

GYMNASIUM JANA KEPLERA

Parléřova 2/118, 169 00 Praha 6



Název maturitní práce

Maturitní práce

Autor: Tomáš Partl

Třída: 4.A

Školní rok: 2024/2025

Předmět: Informatika

Vedoucí práce: Emil Miler

Praha, 2025



Gymnázium Jana Keplera

Kabinet informatiky

ZADÁNÍ MATURITNÍ PRÁCE

- *Student* Tomáš Partl
 - *Třída:* 4. A
 - *Školní rok:* 2024/2025
 - *Vedoucí práce:* Emil Miler
 - *Název práce:* Herní joystick
 - *URL repozitáře:* <https://github.com/TommanCZ/herni-joystick>
-

Cíle:

Cílem projektu je navrhnout a sestavit joystick, který bude možné připojit k počítači jako USB HID zařízení. Tento joystick by měl obsahovat několik tlačítek, aby umožňoval praktické ovládání, například pro vybírání položek v menu hry či pro použití ve flight simulátorech. Plán je, aby zařízení bylo bezdrátové pomocí externího USB modulu s anténou, podobně jako u bezdrátových myší. Konstrukce by měla zahrnovat i vlastní PCB desku, jejíž návrh a výroba jsou součástí projektu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů. Nemám žádné námitky proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 3. března 2025

Tomáš Partl

Poděkování

Děkuji Emilu Milerovi za to, že vedl mou maturitní práci. Dále děkuji Tomášovi Partlovi (mému otci), že mě jako konstruktér učil dobře a efektivně modelovat. Děkuji Tomáši Křečkovi za to, že mě naučil minimalizaci velikosti a správnému návrhu tvorby PCB desek. Též děkuji Pavlu Strnadovi, že mi dovoli použít jeho technické vybavení k osazení PCB desek. V neposlední řadě děkuji Josefu Liškovi za vnuknutí nápadu na tento projekt svou větou: „zkuste to bez drátů, milý Marconi.“

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a vytvořením herního joysticku s pomocí bezdrátových technologií. Hlavním cílem projektu bylo vytvořit cenově dostupný a snadno sestavitelný ovládací prvek, který by umožňoval domácí výrobu pomocí 3D tisku a využití volně dostupných komponentů. V rámci práce byly zkoumány různé hardwarové přístupy, přičemž byly testovány varianty založené na mikrokontrolérech Atmega328p a ATmega32u4. Finální řešení bylo postaveno na platformě ESP32S3, která díky hardwarové podpoře USB a Bluetooth nabízí vyšší spolehlivost a snadnější implementaci, než řešení s externím modulem s anténou.

Projekt zahrnuje jak vývoj napájecí sítě s využitím dvou AAA baterií, step-up měniče a stabilizátoru TS1117, tak návrh PCB deky. Mechanická část joysticku byla navržena s důrazem na jednoduchost, robustnost a jednoduchou sestavitelnost, přičemž byla rozdělena do tří částí (základny, těla a hlavy). Je vytvořena primárně 3D tištěnými díly a standardními mechanickými součástkami jako šrouby, ložiska, pružiny apod.

Výsledkem projektu je funkční prototyp herního joysticku, který dokazuje, že je možné takové zařízení v domácím prostředí vyrobit.

Klíčová slova

joystick, 3D tisk, Bluetooth, mikrokontrolér

Abstract

The project deals with the design and creation of a gaming joystick using wireless technologies. The main goal of the project was to create an affordable and easy to assemble control that would allow home production using 3D printing and the use of freely available components. Different hardware approaches were explored in the work, with variants based on Atmega328p and ATmega32u4 microcontrollers being tested. The final solution was based on the ESP32S3 platform, which offers higher reliability and easier implementation than a solution with an external antenna module, thanks to its hardware support for USB and Bluetooth.

The project involves both the development of a power network using two AAA batteries, a step-up converter and a TS1117 regulator, and the design of a PCB blanket. The mechanical part of the joystick was designed with an emphasis on simplicity, robustness and ease of assembly, and was divided into three parts (base, body and head). It is made primarily with 3D printed parts and standard mechanical components such as screws, bearings, springs, etc.

The result of the project is a working prototype of a gaming joystick, proving that it is possible to produce such a device in a home environment.

Keywords

Joystick, 3D printing, Bluetooth, Microcontroller

Obsah

1	Teoretická část	3
2	Implementace	5
3	Technická dokumentace	7
3.1	Software	7
3.1.1	V-USB	7
3.1.2	32U4	8
3.1.3	ESP32S3	8
3.2	Hardware	9
3.2.1	Napájení	9
3.2.2	Ovládací prvky	10
3.2.3	PCB desky	10
3.2.4	Seznam dílů	14
3.3	Modely	14
3.3.1	Základna	14
3.3.2	Tělo	15
3.3.3	Hlava	15
3.4	Návod	16
	Závěr	17
	Seznam použité literatury	19
	Seznam obrázků	21

1. Teoretická část

I přesto, že je létání ve videohráčích stále častější a dostupnější, pořízení herního joysticku může být stále poměrně drahou záležitostí. Levnější modely se obvykle pohybují v řádu přibližně 1200Kč, zatímco kvalitnější varianty bývají výrazně dražší. Cílem této maturitní práce je vyvinout herní joystick, který lze snadno připojit k počítači jako USB HID zařízení. Současně je ale cílem dokázat, že výroba takového ovládacího prvku nemusí být nákladná ani složitá. Samozřejmě je bráno v potaz, že výroba prototypu bude nákladnější než pořízení levného modelu z obchodu s elektronikou, a že výsledný produkt nemusí dosahovat kvality komerčních zařízení. Přesto se doufá, že za využití třeba alternativního způsobu výroby – například použitím již vyrobené desky namísto na míru vyrobené PCB desky – bude výsledný joystick levný, snadno dostupný a jednoduše sestavitelný.

Joystick by měl mít několik klíčových vlastností. Za prvé by měl obsahovat všechno potřebné ovládání, aby byl samostatně použitelný (například základní tlačítka A, B, X, Y, minimálně dvě osy, apod.). Dále by měl být bezdrátový, což zajistí pohodlnou manipulaci a umožní, aby v tomto ohledu odpovídal trendu moderních bezdrátových HID zařízení, jako jsou bezdrátové myši a ovladače.

Tento projekt je vhodné rozdělit do tří částí. První část se zaměřuje na softwarovou stránku, kde je třeba vyvinout vhodný kód a využít odpovídající knihovny pro ovládání joysticku. Druhá část se věnuje hardwaru. Zahrnuje tvorbu PCB desek, navázání propojení uvnitř samotného joysticku a integraci jednotlivých technologií. Třetí, závěrečná část se zabývá modelováním výsledného zařízení. Tento postup odpovídá optimálnímu vývojovému procesu pro realizaci celého projektu.

Při návrhu a realizaci projektu bylo nutné čelit několika klíčovým technickým výzvám. Obtížná byla tvorba PCB desek, protože tvůrce může zjistit, zda deska skutečně funguje, až týden nebo dva po vytvoření. Dále byla náročná tvorba 3D modelů, jelikož ne všechny díly mají dobře dostupné 3D modely. Postupovat se tedy někdy muselo metodou pokus omyl – vytvořit díl, vytisknout díl na 3D tiskárně, vyzkoušet díl. Největší technickou výzvou bylo zajištění bezdrátového spojení mezi počítačem a joystickem. Původní plán předpokládal využití externího USB modulu s anténou a mikrokontrolérů typu ATmega. Nejprve se experimentovalo s kombinací dvou Atmega328P, technologie V-USB a modulu NRF24Lo1+, následně pak s mikrokontrolérem Atmega32U4 ve stejném uspořádání. Ani jeden z těchto přístupů nevedl k uspokojivému výsledku, což vedlo k hledání alternativního řešení.

Nakonec bylo rozhodnuto o využití ESP32 a technologie Bluetooth. I přesto, že se toto řešení odklonilo od původního plánu a zadání využití externího USB modulu, ukázalo se být nejen výrazně praktičtější, ale i technologicky jednodušší. Použité technologie jsou podrobněji rozebrány v třetí části dokumentace.

Cílem bylo nejen aplikovat teoretické znalosti v oblasti elektroniky a programování, ale také nabýt nové zkušenosti a dovednosti. Projekt by měl přispět k rozvoji amatérské ovládací techniky a dokázat, že i amatér je schopen vyrobit vlastní elektronické zařízení, aniž by byl závislý na trhu s elektronikou, jenž v oblasti herního průmyslu často nutí uživatele kupovat předražená zařízení s funkcemi, které nemusí přesně vyhovovat jejich potřebám.

Tento projekt je určen primárně pro nenáročné hráče, kterým nevadí si vyrobit produkt dle návodu, nebo se jím inspirovat. Naopak není zaměřen na náročné uživatele vyžadující maximální kvalitu a preciznost, protože zařízení není na úrovni moderní herní elektroniky.

2. Implementace

Při hledání podobných projektů bylo prostudováno mnoho online zdrojů, repozitářů a diskuzních fór, kde nadšenci prezentují své domácí verze herních ovladačů. Naprostá většina těchto projektů spadá do kategorie ovladačů založených na platformě Arduino Micro. Pro realizaci těchto projektů je to v zásadě rozumná volba. Desky s mikrokontrolerem Atmega32U4 (například Arduino Micro či Arduino Leonardo) disponují hardwarovou podporu USB. To umožňuje využití řady existujících knihoven, jako je například oblíbená Arduino Joystick Library od Matthew Heironimus [2] nebo knihovna LUFA od Deana Camera [1], která nepracuje s platformou Arduino, ale přímo s platformou AVR, což jí umožňuje být více efektivní a výrazně více nastavitelnou.

Pro první pokusy však bylo rozhodnuto řešení s čipem ATmega32U4 vynechat. Zprvce byla požadovaná větší kontrola nad implementací USB, což umožňovala knihovna V-USB. Zadruhé se zdálo jako dobrá volba využít modul nRF24Lo1+, u něhož dle informací z fór mívají lidé často problém s kompatibilitou s deskami, které obsahují mikrokontrolér ATmega32U4. Cílem bylo tedy předejít těmto problémům. Dalším významným faktorem byla dostupnost. Mikrokontrolér ATmega32U4 je v porovnání s jinými čipy, jako jsou Atmega328P nebo ESP32, výrazně méně dostupný.

Mezi vyhledanými projekty se mnoho soustředilo pouze na mechanickou část joysticků. Ve srovnání s některými z těchto projektů tento herní joystick vzhledově zaostává, například v porovnání s HOTAS joystickem od uživatele rdbeerman [3]. Jeho design kopíruje vzhled stíhačky F-14 a disponuje vlastním kompaktním gimbalem. Rád bych však zdůraznil, že cílem tohoto projektu nebylo intenzivně se věnovat vzhledové stránce výsledného modelu – cílem bylo se primárně zaměřit primárně zaměřit na elektronickou sestavu. Mým záměrem navíc nebylo replikovat komplexní 3D design HOTAS joysticků, ale vytvořit jednoduchý, robustní a snadno dostupný model, který lze snadno vyrobit s pomocí 3D tiskárny a několika běžně dostupných dílů.

Pokud jde o technologii snímání úhlů, většina projektů (pokud nevyužívá již hotové mini joysticky) používají jednu ze dvou možností. První z nich je snímání úhlu pomocí potenciometrů, což je způsob, který byl zvolen pro tento projekt. Druhou možností je využití senzorů založených na Hallově efektu. Tento způsob se rozhodl využít například vývojář Tom Stanton [4]. Hallovy senzory mají mnoho výhod, mají například schopnost přesně snímat malé úhly, šetří místo a eliminují náchylné pohyblivé části. V tomto projektu byly upřednostněny potenciometry, jelikož bývají obecně robustnější, dostupnější a levnější.

Další projekt, který je vhodné zmínit a porovnat, je bezdrátový joystick od vývojáře taifur [5]. Tento projekt využívá mikrokontrolér ATmega328P s 315Mhz vysílačem na jedné straně a Arduino Micro na straně přijímače. Původně se zdálo, že je volba vysílače nRF24Lo1+ lepší díky nízké latenci, vysoké přenosové hustotě dat a nízké spotřebě energie. Později se však ukázalo, že toto řešení nese své problémy a že změna vysílače na obdobný modul by mohla být jedním z možných řešení. Nakonec však bylo rozhodnuto, že konečné řešení s ESP32 a Bluetooth spojením představuje výhodnější a praktičtější variantu.

Celkově bylo zjištěno, že neexistuje příliš mnoho projektů, které by se zaměřovaly na přesně stejné aspekty jako tento projekt. Projekty se většinou zaměřují pouze na určitý aspekt, a to buď na elektronickou část, nebo pouze na model. Kromě projektu od uživatele "taifur existuje ještě několik projektů, které se pokoušely vytvořit bezdrátový gamepad a to i s pomocí řešení s ESP32, které bylo nakonec zvoleno pro tento projekt. Nicméně se nepodařilo najít projekt, který by pokrýval

komplexnost bezdrátového joysticku, který je navržen v tomto projektu. V tomto ohledu je tento projekt unikátní a snad se mu alespoň částečně podaří zaplnit tuto mezeru.

3. Technická dokumentace

3.1 Software

3.1.1 V-USB

V rámci tohoto projektu bylo rozhodnuto nejprve využít řešení založené na dvou mikrokontrolérech ATmega328P s USB HID komunikací zajištěnou s využitím knihovny V-USB. Jako komunikační modul byl zvolen nRF24Lo1+ s knihovnou nRFLite.

Knihovna V-USB je oproti mnoha jiným AVR USB knihovnám unikátní svým čistě softwarovým řešením. Nepodporuje vyšší rychlosti USB, jako je například USB 2.0 a novější, které zvládá ATmega32U4 díky vestavěnému USB. Na rozdíl od jiných knihoven však umožňuje implementaci USB komunikace i na mikrokontrolérech bez hardwarového USB, jako je ATmega328P. Využívá k tomu pouze standardní GPIO piny, přičemž alespoň jeden z datových pinů (D+ nebo D-) musí být interrupt pin. Knihovna je optimalizována pro nízké nároky na flash paměť i RAM.

Druhá knihovna nRFLite poskytuje jednoduché a efektivní API pro komunikaci pomocí bezdrátového modulu nRF24Lo1. Je navržena tak, aby minimalizovala své nároky na RAM. Oproti rozsáhlejším knihovnám, jako je RF24, je kompaktnější a jednodušší, přičemž stále umožňuje spolehlivý přenos dat mezi zařízeními. Knihovna využívá SPI rozhraní pro komunikaci s nRF24Lo1 a podporuje základní nastavení adres, kanálů a přenosových režimů, které je omezenější oproti RF24, ale pro tento projekt bohatě dostačující. Jelikož je knihovna nRFLite závislá na platformě Arduino, musely být soubory Arduino-core zařazeny do projektu.

Pro kompilaci byly použity nástroje avr-gcc a avr-g++, finální firmware byl nahráván pomocí programu avrdude s pomocí programátoru UBSasp.

Výběr těchto knihoven se z počátku zdál atraktivní z několika důvodů. Zaprvé umožnil velkou kontrolu nad USB komunikací, protože použitím V-USB bylo možné upravovat mnoho nastavení, jako USB deskriptor a reporty. Další významnou výhodou byl fakt, že ATmega328P je velmi dostupný a cenově nenáročný čip.

Bohužel při vývoji bylo objeveno několik zásadních technických problémů, které vyplývaly především z náročnosti časování. V implementaci V-USB na platformě ATmega328P je totiž kritické dodržení časových limitů, a i malé odchylky vedly ke kolizím v USB komunikaci.

Velký problém tedy představovala integrace bezdrátového modulu pomocí knihovny nRFLite. Ukázalo se, že nRFLite je velmi citlivá na přesné časování. Kombinace přísných časových požadavků V-USB a nRFLite znamenala, že čip ATmega328P musel najednou zvládat dvě časově náročné úlohy, což vedlo k selháním. Přes pokusy upravit nRFLite knihovnu, aby ulehčila funkci V-USB skrz opakované poolování v některých částech jejího kódu s delšími čekacími intervaly, se nepodařilo kolize eliminovat. Hlavní problém pravděpodobně spočíval v interruptech, které V-USB používá – mikrokontrolér nedokázal spolehlivě obsloužit obě úlohy najednou.

Nakonec byla práce na tomto řešení ukončena, jelikož čip ATmega328P s V-USB a nRFLite nebylo možné považovat za dostatečně spolehlivý na to, aby bylo možné předpokládat postupné vyřešení

tohoto problému. Přesto toto řešení dalo projektu cenné zkušenosti, zejména v oblasti implementace USB komunikace na ATmega mikrokontrolérech.

3.1.2 32U4

Další fáze projektu se zaměřila na využití mikrokontroléru ATmega32U4 ve spojení s knihovnou LUFA a modulem nRF24l01+ na straně přijímače. Vysílač v joysticku založený na ATmega328P mohl zůstat stejný. Využití ATmega32U4 přináší několik potenciálních výhod, hlavně nativní hardwarovou podporu USB, která umožňuje použití rychlejší USB 2.0 při plné rychlosti, a to bez zbytečné zátěže čipu. Knihovna LUFA, což je open-source framework pro vývoj USB zařízení na platformě AVR, nabízí sadu nástrojů pro implementaci USB komunikace, včetně podpory vlastních USB deskriptorů a reportů, čímž umožňuje precizní definici chování zařízení.

V rámci tohoto řešení byl opět zvolen modul nRF24l01+ jako modul pro bezdrátovou komunikaci. Přestože se spolehlivě osvědčil na deskách s ATmega328P, při přechodu na ATmega32U4 se vyskytly problémy s komunikací a to i při využití stejného programu. Při testech prováděných v prostředí Arduino IDE bylo opakovaně zjištěno, že mikrokontrolér někdy neodesílal ani základní zprávy přes sériový port, pokud byl program obsahující knihovny pro nRF24 načten. Další pokusy, realizované mimo prostředí Arduino IDE s využitím pouze Arduino-core a knihovny nRFLite ukázaly, že zařízení po odeslání několika paketů během několika sekund začalo hlásit chyby při přenosu dat. Je vhodné zmínit, že testy byly prováděny na desce Arduino Leonardo, jelikož varianta ATmega32U4-PU není dostupná. Pro kompilaci bylo zase použito nástrojů avr-gcc a avr-g++ a pro nahrávání program avrdude s programátorem USBasp.

Hledání ohniska problému je zde poněkud složitější. Potíže je možné vysvětlit několika způsoby. Hardwarové rozdíly mezi ATmega328P a ATmega32U4 mohou mít vliv na zpracování časově kritických operací – zatímco ATmega328P byla schopna spolehlivě zvládat náročné časování potřebné pro obsluhu jak V-USB, tak modulů nRF24l01+, ATmega32U4 má odlišné mechanismy přerušení a časování, což mohlo vést ke konfliktům při komunikaci s modulem. Také není vyloučeno, že byl problém ve špatné konfiguraci knihoven na čipu ATmega32U4 a další testování by vedlo k jejich úspěšnému zprovoznění.

Jelikož se řešení ukázalo jako problematické a nedosáhlo požadované stability bezdrátové komunikace, v důsledku těchto pokusů bylo rozhodnuto hledat jiné řešení. I přesto, že tato fáze projektu byla neúspěšná, ukázala, že při implementaci USB zařízení ve spojení s bezdrátovou komunikací je třeba brát v úvahu specifické hardwarové rozdíly mezi mikrokontroléry.

3.1.3 ESP32S3

Poslední fáze softwarového řešení se zaměřila na přechod z mikrokontrolérů ATmega na čip ESP32, konkrétně variantu ESP32S3, která umožňuje přímé bezdrátové spojení s počítačem – prostřednictvím Bluetooth. Tento přístup eliminuje nutnost použití samostatného externího modulu pro příjem dat z joysticku, čímž se výrazně zjednodušuje hardware a snižuje celková složitost systému. Integrovaná podpora Bluetooth u ESP32S3 přináší požadovanou bezdrátovou konektivitu a umožňuje efektivní komunikaci bez nutnosti dodatečných komponentů.

Pro implementaci Bluetooth komunikace byla využita knihovna ESP32-BLE-Gamepad vývojáře lem-

mingDev, která je dostupná na GitHubu. Tato knihovna umožňuje, aby čip ESP32 vystupoval jako standardní HID gamepad. I když tato knihovna neposkytuje tak detailní kontrolu nad komunikací jako řešení založená na V-USB, výrazně zjednodušuje vývojový proces a umožňuje rychlé prototypování funkčního zařízení. Díky tomuto přístupu se podařilo zkrátit dobu vývoje a snížit nároky na detailní konfiguraci komunikace.

Při implementaci bylo nutné čelit také problémům spojeným s kompatibilitou HID zařízení mezi operačními systémy. Zatímco systémy založené na Linuxu disponují univerzálním ovladačem, který umožňuje snadné rozpoznávání a konfiguraci vstupních zařízení, operační systém Windows využívá rozhraní XInput optimalizované pro herní ovladače. Tento přístup vede k situacím, kdy Windows nemusí akceptovat některé konfigurace vstupů, jež jsou bez problémů rozpoznány v Linuxu. Rozdílné způsoby zpracování HID protokolu mezi těmito systémy tak představovaly významnou výzvu, kterou bylo třeba řešit úpravou konfigurací pro zajištění správné funkčnosti na obou platformách.

Původně se o ESP32S3 přemýšlelo jako o zařízení, které má hardwarovou podporu USB. Zároveň má podporu knihoven pro modul nRF24l01+, jako nRFLite nebo RF24. To z něj dělalo ideálního kandidáta pro další pokusy. Po uvážení se zdálo zbytečné použít ESP32S3 tímto způsobem, jelikož lze podobných výsledků dosáhnout využitím schopnosti ESP32 využívat Bluetooth, což eliminuje potřebu mít systém s dvěma deskami.

Celkově lze říci, že přechod na řešení s ESP32S3 a využití knihovny ESP32-BLE-Gamepad je efektivnější, jednodušší, ale i levnější. Nevyužití komunikačního modulu jako nRF24l01+ dělá systém spolehlivější a snižuje latenci.

Co se týče samotného finálního programu, ten je ve výsledku relativně jednoduchý. Skládá se z dvou hlavních funkcí a to `getAxis` a `setButtons`. `setButtons` se stará o zajištění stavu tlačítek společně se systémem přepínacího tlačítka. Funkce `getAxis` se stará a správné přečtení os a to i v případě změněného úhlu potenciometru. Zároveň se stará o řešení nulové zóny joysticku a digitální zjemňování výchylek při měření.

3.2 Hardware

Co se týče sekce s hardwarem, myslím, že je vhodné ji rozdělit na tři sekce. První se bude zabývat designem elektrické sítě v joysticku, druhá popíše použité ovládací prvky a třetí se bude podrobněji zabírat designem navržených a vyrobených desek. Návrh a výroba hardwaru byla nejnáročnější částí tohoto projektu.

3.2.1 Napájení

Pro správné fungování joysticku musela být správně navržena napájecí síť. Pro napájení jsou využity dvě tužkové AAA baterie, které jsou díky svým malým rozměrům vhodnější než standardní AA články. U baterií celá napájecí síť začíná. Jsou připojeny k step-up měniči MT3608. Tento modul zvyšuje napětí z baterií na úroveň, kterou následně stabilizuje regulátor TS1117 na 3.3V. Původně bylo v plánu využít klasičtější AMS1117, ale v důsledku komplikací s dodavatelským řetězcem bylo řešení přepracováno a zvolen byl TS1117, který se od AMS1117 neliší zásadně.

Mezi MT3608 a bateriemi je integrován přepínač, který umožňuje úplné odpojení napájení celého joysticku. Na měniči MT3608 jsou dle doporučení napájeny dva 100nF kondenzátory na vstupu a výstupu pro redukci šumu. Ze zdroje MT3608 vedou napájecí dráty do centrální řídicí desky, odkud je napětí sníženo na 3.3V pomocí regulátoru TS1117 a následně distribuováno do zbytku joysticku. Tento přístup zaručuje, že všechny části zařízení dostávají stabilní a konzistentní napětí, což je klíčové pro správnou funkci ovládacích prvků, které využívají děliče napětí. Centralizované rozvedení napájení z řídicí desky navíc usnadňuje údržbu a případné budoucí úpravy systému, což je zvláště výhodné pro tento manuálně vyráběný projekt.

Původní návrhy desek, které měly být napájeny pomocí USB, využívaly stejného lineárního regulátoru. To bylo výhodné kvůli menšímu počtu různých dílů v soustavě, což zjednodušovalo celý výrobní proces.

3.2.2 Ovládací prvky

V tomto projektu je použita kombinace šesti tlačítek typu KLS7-P8.0X8.0B a malého joysticku KY-023, přičemž ovládací prvky jsou uspořádány do několika funkčních skupin. Na horní ovládací liště se nachází malý joystick spolu se čtyřmi tlačítky, což zajišťuje hlavní interakci uživatele se zařízením. Dále je jedno tlačítko umístěno pod horní částí joysticku, kde slouží například pro akce jako střelba, a jedno tlačítko je umístěno na boku joysticku – funguje jako přepínač sady tlačítek. Díky tomuto uspořádání bude finální implementace generovat až deset signálů místo původních šesti, což výrazně rozšiřuje možnosti ovládání.

Tlačítka KLS7-P8.0X8.0B byla zvolena především pro jejich dostatečnou velikost, která zajišťuje jejich použití bez nutnosti navrhovat vlastní PCB desku pro ovládací prvky na horní liště. Mini joystick KY-023, který původně sloužil pouze jako prototyp pro testování, se nakonec stal součástí finálního designu. Je určen jako pomocný ovládací prvek k dvěma hlavním ovládacím osám, jejichž funkčnost je zajištěna s pomocí dvou potenciometrů. Tyto potenciometry fungují jako děliče napětí. Jejich výstup měří kontroler na deskách a určuje úhel. Malý joystick KY-023 přichází s vlastním tlačítkem, které je integrováno do jeho designu. To ale v tomto projektu nebylo využito. Tomu tak je primárně kvůli tomu, že se původně počítalo s jiným malým joystickem, který toto tlačítko neměl.

V příští verzi projektu by mohlo být výhodné nahradit joystick KY-023 plošným joystickem, který využívají příruční herní konzole jako nebo Nintendo Switch nebo PSP. Takové řešení by bylo prostorově méně náročné a pro uživatele by mohlo být příjemnější.

3.2.3 PCB desky

V rámci návrhu PCB desek byly vyvinuty čtyři varianty. Dvě desky měly původně sloužit jako přijímače, které se připojují k počítači s pomocí USB, zatímco další dvě měly být použity v joysticku jako vysílače. Počáteční verze desek, které měly být připojeny k počítači, nefugovaly dle očekávání kvůli problémům s vysílačem nRF24l01+. Z tohoto důvodu byla navržena a vyrobena čtvrtá deska s platformou ESP32S3, která umožňuje bezdrátové připojení k počítači bez externího modulu s anténou a to prostřednictvím Bluetooth.

Z celkového počtu čtyř navržených desek byly úspěšně vyrobeny tři. Funkčnost desky s ESP32S3 byla potvrzena a využívá se ve vyrobeném prototypu. Původní deska, která měla být v joysticku,

vyrobena byla, ale dosud nebyla testována, nicméně by měla fungovat dle očekávání. Pro tento projekt ale již není relevantní.

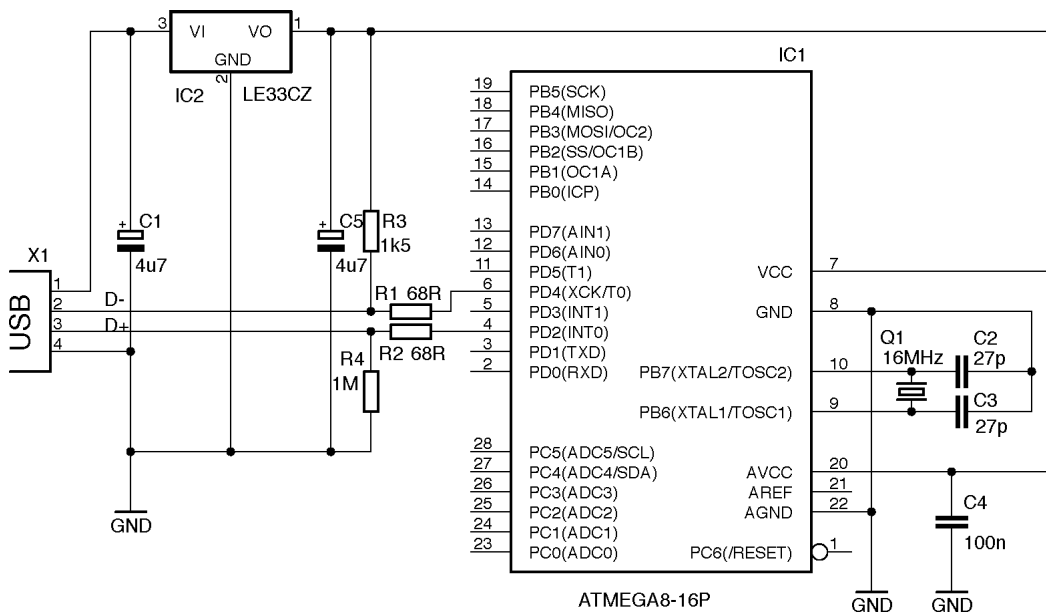
Přijímací deska s Atmega328P

Navrhovaná přijímací deska s mikrokontrolérem Atmega328p nebyla nakonec dokončena ani vyrobena, jelikož se ukázalo, že kombinace technologie V-USB a modulu nRF24 nefunguje. K dokončení desky by bylo třeba změnit oscilátor na 12MHz z 16MHz a dodat několik 100n filtračních kondenzátorů k napájecím pinům mikrokontroleru a případně ICSP konektor.

V-USB totiž vyžaduje minimální frekvenci čipu alespoň 12 MHz, což by mělo být řešeno použitím externího 12 MHz krystalu. Vyšší frekvence by neměly být zvoleny, protože mikrokontroler je napájený stabilizovaným napětím 3.3 V, přičemž výrobce zaručuje stabilní fungování čipu pouze do 12 MHz při tomto napětí. Deska je tímto napájena, jelikož USB data piny fungují na napětí 3.3V a při stejném napájecím napětí funguje modul nRF24l01.

Deska je dále vybavena USB A konektorem, který je zapojen dle doporučení dokumentace V-USB (obr. 3.1). Pro účely bezdrátové komunikace je integrován modul nRF24.

Změny nakonec nebyly na desce provedeny, jelikož se upustilo od využití tohoto řešení a zdálo se zbytečné tuto nefunkční koncepci opravovat.



Obrázek 3.1: popis zapojení USB s pomocí regulátoru napětí dle dokumentace V-USB

Vysílací deska s Atmega328P

Původní deska určená pro joystick byla navržena pro snímání stavu tlačítek, malého joysticku KY-023 a dvou potenciometrů a následný přenos těchto dat transceiverem nRF24l01+. Deska využívá mikrokontrolér Atmega328P. Jako clock signál je využit interní oscilátor s frekvencí 8 MHz.

Deska disponuje pěti 2-pinovými JST-XH konektory a dvěma 4-pinovými JST-XH konektory, jejichž rozložení odpovídá původnímu designu. Pět 2-pinových konektorů je určeno pro:

- Připojení baterie skrz step-up měnič na desku
- Připojení ovládacích prvků na horní liště hlavy joysticku k zemi a 3.3V
- Přenos signálů z modulu joysticku KY-023
- Přenos signálu z tlačítka číslo 5
- Přenos signálu z tlačítka číslo 6

Co se týče 4-pinových JST-XH konektorů, jeden z nich vede k ovládacím tlačítkům umístěným na horním panelu. Druhý 4-pinový konektor slouží pro propojení s dolními potenciometry, které poskytují analogové signály pro snímání os X a Y, přičemž konektor zároveň zajišťuje napětí 3.3V a společnou zem.

Dále je deska vybavena šesti ICSP header piny (napájení, zem, MOSI, MISO, SCK a RESET), které umožňují programování mikrokontroléru pomocí externího programátoru (například USBasp).

Desky obsahují 4 kondenzátory. Dva z nich – s hodnotou 10 μF – slouží pro filtraci šumu a vyrovňování výkyvů na vstupu a výstupu regulátoru TS1117, další dva – s hodnotou 100 nF – slouží k filtraci vysokofrekvenčního šumu u napájecích pinů mikrokontroléru. Dále deska obsahuje 2 rezistory o hodnotách 470 Ω , které zajišťují správný proud pro LED diody na pinech PD6 a PD7.

Funkčnost prototypu této desky byla ověřena na breadboardu. Poté byla deska vyrobena a manuálně osazena, ale její funkčnost nebyla otestována, jelikož vývoj této desky nebyl později již prioritou. Předpokládá se, že navržené řešení by mělo být funkční a fungovat tak, jak bylo navrženo.

Přijímací deska s Atmega32u4

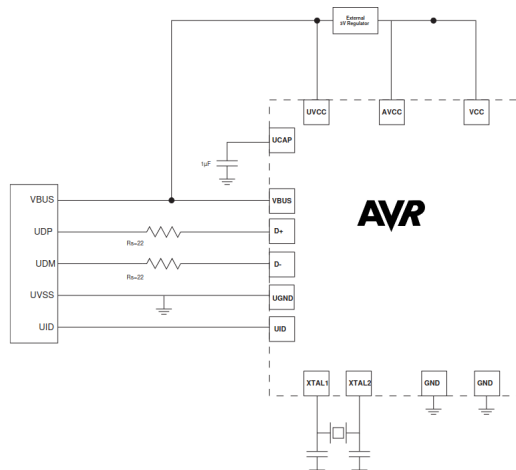
Účel této desky byl přijímat data z joystick zařízení a dále posílat tato data do počítače s pomocí USB HID.

Deska je navržena podle datasheetu mikrokontroléru Atmega32u4 (obr. 3.2). Funkčnost USB je zajištěna použitím hardwarové podpory USB na čipu. To lze využít pomocí propojení pinů určených pro USB komunikaci. Mezi datovými piny USB je začleněn rezistor o hodnotě 22 Ω . Pro stabilizaci napájení je na USB A konektoru umístěn filtrační kondenzátor o hodnotě 10 μF mezi napěťovým vstupem a zemí. Použití tohoto kondenzátoru není vysloveně uvedeno v datasheetu, i přesto se kondenzátory mezi napájecími piny používají pro zmírnění šumu ze zdroje druhého zařízení.

Napájecí část USB je dále zajištěna správným zapojením specifických pinů: piny UVCC a UGND jsou napájecí piny interního 3.3V regulátoru, které zajišťují správnou hodnotu napětí na datových pinech USB, jelikož datové piny mají odlišnou hodnotu napětí od pinů napájecích. Pin UCAP je spojen se zemí pomocí 1 μF kondenzátoru. Na napětí 5V je připojen pin VBUS, který slouží k detekci USB zařízení. Pro ochranu mikrokontroléru před poškozením je na USB A připojen ochranný ESD obvod, který zabráňuje poškození čipu při nebezpečných výchylných napětích.

Mikrokontrolér ATmega32u4 pracuje při napětí 5V a využívá externí krystal o frekvenci 16MHz, který je potřebný pro USB komunikaci při vyšších rychlostech. Pro napájení modulu nRF24l01+, který je připojen prostřednictvím ISP pinů, se používá regulátor TS1117. Ten využívá dvou 10 μF kondenzátorů pro redukci šumu.

Figure 21-4. Typical Bus Powered Application with 3V I/O



Obrázek 3.2: popis zapojení USB v datasheetu ATmega32U4

Na desce jsou dále umístěny dvě LED na pinech PC6 a PC7. Pro zajištění správného proudu pro tyto LED jsou použity rezistory o hodnotě 1 k Ω . Pro vyrovnaní napěťových špiček a odstranění šumu jsou použity čtyři kondenzátory o hodnotě 100 nF v blízkosti využitých napájecích pinů. K programování mikrokontroléru slouží šest programovacích ICSP header pinů (napájení, zem, MOSI, MISO, SCK a RESET).

Deska s ATmega32u4 ve finálním řešení nakonec využita nebyla, jelikož nebylo možné zajistit správné fungování modulu nRF24l01+ s čipem ATmega32u4.

Vysílací deska s ESP32S3

Deska ESP32S3 byla vyvinuta jako náhrada za původní desku s ATmega328P. Deska je navržena tak, aby byla kompatibilní s funkcemi původní desky. Obsahuje stejné konektory, stejný systém distribuce napájení, stejné rozložení děr a podobné rozměry.

Deska disponuje pěti 2-pinovými dvěma 4-pinovými JST-XH konektory. Ty mají úplně stejné funkce jako konektory u původní desky s ATmega328P popsané v předchozí části.

Minimalistický design desky využívá USB podporu kontroleru ESP32S3, což umožňuje programování přímo přes USB bez potřeby použití externího USB-to-UART převodníku. Na desce je dále tlačítko, které propojuje pin GPIO0 se zemí. To se používá pro první programování desky, kdy je třeba, ale se deska manuálně přepla do boot módu.

USB napájení společně s baterií zásobuje TS1117 modul, který stabilizuje napětí na 3.3V. Stabilní napětí na 3.3V následně využívá čip ESP32S3, ale i zbytek zařízení. Rozměry desky byly ponechány podobné původní desce s ATmega328P, aby nevznikla potřeba předělávat již připravený model joysticku.

Na desce jsou také umístěny tři kondenzátory. Dva kondenzátory o hodnotě 10 μ F jsou připojeny u výstupu a vstupu LDO měniče a slouží k filtraci a stabilizaci vstupního a výstupního napětí, dle doporučení datasheetu dílu. Tímto eliminují šum a vyrovnávají výkyvy. Třetí kondenzátor o hodnotě 100 nF je umístěn u napájecího pinu pro filtraci vysokofrekvenčního šumu.

Dále jsou na desce použity dva rezistory o hodnotě 470 Ω . První z nich je připojen k LED indikátoru, která slouží k ulehčení debugování desky. Druhý rezistor je umístěn na pad, na který může být potenciálně připojena extrení LED. Dalším součástí je rezistor o hodnotě 10 k Ω , který je zapojen mezi Enable pin a 3,3V. Toto zapojení zajišťuje stálou funkčnost vnitřního regulátoru. Pokud by na pinu bylo tlačítko, deska by šla jednoduše odpojit od napájení a restartovat. To se ale v tomto případě zdálo nadbytečné. Dále je na desce ponechán volný pad, který lze v budoucnosti využít například k měření napájecího napětí baterie.

3.2.4 Seznam dílů

Kompletní seznam využitých dílů je následující: PCB deska, Espressif Systems ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 WiFi/Bluetooth Modul (přičemž na množství paměti nezáleží, lze použít i varianty s menší pamětí), TSMC TS1117BCW33 RPG SOT223, 2x 470 Ω rezistor 0603, 10k Ω rezistor 0603, 2x 10uF kondenzátor 0603, 100nF kondenzátor 0603, WEALTHMETAL TD-03XA-T mikrospínač (nebo jiný 6mm x 6mm mikrospínač s roztečí 4.5mm na kontaktech), CONNFLY DS1105-06-B60RX konektor micro USB 2.0 (nebo jiný podobný SMD mikro USB konektor), LUCKY LIGHT S192VC-V1-1B LED 0603, červená (či jiný SMD 0603 led dioda s podobnými vlastnostmi), 5x JST-XH konektor samice, 2x JST-XH konektor samice.

3.3 Modely

Pro výrobu joysticku bylo rozhodnuto použít 3D tiskárnu, jelikož to je pro domácí výrobu nejlevnější a nejsnadnější varianta. 3D tiskárnu má dnes doma téměř každý kutil. Lze s ní snadno a rychle prototypovat a předělávat díly. V případě, že by tato technologie nebyla pro uživatele dostupná, existuje řada služeb, které na zakázku levně tisknou a zašlou díly.

Samotný joystick se skládá z dvanácti tištěných dílů. Ty jsou podpovány řadou menších součástek, jako jsou šroubky, matky, ložiska, zavítové tyče, pružiny apod. Tyto díly je vhodné rozdělit na 3 hlavní sekce: na sekci základny, který obstarává většinu mechaniky, na sekci těla, z které se rozvádí veškeré drátování, a na sekci hlavy, na které se nachází ovládací prvky, baterie a hlavní zdroj.

3.3.1 Základna

Základna je část, která obstarává téměř veškerou mechaniku joysticku. Je v ní použito pět z dvanácti navržených dílů. Hlavní a největší díl je díl base.stl, na kterém je položen zbytek joysticku. Tento díl je navržen tak, aby byl schopný spolehlivě udržet i hmotnější objekty. To bylo důležité hlavně z toho důvodu, že na začátku vývoje nebylo ještě možné odhadnout, jak budou vrchní části joysticku vypadat. Bylo třeba tedy navrhnout flexibilní spolehlivé řešení. Tato část v sobě obsahuje otvory na případné připevnění joysticku ke dřevěné desce, pokud se uživateli nezdá samotný joystick dost stabilní (třeba na šikmé ploše). Dále má v sobě na dva otvory na dvě 4mm závitové tyče, které lze bezpečně zajistit s pomocí 4 matek. Tyto tyče slouží k připevnění čtyř tažných pružin, které zajišťují osu Y joysticku ve středové poloze.

Dále jsou na tento díl připevněné dvě jednořadá kuličková ložiska typu 608. Vně těchto ložisek je protažená dutá tyč o průměru 8mm z jedné strany (použil jsem provrtanou 8mm závitovou

tyč) z jedné strany, která je určena k protažení kabelů z potenciometru. Z druhé strany je připevněn samotný potenciometr na dílu `pot_holder_1.stl`, která je k tělu přišroubovaný s pomocí dvou malých samořezných šroubků. K ose otáčení musí být pomocí vyřezané drážky připevněný malý plíšek, aby zajistil otáčení potenciometru.

Na celé základně leží díl, který se otáčí na ose Y. Tento díl je nejsložitější z celého joysticku. Přes něj musí být drát protažen ke straně s druhým potenciometrem, který je přidělaný k tomuto dílu na dílu `pot_holder_2.stl`, který je znovu zajištěný s pomocí dvou malých samořezných šroubků. Dále musí být dráty protažené skrz druhou díru na druhé straně dílu. Tento druhý velký díl také obsahuje dvě čtyřmilimetrové tyče, zajištěné osmi matkami. Ty složí k centrování osy X s pomocí dalších čtyř tažných pružin, které jsou přidělané z druhé strany dílu, který je na tento díl položený, a to `stirrup.stl`. `Stirrup` je přidělaný k dílu osy Y pomocí dalších dvou stejných ložisek a 8mm šroubu. Díl je chráněn před utažením pomocí plíšku, který ale není povinný, ale hodí se k zajištění šroubu v jedné poloze. Stejného efektu by mohlo být dosaženo vhodným lepidlem. Šroub z druhé strany také potřebuje drážku na plíšek, který otáčí potenciometrem. Díl `stirrup` dále obsahuje 4mm závitovou tyč, která je zajištěna pomocí 8 matek (či více pro stabilnější upevnění). Ta slouží k zajištění tažných pružin.

Tato část byla navržena s důrazem na pevnost a robustnost. Je dostatečně flexibilní na to, aby případně mohla být použita jako základna joysticku jiného projektu.

3.3.2 Tělo

Tato část je navržena tak, aby v ní byla uchována hlavní PCB deska, která se používá v tomto projektu. Je tvořena ze dvou dílů. První díl, `body.stl`, je hlavní strukturní díl této části. Druhý díl, `body_cover.stl`, pro tento díl slouží jako víčko. Díl `body.stl` obsahuje dvě hlavní díry na kabely. První díra je ze shora dílu, vede jí naprostá většina kabelů, které přichází k desce. Proto je její otvor velikostně naddimenzován. Doporučení při skládání je buď si kabely nakrimpovat na JST-XH konektory až na konci skládání joysticku, nebo si hotové kabely protáhnout před spojením. Druhá díra slouží k protáhnutí kabelů připojených na potenciometry. Dále je v dílu malý otvor, který by šel použít pro externí led diodu.

Díl je přidělaný k podstavě s pomocí šroubu a matky M8. Hlava joysticku k tomuto dílu přidělaná pomocí kolejnice a malého samořezného šroubku. Víčko je k tomuto dílu přidělané pomocí čtyř samořezných šroubků. Pro pohodlí ruky je vhodné použít šroubky s plochou hlavou.

Tato část byla navržena tak, aby se do ní vešla nejen deska, ale i množství napojených kabelů a to i s nepředvídatelným přebytkem při finálním skládání.

3.3.3 Hlava

Poslední část je sestavena třemi díly. Hlavní a největší díl je díl `head.stl`. Ten je navržený tak, aby v sobě obsahoval většinu spojů, včetně svorkovnice a poměrně objemného step-up měniče MT3608. Zároveň se na dílu nachází pět z šesti použitých tlačítek KLS7-P8.oX8.oB a joystick KY-023, který je zajištěný samostatným dílem `mini_joystick_holder.stl`. S tímto dílem se nepracovalo dobře, jelikož rozměry KY-023 nejsou dostatečně upřesněny. Na tomto modulu je pramálo symetrického, tudíž

bylo potřeba zkoušet několik pokusů a hodně přeměřovat. Při koupi tohoto modulu doporučuji zkontrolovat, jestli přesně pasuje hlava joysticku, jelikož odhaduji, že někdy může mít jiné rozměry.

Poslední díl, který je na hlavě joysticku, je díl `head-cover.stl`. Ten obsahuje BH-421-3A držák baterií na 2 tužkové AAA baterie. Dále je na modulu kolébkový spínač SMRS-101-1C3-B, ke kterému je připojen jeden pól baterií. Dále jsou dráty napojené na step-up měnič. Na tomto dílu se zároveň nachází poslední, šesté, tlačítko. Díl se dá jednoduše zajistit s pomocí dvou zácvaků na spodní straně dílu a v případě potřeby i šroubem na horní straně hlavy. Všechna tlačítka, včetně joysticku a dílu `mini_joystick_holder.stl`, jsou navržena tak, aby šla jednoduše s trochou opatrnosti z joysticku ručně či kleštěmi vysunout. Díly se takto nejen snadno montují, ale jdou i snadno opravit, či vyměnit.

3.4 Návod

Použití herního joysticku by mělo být docela jednoduché. Nejprve je třeba ověřit, že zařízení, ke kterému chceme joystick připojit, disponuje technologií Bluetooth a je schopné používat Bluetooth HID.

Dále je třeba si ověřit operační systém počítače, ke kterému se joystick připojuje. Joystick by měl spolehlivě fungovat na systémech s operačním systémem GNU/Linux. Systém by neměl mít příliš zastaralý kernel, ale pokud to nebude v rámci několika let, tak by to neměl být velký problém. Joystick byl spolehlivě testován na distribuci Manjaro. Dále by měl systém fungovat na systémech Windows 10 a Windows 11. Na nich je třeba ověřit, že jsou na zařízení nainstalované ovladače DirectX a to od verze devět, která obsahují balíčky `xinput1_3.dll` a novější `xinput1_4.dll`.

Po této kontrole je obsluha joysticku již jednoduchá:

1. Ověřit si, že jsou v joysticku dvě AAA baterie.
2. Zapnout joystick přepínačem na zadní části dílu `head_cover.stl`
3. Najít zařízení s názvem Flight Stick mezi dostupnými zařízeními.

Připojení joysticku a funkce joysticku lze na systému GNU/Linux ověřit pomocí nástroje *evtest*. Na systému Windows 10 lze připojení ověřit v nastavení *zařízení a tiskárny*, které se nachází v ovládacím panelu.

Pro rychlé testování stavu os a tlačítek lze využít na obou platformách stránku <https://hardwaretester.com/gamepad>.

Zařízení by mělo být ve službě Steam viditelné v nastavení jako `to116` a mělo by jít jednoduše nastavit ve funkci Steam Input pro většinu videoher. Pro videohry, které řeší zacházení s herními ovladači samy, doporučuji ve službě Steam funkci Steam Input vypnout.

Gamepad byl úspěšně testován na videohře Arma III a ve videohře Broforce.

Závěr

Projekt se zaměřil na návrh a realizaci bezdrátového herního joysticku, který funguje jako HID zařízení a je určen pro domácí výrobu. Výroba takového joysticku vyžadovala vytvořit návrh soustavy elektronických zařízení, jako jsou ovládací prvky a napájení. Vytvořit PCB desku s vhodným mikrokontrolerem a sepsat k němu vhodný program a vymyslet finální mechaniku joysticku a jeho vzhled. Dále byla součástí práce nemálo náročná sestava těchto prvků do finálního produktu.

V rámci projektu byly splněny hlavní cíle, jako je vývoj funkčního ovládacího rozhraní, vytvoření funkční elektronické soustavy a vytvoření vhodné PCB desky a také zajištění bezdrátového spojení s počítačem. Na druhou stranu se projekt odklonil od cíle vytvořit externí USB zařízení s přijímačem. Řešení založené na ESP32S3 s pomocí Bluetooth HID se přeci odklonilo od původního plánu, ale prokázalo se jako funkčnější, praktičtější a efektivnější, než původní návrh. Zároveň také snížilo cenu výroby.

Rovněž sestava podstavy joysticku nedosáhla očekávané jednoduchosti, což naznačuje prostor pro budoucí zlepšení mechanického designu. Nyní tato část obsahuje některé prvky, které je třeba vyrobít složitěji doma, jako plíšky napojené na potenciometry. To nic nemění na to, že je základna robustní a její sestava není příliš složitá.

Finální produkt také dle mých cílů není příliš nákladný a ostatní části joysticku jsou na sestavení ještě výrazně jednodušší, než základna.

Joystick by šel nadále vylepšit třeba přidáním děliče napětí na desku, což by zajistilo bezpečné čtení hodnoty výstupního napětí na bateriích. Dále by stálo za to přidat externí LED indikátor pro zjištění stavu joysticku. Co se týče softwaru, řešení je nyní docela jednoduché. Šlo by přidat funkce pro například vypnutí joysticku při neaktivitě. Knihovna ESP32-BLE-Gamepad umožňuje také posílání dat z počítače do joysticku, což by šlo využít k jednoduché změně nastavení, která nyní nelze dělat jinak, než přeprogramovat chip.

Seznam použité literatury

- [Cam25] Dean Camera. *LUFA - the Lightweight USB Framework for AVR*s. Accessed: 2025-03-03. 2025. URL: <https://github.com/abcminiuser/lufa>.
- [Hei25] Matthew Heironimus. *Arduino Joystick Library*. Accessed: 2025-03-03. 2025. URL: <https://github.com/MHeironimus/ArduinoJoystickLibrary>.
- [rdb25] rdbeerman. *Joystick-Gimbal*. Accessed: 2025-03-03. 2025. URL: <https://github.com/rdbeerman/Joystick-Gimbal>.
- [Sta25] Tom Stanton. *Tom Stanton Engineering*. Accessed: 2025-03-03. 2025. URL: <https://www.youtube.com/tomstantonengineering>.
- [tai25] taifur. *DIY Wireless Joystick (Wireless Gaming)*. Accessed: 2025-03-03. 2025. URL: <https://www.instructables.com/DIY-Wireless-Joystick-Wireless-Gaming/>.

Seznam obrázků

3.1	popis zapojení USB s pomocí regulátoru napětí dle dokumentace V-USB	11
3.2	popis zapojení USB v datasheetu ATmega32U4	13