

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

Šachové hodiny se vzdálenou správou

Lukáš Doležel

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý
Květen 2020

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Tomáši Teplému za odborné konzultace a zpětnou vazbu při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale i po celou dobu mého studia. Zejména bych rád poděkoval svému otci panu Petru Doleželovi za pomoc při návrhu a sestavení krabiček šachových hodin. Na závěr bych rád poděkoval své přítelkyni slečně Karolíně Hruškové za podporu a pomoc při návrhu značení tlačítek a symbolů na displejích.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 11. května 2020

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací šachových hodin s možností řízení přes bezdrátové rozhraní Wi-Fi. Dále se tato práce zabývá vyzkoušením daného návrhu v praxi, který splňuje šachová pravidla. Realizace je provedena s využitím mikrokontrolérové desky „Wemos D1 mini“ doplněného integrovaným obvodem pro rozšíření počtu vstupně-výstupních pinů. Řízení je možné pomocí dotykových tlačítek, která slouží mimo jiné například k předávání tahu mezi hráči, nebo je řízení možné například z PC pomocí rozhraní Wi-Fi. Psaní kódu programu probíhá v prostředí Arduino IDE.

Klíčová slova: šachové hodiny, mikrokontrolérová deska, Wi-Fi, dotekové tlačítko, Wemos D1 mini, Arduino IDE

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Abstract

This thesis deals with the design and realization of a chess clock with the possibility of control via Wi-Fi wireless interface. Furthermore, this thesis deals with testing the design in practice that satisfies chess rules. The realization is performed using a microcontroller board

"Wemos D1 mini" that is combined with an integrated circuit to increase the number of the input-output pins. Controlling is realized by touch buttons which are also for taking turns between players, or controlling is possible, for example, from a PC by Wi-Fi interface. The program code is written in the Arduino IDE environment.

Keywords: chess clock, microcontroller board, Wi-Fi, touch button, Wemos D1 mini, Arduino IDE

Title translation: Chess Clock with Remote Administration

Obsah

Seznam použitých zkratek	1		
1 Úvod	3		
2 Teoretická část	5		
2.1 Pravidla šachu vztahující se ke specifikaci šachových hodin	5		
2.2 Modely šachových hodin používané v současnosti	6		
2.3 Funkce šachových hodin	8		
2.4 Návrh blokového schématu	9		
2.5 Výběr komponent	10		
2.5.1 Mikrokontrolér	10		
2.5.2 I/O expandér	12		
2.5.3 Externí A/D převodník	13		
2.5.4 Výběr součástky pro senzor osvětlení	14		
2.5.5 LED	15		
2.5.6 Výběr spínacího tranzistoru	15		
2.5.7 Napájení	16		
2.5.8 DC-DC měnič	19		
2.5.9 Převodník logických úrovní	20		
2.5.10 Displeje	21		
2.6 Princip kapacitního dotykového tlačítka	23		
2.7 Sériové sběrnice	24		
2.7.1 I ² C sběrnice	24		
2.7.2 SPI sběrnice	25		
2.7.3 Krátké srovnání I ² C a SPI sběrnice	26		
3 Praktická část	27		
3.1 Zapojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky a I/O expandéru s periferiemi	27		
3.1.1 Zapojení pinů mikrokontrolérové desky hodin se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem	28		
3.1.2 Zapojení pinů mikrokontrolérové desky hodin s maticovými displeji	28		
3.1.3 Zapojení pinů I/O expandéru	29		
3.2 Návrh desek plošných spojů	30		
3.2.1 Návrh senzoru osvětlení	30		
3.2.2 Návrh centrálního panelu s dotykovými tlačítky	31		
3.2.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED	34		
3.2.4 Návrh modulů maticového displeje	35		
3.3 Návrh základových desek	36		
3.4 Návrh krabičky a umístění modulů	37		
3.5 Naprogramování hodin	39		
3.6 Měření odběru šachových hodin	41		
3.6.1 Šachové hodiny s OLED displejem a dvěma sedmissegmentovými displeji	41		
3.6.2 Šachové hodiny s maticovými displeji	42		
3.7 Komunikace mezi zařízeními a PC	44		
3.7.1 Síťová topologie	44		
3.7.2 Vizualizace HTML stránky	45		
3.8 Ekonomické náklady na prototyp	46		
3.8.1 Prototyp se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem	46		
3.8.2 Prototyp s maticovými displeji	47		
3.8.3 Shrnutí nákladů	47		
3.9 Průzkum mezi hráči	47		
3.10 Shrnutí problémů během vývoje šachových hodin a možná vylepšení	48		
3.10.1 Shrnutí problémů během vývoje a jejich řešení	48		
3.10.2 Možná vylepšení	49		
4 Závěr	51		
Literatura	53		
Přílohy	57		
Příloha A: Manuál k použití šachových hodin	57		
Příloha B: Dotazník pro hráče šachu	64		
Příloha C: Další fotografie funkčních šachových hodin	67		
Příloha D: Návrhy desek plošných spojů a základových desek	73		

Obrázky

2.1 Ciferníkové šachové hodiny [2]. . .	6	2.22 Zapojení zařízení na I ² C sběrnici – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.	25
2.2 Digitální šachové hodiny, model DGT 2010 [3].	7	2.23 Zapojení zařízení na SPI sběrnici – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.	25
2.3 Digitální šachové hodiny, model DGT 3000 [4].	7	2.24 Zapojení „daisy chain“ na SPI sběrnici – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.	26
2.4 Základní blokové schéma zapojení hodin – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.	9	3.1 Schéma zapojení senzoru osvětlení s A/D převodníkem – převzato z programu KiCad.	30
2.5 Blokové schéma vnitřního zapojení mikrokontroléru [5].	10	3.2 Výsledný modul senzoru osvětlení – horní část vlevo a spodní část vpravo – vlastní foto.	31
2.6 Mikrokontrolérová deska Wemos D1 mini – vlastní foto.	11	3.3 Zakoupený modul se 4 tlačítky – vlastní foto.	32
2.7 Mikrokontrolérová deska s čipem ESP32 – vlastní foto.	12	3.4 Schéma centrálního panelu s tlačítky – převzato z programu KiCad.	32
2.8 Modul s I/O expandérem MCP23017 – vlastní foto.	13	3.5 Testovací DPS s centrálním panelem a hráčským modulem – vlastní foto.	33
2.9 Možné LED o průměru 10 mm pro použití – vlastní foto.	15	3.6 Výsledný modul centrálního panelu s tlačítky – horní část vlevo a spodní část vpravo – vlastní foto.	33
2.10 Základní blokové schéma zapojení napájení s doplněním spojení do bloku s mikrokontrolérovou deskou – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.	16	3.7 Schéma zapojení kapacitního tlačítka pro hráče a informační LED (bez vyznačení dané dotykové plochy, která je v obvodu zapojena na vstup SE_IN integrovaného obvodu) – převzato z programu KiCad.	34
2.11 Battery shield pro Wemos D1 mini – vlastní foto.	17	3.8 Výsledný modul hráčského tlačítka s vodiči vyvedenými pro indikační LED – vlastní foto.	35
2.12 Li-ion baterie použitá v zapojení – vlastní foto.	18	3.9 Schéma zapojení modulu s jedním maticovým displejem (řídící část vlevo a displejová část vpravo) – převzato z programu KiCad.	35
2.13 Modul s TP4056 s ochrannými obvody – vlastní foto.	18	3.10 Výsledný maticový displej s rozlišením 64 × 8 bodů (vlevo) a jednotlivé moduly o rozlišení 8 × 8 bodů (vpravo) – vlastní foto.	36
2.14 Schéma zapojení modulu s TP4056 a ochrannými obvody [22].	19	3.11 Hrubý nákres krabičky s orientačními délkami hran.	37
2.15 Výsledné zapojení nabíjecího obvodu bez ochranných obvodů [24].	19		
2.16 Step-up měnič na 5 V – vlastní foto.	20		
2.17 Zapojení převodníku logických úrovní [27].	21		
2.18 Použitý modul převodníku logických úrovní – vlastní foto.	21		
2.19 Maticový displej s rozlišením 64 × 8 bodů – vlastní foto.	22		
2.20 Dva sedmisegmentové displeje s OLED displejem v dané konfiguraci – vlastní foto.	23		
2.21 Princip funkce kapacitního dotykového tlačítka [30].	23		

3.12 Spodní část krabičky s umístěnou baterií, USB konektorem, vypínačem a základovými deskami – vlastní foto.	38
3.13 Vrchní část krabičky, prototyp se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem – vlastní foto. .	38
3.14 Výsledné sestavení hodin – vlevo hodiny se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem, vpravo hodiny s maticovými displeji – vlastní foto.	39
3.15 Závislost vstupního proudu na vstupním napětí při různých úrovních jasu u hodin se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem – exportováno z programu LibreOffice Calc.	42
3.16 Závislost vstupního proudu na vstupním napětí při různých úrovních jasu u hodin s maticovými displeji – exportováno z programu LibreOffice Calc.	43
3.17 Vzhled použité HTML stránky pro nastavení hodin a zjišťování stavu hodin.	45
3.18 Hodiny (oba prototypy) připraveny ke hře, nastaveny na režim 1 (2× 5 minut na partii) – vlastní foto. Další foto funkčních hodin viz Přílohu C.	50
4.1 Výsledný návrh plošného spoje senzoru osvětlení, pouze spodní strana – převzato z programu KiCad.	73
4.2 Návrh plošného spoje centrálního panelu s tlačítky (otočeno o 90°) – převzato z programu KiCad.	74
4.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED – převzato z programu KiCad.	75
4.4 Návrh plošného spoje obou částí modulu s maticovým displejem – převzato z programu KiCad.	76
4.5 Základová deska s napájecími obvody, I/O expandérem a dalšími obvody – vlastní foto.	76
4.6 Neúplná základová deska pro hodiny se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem – vlastní foto. .	77
4.7 Kompletní základová deska s napájecími obvody, I/O expandérem a dalšími obvody (bez propojovacích vodičů) – vlastní foto.	77
4.8 Návrh plošného spoje, který byl vyroben – moduly s hráčským tlačítkem a indikační LED, moduly senzoru osvětlení – převzato z programu z KiCad.	78
4.9 Návrh plošného spoje, který byl vyroben – moduly s centrálním panelem s tlačítky (různé varianty, nebyly použity všechny) – převzato z programu z KiCad.	78
4.10 Návrh plošného spoje, který byl vyroben – modul s displejovou částí maticového displeje – převzato z programu z KiCad.	79
4.11 Návrh plošného spoje, který byl vyroben – modul s řídicí částí maticového displeje – převzato z programu z KiCad.	80

Tabulky

3.1 Propojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky s jeho periferiemi v prototypu se sedmisegmentovými displeji a OLED displejem. * přivedeno přes rezistorový dělič napětí	28
3.2 Propojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky s jeho periferiemi v prototypu s maticovými displeji. * přivedeno přes rezistorový dělič napětí	29
3.3 Propojení jednotlivých pinů I/O expandéru MCP23017 s jeho periferiemi (oba typy hodin).	29
3.4 Naměřené hodnoty odebíraného proudu při všech uvedených úrovních jasu.	42
3.5 Naměřené hodnoty odebíraného proudu při všech úrovních jasu.	43
3.6 Celkové náklady na prototyp se sedmisegmentovými displeji a OLED displejem.	46
3.7 Celkové náklady na prototyp smaticovými displeji.	47

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Doležel** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **474710**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Šachové hodiny se vzdálenou správou

Název bakalářské práce anglicky:

Chess Clock with Remote Administration

Pokyny pro vypracování:

Provedte návrh a realizaci elektronických šachových hodin, aby splňovaly všechny požadavky pro použití na šachových turnajích a umožňovaly vzdálenou správu. Pro komunikaci mezi řídicí stanicí (PC, notebook, tablet, ...) použijte některý z běžných bezdrátových komunikačních standardů (WiFi, Bluetooth, Zig-Bee, ...).

Postupujte dle následujících bodů:

- 1) Prostudujte nabídku aktuálně používaných šachových hodin, které splňují parametry pro použití na šachových turnajích a shrňte požadavky, které mají splňovat.
- 2) Provedte návrh vlastního řešení, které bude splňovat požadavky z předchozího bodu a doplňte o bezdrátovou komunikaci s řídicí stanicí.
- 3) Provedte návrh obvodového zapojení a vyberte vhodné součástky a moduly pro realizaci.
- 4) Navrhněte desku plošných spojů a zařízení realizujte.
- 5) Otestujte funkčnost Vašeho řešení.
- 6) Shrňte dosažené výsledky a uveďte srovnání s komerčními výrobky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kernighan, B., W. - Ritchie, D., M.: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno, 2006
- [2] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011
- [3] Yiu, J.: The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors Third Edition, Elsevier, 2014

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Teplý, katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Tomáš Teplý
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Vysvětlivka
tzv.	tak zvaně
např.	například
aj.	a jiné
tj.	to jest
FIDE	Fédération Internationale des Échecs – Mezinárodní šachová federace
μ C	mikrokontrolér
μ P	mikroprocesor
PC	osobní počítač
A/D	analogově-digitální
D/A	digitálně-analogový
DC	stejnoseměrný (napětí, proud, aj.)
AC	střídavý (napětí, proud, aj.)
VCC	kladné napájecí napětí
GND	společný vodič (zem)
SDA	datový vodič I ² C sběrnice
SCL	vodič hodinového signálu I ² C sběrnice
MOSI	Master Out Slave In – datový vodič SPI sběrnice
MISO	Master In Slave Out – datový vodič SPI sběrnice
CLK	Clock – vodič hodinového signálu SPI sběrnice
CS, SS	Chip Select, Slave Select – výběr zařízení SPI sběrnice
DI, DIN	Data In – datový vstup
DO, DOUT	Data Out – datový výstup
GPIO	General-Purpose Input/Output - standardní vstupně-výstupní port
I/O	vstupně-výstupní
HW	hardware, hardwarová
SW	software, softwarově definovaná
DPS	deska plošného spoje

Zkratka	Vysvětlivka
MOSFET	označení pro druh unipolárního tranzistoru
NMOS	MOSFET tranzistor s n-kanálem
PMOS	MOSFET tranzistor s p-kanálem
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTML	Hypertext Markup Language
JSON	JavaScript Object Notation
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport

Kapitola 1

Úvod

V praxi má spousta hráčů šachu problém nastavit šachové hodiny. Je zvykem (nebo bývalo minimálně zvykem), že po partii na turnaji jeden z hráčů nastavil hodiny na daný čas.

V historii se jako první objevily ciferníkové hodiny, které měly dva klasické ciferníky s ručičkami. Tento typ hodin se snadno nastavuje. Později přišla éra digitálních hodin, které se postupně začaly objevovat i na turnajích nižších úrovní. Tyto hodiny se staly běžnou součástí turnajů a dnes se používají častěji než ciferníkové. Hráči, zejména starší, mají problém tyto hodiny nastavit, a tak je musí nastavit jiný hráč, nebo ve většině případů rozhodčí.

Položme si tedy tuto otázku: *Je možné několik šachových hodin v místnosti nastavit na daný čas bez toho, aniž by rozhodčí musel obíhat všechny stoly?* Tato myšlenka mě vedla k tomu, abych zkusil takové hodiny sestavit a poté je vyzkoušel v reálné situaci. Tato problematika mě zaujala i z pohledu hráče, neboť jsem aktivní člen šachového klubu TJ Libina.

Cílem této práce je pokusit se zodpovědět tuto otázku prostřednictvím realizace minimálně jednoho prototypu šachových hodin. V teoretické části budou popsány všechny podklady potřebné k realizaci. Nejdříve budou popsána šachová pravidla vztahující se k šachovým hodinám po technické stránce, poté současné modely hodin, které se používají na turnajích, a popis jejich funkcí. Na tuto sekci naváže samotný popis funkcí, které budou mít šachové hodiny navržené v této práci. Poté se uvedou základní bloková schémata, popis jednotlivých bloků a konkrétně zvolené komponenty. Na závěr této části budou vysvětleny některé principy potřebné pro objasnění některých funkcí.

Praktická část naváže na bloková schémata. Budou uvedena propojení mezi mikrokontrolérovou deskou, I/O expandérem a ostatními perifériemi. Na tuto sekci naváže návrh DPS pro realizaci některých periférií a návrh tzv. základových desek, které ponosou některé obvody, jež by nebylo možné dobře upevnit ke krabičce. Toto je důležité pro další sekci, ve které se řeší umístění modulů v krabičce. Poté bude zmíněn způsob programování hodin. Následuje experiment odběru zařízení při různém napětí baterie. Pak bude uveden způsob komunikace mezi řídicím zařízením (např. PC) a jednotlivými hodinami. Poté bude uvedeno vyhodnocení nákladů na prototyp. Praktickou část uzavře průzkum mezi hráči šachu, budou shrnuty dosažené výsledky a problémy během konstrukce a budou uvedena možná vylepšení.

Kapitola 2

Teoretická část

Na začátku je důležité vědět, kde začít. Nejdříve jsem musel zjistit pravidla šachu, která se váží k šachovým hodinám, neboť toto je velice důležitý krok. Poté jsem musel zjistit, jaké hodiny se v současné době používají. Na základě dostupných modelů jsem vytvořil soubor funkcí, které by měl splňovat také náš prototyp v závislosti na tom, které funkce jsou nutné a které funkce jsou pouze dodatečné.

Odsud můžeme přejít k návrhu blokových schémat a následně podrobnějších schémat. Poté jsem vybral jednotlivé součástky a komponenty. Na závěr této kapitoly je také nutné vysvětlit některé principy, které jsem musel uvažovat při samotném návrhu a které v této práci používám.

2.1 Pravidla šachu vztahující se ke specifikaci šachových hodin

Zde budou uvedena nejdůležitější pravidla šachu, která se vážou k šachovým hodinám. Výchozím textem je anglický originál mezinárodní šachové federace FIDE [1]. Ten definuje šachové hodiny takto v článku 6.1¹ (v překladu):

„Šachové hodiny“ znamenají hodiny se dvěma ciferníky (displeji), které jsou vzájemně propojeny tak, že pouze nejvýše jeden časový odpočet může běžet v jeden okamžik. „Hodiny“ v pravidlech šachu znamenají jeden z těchto ciferníků (displejů). Každý displej má „praporek“. „Pád praporku“ znamená vypršení daného času, který byl hráči přidělen na začátku partie.

Dále [1] uvádí použití hodin vztahující se k samotnému počítání času, nebo k jeho vypršení a dalším náležitostem. Dále pravidla neuvádějí, jestli hodiny musí být na určité straně šachovnice (např. po levici hráče hrajícího bílými kameny), ale že musí být u šachovnice. Také musí být podle těchto pravidel umožněno hráči po dokončení svého tahu stisknout hodiny, tím si zastavit odpočet času a spustit odpočet času protihráči. Tento úkon musí hráč provést stejnou rukou, jakou provedl svůj tah. Dále se tento článek zabývá už přímo používáním hodin ve spojení s pravidly šachu, jako je např. právo pozastavení hodin, v případě, když tzv. „spadl praporek“ a dalšími záležitostmi, které se netýkají přímo technické funkčnosti hodin kromě jejich

¹Viz v literatuře [1] Article 6.

výměny v případě poruchy.

Co z výše uvedeného vyplývá pro samotný návrh šachových hodin? Displeje musí být dobře viditelné. Hráči musí mít možnost snadno zmáčknout tlačítko pro předání tahu. Mělo by být zřejmé, jakým způsobem se hodiny spouští a zastavují. Všechny tyto náležitosti se musí zahrnout do návrhu.

2.2 Modely šachových hodin používané v současnosti

Jak už bylo řečeno v úvodu, v dnešní době se na turnajích používají různé typy hodin. Na lokálních turnajích může člověk přijít do styku s různými hodinami různého stáří.

První v historii byly ciferníkové hodiny, které se objevily už v 19. století [2]. Tyto hodiny obsahují celkem 2 ciferníky. Každý ciferník má pouze hodinovou a minutovou ručičku. Ciferník je obvykle doplněn kolečkem, nebo vnitřním malým ciferníkem, který indikuje případně skutečnost, že hráči běží čas. U čísla 12 se vždy vyskytuje část zvaná *praporek*, který indikuje, že hráči vypršel čas, když „spadl“ z důvodu pohybu velké ručičky při odpočítávání času, viz obrázek 2.1. Z tohoto důvodu se pro hodnoty času menší než jedna hodina nedbalo (a dodnes nedbá) na umístění malé ručičky, v ostatních případech je pro vypršení času nutné, aby obě ručičky byly na čísle 12. Tyto hodiny se nastavují jako klasické ručičkové hodiny, jen pokaždé s dopočtem do celé hodiny, případně s dopočtem do 12 hodin, takže pro nastavení času na hodnotu např. 1 hodiny 30 minut stačí ručičky přesunout do polohy půl jedenácté. Pro zastavení hodin je nutné vyrovnat páčky. Pro spuštění hodin stačí hráči hrající černými kameny stisknout páčku na svojí straně hodin. Hráč, jehož páčka je nahoře, je právě na tahu. Tyto hodiny umožňují pouze odečet času na danou partii.



Obrázek 2.1: Ciferníkové šachové hodiny [2].

V 70. letech 20. století začaly vznikat digitální hodiny [3]. Tyto hodiny mají místo ciferníků displej. U většiny hodin je zachován páčkový systém, který je zde modifikován, ale lze také narazit na hodiny s tlačítky pro hráče

a indikačními světly, které nahrazují tento systém². Páčkový systém na těchto hodinách funguje obdobně jako na ciferníkových hodinách, ale není možné páčky vyrovnat do rovnovážné polohy. Proto se tyto hodiny spouští některým z tlačítek uprostřed v přední části hodin, kterým se také zastavují. Tento způsob dělal dříve zejména starším hráčům obrovské problémy. Dnes je většina hráčů na tento systém zvyklá. Při vypršení času daného hráče se rozsvítí symbol praporku (např. u modelu DGT 2010), nebo jiný symbol (např. znaménko mínus např. u modelu DGT 2000).



Obrázek 2.2: Digitální šachové hodiny, model DGT 2010 [3].

Tyto hodiny kromě funkcí uvedených u ciferníkových hodin jsou schopné přičítat bonusový čas hráči za provedení tahu, rozdělení partie do několika časových úseků, tzv. period, případně jiné časové režimy. Některé dražší modely, zejména z poslední let (např. model DGT 3000) umí komunikovat také s počítačem, ale jen pomocí fyzického („kabelového“) spojení. Tento konkrétní model umí zobrazovat i počet hraných časových úseků v partii. Na turnajích a zápasech nižších úrovní (např. okresní přebor, oblastní přebor³) je tento model k vidění jen velmi vzácně, neboť má také vyšší pořizovací cenu než běžné šachové hodiny.



Obrázek 2.3: Digitální šachové hodiny, model DGT 3000 [4].

Nastavení hodin se provádí pomocí tlačítek umístěných obvykle pod displejem. Zde není oproti hodinám s ciferníky univerzální postup pro nastavení

²Podobný systém je použit při sestavení hodin popsaných v této práci. Systém bude dále upřesněn v praktické části této práce.

³Oblastní přebor je soutěž, která se nachází mezi okresními soutěží (nižší úroveň) a krajskou soutěží (vyšší úroveň).

daných hodin a je nutné si vždy přečíst manuál, ale je tu snaha alespoň u hodin DGT ponechat stejný způsob nastavení a u dalších modelů hodin je nastavení velice podobné.

Prototyp hodin popsaný v této práci se inspiruje digitálními modely šachových hodin, které jsou dnes k dispozici a běžně k vidění na turnajích. Budou mít navíc možnost řízení přes bezdrátové rozhraní Wi-Fi. Tato možnost by se využívala zejména při turnajích. V případě, že Wi-Fi signál nebude přítomný (hodiny nebudou využity při turnaji, ani na turnaji nebude centrální řízení), budou hodiny pracovat jako obyčejné šachové hodiny. Dále budou obsahovat dotyková tlačítka místo mechanických tlačítek. Tyto hodiny budou moci být spuštěny stejně jako výše popsané ciferníkové hodiny, ale způsob zastavování bude stejný jako u digitálních hodin.

2.3 Funkce šachových hodin

Zde bude uveden popis všech funkcí, které hodiny budou vykonávat. Funkce budou uvedeny obecně, neboť se jednotlivé realizace mohou lišit podle typu prototypu. Vychází se ze zmíněných funkcí z předchozí kapitoly 2.2 Modely šachových hodin používané v současnosti.

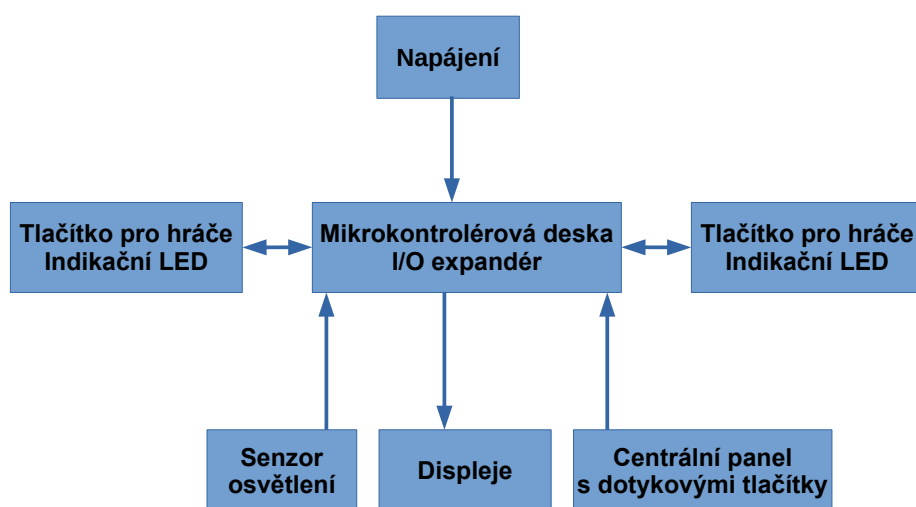
1. Šachové hodiny budou obsahovat režimy nastavení, které jsou nejběžnější pro použití na okresních až krajských úrovních různých soutěží, případně i vyšších soutěží. Váže se k tomu možnost nastavení vlastního času pro oba hráče pro daný režim, např. některé turnaje mají hrací dobu jinou než je standardně předdefinováno v časových režimech hodin.
2. V případě dostupnosti bezdrátového připojení budou hodiny schopny komunikovat např. s PC a odesílat data o stavu hodin, např. čas každého hráče, stav baterie a případně další informace.
3. Šachové hodiny bude možné přenastavit na jakýkoli čas, i když hodiny jsou připraveny ke hře, případně byly již spuštěny a následně zastaveny. Týká se to pouze nastavení aktuálního časového úseku, nikoliv dalších nastavení jako je např. nastavení časového bonusu za provedení tahu.
4. Nastavení, případně přenastavení hodin, pokud jsou hodiny pozastaveny, bude možné provést jak manuálně na hodinách, tak v případě bezdrátového připojení nastavit například z PC. Maximální čas, který bude možné nastavit, je 9 hodin 59 minut 59 sekund pro jednoho hráče.
5. Hodiny zobrazují potřebné informace, zejména čas obou hráčů, ale zprostředkovávají také navigaci v menu při nastavování hodin. Zobrazovaný formát času se bude lišit podle toho, zda hráč má k dispozici alespoň určité minimum času, např. 20 minut. V tomto případě hráč uvidí stav času v hodinách a minutách ve formátu -H:MM (pomlčka zde značí prázdné místo na displeji, např. údaj 1:05). V opačném případě hráč uvidí čas v minutách a sekundách ve formátu MM:SS, nebo MM.SS.

Minuty jsou vždy dvouciferné, tj. hráč uvidí např. údaj 05.36⁴. Pokud jednomu z hráčů vyprší úplně čas (tj. vyprší zbývající zlomek sekundy), nula na místě desítek minut se změní na praporek, hodiny se zastaví a nebude je možné spustit.

6. Hodinám bude možné nastavit jazyk (angličtina, němčina, čeština; možné je uvažovat o dalších jazycích) a bude možné nastavit jas displeje (manuálně, nebo automaticky).
7. Hodiny bude možné snadno nastavit na ten samý čas pro oba hráče, který byl nastaven před prvním spuštěním hodin (tzv. resetování hodin).

2.4 Návrh blokového schématu

V této kapitole bude popsáno základní blokové schéma, ze kterého vychází výběr jednotlivých komponent. Nutno podotknout, že mezi bloky může být několik propojení. Konkrétní propojení budou zmíněna v praktické části v kapitole 3.1 Zapojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky a I/O expandéru s periferiemi. Další informace budou upřesněny u konkrétního schématu.



Obrázek 2.4: Základní blokové schéma zapojení hodin – vlastní náčrt v programu LibreOffice Impress.

Na obrázku 2.4 je uvedeno blokové schéma. Všechny tyto bloky jsou připojeny na společný vodič GND. Schéma zobrazuje základní použité komponenty důležité pro funkčnost hodin. Šipky naznačují směr propojení mezi bloky, případně vzájemnou komunikaci mezi nimi. Popis jednotlivých bloků je uveden v následující kapitole.

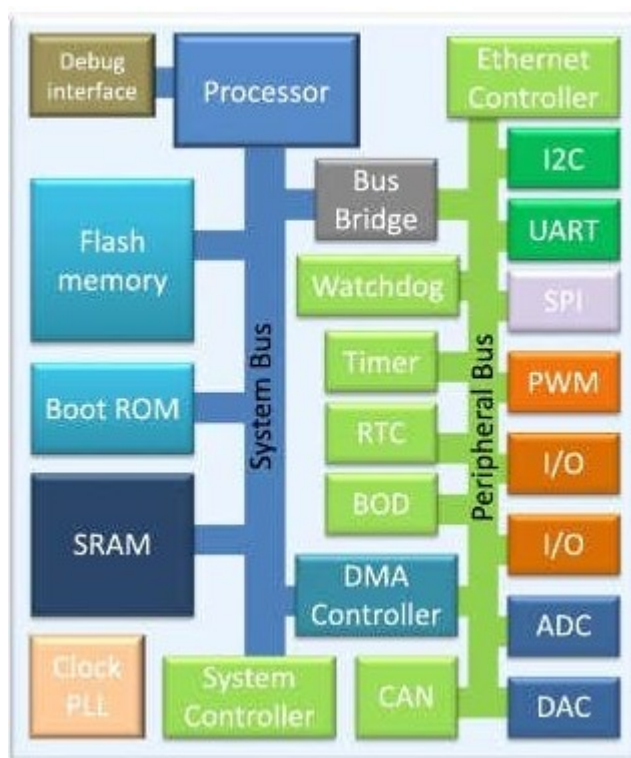
⁴Popis formátů času bude podrobněji popsán v kapitole 2.5.10 Displeje.

2.5 Výběr komponent

V této kapitole bude u každé komponenty stručně popsána její funkce. Bude zde uveden konkrétní typ dané komponenty. Některé komponenty používají sériové sběrnice, jejichž princip je uveden v kapitole 2.7 Sériové sběrnice.

2.5.1 Mikrokontrolér

Definice podle [5] uvádí mikrokontrolér (značeno obvykle jako μC) jako součástku, která obsahuje samotný mikroprocesor, komunikační sběrnice a další obvody, jak je uvedeno na obrázku 2.5. Rozdíl oproti samotnému mikroprocesoru je, že mikrokontrolér nepotřebuje ke své činnosti další podpůrné obvody, protože tyto obvody už obsahuje.



Obrázek 2.5: Blokové schéma vnitřního zapojení mikrokontroléru [5].

Nyní ve zkratce budou popsány nejvýznamnější části mikrokontroléru. Jak je patrné z obrázku, procesor je propojen systémovou sběrnici s pamětí Flash, kde je uložen binární soubor programu, dále obsahuje paměť SRAM [6]. Paměť Boot ROM je nepřepisovatelná a slouží ke spuštění programu po hardwarovém resetování. Procesor je dále spojen s blokem *Debug interface*, pomocí kterého je možné nahrávat program do mikroprocesoru a ladit (debugovat) program. Blok *Bus Bridge* propojuje mezi sebou systémovou sběrnici a sběrnici různých periférií. Periferiemi mohou být sériová rozhraní (např. I²C, SPI, atd.), GPIO, A/D a D/A převodníky, ale také obvod reálného

času (RTC) nebo krystalový oscilátor. Důležitou roli má obvod *watchdog*, který chrání obvody mikrokontroléru proti softwarovému nebo hardwarovému selhání [7].

Většina dnešních mikrokontrolérů, které jsou součástí tzv. mikrokontrolérových desek (používá se také označení vývojová deska), je založena na architektuře ARM. Na této architektuře jsou založeny např. mikrokontrolérové desky obecně známého *Arduino Uno* a jeho klonů, případně další varianty této desky. Dále se sem řadí vývojové desky *Nucleo* od firmy ST Microelectronics. Většinu mikrokontrolérů a mikrokontrolérových desek je možné programovat ve vývojových prostředích používající jazyky C a C++, ale některé desky je možné programovat i v jiných programovacích jazycích.

Výběr mikrokontrolérové desky doprovází několik faktorů. Za prvé, mikrokontrolérová deska musí mít dostatečný výkon pro provoz zvolené aplikace. Za druhé, rozměry mikrokontrolérové desky by měla být v této aplikaci co nejmenší. Za třetí, mikrokontrolérová deska musí obsahovat dostatečný počet vstupně-výstupních pinů pro obsluhu všech připojených periférií a deska musí být vybavena pro daný druh bezdrátové komunikace. Poslední důležitým faktorem je relativně nízká spotřeba mikrokontrolérové desky.

Pro tuto aplikaci jsem zvolil mikrokontrolérovou desku *Wemos D1 mini*. Tato mikrokontrolérová deska bohužel nesplňuje třetí podmínku a sice, že neobsahuje dostatečný počet GPIO pinů. Tento nedostatek je řešen doplněním modulu s I/O expandérem, viz následující kapitolu 2.5.2 I/O expandér. Mikrokontrolérová deska splňuje ostatní uvedené požadavky.



Obrázek 2.6: Mikrokontrolérová deska Wemos D1 mini – vlastní foto.

Rozměry mikrokontrolérové desky jsou přibližně 33×25 mm. Jeho základ tvoří čip ESP8266 vybavený rozhraním Wi-Fi. Tento čip má k dispozici celkem 16 GPIO pinů, na této konkrétní mikrokontrolérové desce je možné použít 11 digitálních pinů a jeden analogový pin [8]. Čip pracuje s napětím 3,3 V, ale na této mikrokontrolérové desce je k dispozici také napětí 5 V, takže je možné připojit k mikrokontrolérové desce periferie pracující s napětím 5 V. Ke komunikaci mikrokontrolérové desky se zmíněnými periferiemi je zapotřebí použít převodník logických úrovní. Tato mikrokontrolérová deska má malou spotřebu, která činí přibližně 60 mA [9], ale liší se podle toho, v jakém pracovním režimu pracuje mikrokontrolérová deska, a zda je aktivní Wi-Fi rozhraní. Tato mikrokontrolérová deska by měla vystačit pro provoz všech periférií.

K této mikrokontrolérové desce existuje spousta rozšiřujících periférií, tzv. *shields*. V této aplikaci nebude použit žádný z nich, i když se původně zvažovalo použití tzv. *battery shieldu*, viz kapitolu 2.5.7 Napájení.

Jednou z velkých výhod je, že tato mikrokontrolérová deska může pro naprogramování využívat známé prostředí Arduino IDE. Také většina knihoven z tohoto vývojového prostředí je kompatibilní s touto mikrokontrolérovou deskou.

Existuje také výkonnější čip a to *ESP32*. Tento čip je také vybaven Wi-Fi rozhraním, ale navíc obsahuje rozhraní Bluetooth. Tato mikrokontrolérová deska níže na obrázku 2.7 je ovšem rozměrově větší než deska Wemos D1 mini. Pro tuto aplikaci byly nejdříve pořízeny v dostatečném počtu mikrokontrolérové desky Wemos D1 mini, které jsou dostačující pro tuto aplikaci.



Obrázek 2.7: Mikrokontrolérová deska s čipem ESP32 – vlastní foto.

■ 2.5.2 I/O expandér

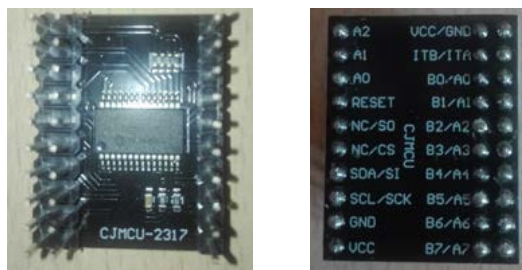
I/O expandér (neboli také GPIO expandér) je integrovaný obvod umožňující rozšíření počtu vstupů a výstupů mikrokontroléru nebo mikrokontrolérové desky. [10]. Používá se zejména tam, kde je potřeba vyšší počet GPIO portů, než obsahuje mikrokontrolér. S mikrokontrolérem komunikuje přes sériové sběrnice, nejčastěji přes sběrnice I²C a SPI. Může obsahovat různý počet GPIO pinů, nejčastěji se vyskytují osmibitové a šestnáctibitové. Označení několikabitový znamená, že I/O expandér obsahuje několik GPIO pinů, např. osmibitový znamená, že I/O expandér má 8 GPIO pinů.

Většinou jsou k dostání buď pouze jako integrovaný obvod nebo je možné zakoupit hotový modul. Některé I/O expandéry, např. MCP23017 a MCP23S17 (jak uvádí [11]), se liší od sebe pouze použitou sběrnicí. Příslušná deska plošného spoje, na kterých je daný integrovaný obvod, umožňuje osazení oběma variantami obvodu. Z toho vyplývá, že při zapojení do obvodu je třeba vědět, který z těchto obvodů je na daném modulu a jakou používá sběrnici.

Pro tuto aplikaci jsem zvolil I/O expandér *MCP23017*. Je vybaven I²C rozhraním s nastavitelnou I²C adresou, kterou lze nastavit zapojením příslušných pinů A0–A2 na napájecí napětí, nebo na zem. Bohužel značení modulu, viz obrázek 2.8, tu představuje konflikt pinů pro nastavení I²C adresy s GPIO piny. Adresové piny se proto nachází na straně, kde je pouze jedna řada připojo-

vacích konektorů, kdežto piny pro vstupy a výstupy se nachází na opačné straně modulu.

Tento modul jsem zvolil z důvodu, že bylo lepší použít hotový modul než pouze integrovaný obvod. Potřeboval jsem dále I/O expandér se 16 GPIO piny, abych si mohl snadněji udělat přehledný systém zapojení periferií, viz kapitolu 3.1 Zapojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky a I/O expandéru s periferiemi. Tento modul má malé rozměry a je možné ho snadno zapojit do obvodu. Pro tento obvod existují knihovny v prostředí Arduino IDE a jeho piny se programují obdobně jako piny mikrokontrolérové desky, více viz kapitolu 3.5 Naprogramování hodin. Bohužel tento konkrétní I/O expandér neumožňuje spolupráci s knihovnami jiných periferií, na druhou stranu je na zvolené mikrokontrolérové desce dostatečný počet pinů pro periferie, které používají knihovnu (např. maticový displej, senzor osvětlení, OLED displej, a další). Tento I/O expandér je možné zapojit pouze na hardwarovou I²C sběrnici, protože v příslušné knihovně není umožněna definice softwarové I²C sběrnice.



Obrázek 2.8: Modul s I/O expandérem MCP23017 – vlastní foto.

Tento I/O expandér obsahuje celkem 16 GPIO pinů. Tyto piny jsou označeny A0 – A7 (v prostředí Arduino IDE piny 0 – 7) a B0 – B7 (v prostředí Arduino IDE piny 8 – 15). Celkem s piny mikrokontrolérové desky, která bude mít k dispozici sedm GPIO pinů pro jiné účely než I²C sběrnici, máme k dispozici v součtu 23 GPIO pinů.

■ 2.5.3 Externí A/D převodník

V této aplikaci se měří analogově dvě veličiny: napětí baterie a osvětlení. Obě veličiny jsou spojitě, takže je zapotřebí A/D převodník. Bohužel zvolená mikrokontrolérová deska má pouze jeden analogový vstup. Tento vstup bude vyhrazen pro měření napětí baterie. Pro měření osvětlení je důležitý externí A/D převodník, který bude součástí senzoru, jenž bude měřit intenzitu osvětlení. Na základě intenzity osvětlení bude poté příslušně nastaven automaticky jas displejů, pokud tato volba bude povolena.

Pro A/D převodník proto máme následující požadavky. Za prvé, jeho přesnost nemusí být velká, neboť se bude nastavovat jas pouze z několika úrovní. Za druhé, stačí A/D převodník takový, který používá pro svoji referenci přímo napájecí napětí. Za třetí, vzhledem k obsazenosti pinů mikrokontrolérové desky by bylo vhodné zvolit převodník s I²C rozhraním, neboť tato sběrnice

je již v zapojení využívána. Za čtvrté, vzhledem k pracovnímu napětí použité mikrokontrolérové desky by bylo vhodné zvolit převodník, který může pracovat s napětím 3,3 V.

Tyto parametry splňuje A/D převodník *MCP3021* [12]. Je 10-bitový a hodnota je odesílána prostřednictvím I²C sběrnice. Má malé SMD pouzdro, takže výsledný modul senzoru může mít malou plochu DPS. V prostředí Arduino IDE pro něj existuje příslušná knihovna, pomocí které je možné zapojit tento převodník na jakékoliv dva GPIO piny mikrokontroléru, neboť je zde I²C sběrnice definována softwarově. Ve zvolené aplikaci se využije přímo hardwarová I²C sběrnice, se kterou knihovna nemá problém.

2.5.4 Výběr součástky pro senzor osvětlení

Zvolená součástka bude sloužit k převodu intenzity osvětlení na elektrickou veličinu. Nabízí se následující možnosti: fotorezistor, fotodioda a fototranzistor.

Fotorezistor je symetrická dvojpólová součástka [13], [14]. Je z polovodiče a neobsahuje žádný PN přechod. Jeho hodnota odporu je řízena intenzitou osvětlení a to tak, že se zvyšující se hodnotou osvětlení klesá hodnota odporu. Tato charakteristika je nelineární. Jeho výhody jsou snadné použití, nízká cena a také může pracovat se stejnosměrným i střídavým napětím [14]. Také mezi výhody patří podle [14] *poměrně značná citlivost při velkém rozsahu odporů*.

Fotodioda je fotovoltaiická součástka s jedním PN přechodem [13], [15]. Intenzitou osvětlení tohoto přechodu je možné řídit napětí a proud procházející fotodiodou. Její charakteristika ve fotovodistním je téměř konstantní po určité průrazné napětí. Její výhodou je rychlá odezva na změnu osvětlení. Nevýhodou je ovšem cena.

Fototranzistor je druh tranzistoru [13], [16]. Obvykle má pouze dva vývody, které se nazývají *kolektor* a *emitor*; *báze* může být a nemusí být vyvedena. Princip činnosti je ten, že osvětlení dopadá na PN přechod mezi bází a emitorem a tím je řízen kolektorový proud, obdobně jako je u bipolárního tranzistoru [13]. Jeho výhodou je větší zesílení světelné intenzity oproti fotodiodě. Oproti fotodiodě jsou u fototranzistoru reakce na změny osvětlení pomalejší, ale jsou rychlejší než u fotorezistorů.

Rozhodl jsem se použít fotorezistoru. Rozhodujícím faktorem byla cena, dále intenzita osvětlení nemusí být striktně přesná, neboť se podle této informace bude volit pouze mezi nízkým počtem úrovní osvětlení displejů. U fotorezistoru a fototranzistoru bylo experimentálně zjištěno, že vykazují v zapojení se sériovým rezistorem⁵, který je připojen jedním vývodem k zemi, přibližně stejné hodnoty napětí na sériově zapojeném rezistoru. Pro tento účel byl konkrétně zvolen fotorezistor, který má rozpětí hodnoty odporu 5 kΩ při vysoké intenzitě osvětlení až 500 kΩ při nízké intenzitě osvětlení [17].

⁵Fototranzistor je v zapojení se společným kolektorem.

2.5.5 LED

Použité LED se nacházejí v blocích s tlačítkem pro hráče a indikačním světlem a to vždy pouze jedna. Slouží k určení toho, který hráč je na tahu, nahrazují tím polohu páčky, jak bylo popsáno v kapitole 2.2 Modely šachových hodin používané v současnosti.

Název LED pochází podle [13] a [18] z anglického názvu *Light Emitting Diode*. Je to dioda, která při překročení prahového napětí vyzařuje světlo. Světelná intenzita je pak dána velikostí proudu, který LED prochází.

V obvodu se tento typ diod zapojuje výhradně v propustném směru. Před LED je nutné zařadit předřadný rezistor, aby proud procházející LED nebyl příliš velký a nezničil ji. Hodnota odporu tohoto rezistoru R se určí ze vzorce [13]:

$$R = \frac{U_N - U_{LED}}{I_{LED}} \quad [\Omega, V, V, A] \quad (2.1)$$

U_N ve vzorci je napájecí napětí, které je dohromady na LED a rezistoru. U_{LED} je napětí na LED, pro které chceme LED provozovat. I_{LED} je proud procházející LED (a tudíž i rezistorem, neboť oba prvky jsou v sérii), pro který chceme LED provozovat.



Obrázek 2.9: Možné LED o průměru 10 mm pro použití – vlastní foto.

Pro snadnou viditelnost je nutné zvolit LED o dostatečném průměru. Také musí být barva LED snadno viditelná i při velkém osvětlení místnosti a zároveň nesmí splývat např. s displeji a jinými prvky použitými na hodinách. Z tohoto důvodu jsem zvolil LED o průměru 10 mm v kulatém pouzdře. Z barev dobře viditelných se nabízí červená, zelená a modrá. Není vhodné zvolit LED, která bude mít stejnou barvu jako použité displeje, proto se k červeným displejům nejvíce hodí zelené LED. Zelená barva připomíná signál pro pokyn „Volno!“ (a jiný obdobný), tudíž mohou LED v této barvě dobře indikovat, který hráč je na tahu. K zeleným displejům se nabízí použít spíše modré LED, protože červená barva by mohla být symbolem výstrahy a nemusel by být pochopen účel takto barevné LED.

2.5.6 Výběr spínacího tranzistoru

Tento tranzistor bude spínat indikační LED podle nastaveného výstupu. Je zde na výběr ze spousty druhů tranzistorů.

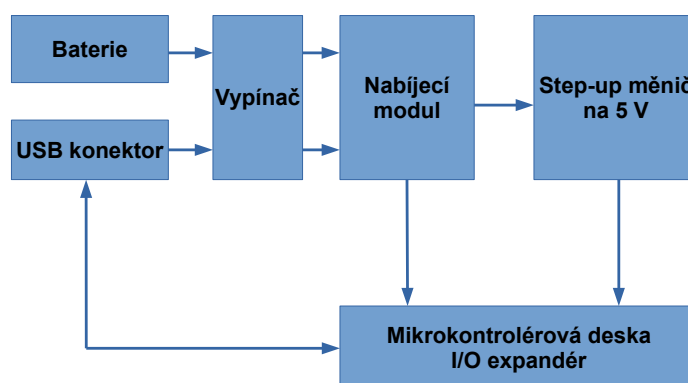
Tranzistor je lepší spínat napětím, než proudem, protože výstupní proud z GPIO pinu může být v řádech několika stovek μA , maximálně jednotek mA.

Zde je lepší použít unipolární tranzistor už podle zmíněného principu spínání. Bipolární tranzistory mají v sepnuté stavu větší výkonové ztráty než unipolární [13]. Konkrétně jsem zvolil typ MOSFET, protože jsou tyto tranzistory běžně dostupné a také budou plnit potřebnou funkci, při které LED bude svítit při logické 1 na výstupu GPIO, viz také kapitolu 3.2.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED.

V zapojení není nutné připojit LED s příslušným předřadným rezistorem trvale k zemi. Tudíž je zvolen tranzistor NMOS, protože tranzistory PMOS jsou obecně několikrát dražší než NMOS tranzistory. Pro spínací účely jsem vybral konkrétně tranzistor BS170. Z datasheetu [19] je tento tranzistor v pouzdře s vývody THT a obsahuje uvnitř ochrannou diodu mezi vývody *drain* a *source*. Tento tranzistor je také možné spínat přivedením napětí 3,3 V na *gate* z pinu mikrokontroléru, nebo I/O expandéru. Při sepnutém stavu má dostatečně nízký odpor kanálu, tudíž je mezi vývody *drain* a *source* také nízké napětí.

■ 2.5.7 Napájení

Pojmem napájení se zde myslí baterie, nabíjecí modul a step-up měnič. V této kapitole bude popsán výběr baterie a nabíjecího modulu. O step-up měniči pojednává následující kapitola.



Obrázek 2.10: Základní blokové schéma zapojení napájení s doplněním spojení do bloku s mikrokontrolérovou deskou – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.

Zařízení může být napájeno celkově ze dvou zdrojů napětí (viz blokové schéma na obrázku 2.10). Jedním z nich je baterie. Ta je zvolena podle typu nabíjecího modulu. Druhým zdrojem může být USB nabíječka, která má napětí 5 V. Aby hodiny mohly být vypnuté, je třeba mezi tyto zdroje a nabíjecí modul umístit vypínač, který spíná oba přívody napětí současně.

Za nabíjecí modul je nutné zařadit měnič. Většina nabíjecích modulů pracuje s tím, že obvody, které jsou napájeny z baterie, jsou přímo napájeny touto baterií, ale existují i výjimky. Zde je zařazen step-up měnič, protože v obvodu mohou být periférie pracující s napětím 5 V. S touto hodnotou napětí je možné

napájet většinu mikrokontrolérových desek, které poskytují také napětí 3,3 V.

Z nabíjecího modulu dále vedou vývody do mikrokontrolérové desky. Tyto mají za úkol poskytovat informace o stavu baterie, a to konkrétně její zbývající kapacitu, zda se nabíjí, případně zda je baterie plně nabita. Tyto vývody jsou přivedeny přes rezistorové děliče napětí, protože je nutné snížit napětí, neboť mikrokontrolérová deska pracuje s napětím 3,3 V, nikoliv s napětím 5 V. Výpočty uvedených hodnot rezistorů budou dále uvedeny v kapitole 3.3 Návrh základových desek. Dále ze samotného USB konektoru vedou datové vodiče USB, pomocí kterých bude možné zařízení programovat. Všechny bloky kromě vypínače jsou uzemněny (mají společný vodič GND).

Některé nabíjecí moduly jsou přímo vázané k typu baterie (Li-ion, Li-Pol a další) a nelze je použít s jiným typem baterie. Pro zvolenou aplikaci je nutný tento typ napájení, neboť hodiny musí být přenositelné, a také není žádoucí, aby v hrací místnosti bylo několik kabelů, které by hodiny napájely. Hodiny bude možné při vybití baterie napájet z elektrické sítě, případně bude možné dobíjet je prostřednictvím tzv. *powerbanky*.

Napájení bylo původně zvolené z Li-Pol baterií. K zvolené mikrokontrolérové desce Wemos D1 mini existuje rozšiřující deska, která obsahuje obvod mající funkci nabíjení baterie, vývod pro měření napětí baterie a step-up měnič, který z napětí baterie vytvoří 5 V napětí. Uvnitř mikrokontrolérové desky je pak i step-down měnič, nebo lineární regulátor, který vytvoří napětí 3,3 V potřebné pro činnost čipu ESP8266.



Obrázek 2.11: Battery shield pro Wemos D1 mini – vlastní foto.

Toto řešení bylo nakonec zamítnuto z důvodu větších ekonomických nákladů potřebných pro jejich pořízení oproti bateriím Li-ion. Odběr proudu prototypového obvodu zapojeného v nepájivém poli při nastavení maximálního jasu osmi maticových displejů byl orientačně naměřen přibližně 500 mA. Toto odporuje požadavku na provoz hodin po dobu přibližně 20 hodin⁶. Kapacitu baterie můžeme spočítat ze vzorce

$$C_{bat} = I_{odb} \cdot t \quad [\text{mAh}, \text{mA}, \text{h}] \quad (2.2)$$

Ve vzorci značí C_{bat} kapacitu baterie, I_{odb} stálý odebíraný proud v čase t a t je doba provozu zařízení na baterii. Po dosazení číselných hodnot je výsledek roven 10 000 mAh a toto číslo tvoří požadavek na minimální kapacitu baterie.

⁶Tato doba odpovídá přibližně 2,5násobku hrací doby turnaje, předpokládáme-li, že jeden turnaj trvá přibližně 8 hodin, kdy musí být hodiny v pohotovosti.

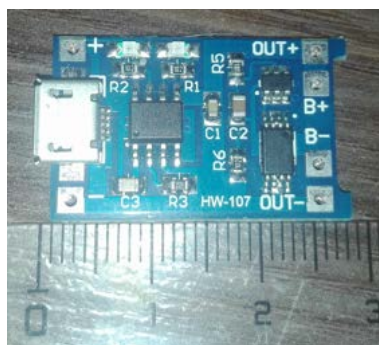
Druhé řešení je napájení z Li-ion baterií. Tyto baterie jsou levnější než výše zmíněné Li-Pol baterie pro dosažení potřebné kapacity pro napájení z baterií. Nevýhodou je potřeba dvou modulů, které nejsou shiely pro danou desku, kdy jeden z modulů má na starost obsluhu baterie a druhý je step-up měnič na napětí 5 V⁷.

Baterie jsem volil zejména podle kapacity. Musí též splňovat to, že je možné ji nabíjet napětím 4,2 V. Z tohoto důvodu byla zvolena baterie na obrázku 2.12, jež splňuje tato kritéria. Celkově obsahuje 4 články a také ochranné obvody [20].



Obrázek 2.12: Li-ion baterie použitá v zapojení – vlastní foto.

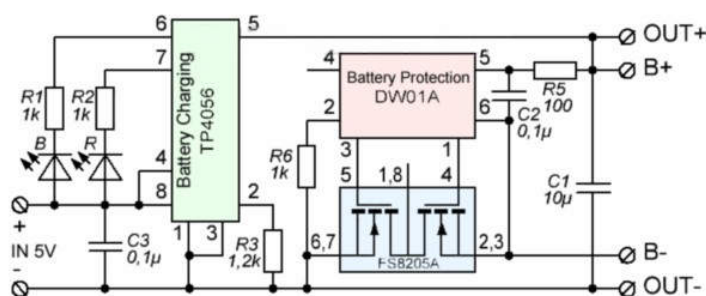
Pro tento účel jsem vybral modul s obvodem TP4056 (datasheet [21]) s ochrannými obvody. Bohužel při prvotním testování, kdy se k modulu připojil měnič a mikrokontrolerová deska, tento modul neposkytoval žádné napětí na výstupu měniče a hodiny nefungovaly. Pravděpodobně šlo o to, že špatně fungovaly společně v zapojení oba ochranné obvody baterie. Schéma zapojení obvodů na modulu je na obrázku 2.14.



Obrázek 2.13: Modul s TP4056 s ochrannými obvody – vlastní foto.

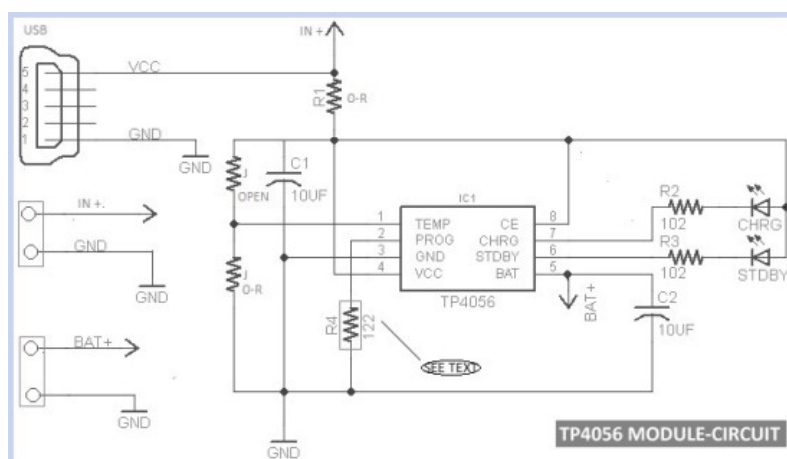
Poté jsem zkusil modul s obvodem TP5100 [23]. U tohoto modulu byl problém s tím, že při napájení hodiny se zastavily a nefungovaly. Nepomohlo ani vyvedení napájení z USB konektoru s připojením diody mezi USB konektor a mikrokontrolerovou desku a s připojením druhé diody mezi výstup

⁷Výběr tohoto měniče bude rozebrán v následující kapitole.



Obrázek 2.14: Schéma zapojení modulu s TP4056 a ochrannými obvody [22].

step-up měniče a mikrokontrolérovou deskou. Nakonec jsem zjistil, že se prodává modul s TP4056, který ochranné obvody neobsahuje [24], a tak bylo zapojení porízeného modulu upraveno podle tohoto schématu, více o propojení jednotlivých komponent viz kapitola 3.3 Návrh základových desek. Na obrázku 2.13 je tento modul neupraven a obsahuje zmíněné ochranné obvody baterie. V zapojení podle obrázku 2.14 byl odstraněn rezistor R5, a tím činnost ochranných obvodů byla znemožněna. Baterie je zapojena mezi svorky OUT+ a OUT-. Toto výsledné upravené zapojení pak odpovídá zapojení uvedeném na obrázku 2.15.



Obrázek 2.15: Výsledné zapojení nabíjecího obvodu bez ochranných obvodů [24].

2.5.8 DC-DC měnič

DC-DC měniče jsou definovány jako obvody, které mění hodnotu stejnosměrného vstupního napětí na jinou (někdy stejnou) hodnotu stejnosměrného výstupního napětí [25]. Toto napětí může být vyšší i nižší než vstupní napětí. Existují dva typy měničů a to lineární a spínané.

Lineární DC-DC měniče mohou napětí pouze snižovat. Neobsahují žádné spínací prvky. Jejich účinnost je dána v závislosti na požadovaném výstupním napětí. Určitý rozsah vstupního napětí transformují na určitou hodnotu výstupního napětí.

Spínané DC-DC měniče mohou napětí zvyšovat i snižovat. Obsahují spínací prvek. V porovnání s lineárními měniči je jejich účinnost vyšší, obecně přibližně 90 %. Existuje několik typů spínaných měničů, které se používají k různým účelům. Druhů měničů je několik. Jeden druh měničů může napětí pouze snižovat, tzv. *step-down měniče*, další druh měničů může napětí pouze zvyšovat, tzv. *step-up měniče*, a některé druhy měničů mohou napětí zvyšovat i snižovat, např. *buck-boost měniče*. Výstupní napětí může být dáno pevně, nebo může být nastavitelné.

Napětí baterie se pohybuje od 2,8 V do 4,2 V [20]. Provozované periferie potřebují hodnoty napětí 3,3 V a 5 V. Napětí 3,3 V vyrobí samotná mikrokontrélová deska, kdežto napětí 5 V nikoliv. Z tohoto důvodu je nutné použít step-up měnič na 5 V.

K dostání je spousta step-up měničů. Některé mají výstupní napětí nastavitelné a je i velký rozsah vstupního napětí. Pro daný rozsah vstupního napětí většinou bývají u těchto měničů hodnoty napětí větší než 5 V i po příslušném nastavení. Proto je lepší použít měnič, který má výstupní napětí pevně dané na 5 V. Byl vybrán modul s USB konektorem [26]. Tento modul má pracovní rozsah vstupního napětí 0,9 V – 5 V a výstupní napětí poskytuje 5 V. Bohužel má USB konektor, který nebylo možné odpájet. Takže na příslušné piny USB konektoru byly připájeny vodiče na napětí 5 V a zem, neboť tento modul bude také umístěn tak, že konektor bude níže než deska plošného spoje, viz kapitolu 3.3 Návrh základových desek.



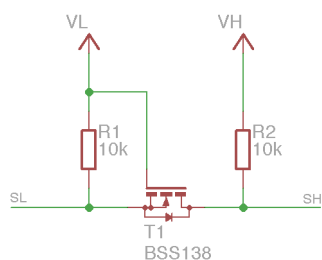
Obrázek 2.16: Step-up měnič na 5 V – vlastní foto.

2.5.9 Převodník logických úrovní

Převodník logických úrovní je nutné používat tam, kde spolu komunikují zařízení používající různá napětí logické jedničky [27].

Většina těchto převodníků pro obousměrnou komunikaci používají NMOS tranzistor. Jednotlivé úrovně jsou pomocí něj převáděny na určité napětí. Zapojení je uvedeno na obrázku 2.17. Pro jednosměrnou komunikaci je možné použít i jiná zapojení, podle toho, zda napětí zvyšujeme, nebo snižujeme, více viz např. [27].

K dostání jsou moduly, které obsahují několik kanálů. To je rozhodujícím faktorem pro výběr správného převodníku. Nejčastěji je počet kanálů na modulu roven 2, 4 nebo 8. V zapojení hodin pracují s napětím 5 V pouze displeje. V případě maticových displejů je zapotřebí 3 kanálů pro převod na-



Obrázek 2.17: Zapojení převodníku logických úrovní [27].

pětí, neboť tyto displeje používají z SPI sběrnice celkem 3 vodiče⁸. V případě použití sedmsegmentových displejů a OLED displeje je potřeba 4 kanálů, a to pro oba sedmsegmentové displeje, pro každý z nich je zapotřebí dvou kanálů, neboť používají I²C sběrnici. Z tohoto vyplývá, že je nutné použít modul, který obsahuje 4 kanály. Zvolený modul je níže na obrázku 2.18.



Obrázek 2.18: Použitý modul převodníku logických úrovní – vlastní foto.

2.5.10 Displeje

Výběr displejů provází několik důležitých faktorů. Prvním z nich je spotřeba, neboť tyto součástky budou mít v součtu nejvyšší odběr proudu v rámci celého zařízení. Také je potřeba se zamyslet, zda je lepší mít jeden celistvý displej, nebo složený z několika menších.

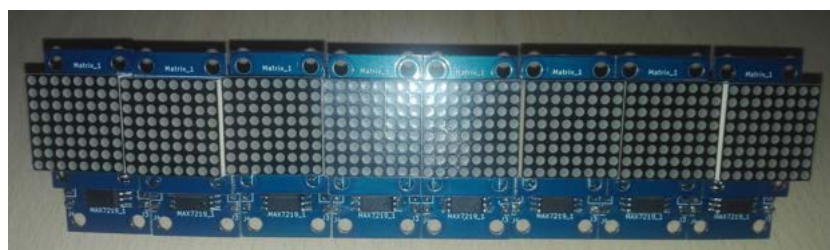
U výběrů displejů jsem se rozhodl vytvořit dva různé prototypy. Jeden typ bude používat tzv. *maticové displeje* a druhý se skládá z jednoho OLED displeje a dvou sedmsegmentových displejů. Obě řešení budou popsána níže. Z osobního hlediska mě zajímalo srovnání a vzhled, neboť šachové hodiny s maticovými displeji jsem dosud neměl příležitost vidět a chtěl jsem také sestrojít hodiny s více displeji, z nichž některé jsou sedmsegmentové displeje.

Maticové displeje tvoří první řešení. V zapojení je jich celkem 8. Každý z displejů má rozlišení 8×8 bodů. Všechny displeje jsou seřazeny do jedné řady, což dohromady vytvoří displej o rozlišení 64 bodů na šířku a 8 bodů na výšku. Každý z displejů má rozměry 20 mm \times 20 mm. Nevýhodou tohoto řešení oproti druhému je předpoklad vyššího odběru proudu, viz také kapitolu 3.6 Měření odběru šachových hodin. Výhoda je menší počet GPIO pinů

⁸Není zde využít vodič MISO.

použitých u mikrokontroléru, jak bude zmíněno dále. Tento displej používá LED driver MAX7219, který má SPI rozhraní [28]. Pro tento čip existuje knihovna v prostředí Arduino IDE.

Na displeji je vždy vidět čas obou hráčů a ikony o stavu hodin uprostřed. Čas každého hráče se zobrazuje následovně: pokud hráči zbývá více jak 20 minut, zobrazují se mu čas v hodinách a minutách, který má pouze tři číslice. Ty jsou odděleny dvojtečkou, která bliká, když je hráč na tahu, jinak po celou dobu svítí. Pokud hráči zbývá méně jak 20 minut, svítí čas v minutách a sekundách, a svítí vždy čtyři číslice, i když má hráč méně jak 10 minut. Pokud hráči vyprší čas, nula na místě desítek minut se změní v praporek. Uprostřed displeje je zobrazeno, zda jsou hodiny spuštěny, nebo pozastaveny, a stav baterie. Je zde jedna výjimka, a to pokud následující perioda má čas menší než 20 minut, je vždy na prvním místě po určitou dobu praporek symbolizující uplynutí času předchozí periody. V tomto případě pokud má hráč více než 10 minut, vidí čas v hodinách a minutách, jinak čas vidí v minutách a sekundách. Displeje jsem zvolil v zelené barvě.

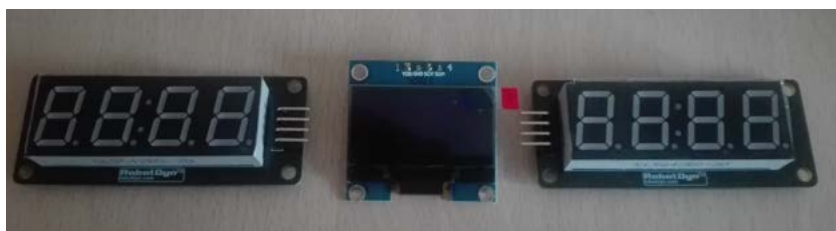


Obrázek 2.19: Maticový displej s rozlišením 64×8 bodů – vlastní foto.

Jeden OLED displej a dva čtyřmístné sedmisegmentové displeje s dvojtečkou tvoří druhé řešení. OLED displej je umístěn uprostřed mezi sedmisegmentovými displeji. Levý a pravý displej tvoří modul se čtyřmístným sedmisegmentovým displejem doplněný dvojtečkou mezi 2. a 3. znakem. Výška znaků měří přibližně 1,5 cm. Modul je dále vybaven driverem TM1637 (datasheet [29]), který umožňuje komunikaci po I²C sběrnici. Také ve vývojovém prostředí Arduino IDE za pomoci knihovny „*TM1637.h*“ je možné definovat objekt, ke kterému je možné přiřadit jakékoli dva piny mikrokontroléru jako budiče I²C sběrnice pro tento modul. Vnitřní zapojení sedmisegmentového displeje umožňuje rozsvítit pouze dvojtečku, což přináší menší problém pro rozlišení informace o čase, zda hodiny zobrazují hodiny a minuty, nebo minuty a sekundy, neboť není možné použít odlišení pomocí tečky a dvojtečky jako u maticových displejů. Tento problém je ošetřen tím, že čas zobrazený v hodinách a minutách tvoří pouze 3 číslice, kdežto čas zobrazený v minutách a sekundách tvoří vždy 4 číslice podobně jako u maticových displejů. Dvojtečka bliká, pokud je hráč na tahu a zbývá mu více jak 20 minut, v ostatních případech vždy svítí. Další odlišení je na tzv. centrálním displeji, kde svítí na dané straně H/M, nebo M/S pro odlišení formátu zobrazovaného času. Tyto displeje mají červenou barvu, aby bylo možné je případně srovnat se zelenou barvou maticových displejů.

Středový displej tvoří jeden OLED displej. Jeho úhlopříčka měří 1,3 palce,

což je přibližně 33 mm. S mikrokontrolérem komunikuje prostřednictvím I²C sběrnice. Zde se budou zobrazovat informace o čase u daného hráče, zda se jedná o čas zobrazený v hodinách a minutách, nebo minutách a sekundách, jak bylo uvedeno výše. Dále se zde bude zobrazovat navigace v menu, např. nastavení času a dalších možností. Zde se budou mimo jiné zobrazovat informace o zbývající kapacitě baterie, spuštění hodin, nebo pozastavení hodin. Tento displej má mít bílou barvu.



Obrázek 2.20: Dva sedmissegmentové displeje s OLED displejem v dané konfiguraci – vlastní foto.

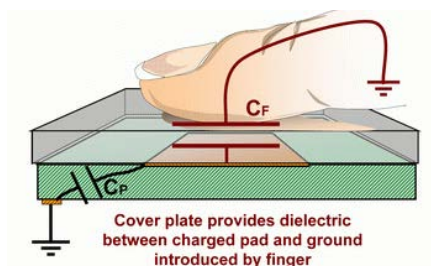
2.6 Princip kapacitního dotykového tlačítka

Podle [30] je stisk tlačítka vyhodnocován na základě změny kapacity. Vychází se z rovnice pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru [31]:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \quad [\text{F}, \text{F} \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}^2, \text{m}] \quad (2.3)$$

Také se vychází z rovnice pro celkovou kapacitu paralelního zapojení kondenzátorů ([13], [30], bude zde uveden výpočet pro 2 kondenzátory C_1 a C_2):

$$C = C_1 + C_2 \quad [\text{F}, \text{F}, \text{F}] \quad (2.4)$$



Obrázek 2.21: Princip funkce kapacitního dotykového tlačítka [30].

Na obrázku 2.21 můžeme vidět, z čeho se skládá celková kapacita. C_P je parazitní kapacita a C_F je kapacita při stisku. Vyhodnocovací obvody v sobě obvykle mají rezistor, takže tlačítko s tímto rezistorem tvoří RC článek. Pokud tlačítko není stisknuté, je nabíjena pouze kapacita C_P , neboť kapacita C_F

je rovna nule. Po stisku tlačítka je kromě parazitní kapacity C_P nabíjena také kapacita C_F . Tato celková kapacita se dobíjí déle než jen kapacita C_P . Pro zvýšení citlivosti tlačítka na stisk je možné paralelně připojit kondenzátor C_S . Pak je princip vyhodnocení obdobný, u obou průběhů cyklů je navíc nabíjena tato kapacita C_S .

Vyhodnocovací obvody mohou být přímo v mikrokontrolérové desce, např. mikrokontrolérové desky s čipem ESP32, nebo jsou to samostatné obvody, např. obvod TTP223. Tyto obvody jako jsou např. TTP223 a TTP224 podle [32] a [33] mají na svém výstupu v základním režimu logickou 0 (tlačítko není stisknuté), nebo logickou 1 (tlačítko je stisknuté). Tyto obvody je možné konfigurovat pomocí dvou vývodů, ale pro zvolenou aplikaci jsou tyto obvody konfigurovány na výše zmíněný vyhodnocovací princip⁹, neboť se tlačítka pouze stisknou a vyvolá to změnu např. režimu, případně předání tahu protihráči.

Kapacitní dotyková tlačítka mají obecně vyšší životnost než mechanické spínací prvky. Při spínání se u mechanických opotřebovávají kontaktní plošky. Tato tlačítka v kombinaci s výše zmíněnými obvody fungují naprosto stejně jako mechanické mikrosplínače, takže se dají snadno vyhodnocovat na mikrokontroléru, nebo I/O expandéru. Nevýhodou je, že nemohou oproti mechanickým prvkům spínat velké proudy. Jelikož ve zvolené aplikaci tato tlačítka velké proudy spínat nebudou, je lepší tato tlačítka použít namísto mechanických tlačítek.

2.7 Sériové sběrnice

Sériové sběrnice slouží ke komunikaci mezi dvěma a více zařízeními. Jednotlivé bity dat jsou posílány postupně bit po bitu. Obvykle je posílání dat řízeno hodinovým signálem. Ve zvolené aplikaci jsou použity sběrnice a SPI.

2.7.1 I²C sběrnice

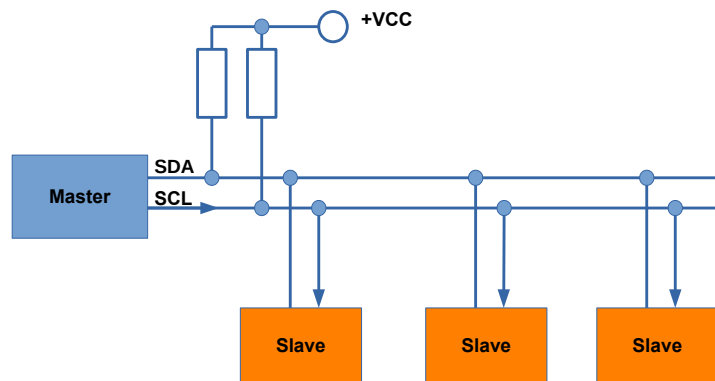
I²C sběrnice (psáno také IIC, nesprávně I2C) je dvou vodičová sběrnice. Její název pochází z anglického názvu „Inter-Integrated Circuit“ [34]. Jeden z vodičů má označení SDA, což je datový vodič a druhý vodič má značení SCL. Tento vodič rozvádí do jednotlivých zařízení hodinový signál. Obvykle jsou oba vodiče připojeny přes tzv. „pull-up“ rezistor (obvykle o hodnotě 4,7 kΩ). Zapojení zařízení na sběrnici je na obrázku 2.22.

V hodinách bude na sběrnici pouze jediné zařízení typu *master* a tím je mikrokontrolérová deska¹⁰. Zbývající zařízení jsou typu *slave*. Každé zařízení musí mít svoji unikátní 7-bitovou adresu¹¹, aby nedocházelo ke komunikačnímu konfliktu. Adresa nikdy není ta nejvyšší možná, neboť tato adresa (binárně 1111111) je rezervována pro tzv. broadcast. V datasheetech použitých

⁹Více informací o konfiguraci TTP223 viz [32], v případě TTP224 viz [33].

¹⁰Na sběrnici může být i více zařízení typu *master* [35].

¹¹Existují také sběrnice s adresou 10 bitů. V této práci nebude dále tato varianta rozebírána.

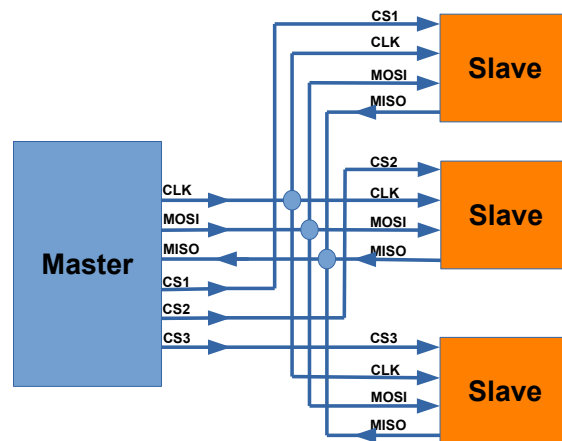


Obrázek 2.22: Zapojení zařízení na I²C sběrnici – vlastní náčrt v programu LibreOffice Impress.

součástek je vždy tato adresa uvedena. Některá zařízení mají tuto adresu pevně danou (např. obvod TM1637 [29]), nebo některé obvody umožňují svoji I²C adresu konfigurovat v řádu 1 – 3 bitů (např. obvod MCP23017 [11]).

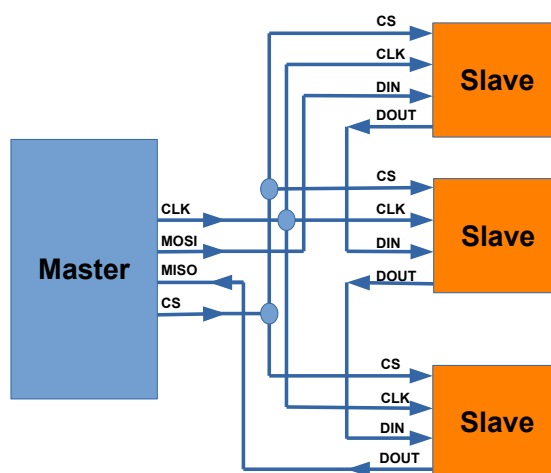
2.7.2 SPI sběrnice

SPI sběrnice je vícevodičová sériová sběrnice. Počet vodičů není pevně stanoven, je závislý na počet zařízení tzv. *slave*. Na sběrnici je pouze jedno zařízení typu *master*, které řídí komunikaci. Ve zvolené aplikaci je tímto zařízením mikrokontrolérová deska. Každá sběrnice má tyto vodiče: MOSI, MISO, CLK a několik CS vodičů, kde každý z nich je unikátní pro slave zařízení [35]. Zapojení zařízení na sběrnici je na obrázku 2.23.



Obrázek 2.23: Zapojení zařízení na SPI sběrnici – vlastní náčrt v programu LibreOffice Impress.

Některá zařízení typu slave nepoužívají vodič MISO (např. LED drivery). Nutno ještě podotknout, že někdy není jednoznačné značení datových vodičů. Některá zařízení mohou být označení pinů SDO (Serial Data Out), které značí komunikaci směrem ze zařízení a SDI (Serial Data In), které značí komunikaci směrem do zařízení. Také se můžeme setkat se značením DIN (Data In) a DOUT (Data Out) jako je např. u obvodu MAX7219 [28]. Také je možné několik zařízení typu slave zapojit do zapojení tzv. „daisy chain“, jak zobrazuje obrázek 2.24. Zde jsou datové vstupy zařízení typu slave označeny DIN a datové výstupy DOUT. Vodič CS je možné trvale nastavit do polohy, která umožňuje komunikaci se všemi těmito zařízeními, nejsou-li na sběrnici ještě přítomna další zařízení typu slave, která se v tomto zapojení nenachází. V této práci je použito zapojení níže na obrázku bez použití propojení posledního zařízení typu slave se vstupem MISO zařízení typu master, neboť jsou použity LED drivery, které nepoužívají toto propojení.



Obrázek 2.24: Zapojení „daisy chain“ na SPI sběrnici – vlastní nákres v programu LibreOffice Impress.

2.7.3 Krátké srovnání I²C a SPI sběrnice

Pokud bychom měli srovnat tyto sběrnice, tak sběrnice I²C má výhodu v nižším počtu vodičů (pouze 2 vodiče oproti 3 + počet slave zařízení vodičů) a je oproti sběrnici SPI robustnější co se týče připojování dalších zařízení. Naproti tomu komunikace po sběrnici SPI probíhá rychleji (má vyšší přenosové rychlosti) a také umožňuje oproti I²C sběrnici plný duplex.

Kapitola 3

Praktická část

V praktické části je popsána realizace jednotlivých bloků. Bude zde uvedeno propojení periférií s mikrokontrolérovou deskou a I/O expandérem. Poté následuje popis návrhu DPS některých periférií jako senzoru osvětlení, dotykových tlačítek a modulů maticových displejů. Na tuto sekci naváže návrh tzv. základových desek, na které budou upevněny některé obvody, zejména napájecí, a také samotná mikrokontrolérová deska. Poté bude uveden návrh samotné krabičky a umístění jednotlivých modulů a základových desek. Po této sekci následuje způsob, jakým se hodiny programují. Po naprogramování hodin bude uveden způsob změření odebíraného proudu jednotlivých prototypů. Poté následuje způsob komunikaci po rozhraní Wi-Fi s možnými způsoby realizace zobrazování informací z hodin např. na PC. Praktickou část uzavře vyhodnocení ekonomických nákladů a průzkum mezi hráči šachu ohledně vzhledu a funkčnosti hodin s následujícím shnutím výsledků této práce a možnými vylepšeními hodin.

3.1 Zapojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky a I/O expandéru s perifériemi

V této kapitole je všeobecný přehled propojení u jednotlivých prototypů. Propojení se liší pouze u mikrokontrolérových desek díky tomu, jaké jsou v prototypu použity displeje a jaké mají rozhraní. Zapojení pro I/O expandér je v obou prototypyech totožné. Nejjednodušší periférie představují veškerá tlačítka a indikační LED. Z tohoto důvodu jsou připojeny k I/O expandéru, neboť to umožňuje také jejich snadnou obsluhu programem.

3.1.1 Zapojení pinů mikrokontrolérové desky hodin se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem

Hodiny se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem mají definované dvě softwarové I²C sběrnice. Také je využita hardwarová I²C sběrnice. Mezi mikrokontrolérem a sedmissegmentovými displeji je zapojen na datových vodičích obousměrný převodník logických úrovní 3,3 V a 5 V. Zde se sedmissegmentovými displeji myslí celý modul, tj. včetně řídicího obvodu. Každý sedmissegmentový displej používá svoji vlastní I²C sběrnici z toho důvodu, že mají pevně danou I²C adresu, která je u obou displejů shodná, takže nemohou být na společné sběrnici, viz kapitolou 2.7.1 I²C sběrnice.

Pin	Specifikum pinu	Propojení
A0	analogový vstup 0 – 3,2 V	napětí z baterie*
D0	–	nezapojen
D1	HW I ² C SCL	senzor světla, I/O expandér, OLED displej – vše SCL
D2	HW I ² C SDA	senzor světla, I/O expandér, OLED displej – vše SDA
D3	SW I ² C SCL	levý sedmissegmentový displej – SCL
D4	SW I ² C SDA	levý sedmissegmentový displej – SDA
D5	SW I ² C SCL	pravý sedmissegmentový displej – SCL
D6	SW I ² C SDA	pravý sedmissegmentový displej – SDA
D7	–	externí napájení* (např. síť)
D8	–	TP4056, pin STDBY*

Tabulka 3.1: Propojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky s jeho periferiemi v prototypu se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem.

* přivedeno přes rezistorový dělič napětí

3.1.2 Zapojení pinů mikrokontrolérové desky hodin s maticovými displeji

Hodiny s maticovými displeji mají definovanou softwarovou SPI sběrnici. Využití GPIO pinů je zde menší než v případě druhého prototypu. Všechny datové vodiče komunikující s maticovými displeji jsou přivedené na převodník logických úrovní 3,3 V – 5 V. Dále je zde použita hardwarová I²C sběrnice pro komunikaci se senzorem osvětlení a I/O expandérem.

Pin	Specifikum pinu	Propojení
A0	analogový vstup 0 – 3,2 V	napětí z baterie*
D0	SW SPI CS	maticové displeje – CS
D1	HW I ² C SCL	senzor světla, I/O expandér, OLED displej – vše SCL
D2	HW I ² C SDA	senzor světla, I/O expandér, OLED displej – vše SDA
D3	SW SPI CLK	maticové displeje – CLK
D4	SW SPI MOSI	maticové displeje – MOSI
D5	–	nezapojen
D6	–	nezapojen
D7	–	externí napájení* (např. síť)
D8	–	TP4056, pin STDBY*

Tabulka 3.2: Propojení jednotlivých pinů mikrokontrolérové desky s jeho periferiemi v prototypu s maticovými displeji.

* přivedeno přes rezistorový dělič napětí

3.1.3 Zapojení pinů I/O expandéru

Oba prototypy mají stejné propojení I/O expandéru s tlačítky. Následující tabulka je totožná pro oba typy hodin. V závorce je vždy označení čísla GPIO pinu, které se používá v prostředí Arduino IDE. Adresové piny označené A0–A2, viz kapitolu 2.5.2 I/O expandér, jsou připojeny na zem, pin RESET je připojen na napájecí napětí 3,3 V. U indikačních LED je ve skutečnosti pin I/O expandéru přiveden na gate NMOS tranzistoru, který ovládá příslušnou indikační LED, viz kapitolu 3.2.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED.

Pin	Propojení	Pin	Propojení
A0 (0)	levé tlačítko	B0 (8)	levá indikační LED
A1 (1)	pravé tlačítko	B1 (9)	pravá indikační LED
A2 (2)	tlačítko mínus	B2 (10)	nezapojen
A3 (3)	tlačítko plus	B3 (11)	nezapojen
A4 (4)	tlačítko pause/play	B4 (12)	nezapojen
A5 (5)	tlačítko nastavení	B5 (13)	nezapojen
A6 (6)	tlačítko reset	B6 (14)	nezapojen
A7 (7)	nezapojen	B7 (15)	nezapojen

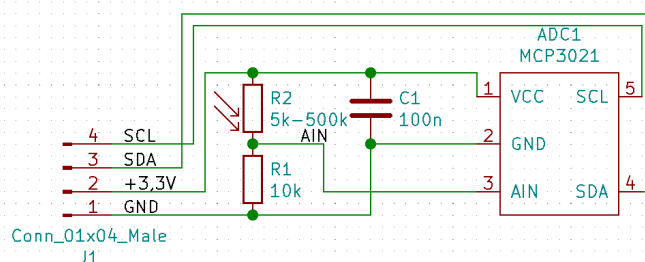
Tabulka 3.3: Propojení jednotlivých pinů I/O expandéru MCP23017 s jeho periferiemi (oba typy hodin).

3.2 Návrh desek plošných spojů

Pro některé periferie bylo nutné sestavit DPS. Ve všech případech jsem musel zvolit vhodnou velikost DPS. Dostupné moduly na trhu neměly požadované rozměry, proto jsem navrhl následující DPS. V této kapitole jsou uvedeny návrhy senzoru osvětlení, modulu pro hráče s indikační LED, centrálního panelu s dotykovými tlačítky a maticových displejů. Většina návrhů vychází z pravidel uvedených v [36]. Všechny návrhy DPS byly vytvořeny v programu KiCad. Všechny uvedené moduly jsou samostatné a nezahrnují výsledný návrh na DPS, kde je sesazeno více desek. Všechny návrhy desek plošných spojů jsou uvedeny v Příloze D, kde jsou také uvedeny DPS, které byly s těmito návrhy vyrobeny.

3.2.1 Návrh senzoru osvětlení

Tento modul má za úkol zjišťovat intenzitu osvětlení. Tato informace je využita k tomu, aby se automaticky nastavil jas displejů, je-li tato předvolba uživatelem nastavena.



Obrázek 3.1: Schéma zapojení senzoru osvětlení s A/D převodníkem – převzato z programu KiCad.

Modul má napájení 3,3 V. Toto odpovídá napěťové úrovni použité mikrokontrolérové desky, takže není třeba zapojovat převodník logických úrovní. Základem tohoto modulu je A/D převodník *MCP3021*. Mezi vstupní svorky VCC a GND je zapojen kondenzátor o hodnotě 100 nF. Slouží k případnému doplnění energie, a také ke stabilizaci napětí 3,3 V, jedná se o blokovací kondenzátor [36]. Na analogový vstup označený jako AIN je zapojen rezistorový dělič napětí s fotorezistorem. Hodnota odporu fotorezistoru se pohybuje od 5 kΩ do 500 kΩ [17]. Je zapojen v sérii s rezistorem o hodnotě 10 kΩ. Tato hodnota rezistoru byla určena experimentálně, aby bylo možné snadno rozpoznat danou intenzitu světla pro několik úrovní jasu a aby rezistorovým děličem procházel proud o nízké hodnotě. Ze zapojení vyplývá následující rovnice:

$$U_{R_1} = U_N \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad [V, V, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (3.1)$$

Zde U_{R_1} odpovídá napětí na rezistoru R_1 , U_N je napájecí napětí děliče, R_1 je hodnota odporu pevného rezistoru R_1 a R_2 je hodnota odporu fotorezistoru R_2 . Na rezistoru R_1 se měří výsledné napětí, aby platilo, že s rostoucí hodnotou osvětlení roste napětí na tomto rezistoru, protože fotorezistor svůj odpor snižuje s rostoucí intenzitou světla.

Z rovnice plyne tento rozsah napětí na rezistoru R_1 : 0,065 V – 2,2 V. Při ověřování tohoto rozsahu v praxi došlo k tomu, že senzor vykazoval hodnoty uvedené mimo tento rozsah. Je to způsobeno nelineární charakteristikou fotorezistoru, případně může být hodnota odporu fotorezistoru nižší než 5 k Ω při vyšší intenzitě osvětlení. Tuto domněnku jsem nemohl ověřit měřením, protože jsem neměl k dispozici luxmetr a také při měření nebyla známa hodnota intenzity osvětlení.

Návrh plošného spoje je pouze jednostranný, viz obrázek 4.1 v Příloze D. Na této straně jsou všechny součástky použity v SMD podobě kromě fotorezistoru, aby celková plocha spoje byla co nejmenší. Signální vodiče SCL a SDA jsou vyvedeny přímo k vývodovým kolíkům, neboli ke konektorům. Kondenzátor C_1 je umístěn co nejbližší k vývodu VCC A/D převodníku, jak doporučuje [36], jedná se o tzv. blokovací kondenzátor. Společný vodič GND tvoří plochu a izoluje jak jednotlivé signální vodiče od sebe, tak i napájecí vodič od signálních vodičů. Napájecí vodič VCC a společný vodič GND jsou také vyvedeny k vývodovým kolíkům. Tyto kolíky umožňují snadné propojení pomocí tenkých kabelů s mikrokontrolérem. Na obrázku 3.2 je výsledný spájený modul senzoru osvětlení.



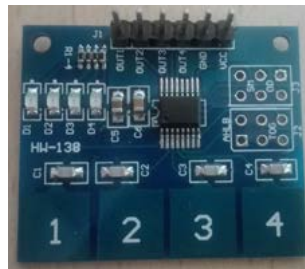
Obrázek 3.2: Výsledný modul senzoru osvětlení – horní část vlevo a spodní část vpravo – vlastní foto.

3.2.2 Návrh centrálního panelu s dotykovými tlačítky

Centrální panel bude hlavním ovládacím prvkem hodin. Pomocí něj je možné hodiny nastavit na požadovaný čas, případně je zastavit či opětovně spustit. Možné je taktéž provést další nastavení.

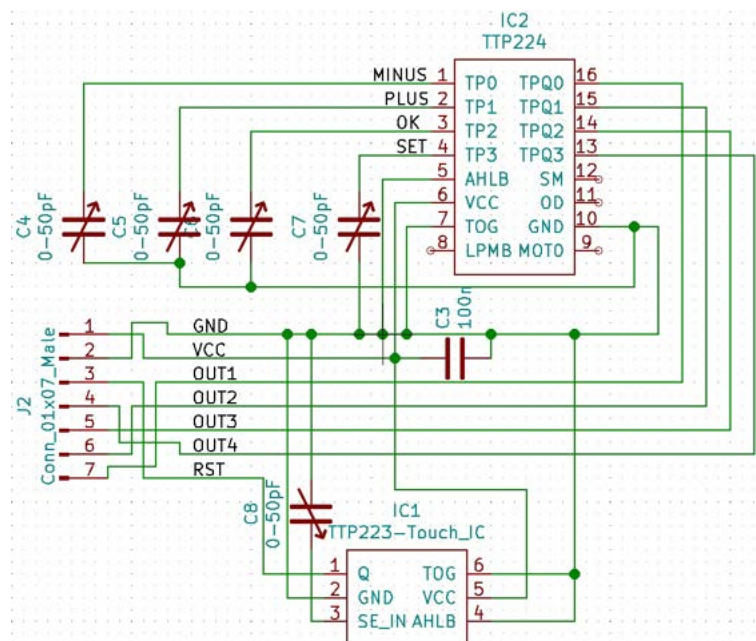
Schéma vychází ze zakoupeného modulu uvedeném na obrázku 3.3 a také z vlastností použitého obvodu TTP224 [33]. Ve schématu je použito zapojení pro 5 dotykových tlačítek. Samotný symbol pro dotykové plošky na schématu není zakreslen a daná dotyková ploška je vždy spojena s daným vstupem do obvodu TTP224, nebo TTP223¹. V původním návrhu schématu byla pouze

¹Více o tomto obvodu viz kapitola 3.2.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED a také [32].



Obrázek 3.3: Zakoupený modul se 4 tlačítky – vlastní foto.

4 tlačítka. Toto schéma je shodné s uvedeným, jen neobsahovalo část zapojení s obvodem TTP223.

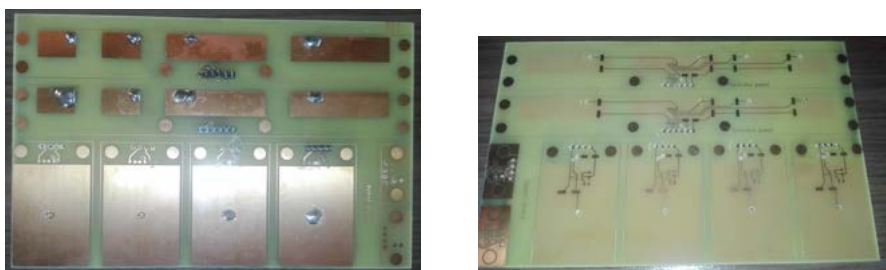


Obrázek 3.4: Schéma centrálního panelu s tlačítky – převzato z programu KiCad.

Ve schématu se dále nachází vývodové konektory. Tyto konektory umožňují modul snadno propojit pomocí propojovacích vodičů. Dále se nachází u každého vstupu obvodu TTP224 a obvodu TTP223 kondenzátor, pomocí kterého je možné případně zvýšit citlivost stisku tlačítka. Vývody obvodu TTP224, které nebyly zapojeny, není potřeba zapojovat, neboť je potřeba standardní funkce obvodu TTP224 [33] a také v pořízeném modulu tyto obvody nebyly zapojeny, ale v modulu byla ponechána možnost jejich zapojení. Vstupy AHLB a TOG jsou uzemněny. Jejich význam je stejný jako u obvodu TTP223 [32], [33] a bude vysvětlen v následující kapitole.

V návrhu plošného spoje (obrázek 4.2) byly všechny součástky umístěny ke středu, kde jsou také konektory. Nejbližší k těmto konektorům je blokovací kondenzátor C_3 o hodnotě 100 nF v SMD formě. Vodič GND je tvořen cestami, protože je potřeba mít co nejmenší parazitní kapacitu. Kondenzátory

pro zvýšení citlivosti tlačítek jsou umístěny nejbližší středu DPS. Všechny součástky jsou v SMD formě a jsou na spodní straně panelu. Na vrchní straně panelu jsou umístěny pouze dotykové plošky a také propojení společného vodiče, který je od těchto plošek značně vzdálen.



Obrázek 3.5: Testovací DPS s centrálním panelem a hráčským modulem – vlastní foto.

Při samotném návrhu se nejdříve uvažovalo se 4 tlačítky. Návrh byl takřka totožný a dvě dotykové plošky vpravo na obrázku 4.2 tvořily jednu, což je dobře vidět na obrázku 3.5. Při tomto návrhu bylo bohužel špatně zvoleno pouzdro pro umístění obvodu TTP224. Po otestování DPS (testovací DPS se 4 tlačítky na obrázku 3.5) byl tento návrh upraven i pro 5 tlačítek, protože v době zadání do výroby nebylo jasné, kolik tlačítek budou hodiny nakonec obsahovat. U DPS uvedené na obrázku 4.2 dále chyběla některá propojení společného vodiče GND. Tyto chybějící cesty byly doplněny rezistory o hodnotě 0Ω a dalšími vodiči, viz obrázek 3.6 spodní stranu. Poněvadž bylo také na desce více obvodů, které neměly mezi sebou rozestupy, viz obrázek 4.9, a bylo špatně vyřešeno uchycení panelu, tak tento modul byl oproti původnímu návrhu rozšířen, aby bylo možné jeho uchycení ke krabičce. Zároveň zasahoval do plošného spoje panelu se 4 tlačítky (původní návrh), který měl chybu ve výběru pouzdra integrovaného obvodu. Části plošného spoje, které z tohoto modulů zůstaly, nejsou v obvodu zapojeny, a tak nebrání ve funkci samotného panelu.

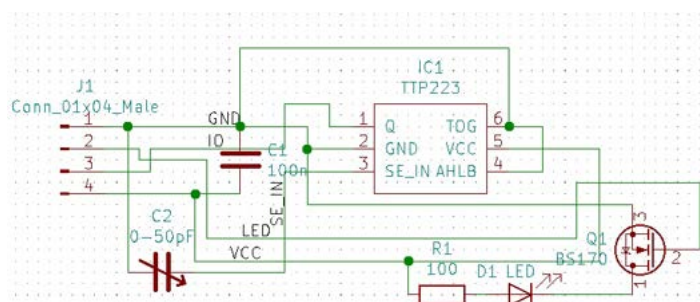


Obrázek 3.6: Výsledný modul centrálního panelu s tlačítky – horní část vlevo a spodní část vpravo – vlastní foto.

3.2.3 Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED

Indikační LED budou sloužit k určení hráče, který má být na tahu. Jejich umístění je v blízkosti kapacitních tlačítek pro přepínání mezi hráči.

V obvodu je tato LED zapojena s příslušným předřadným rezistorem k drainu NMOS tranzistoru. Hodnotu tohoto rezistoru jsem volil tak, aby LED svítila dostatečně rozeznatelně také v hodně osvětlené místnosti a zároveň neměla velkou spotřebu. Ve schématu 3.7 je dána minimální hodnota rezistoru $100\ \Omega$, která vychází z rovnice 2.1. Hodnotu rezistoru jsem nakonec zvolil $150\ \Omega$, protože jsem měl v daný okamžik k dispozici jen určité hodnoty SMD rezistorů. Celý obvod je připojen na napětí $3,3\ \text{V}$, viz schéma 3.7.



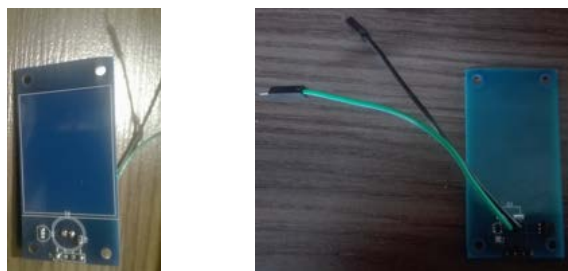
Obrázek 3.7: Schéma zapojení kapacitního tlačítka pro hráče a informační LED (bez vyznačení dané dotykové plochy, která je v obvodu zapojena na vstup SE_IN integrovaného obvodu) – převzato z programu KiCad.

Spínací část tvoří kapacitní dotyková plocha. Signál z ní je přiveden na vyhodnocovací obvod. Ten byl zvolen konkrétně TTP223-BA6 [32]. Tento obvod je jedнокanálový a má skvělé vlastnosti vyhodnocování. Dále je možné obvod napájet $3,3\ \text{V}$ a také poskytuje příslušnou napěťovou úroveň logické 1, takže není potřeba převodník logických úrovní umístěný mezi tento obvod a pin mikrokontroléru, nebo I/O expandéru. Také je možné tomuto obvodu zvýšit citlivost pomocí kondenzátoru C_2 , který je paralelně připojen k dotykové plošce.

Při návrhu plošného spoje byl respektován jeden základní požadavek: co nejnižší hodnota parazitní kapacity pro tlačítko [30]. Z tohoto důvodu vodič GND netvoří plochu, ale tvoří cesty. Dále je zde místo pro paralelně zapojený kondenzátor k dotykové plošce. Tato ploška má rozměry $30\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$. Veškeré obvody jsou umístěny co nejbližší k vývodovým kolíkům. Při samotné montáži nakonec nebyla umístěna LED, ale pouze izolované vodiče vedoucí k ní, neboť světlo v ní by mohlo negativně ovlivňovat světelný senzor, viz kapitolu 3.4 Návrh krabičky a umístění modulů. Před integrovaný obvod byl umístěn kondenzátor C_1 o kapacitě $100\ \text{nF}$ a plní zde funkci blokovacího kondenzátoru [36].

Před výslednou realizací byl tento návrh DPS vytvořen na běžném fotocuprexitu (obrázek 3.5). Zde jsem potřeboval otestovat reakci tlačítka, pokud bude zakryté plexisklem, a také možnost podsvícení pomocí SMD LED. Reakce tlačítka s plexisklem dopadla výborně. Podsvícení pomocí SMD LED nedopadlo dobře z důvodu špatné viditelnosti, takže tato LED byla nahrazena

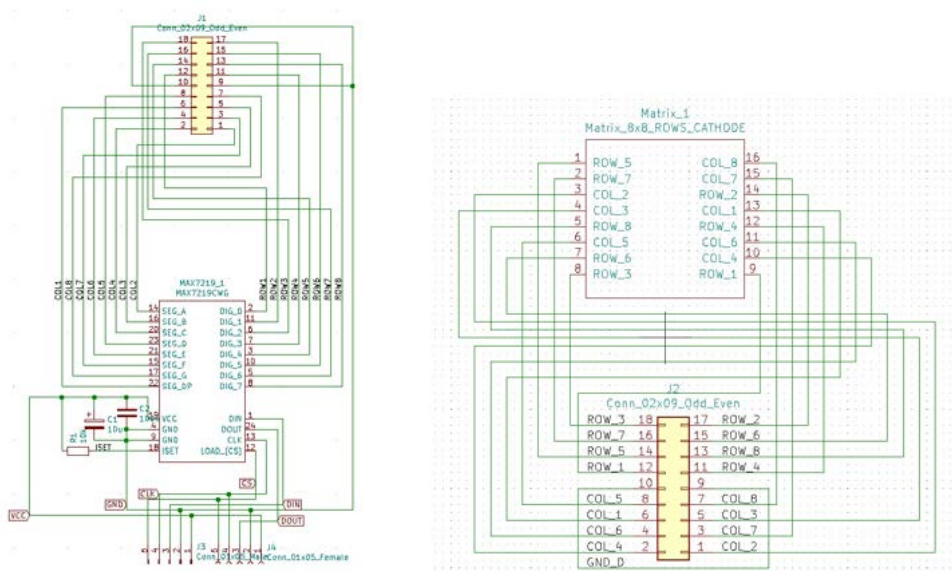
LED s THT vývody o průměru 10 mm, která je nakonec umístěna vedle tlačítka, aby příliš negativně neovlivňovala senzor osvětlení.



Obrázek 3.8: Výsledný modul hráčského tlačítka s vodiči vyvedenými pro indikační LED – vlastní foto.

3.2.4 Návrh modulů maticového displeje

Tyto moduly jsem využil pouze u hodin s maticovými displeji. Dostupné maticové displeje dělané jako moduly jsou pro tuto aplikaci příliš velké. Z tohoto důvodu bylo potřeba navrhnout DPS těchto displejů. Zde byl limitujícím faktorem rozměr displeje. Také použitý LED driver MAX7219 v SMD provedení je hodně široký v porovnání se šířkou DPS, která je shodná s rozměrem jednoho maticového displeje, a tak bylo zvoleno tzv. dvouvrstvé řešení, viz obrázky 2.19 a 3.9.

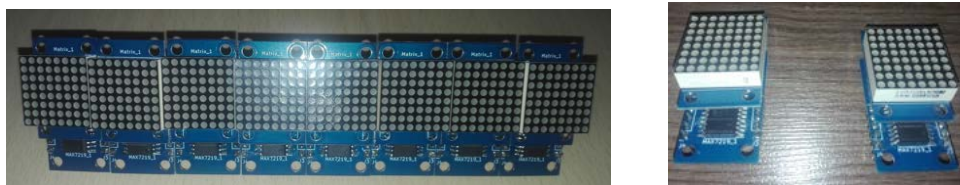


Obrázek 3.9: Schéma zapojení modulu s jedním maticovým displejem (řídící část vlevo a displejová část vpravo) – převzato z programu KiCad.

V první vrstvě je samotný řídicí driver doplněný o rezistor a kondenzátory potřebné pro činnost obvodu MAX7219 [28]. Také se zde vyskytují propojovací konektory, které spojují napájení a vodiče SPI sběrnice. Zapojení displejů

je kaskádové, neboli daisy chain. Mikrokontrolér s nimi komunikuje, jako kdyby to byl jeden celý displej. Společný vodič GND opět tvoří obě strany plošného spoje pro snížení přeslechů mezi signálními cestami, jak doporučuje [36]. Všechny signální cesty, které vedou k samotnému displeji, jsou zakončeny konektory s menší roztečí, aby celý konektor bylo možné umístit na desku. Zde je také vyveden vodič GND, aby bylo možné snížit přeslechy mezi signálními cestami ve druhé vrstvě. Ve druhé vrstvě jsou rozvedeny z konektoru jednotlivé signální cesty až k displeji. Signální cesty jsou odděleny společným vodičem GND, který tvoří v obou vrstvách plochu.

Samotný displej je tvořen zelenými LED. Při samotné montáži bylo nejdříve počítáno s tím, že se využije umístění několika modulů v řadě na téže desce. Ovšem při testování byl vždy problém u některého z displejů, pravděpodobně u konektoru propojující obě vrstvy. Vždy tu byl problém s rozsvícením několika sloupců, nebo řádků, takže displeje byly odděleny a bylo vybráno vždy 8 modulů, které fungovaly bez větších problémů. Výsledné moduly jsou na obrázku 3.10.



Obrázek 3.10: Výsledný maticový displej s rozlišením 64×8 bodů (vlevo) a jednotlivé moduly o rozlišení 8×8 bodů (vpravo) – vlastní foto.

3.3 Návrh základových desek

Tyto základové desky slouží k několika účelům. Umožňují vytvořit napájecí sítě vodičů. Každá síť má napěťovou úroveň 5 V, respektive 3,3 V, nebo se jedná o společný vodič GND. Základové desky umožňují některé moduly snadno upevnit v krabičce, které by nebylo možné upevnit pomocí šroubů nebo lišt. Pro použití v jednom prototypu byly takové desky vytvořeny dvě. Fotografie těchto desek jsou uvedeny v Příloze D za návrhy DPS.

Na obrázku 4.5 jsou umístěny obvody napájení. Tímto termínem jsou zde myšleny nabíjecí modul (vpravo dole) a step-up měnič. Tyto obvody jsou propojeny vodivými cestami na druhé straně desky. Dále je zde upevněn I/O expandér, ze kterého vedou vodiče spojující další periferie. Je upevněn několika kolíky, které nejsou zapojeny do žádného obvodu. Je tu také realizován obvod pro hardwarový reset zařízení a také rezistorový dělič napětí pro baterii a vstup A/D převodníku mikrokontrolérové desky. Také jsou zde vyvedeny konektory pro zjištění stavu baterie.

Na obrázcích 4.6 a 4.7 je vidět základová deska pro mikrokontrolérovou desku, převodník logických úrovní a další obvody. Jsou zde rozvedena napětí 3,3 V a 5 V přímo z mikrokontrolérové desky a také společný vodič GND. Nachází se zde dostatečný počet konektorů pro připojení periférií

používajících hardwarovou I²C sběrnici, k jejímž vodičům jsou přivedeny rezistory o hodnotě 4,7 k Ω , které jsou připojeny na napětí 3,3 V a umístěny pod mikrokontrolérovou deskou.

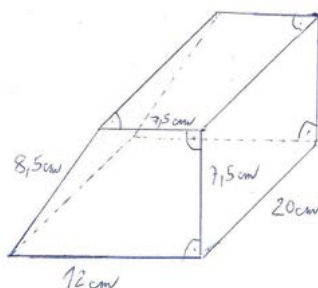
Desky se pak liší podle typu použitých displejů. Podle toho jsou také zapojeny převodníky logických úrovní, kde u prototypu s maticovými displeji na obrázku 4.7 není využit jeden kanál. U prototypu používající sedmisegmentové displeje a OLED displej na obrázku 4.6 jsou u převodníku na straně kanálů s nižším napětím zapojeny rezistory o hodnotě 4,7 k Ω , neboť každý z těchto displejů má vlastní I²C sběrnici.

Na stejném obrázku chybí v levé části základové desky dva rezistorové děliče napětí. Ty jsou znázorněny na obrázku 4.7. Tyto rezistorové děliče mají obě desky společné a jejich zapojení je totožné. Slouží ke snížení napětí z vodičů, které jsou přivedeny z nabíjecího modulu indikujícího stav nabíjení. Hodnoty rezistorů byly voleny tak, aby děličem procházel proud o malé hodnotě. Jejich hodnoty se určily z rovnice 3.1, kde U_N je rovno 5 V a U_{R_1} je rovno 3,3 V. Hodnota odporu R_1 byla zvolena 200 k Ω a hodnota odporu R_2 byla zvolena 110 k Ω . Tyto hodnoty odporů byly zrealizovány pomocí rezistorů o hodnotách odporu 10 k Ω a 100 k Ω .

3.4 Návrh krabičky a umístění modulů

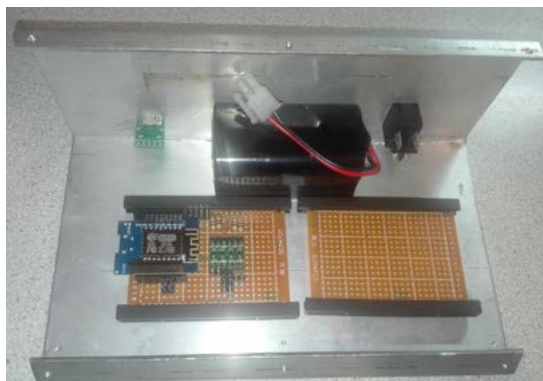
V této kapitole bude uveden návrh krabičky a umístění modulů. Většina umístění modulů bude vyplývat zejména z následujících obrázků. Bude tu zmíněn návrh prototypu se sedmisegmentovými displeji a OLED displejem. Pro prototyp s maticovými displeji je návrh totožný, jen se liší otvory upravenými pro tyto displeje. Návrh je řešen zejména z hlediska použití.

Návrh vychází z aktuálně dostupných hodin. Displeje a tlačítka centrálního panelu je nutné umístit dopředu tak, aby displeje byly dobře viditelné při pohledu z jiného úhlu než přímého. Tlačítka pro hráče a indikační LED musí být umístěny nahoře, aby tyto LED bylo možné snadno vidět a bylo možné snadné přepínání hodin. Na horní straně krabičky by měl být umístěn vstup senzoru osvětlení. Na zadní straně by měl být umístěn vypínač a USB konektor, který bude sloužit pro nabíjení hodin. Na obrázku 3.11 je vidět hrubý náčrt krabičky při pohledu na levou boční stěnu a zadní stěnu.



Obrázek 3.11: Hrubý náčrt krabičky s orientačními délkami hran.

Přední panel je zkosený. Díky tomu je možné zepředu se dívat na hodiny z různých úhlů, např. když hráč sedí u šachovnice. Rozměry krabičky jsem zvolil tak, aby se vešly do krabičky všechny použité obvody a propojení mezi nimi. Tyto rozměry jsou podobné rozměrům současně používaných hodin.



Obrázek 3.12: Spodní část krabičky s umístěnou baterií, USB konektorem, vypínačem a základovými deskami – vlastní foto.

Na spodní straně krabičky na obrázku 3.12 jsem umístil základové desky obsahující obvody a moduly, viz předchozí kapitolu 3.3 Návrh základových desek. Do zadní části krabičky jsem umístil baterii přibližně do středu nejdelší strany s ohledem na vyvážení hodin. Na zadní stěnu jsem připevnil micro USB konektor, konkrétně modul s tímto konektorem, a vypínač. Základové desky jsem umístil tak, aby měl prostor vepředu krabičky, neboť zde je zkosená část předního panelu. Boční stěny jsou z plexiskla (na obrázku nezobrazeny) pro možnosti nahlédnutí dovnitř na zapojení obvodů².



Obrázek 3.13: Vrchní část krabičky, prototyp se sedmisedimentovými displeji a OLED displejem – vlastní foto.

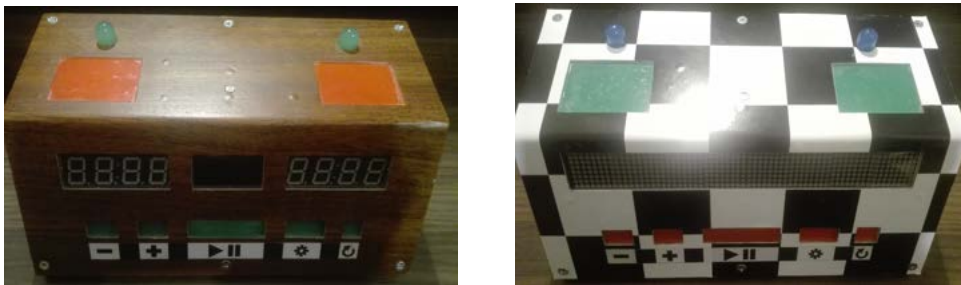
Na vrchní straně krabičky v místě zkosení jsou zesponu upevněné displeje. Pod nimi se nachází centrální panel s ohledem na to, aby bylo možné ho umístit do sestavené krabičky a propojit, neboť se nachází v místě blízko spodní

²Tato varianta bočních stěn je použita z důvodu toho, že se jedná o prototypy.

straně krabičky. Úplně na vrchní straně krabičky jsou umístěna tlačítka pro hráče a indikační LED a senzor osvětlení. Umístění LED jsem volil tak, aby co nejméně ovlivňovaly senzor osvětlení. Tlačítka jsem umístil tak, aby bylo možné je snadno stisknout. Senzor osvětlení je uprostřed, kde jsou také nejlepší podmínky pro zjištění intenzity osvětlení a neměl by být příliš negativně ovlivněn jinými vlivy (např. světlem z indikačních LED).

Všechna tlačítka jsou kryta průhlednou fólií a páskou. Tlačítka na horní straně a prostřední tlačítka na centrálním panelu jsou doplněna plexisklem. Tato tlačítka budou nejpoužívanější, neboť slouží k provozu hodin, myšleno k přepínání mezi hráči a spuštění či zastavení hodin. Zbývající tlačítka slouží zejména pro nastavování hodin, kam patří také prostřední tlačítka. Hodiny jsou polepeny samolepicí tapetou. Výsledné sestavení hodin je na obrázku 3.14.

Při montáži se hůře připevňovaly maticové displeje. V návrhu plošného spoje je chyba v nedostatečném vyhrazení prostoru pro spojovací materiál, který musel být ve výsledku upraven. S ostatními částmi podobné potíže nakonec nebyly.



Obrázek 3.14: Výsledné sestavení hodin – vlevo hodiny se sedmisedimentovými displeji a OLED displejem, vpravo hodiny s maticovými displeji – vlastní foto.

3.5 Naprogramování hodin

Kód programu jsem psal ještě před samotným sestavením hodin. Potřeboval jsem otestovat některé součásti z důvodu následného použití v reálném zapojení.

Mikrokontrolérovou desku Wemos D1 mini lze programovat v několika programovacích jazycích. Zvolil jsem známé prostředí Arduino IDE. Toto prostředí používá kombinaci programovacích jazyků C a C++, ale v některých ohledech se liší. Programy napsané v tomto prostředí neobsahují klasickou funkci *main*³, která slouží pro vykonávání hlavní smyčky programu [37], [38]. Tato funkce je nahrazena funkcemi *void setup ()* a *void loop ()* v uvedeném pořadí. V klasickém programovacím jazyce C nebo C++ by vypadal přepis do funkce *main* například takto⁴:

³Tato funkce není v prostředí Arduino IDE programátorovi dostupná.

⁴Pro vysvětlení následujícího kódu ve funkci *main* viz také [37] a [38].

```

void main () {

    //kód funkce setup

    while(1) {

        //kód funkce loop

    }

}

```

Toto má nevýhodu např. při definici proměnných. V případě klasické funkce *main* je možné definovat proměnné pouze pro tuto funkci (lokální proměnné) a používat je jak před smyčkou *while(1)*, tak i přímo v ní. Toto není možné v případě použití funkcí *setup* a *loop*. Pokud chceme danou proměnou používat v obou těchto funkcích, je nutné tuto proměnnou definovat globálně.

Většina periférií má v prostředí Arduino IDE své knihovny. V nich jsou jednotlivé periferie definovány většinou jako instance třídy. V konstruktorech tříd reprezentující periferie bývají u některých také vyžadovány konkrétní GPIO piny mikrokontrolérové desky.

Při dělení do jednotlivých souborů pro zpřehlednění kódů jsem měl problémy s funkcí většiny knihoven. Mohlo to být způsobeno chybami v mém kódu, případně některé knihovny toto nepodporují. To značně komplikuje přehlednost kódu.

V programu je využíváno softwarové přerušení. Při vyvolání program opustí hlavní smyčku programu a vykoná se obsluha přerušení, poté se navrátí zpět do hlavní smyčky [5]. Zde je přerušení využíváno k načítání stavu tlačítek a odpočtu času, případně k blikání některých znaků, jako je např. dvojtečka. Také je v další obsluze přerušení funkce měření napětí baterie a určení stavu, zda se případně nabíjí. V prostředí Arduino IDE je přerušení definováno pomocí třídy *Ticker*, které znamená, že se přerušení po připojení obsluhy vykoná vždy za určitý čas, pokud je k tomuto přerušení přiřazena funkce.

Jako další obsluha přerušení tu běží ještě definovaný server s HTML stránkou, viz kapitolu 3.7 Komunikace mezi zařízeními a PC. Na serveru se pravidelně aktualizují údaje a u připojeného zařízení, které se serverem komunikuje, se údaje také aktualizují, pokud je dostupné Wi-Fi připojení.

Výsledný program by měl zvládat obsluhování všech periférií a případně se připojit k Wi-Fi a spustit server s HTML stránkou. Také by měl zvládat odpočítávání času a nastavení hodin na daný časový režim. Ohledně režimů času je tu otázka, jaké režimy zvolit. Minimálně je nutné zvolit základní časové režimy, které umí nejjednodušší digitální hodiny, např. režimy s časem na partii pro každého hráče, a případně doplnit nějaké režimy s přičítáním času za odehraný tah a případně další typy časových režimů, např. partie na více časových úseků. Hodiny je možné programovat v krabici bez nutnosti vytažení mikrokontrolérové desky, protože je zachováno plné USB spojení. Díky tomuto je možné snadno nahrávat novější verzi programu.

Kód programu se mi podařilo úspěšně napsat. Bohužel jsem nedokázal opravit chybu ve vyhodnocení stavu baterie. Mikrokontrolérová deska správně vyhodnuce zbývající kapacitu baterie, pokud baterie není nabíjena, a stav, když baterie chybí a deska je napájena pomocí USB nabíječky. Pokud je baterie nabíjena, mikrokontrolérová deska bohužel nevyhodnotí, zda se baterie nabíjí, nebo je nabita, pouze detekuje přítomnost nabíječky. Tento problém je částečně řešen tím, že je možné vidět přímo nabíjecí modul nacházející se v krabičce díky jeho umístění a faktu, že boční stěny jsou tvořeny z plexiskla.

3.6 Měření odběru šachových hodin

Po sestavení daného prototypu jsem provedl měření odběru proudu. Průběh experimentu je u obou prototypů shodný. Při experimentu byla baterie nahrazena zdrojem stejnosměrného napětí. Toto napětí jsem nastavoval podle rozsahu pracovního napětí použité baterie, viz kapitolu 2.5.7 Napájení. Mezi zdroj a obvod hodin jsem zapojil ampérmetr pro změření odebíraného proudu. Měřil jsem odebíraný proud při zobrazení hodin nastavených v režimu 1, seznam režimů viz Příloha A, které byly pozastaveny. Díky tomuto experimentu jsem zvolil počet úrovní jasu s přihlédnutím na viditelnost displejů a na spotřebu proudu dané úrovně jasu.

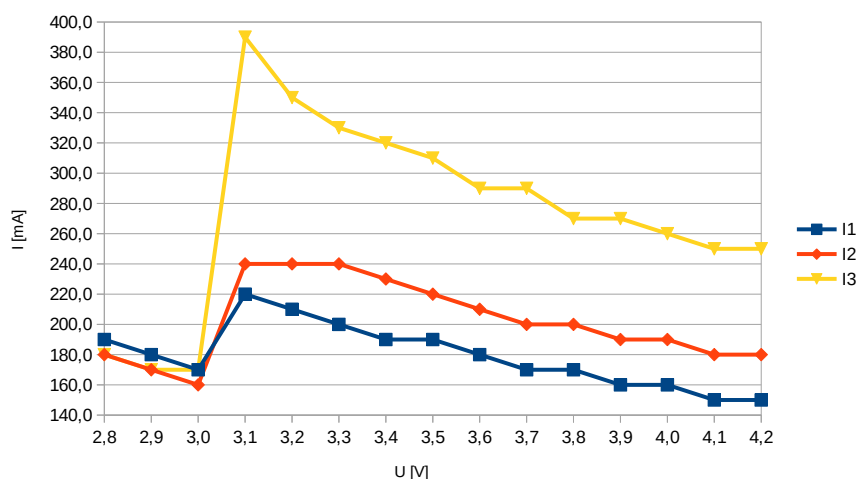
3.6.1 Šachové hodiny s OLED displejem a dvěma sedmisegmentovými displeji

Tento experiment jsem provedl na všech třech úrovních jasu sedmisegmentových displejů. Index u každého proudu značí úroveň jasu, kde 1 je nejnižší úroveň, 3 je nejvyšší úroveň. V tabulce 3.4 značí U vstupní napětí určené ze zdroje a I_x (x je číslo indexu úrovně jasu) je naměřený vstupní proud. Tento proud je měřen s přesností na desítky mA. Napětí bylo nastaveno s přesností na desetiny V.

Při experimentu se ukázalo, při které hodnotě napětí přestaly displeje svítit, případně začaly blikat. Tato hodnota napětí se pohybuje v rozmezí 3,1 V – 3,2 V, proto naměřené hodnoty pod tímto rozmezím jsou ve skutečnosti zkrácené, neboť není odebírán proud sloužící k rozsvícení displejů. Pod hodnotou přibližně 3 V jsou displeje úplně vypnuté z důvodu vyhodnocení stavu baterie mikrokontrolérovou deskou. U úrovně jasu 2 se při hodnotě napětí 3,2 V prokázalo, že při opětovném spuštění zdroje displeje už neblíkaly. Tento experiment je důležitý zejména pro orientační určení proudu, který hodiny odebírají. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3.4 a v grafu na obrázku 3.15.

U [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	U [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]
2,8	190	180	180	3,6	180	210	290
2,9	180	170	170	3,7	170	200	290
3,0	170	160	170	3,8	170	200	270
3,1	220	240	390	3,9	160	190	270
3,2	210	240	350	4,0	160	190	260
3,3	200	240	330	4,1	150	180	250
3,4	190	230	320	4,2	150	180	250
3,5	190	220	310				

Tabulka 3.4: Naměřené hodnoty odebraného proudu při všech uvedených úrovních jasu.



Obrázek 3.15: Závislost vstupního proudu na vstupním napětí při různých úrovních jasu u hodin se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem – exportováno z programu LibreOffice Calc.

Závěr: Pomocí experimentu byl změřen odebraný proud hodin. Tato spotřeba je u všech úrovní jasu nižší než předpokládaných 500 mA, viz kapitolu 2.5.7 Napájení. U nejvyšší úrovně jasu je velké rozmezí proudu v pracovním rozsahu 3,1 V – 4,2 V. Platí předpoklad, že se snižujícím se napětím roste odebraný proud, aby byl zachován příkon na DC-DC měnič, který je v obvodu zapojený za zdrojem napětí, viz blokové schéma zapojení hodin v kapitole 2.4 Návrh a popis zapojení.

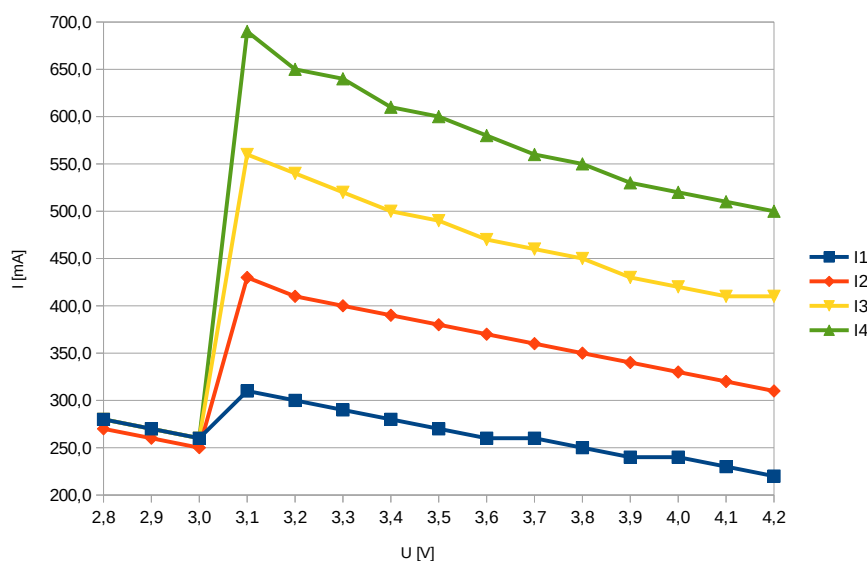
3.6.2 Šachové hodiny s maticovými displeji

Tento experiment byl proveden na všech čtyřech úrovních jasu maticových displejů. Index u každého proudu značí úroveň jasu, kde 1 je nejnižší úroveň, 4 je nejvyšší úroveň. Značení veličin je stejné jako u experimentu s hodinami používající sedmissegmentové displeje a OLED displej.

Při experimentu se ukázalo, při jaké hodnotě napětí displeje přestaly svítit, případně začaly blikat. Tato hodnota je v rozmezí 3,1 V – 3,3 V. Displeje přestaly svítit v rozmezí 3,0 V – 3,1 V v závislosti na úrovni jasu. Zároveň je experiment důležitý pro orientační určení proudu, který hodiny odebírají. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3.5 a v grafu na obrázku 3.16.

U [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I_4 [mA]	U [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I_4 [mA]
2,8	280	270	280	280	3,6	260	370	470	580
2,9	270	260	270	270	3,7	260	360	460	560
3,0	260	250	260	260	3,8	250	350	450	550
3,1	310	430	560	690	3,9	240	340	430	530
3,2	300	410	540	650	4,0	240	330	420	520
3,3	290	400	520	640	4,1	230	320	410	510
3,4	280	390	500	610	4,2	220	310	410	500
3,5	270	380	490	600					

Tabulka 3.5: Naměřené hodnoty odebíraného proudu při všech úrovních jasu.



Obrázek 3.16: Závislost vstupního proudu na vstupním napětí při různých úrovních jasu u hodin s maticovými displeji – exportováno z programu LibreOffice Calc.

Závěr: Pomocí experimentu byl změřen odebíraný proud hodin. Tato spotřeba je vyšší než u hodin se sedmisegmentovými displeji a OLED displejem. Platí předpoklad, že se snižujícím se napětím roste odebíraný proud, aby byl zachován příkon na DC-DC měnič, který je v obvodu zapojený za zdrojem napětí, viz blokové schéma zapojení hodin v kapitole 2.4 Návrh a popis zapojení. Pracovní rozsah napětí je zde více omezen a to na rozsah 3,3 V – 4,2 V, ale u nižších jasových úrovních je dolní hranice rozsahu přibližně

3,1 V. Úroveň jasu 4 převyšuje předpokládanou hodnotu odebíraného proudu 500 mA. U jasové úrovně 3 je překročení pouze u nižších hodnot napětí, při kterých je baterie více vybita.

3.7 Komunikace mezi zařízeními a PC

V této kapitole budou popsány možnosti komunikace mezi hodinami a ovládacím zařízením, např. PC. V jednotlivých sekcích bude popsáno použité řešení. Výslednou HTML stránku jsem vytvořil s pomocí [39].

Požadavky na komunikaci jsou následující: každou sekundu se mění čas hodin, pokud jsou spuštěny. Z toho vyplývá, že komunikace musí probíhat hladce a neměla by hodinám činit žádné větší problémy. V síti dále musí být použit Wi-Fi router, který zajistí komunikaci mezi všemi zařízeními.

První z možností je automatická aktualizace pomocí HTTP protokolu na statické HTML stránce. Psaní této HTML stránky vyžaduje pouze základní znalosti HTML jazyka. Bohužel toto řešení neposkytuje dostatečnou funkčnost. Při testování řízení za pomoci tohoto způsobu trvalo dlouho odesílání dat v některých časových intervalech, což následně způsobilo zastavení hodin, neboť trvalo delší dobu aktualizování údajů na stránce. Z toho vyplývá, že tento způsob řízení je velice nevhodný.

Druhým způsobem je použití statické HTML stránky na každém ze zařízení podobně jako v první možnosti. Namísto aktualizace celé stránky jsou aktualizována pouze data [40]. Při aktualizaci se uživateli neposílá celá stránka, ale prostý text s údaji zakódovaný pomocí JSON. Díky tomuto probíhá celá komunikace daleko rychleji než v prvním případě. Při testování hodiny fungovaly bez větších problémů. Bohužel toto řešení je nevhodné pro řízení několik desítek hodin, protože pro každé hodiny je nutné mít v prohlížeči otevřenou stránku pro každé hodiny.

Třetím řešením je využití serveru v síti. Zařízení by veškerá data posílala na tento server. Posílání dat může být provedeno několika způsoby, např. pomocí MQTT [41]. Zde by se jako server využilo zařízení Raspberry Pi Zero W, případně by bylo možné použít samotné řídicí PC. Raspberry Pi Zero W je možné také nastavit jako router, takže by toto zařízení mělo funkce routeru a serveru. Bohužel se mi nepodařilo zprovoznit toto řešení, neboť jsem měl problémy s nastavením Raspberry, také jsem nezkoušel řešení se zprovozněním MQTT serveru na PC, proto dále bude popsáno druhé uvedené řešení. Toto řešení využívající server má výhodu v lepší správě většího počtu zařízení.

3.7.1 Síťová topologie

V síti se nachází jednotlivé hodiny, řídicí zařízení, např. PC, a Wi-Fi router. Jednotlivé hodiny a řídicí zařízení komunikují přes Wi-Fi router. Z toho vyplývá, že síťová topologie je hvězdicová. Šachové hodiny se mohou připojovat pouze k tomuto routeru, k dalším Wi-Fi routerům nemají přístup z důvodu použití pro testovací účely a prozatím není důvod hodiny připojovat k domácím Wi-Fi routerům. PC je možné k routeru připojit pomocí kabelu,

pokud to použitý router umožňuje. V síti není žádný server, protože to řešení nevyžaduje.

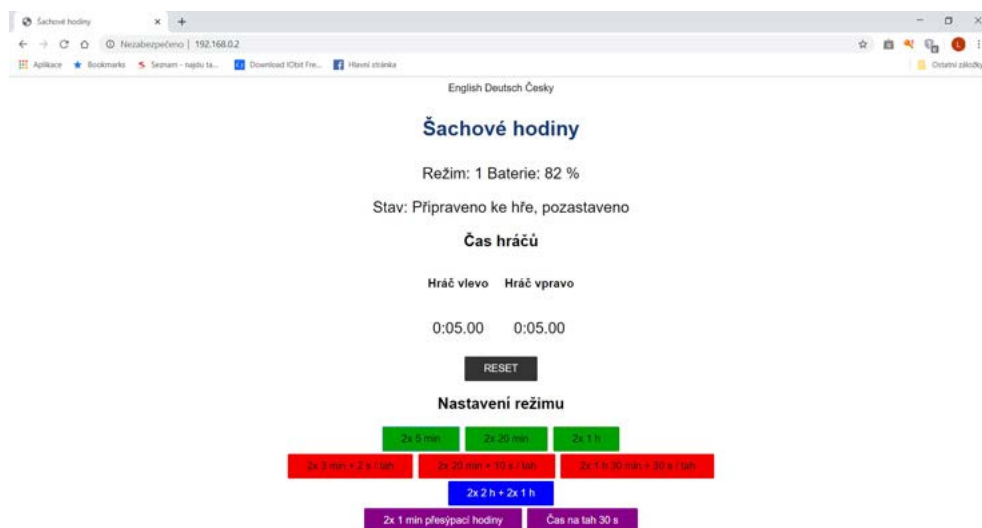
IP adresy řídicích zařízení jsou dynamicky přidělovány Wi-Fi routerem. Jednotlivé hodiny mají pro tyto účely rezervované IP adresy na základě jejich MAC adres, protože jednotlivé hodiny nebyly pojmenovány, tj. nebyl jim přiděluživatelsky definovaný tzv. hostname.

3.7.2 Vizualizace HTML stránky

Na obrázku 3.17 je vidět jednoduchý návrh stránky. Obsahuje možnost nastavení do českého, anglického, nebo německého jazyka podobně jako u hodin. Jazyk stránky není závislý na použitém jazyku v hodinách, takže je možné mít hodiny např. v českém jazyce a HTML stránku v anglickém jazyce. Zde se zobrazuje stav baterie a stav hodin, zda jsou spuštěny, nebo pozastaveny, tj. zda partie probíhá.

Poté je zobrazen čas každého z hráčů a možnost resetování hodin. Pojmenování hráčů na „Hráč vlevo“ a „Hráč vpravo“ vychází z toho, jak je umístěn čas každého hráče na displeji. Nakonec jsou zobrazena tlačítka režimů času, které jsou přednastavené. Režimy, které přednastavené nejsou, není možné na dálku nastavovat. Pro možnost nastavení těchto režimů bych musel mít hlubší znalosti psaní a programování webových stránek. Hodiny je možné resetovat, nebo nastavit na jiný režim, pokud hodiny nejsou spuštěny⁵.

Námět na zlepšení je doplnění možnosti nastavení vlastních časových režimů pro dané režimy. Dalším návrhem může být doplnění dalších jazykových verzí, případně zobrazení dalších údajů o hodinách. Údaje, které se zde aktualizují, jsou stav baterie, stav hodin a čas každého z hráčů.



Obrázek 3.17: Vzhled použité HTML stránky pro nastavení hodin a zjišťování stavu hodin.

⁵Myšleno podle toho, zda byla zahájena partie.

3.8 Ekonomické náklady na prototyp

V této kapitole bude odhadnuta celková cena každého z prototypů. Ceny se mohou lišit v závislosti na tom, kde jsem pořídil jednotlivé součásti. U některých součástí se může lišit cena za kus, protože u většiny obchodů je za větší počet součástí nižší cena za jeden kus. Ceny jsou přepočítávány z amerických dolarů (USD), pokud jsem objednával v této měně, v přibližném kurzu 1 USD za 22 Kč⁶. Nebude zde zahrnuta cena za celkový strávený čas na realizaci hodin, pouze použitý materiál. Součástky, které nemají v tabulce cenu v amerických dolarech, jsem koupil v českých korunách.

3.8.1 Prototyp se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem

V tabulce 3.6 je uveden odhad ceny jednotlivých položek. Shrnutá je položka použitých DPS, která má cenu orientační, neboť mohlo být vyrobeno více druhů plošných spojů na jedné desce, konkrétně sem patří tyto DPS: 2 × modul s hráčským tlačítkem a indikační LED, 1 × senzor osvětlení a 1 × DPS s tlačítky centrálního panelu. Pod pojmem ostatní součásti se myslí použité konektory, rezistory, kondenzátory, kabeláž, stahovací bužírky, odhad spotřebovaného cínu a další použité obvody a díly (např. spojovací materiál).

Položka	Cena v USD	Cena v Kč
baterie	–	487,63
USB konektor	–	6,00
2 × prototypovací deska	0,28	6,07
vypínač	–	14,00
mikrospínač	–	2,56
nabíjecí modul	0,27	5,94
step-up měnič	0,36	7,92
Wemos D1 mini	1,84	40,40
I/O expandér	0,99	22,00
převodník logických úrovní čtyřkanálový	0,87	19,14
2x sedmissegmentový displej červený s driverem TM1637 modul	–	116,00
OLED displej 1,3 palce	–	119,00
použité DPS	0,98	21,56
hliník, plexisklo a obalový materiál	–	170,00
A/D převodník MCP3021	–	30,58
ostatní součásti	–	517,00
Celkem	–	1585,80

Tabulka 3.6: Celkové náklady na prototyp se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem.

⁶Tento přibližný kurz byl v období říjen 2019 – leden 2020.

3.8.2 Prototyp s maticovými displeji

V tabulce 3.7 je uveden odhad ceny jednotlivých položek. Označení položek je stejné jako u prvního prototypu. V ostatních položkách je cena trochu vyšší oproti předcházejícímu, neboť bylo použito více rezistorů a kondenzátorů díky vlastnímu návrhu displeje. Zde mezi plošné spoje patří také osm modulů maticového displeje.

Položka	Cena v USD	Cena v Kč
baterie	–	487,63
USB konektor	–	6,00
2× prototypovací deska	0,28	6,07
vypínač	–	14,00
mikrospínač	–	2,56
nabíjecí modul	0,27	5,94
step-up měnič	0,36	7,92
Wemos D1 mini	1,84	40,40
I/O expandér	0,99	22,00
převodník logických úrovní čtyřkanálový	0,87	19,14
8× čip MAX7219	1,85	40,66
8× maticový displej zelený	–	176,48
použité DPS	2,02	44,44
hliník, plexisklo a obalový materiál	–	170,00
A/D převodník MCP3021	–	30,58
ostatní součásti	–	562,00
Celkem	–	1635,82

Tabulka 3.7: Celkové náklady na prototyp smaticovými displeji.

3.8.3 Shrnutí nákladů

Dle mého předpokladu náklady na prototypy vycházejí z cen součástek, kdy tato celková cena se bude blížit ceně dostupných šachových hodin. Je nutné poznamenat, že ceny většiny součástí jsou orientační, a toto vyčíslení slouží pouze k orientačnímu uvedení nákladů. Tuto cenu bohužel nemůžeme srovnávat s cenami hodin, které jsou na trhu dostupné, protože do celkové ceny těchto prototypů není započítána přidaná hodnota. Cena hodin dostupných na trhu se pohybuje v těchto částkách, nebo je cena vyšší, podle toho, kolik funkcí obsahuje daný model hodin, zejména herních režimů.

3.9 Průzkum mezi hráči

Po kompletním sestavení hodin a zprovoznění komunikace by měl následovat test na reálném turnaji, na kterém proběhne průzkum mezi hráči šachu. Testování mělo proběhnout dne 21. 3. 2020 na turnaji „O krále Stavenice“.

Bohužel z důvodu koronavirové pandemie v období pořádání turnaje jsem tento průzkum nemohl uskutečnit, neboť byl tento turnaj odložen či pro tento rok zrušen. Průzkum jsem nemohl provést na jiném turnaji ze stejného důvodu, proto níže uvedu pouze popis toho, jak by průzkum probíhal.

Testování jsem domluvil s pořadatelem tohoto turnaje a rozhodčím. Turnaj by se hrál na 9 kol švýcarským systémem tempem 2×20 minut na partii. K šachovnicím by se umístily oba zmíněné prototypy, každý k jedné šachovnici. Celkem by bylo možné získat data pouze od maximálně 36 hráčů⁷, neboť u jedné šachovnice může hráč být i několikrát za turnaj, nebo v tomto případě by sedl v turnaji k šachovnici s druhým prototypem hodin, se kterým hráč ještě nehrál ve stejném turnaji. Před každým kolem bych rozdál dotazníky k šachovnicím, text dotazníku viz Přílohu B. Hráči by nejdříve odehráli své kolo a poté by mohli dobrovolně vyplnit tento dotazník. Dotazník by mohli vyplnit další zájemci, neboť než se dohraje partie daného kola, je případně možné za určitých podmínek hrát i cvičné „rychlé“ partie, a tím by hráči mohli zběžně otestovat hodiny. Pokud by se stalo, že by hráč seděl u stejné šachovnice s danými hodinami, dotazník by podruhé nevyplňoval. Rozhodčímu turnaje bych vysvětlil, jak se jednoduše hodiny ovládají. Sám bych se turnaje neúčastnil jako hráč a kontroloval bych funkčnost těchto šachových hodin.

Tímto způsobem by byla poskytnuta zpětná vazba od hráčů šachu. Na základě výsledků průzkumu by se dalo určit, který typ displeje je lepší z hlediska čitelnosti a dalších vlastností, a případně další připomínky co se týče funkčnosti a uživatelského komfortu. Zároveň by na turnaji došlo k ověření funkčnosti komunikace mezi řídicím zařízením, např. PC nebo mobilní telefon, a jednotlivými hodinami, jak bylo popsáno v kapitole 3.7 Komunikace mezi zařízeními a PC.

3.10 Shrnutí problémů během vývoje šachových hodin a možná vylepšení

Zde shrnu problémy během vývoje šachových hodin a jak tyto problémy byly nakonec vyřešeny. Poté uvedu možná vylepšení. Na konci této kapitoly na obrázku 3.18 je možné vidět oba prototypy připravené ke hře. Další obrázky funkčních hodin jsou uvedeny v Příloze C.

3.10.1 Shrnutí problémů během vývoje a jejich řešení

První drobný problém byl ve zvolené mikrokontrolérové desce. Ta obsahuje menší počet GPIO pinů, než požaduje tato aplikace. Nedostatečný počet GPIO jsem vyřešil přidáním 16-bitového I/O expandéru MCP23017.

Druhý problém spočíval v původním návrhu indikace skutečnosti, který hráč je na tahu. Původní návrh spočíval v umístění SMD LED na DPS, která by tvořila podsvícení tlačítka a svítila by, pokud by hráč byl na tahu. Při testování

⁷U jedné šachovnice sedí dva hráči, v každém kole se hraje na obou šachovnicích. Celkový počet kol je 9. Z toho vyplývá celkový počet hráčů u těchto šachovnic během turnaje: $2 \times 2 \times 9 = 36$. Tento předpoklad platí, pokud je celkový počet hráčů vyšší nebo roven 36.

na testovací DPS se ukázalo, že toto řešení není vhodné. Tuto LED jsem nahradil THT LED o průměru 10 mm, která byla umístěna na straně tlačítka.

Třetím problémem byly nabíjecí moduly. U modulu s čipem TP4056 a ochrannými obvody spočívaly problémy s napájením všech obvodů, pokud se hodiny napájely pouze z baterie. U modulu s obvodem TP5100 hodiny nefungovaly při zapojení napájení z USB nabíječky zapojené do elektrické sítě. Nakonec jsem modul s čipem TP4056 upravil tak, že jsem znemožnil činnost ochranných obvodů, a hodiny poté začaly fungovat.

Čtvrtým problémem byl chybný návrh DPS centrálního modulu s tlačítky. V době předání DPS do výroby jsem ještě nevěděl, kolik tlačítek bude potřeba, zda 4, nebo 5. Návrhy DPS jsem vytvořil pro oba počty tlačítek. U panelu se čtyřmi tlačítky jsem při návrhu špatně zvolil pouzdro integrovaného obvodu. U panelu s pěti tlačítky chyběly některé cesty společného vodiče GND. U obou panelů jsem umístil nedostatečný počet otvorů pro uchycení. Problém jsem vyřešil tak, že jsem použil panel s 5 tlačítky, a zároveň jsem využil toho, že jsem oba panely umístil na stejnou DPS pro její výrobu, takže jsem použil uchycení z jiného panelu a jeho zbytky obvodů nezapojil do obvodu. Tomuto panelu jsem pak doplnil spojení vodiče GND pomocí drátů a rezistorů o hodnotě odporu 0Ω .

Pátým problémem byly vlastní moduly s maticovým displejem. Při montáži jsem chtěl ponechat u sebe vždy tyto čtyři moduly, protože jsem na jednu DPS umístil několik těchto modulů. Bohužel při testování sestavených modulů se vyskytly problémy se svícením všech sloupců a řádků maticových displejů v dané čtveřici modulů. Tento problém jsem vyřešil tak, že jsem všechny moduly od sebe oddělil a použil 8 funkčních modulů. Díky tomuto se vyskytl problém při samotné montáži. Displeje nebyly přesně v řadě, takže bylo nutné nakonec vyrovnávat jednotlivé moduly vůči sobě tak, aby byly co nejvíce v jedné řadě.

Šestým problémem byla reakce tlačítek krytých plexisklem na stisk. Všechna tlačítka jsou krytá páskou a fólií. Před testováním jsem tlačítka doplnil plexisklem, ale plexisklo jsem nepřilepil. Při testování všechna tlačítka reagovala na stisk až na jedno, které je umístěné na centrálním panelu nejvíce vlevo (tlačítko mínus). Tento problém jsem nakonec vyřešil tak, že jsem plexisklo přilepil pouze na tlačítka pro hráče a tlačítko uprostřed centrálního panelu.

Posledním problémem bylo vyhodnocování stavu baterie. Mikrokontrolérová deska správně vyhodnocuje, když je napájení pouze z baterie, nebo baterie chybí a hodiny fungují. Bohužel nedokáže po připojení nabíječky správně vyhodnotit, zda se baterie nabíjí, nebo je už nabita. Tento problém je částečně řešen umístěním nabíjecího modulu a faktu, že boční stěna je tvořena plexisklem.

Tyto uvedené problémy kromě posledního jsem úspěšně vyřešil. Šachové hodiny fungují, jak jsem očekával.

3.10.2 Možná vylepšení

V návrzích DPS by bylo vhodnější zmenšit délku vodičů u centrálního panelu, aby bylo možné všechna tlačítka překrýt plexiskly. Druhým řešením může být

umístění samostatného vyhodnocovacího obvodu pro každé tlačítko. U maticových displejů by bylo vhodnější několik displejů umístit na jeden společný modul DPS a pokusit se udělat návrh pouze jedné vrstvy.

Kód programu by bylo dobré zefektivnit a také případně hodinám přidat další režimy k nastavení. Lepší by také bylo opravit zobrazení stavu baterie při nabíjení. U návrhu komunikace by bylo možné v budoucnu zvolit řešení pomocí serveru v dané síti, ať už s využitím HTTP protokolu, nebo MQTT serveru.

Další vylepšení by se mohla týkat samotného vzhledu a funkčnosti co se týče praktických záležitostí při samotné partii. Hráči šachu by mohli pravděpodobně navrhnout vylepšení, ale jejich názor je bohužel neznámý.



Obrázek 3.18: Hodiny (oba prototypy) připraveny ke hře, nastaveny na režim 1 (2× 5 minut na partii) – vlastní foto. Další foto funkčních hodin viz Přílohu C.

Kapitola 4

Závěr

Cílem této práce byl návrh a vytvoření minimálně jednoho prototypu šachových hodin s možností vzdálené správy. Vycházel jsem ze současných modelů hodin a pravidel šachu vztahujících se přímo k šachovým hodinám. Na základě těchto informací jsem vytvořil návrh blokového schématu a následně vybral příslušné součástky. K realizaci jsem použil mikrokontrolérovou desku Wemos D1 mini a k ní jsem přidal I/O expandér. Sestavil jsem dva prototypy lišící se použitými displeji. Jeden prototyp používá dva sedmissegmentové displeje s OLED displejem, druhý prototyp používá osm maticových displejů, abych mohl srovnat jejich vlastnosti.

Určil jsem zapojení periférií k jednotlivým GPIO pinům mikrokontrolérové desky a I/O expandéru. Periferie byly pořízeny buď jako hotové moduly, nebo byla navržena příslušná DPS. Poté jsem provedl návrh základových desek, na kterou jsem upevnil některé obvody. Jednotlivé moduly jsem rozmístil do krabičky. Během vývoje jsem upravoval kód v jazyce C/C++ pro nahrání kódu programu do mikrokontrolérové desky. Po těchto procesech jsem změřil odběr obou prototypů. Zároveň jsem vytvořil HTML stránku pro zobrazení informací ze šachových hodin a možnost nastavení hodin, na základě tohoto jsem zvolil komunikaci přes Wi-Fi router. Nakonec jsem přibližně spočítal náklady na prototyp. V praxi jsem bohužel nemohl hodiny otestovat z důvodu koronavirové pandemie.

Šachové hodiny obou typů fungují podle mého cíle. Dle mého názoru je možné hodiny použít na turnaji. Dobře funguje řízení hodin pomocí PC či jiného zařízení a je také možné dobře sledovat čas zbývající oběma hráčům. Šachové hodiny působí moderně a přináší větší přehlednost při turnaji. Podle mého názoru je možné hráčům na turnajích poskytnout nevšední zážitek z těchto šachových hodin.



Literatura

- [1] AUTOR NEUVEDEN. *FIDE LAWS of CHESS*[online].[cit. 28.3.2020]. Dostupné z: <https://www.fide.com/FIDE/handbook/LawsOfChess.pdf>
- [2] AUTOR NEUVEDEN. *Schachuhr* In: *Wikipedia: the free encyclopedia*[online].San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit. 11.4.2020]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schachuhr>
- [3] AUTOR NEUVEDEN. *Chess clock* In: *Wikipedia: the free encyclopedia*[online].San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit. 11.4.2020]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chess_clock
- [4] AUTOR NEUVEDEN. *DGT 3000*[online].[cit. 11.4.2020]. Dostupné z: <https://www.polishchess.com/dgt-3000-p-494.html>
- [5] YIU, Joseph. *The definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors Third Edition*[online]. 3. vydání USA: Elsevier Inc., 2014 [cit. 3.4.2020]. ISBN 13:978-0-12-408082-9 Dostupné z: https://www.academia.edu/35524606/Yiu_J._The_Definitive_Guide_to_ARM_Cortex_M3_and_Cortex_M4_Processors_3rd_Edition.
- [6] AUTOR NEUVEDEN.*Statické a dynamické paměti*[online].[cit. 3.4.2020]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/staticke-a-dynamicke-pameti/#k01>
- [7] AUTOR NEUVEDEN. *WatchDog timer*[online].[cit. 3.4.2020]. Dostupné z: <https://os.mbed.com/cookbook/WatchDog-Timer>
- [8] AUTOR NEUVEDEN. *Lolin D1 mini* [online].[cit. 23.3.2020]. Dostupné z: https://docs.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html
- [9] Espressif Systems IOT Team. *ESP8266EX Datasheet* [online]. Rok vydání: 2015.[cit. 24.3.2020]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0B4B30jzMyzG8c3FxdUZwa0hoZ1k/view>

- [10] AUTOR NEUVEDEN. *GPIO expander* [online]. [cit. 1.4.2020].
Dostupné z <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75016987.pdf>
- [11] Microchip. [online katalogový list]. *MCP23017/MCP23S17* Rok vydání 2005-2016.[cit. 1.4.2020]
Dostupné z: <https://www.best-microcontroller-projects.com/support-files/mcp23017-20001952c.pdf>
- [12] Microchip. [online katalogový list]. *MCP3021*. Rok vydání 2003 [cit. 25.3.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/195262/MICROCHIP/MCP3021/486/1/MCP3021.html>
- [13] VOBECKÝ, Jan a ZÁHLAVA Vít. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 3., rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 978-80-247-1241-3.
- [14] AUTOR NEUVEDEN. *Fotoodpor(fotorezistor)* [online]. [cit. 5.4.2020].
Dostupné z <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/610>
- [15] AUTOR NEUVEDEN. *Fotodioda* [online]. [cit. 5.4.2020].
Dostupné z <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/611>
- [16] AUTOR NEUVEDEN. *Fototranzistor* [online]. [cit. 5.4.2020].
Dostupné z <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/612>
- [17] VÝROBCE NEUVEDEN. [online katalogový list]. *GL55 Series Photore-sistor*. Rok vydání neuveden [cit. 4.4.2020].
Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.520-084.1.pdf>
- [18] AUTOR NEUVEDEN. *LED* [online]. [cit. 5.4.2020].
Dostupné z <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/621>
- [19] ON Semiconductor. [online katalogový list]. *Small Signal MOSFET 500mA, 60 Volts*. Rok vydání 2011 [cit. 11.4.2020].
Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.213-375.1.PDF>
- [20] Cellevia Batteries [online katalogový list]. *Rechargeable Lithium-Ion battery pack specification*. Rok vydání 2019 [cit. 17.4.2020].
Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/236d183283dea8a6fa2cf4a85112a174/CL18650-29E1S4P-ST.pdf>
- [21] Nanjing Top Power ASIC Corp. [online katalogový list]. *TP4056*. Rok vydání neuveden [cit. 20.3.2020].
Dostupné z: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>

- [22] AUTOR NEUVEDEN. *TP4056* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 17.4.2020].
Dostupné z: <https://www.best-microcontroller-projects.com/tp4056.html>
- [23] Nanjing Top Power ASIC Corp. [online katalogový list]. *TP5100*. Rok vydání neuveden [cit. 17.4.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1140418/ASIC/TP5100/110/1/TP5100.html>
- [24] AUTOR NEUVEDEN. *TP4056 LiPo Battery Charger For RC Toys* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 17.4.2020].
Dostupné z: <https://www.electroschematics.com/tp4056-lipo-battery-charger-rc-toys/>
- [25] SLINTÁK, Vlastimil. *DC/DC měniče* [online]. [cit. 1.4.2020].
Dostupné z <https://uart.cz/952/dc-dc-menice/>
- [26] Eclipsera modules. [online katalogový list]. *Step-up měnič z 0.9V–5V na 5V USB*. Rok vydání 2016 [cit. 17.4.2020].
Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/36/1433533942.pdf>
- [27] SLINTÁK, Vlastimil. *Konverze napětí* [online]. [cit. 17.4.2020].
Dostupné z <https://uart.cz/253/konverze-mezi-5v-a-3v-logikou/>
- [28] MAXIM. [online katalogový list]. *Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers MAX7219/MAX7221*. Rok vydání 1997 [cit. 9.4.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/73749/MAXIM/MAX7219ENG/129/1/MAX7219ENG.html>
- [29] Shenzhen Titan Micro Electronics Co., Ltd. [online katalogový list]. *TP4056*. Rok vydání neuveden [cit. 14.4.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1133627/TITAN/TM1637/173/1/TM1637.html>
- [30] VOJÁČEK, Antonín. *Pravidla pro konstrukci kapacitních dotykových tlačítek mTouch* [online]. Rok vydání 2008 [cit. 5.4.2020]. Dostupné z <https://automatizace.hw.cz/pravidla-pro-konstrukci-kapacitnich-dotykovych-tlacitek-mtouch>
- [31] AUTOR NEUVEDEN. *Kapacitní dotekové senzory (teorie)* [online]. [cit. 5.4.2020]. Dostupné z http://www.touchsemi.com/index.php?Show=10_Dotykov%E9_senzory_c/40_Princip_funkce_c.php&Lang=czech
- [32] Tontek. [online katalogový list]. *TTP223-BA6*. Rok vydání 2009 [cit. 20.3.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1132198/ETC1/TTP223-BA6/961/8/TTP223-BA6.html>

- [33] Tontek. [online katalogový list]. *TTP224N-BSB*. Rok vydání 2014 [cit. 20.3.2020].
Dostupné z: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/810484/TONTEK/TTP224N-BSB/2028/9/TTP224N-BSB.html>
- [34] TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Externí sériové sběrnice SPI a I²C* [online]. [cit. 4.4.2020]. Dostupné z <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [35] Dudáček, K. *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I²C a CAN* [online]. [cit. 4.4.2020]. Dostupné z http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf
- [36] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vydání Praha: BEN, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [37] KERNIGHAN, Brian W., a Dennis M. RITCHIE. *Programovací jazyk C*. 1. vydání Brno: Computer Press, a.s., 2006. ISBN 978-80-251-0897-0.
- [38] VIRIUS, Miroslav. *Programování v C++ od základů po profesionální použití*. 1. vydání Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0502-1.
- [39] JANOVSKEÝ, Dušan. *Jak psát web* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 18.4.2020].
Dostupné z: <https://www.jakpsatweb.cz/>
- [40] AUTOR NEUVEDEN. *ESP8266 Web Server using SPIFFS (SPI Flash File System) – NodeMCU* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 6.5.2020].
Dostupné z: https://randomnerdtutorials.com/esp8266-web-server-spiffs-nodemcu/?fbclid=IwAR2FrQbL80ZnAQ1QPgzUTF_Y0hKbN7YmAqCLka0ncwOHAsIPQ5Z9MHLpzDw
- [41] LEE. *Introduction to IoT: Build an MQTT Server Using Raspberry Pi* [online]. Rok vydání 2019 [cit. 9.5.2020].
Dostupné z: <https://appcodelabs.com/introduction-to-iot-build-an-mqtt-server-using-raspberry-pi>

Přílohy

Seznam příloh

- **Příloha A: Manuál k použití šachových hodin.**
- **Příloha B: Dotazník pro hráče šachu.**
- **Příloha C: Další fotografie funkčních šachových hodin.**
- **Příloha D: Návrhy desek plošných spojů a základových desek.**
- **Příloha E: CD.**

V této práci nejsou tyto přílohy uvedeny, jsou přiloženy pouze na CD. Na CD jsou uloženy:

- elektronická verze této práce
- elektronická verze manuálu popsaném v Příloze A
- návrhy DPS vytvořené v programu KiCad, jejichž DPS byly použity v hodinách
- soubory programu šachových hodin, jejichž kód programu byl napsán v prostředí Arduino IDE (zvláště soubory pro oba typy hodin)
- video z ukázky funkčnosti obou prototypů

Příloha A: Manuál k použití šachových hodin

Na následujících stránkách je uvedena první verze manuálu k šachovým hodinám. Manuál sjednocuje obě verze hodin popsaných v této práci. Psán je v českém jazyce, v reálném použití by bylo vhodné použít další jazyky, které hodiny ovládají, zde konkrétně anglický a německý jazyk. Tento manuál se též může v budoucnu měnit podle přidání funkcí k hodinám, jak bylo uvedeno v závěru této práce. Manuál byl napsán v programu LibreOffice Writer.

CZ: Návod k použití šachových hodin s Wi-Fi rozhraním

Tento manuál je určen pro šachové hodiny používající jak maticové displeje, tak sedmissegmentové displeje a OLED displej.

Zadní panel



Na zadním panelu je možné najít vypínač na levé straně. Také je zde konektor micro USB sloužící pro nabíjení nacházející se na pravé straně.

Způsob napájení

K dispozici je micro USB konektor sloužící pro dobíjení ze sítě. Kapacita baterie je 11 000 mAh. Pro dobíjení hodin je nutné nechat hodiny zapnuté. Pokud hodinám začnou blikat displeje, nebo se úplně vypnou, je nutné dobít baterii.






Přední panel



V horní části panelu je možné najít tlačítka pro hráče a světla určující, který hráč je na tahu, jsou-li hodiny spuštěny. Dále jsou zde displeje, kde se zobrazuje čas obou hráčů, případně instrukce nastavení. Pod displeji je centrální panel s tlačítky, která umožňují hodiny nastavit a případně zastavit či spustit.












Symboly tlačítek

Jejich použití je vysvětlen zejména v nastavení hodin.






Symbol	Název	Popis
	Tlačítko mínus	pro pohyb v nastavení směrem doleva nastavení hodnoty o 1 nižší zobrazení stavu baterie při pozastavených hodinách
	Tlačítko plus	pro pohyb v nastavení směrem doprava nastavení hodnoty o 1 vyšší možnost nastavení jasu při pozastavených hodinách
	Tlačítko pause/play	pro potvrzení volby pro spuštění ¹ a zastavení hodin
	Tlačítko nastavení	pro pohyb v nastavení
	Tlačítko reset	pro pokus o opětovné připojení Wi-Fi pro návrat do menu nastavení režimu pro resetování času hodin při zvoleném režimu

Symboly na obrazovce

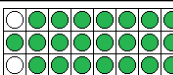
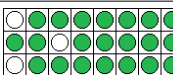
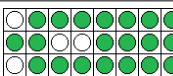

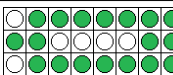
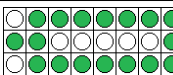

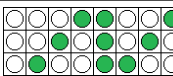



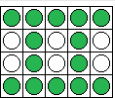
OLED displej

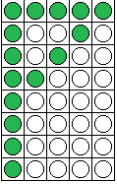
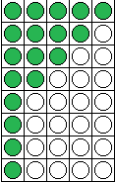
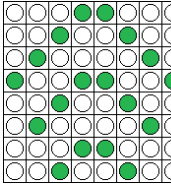
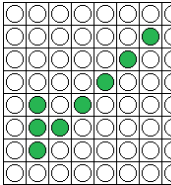
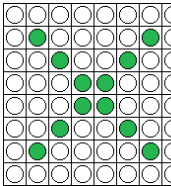
Symbol	Název	Popis
	Baterie	Baterie nabita / Baterie s kapacitou 90 % a více
		Baterie s kapacitou 70 – 89 %
		Baterie s kapacitou 50 – 69 %
		Baterie s kapacitou 30 – 49 %
		Baterie s kapacitou 10 – 29 %
		Baterie s kapacitou méně jak 10 %, baterie vybita
		Baterie chybí
		Baterie se nabíjí
	Přesýpací hodiny	U režimů přesýpacích hodin
	Pauza	Hodiny pozastaveny
	Hra	Hodiny spuštěny

¹ Pokud byly hodiny alespoň jednou spuštěny, tak svítí světlo na jedné straně.

Symbol	Název	Popis
	Praporek perioda	Vypršení daného časového úseku (režimy 9 a 10)
	Praporek vypršení času	Vypršení časového úseku na partii
	Ikona Wi-Fi	Připojení k Wi-Fi síti
	Wi-Fi připojena	Společně s ikonou Wi-Fi, hodiny připojeny k Wi-Fi
	Wi-Fi nepřipojena	Společně s ikonou Wi-Fi, hodiny nepřipojené k Wi-Fi

Maticový displej

Symbol	Název	Popis
	Baterie	Baterie nabita / Baterie s kapacitou 90 % a více
		Baterie s kapacitou 70 – 89 %
		Baterie s kapacitou 50 – 69 %
		Baterie s kapacitou 30 – 49 %
		Baterie s kapacitou 10 – 29 %
		Baterie s kapacitou méně jak 10 %, baterie vybita
		Baterie chybí
		Baterie se nabíjí
	Pauza	Hodiny pozastaveny
	Hra	Hodiny spuštěny
	Perioda 1	Nastavení času periody 1
	Perioda 2	Nastavení času periody 2

Symbol	Název	Popis
	Praporek perioda	Vypršení daného časového úseku (režimy 9 a 10)
	Praporek vypršení času	Vypršení časového úseku na partii
	Ikona Wi-Fi	Připojení k Wi-Fi síti
	Wi-Fi připojena	Společně s ikonou Wi-Fi, hodiny připojeny k Wi-Fi
	Wi-Fi nepřipojena	Společně s ikonou Wi-Fi, hodiny nepřipojené k Wi-Fi

Spuštění a nastavení hodin

Nastavování hodin

Při spuštění hodin se objeví stav baterie v procentech. Poté se hodiny pokusí připojit k Wi-Fi síti během doby maximálně 15 sekund. Pak je možné vybírat režim. Pomocí tlačítka pause/play se zvolí režim. Změna režimu je možná pomocí tlačítek plus a minus. Pomocí tlačítka nastavení je možné nastavit jas displejů a při dalším stisku nastavit jazyk. Výběr úrovně jasu i jazyka je možné pomocí tlačítek plus a minus. Jas je také možné pomocí těchto tlačítek nastavit automaticky (značeno písmenem A, manuální nastavení je značeno písmenem M). Po stisku tlačítka pause/play je návrat do menu výběru režimu. Pomocí tlačítka reset je možné pokusit se podobným způsobem jako při spouštění hodin opětovně připojit k Wi-Fi.

Režimy, které mají vlastní nastavení času, mají ovládání obdobné. Změna cifry se provádí pomocí tlačítek plus a minus. Tlačítkem pause/play se potvrzuje volba cifry. Tlačítkem nastavení se potvrzuje volba nastavení všech cifer. Tlačítkem reset je možné se vrátit k nastavení režimu.

Blikající cifra ukazuje, kterou cifru je možné nyní nastavovat. Vždy je odlišení, zda se nastavují hodiny a minuty, nebo pouze sekundy, nebo minuty a sekundy. Následující tabulka umožňuje přehled nastavení daných cifer. Pomlčka zde značí prázdné místo (na tomto místě nesvítí žádná cifra). V režimu 10 (dvě periody – vlastní nastavení času obou hráčů) je u popisku H/M nebo M/S rozsvíceno číslo nastavované periody.

Formát na displeji		Popis
Maticové displeje	Sedmisegmentové displeje + OLED displej	
-H:MM	Zobrazeny 3 cifry na sedmisegmentovém displeji se svítící dvojtečkou na OLED značení H/M	Nastavení hodin a minut.
--.SS	Zobrazeny 2 cifry vpravo od dvojtečky na sedmisegmentovém displeji na OLED značení M/S	Nastavení sekund.
-M.SS ²	Zobrazeny 3 cifry na sedmisegmentovém displeji se svítící dvojtečkou na OLED značení M/S	Nastavení minut a sekund (režimy bonusu a času na tah).

Hodiny, které jsou pozastaveny, je možné dále nastavit. Pomocí tlačítka mínus je možné vidět stav baterie s návratem přes tlačítko pause/play. Pomocí tlačítka plus je možné nastavit jas displeje s možností automatického nastavení. Pomocí tlačítka nastavení je možné opětovně nastavit čas při daném režimu, který byl zvolen předtím a pouze aktuální periody. Pomocí tlačítka reset je možné hodiny nastavit na původní nastavení zvoleného režimu.

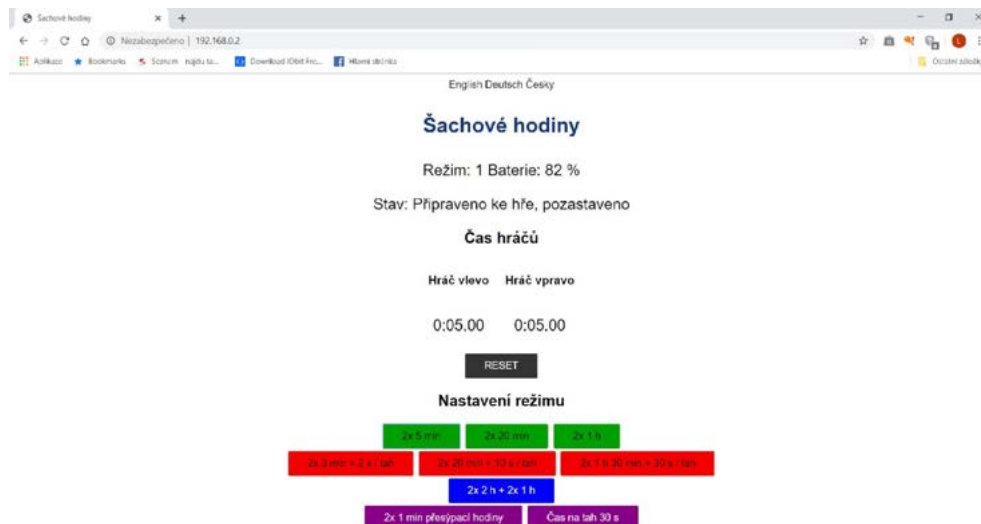
Spuštění hodin

Hodiny je možné spustit pouze stisknutím té strany hodin, která hodiny spouští³. Pokud hodiny byly již od začátku partie spuštěné (svítí jedno světlo u jednoho hráče), je možné hodiny spustit pomocí tlačítka pause/play. Zastavení hodin se provádí pomocí tlačítka pause/play.

² V režimu nastavení času s bonusem (8) se zobrazuje na místě pomlčky písmeno B.

³ Jinými slovy: „Hráč s černými kameny spouští hodiny hráči s bílými kameny.“

HTML stránka



V horní části je možné nastavit jazyk nezávisle na jazyku nastaveném v hodinách. Poté je možné vidět stav hodin a stav baterie. Dále se zde zobrazuje čas obou hráčů.

Tlačítkem reset je možné hodiny nastavit na původní časový režim. Toto lze pouze, pokud již byl nějaký režim nastaven a hodiny jsou pozastaveny. Poté jsou tu tlačítka režimů, jež jsou předdefinované režimy. Ty lze nastavovat, nejsou-li hodiny spuštěny a dále neprobíhá na hodinách nastavení.

Seznam režimů

Číslo	Popis	Číslo	Popis
1	Čas na partii 2× 5 min	8	Čas na partii – vlastní nastavení času a bonusu za tah pro oba hráče
2	Čas na partii 2× 20 min	9	Dvě periody: 2× 2 h + 2× 1 h
3	Čas na partii 2× 1 h	10	Dvě periody – vlastní nastavení času pro oba hráče
4	Čas na partii – vlastní nastavení času pro oba hráče	11	Přesýpací hodiny 2× 1 min
5	Čas na partii 2× 3 min + bonus 2 s / tah	12	Přesýpací hodiny – vlastní nastavení času
6	Čas na partii 2× 20 min + bonus 10 s / tah	13	Čas na tah – 30 s
7	Čas na partii 2× 1 h 30 min + bonus 30 s / tah	14	Čas na tah – vlastní nastavení času

■ Příloha B: Dotazník pro hráče šachu

Dotazník byl vytvořen v prostředí LibreOffice. Dotazník byl vytvořen ve formátu A5, zde je zvětšen do formátu A4.

Dotazník

Typ hodin: maticové/sedmisegmentové červené/zelené

Vážený hráči,

jmenuji se Lukáš Doležel a studuji 3. ročník bakalářského studia v programu Elektronika a komunikace na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. Také jsem hráč oddílu TJ Libina. V rámci své bakalářské práce se snažím vytvořit šachové hodiny s možností řízení přes Wi-Fi. Rád bych Vás požádal o vyplnění tohoto dotazníku.

Předem moc děkuji a přeji hodně štěstí v turnaji!

PS: Prosím Vás, abyste hodnotili ty hodiny, u kterých právě sedíte.

Otázka č.1: Jak dlouho hraje šachy na turnajích?

(zakroužkujte)

0 – 5 let 6 – 10 let 11 – 15 let 16 – 20 let 21 a více let

Otázka č.2: Vzhled hodin

Oznámkujte jako ve škole (1 – nejlepší, 5 – nejhorší):

	1	2	3	4	5
Celkový vzhled hodin:					
Barva displeje/ů:					
Čitelnost displeje/ů:					

Pokračování na druhé straně

Otázka č.3: Funkčnost hodin

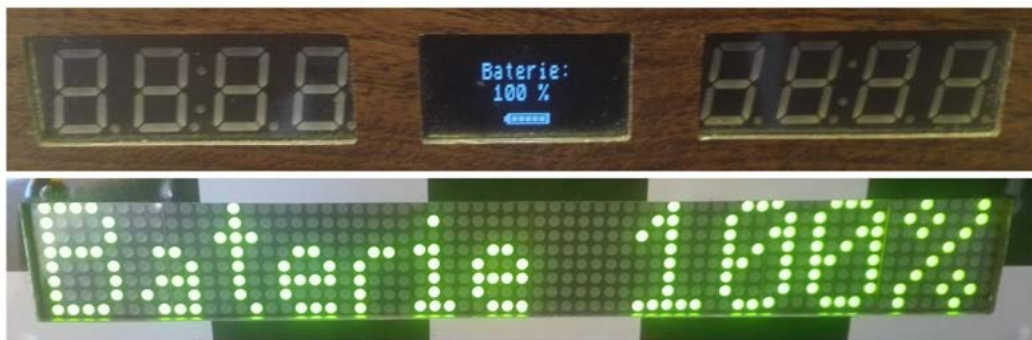
Oznámkujte jako ve škole (1 – nejlepší, 5 – nejhorší):

	1	2	3	4	5
Pohodlné přepínání hodin:					
Indikace toho, kdo je na tahu:					
Viditelnost zbývajících času:					
Viditelnost spadnutí praporku					

Váš komentář (nepovinné):

■ Příloha C: Další fotografie funkčních šachových hodin

V této příloze jsou k vidění další obrázky funkčních hodin. Vždy je vlevo prototyp se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem a vpravo je prototyp s maticovými displeji. Na daném obrázku je zobrazována vždy stejná skutečnost. V nastavení času a časových režimů (obrázky 4, 5, 6, 13 a 14) bliká jedna cifra. Na obrázku 15 bliká ikona Wi-Fi připojení. Pokud hráči vidí zbývající čas v hodinách a minutách (obrázky 10, 11, 12 a 16), bliká dvojtečka uprostřed mezi ciframi.



Obrázek 1: Hodiny zobrazující stav baterie – vlastní foto.



Obrázek 2: Hodiny zobrazující volbu automatického nastavení jasu s příslušnou nastavenou úrovní jasu – vlastní foto.



Obrázek 3: Hodiny zobrazující volbu manuálního nastavení jasu s příslušnou nastavenou úrovní jasu – vlastní foto.



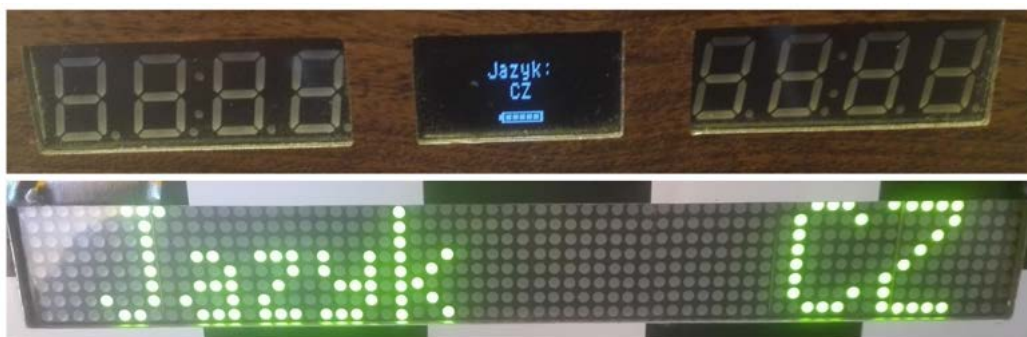
Obrázek 4: Hodiny zobrazující volbu časového režimu číslo 1 bez aktivního Wi-Fi připojení – vlastní foto.



Obrázek 5: Hodiny zobrazující volbu časového režimu číslo 14 bez aktivního Wi-Fi připojení – vlastní foto.



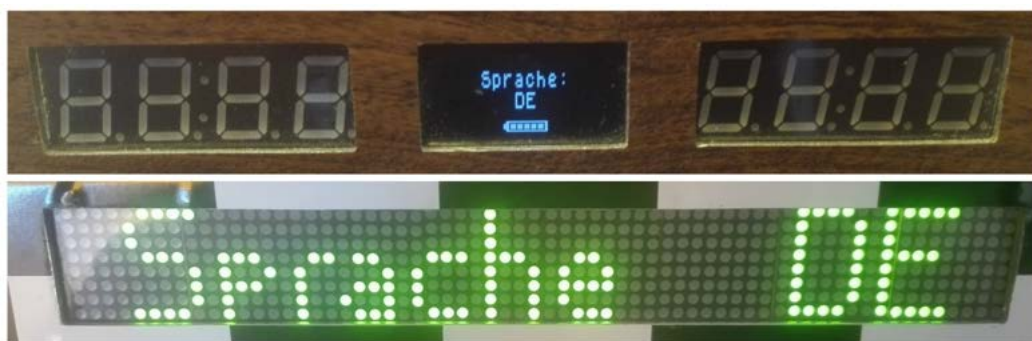
Obrázek 6: Hodiny zobrazující volbu časového režimu číslo 1 s aktivním Wi-Fi připojením – vlastní foto.



Obrázek 7: Hodiny zobrazující nastavení českého jazyka – vlastní foto.



Obrázek 8: Hodiny zobrazující nastavení anglického jazyka – vlastní foto.



Obrázek 9: Hodiny zobrazující nastavení německého jazyka – vlastní foto.



Obrázek 10: Hodiny zobrazující průběh hry – vlastní foto.



Obrázek 11: Hodiny zobrazující průběh hry – vlastní foto.



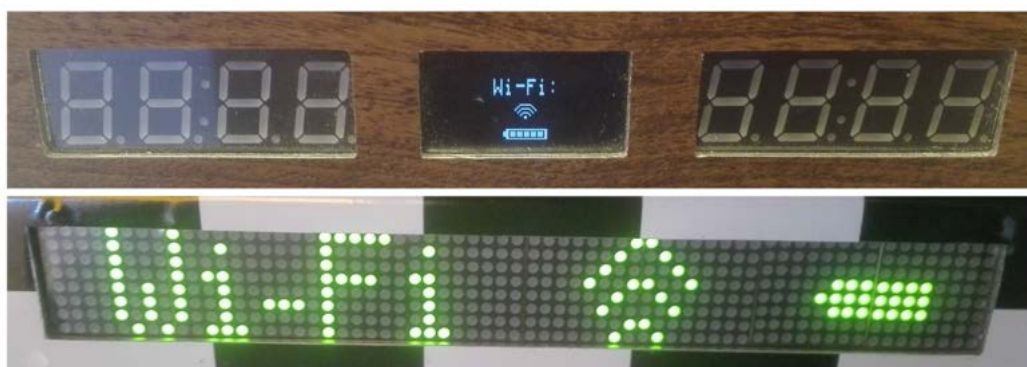
Obrázek 12: Hodiny připravené ke hře nastavené v časovém režimu 2x 20 minut – vlastní foto.



Obrázek 13: Hodiny zobrazující nastavení času v hodinách a minutách pro oba hráče – vlastní foto.



Obrázek 14: Hodiny zobrazující nastavení času v sekundách pro oba hráče – vlastní foto.



Obrázek 15: Hodiny zobrazující pokus o připojení k Wi-Fi – vlastní foto.



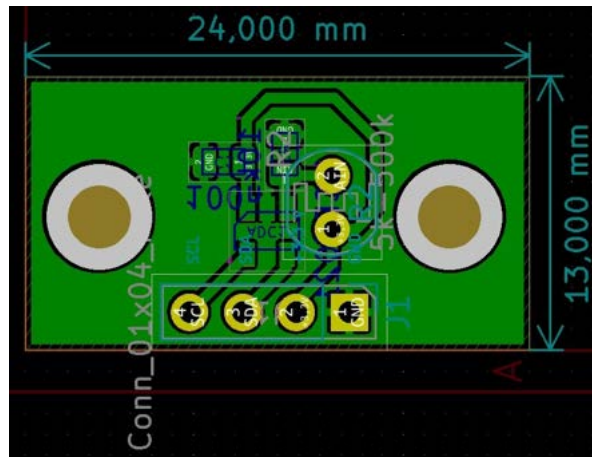
Obrázek 16: Hodiny zobrazující uplynutí jednoho časového úseku jedním z hráčů – vlastní foto.



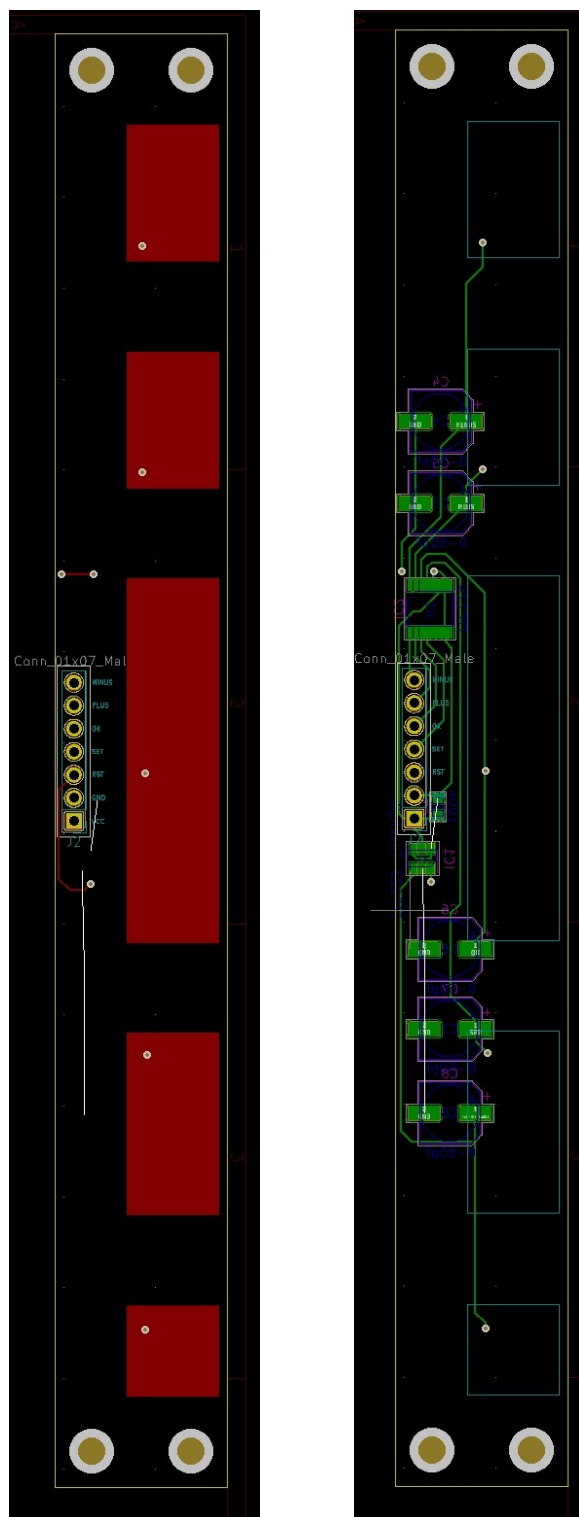
Obrázek 17: Hodiny zobrazující překročení času na partii jedním z hráčů – vlastní foto.

■ Příloha D: Návrhy desek plošných spojů a základových desek

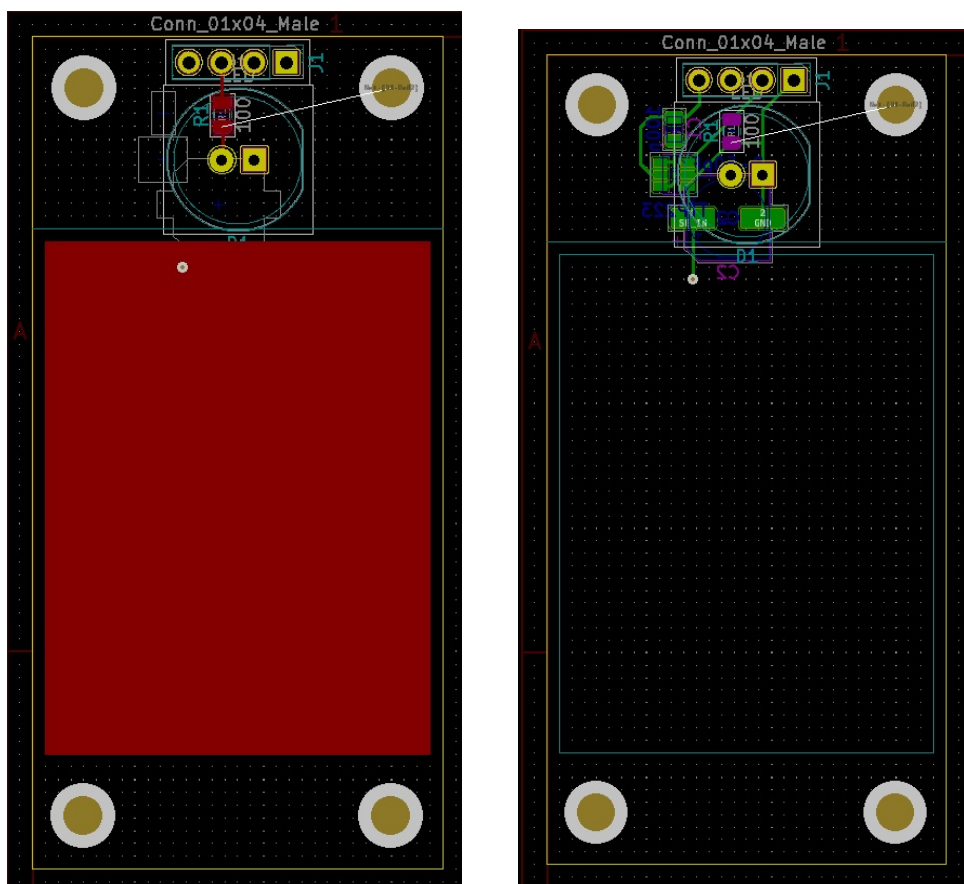
Zde jsou uvedeny jednotlivé plošné spoje popsané v této práci. Pro přehlednost jsou zde uvedeny jednotlivě. Některé spoje se mohou lišit umístěním míst, která jsou pro upevnění modulu. Na obrázcích 4.8 až 4.11 jsou uvedeny návrhy DPS, které se ve skutečnosti vyrobily.



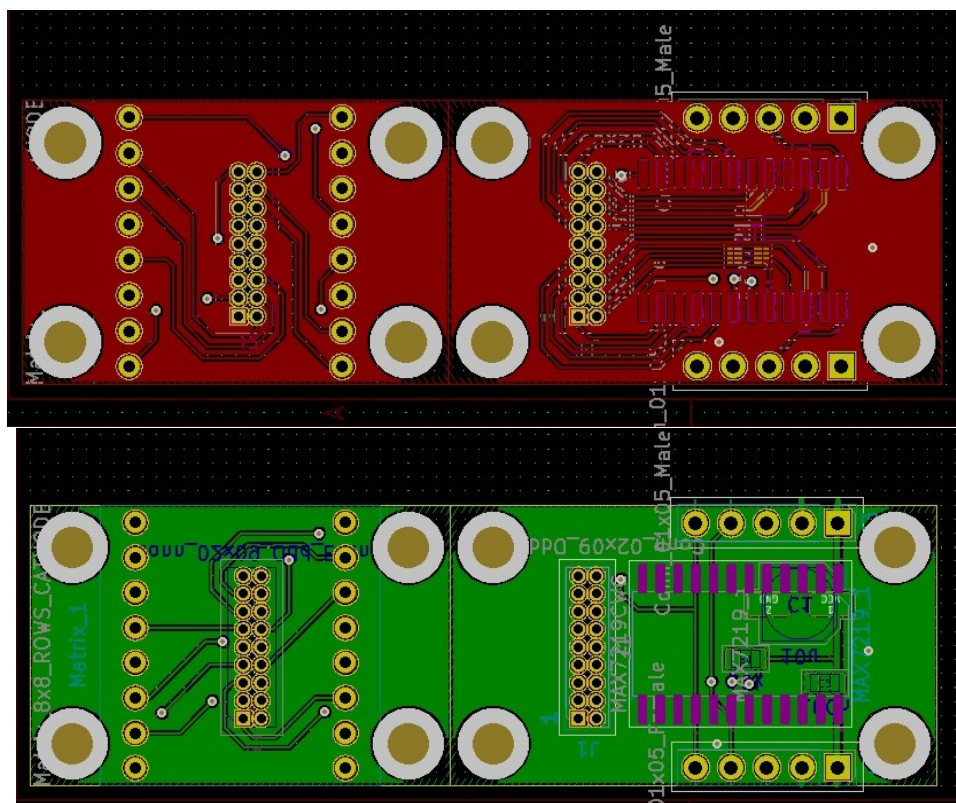
Obrázek 4.1: Výsledný návrh plošného spoje senzoru osvětlení, pouze spodní strana – převzato z programu KiCad.



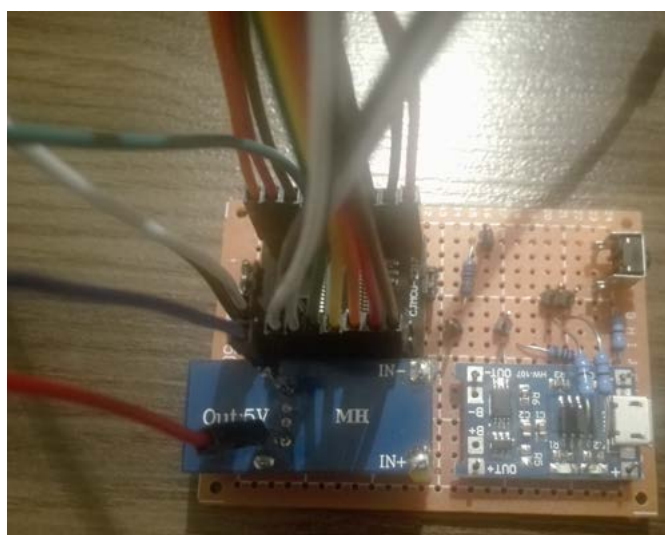
Obrázek 4.2: Návrh plošného spoje centrálního panelu s tlačítky (otočeno o 90°) – převzato z programu KiCad.



Obrázek 4.3: Návrh modulu s tlačítkem pro hráče a indikační LED – převzato z programu KiCad.



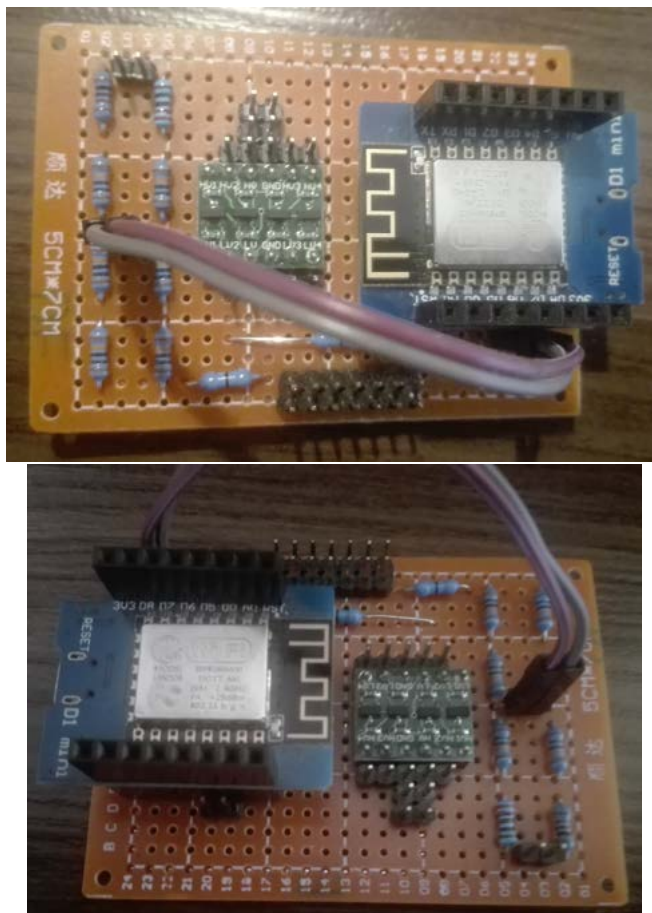
Obrázek 4.4: Návrh plošného spoje obou částí modulu s maticovým displejem – převzato z programu KiCad.



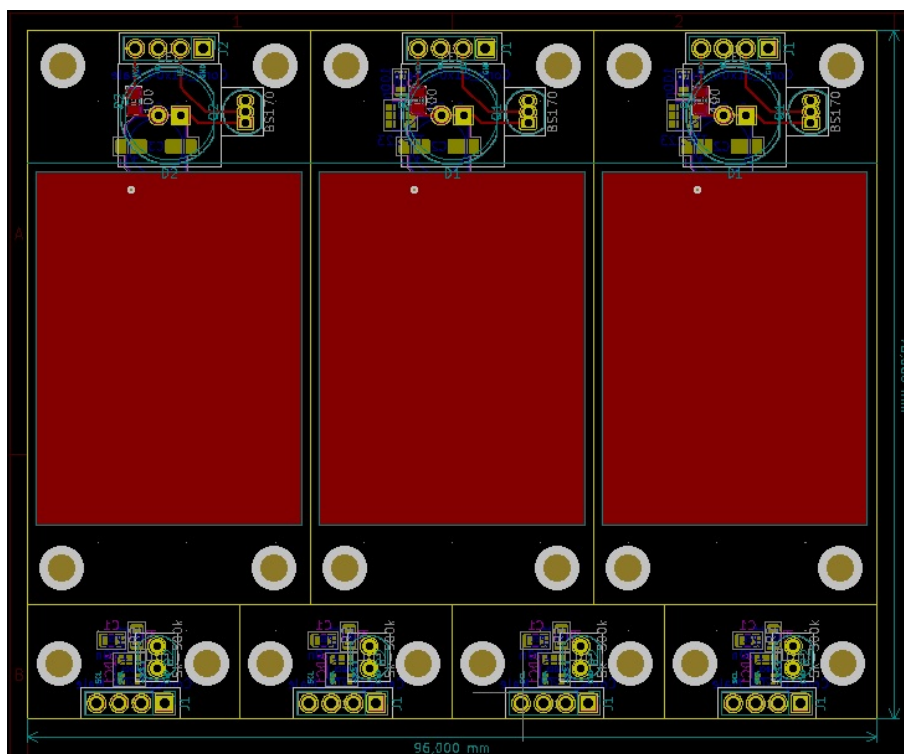
Obrázek 4.5: Základová deska s napájecími obvody, I/O expandérem a dalšími obvody – vlastní foto.



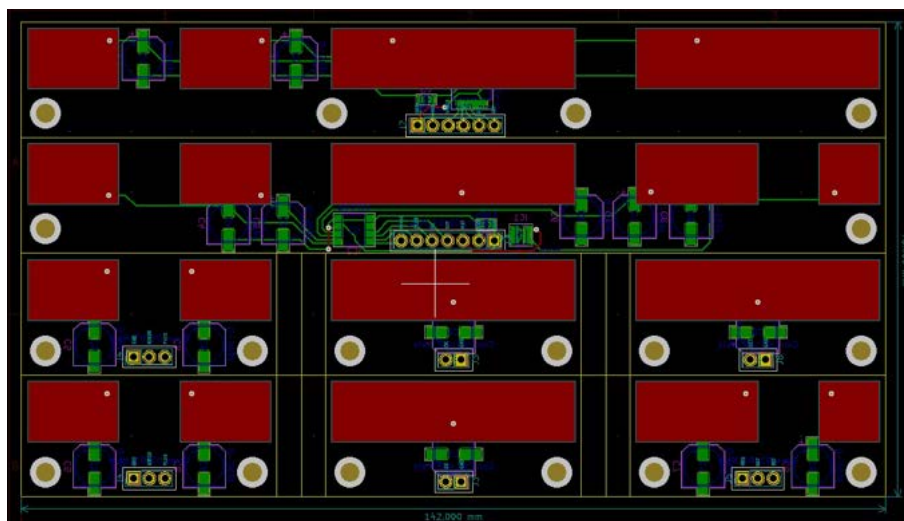
Obrázek 4.6: Neúplná základová deska pro hodiny se sedmissegmentovými displeji a OLED displejem – vlastní foto.



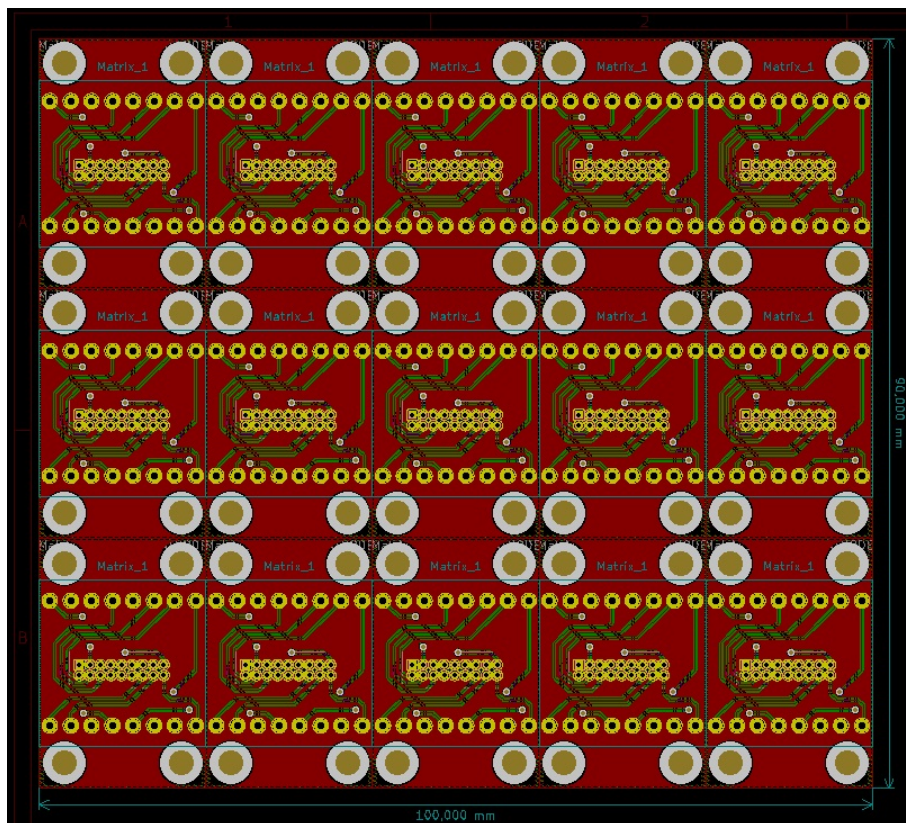
Obrázek 4.7: Kompletní základová deska s napájecím obvodem, I/O expandérem a dalšími obvody (bez propojovacích vodičů) – vlastní foto.



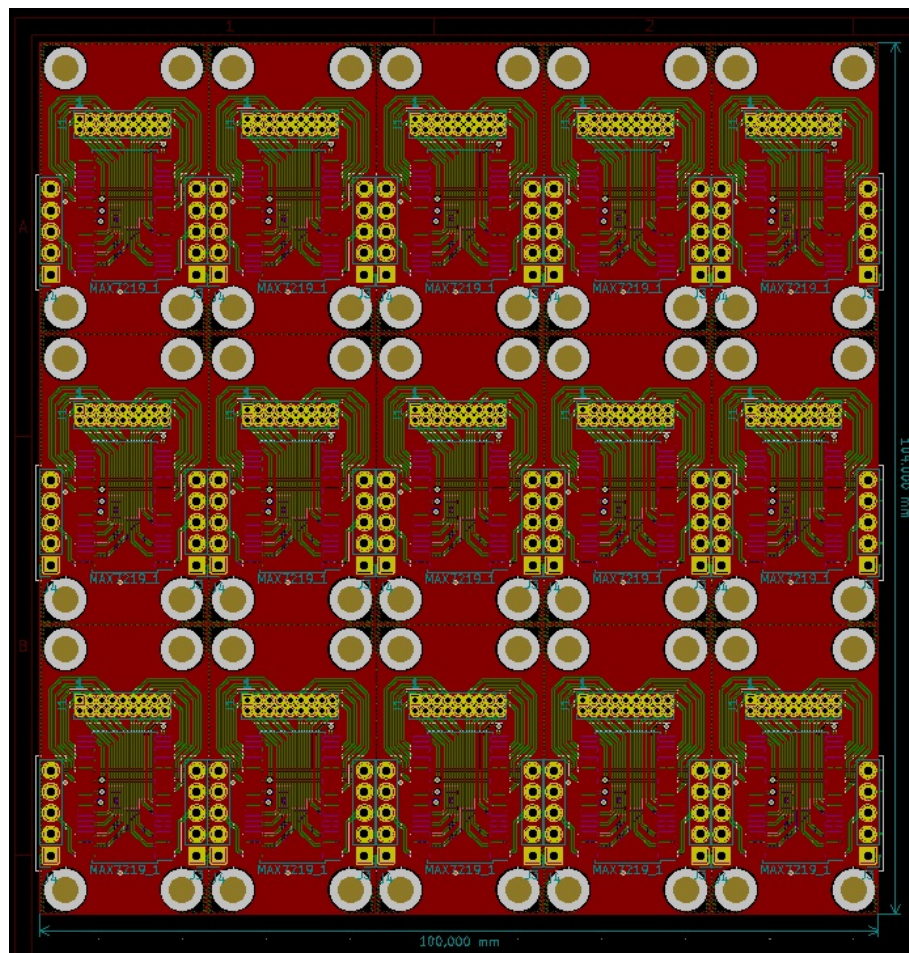
Obrázek 4.8: Návrh plošného spoje, který byl vyroben – moduly s hráčským tlačítkem a indikační LED, moduly senzoru osvětlení – převzato z programu z KiCad.



Obrázek 4.9: Návrh plošného spoje, který byl vyroben – moduly s centrálním panelem s tlačítky (různé varianty, nebyly použity všechny) – převzato z programu z KiCad.



Obrázek 4.10: Návrh plošného spoje, který byl vyroben – modul s displejovou částí maticového displeje – převzato z programu z KiCad.



Obrázek 4.11: Návrh plošného spoje, který byl vyroben – modul s řídicí částí maticového displeje – převzato z programu z KiCad.