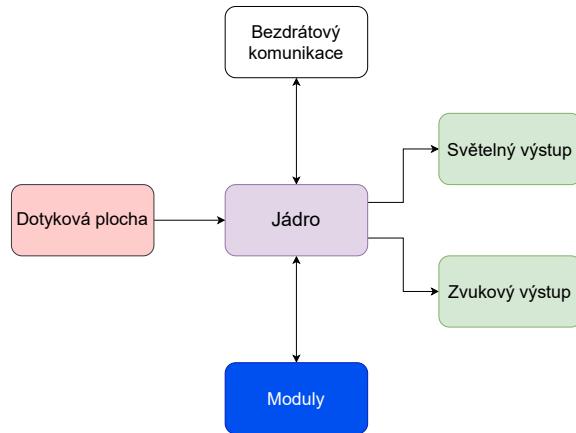
Dynamická zařízení jsou ta, která má hráč nosit s sebou. Tato zařízení by tedy měla být co nejmenší a nejlehčí, aby hráči nepřekáželo při pohybu. Zároveň by měla být co nejlevnější, aby se dalo nasadit v dostatečném množství. Potřebuje také světelný výstup pro zobrazování herních stavů a jednoduchý vstup pro ovládání.

2.2 Statická zařízení

Statická zařízení jsou ta, u nichž nepředpokládám, že je bude hráč nosit s sebou. To ovšem neznamená, že mohou být libovolně velká a těžká, pořád je potřeba, aby bylo snadné je přesunout z místa na místo. Stejně jako dynamická zařízení potřebují světelný výstup, aby bylo možno signalizovat herní stav a reagovat na hráče. Také je potřeba vstup, na což většinou stačí obyčejná tlačítka. Problém je ale určit jaké a kolik jich bude potřeba. Některé hry vyžadují třeba jen jedno, ale takové, aby se do něj dalo co nejpohodlněji praštit v běhu, protože je zrovna cílem ke stanovišti co nejrychleji doběhnout jako u třeba u hry King of the hill viz: 1.1.1. Jiná hra může vyžadovat tlačítek víc, ale už není potřeba, aby byly tak velké, protože hráč při jejich používání nebude tak akční, ale bude třeba zadávat heslo, jako u hry Špionská síť viz: 1.1.2. Univerzálnější je tedy nepoužívat tlačítka, ale nějaký systém, který se dá softwarově přizpůsobit. Příkladem může být dotyková plocha, která se dá softwarově rozdělit na různé oblasti sloužící jako tlačítka a i během hry se tak dá počít tlačítka měnit. Další důležitou vlastností je možnost komunikace s ostatními zařízeními, která do hry přináší novou možnost jak stanoviště propojit a také pohodlnou metodu jak stanoviště nastavit přes telefon. V neposlední řadě je vhodné mít zvukový výstup, který může být použit např. jako potvrzení zadaného hesla, nebo odezva na prostý klik na dotykovou plochu.

Aby ale bylo možné zařízení použít v různých hrách, je potřeba aby bylo možné ho přizpůsobit konkrétním potřebám. Z toho důvodu považuji za vhodné k základnímu

zařízení moci připojit modul pro konkrétní herní mechaniky. Z toho tedy plyně diagram 2.1.



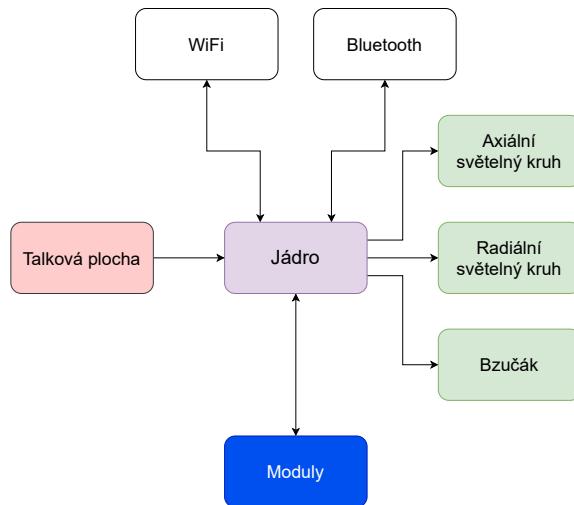
Obr. 2.1: Úvodní blokové schéma zařízení

Co se světelného výstupu týče, na signalizaci různých stavů je vhodné používat různé barvy světel. Jak je vysvětleno v následující části 2.3, není potřebné suplovat grafický display, za tímto účelem se dá použít propojení s telefonem. Informace, kterou zařízení bude často poskytovat, je čas a směr, např. čas do konce kola nebo směr k dalšímu úkolu. Podobné informace se dají elegantně zobrazit na kruhu. Je vhodné zobrazování rozdělit na dva režimy, čtení na dálku a čtení na blízko. Pro čtení na blízko je cílem přímá interakce se zařízením, např. u zadávání hesla. Čtení na dálku je naopak určeno pro předávání informací hráči, když právě přímo neinteraguje se stanovištěm, např. který tým má zrovna povolený přístup do zařízení. Proto je vhodné mít kruhů více, aby bylo možné zobrazovat tyto informace na různých kruzích, které mohou navíc být svému účelu přizpůsobeny. Jeden kruh tak může svítit jen jedním směrem, aby ho hráč viděl celý najednou pro blízkou interakci, zatímco druhý kruh může svítit do všech stran, aby byl vidět z co nejvíce míst.

Potřeba propojení s telefonem nám omezuje možnosti co se týče typu bezdrátové komunikace, protože telefony jsou většinou vybaveny Bluetooth a WiFi. Také se v telefonech rozšiřuje NFC, to je však pro tuto aplikaci z důvodu krátkého dosahu nevhodné.

Posledním systémem, který je třeba zmínit, je zvukový výstup. Protože většinou stačí jen jednoduchá zvuková odezva, není potřeba plnohodnotný zvukový systém. Pro hry, které budou potřebovat přehrávat libovolnou nahrávku, může být použit samostatný zvukový modul, případně je možnost nahrávku přehrát přes uživatelův telefon. V základním zařízení je proto potřeba jen jednoduchý bzučák, například

jako odezva na kliknutí. Můžeme tedy diagram upravit na 2.2.



Obr. 2.2: Základní blokové schéma zařízení

Celé zařízení by také mělo být alespoň částečně voděodolné, aby se dalo použít třeba i za deště.

2.3 Využití telefonu

Podstatný fakt je, že prakticky všichni u sebe dnes mají chytrý telefon, čehož mohu využít. Nemá proto velký význam, aby statické nebo dynamické zařízení suplovalo funkce telefonu. Např. grafický výstup typu display proto v podobném zařízení není potřeba, a v tomto směru už odvádí telefon naprostě dostatečnou práci. Pokud by tedy v rámci hry bylo potřeba například předat hráči text nebo obrázek, může jej zařízení poslat uživateli na telefon. Telefon by se tedy dal zařadit mezi dynamická zařízení. Možnost propojení s telefonem je také velmi významná při nastavování hry. Díky telefonu totiž zařízení nepotřebuje uživatelské rozhraní přizpůsobené k nastavování, ale prostě se vše nastaví z telefonu.

Někdy by se mohlo zdát, že herní stanoviště vlastně ani není potřeba a stačila by mobilní aplikace. Ale přestože je mobil ve hrách dobře využitelný, jsou aplikace, na které jednoduše vhodný není. Pokud má hráč například ze stanoviště získat fyzický objekt, mobil neposlouží. Pro hráče ani organizátory také nemusí být zrovna komfortní před hrou zařizovat, aby měli všichni nainstalovaný správný software. V neposlední řadě jde také o jistý "cool efekt", který běžné zařízení jako mobil nebo třeba tablet neposkytne.

2.4 Moduly

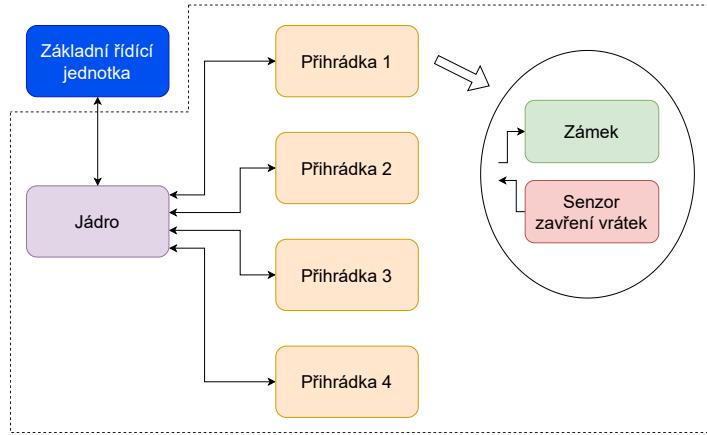
Základní řídící jednotka je tedy schopná poskytnout základní funkce, které jsou potřeba pro většinu her. Některé hry ale mohou vyžadovat nějakou specifickou funkci, kterou základní zařízení nedokáže poskytnout. Proto je vhodné, aby bylo možné k základnímu zařízení připojit externí moduly, bez kterých by se konkrétní hry neobešly.

2.4.1 Modul dvířka

Asi nejzákladnější modul jsou dvířka. Dvířka přidávají uzamykatelné přihrádky. Do stanoviště se tak dá uzamknout předmět potřebný ke splnění úkolu, který hráči získají například po zadání hesla nebo vyřešení zadaného úkolu. Přihrádky pak mohou sloužit pro více týmů nebo třeba uchovávat více objektů do různých částí hry.

Pro jednoduchost jsou dvířka zamykána magneticky. Vrátka jsou uchycena na kloubu ve své horní části a v dolní části se nachází magnet. Pod dnem přihrádky se pak nachází servomotor vybavený druhým magnetem, který tak může dvířka přitáhnout nebo odpudit. Toto řešení neposkytuje bezpečné uzamčení přihrádky, vrátka se dají vypáčit někdy i nehtem, ale pro účely her je to dostačující řešení. Aby bylo možné ověřit, zda se vrátka dovřela, je vedle serva i spínač, který se sepne při dovršení vrátek. Z tohoto řešení vyplynula další možnost jak modul dvírek využít. Vrátka se při odemčení pootevřou, a protože jsou v tu chvíli jen odpuzována magnetem, je možné je stlačit zpět a sepnout tak spínač. Tento fakt se ukázal být užitečný, protože tak vznikla velká pohodlná tlačítka. Struktura tohoto modulu je vidět na diagramu 2.3 ve verzi se čtyřmi přihrádkami.

Jednoduchá hra, která vyžaduje modul dvířka, je např. hra Maják. V této hře jsou hráči rozděleni do týmů a každý tým má svou barvu, od které je odvozena konkrétní přihrádka. Týmy mají za úkol získat co nejvíce sad kartiček. Na hřišti je několik automatických stanovišť s modulem dvířka a v každém z nich je nějaký typ kartičky. Každé stanoviště během hry umožňuje přístup vždy právě jednomu z týmů, který v pravidelném intervalu mění, a čas do změny reprezentuje na jednom z kruhů. Při startu hry si každé stanoviště náhodně vybere tým, kterým začne, a následně se už drží konstantního pořadí. Když někdo dorazí ke stanovišti ve chvíli, kdy je stanoviště zpřístupněné jeho týmu, a klepne na tlakovou plochu, stanoviště mu vydá kartičku. Stanoviště se týmu zpřístupní jen v čase daného týmu a navíc jen jednou za kolo. Hráčům cíleně není představen celý mechanizmus výdeje kartiček, je jim řečeno jen, že se přihrádka otevří klepnutím do tlakové plochy a že je zajímají jen kartičky jejich barvy. Tým tedy musí spolupracovat nejprve na odhalení mechanizmu



Obr. 2.3: Blokové schéma modulu dvířka

a následně myslit jak zvítězit.

Podobná hra se buď dá hrát samostatně nebo může jít například jen o metodu, jak získávat suroviny v nějaké komplexnější hře.

2.4.2 Zvukový modul

Další plánovaný modul, který se dá připojit, je zvukový modul. Hra, která vyžaduje zvukový modul, je například hra s názvem Ticho. Tato hra vyžaduje zároveň i modul dvířka. V této hře stanoviště sleduje intenzitu zvuku v okolí a v momentě, kdy hluk klesne pod stanovenou úroveň, stanoviště otevře dvířka. Stanoviště je hráčům představeno jako "magická krabička" za čárou, ke které se nesmí proplížit, ale můžou ji ovlivnit z dálky. Úkolem hráčů tak je přijít na to, jak krabička funguje a jak ji přesvědčí, aby se otevřela.

V rámci zvukového modulu je i možnost nahrávku přehrát. Tato část zvukového modulu umožnuje intenzivnější vtažení hráče do hry s příběhem. Může jít například o únikovou hru, při které se hráč ocitne v oblasti neznámého bludiště a jeho úkolem je najít cestu ven. Při hledání může narazit na různá stanoviště, která mu nejprve přehrají nějakou část příběhu a následně mu dají úkol nebo radu jak postupovat dál.

2.4.3 Komunikační modul

Podstatným modulem je také komunikační modul, který umožnuje připojení k mobilní síti a tím i komunikaci s ostatními zařízeními na velkou vzdálenost. Tento modul je potřebný například pro hru Boj o kopce.

V této hře se na hřišti o velké rozloze nachází několik automatických stanovišť. Hráči jsou rozděleni do týmů a každý tým má svou barvu a své tlačítka na stanovišti označené barvou týmu. V hře je hlavním cílem získávat body pro svůj tým ovládnutím a udržením stanovišť na rozsáhlém hřišti. Axiální světelný kruh zobrazuje rozdělení tlakové plochy na jednotlivá tlačítka týmů podle jejich barvy. Zabrání stanoviště pak mohou hráči provést stiskem příslušného tlačítka. Získávání bodů se odehrává dvěma způsoby, ovládnutím stanovišť a následným držením stanovišť pod kontrolou. Týmy mohou přebírat stanoviště od soupeřů, což přidává hře strategický rozměr. Výhodou je kontrolovat více stanovišť najednou, což umožňuje rychlejší získávání bodů a zvyšuje šanci na vítězství. Komunikační modul je tu potřebný pro vyhodnocování hry. Stanoviště totiž musí být schopné komunikovat s centrálním serverem, který vyhodnocuje hru a zobrazuje její průběh. Tato hra je původně navržena pro airsoftové hráče na hřišti v Mokrá-Horákov o rozloze 6.7[ha] [4]. V takovém prostředí tedy komunikace pomocí WiFi či Bluetooth nedostačuje, protože stanoviště mohou být i několik set metrů od sebe.

2.4.4 Výběr bezdrátové komunikace dlouhého dosahu

Pro komunikaci na vzdálenosti v řádu jednotek kilometrů se nabízí asi jen dvě základní možnosti, LoRa a mobilní síť. Ještě počátkem roku 2023 by byla i třetí možnost, Sigfox, ale jeho síť byla v ČR vypnuta [5].

LoRa je technologie určená pro komunikaci na dlouhé vzdálenosti s malou spotřebou a datovou propustností. Pracuje v bezlicenčním pásmu a není tedy třeba platit za provoz. Její dosah je i v zastavěné oblasti v řádu kilometrů [6], a za ideálních podmínek na přímou viditelnost i přes sto kilometrů [7]. Nevýhoda LoRy je ale malá datová propustnost ještě snížená omezením času provozu na 1%[7].

Mobilní síť má v porovnání s LoRou výrazně větší datovou propustnost, ale na druhou stranu je třeba platit za provoz a je méně energeticky úsporná. Například NB-IoT je energeticky asi o třetinu náročnější než LoRa. Přesto je dostatečně úsporná, aby bylo zařízení, které tuto technologii využívá, schopno běžet na baterii přes deset let [8]. Energetická náročnost tedy není problém a vyšší datová propustnost společně s připojením na internet je významnější výhoda než bezplatný provoz u LoRy. Další výhodou LoRy by mohla být nezávislost na pokrytí mobilních sítí, ale vzhledem k tomu, že pokrytí NB-IoT sítě je v ČR údajně 100%[9], není tento fakt důležitý.

3 Návrh statického zařízení

Uživatelským požadavkem je statické zařízení sloužící jako herní stanoviště. Vyžaduje tedy mobilitu jen v rámci transportu na místo hry a zpět, nikoliv v rámci samotné hry. Z toho plynou požadavky na velikost výsledného zařízení.

Zařízení bude mít dva světelné kruhy složené z 60 inteligentních RGB LED. Číslo 60 jsem zvolil, protože se jedná o dostatečně jemné dělení, aby se daly dělat plynulé efekty. Zároveň jde o číslo, které koresponduje s hodinovým ciferníkem a stupnicí na kompasu. Jeden z kruhů bude radiální a druhý axiální. Axiální je na horní straně zařízení a slouží primárně jako odezva pro hráče na malou vzdálenost, např. při zadávání hesla. Radiální kruh je pak také v horní části zařízení a slouží naopak pro signalizaci na delší vzdálenost, takový maják.

Uvnitř axiálního světelného kruhu se bude nacházet tzv. tlaková plocha. Jedná se o ovládací prvek podobný dotykové ploše, s tím rozdílem, že je schopen měřit i sílu, která na něj působí. Tento prvek je založen na měření rezonanční frekvence snímacích LC článků, nad kterými se nachází tlaková plocha. Tlaková plocha je vodivý objekt, ve kterém se cívkou LC článku indukují vířivé proudy a následně se jimi indukují proudy zpět v cívce LC článku. Tím plocha ovlivňuje indukčnost cívky a tedy i rezonanční frekvenci LC článku. Ovlivnění indukčnosti je závislé na vzdálenosti plochy od cívky a tedy i na síle, která na plochu působí. Velikost síly, která na plochu působí, totiž ovlivňuje její průhyb a tedy i vzdálenost od cívky. Díky velkému rozlišení použitého čipu LDC1614 [10] (28 bitů) je možné měřit změny vzdálenosti v řádu jednotek mikrometrů [11]. Tato metoda je tedy schopna měřit vzdálenost plochy od jednotlivých cívek, které jsou čtyři, a plochu tak snímají na čtyřech místech. Následně je z těchto hodnot možno dopočítat, jak je plocha nakloněna a tím určit, kde se jí uživatel dotýká.

Aby bylo stanoviště reálně použitelné při hře, musí celou hru vydržet na baterii. Není ojedinělé, aby měla outdoorová hra čtyři až pět hodin bez přestávky. Plus je nutná časová rezerva a čas na nastavování. Čas, který zařízení zvládne běžet z baterie, silně závisí na činnosti, ale nebylo by zrovna ideální, kdyby byla baterka, výrazně omezujícím faktorem. Výdrž na jedno nabítí by tedy měla být alespoň pět hodin.

Vzhledem k plánu připojovat moduly je nutné navrhnout mechanizmus připojení. Bylo by ideální, kdyby si mohl uživatel říct co bude hrát za hru a podle toho si sám připojil moduly, které potřebuje. Tomuto určitě nechci bránit, ale přímo to podporovat nese řadu problémů, jak ze strany konektoru a mechaniky, tak ze strany softwaru. Konektor by totiž musel být ideálně beznástrojově rozpojitelný a opětovně spojitelný a přitom dostatečně pevný, aby se zařízení mechanicky chovalo jako jeden celek. Takový konektor je ale poměrně složité udělat, tak aby byl spolehlivý, a tak jde

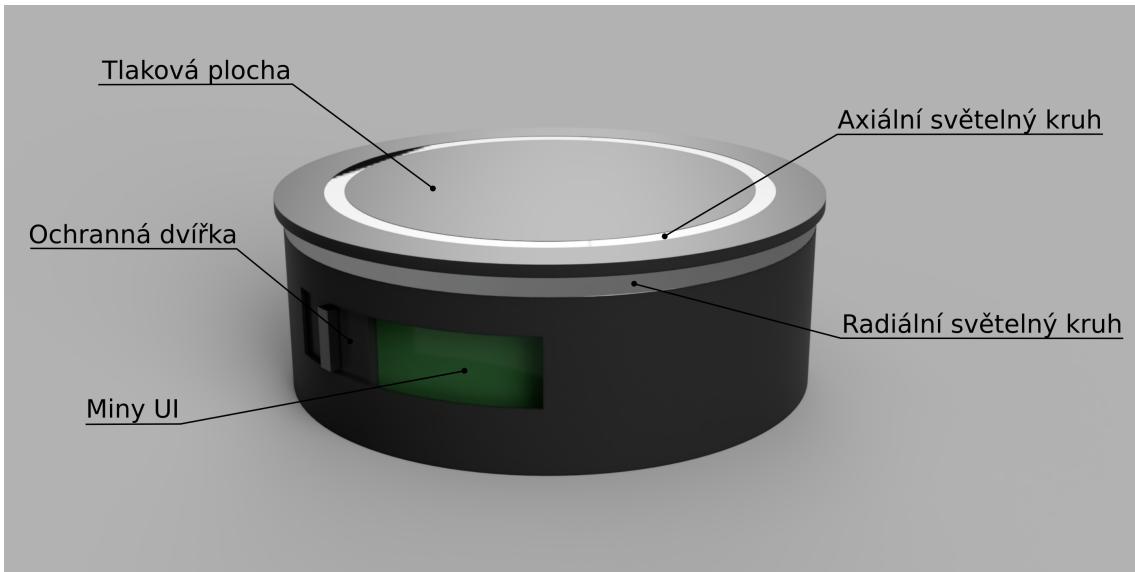
v tuto chvíli jen o možnost dalšího vývoje. Ze softwarového pohledu jde pak o problém jak detektovat konkrétní modul a hlavně o otázku jak se chovat k modulům, které jsou potenciálně záměnné. Dejme tomu, že máme modul klávesnici a modul dvířka. Dvířka jsou původně navržena primárně jako úložný prostor, díky detekci zavření je lze ale použít i jako velmi pohodlná tlačítka a v některých hrách se proto používají jen jako tlačítka. Potenciální modul klávesnice je ovšem jen suma tlačítek. Při vytváření konkrétní hry na míru modulům, které herní návrhář má zrovna k dispozici, je tento problém nepodstatný, protože sám návrhář rozhodne, co má jak být. Ale ve chvíli, kdy jde o hru navrženou pro jinou kombinaci modulů, nastává problém jak rozhodnout, zda se dají dvířka použít místo klávesnice nebo ne. Abych se všem těmto problémům alespoň prozatím vyhnul, rozhodl jsme se, že doplnění či výměna modulu, půjde jen při servisním zásahu. Problém záměny modulů pak budu řešit tím, že každá hra bude vytvořena jen pro konkrétní sadu modulů.

Některé hry vyžadují tak velké herní území, že by na komunikaci mezi stanovištěmi už nestačila WiFi ani Bluetooth, které AHS jinak využívá ke komunikaci (viz: 2.4.4). Proto bude mít AHS možnost připojení k mobilní síti a tedy připojení k internetu (výběr viz: 2.4.4). Tím se rozšíří dosah AHS všude, kde je mobilní pokrytí a také přibude další metoda jak se stanovištěm komunikovat. V rámci tohoto komunikačního modulu bude možné používat navíc i GNSS¹. Vzhledem k faktu, že se přece jen nejedná o systém, který by využila většina her a zároveň je poměrně drahy, došel jsem k rozhodnutí mít jej jen jako doplnitelný modul. Protože se ale jedná o modul, který zprostředkovává komunikaci se světem, je pravděpodobné, že bude potřebovat převádět výrazně větší množství dat než běžný modul. Primárně z tohoto důvodu je tento modul připojen na samostatném konektoru, přímo uvnitř základního zařízení. Potřebné antény mohou být už v základním zařízení, ale samotný modul spadá do doplňkové výbavy.

V řadě případů je užitečné mít možnost zvukové zpětné vazby. Ideální by bylo moci přehrát libovolnou nahrávku, většinou ale stačí jednoduchý tón, řekněme jako potvrzení zadaného hesla. Možnost přehrát plnohodnotnou nahrávku proto odsouvám na samostatný modul a v základní jednotce pro jednoduchost postačí piezoměnič nebo podobná sirénka.

Z požadavků mi vyplynulo zařízení, jehož vzhled je nastíněn na obrázku 3.1.

¹Global Navigation Satellite System



Obr. 3.1: Návrh vzhledu zařízení

3.1 Struktura elektroniky základní jednotky

Elektronika je rozdělena na dvě samostatné PCB. Jde o hlavní desku, na které je většina elektroniky a o desku s hlavním uživatelským rozhraním (LED deska).

Původně jsem uvažoval ještě třetí desku, se základním uživatelským rozhraním (mini UI) pro usnadnění zajištění jisté míry voděodolnosti, ale nakonec jsem se rozhodl spojit ji s hlavní deskou.

3.1.1 LED deska

Na LED desce se nacházejí oba světelné kruhy a elektronika pro snímání tlakové plochy, tedy LDC1614 [10] a jeho snímací LC články. Právě snímaní tlakové plochy je jeden z hlavních důvodů oddělení této elektroniky na samostatnou desku, zabere totiž docela dost prostoru.

- Axiální LED kruh z 60 RGB LED WS2812
- Radiální LED kruh z 60 RGB LED WS2812
- LDC1614 nebo LDC1314 se čtyřmi snímacími LC články pro snímání tlakové plochy
- konektor na propojení s hlavní deskou

3.1.2 Hlavní deska

Na hlavní desce je většina systému základního zařízení.

Řídící mikrokontroler AHS je ESP32-S3 (výběr viz 3.1.3).

Zdroj AHS je tvořen dvěma LiIon články 18650 v paralelním uspořádání. Paralelní uspořádání jsem zvolil tak, aby nebylo nutné řešit balancování článků.

Aby nebylo možné softwarově baterii podvybit, má AHS ochranu podvybitím, která celé zařízení vypne v případě, že dojde k vybití baterie pod 2.8V. Pochopitelně software by měl vybitou baterii zaznamenat mnohem dřív a chovat se podle toho, např. neumožnit spustit hru s baterií při napětí 3.0V.

Na hlavní desce je i nabíjecí elektronika. Navíc, aby se minimalizoval čas nabíjení, zařízení podporuje standard Power Delivery a to až do napětí 14V.

Protože různé periferie vyžadují různá napájecí a komunikační napětí, je na hlavní desce hned pět napájecích větví.

- VCC, napětí baterie sloužící jako zdroj pro ostatní napájecí větve a pro napájení komunikačního modulu.
- Napětí 3.3[V] na napájení logické části celého základního zařízení.
- Napětí 5.0[V] pro LED desku a externí moduly
- Napětí 1.8[V] pro napájení napěťových převodníků sloužících na komunikaci s komunikačním modulem
- V-USB, napětí 5 – 21[V] z USB-C konektoru pro nabíjení a programování

Napětí větví 3.3[V] a 1.8[V] je tvořeno pomocí LDO. Na vytvoření větve 5[V] je ale potřeba spínaný zdroj a to primárně ze dvou důvodů. Za prvé protože napětí baterie, ze které se tato větev napájí, má nižší napětí a je jej tedy třeba vyspínat na napětí vyšší. Za druhé tento zdroj poskytuje do systému mnohem větší proudy než druhé dvě větve a bylo by tedy vhodné použít spínaný zdroj i v případě vyššího vstupního napětí.

Na hlavní desce je také řada konektorů sloužící pro připojení ostatních systémů.

Jde o konektory na:

- propojení s LED deskou
- komunikační modul (M2 Konektor umožňuje použít různé moduly)
- externí moduly
- USB-C (nabíjení a programování AHS)
- programátor

Do konektorů by se dal zařadit i držák na dva LiIon články 18650.

Jako jednoduchý zvukový výstup je na desce také piezoměnič.

3.1.3 Výběr mikrokontroleru

Požadavky na mikrokontroler jsou:

- WiFi
- Bluetooth
- alespoň 3 UARTy
- alespoň 30 GPIO pinů
- I2C
- dostatečný výpočetní výkon pro hladký chod interpretru JavaScriptu nebo Pythonu

Dostupných možností je nespočet ale pro příklad mohu uvést:

Mikrokontroler	Jádro	Počet GPIO pinů	Počet UARTů	Počet I2C	Wi-Fi a Bluetooth
ESP32 [12]	2x Xtensa LX6	34	3	2	✓
ESP32-S3 [13]	2x Xtensa LX7	45	3	2	✓
ESP32-C6 [14]	1x RISC-V	34	3	2	✓
PIC32MZ-W1 [15]	DS60001192	62	3	2	✓
nRF7000 [16]	-	13	0	0	✓
RTL8710 [17]	ARM Cortex-M3	17	1	3	✓
RTL8721DM [18]	-	17	3	2	✓
STM32WB55 [19]	ARM Cortex-M4	37	1	2	✗
MSP430BT5190 [20]	-	32	4	4	✗

Obr. 3.2: Dostupné vyhovující mikrokontrolery

Abych nemusel řešit anténu použil bych mikrokontroler na modulu, který má anténu integrovanou, a navíc řeší i flash paměť. Protože už tyto moduly interně používají některé GPIO, klesne množství, které mohu využít.

Jedním z požadavků na zařízení je dostatečný výpočetní výkon pro hladký chod interpretru JavaScriptu nebo Pythonu. Výpočetní výkon se porovnává poněkud složitěji, protože se nejedná tak úplně o jeden parametr. V tomto případě je ale vhodné

Mikrokontroler	Počet GPIO pinů	vyhovuje?
ESP32-WROOM [12]	26	✗
ESP32-S3-WROOM [13]	36	✓
ESP32-C6-WROOM [14]	23	✗
WFI32E01PC [15]	37	✓

Obr. 3.3: Moduly s mikrokontrolery

prozkoumat i dostupnost interpretru pro daný mikrokontroler. Pro ESP32-S3 je dostupný JavaScriptový interpreter Jaculus [21] i interpretér jazyka Python MicroPython [22]. Pro PIC32MZ-W1 je dostupný interpretér jazyka Python MicroPython [23], interpretér JavaScriptu jsem však nenašel. ESP32-S3 mi tak poskytuje výhodu v možnosti volby skriptovacího jazyka.

Další výhodou ESP32-S3 je jeho cena, která se pohybuje okolo 4\$ [24]. PIC32MZ-W1 je u JLCPCB za 13.65\$ [25]. Navíc u JLCPCB je PIC32MZ-W1 sice v nabídce, ale není na skladě [25], zatímco u ESP32-S3 je aktuálně dostupných hned 19 variant [24].

V mém případě má ESP32-S3 ještě jednu podstatnou výhodu, a tou je fakt, že s rodinou mikrokontrolerů ESP32 mám dlouholeté zkušenosti. Z těchto důvodu jsem se rozhodl pro ESP32-S3.

3.1.4 Propojení hlavní desky a LED desky

Mezi hlavní deskou a LED deskou je třeba převést napájení a několik signálů. LED deska vyžaduje na konektoru přítomnost dvou napájecích větví $5[V]$ pro světelné kruhy a $3.3[v]$ pro snímání tlakové plochy. Protože do LEDek může téct proud až 5A a může být zároveň i docela rychle spínaný, považuji za rozumné oddělit napájecím větvím zem. Oddělení je tedy provedeno už na konektoru hlavní desky aby se omezilo rušení na napájení snímání tlakové plochy.

Na samotné propojení jsem se rozhodl použít FFC kabel s roztečí $0.5[mm]$, pro jeho rozměry a cenovou dostupnost. Jedním vodičem takového kabelu lze vést proud maximálně $0.4[A]$ [26]. Protože ale potřebuji dodat proud až 5A, použiji 13 vodičů vedle sebe jakožto nejmenší počet, který přenese požadovaný proud v rámci daných mezd.

Mimo napájení je tímto propojením veden i signál s daty pro světelné kruhy a I2C sběrnice s interruptem pro připojení čipu LDC1614 [10].

Vzhledem k počtu potřebných vodičů (konkrétně 32) jsem se rozhodl použít běžný FFC konektor se 40 kontakty s tím, že zbylé kontakty se mohou hodit v buďoucnu.

3.1.5 Modulový konektor

Modulovým konektorem je vedeno 5[V] jako napájení pro moduly a UART s interruptem pro komunikaci.

Nad volbou komunikační sběrnice jsem strávil poměrně dost času přemýšlením. Původně jsem uvažoval o využití RS485 jakožto odolné sběrnice, u které by v případě potřeby nemusel být problém ani delší kabel. RS485 má ale nevýhodu v tom, že potřebuje dodatečný hardware, kterému bych se hlavně na modulech rád vyhnul. Stejný problém nastal u CANu a USB, které by navíc mělo výhodu kompatibility s velkým množstvím hotových zařízení.

V první úvaze o UARTu jsem jej nejprve zavrhl kvůli potenciální náročnosti na přeposílání dat mezi moduly. Při standardním použití bych totiž moduly řadil za sebe. Prvnímu modulu by tak chodili data pro všechny ostatní moduly a musel by je přeposílat dál, což by mohlo stát nezanedbatelné množství procesorového času. V jisté chvíli jsem ale narazil na nestandardní komunikaci pomocí UARTu implementované v projektu Servio [27]. Tato implementace používá UART jako sběrnici. Namísto standardního použití pro komunikace jeden s jedním tak může komunikovat jeden s více. Na tomto řešení je výhodné, že nevyžaduje žádný dodatečný hardware a prakticky každý dnešní mikrokontroler je možné k této sběrnici velmi snadno připojit. Ve srovnání s RS485 je sice mnohem méně odolná proti rušení, ale uvnitř zařízení nebude linka vedena na víc než malé desítky centimetrů. Komunikace na delším kabelu je pak jednoduše nahraditelná bezdrátovou komunikací a není tak potřebné, aby to musela tato sběrnice ze základu podporovat. Každopádně v případě potřeby delšího kabelu je možné navrhnout externí modul, který s této sběrnice velmi jednoduše udělá RS485 pro externí využití. Alternativně by se pro komunikaci na delším kabelu dalo použít USB, které je společně s nabíjením přivedeno na USB-C.

Všechny moduly jsou tedy připojeny na jeden RX pin AHS. Proto musí firmware AHS zajistit, aby dva moduly nevysílaly současně. Aby se zabránilo možným zkratům, jako ochranu má každý modul své piny UARTu připojeny přes rezistor $180[\Omega]$. Interrupt pin modulů se naopak chová jako open-collector a na straně hlavního zařízení je na něj tedy připojen pull-up rezistor. Abych alespoň trochu zvýšil odolnost linky proti rušení, přidám na přijímací stranu pull-up rezistor. Cílem je zvýšení komunikačního proudu, aby se případný proud vyvolaný rušením neprojevil. V neposlední řadě mají všechny piny na konektoru ESD ochranu.

3.1.6 Konektor programátor

Zařízení se dá jednoduše programovat přes USB-C, tento kanál se ale dá softwarově narušit a pro takové případy je tu konektor na programátor. Jde o šest plošek, na které se programátor připojuje pomocí pružinkových kontaktů. Programátor sice obsahuje jen jednoduchou elektroniku, která by mohla být i přímo v elektronice AHS, ale ve většině případů by byla zbytečná. Ve chvíli, kdy by byla potřeba, je stejně nutná odborná obsluha a pro tu není problém použít programátor.

3.1.7 USB-C

Jako napájecí a programovací konektor je použito USB-C. Díky němu je možné podporovat standard Power Delivery využitý pro zrychlení nabíjení. Konektor je ale použit i na pohodlnější programování zařízení, bez potřeby programátoru.

3.1.8 Konektor komunikačního modulu

Pro připojení komunikačního modulu jsem zvolil konektor M2 typ-B jakožto standard pro tyto moduly. Díky tomuto konektoru mohu jednoduše připojit různé LTE a GNSS moduly.

3.1.9 Mechanické uspořádání

4 Návrh dynamického zařízení

Pro přehlednost by zařízení mělo mít jméno a protože může často sloužit podobně jako semafor, začal jsem mu říkat Semisemafor.

Vstup bude realizován pomocí dvou tlačítek a šestiosého IMU, pro možnost používání gest.

Světelný výstup bude realizován pomocí dvanácti RGB LED usporádaných do kruhu. Číslo dvanáct bylo zvoleno proto, aby korespondovalo s hodinami, např. pro hry, kde probíhá nějaký odpočet.

Aby nebylo nutné starat se o baterii, bylo napájení zajištěno pomocí USB-A konektoru a malé powerbanky, která se tak dá třeba i snadno vyměnit za nabítkou.

4.1 Výběr součástek

Protože zařízení bude vyráběno u firmy JLCPCB, je výhodné využívat součástky, které mají ve své nabídce. Dá se sice zařídit, aby firma osadila i součástky od externího dodavatele, ale je to o něco složitější a je tak jednodušší se tomu vyhnout.

Aby nebylo nutné pro práci se semaforem a AHS používat různá prostředí, je výhodné použít stejný kontroler nebo alespoň kontroler ze stejné rodiny. Proto byl zvolen kontroler ESP32-C3-MINI-1, který je ve srovnání s ESP32-S3 výrazně levnější a aplikaci plně dostačuje. ESP32-S3 má stejně jako ESP32-S3 USB periferii, která se dá využít na programování kontroleru. I tady je ale problém, že se tato metoda dá softwarově narušit a Semisemafor je proto vybaven stejným programovacím konektorem jako ESP32-S3 na AHS.

Protože mám dobré zkušenosti s inteligentními ledkami WS2812, zvolil jsem na led kruh jejich typickou pětimilimetrovou variantu.

IMU by na semaforu nemělo sloužit pro žádná přesná měření, ale jen např. pro detekci plácnutí nikoliv jeho síly nebo rychlosti, nezáleží proto tolik na jeho přesnosti. Při jeho výběru šlo proto primárně o cenu a zvoleno bylo LIS2DH12TR [28], které komunikuje po SPI.

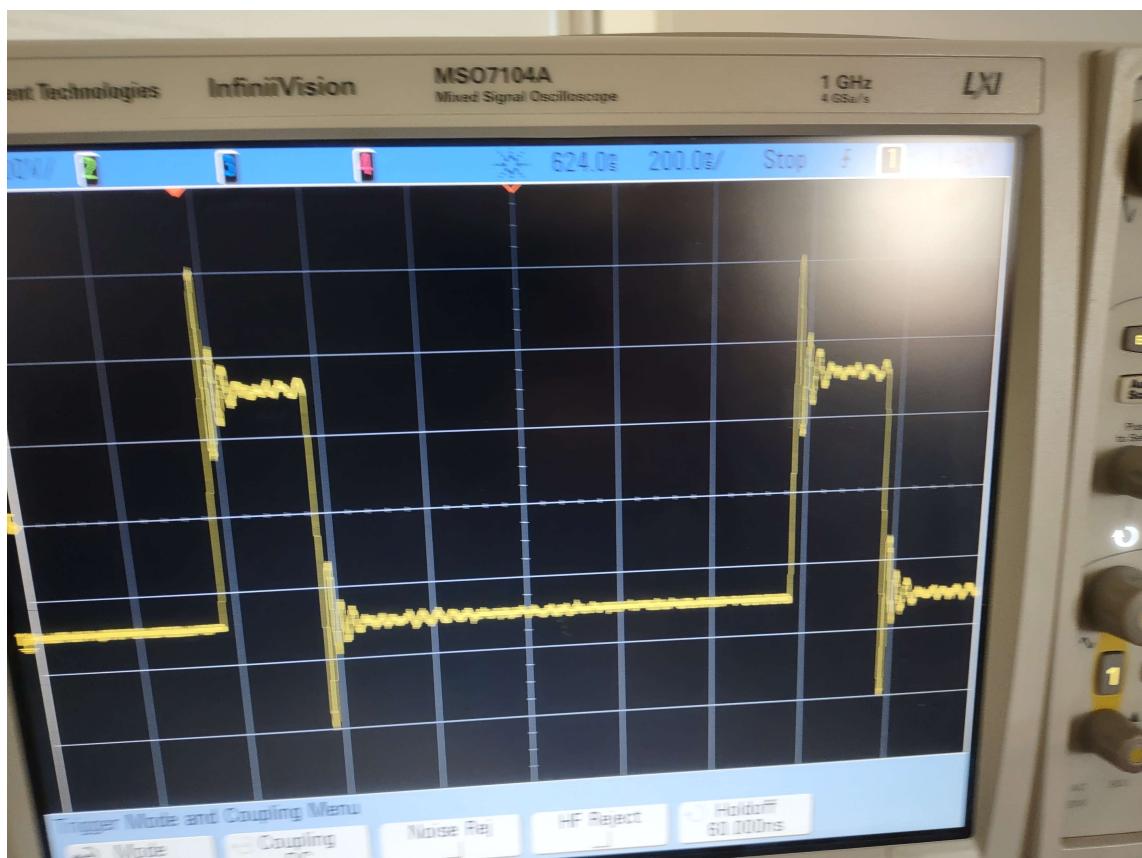
Kontroler ESP32-C3 i LIS2DH12TR má rozsah napájecího napětí do 3.6[V] [29][28]. Není proto možné je napájet přímo z napětí na USB, na kterém je napětí 5[V] a bude tedy potřeba měnič. ESP32-C3 požaduje zdroj se schopností dodat 0.5[A] [29] a jeho typická spotřeba ze zkušenosti nepřesáhne 200[mA], LIS2DH12TR pak vyžaduje zanedbatelných 185[uA] (v závislosti na vzorkovací frekvenci i mnohem méně [28] strana 17 tabulka 12). Považuji proto za vhodné pro jeho napájení použít LDO. Z nabídky JLCPCB byl proto zvolen LD39200 [30] pro jeho elektrické parametry a malé pouzdro.

4.2 Návrh schematu a DPS

Doplnil jsem blokovací kondenzátory dle doporučení výrobců, pull-up rezistory na strapping pin kontroleru, zpětnovazební dělič k LDO, k tlačítkům sem připojil kondenzátor proti odskokům. Dostal jsem tak schéma A.1, ze kterého jsem následně nakreslil DPS A.1

4.3 Prototypy

Při testování první verze, byl problém s neovladatelnými ledkami. Při pokusu o nastavení barvy se jen náhodně rozsvěcovali a zhasínali. Když jsem připojil osciloskop na jejich řídící signál, obdržel jsem signál 4.3



Obr. 4.1: Zarušená komunikace s ledkami

Tento problém jsem vyřešil doplněním feritu do cesty řídícího signálu, abych utlumil vyšší harmonické složky.

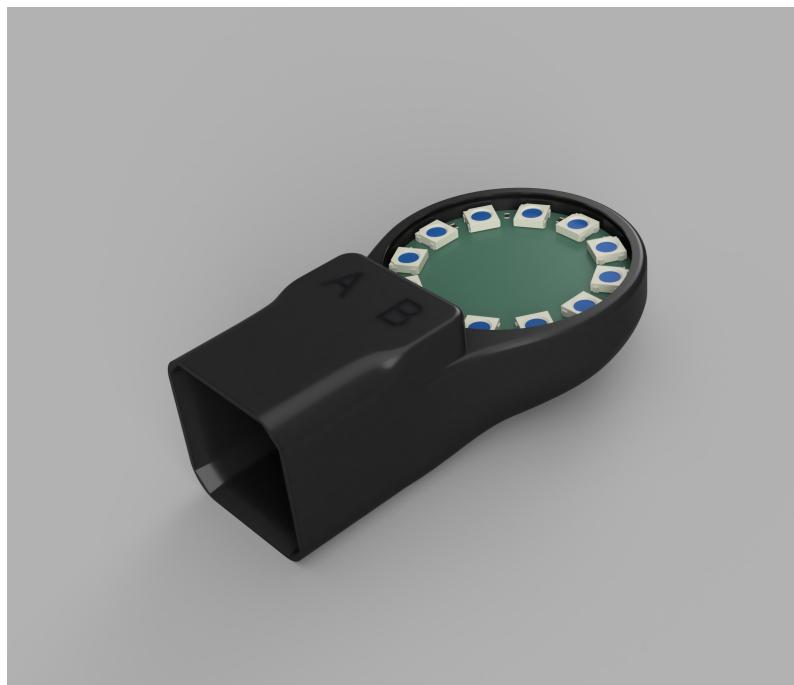
Kvůli servisním zákrokům a konstrukci krytu jsem navíc přidal i další dvě kontaktní plošky pod USB konektor pro možnost přehrání firmwaru bez nutnosti vymutí desky. Výsledné schéma viz A.1

4.4 Mechanické stavba

Jedním z podstatných požadavků byla jistá úroveň krytí proti vodě, aby se zařízení dalo používat i za deště. To nutně neznamená úplnou vodotěsnost, dá se totiž předpokládat, že zařízení bude používáno v poloze, kdy je powerbanka dole a Semisemafor nahoře. Stačí tedy zajistit těsnost proti stékající vodě jen v jednom směru.

Navíc se během testování objevil ještě požadavek na zpětnou vazbu tlačítka v podobě jeho kliknutí. Uživatel totiž musí vědět, že tlačítko skutečně stiskl, na což je mechanická odezva samotného tlačítka ideální.

Po několika iteracích jsem obdržel výsledný vzhled (viz obrázek 4.4)



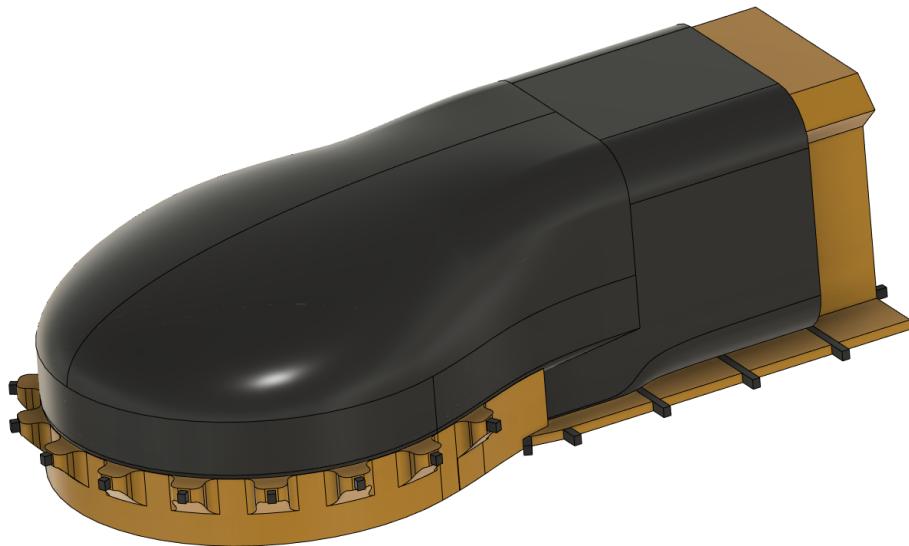
Obr. 4.2: Vzhled Semisemaforu

Jako technologii výroby jsem zvolil obyčejný FDM 3D tisk. Původně jsem chtěl použít materiál ASA pro jeho UV odolnost, ale ukázalo se, že jsem nebyl schopen navrhnout mechaniku tak, aby byl výsledek dostatečně voděodolný a zároveň měla tlačítka uspokojivou zpětnou vazbu. ASA bylo příliš tuhé a cvaknutí mikrospínáče příliš utlumilo, aby jej uživatel zaznamenal. Stejné výsledky jsem měl z PETG, PLA, ABS a několika dalšími materiály. Jediný materiál, u kterého jsem dosáhl uspokojivých výsledků, byl PP (polypropylene).

Problém tisku polypropylenu je jeho tepelná roztažnost, takže pokud se tiskne za běžných teplot má tendenci se při tisku kroutit, což značně zesložituje jeho tisk.

Jednou možností by bylo celý tisk provádět při teplotě přes 120°C , kde začíná probíhat rekrytalizace a polypropylen se začíná výrazně smršťovat. Tato možnost ale nese nutnost použití speciální tiskárny, která umožňuje tiskový prostor vytopit na tak vysokou teplotu, a proto byla zvolena méně spolehlivá ale jednodušší metoda. Použitá metoda je založena na vícemateriálovém tisku, přičemž primární je užitečný tisknutý objekt z polypropylenu a druhý dobře tisknutelný materiál tvoří podpěry a přítlak. Aby tak bylo možné vytisknout i tvar, který nemá vhodná místa pro umístění přítlaku, musí být opatřen technologickými výstupky, které se po tisku mohou odříznout.

Tiskový model byl tedy doplněn o další objekt zajišťující přítlak a zároveň i podpěry. Výsledek je vidět na obrázku 4.4



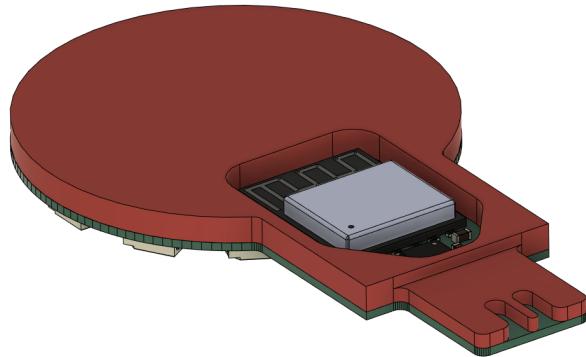
Obr. 4.3: Soustava modelů pro tisk

Aby nebylo nutné pouzdro tisknout na více dílů, byla zvolena možnost zatiskávání DPS během tisku. Pokaždé, když tisk dospěl do správného bodu, pozastavil se, aby bylo možné vložit elektroniku a následně pokračoval.

Kromě elektroniky bylo stejným postupem umisťováno i průhledové "sklíčko". Aby bylo možné zachovat odolnost proti vodě, bylo toto "sklíčko" také z polypropylenu, aby se během tisku přivařilo k okolní hmotě a vytvořilo tak vodotěsný spoj.

Protože je DPS semaforu oboustranně osazena, byl při zatiskávání ještě jeden problém. Budě by se totiž DPS vložila zarovnaná s aktuální tiskovou vrstvou plochou substrátu. To by však znamenalo, že by tisková hlava mohla narazit do nějaké z vystupujících součástek. Nebo tisknout od horního bodu nejvyšší součástky, což by

ale znamenalo, že by elektronika nebyla pevně uchycena. Tento problém byl vyřešen vložkou, která se před zatištěním přilepí na spodní stranu DPS a srovná ji do roviny. Vložka navíc umožnila mít dodatečné kontaktní plošky z druhé strany USB, protože bez ní by se tyto plošky vyzkratovali o stínění USB konektoru. Za tímto účelem byla také deska vyrobena v tloušťce 0.8mm, aby byly tyto dodatečné plošky lépe kryty. DPC opatřena vložkou je vidět na obrázku 4.4

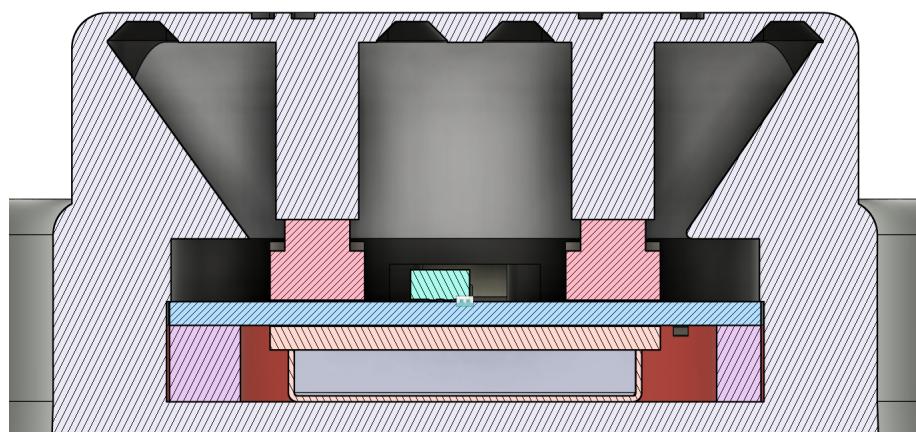


Obr. 4.4: DPS Semisemaforu opatřena vložkou

Aby bylo tlačítko dostatečně měkké, mělo dostatečně silnou odezvu a zároveň bylo odolné vůči vodě. Zvolil jsem tenkou membránu ze které vede šoupátko k tlačítku. Při stisku membrány je tak pomocí šoupátka stisknuto i tlačítko. Zároveň aby nebylo nutné mačkat přímo na místo kde je uchyceno šoupátko a aby se zabránilo možnému sklouznutí šoupátka z tlačítka. Zesílil jsem střed membrány, takže se z membrány stal takový hmatník po obvodu uchycený k tělu Semisemaforu, jak je vidět na obr 4.4



Obr. 4.5: Reálný kus Semisemaforu



Obr. 4.6: Řez tlačítky

Závěr

V práci je popsáno několik Outdoorových her, které nevyužívají elektroniku a následně je rozebrána možnost jejich rozšíření o elektroniku. Navíc je popsána i jedna hra, která od základu s elektronikou počítá. Na základě těchto her jsou odvozeny požadavky, které jsou na elektronická zařízení v hrách kladený. Následně byla provedena první fáze návrhu dvou zařízení, která tyto požadavky plní a je tak možné je v outdoorových hrách nasadit.

Jedno se zařízení je určeno k tomu, aby jej hráč nosil sebou, a je dostatečně malé a levné, aby jej bylo možné používat při hrách ve velkém počtu.

Druhé zařízení je určeno k tomu, aby zastoupilo organizátora na stanovišti a umožnilo mu tak zapojení do hry jiným způsobem. Toto zařízení tedy už nemusí být tak malé ani levné, protože se nepředpokládá nasazení v tak velkém počtu a je potřeba, aby bylo dobře viditelné. Zařízení je rozděleno na základní řídící jednotku a moduly, které jsou k základní jednotce připojeny pomocí UARTu. Nestandardně je UART použit pro komunikaci jeden s více, namísto standardního jeden s jedním (viz podkapitola 3.1.5). To umožňuje připojení více modulů k jedné základní jednotce bez potřeby přeposílání zpráv skrz moduly. Potenciálně zajímavou částí základní jednotky je také tlaková plocha (viz kapitola 3), která umožňuje hráčům interagovat se základním zařízením pomocí doteku a tlaku.

Předpokládaný další vývoj je konkrétní návrh elektroniky obou zařízení a alespoň modulu dvířka. Také je zapotřebí navrhnout mechanickou stránku obou zařízení a modulu. Následně bude třeba vše vyrobit, zprovoznit a otestovat v nějaké reálné hře.

4.5 Použité zdroje

Online články a dokumenty

1. ON. *King of the Hill*. 2023-12-11. Dostupné také z: <https://www.hranostaj.cz/hra4170>.
2. T, M O. *Špiónské sítě*. 2023-12-11. Dostupné také z: <https://www.hranostaj.cz/hra5099>.
3. HOBIT. *Než se čas naplní*. 2023-12-11. Dostupné také z: <https://www.hranostaj.cz/hra4257>.
4. HORÁKOV, VZA BUNKR - Veřejný zábavní areál. *Veřejný zábavní areál Bunkr...* 2022-07. Dostupné také z: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=479921317466390&set=a.479921297466392>. Příspěvek na Facebooku.
5. LUPA.CZ. *Sigfox se v Česku odmlčel. Zda je to konec této internetu věcí, její provozovatelé nekomentují*. 2023-04. Dostupné také z: <https://www.lupa.cz/aktuality/sigfox-se-v-cesku-odmlcel-zda-je-to-konec-teto-site-internetu-veci-jeji-provozovatele-nekomentuje/>. 2023-12-8.
6. SEMTECH. *LoRa™ Modulation Basics*. 2015-04. Dostupné také z: <https://web.archive.org/web/20190718200516/https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>. 2023-12-8.
7. PECH, Jiří. *IOT TECHNOLOGIE: LORA A LORAWAN (3/5)*. 2019-02. Dostupné také z: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>. 2023-12-8.
8. ALLIANCE, LoRa. *What Are The Differences Between LoRaWAN And NB-IoT?* 2023-04. Dostupné také z: <https://blog.velosiot.com/difference-between-lorawan-nbiot#:~:text=One%20of%20the%20key%20differences,to%20access%20NB-IoT%20solutions>. 2023-12-8.
9. VODAFONE. *Sítě NB-IoT a Cat-M pro efektivnější podnikání*. 2023-12-9. Dostupné také z: <https://www.vodafone.cz/podnikatele/internet-veci/iot-site/>.
18. CORP., Realtek Semiconductor. *RTL8721DM*. 2023-12-10. Dostupné také z: <https://www.realtek.com/en/products/communications-network-ics/item/rtl8721dm>.
21. KUBICA, Petr. *Jaculus - JavaScript runtime for embedded devices*. 2023. Dostupné také z: <https://jaculus.org>.

22. MUSSARED, Jim. *MicroPython - ESP32-S3*. 2023-12-13. Dostupné také z: https://github.com/micropython/micropython/tree/master/ports/esp32/boards/ESP32_GENERIC_S3.
23. BENPOON-MICROCHIP. *MicroPython on PIC32MZWI*. 2023-12-13. Dostupné také z: https://github.com/MicrochipTech/PIC32MZWI_MicroPython.
24. JLCPCB. *Vyhledávání hesla "ESP32-S3"*. 2023-12-10. Dostupné také z: <https://jlcpcb.com/part/componentSearch?searchTxt=ESP32-S3>.
25. JLCPCB. *Vyhledávání hesla "WFI32"*. 2023-12-10. Dostupné také z: <https://jlcpcb.com/part/componentSearch?searchTxt=WFI32>.
27. KONIARIK, Jan. *Servio*. 2023. Dostupné také z: <https://github.com/emsro/servio/tree/main>.
34. CORPORATION, Panasonic. *OVERCHARGE/OVERDISCHARGE/OVERCURRENT SAFETY CIRCUITS*. 2007. Dostupné také z: https://web.archive.org/web/20101122230718/https://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/Panasonic_LiIon_Charging.pdf.
35. SEMICONDUCTOR, Nordic. *Our Wi-Fi companion IC*. 2023-12-10. Dostupné také z: <https://www.nordicsemi.com/Products/Wireless/WiFi/Products?lang=en#infotabs>.
36. INC., Microchip Technology. *Standalone and Fully-Certified Wi-Fi Module Designed for Industrial IoT Applications*. 2023-12-10. Dostupné také z: <https://www.microchip.com/en-us/product/WFI32E01PC#sampling-options>.

Katalogové listy důležitých součástek

10. INCORPORATED, Texas Instruments. *LDC1612, LDC1614 Multi-Channel 28-Bit Inductance to Digital Converter (LDC) for Inductive Sensing*. 2018. Dostupné také z: <https://1url.cz/rudLI>.
11. INCORPORATED, Texas Instruments. *LDC1612/LDC1614 Linear Position Sensing*. 2015. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/an/snoa931a/snoa931a.pdf?ts=1702491346939&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLDC1614.
12. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32 Series*. 2023. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.

13. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-S3 Series*. 2023. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf.
14. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-C6 Series*. 2023. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c6_datasheet_en.pdf.
15. INC., Microchip Technology. *PIC32MZ1025W104 MCU and WFI32E01 Module with Wi-Fi® and Hardware-Based Security Accelerator Data Sheet*. 2023. Dostupné také z: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/WSG/ProductDocuments/DataSheets/PIC32MZ-W1-and-WFI32E01-Family-Data-Sheet-DS70005425.pdf>.
16. SEMICONDUCTOR, Nordic. *nRF7000*. 2023. Dostupné také z: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF7000_PS_v1.0.pdf.
17. SEMICONDUCTOR, Nordic. *RTL8710 WiFi Module*. 2017. Dostupné také z: https://media.digikey.com/pdf/data%20sheets/seeed%20technology/113990294_web.pdf.
19. STMICROELECTRONICS. *Multiprotocol wireless 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M4 with FPU, Bluetooth® 5.4 and 802.15.4 radio solution*. 2023. Dostupné také z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wb55cc.pdf>.
20. INCORPORATED, Texas Instruments. *MSP430BT5190 Mixed-Signal Microcontroller*. 2020. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430bt5190.pdf?ts=1702232109620&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FMSP430BT5190.
26. JUSHUC. *2304231848 JUSHUO-AFC07-S32FCC-00 C11061*. 2004. Dostupné také z: https://manual.lcsc.com/lcsc/2304231848_JUSHUO-AFC07-S32FCC-00_C11061.pdf. FFC konektor.
28. STMICROELECTRONICS. *MEMS digital output motion sensor*. 2017. Ver. 6. Dostupné také z: https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_1810010329_STMicroelectronics-LIS2DH12TR_C110926.pdf.
29. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-C3-MINI-1 ESP32-C3-MINI-1U*. 2024. Ver. 1.8. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf.

30. STMICROELECTRONICS. *2 A high PSRR ultra low drop linear regulator with reverse current protection.* 2018. Ver. 3. Dostupné také z: https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2010270935_STMicroelectronics-LD39200DPUR_C880590.pdf.
31. *Úprava, odevzdávání a zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací na VUT v Brně.* Brno: VUT v Brně, 2009. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/uredni-deska/vnitrni-predpisy-a-dokumenty/smernice-rektora-f34920/>. Směrnice rektora č. 2/2009.
37. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32) Datasheet.* 2018. Dostupné také z: https://www.mouser.com/datasheet/2/891/esp-wroom-32_datasheet_en-1223836.pdf.
38. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-S3-WROOM-1 ESP32-S3-WROOM-1U.* 2023. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf.
39. COPYRIGHT, Espressif Systems. *ESP32-C6-WROOM-1 ESP32-C6-WROOM-1U.* 2023. Dostupné také z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c6-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf.
40. INCORPORATED, Texas Instruments. *BQ24179 I₂C Controlled, 1- to 4-Cell, 5-A Buck-Boost Battery Charger with Dual-Input Selector.* 2022. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24179.pdf?ts=1698854511988&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fpower-management%252Fbattery-management%252Fcharger-ics%252Fproducts.html.
41. INCORPORATED, Texas Instruments. *BQ298xyz Voltage, Current, Temperature Protectors with an Integrated High-Side NFET Driver for Fast/Flash Charging Single-Cell Li-Ion and Li-Polymer Batteries.* 2022. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2980.pdf?ts=1701078971409&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FBQ2980.
42. INCORPORATED, Texas Instruments. *TPS61088 10-A Fully-Integrated Synchronous Boost Converter.* 2021. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61088.pdf?ts=1698858563376&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
43. INCORPORATED, Diodes. *HIGH-PERFORMANCE USB PD SINK CONTROLLER.* 2023. Dostupné také z: <https://www.diodes.com/assets/manuals/AP33772.pdf>.

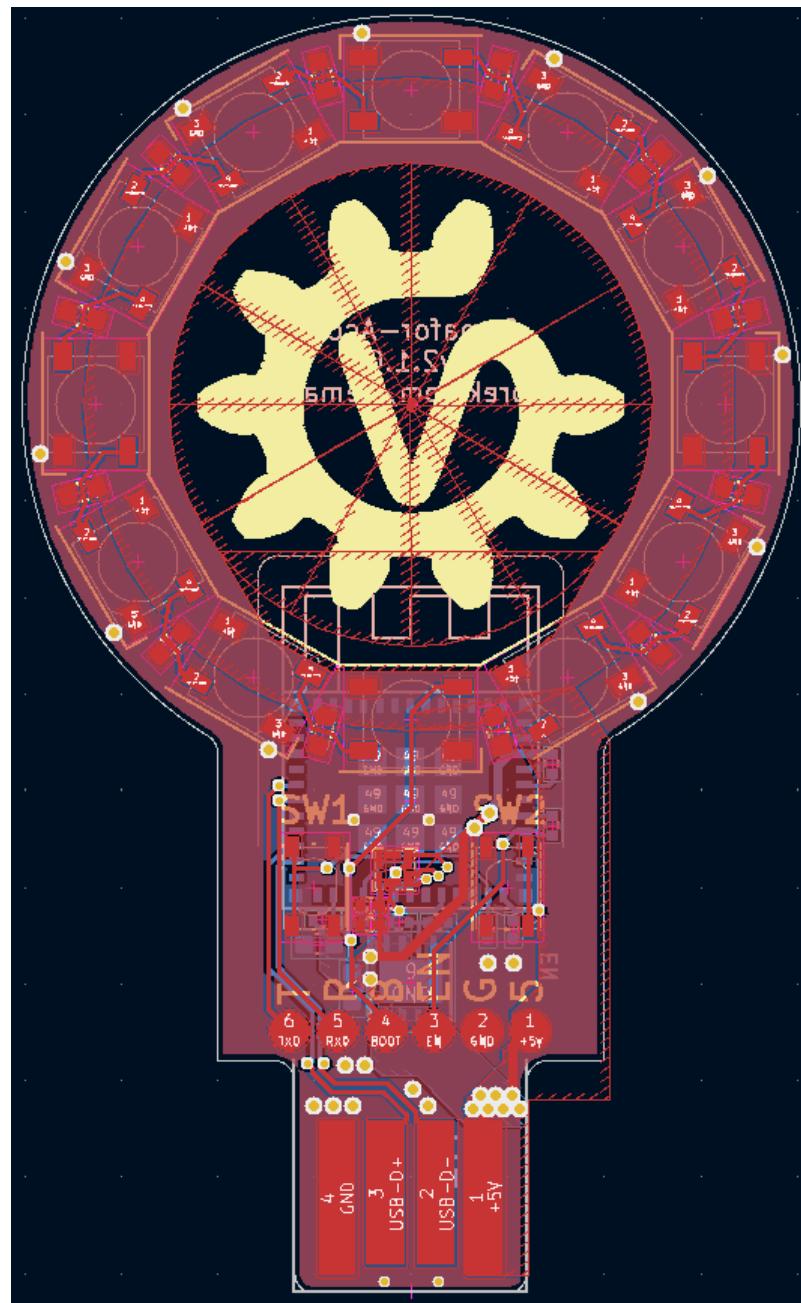
44. SOLUTIONSLIMITED, SIMCom Wireless. *SIM7600X-M2HardwareDesign*. 2020.
Dostupné také z: https://files.waveshare.com/upload/0/02/SIM7600X-M2_Hardware_Design_V1.01.pdf.

Seznam symbolů a zkratek

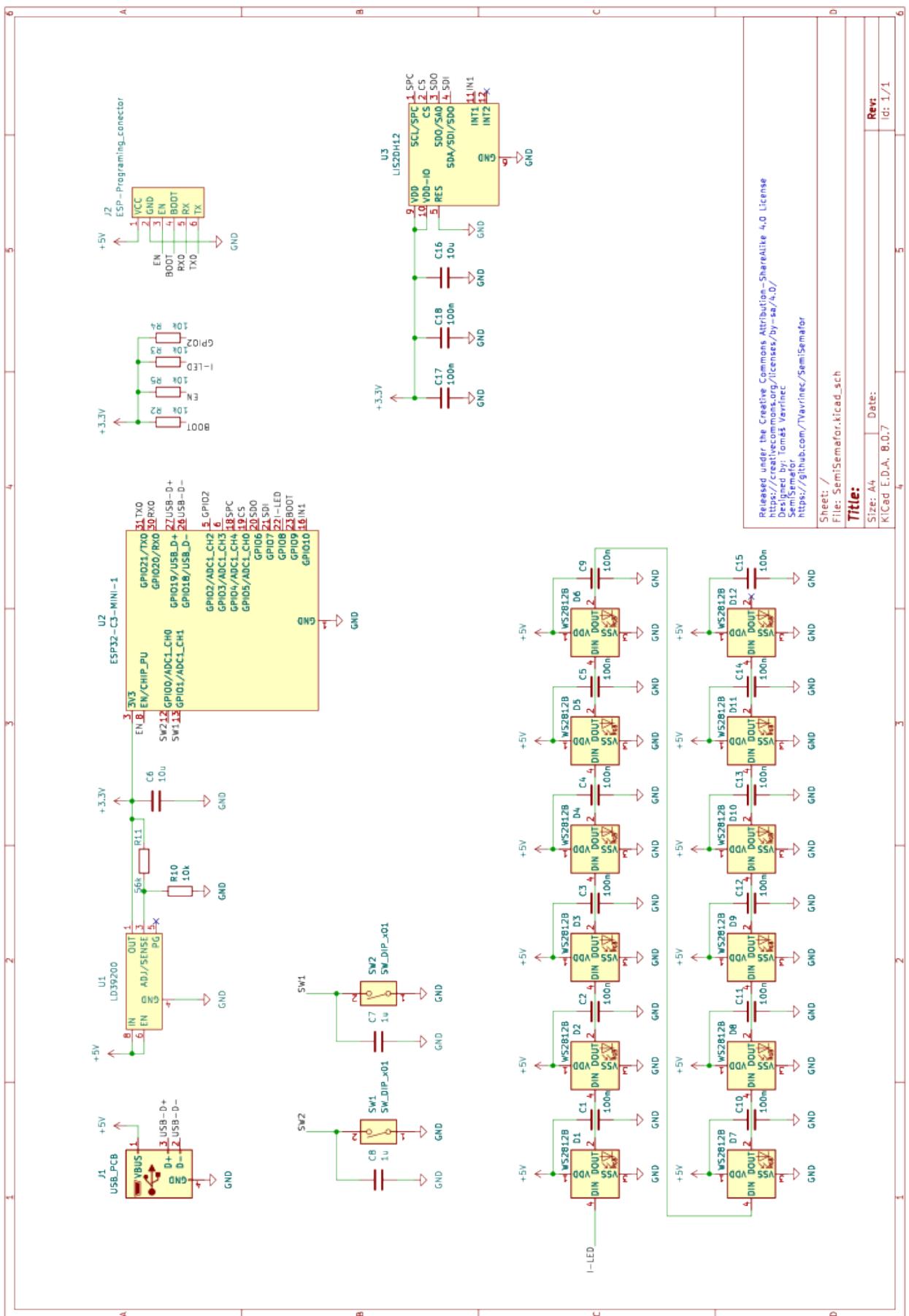
AHS	Automatické Herní Stanoviště
LDO	Low-dropout regulator - regulátor napětí s nízkým úbytkem
FFC	Flexible flat cable - plochý ohební kabel
GNSS	Global Navigation Satellite System - ne jen GPS (Global Positioning System)
LTE	3GPP Long Term Evolution - dlouhodobý vývoj 3GPP
PCB	Printed Circuit Board - deska plošných spojů
FDM	Fused deposition modeling

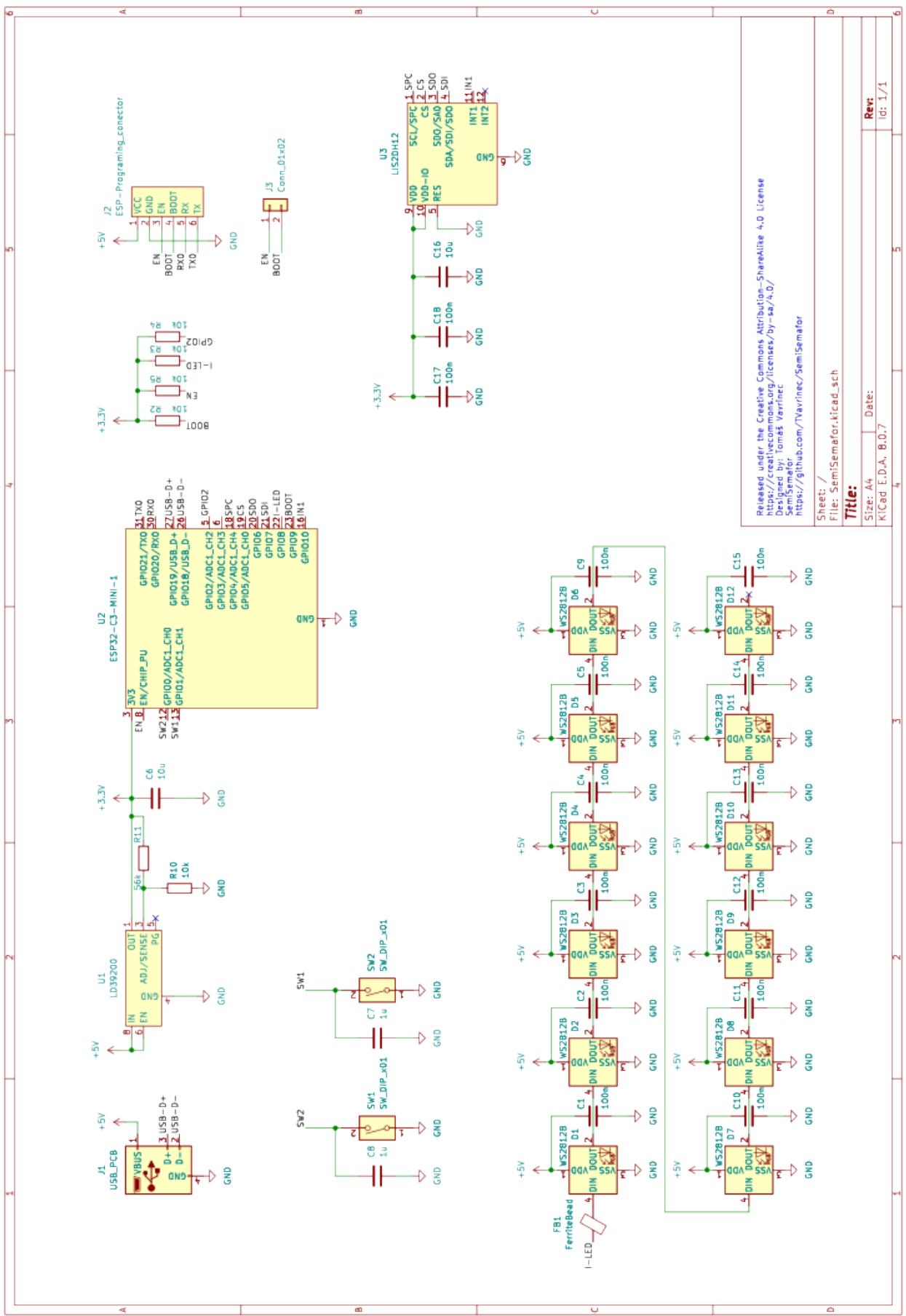
A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Schémata a DPS Semisemaforu



Obr. A.1: Původní DPS Semisemaforu





B Druhá příloha