

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

Brno, 2020

Renata Zemanová



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ELEKTRONICKÁ HRA LOGIC
ELECTRONIC GAME LOGIC

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE
SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE Renata Zemanová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2020



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Studentka: Renata Zemanová

ID: 211251

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Elektronická hra Logic

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem hry Logic. Navrhněte a realizujte elektronickou verzi této hry s různými úrovněmi obtížnosti a v praxi ověřte funkčnost vašeho řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 21.9.2020

Termín odevzdání: 18.12.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnut a vyrobit Elektronickou hru Logic. Elektronická hra musí respektovat pravidla deskové hry. Dále by se hra měla i svým vzhledem podobat deskové hře.

Elektronická hra je navržena jako jedna DPS, která obsahuje řídicí elektroniku i herní prvky. Byla vyrobena funkční DPS obsahující veškerou elektroniku. Dále byla hra naprogramována a byla k ní navržena a vyrobena krabička.

Elektronická hra Logic umožňuje hráči nastavení možností způsobu hry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektronická hra Logic, pravidla deskové hry, ESP32-PICO, inteligentní LED WS2812C, USB, DPS, Arduino framework, C++

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to design and manufacture an Electronic game Logic. This electronic game should look like the board game and also respect the game's rules. The electronic game is designed as one PCB that contains control electronics and play units. The functional PCB containing all electronics was manufactured. The game was programmed, and the final version was placed in a designed case.

The Electronic game Logic also allows the player to set game mode options.

KEYWORDS

Electronic game Logic, board game rules, ESP32-PICO, intelligent control LED WS2812C, USB, PCB, Arduino framework, C++

ZEMANOVÁ, Renata. *Elektronická hra Logic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2021, 69 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Renata Zemanová

VUT ID autora: 211251

Typ práce: Bakalářská práce

Akademický rok: 2020/21

Téma závěrečné práce: Elektronická hra Logic

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

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autorky*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Házemu, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 9 |
| 1 Pravidla deskové hry | 10 |
| 2 Návrh elektroniky | 11 |
| 2.1 Řídicí elektronika | 11 |
| 2.2 Napájení | 13 |
| 2.3 Snižující měnič napájecího napětí pro mikrokontrolér | 13 |
| 2.4 Převodník z USB na RS-232 | 15 |
| 2.5 Herní prvky | 15 |
| 2.5.1 Rozdělení | 18 |
| 2.5.2 Převodník úrovně | 18 |
| 2.5.3 Zapínání napájení | 19 |
| 2.6 Mechanické prvky | 20 |
| 2.7 Indikace přítomnosti napájecího napětí | 21 |
| 3 Návrh DPS | 23 |
| 3.1 Vzhled DPS | 23 |
| 3.2 Funkční rozmístění součástek | 24 |
| 4 Oživení DPS | 26 |
| 5 Od prvního prototypu po finální verzi | 27 |
| 5.1 Způsoby napájení prototypů | 28 |
| 5.1.1 Verze 0.0 | 28 |
| 5.1.2 Verze 1.0 | 28 |
| 5.1.3 Vývoj mechanických prvků | 30 |
| 5.2 Vzhled DPS | 30 |
| 5.3 Oživení prototypů | 30 |
| 5.3.1 Verze 0.0 | 30 |
| 5.3.2 Verze 1.0 | 32 |
| 6 Software | 34 |
| 6.1 Tlačítko Nová hra | 34 |
| 6.2 Tlačítka interpretující šipky | 35 |
| 6.3 Barevná tlačítka | 35 |
| 6.4 Tlačítko Potvrdit tah | 35 |
| 6.5 Tlačítko Konec | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 7 Způsob ovládání elektronické hry | 37 |
| 7.1 Hra pro jednoho hráče | 37 |
| 7.2 Hra pro dva hráče | 38 |
| 8 Krabička | 41 |
| 9 Kompletace | 42 |
| Závěr | 43 |
| Literatura | 44 |
| Seznam symbolů a zkratek | 47 |
| Seznam obrázků | 49 |
| Seznam tabulek | 50 |
| Seznam výpisů | 51 |
| Seznam příloh | 52 |
| A Schéma zapojení DPS finální verze | 53 |
| B Výrobní podklady DPS finální verze | 61 |

Úvod

Práce se zabývá návrhem a výrobou Elektronické hry Logic. Tato hra by se měla co nejvíce podobat deskové hře a musí respektovat pravidla deskové hry. Hra Logic je určená pro všechny věkové kategorie hráčů. Podporuje a rozvíjí logické myšlení.

Hra musí být navržena jako přenosné zařízení, takže musí být kladen důraz na spotřebu jednotlivých použitých komponent. Také musí být brán ohled na intuitivní ovládání a kompaktnost.

Hra Logic není komerčně dostupná v elektronické verzi. Existuje pouze ve verzi deskové hry pro dva hráče. Elektronická hra Logic má více možností způsobu hry. Lze ji hrát ve variantě pro dva hráče i pouze pro jednoho hráče. Dále lze nastavit množství herních pozic. Hra je jedinečná svými ovládacími prvky a způsobem hry.

V této práci je popsán návrh, výroba a programování Elektronické hry Logic. Na začátku jsou popsána pravidla deskové hry, která jsou respektována i u elektronické hry. Elektronická hra Logic je tvořena jednou DPS, která obsahuje veškeré potřebné komponenty pro funkci hry i pro její ovládání. Následuje způsob návrhu DPS, rozmístění součástek a samotná výroba.

V následující kapitole je popsán software Elektronické hry Logic včetně možností hry. Poté je popsán způsob ovládání elektronické hry.

Byla také navržena krabička. Součástí je i popis sestavení celého výrobku.

1 Pravidla deskové hry

Logic je desková hra pro dva hráče [9]. Jeden hráč určí hledanou kombinaci, dále bude označován jako hráč A, a druhý tuto kombinaci za pomocí logických úvah a vyhodnocení hráčem A hledá, dále bude označován jako hráč B.

Hráči si určí herní pozice. Hráč A vybere barevné kolíky dle libosti a následně je v určitém pořadí vloží do zadávacího pole. Zadání zakryje stříškou, aby tuto kombinaci spoluhráč neviděl. Hráč B se po tuto dobu nedívá. Hráč B následně zvolí libovolnou kombinaci barev a jejich pozic. Po ukončení tahu nechá hráče A, aby jeho tah vyhodnotil. Hráč A vyhodnotí tah následujícím způsobem. Pokud hráč B vložil správnou barvu na správnou pozici, tak vloží do vyhodnocovací sekce černý kolík. Pokud vložil barvu, která se v zadání vyskytuje, ale vložil ji na nesprávnou pozici, tak vloží bílý kolík. Pokud zůstanou některé pozice neobsazené, tak to znamená, že se dané barvy v zadání nevyskytují. Vyhodnocovací kolíky umisťuje od kraje, nejprve černé a pak bílé, aby hráči B nebylo jasné, kterých hracích kolíků se vyhodnocení týká [9]. Poté začne hráč B na základě vyhodnocení a svých všech předchozích tahů hledat správnou kombinaci.

Hráč B má maximálně 10 pokusů na zjištění správné kombinace. Po skončení hry hráč A odkryje stříšku a ukáže hledanou kombinaci, aby mohlo dojít k případné kontrole. Hra skončí po určení správné kombinace, nebo po vypotřebování všech pokusů.

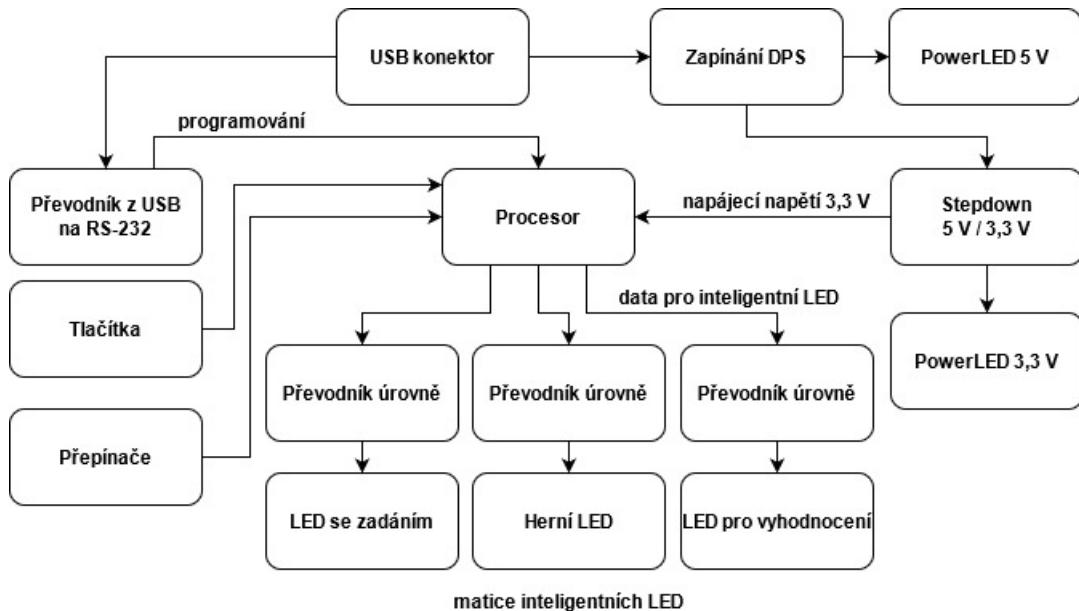
Hru lze hrát ve více variantách. Hráči se mohou domluvit, zda zadání může, nebo nesmí obsahovat volnou pozici. Dále se může hra lišit v délce hledané kombinace.



Obr. 1.1: Desková hra Logic [2].

2 Návrh elektroniky

V následující kapitole budou rozebrány všechny komponenty DPS Elektronické hry Logic. Návrh se skládá z řídící elektroniky, napájení, herních prvků a dalších potřebných komponent.



Obr. 2.1: Blokové schéma elektroniky.

2.1 Řídící elektronika

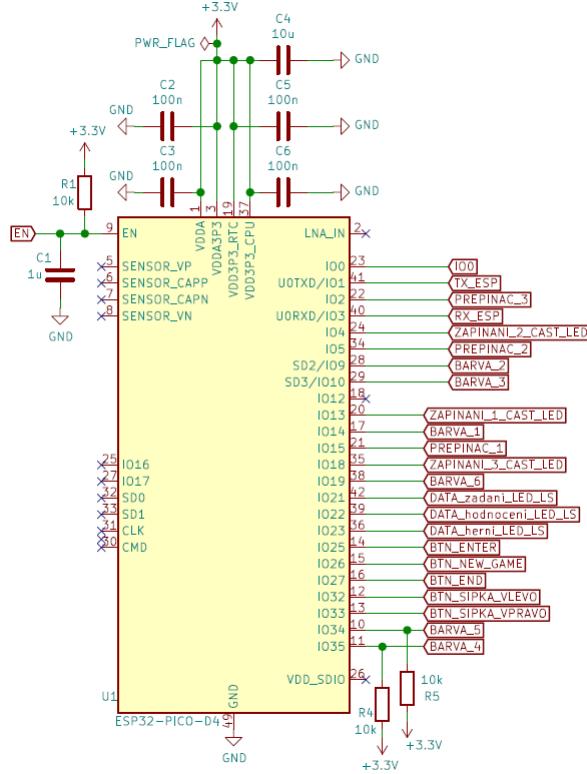
Jako řídící elektronika byl vybrán mikrokontrolér ESP32-PICO-D4. Hlavním důvodem pro výběr tohoto mikrokontroléru bylo, že je téměř totožný jako ESP32-WROOM, se kterým mám dlouhodobé zkušenosti. Tento mikrokontrolér má veškeré periferie, které jsou pro výrobu této hry zapotřebí.

Mikrokontrolér ESP32-PICO také podporuje Arduino framework, díky kterému bylo programování značně zjednodušeno.

Mikrokontrolér ESP32-PICO obsahuje [5]:

- WiFi,
- Bluetooth,
- 32 GPIO pinů,
- dvoujádrový 32bitový procesor Xtensa LX6,
- 520 kB SRAM,
- 4 MB FLASH.

Napájecí napětí tohoto mikrokontroléru je 3,0–3,6 V a průměrný odběr proudu je 80 mA [5]. ESP32-PICO má vyvedeno 32 GPIO pinů, které je možno softwarově nastavit jako vstupní nebo výstupní. Na tyto piny lze poté připojit různá zařízení. Vstupním senzorem může být typicky tlačítko a výstupním indikátorem např. LED. Tato zařízení zprostředkovávají komunikaci mezi mikrokontrolérem a okolním světem.



Obr. 2.2: Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32-PICO [5].

GPIO piny IO16 a IO17 nemohou být použity, protože ESP32-PICO má na těchto pinech připojenou flash paměť [5]. Pokud by na tento pin bylo připojeno nějaké zařízení, tak by mikrokontrolér ztratil přístup ke své paměti.

GPIO piny IO02, IO05, IO12 a IO15 slouží jako konfigurační piny při spouštění nebo resetu mikrokontroléru ESP32-PICO. Slouží například k výběru paměti, ze které se mikrokontrolér ESP32-PICO načítá. Při resetu musí být tyto piny ve správné konfiguraci. Pin MTDI je GPIO12 a pin MTDO je pin GPIO15 [5].

GPIO piny IO34 a vyšší jsou pouze vstupní [5]. Vstupní piny nemají softwarově zapojitelný pullup rezistor. Pokud je tedy zapotřebí pullup rezistor, musí se fyzicky zapojit.

Tab. 2.1: Konfigurační piny [5].

| Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO) | | | | | |
|--|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pin | Default | 3.3 V | 1.8 V | | |
| MTDI | Pull-down | 0 | 1 | | |
| Boot Mode | | | | | |
| Pin | Default | SPI Boot | Download Boot | | |
| GPIO0 | Pull-up | 1 | 0 | | |
| GPIO2 | Pull-down | Don't-care | 0 | | |
| Enabling/Disabling Debugging Log Print over U0TXD During Booting | | | | | |
| Pin | Default | U0TXD Active | U0TXD Silent | | |
| MTDO | Pull-up | 1 | 0 | | |
| Timing of SDIO Slave | | | | | |
| Pin | Default | FE Sampling FE Output | FE Sampling RE Output | RE Sampling FE Output | RE Sampling RE Output |
| MTDO | Pull-up | 0 | 0 | 1 | 1 |
| GPIO5 | Pull-up | 0 | 1 | 0 | 1 |

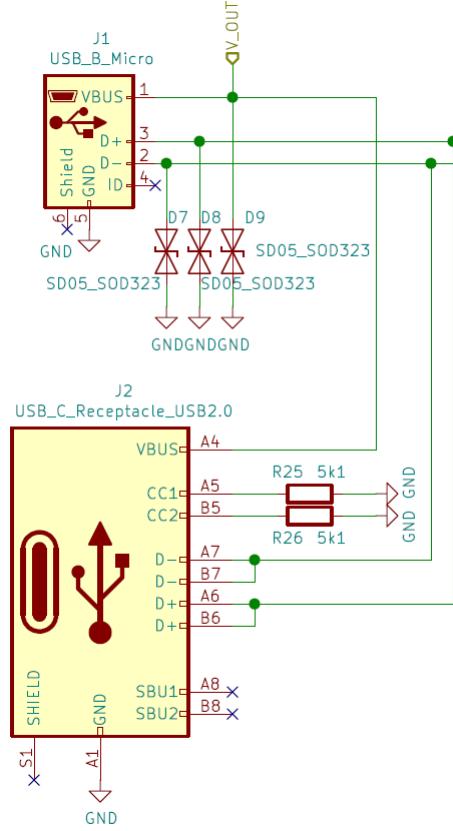
2.2 Napájení

Napájení probíhá před USB konektor. V dnešní době jsou 2 nejpoužívanější konektory – USB Micro a USB-C. Proto byly navrženy oba USB konektory. DPS nepodporuje funkci Quick Charge ani Power Delivery. DPS může být napájena pouze na pětím 5 V. Přítomnost jiného napětí není žádoucí. Konektor USB-C je tedy funkčně zapojen totožně jako USB Micro a oba konektory jsou na DPS pouze kvůli jejich tvarům.

2.3 Snižující měnič napájecího napětí pro mikrokontrolér

Mikrokontrolér ESP32-PICO má napájecí napětí 3,3 V. Napětí z powerbanky přes USB je 5 V. Proto je tedy zapotřebí zapojit měnič pro snížení napětí, který bude vytvářet z napájecího napětí 5 V napájecí napětí 3,3 V pro mikrokontrolér ESP32-PICO.

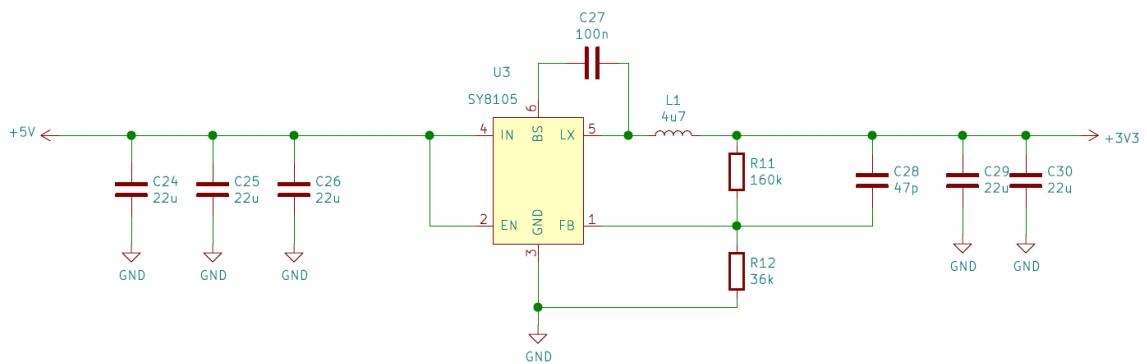
Jako měnič byl zvolen čip SY8105. Tento čip byl vybrán podle projektu RB0005-UniversalStepDown [16]. V tomto projektu zapojení funguje bezproblémově, a proto



Obr. 2.3: Schéma zapojení USB konektorů [11].

bylo rozhodnuto toto zapojení použít v mé práci.

Čip SY8105 má napájecí napětí 4,5–18 V a jeho maximální výstupní proud může dosahovat až 5 A.



Obr. 2.4: Schéma zapojení čipu SY8105 [18].

Výstupní napětí zapojení čipu SY8105 je závislé na poměru rezistorů R11 a R12

[18]. Hodnota rezistoru R11 byla zvolena $160\text{ k}\Omega$. Hodnota rezistoru R12 byla dopočítána dle rovnice číslo 2.1.

$$R_{12} = \frac{0,6}{U_{OUT} - 0,6} \cdot R_{11} = \frac{0,6}{3,3 - 0,6} \cdot 160 \cdot 10^3 = 35,555\text{ k}\Omega \quad [18] \quad (2.1)$$

Hodnota rezistoru R12 byla zvolena nejbližší z vyráběné rezistorové řady E24, tudíž $36\text{ k}\Omega$ [14]. Hodnota rezistoru se musí co nejvíce blížit vypočítané hodnotě, aby výstupní napětí nebylo příliš odlišné od požadovaného. Proto nebyl zvolen rezistor z častěji používaných řad E6 ani E12. Hodnota rezistoru z těchto řad by se již příliš odchylovala od vypočítané.

2.4 Převodník z USB na RS-232

Mikrokontrolér ESP32-PICO používá jako komunikační rozhraní linku RS-232. Programování ale probíhá přes USB konektor, který toto rozhraní nemá. Proto bylo potřeba použít převodník z USB na rozhraní RS-232.

Velkou inspirací při výběru součástek byl kit ESP32-DEVKITC [4]. Tento kit obsahuje ESP32-WROOM a také převodník z USB na RS-232. Na tomto kitu je převodník realizován čipem CP2102. ESP32-WROOM a ESP32-PICO se liší pouze v drobnostech, proto byl převodník CP2102 použit i při návrhu převodníku u Elektronické hry Logic. Tento čip zároveň převádí logiku z $0\text{--}5\text{ V}$ na logiku $0\text{--}3,3\text{ V}$ [19].

Čip CP2102 má napájecí napětí $3\text{--}3,6\text{ V}$ a jeho typickým odběrem proudu je $9,5\text{ mA}$.

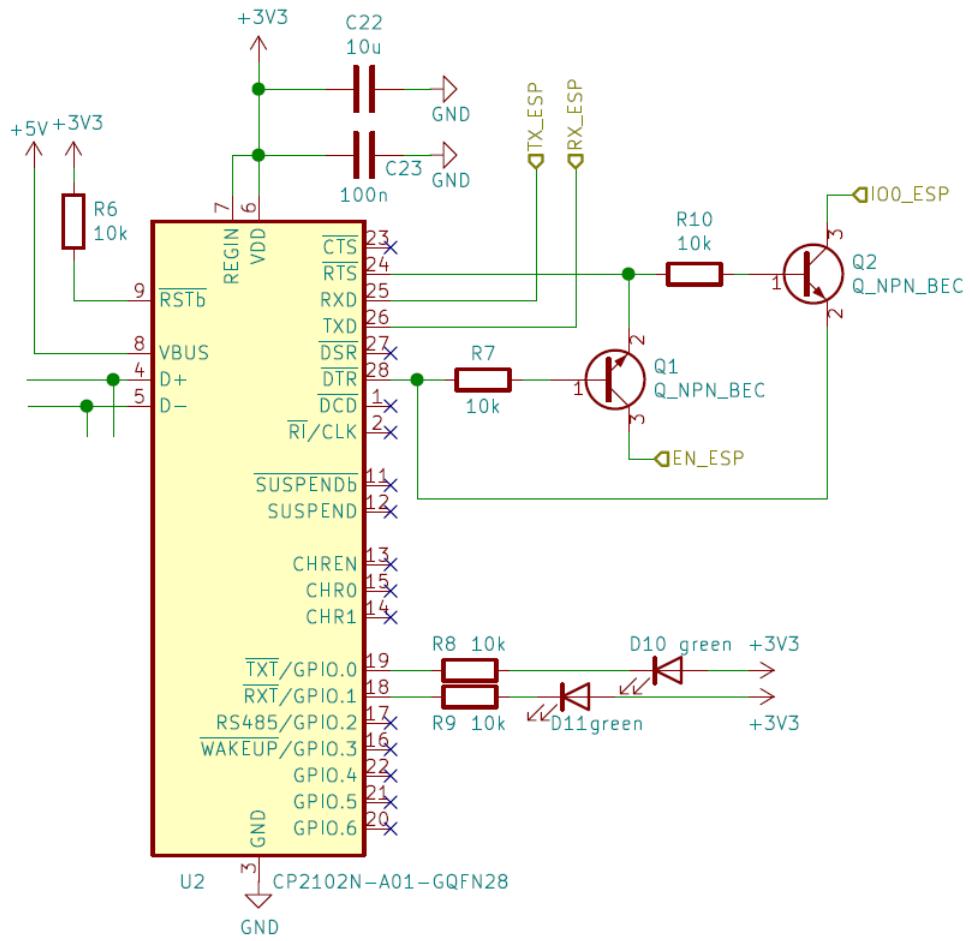
Čip CP2102 dokáže komunikovat velkým množstvím komunikačních rychlostí ($300, 9600, 19200, 38400, 115200, 256000\text{ Bd}$, atd) [19]. Komunikační rychlosť se nastavuje během konfigurace COM portu v počítači [19].

Z USB jsou signály D+ a D- připojeny k čipu CP2102. Tento čip signál z USB převede na signály RX a TX, které mají výstup na pinech RXD a TXD. Následně jsou tyto signály připojeny k mikrokontroléru ESP32-PICO. Signály RX a TX musí být překříženy. To znamená, že RX CP2102 je připojeno na TX ESP32-PICO a TX CP2102 je připojeno na RX ESP32-PICO.

LED D10 a D11 slouží k indikaci komunikace s mikrokontrolérem ESP32-PICO. Pokud je do mikrokontroléru nahráván program, tak LED D10 a D11 blikají.

2.5 Herní prvky

Herními prvky Elektronické hry Logic jsou inteligentní LED typu WS2812C. Tento typ inteligentních LED je určen pro přenosná zařízení, protože mají oproti obdobným

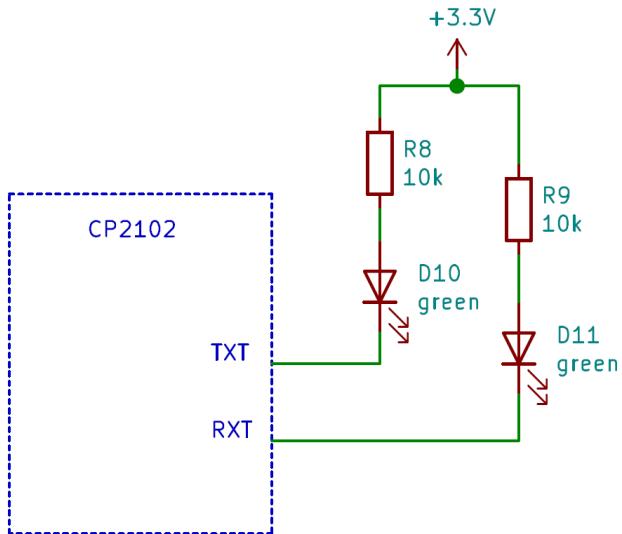


Obr. 2.5: Schéma zapojení převodníku z USB na RS-232 [4].

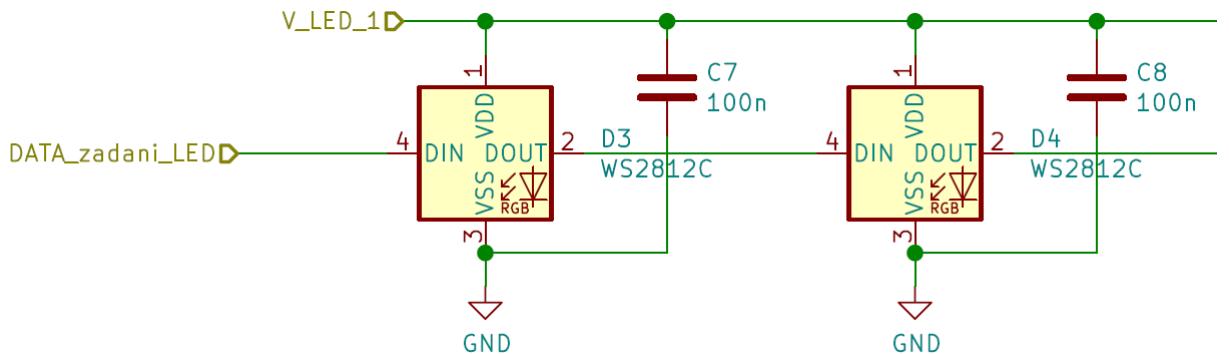
LED velmi nízkou spotřebu. Jsou také plně kompatibilní s typem WS2812B [20]. K těmto inteligentním LED existují knihovny, které usnadňují softwarovou práci s nimi.

Každá inteligentní LED má v sobě procesor, který slouží pro zpracování dat. Inteligentní LED WS2812C se zapojují za sebou přes piny DATA IN a DATA OUT. Každá inteligentní LED převeze data z pinu DATA IN, která jsou pro ni určena, a zbytek pošle ven přes pin DATA OUT. K pinu DATA OUT je připojen pin DATA IN další inteligentní LED.

Ke každé inteligentní LED je připojen mezi napájecí napětí a GND filtrační kondenzátor, aby LED svítily kontinuálně a nedostal se jim na napájení žádný šum [20].



Obr. 2.6: Zapojení LED pro indikaci komunikace čipu CP2102 s mikrokontrolérem ESP32-PICO [19].



Obr. 2.7: Zapojení inteligentních LED WS2812C [20].

Tab. 2.2: Parametry inteligentních LED WS2812C [20]

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Napájecí napětí | 3,5–5,3 V |
| Výstupní napětí | (VDD - 0,5)–(VDD + 0,5) V |
| Typický odběr proudu | 5 mA |
| Klidový odběr proudu | 0,3 mA |

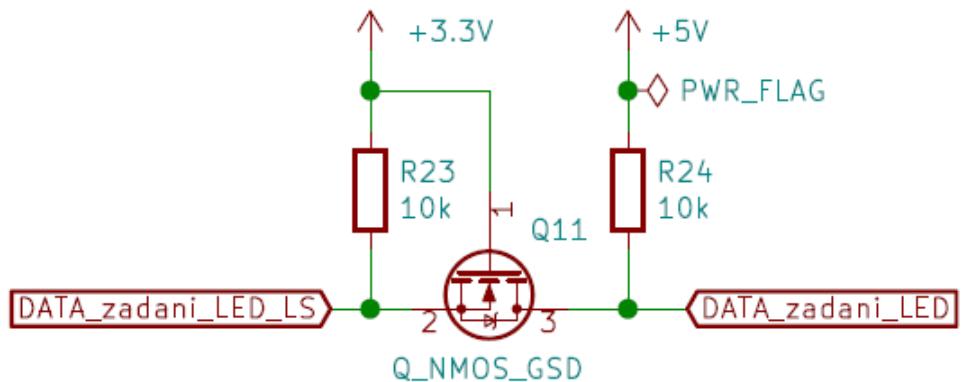
2.5.1 Rozdělení

Inteligentní LED jsou rozděleny do tří skupin. Skupina inteligentních LED pro zadání, skupina inteligentních LED pro herní pole a skupina inteligentních LED pro zobrazení vyhodnocení tahu. Skupina inteligentních LED pro zadání obsahuje 4 LED a skupiny pro herní pole a pro vyhodnocení každá 40 LED.

2.5.2 Převodník úrovně

Inteligentní LED WS2812C pracují s logikou 0–5 V. Mikrokontrolér ESP32-PICO pracuje s logikou 0–3,3 V. Z tohoto důvodu byl mezi mikrokontrolér a inteligentní LED, na datový signál pro inteligentní LED, zapojen převodník úrovně, tzv. level shifter.

Převodník je realizován MOSFET tranzistorem a dvěma pullup rezistory. Jeden rezistor je připojen k napájecímu napětí 3,3 V a druhý k napájecímu napětí 5 V. Jedná se o nejjednodušší způsob převodníku úrovně směrem nahoru. Tento způsob umožňuje komunikaci oběma směry. MOSFET tranzistor byl zvolen pro téměř nulovou spotřebu, narozdíl od bipolárních tranzistorů. MOSFET tranzistory jsou také rychlejší než bipolární tranzistory, takže způsobí menší zkreslení signálu.



Obr. 2.8: Zapojení převodníku úrovně.

Pokud jsou obě zařízení v klidu (nekomunikují), tak je tranzistor zavřený a pullup rezistory zajistují, že na pinu mikrokontroléra i inteligentní LED je logická 1. Pro mikrokontrolér ESP32-PICO je to tedy 3,3 V a pro inteligentní LED WS2812C je to 5 V. Jakmile započne mikrokontrolér komunikaci, to znamená, že svůj stav přepne do stavu logické nuly (0 V), tak rozdíl mezi gate a source tranzistoru stoupne a na výstupu tranzistoru bude také logická nula (0 V). Pokud by komunikace mohla

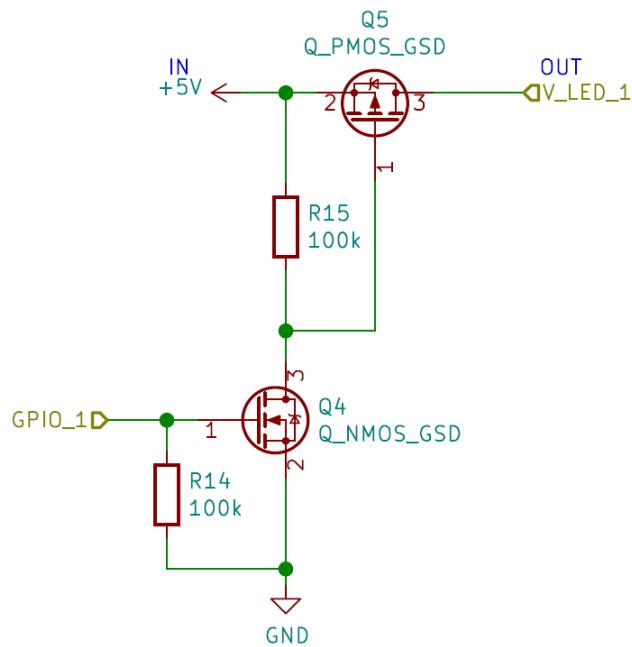
probíhat i naopak (inteligentní LED by odesílala data do mikrokontroléru), tak by byl princip totožný.

2.5.3 Zapínání napájení

DPS je navrhována pro přenosnou aplikaci, a proto je potřeba zajistit její co nejnižší odběr.

Inteligentní LED WS2812C mají spotřebu 0,3 mA ve vypnutém stavu [20]. I takto nízká spotřeba je pro přenosnou aplikaci nežádoucí. Připojení napájení inteligentním LED je tedy spínáno. Proto je herní pole dohromady s vyhodnocovacími LED rozděleno na 3 části. Tyto 3 části mají rozděleno napájení, které je postupně softwarově zapínáno dle potřeby. Do první části patří inteligentní LED se zadáním a první 4 čtverice inteligentních LED z herního pole a z vyhodnocení. Do druhé části patří další 3 čtverice inteligentních LED z herního a vyhodnocovacího pole. Do třetí části patří poslední 3 čtverice inteligentních LED z herního a z vyhodnocovacího pole.

Ke spínání slouží obvody s MOSFET tranzistory. MOSFET tranzistory byly zvoleny pro jejich téměř nulovou spotřebu, narozdíl od bipolárních tranzistorů.



Obr. 2.9: Obvod pro zapínání napájení pro inteligentní LED.

Napájení inteligentních LED nelze spínat pouze jedním tranzistorem, protože logická 1 mikrokontroléru ESP32-PICO má hodnotu pouze 3,3 V. V tomto případě

je ale zapotřebí spínat 5 V. Pokud by byl pro spínání použit jeden tranzistor, tak by bylo napájení vždy sepnuto.

GPIO pin mikrokontroléru ESP32-PICO je nastaven do logické 0, dokud není potřebné přivedení napájecího napětí dané skupině. Při logické nule na gate tranzistoru Q4 je tranzistor zavřený. Tranzistor Q5 v tomto okamžiku drží zavřený rezistor R15.

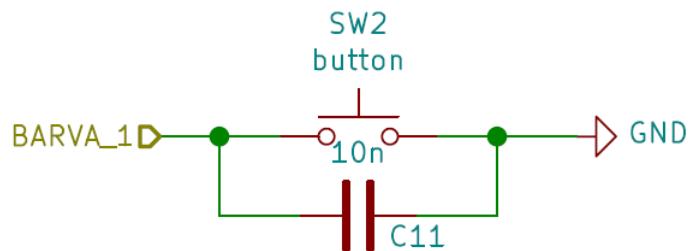
Když je signál GPIO_1, přivedený z mikrokontroléru, přepnut do logické 1, tak se tranzistor Q4 otevře. Otevřením tranzistoru Q4 je gate tranzistoru Q5 připojen ke GND a tím se otevře i tranzistor Q5, kterým je sepnuto napájecí napětí dané skupině inteligentních LED.

Rezistor R14 udržuje tranzistor Q4 zavřený při nestandardních stavech pinu mikrokontroléru, jako je např. při resetu procesoru.

2.6 Mechanické prvky

Přepínač SW1 slouží pro zapínání celé DPS. Tento přepínač připojuje napájecí napětí 5 V z USB konektoru k celému zbytku DPS.

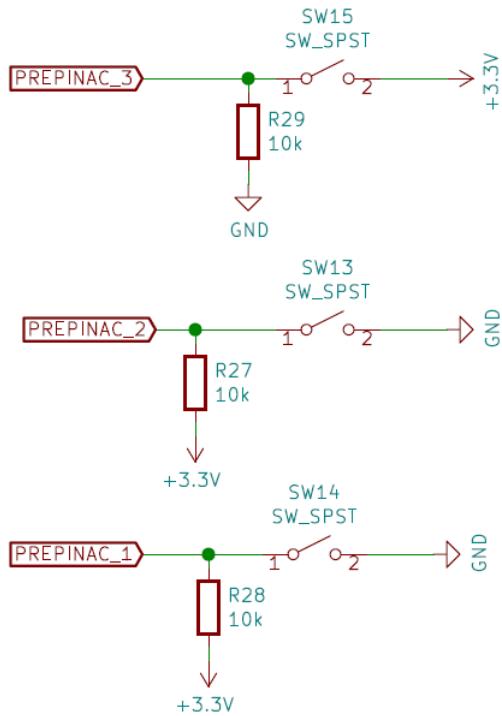
Tlačítka SW2 až SW12 slouží pro ovládání hry. Ke každému tlačítku je připojen kondenzátor o hodnotě 100 nF. Tento kondenzátor slouží pro filtraci zákmitů při zmáčknutí tlačítka. Filtrace se díky tomu nemusí řešit softwarově.



Obr. 2.10: Zapojení tlačítek.

Přepínače SW13 až SW15 slouží pro volbu možnosti hry. První přepínač slouží pro volbu hry pro jednoho, nebo pro 2 hráče. Druhý slouží pro možnosti hry na 3 nebo 4 herní prvky a poslední přepínač slouží pro nastavení, zda se v zadání může, nebo nesmí vyskytnout mezera.

Z důvodu obsazenosti pinů musely být přepínače připojeny k mikrokontroléru ESP32 přes konfigurační piny. U konfiguračních pinů musejí být dodržena pravidla pro připojovaná zařízení. Z těchto důvodů je jeden přepínač připojen přes pull-down rezistor a ostatní dva přepínače jsou připojeny přes pull-up rezistor.



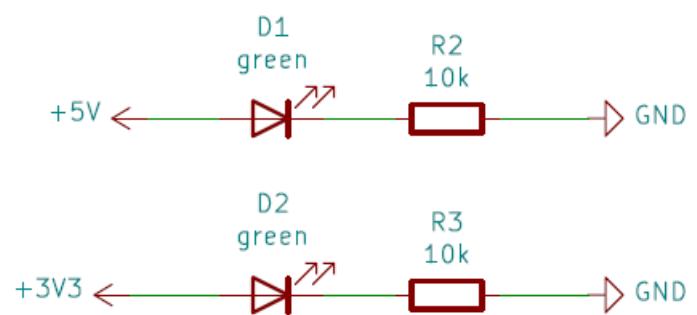
Obr. 2.11: Zapojení přepínačů.

Tab. 2.3: Zapojení přepínačů ke konfiguračním pinům mikrokontroléru ESP32-PICO

| Přepínač | Pin mikrokontroléru | Typ připojení rezistoru |
|----------|---------------------|-------------------------|
| SW14 | GPIO15 | Pull-up |
| SW13 | GPIO05 | Pull-up |
| SW15 | GPIO02 | Pull-down |

2.7 Indikace přítomnosti napájecího napětí

Pro indikaci přítomnosti napájecího napětí slouží LED D1 a D2. LED D1 indikuje přítomnost napájecího napětí 5 V a LED D2 indikuje přítomnost napájecího napětí 3,3 V. Obě LED mají zelenou barvu a jsou připojeny přes rezistor o hodnotě $10\text{ k}\Omega$.



Obr. 2.12: Zapojení LED pro indikaci napájecího napětí.

3 Návrh DPS

DPS je navržena v programu KiCad a její parametry jsou určeny pro výrobu i osazení ve firmě JLCPCB [6] [7]. Výrobní podklady proto musely být navrženy v souladu s jejich výrobními možnostmi [8].

DPS má 4 vrstvy. Vnitřní vrstvy slouží pro napájení a vnější pro signálové dráhy. V jedné vnitřní vrstvě je po celé její ploše polygon GND a ve druhé vnitřní vrstvě jsou polygony jednotlivých napájecích napětí. Součástky jsou rozloženy tak, aby pokud možno korespondovaly s polygony a jednotlivá napájecí napětí tak nemusela být dále rozváděna zbytečně po celé DPS. Někdy však nemohlo být umístění přizpůsobeno a napájecí napětí tak muselo být přivedeno dráhou v horní nebo spodní vrstvě, které jsou převážně určeny pro signálové dráhy.

Na vrchní straně jsou umístěny plošky pro osazení součástek, protože firma JLCPCB osazuje součástky pouze z jedné strany DPS.

Signálové dráhy jsou vedeny úzkou dráhou a napájecí dráhy jsou vedeny širší dráhou. V signálových drahách tečou zanedbatelné proudy, proto mohou být co nejužší. Výrobce umožňuje vyrobit u čtyřvrstvé DPS nejtenčí dráhu 0,09 mm [8]. Aby nebyly použity krajní výrobní hodnoty, byla zvolena šířka signálové dráhy 0,15 mm.

Dráhy, kterými je veden napájecí napětí, mají tloušťku 0,5 mm. Pro výpočet šířky dráhy byla použita online kalkulačka Printed Circuit Board Width Tool [1]. Proud dráhami při použití všech inteligentních LED je 420 mA a tloušťka mědi 35 μ A [8]. Doporučená šířka dráhy byla tedy 0,236 mm, a proto byla zvolena šířka dráhy 0,5 mm.

$$n = 84 \text{ ks}$$

$$I_{LED} = 5 \text{ mA}$$

$$I = I_{LED} \cdot n = 5 \cdot 84 = 420 \text{ mA} \quad (3.1)$$

Vnější vrstvy byly vyplněny polygonem GND. Zejména tak bylo učiněno kvůli výrobnímu procesu nanášení nepájivé masky. Tato maska může být velmi tenká zejména na plochách, kde jsou pouze tenké dráhy a žádné velké plochy. Vytvořením polygonu GND tak dopomáhá k vytvoření pevné a stejně tlusté nepájivé masky.

3.1 Vzhled DPS

Vzhled DPS byl ovlivněn vzhledem deskové hry a výrobními možnostmi firmy JLCPCB. Rozměry DPS velmi ovlivňují cenu výroby. U firmy JLCPCB je zlomová hranice $10 \times 10 \text{ cm}$. Poté cena DPS rapidně narůstá. Rozměry $10 \times 10 \text{ cm}$ byly pro návrh DPS Elektronické hry Logic dostačující a DPS byla tedy navržena na tyto rozměry. Poté byly do těchto rozměrů rozmisťovány součástky.

Inteligentní LED WS2812C jsou rozděleny do 3 skupin, aby se hra co nejvíce podobala deskové hře. Zároveň dopomáhá orientaci ve hře. Také kvůli množství inteligenčních LED a jejich poměrně velkým rozměrům (5×5 mm) zabírají velkou část DPS [20]. Proto musely být inteligenční LED rozmístěny jako první.

Inteligentní LED pro zadání jsou umístěny v horní části DPS. V levém sloupci pod zadáním se nachází matice inteligenčních LED, které slouží jako herní pole, a v pravém sloupci je matice inteligenční LED pro vyhodnocení tahu. Rozložení LED reprezentuje herní tahy, proto jsou v matici 4×10 LED.

Rozmístění tlačítek a přepínačů probíhalo dle rozmyšleného způsobu ovládání elektronické hry. Byl také brán ohled na estetiku vzhledu. Proto byly tlačítka i inteligenční LED rozmístěny dle přesné mřížky. Následně byly ostatními obvody využívány zbylé prostor.

Dráhy s napájecím napětím by měly být co nejkratší a měly by být vedeny co nejvíce zpríma. Proto byla snaha o umístění součástek se stejným napájecím napětím k sobě. Ne vždy ale mohla být tato doporučení splněna. Někdy musel být proveden kompromis mezi vzhledem a funkčním zapojením.

Dílčí obvody byly rozmístěny v následujícím pořadí - USB konektory, měnič napětí, převodník z USB na RS-232 a mikrokontrolér ESP32-PICO. USB konektory musely být umístěny na okraj DPS, proto byly jednotlivé části obvodu naskládány podél levého okraje.

Převodník úrovně je umístěn vždy těsně před vstupem signálu do první inteligenční LED daného řetězce.

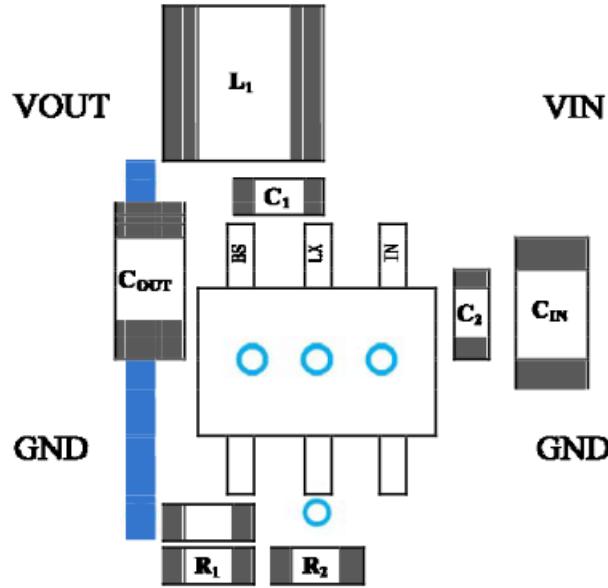
Přepínač pro změnu hry pro jednoho a pro 2 hráče byl umístěn do mezery, mezi herními a vyhodnocovacími inteligenčními LED. Další 2 přepínače, jeden pro volbu hry na 3 nebo 4 herní prvky a druhý na volbu nastavení, zda se v zadání může, nebo nesmí vyskytnout mezera, jsou umístěny v pravém horním rohu.

Obvody pro zapínání napájení jednotlivým sekčím inteligenčních LED jsou umísťeny vždy na začátku dané části polygonu vlevo od herních inteligenčních LED.

3.2 Funkční rozmístění součástek

U některých součástek není jejich umístění na DPS lhostejné. Rozmístění součástek v některých případech může ovlivnit funkčnost obvodu. Rozmístění součástek často souvisí s rozkreslením ve schématu. Například kondenzátory filtrující šum napájecího napětí se umisťují co nejblíže přívodu napájení.

Rozložení součástek měniče napětí na DPS může velmi ovlivnit jeho funkčnost, zejména pak jeho účinnost. Proto bylo rozložení a zapojení součástek převzato z datasheetu.



Obr. 3.1: Rozložení součástek kolem čipu SY8105 na DPS [18].

Signály D+ a D- od USB k čipu CP2102 jsou diferenciálním párem. Tomuto faktu musely být přizpůsobeny i dráhy těchto signálů. Dráhy jsou vedeny vedle sebe a blízko u sebe. Po celou jejich délku se nepřibližují ani neoddalují. Zkřížení probíhá až těsně před vstupem do čipu CP2102. Kondenzátory u mikrokontroléru ESP32-PICO a u čipu CP2102 musí být umístěny co nejblíže jejich pouzdru. Tyto kondenzátory slouží pro filtraci šumu na napájecím napětí. Stejná pravidla platí také pro filtrační kondenzátory u inteligentních LED WS2812C.

Kondenzátory u tlačítek jsou také umístěny co nejblíže pouzdru tlačítka. Čím blíže pouzdru kondenzátor bude, tím lépe budou filtrovány zákmity při stisku tlačítka.

4 Oživení DPS

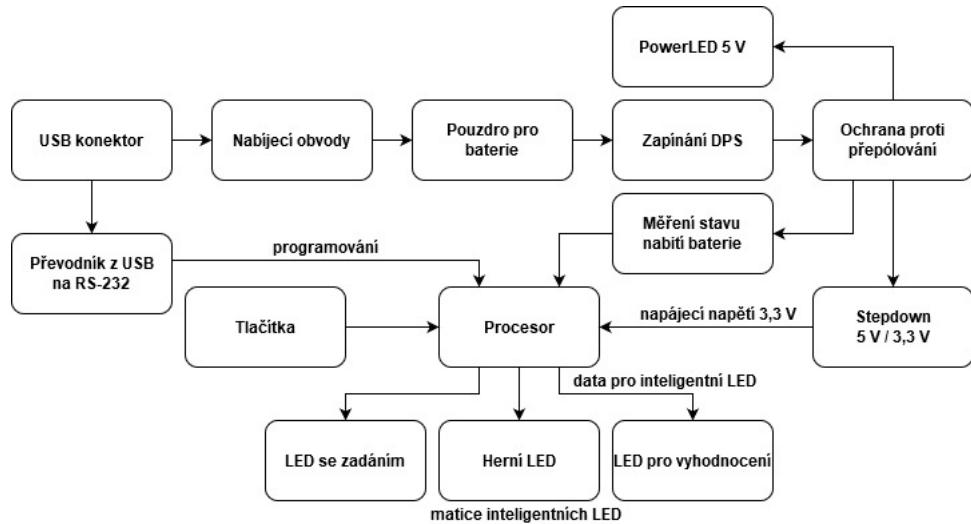
Při výrobě finální verze DPS Elektronické hry Logic byly využity maximální možnosti osazení firmou JLCPCB. Pro oživení finální DPS je tedy zapotřebí pájení pouze vypínače, který není umístěn na DPS, ale je zasazen do krabičky a zapájen do DPS pomocí drátových prodlužek.

Při objednání finální DPS nastaly problémy s nedostatkem součástek, se kterým se v této době potýká mnoho návrhářů [3]. Čip SY8105 neměla firma JLCPCB dlouhodobě na skladě a nebylo možné čekat, než jej budou znova osazovat. Z tohoto důvodu byl na finální DPS přeosazen z nefunkčních prototypů. Za klasických okolností by byl ale i tento čip osazen firmou JLCPCB.

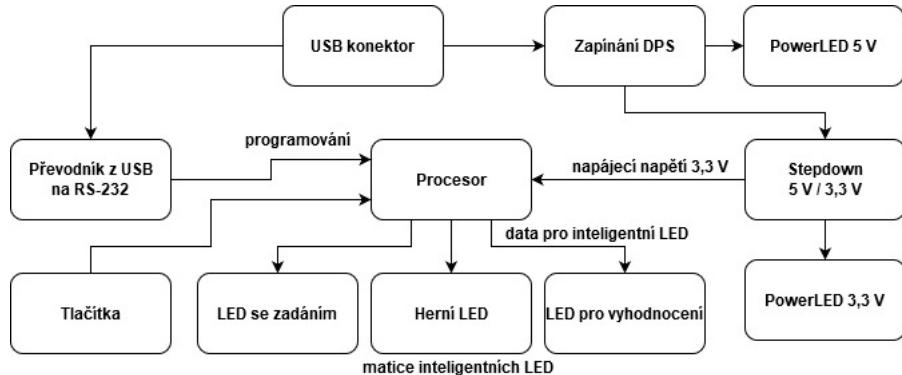
Po připojení DPS přes USB konektor k powerbance, nebo do počítače, se rozsvítí LED D1 a D2, které indikují přítomnost napájecího napětí. LED D1 značí přítomnost napětí 5 V z powerbanky a LED D2 značí správnou funkci zapojení měniče napětí, tedy přítomnost napětí 3,3 V.

5 Od prvního prototypu po finální verzi

Před finální verzí byly navrženy 2 prototypy DPS elektronické hry Logic. Verze 0 byla pouze testovací, takže neobsahovala celé herní pole. Sloužila pro ověření funkčnosti daných zapojení různých čipů a zároveň pro základní testování softwaru.



Obr. 5.1: Blokové schéma zapojení prototypu verze 0.0.



Obr. 5.2: Blokové schéma zapojení prototypu verze 1.0.

Asi největším rozdílem mezi verzí prototypu 0.0 a 1.0 je způsob napájení. Verze 0.0 je napájena z baterií a verze 1.0 je napájena pomocí USB konektoru. Díky této změně odpadly i mnohé části obvodu. Díky absenci baterií bylo možné postrádat nabíjecí obvody, ochranu proti přepólování a měření napětí na bateriích.

5.1 Způsoby napájení prototypů

Každý z prototypů měl velmi odlišný způsob napájení. V následujících kapitolách je popsán způsob napájení prototypových verzí.

5.1.1 Verze 0.0

V první verzi prototypu byly pro napájení použity baterie Li-Ion INR18650-29E od firmy Samsung. Tyto baterie mají jmenovité napětí 3,7 V, při plném nabití až 4,2 V [12]. Kapacita jedné baterie je 2850 mAh [12]. Byly použity 2 články baterií, které byly spojeny paralelně. Paralelním zapojením byla celková kapacita zdvojnásobena.

Baterie typu Li-Ion jsou náchylné na podvybití. Verze 0.0 proto obsahovala i měření napětí na bateriích. Pokud by došlo k podvybití, mohla by se bateriím zmenšovat kapacita nebo by se mohly zničit.

Pro baterie bylo vybráno pouzdro na 2 články s THT montáží do DPS [13].

Pouzdro s bateriemi bylo připevněno a zapájeno přímo do DPS, a proto musel být integrován i nabíjecí obvod. Nabíjení probíhalo přes konektor USB Micro.

Pro nabíjecí obvod byl zvolen čip TP4056. Tento obvod byl vybrán, protože je přímo určen pro nabíjení baterií typu Li-Ion. Existují moduly pro nabíjení těchto baterií, které mají integrovaný tento čip [10]. Tyto moduly jsou často používané, a proto bylo zapojení tohoto modulu převzato do této práce.

Vlastnosti čipu jsou přizpůsobeny bateriím Li-Ion. Nabíjení baterií probíhá do 4,2 V, což je maximální napětí na použitých bateriích [12] [17]. Díky tomu nemůže dojít ke zničení baterií nabíjením.

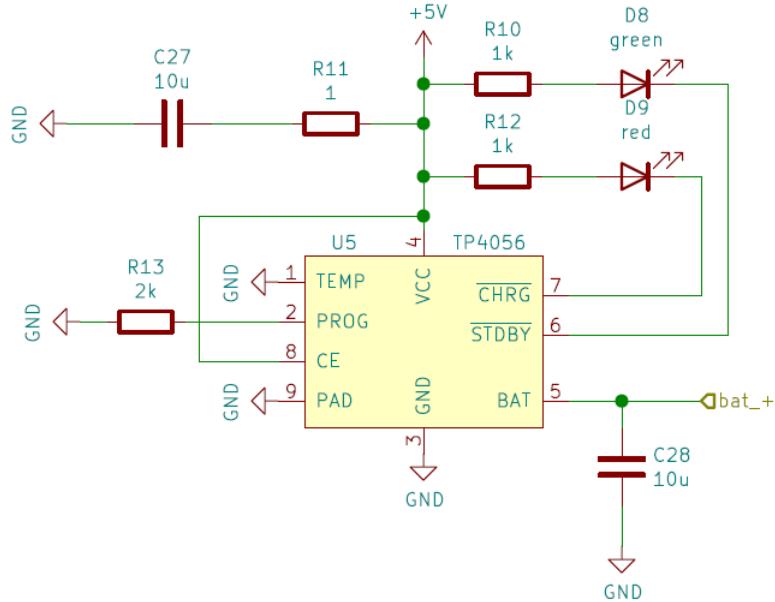
Červená LED D9 indikovala nabíjení baterií a zelená LED D8 svítila, pokud byly baterie nabité [17]. Pokud nesvítila ani červená ani zelená LED, znamenalo to, že baterie jsou podvybité, nebo nejsou vloženy. Příčinou mohla být také příliš vysoká, nebo nízká jejich teplota [17].

Rezistorem R13 se určoval nabíjecí proud baterií [17]. Aby baterie nabíjením nebyly poškozovány, měl by být nabíjecí proud maximálně 0,5 C (polovina kapacity baterie). Vybraná baterie má kapacitu 2850 mAh. Nabíjecí proud proto mohl být až 1425 mA. Jelikož je pro tuto hru důležitější kapacita baterie, než doba nabíjení, byl zvolen nabíjecí proud pouze 0,5 A. Čím menším proudem je baterie nabíjena, tím má delší životnost a pomaleji ztrácí svoji kapacitu.

Byl zvolen rezistor o hodnotě $2\text{ k}\Omega$, kterým byl určen nabíjecí proud 580 mA.

5.1.2 Verze 1.0

Ve verzi 1.0 byl radikálně změněn způsob napájení. Napájení v této verzi neprobíhá přes baterie, ale pouze přes USB konektor, přes který ve verzi 0.0 probíhalo pouze



Obr. 5.3: Schéma zapojení čipu TP4056 [17].

Tab. 5.1: Nastavení nabíjecího proudu rezitorem R13 [17].

| R13 [kΩ] | Nabíjecí proud [mA] |
|----------|---------------------|
| 10 | 130 |
| 5 | 250 |
| 4 | 300 |
| 3 | 400 |
| 2 | 580 |
| 1,66 | 690 |
| 1,5 | 780 |
| 1,33 | 900 |
| 1,2 | 1000 |

nabíjení baterií.

Výhody

- absence drahých baterií,
- absence nabíjecího obvodu,
- absence hlídání stavu nabití baterie,
- absence ochrany proti přepólování (USB konektor je uzpůsoben svým tvarem, aby uživatel nemohl napájení přepólovat.),

- napájení inteligenčních LED napětím přímo z USB (Inteligenční LED mají menší odběr proudu.).

Nevýhody

- předpokládá se, že uživatel vlastní powerbanku,
- výdrž závisí na kapacitě powerbanky.

Byl zvolen konektor USB Micro, protože se jedná o nejrozšířenější USB konektor dnešní doby.

Do finální verze byl poté přidán ještě i konektor USB-C.

5.1.3 Vývoj mechanických prvků

Na obou prototypech byla použita tlačítka s THT montáží. Do finální verze byla použita tlačítka s SMD montáží. Tato tlačítka jsou robustnější a celokovová.

Do finální verze byly přidány také přepínače pro volbu možností hry.

5.2 Vzhled DPS

Prototyp verze 0.0 měl menší rozměry než finální verze. Sloužil pouze pro testování zapojení, odhalení nedostatků a pro základní testování softwaru.

První prototyp také obsahoval pouzdro na baterie Li-Ion 18650, které bylo navrženo jako jediné na spodní straně DPS. Bylo tak umístěno kvůli úspoře místa. Rozmístění součástek základních dílčích obvodů bylo situováno především do horní části DPS.

Druhý prototyp se již svým vzhledem velmi podobal finální verzi.

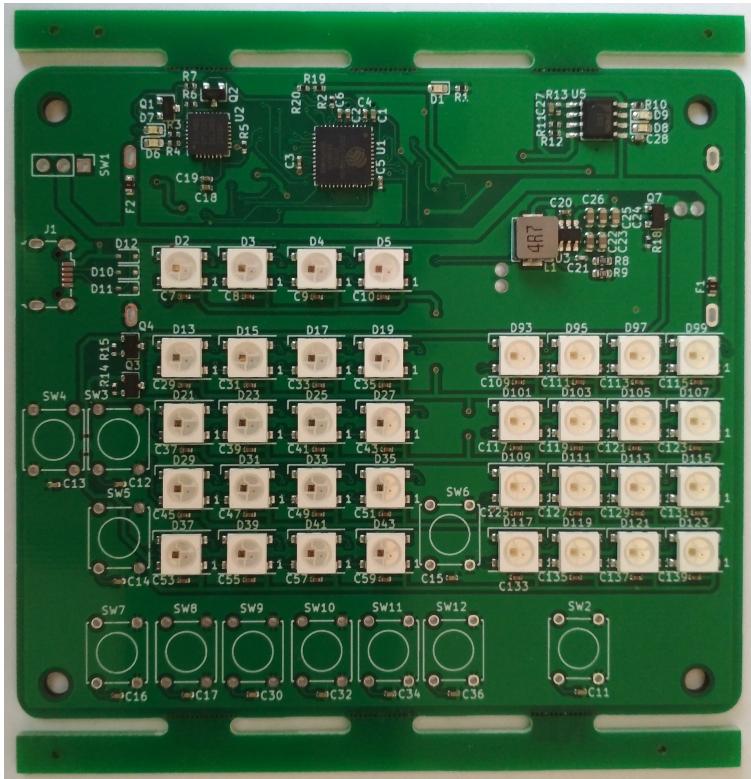
5.3 Oživení prototypů

Při výrobě prototypů firma JLCPCB osazovala pouze SMD komponenty. THT komponenty musely být doosazovány ručně. V následujících kapitolách je popsán způsob oživování prototypů DPS.

5.3.1 Verze 0.0

DPS přišla z výroby ve stavu, kdy byly osazeny pouze SMD komponenty.

Po dodání DPS z výroby byly zapájeny THT komponenty (pouzdro na baterii, konektor USB Micro, tlačítka a vypínač). Na testovací verzi byl místo vypínače osazen konektor, na který je pro zapnutí DPS potřeba nasunout propojku. Po zapojení baterií 18650 do pouzdra a zapnutí vypínače se rozsvítí zelená LED D1, která indikuje přítomnost napájecího napětí.



Obr. 5.4: DPS prototypu verze 0.0 z výroby.

Po vložení baterií do pouzdra a zapnutí DPS bylo pomocí multimetu zjištěno, že ochrana proti přepólování baterií nepropouští napětí dále, i když jsou baterie v pouzdře umístěny se správnou orientací napětí. Bylo zjištěno, že pouzdro tranzistoru zajišťujícího ochranu proti přepólování neodpovídá navrženému pouzdro tranzistoru. Všechny MOSFET tranzistory byly stejného typu, takže musely být všechny odpájeny a otočeny.

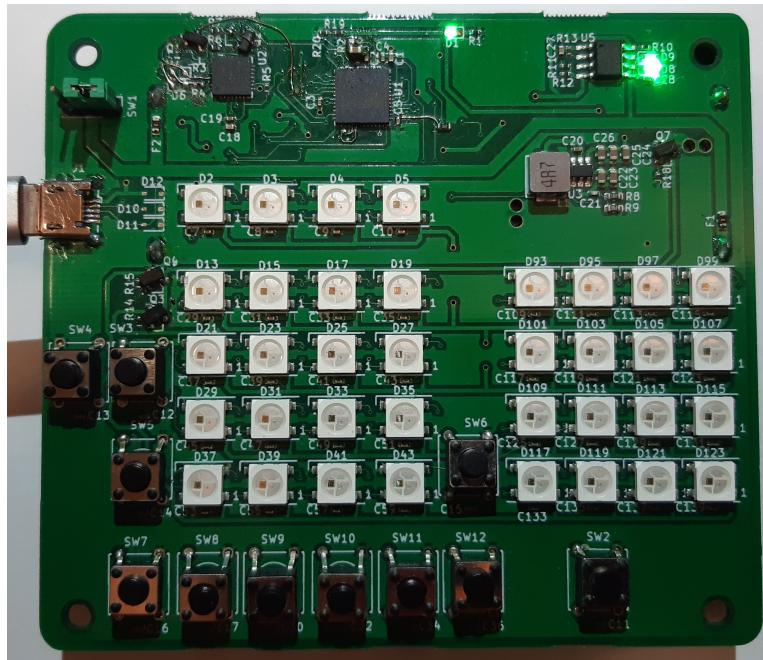
Při zkoušce nabíjení bylo zjištěno, že červená LED indikující nabíjení baterií je přepólovaná. LED se povedla otočit a indikace nabíjení baterií z USB byla v pořádku.

Při programování byl zjištěn problém s komunikací po lince RS-232. Bylo zjištěno, že zapojení LED pro indikaci komunikace po lince RS-232 bylo chybně navrženo, a proto byly LED odstraněny a nahrazeny zkratem. Jejich zapojení této komunikaci bránilo. Do další verze byly překreseny správně. Bipolární tranzistory byly taktéž osazeny ve špatném pouzdře a neodpovídaly navrženým pouzdrům.

Při programování a testování všech inteligentních LED WS2812C a tlačítka bylo zjištěno, že jedno tlačítko bylo zapojeno na pin, který nemá softwarově zapínatelný pullup rezistor. Tento rezistor byl dodatečně osazen a do schématu i DPS další verze zakreslen.

Po veškerých opravách byla DPS plně funkční a připravena na testování softwaru

Elektronické hry Logic.



Obr. 5.5: Oživená verze prototypu 0.0 s opravami.

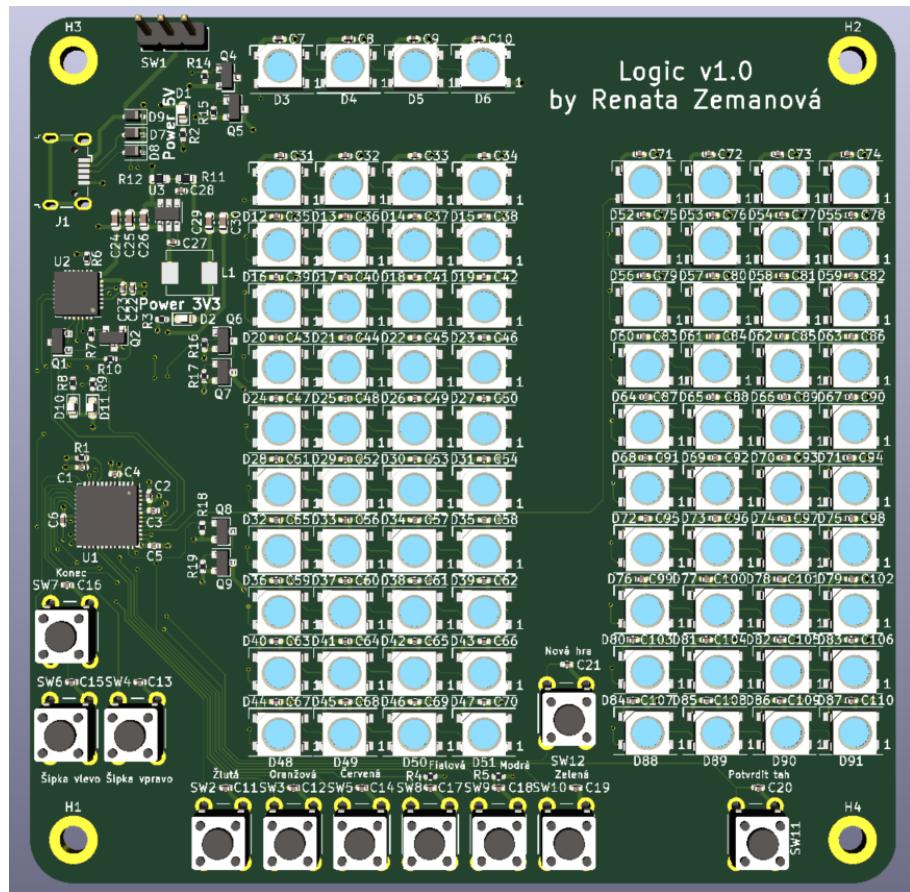
5.3.2 Verze 1.0

DPS přišla z výroby ve stavu, kdy byly osazeny pouze SMD komponenty.

Poté byly ručně osazeny THT součástky, tj. vypínač, tlačítka a konektor USB Micro. Po připojení DPS přes USB konektor k powerbance, nebo do počítače, se rozsvítí LED D1 a D2, které indikují přítomnost napájecího napětí. LED D2 zároveň značí, že zapojení měniče napětí je funkční.

Všechny chyby z předchozí verze prototypu byly odstraněny. DPS byla tedy plně funkční a mohla být programována hra Logic v plném rozsahu.

Po otestování byly k DPS přidány přepínače a poté byla finální verze DPS ob-jednána.



Obr. 5.6: 3D pohled DPS prototypu verze 1.0.

6 Software

Software pro Elektronickou hru Logic byl napsán v jazyce C++. Bylo využito skutečnosti, že mikrokontrolér ESP32-PICO podporuje Arduino framework. Pro psaní softwaru bylo použito vývojové prostředí Visual Studio Code.

Pro programování inteligentních LED bylo využito již existující knihovny Smart-Leds.h [15]. Tato knihovna velmi usnadňuje softwarovou práci s těmito inteligentními LED. Obsahuje například funkci *show*, která umožní zobrazit nastavené barvy na všech inteligentních LED připojených k jednomu pinu mikrokontroléru ESP32-PICO.

Celý software je rozdělen do dvou částí, počáteční inicializace a nekonečná smyčka programu.

Po spuštění probíhá inicializace vstupně-výstupních pinů a též inicializace proměnných. Dále je všem inteligentním LED nastavena barva na černou, tzn. LED nesvítí. Po kompletním nastavení se již čeká na stisk tlačítka "Nová hra".

6.1 Tlačítko Nová hra

Když je stisknuto tlačítko "Nová hra", tak je všem inteligentním LED nastavena černá barva. Program načte stavy přepínačů. Pokud je nastavena hra pro jednoho hráče, tak je vygenerováno zadání. Pokud je hra s mezerou, tak je generace zadání rozšířena o černou barvu. Poslední přepínač určuje délku vygenerovaného zadání. V případě hry pro jednoho hráče je přepínač s mezerou ignorován. Následně je zapnuto napájecí napětí první části inteligentních LED a poté program přechází do druhé části, tj. nekonečné smyčky.

Výpis 6.1: Funkce pro vygenerování zadání.

```
void generate_task (Colors *task, int length, int diff){  
    for(int i = 0; i < length; ++i)  
        task[i] = Colors(esp_random() % (NUM_OF_COLORS - diff));  
}  
  
void set_task(led_t &leds, Colors* array_task, int length){  
    for (int i = 0; i < length; ++i){  
        leds.pos = i;  
        set_color(leds, array_task[i]);  
    }  
}
```

Nekonečná smyčka má dva hlavní úkoly. Detekuje stisknutí tlačítka a v pravidelných intervalech bliká kurzorem. Na konci každého průchodu smyčkou se obnoví zobrazení na inteligentních LED.

6.2 Tlačítka interpretující šipky

Po každém stisku některé z šipek program nejprve zjišťuje, zda je spuštěna hra pro jednoho, nebo pro dva hráče, a také, v případě hry pro dva hráče, v jaké části inteligentních LED se právě nachází kurzor. Poté je kurzor dle dané šipky posunut buď o jedno pole vpravo, nebo o jedno pole vlevo, v rámci dané části inteligentních LED.

Pokud se kurzor nachází na konci řádku a je stisknuto tlačítko "Šipka vpravo", je pozice přepočítána tak, aby se kurzor posunul na začátek téhož řádku. Pokud se kurzor nachází na začátku řádku a je stisknuto tlačítko "Šipka vlevo", je pozice přepočítána tak, aby se kurzor posunul na konec téhož řádku.

Výpis 6.2: Funkce posouvající kurzor.

```
1 void shift_cursor (led_t &LED, Direct DIR, int length){  
2     if((DIR == RIGHT) &&  
3         !((LED.pos + 1 + LINE_LENGTH - length) % LINE_LENGTH))  
4         LED.pos -= LINE_LENGTH - (LINE_LENGTH - length) - 1;  
5     else if(DIR == RIGHT)  
6         LED.pos += 1;  
7     else if((DIR == LEFT) &&  
8         (LED.pos == 0 || !(LED.pos % LINE_LENGTH)))  
9         LED.pos += LINE_LENGTH - (LINE_LENGTH - length) - 1;  
10    else if(DIR == LEFT)  
11        LED.pos -= 1;  
12}
```

6.3 Barevná tlačítka

Po každém stisku barevného tlačítka program zjišťuje, zda je spuštěna hra pro jednoho, nebo pro dva hráče, a také, v případě hry pro dva hráče, v jaké části inteligentních LED se právě nachází kurzor. Poté se nastaví v dané části daná barva LED na pozici kurzoru a kurzor se posune o jedno pole vpravo. Pokud se ve hře pro dva hráče nachází kurzor ve vyhodnocovací části, tak jsou stisky všech barev kromě červené a žluté ignorovány. Na konci průchodu smyčkou je tato změna zobrazena na inteligentních LED.

6.4 Tlačítko Potvrdit tah

Po stisku tlačítka "Potvrdit tah" je zjištěno, zda je nastavena hra pro jednoho, nebo pro dva hráče.

Pokud je nastavena hra pro jednoho hráče, tak dojde k vyhodnocení tahu a kurzor je posunut na první LED dalšího herního řádku. Pokud je již kurzor na posledním řádku, tak je již zobrazeno zadání a kurzor přestává blikat. Pokud se shoduje herní kombinace se zadáním dříve, než na posledním řádku, tak je zobrazeno vyhodnocení i zadání. Kurzor přestává blikat a hra čeká na stisk tlačítka "Konec", nebo "Nová hra".

Vyhodnocení probíhá ve dvou krocích. Nejdříve jsou hledány barvy na správných pozicích. Tyto barvy jsou ohodnoceny červeně. Pozice těchto barev jsou v dalších krocích vynechávány. Pokud je počet nalezených barev na shodných pozicích stejný, jako je délka zadání, tak vyhodnocení končí. Pokud tomu tak není, vyhodnocení pokračuje. Následně pokud je nalezena ve zbylých barvách barva, která je obsazena v zadání, tak je ohodnocena žlutou barvou. Každá ohodnocená barva se v dalších krocích již přeskakuje.

Pokud je nastavena hra pro dva hráče, dojde k posunutí kurzoru na první LED části, která je právě na řadě. Pokud byl kurzor v zadání, posune se do herního pole, pokud byl v herním poli, posune se do pole pro vyhodnocení a pokud byl kurzor v poli pro vyhodnocení, tak se přesune do herního pole.

Pokud má následující řádek vypnuto napájecí napětí, tak je toto napětí softwarově zapnuto.

6.5 Tlačítko Konec

Pokud je stisknuto tlačítko "Konec", jsou všechny LED zhasnuty a poté je jim odpojeno napájecí napětí. Následně se čeká na stisk tlačítka "Nová hra".

7 Způsob ovládání elektronické hry

DPS obsahuje 3 přepínače SW13, SW14 a SW15. Těmito přepínači si hráč volí způsob hry.

Přepínač SW15 slouží k volbě hry pro jednoho, nebo pro dva hráče. Pokud hráč umístí přepínač do pozice ON, hra se přepne do módu pro dva hráče. Rozdíl mezi těmito variantami hry je popsán v následujících kapitolách, funkce dalších přepínačů taktéž.

7.1 Hra pro jednoho hráče

Tato verze hry pro jednoho hráče má stejná pravidla jako desková hra Logic. Funkci druhého hráče nahrazuje řídící elektronika - mikrokontrolér ESP32-PICO.

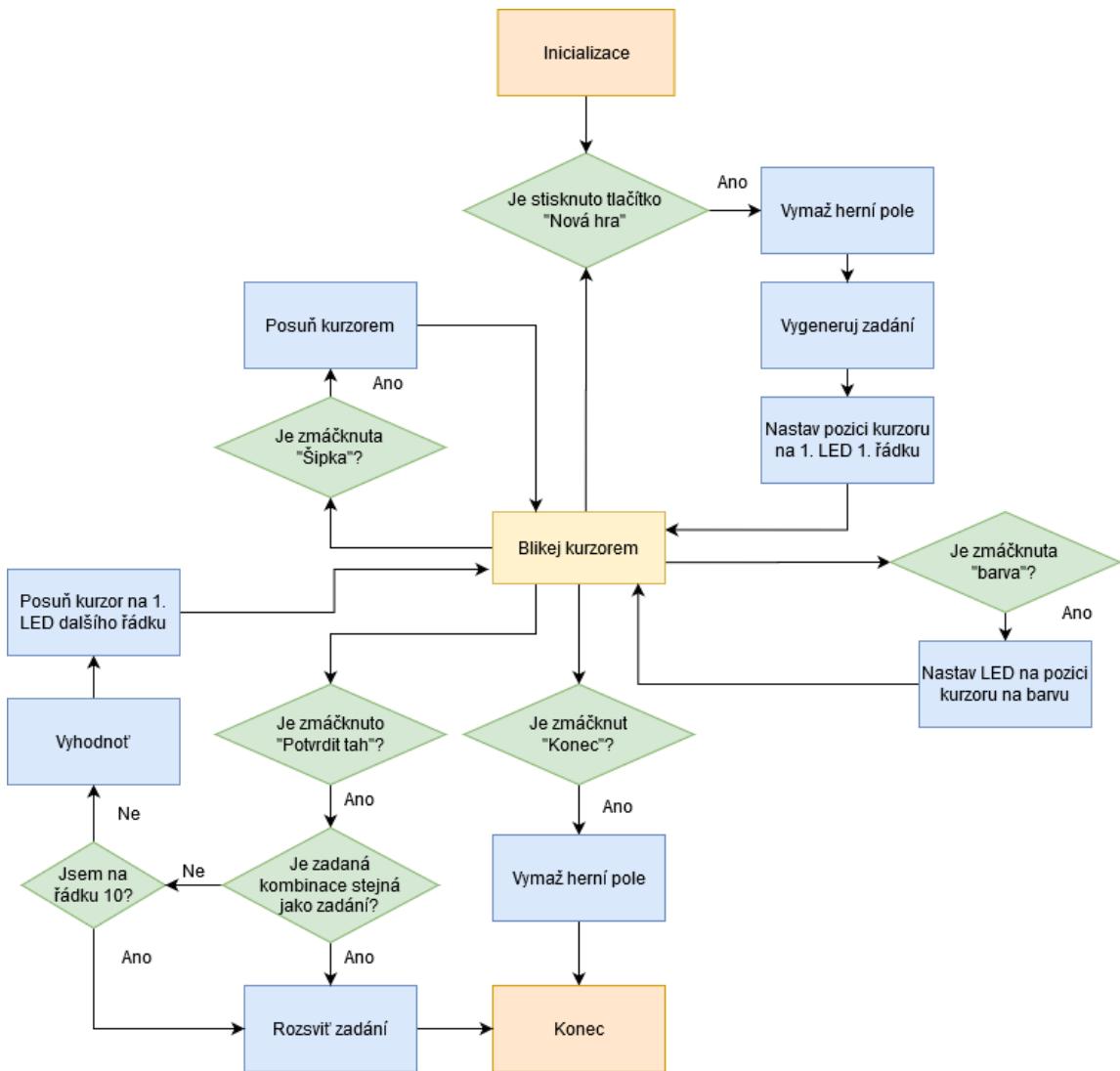
Po zapnutí DPS stikne hráč tlačítko "Nová hra". V této chvíli se vygeneruje zadání, které není vidět, a první herní LED se rozblíká. Blikající herní LED značí pozici kurzoru. Kurzorem lze pohybovat pomocí šipek interpretovanými tlačítky "Šipka vpravo" a "Šipka vlevo". Barvy herních LED se nastavují tlačítky ve spodní části DPS. Tato tlačítka jsou označena danými barvami. Pokud hráč zadá barvu, kterou zadat nechce, má dvě možnosti, jak ji smazat. Kurzorem vybere danou barvu a buď ji hned změní na jinou barvu pomocí daného barevného tlačítka, nebo stiskne tlačítko stejné barvy a barva se smaže. Po zadání kombinace stikne hráč tlačítko "Potvrdit tah". Po stisku tohoto tlačítka proběhne vyhodnocení a to se zobrazí na vyhodnocovacích LED. Červená barva ve vyhodnocení značí, že hráč má v barevné kombinaci stejnou barvu se zadáním na stejném pozici. Žlutá barva znamená, že hráč má v barevné kombinaci stejnou barvu se zadáním, ale na chybné pozici. Další barvy nejsou ohodnoceny. Pozice vyhodnocení záměrně není shodná s pozicemi, kterých se hodnocení týká. Zleva jsou nejdříve umístěna všechna červená a až poté všechna žlutá hodnocení.

Po vyhodnocení se kurzor posune na první LED v dalším řádku. Hra pokračuje obdobným způsobem. Po zadání správné kombinace barev a jejich pozic se rozsvítí zadání a hra je u konce. Pro novou hru stikne hráč tlačítko "Nová hra" a pro ukončení tlačítko "Konec". Po stisku tlačítka "Konec" zhasnou všechny herní, vyhodnocovací LED i LED pro zadání. Poté je DPS připravena pro vypnutí vypínačem.

Přepínač SW14 slouží pro nastavení, zda zadání obsahuje 3 nebo 4 barvy. Pokud hráč umístí přepínač do pozice ON, tak tím zvolí variantu hry na 3 barvy. Pohyb kurzoru se tím omezí pouze na první 3 pozice v řádku. Poslední pozice se ignoruje a také nikdy nesvítí.

Přepínač SW13 slouží pro nastavení, zda zadání může nebo nesmí obsahovat mezery. Pokud dá hráč přepínač do pozice ON, tak v zadání může být mezera. Není

to ale nutnosti.



Obr. 7.1: Vývojový diagram verze hry pro jednoho hráče.

7.2 Hra pro dva hráče

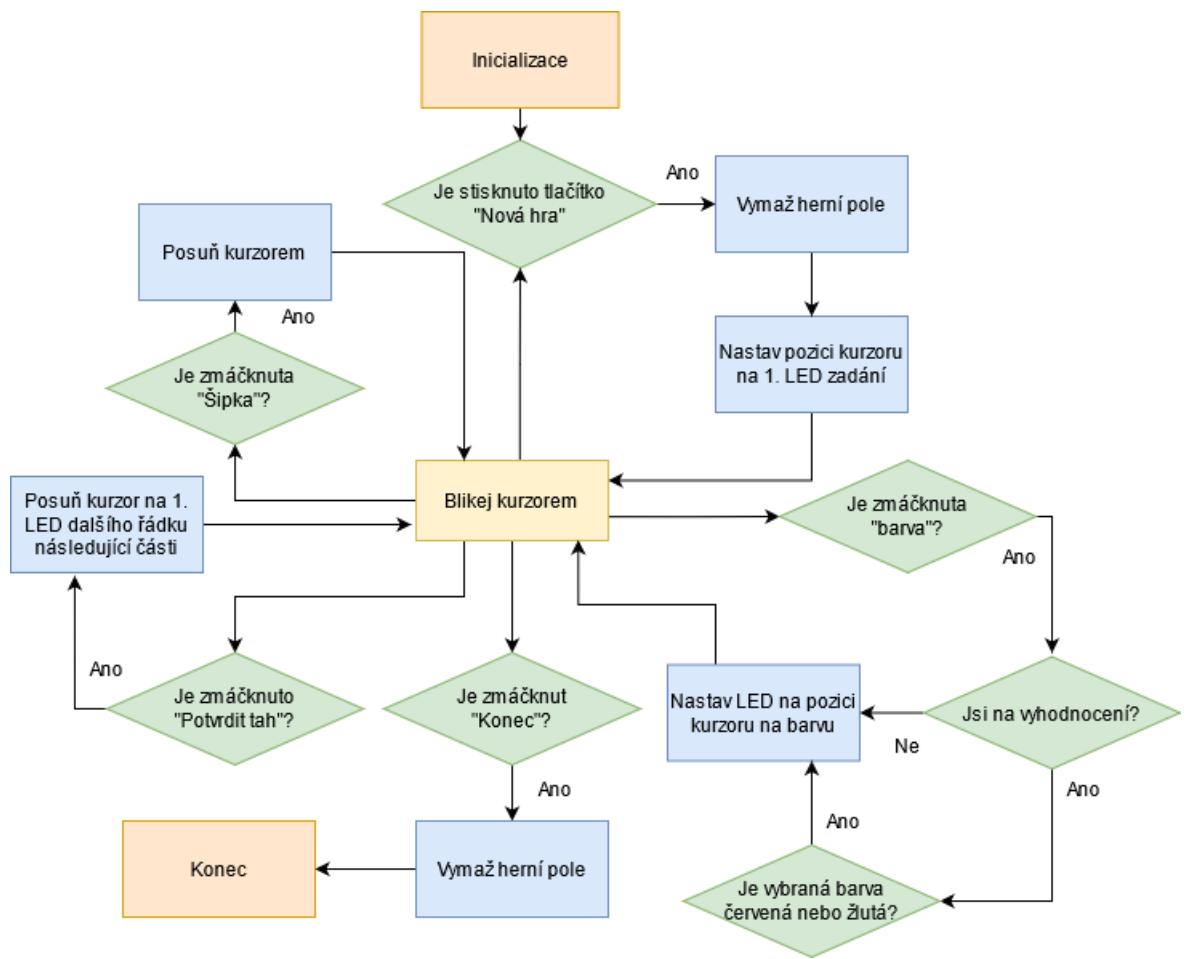
Varianta Elektronické hry Logic pro dva hráče má totožná pravidla s deskovou hrou. Po spuštění hry a stisku tlačítka "Nová hra" bliká kurzor v poli inteligentních LED se zadáním. První hráč zadává barvy pomocí barevných tlačítek a v poli LED se pohybuje pomocí šipek interpretovanými tlačítky. Hráč zadání zakryje stříškou a stiskne tlačítko „Potvrdit tah“.

Po stisku zadání zůstane svítit a kurzor se přesune na první herní LED. Druhý hráč hledá zadanou kombinaci a tuto náhodnou kombinaci navolí pomocí barevných

tlačítek. Kurzorem může taktéž pohybovat pomocí šipek interpretovanými tlačítky. Pokud hráč zadá barvu, kterou zadat nechce, má dvě možnosti, jak ji smazat. Kurzorem vybere danou barvu a bud ji hned změní na jinou barvu pomocí daného barevného tlačítka, nebo stiskne tlačítko stejné barvy a barva se smaže. Po zadání kombinace druhý hráč stiskne tlačítko „Potvrdit tah“ a kurzor se přesune na první pozici vyhodnocovacího pole.

První hráč má v tuto chvíli aktivní pouze šipky a červené a žluté barevné tlačítko. Červenou barvu zadává jako první a indikuje jí, že některá barva druhého hráče je obsažena v zadání, a to na totožné pozici. Poté zadává žlutou barvu, kterou udává, že některá z barev prvního hráče je obsažena v zadání, ale na jiné pozici, než kam ji druhý hráč umístil. Vyhodnocení hráč záměrně neumisťuje na pozice, kterých se hodnocení týká. Zpravidla se zleva umisťují nejdříve všechna červená a až poté všechna žlutá hodnocení.

Po dokončení hodnocení první hráč stiskne tlačítko "Potvrdit tah" a kurzor se opět přesune na první pozici dalšího řádku herního pole. Hra dále pokračuje obdobným způsobem. Pokud druhý hráč nalezne správnou kombinaci, pak první hráč odkryje zadání pro možnou kontrolu a hra je u konce. Pro možnost další hry stiskne jeden z hráčů tlačítko „Nová hra“. Celé herní, vyhodnocovací pole i pole se zadáním je smazáno a kurzor je znova posunut na první pozici pole se zadáním.



Obr. 7.2: Vývojový diagram verze hry pro dva hráče.

8 Krabička

Krabička byla navržena v programu SolidWorks a vytištěna na 3D tiskárně. Spodní díl krabičky obsahuje 2 vyvýšené sloupky, ve kterých jsou otvory na šrouby a matice. Vnitřní a nižší jsou určeny pro přišroubování DPS pomocí montážních otvorů a šroubů M3. Vnější otvory jsou poté pro přišroubování vrchního krytu krabičky. V obou případech jsou použity šrouby M3 se zápustnou hlavou. Klasické šrouby mají hlavičku, která je moc vysoká a krabička by nešla uzavřít. Zápustné šrouby jsou částečně zapuštěny do montážních otvorů DPS a tím je část hlavičky šroubu nad DPS nižší. Na boční straně je také otvor pro přivedení napájení USB konektorem.

Vrchní část krabičky obsahuje otvory pro LED a také pro tlačítka a přepínače. Tato část krabičky leží těsně nad DPS, aby nedocházelo k podsvitu LED přes sebe a nemohlo tak docházet k podvodům během hry.

Krabička také obsahuje tzv. stříšku, která je také součástí deskové hry. Tato stříška slouží pro zakrytí zadání ve hře pro dva hráče, kdy musí zadání svítit po celou dobu hry, aby byl druhý hráč schopen vyhodnocovat.

9 Kompletace

Do spodního dílu krabičky byly do všech otvorů zalepeny matice M3 pomocí vteřinového lepidla.

Po zaschnutí byla do vnitřních otvorů přišroubována DPS pomocí šroubů M3 se zápustnou hlavou.

Po uchycení DPS byl pomocí drátových propojek připájen kolébkový vypínač k DPS.

Krabička byla následně přikryta vrchním dílem a přišroubována pomocí vnějších matic také šrouby M3 se zápustnou hlavou. Následně je možno zadání zakrýt stříškou, připojit jeden z USB konektorů k napájecímu napětí a je možno začít hrát.

Závěr

Byla navržena Elektronická hra Logic. Tato hra vychází ze stejnojmenné deskové hry.

V této práci byla uvedena pravidla deskové hry Logic. Dále byl popsán kompletní návrh elektronické verze této hry. Při výběru elektronických komponent byl kladen důraz na spotřebu jednotlivých zařízení. Hru řídí mikrokontrolér ESP32-PICO. Herními prvky jsou inteligentní LED WS2812C, které jsou programovatelné a jsou určeny pro přenosná zařízení. Hra Logic je integrována do jedné DPS, která řídí hru, a zároveň jsou na této DPS umístěny herní prvky. Finální verze DPS osahuje také měnič napětí, převodník z USB na RS-232 a převodníky úrovně. Napájení probíhá pomocí USB konektorů.

Při návrhu je kladen velký důraz na vizuální podobu s deskovou hrou Logic. Zároveň byla také zachována veškerá doporučená zapojení použitých čipů a modulů a rozmístění součástek na DPS.

V neposlední řadě je stručně popsán vývoj od prvního prototypu až po finální verzu DPS.

V této práci je také popsáno softwarové řešení Elektronické hry Logic, včetně popisu funkce automatického vyhodnocení ve hře pro jednoho hráče. Následuje popis ovládání Elektronické hry Logic, který je rozdělený na možnosti hry pro jednoho nebo pro dva hráče.

Byla navržena a vyrobena krabička. Tato krabička má všechny potřebné otvory a DPS z ní nemusí být nikdy vytahována. Obsahuje také stříšku pro zakrytí zadání potřebnou ve hře pro dva hráče.

Literatura

- [1] ADVANCED CIRCUITS: *PCB Trace Width Calculator* Denver, Colorado: [cit. 09. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>](https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html).
- [2] Agátin svět: *Dřevěná hra Logik* Praha: [cit. 08. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.agatinsvet.cz/drevena-hra-logik/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4nhc98iKGbskL1JDi_E0A2-Yynl_DG03UGjG5w-4-1mWRE58qwTKp1oaAj9CEALw_wcB>](https://www.agatinsvet.cz/drevena-hra-logik/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4nhc98iKGbskL1JDi_E0A2-Yynl_DG03UGjG5w-4-1mWRE58qwTKp1oaAj9CEALw_wcB).
- [3] Chiptron, Petrus: *Součástky nejsou. Rok 2021 nevypadá pro bastlíře vůbec dobrě.* Poslední aktualizace 16. 04. 2021 [cit. 07. 05. 2021]. Dostupné z URL:
[<https://chiptron.cz/news.php?readmore=1186>](https://chiptron.cz/news.php?readmore=1186).
- [4] Espressif: *ESP32_DevKitC_v4* Poslední aktualizace 06. 12. 2017 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf>](https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf).
- [5] Espressif Systems: *ESP32-PICO-D4* Poslední aktualizace 2019 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf>](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf).
- [6] Jean-Pierre Charras, Dick Hollenbeck, Wayne Stambaugh: *KiCad EDA* [cit. 07. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://kicad.org>](https://kicad.org).
- [7] JLCPBC: *JLCPCB* [cit. 23. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://jlcpcb.com>](https://jlcpcb.com).
- [8] JLCPBC: *PCB Capabilities* [cit. 23. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>](https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities).
- [9] Klub deskových her Paluba: *Logik pravidla* [cit. 30. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<http://testapp.hrejsi.cz/logik/pravidla.htm>](http://testapp.hrejsi.cz/logik/pravidla.htm).
- [10] Laskarduino: *Nabíječka Li-ion článku TP4056 microUSB* [cit. 04. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.laskarduino.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-microusb>](https://www.laskarduino.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-microusb).

- [11] Microchip Technology Inc.: *AN1953, Introduction to USB Type-C* Poslední aktualizace 2015 [cit. 28. 04. 2021]. Dostupné z URL:
[<https://cdn.sparkfun.com/assets/e/b/4/f/7/USB-C_Datasheet.pdf>](https://cdn.sparkfun.com/assets/e/b/4/f/7/USB-C_Datasheet.pdf).
- [12] NKON: *INR18650-29E* [cit. 01. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://eu.nkon.nl/samsung-inr18650-29e.html>](https://eu.nkon.nl/samsung-inr18650-29e.html).
- [13] POSTAV ROBOTA: *Držák na baterie, 2 akumulátorové články 18650 do DPS* [cit. 01. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.postavrobotu.cz/Drzak-na-baterie-2-akumulatorove-clanky-18650-d.htm>](https://www.postavrobotu.cz/Drzak-na-baterie-2-akumulatorove-clanky-18650-d.htm).
- [14] Radioklub OK1KVK: *Elektrotechnické řady hodnot E3, E6, E12, E24* Karlovy Vary [cit. 28. 04. 2021]. Dostupné z URL:
 [<https://ok1kvk.cz/clanek/2011/elektrotechnicke-rady-hodnot-e3-e6-e12-e24/>](https://ok1kvk.cz/clanek/2011/elektrotechnicke-rady-hodnot-e3-e6-e12-e24/).
- [15] RoboticsBrno, Jan Mrázek: *SmartLeds* Brno: Poslední aktualizace 27. 04. 2021 [cit. 08. 05. 2021]. Dostupné z URL:
[<https://github.com/RoboticsBrno/SmartLeds>](https://github.com/RoboticsBrno/SmartLeds).
- [16] RoboticsBrno, Jan Mrázek: *RB0005-UniversalStepDown* Brno: Poslední aktualizace 30. 11. 2020 [cit. 04. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://github.com/RoboticsBrno/RB0005-UniversalStepDown>](https://github.com/RoboticsBrno/RB0005-UniversalStepDown).
- [17] Satic Chipid: *TP4056 A Standalone Linear Li-lon Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8* [cit. 03. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://static.chipdip.ru/lib/977/D0C002977110.pdf>](https://static.chipdip.ru/lib/977/D0C002977110.pdf).
- [18] SILERGY: *Applocation Note:AN_SY8105* [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Silergy-Corp-SY8105ADC_C178247.pdf>](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Silergy-Corp-SY8105ADC_C178247.pdf).
- [19] Silicon Laboratories Inc.: *CP2102N Data Sheet* USA: Poslední aktualizace květen 2016 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf>](https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf).
- [20] Worldsemi: *WS2812C* Poslední aktualizace 06. 12. 2017 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1810231210_Worldsemi-WS2812C_C114587.pdf>](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1810231210_Worldsemi-WS2812C_C114587.pdf).

- [21] VUT v Brně: *Úprava, odevzdávání a zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací na VUT v Brně* [online]. Směrnice rektora č. 2/2009. Brno: 2009, poslední aktualizace 24. 3. 2009 [cit. 23. 10. 2015]. Dostupné z URL: <<https://www.vutbr.cz/uredni-deska/vnitrni-predpisy-a-dokumenty/smernice-rektora-f34920/>>.
- [22] ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. 40 stran. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [23] ČSN ISO 7144 (010161) *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. 24 stran. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [24] ČSN ISO 31-11 *Veličiny a jednotky – část 11: Matematické znaky a značky používané ve fyzikálních vědách a v technice*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [25] BIERNÁTOVÁ, O., SKÚPA, J.: *Bibliografické odkazy a citace dokumentů dle ČSN ISO 690 (01 0197) platné od 1. dubna 2011* [online]. 2011, poslední aktualizace 2. 9. 2011 [cit. 19. 10. 2011]. Dostupné z URL: <<http://www.citace.com/CSN-ISO-690.pdf>>
- [26] *Pravidla českého pravopisu*. Zpracoval kolektiv autorů. 1. vydání. Olomouc: FIN PUBLISHING, 1998. 575 s. ISBN 80-86002-40-3.
- [27] WALTER, G. G.; SHEN, X. *Wavelets and Other Orthogonal Systems*. 2. vyd. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2000. 392 s. ISBN 1-58488-227-1
- [28] SVAČINA, J. Dispersion Characteristics of Multilayered Slotlines – a Simple Approach. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1999, vol. 47, no. 9, s. 1826–1829. ISSN 0018-9480.
- [29] RAJMÍC, P.; SYSEL, P. Wavelet Spectrum Thresholding Rules. In *Proceedings of the International Conference Research in Telecommunication Technology*, Žilina: Žilina University, 2002. s. 60–63. ISBN 80-7100-991-1.

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|---------------|---|
| Bd | Baud - jednotka modulační rychlosti |
| C | Kapacita |
| COM | Common - sériový port RS-232 |
| DPS | Deska plošného spoje |
| FLASH | Typ paměti, která je trvalá - nesmaže se ani při ztrátě napájení |
| GND | Ground - pin, který má nulový potenciál, vůči němu jsou referencované všechny ostatní signály |
| GPIO | General Purpose Input Output - piny, které mohou být vstupní nebo výstupní |
| kB | Kilobajt - jednotka velikosti paměti |
| LED | Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo |
| Li-Ion | Lithium-iontový akumulátor - druh nabíjecí baterie |
| mAh | Miliampérhodina (jednotka kapacity používaná hlavně u baterií) |
| MB | Megabajt - jednotka velikosti paměti |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrickým polem |
| M3 | Metrický závit o průměru 3 mm |
| RS-232 | Druh sériového komunikačního rozhraní |
| RX | Receiver - přijímač sériového rozhraní |
| SMD | Surface Mount Device - součástky určené pro povrchovou montáž |
| SRAM | Static Random Access Memory - rychlá statická paměť, která se smaže při ztrátě napájení |
| THT | Through-hole technology - vývodová technologie součástek |
| TX | Transceiver - vysílač sériového rozhraní |
| USB | Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice, která se používá pro připojení zařízení k počítači |

VDD Označení napájecího napětí

Seznam obrázků

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Desková hra Logic [2] | 10 |
| 2.1 | Blokové schéma elektroniky | 11 |
| 2.2 | Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32-PICO [5] | 12 |
| 2.3 | Schéma zapojení USB konektorů [11] | 14 |
| 2.4 | Schéma zapojení čipu SY8105 [18] | 14 |
| 2.5 | Schéma zapojení převodníku z USB na RS-232 [4] | 16 |
| 2.6 | Zapojení LED pro indikaci komunikace čipu CP2102 s mikrokontrolérem ESP32-PICO [19] | 17 |
| 2.7 | Zapojení inteligentních LED WS2812C [20] | 17 |
| 2.8 | Zapojení převodníků úrovně | 18 |
| 2.9 | Obvod pro zapínání napájení pro inteligentní LED | 19 |
| 2.10 | Zapojení tlačítek | 20 |
| 2.11 | Zapojení přepínačů | 21 |
| 2.12 | Zapojení LED pro indikaci napájecího napětí | 22 |
| 3.1 | Rozložení součástek kolem čipu SY8105 na DPS [18] | 25 |
| 5.1 | Blokové schéma zapojení prototypu verze 0.0 | 27 |
| 5.2 | Blokové schéma zapojení prototypu verze 1.0 | 27 |
| 5.3 | Schéma zapojení čipu TP4056 [17] | 29 |
| 5.4 | DPS prototypu verze 0.0 z výroby | 31 |
| 5.5 | Oživená verze prototypu 0.0 s opravami | 32 |
| 5.6 | 3D pohled DPS prototypu verze 1.0 | 33 |
| 7.1 | Vývojový diagram verze hry pro jednoho hráče | 38 |
| 7.2 | Vývojový diagram verze hry pro dva hráče | 40 |
| A.1 | Blokové schéma DPS finální verze | 53 |
| B.1 | Vrstva mědi TOP | 61 |
| B.2 | Vnitří vrstva mědi napájení | 62 |
| B.3 | Vnitří vrstva mědi GND | 63 |
| B.4 | Vrstva mědi BOTTOM | 64 |
| B.5 | Vrstva s popisky TOP | 65 |
| B.6 | Vrstva s popisky BOTTOM | 66 |
| B.7 | Vrstva pro nanesení nepájivé masky TOP | 67 |
| B.8 | Vrstva pro nanesení pájecí pasty TOP | 68 |
| B.9 | Celá DPS | 69 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Konfigurační piny [5] | 13 |
| 2.2 | Parametry inteligentních LED WS2812C [20] | 17 |
| 2.3 | Zapojení přepínačů ke konfiguračním pinům mikrokontroléru ESP32-PICO | 21 |
| 5.1 | Nastavení nabíjecího proudu rezitorem R13 [17]. | 29 |

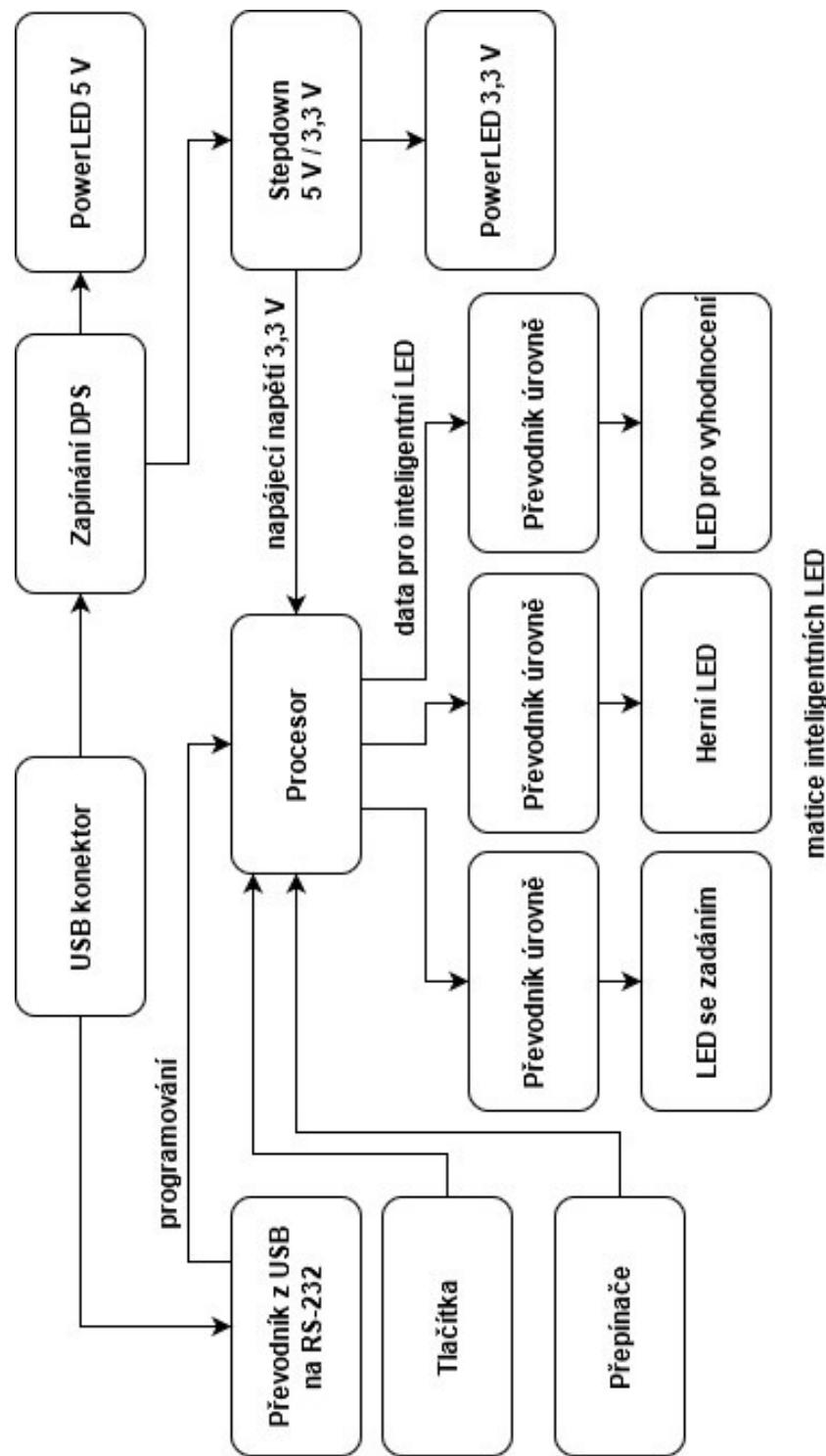
Seznam výpisů

| | | |
|-----|--|----|
| 6.1 | Funkce pro vygenerování zadání | 34 |
| 6.2 | Funkce posouvající kurzor | 35 |

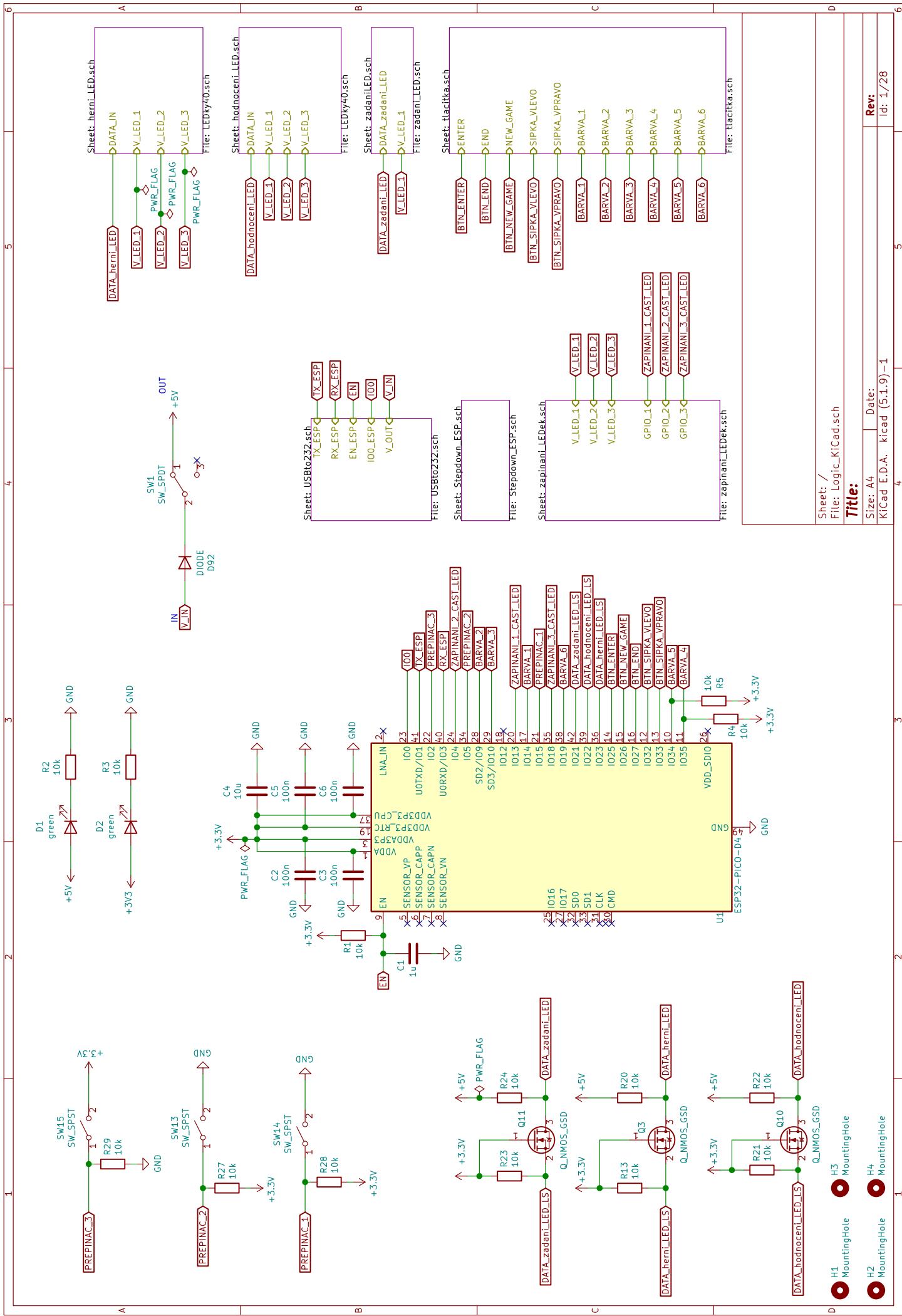
Seznam příloh

| | |
|--------------------------------------|----|
| A Schéma zapojení DPS finální verze | 53 |
| B Výrobní podklady DPS finální verze | 61 |

A Schéma zapojení DPS finální verze



Obr. A.1: Blokové schéma DPS finální verze.

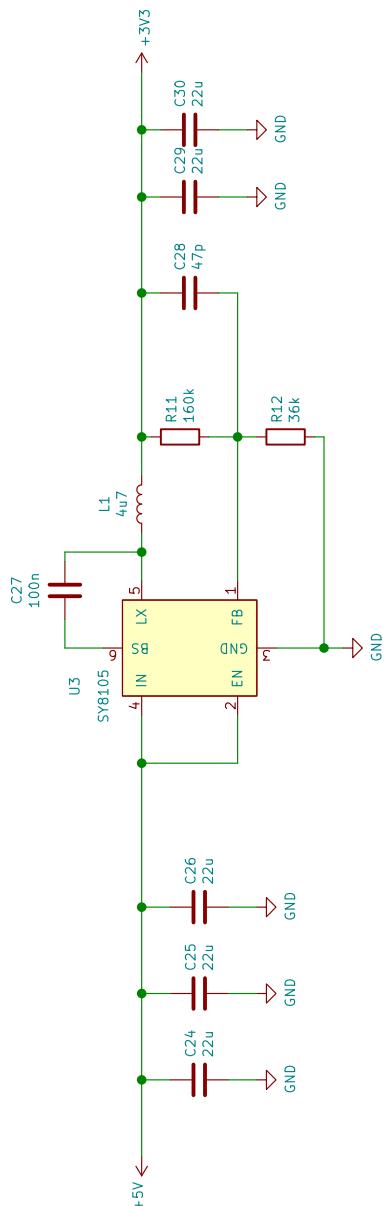


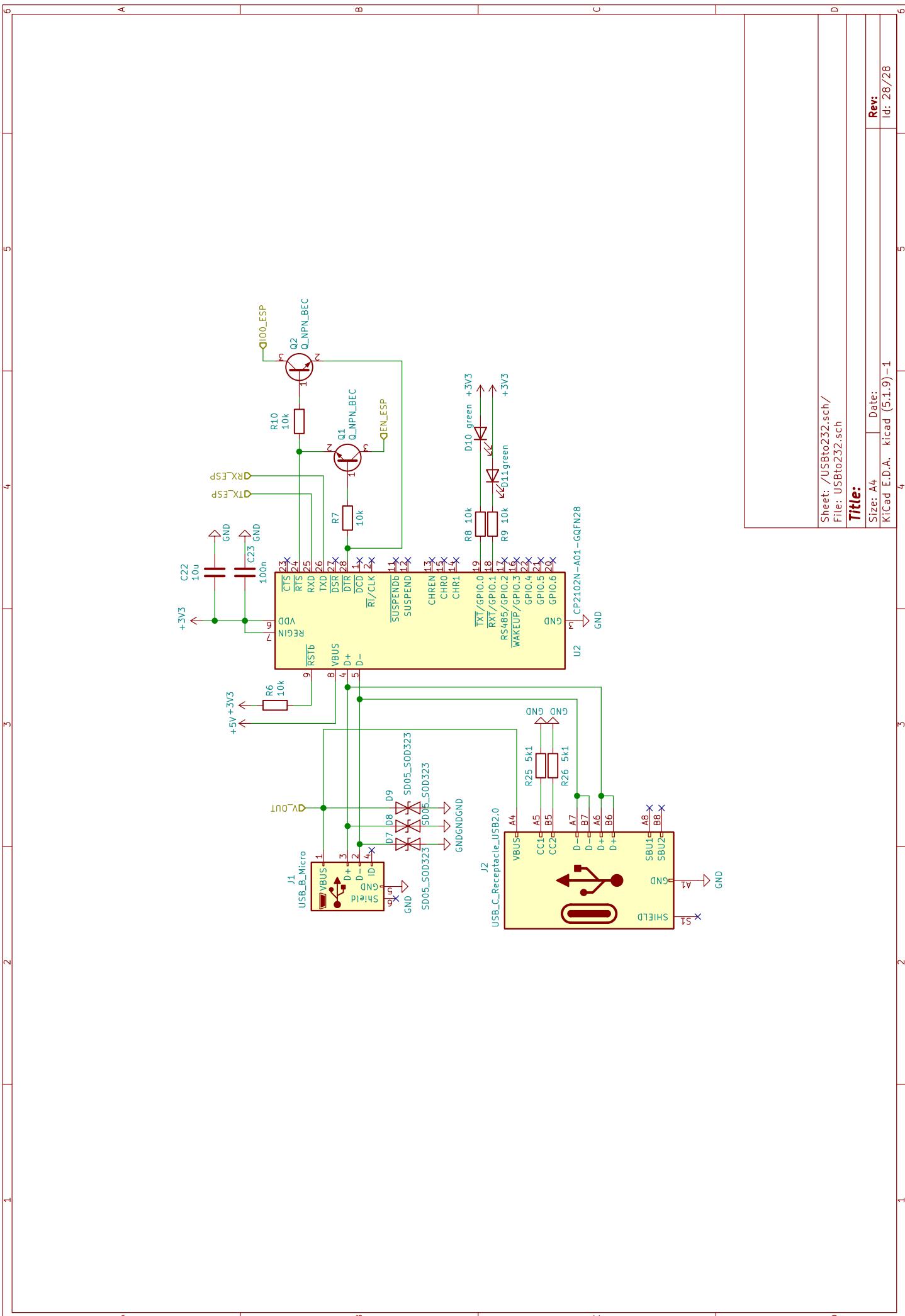
Sheet: /Stepdown_ESP.sch/
File: Stepdown_ESP.sch

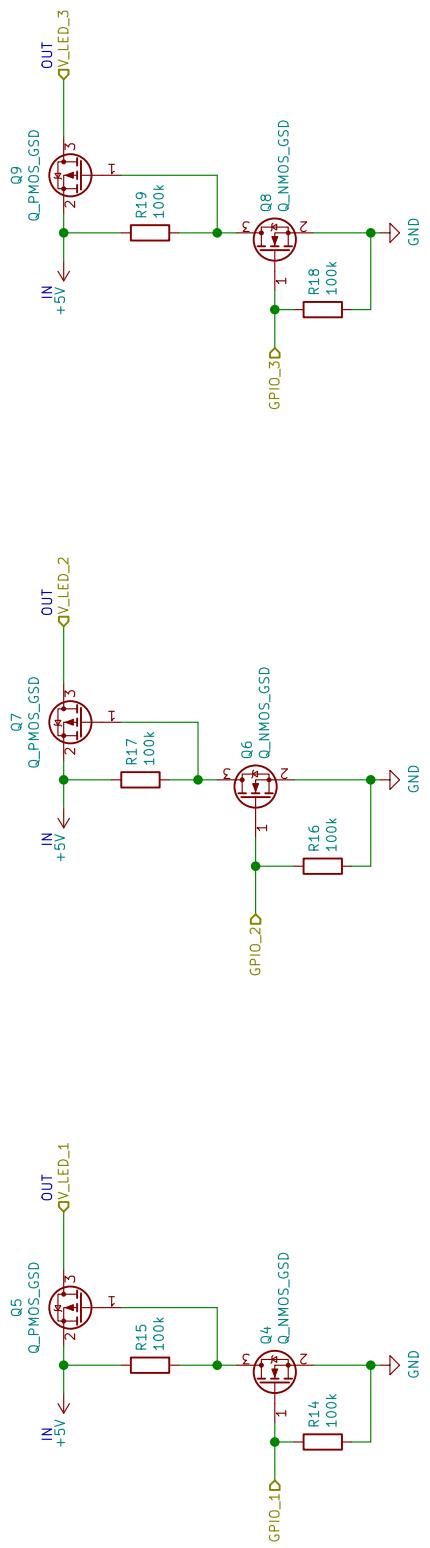
Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
Id: 4/7/28

Rev:





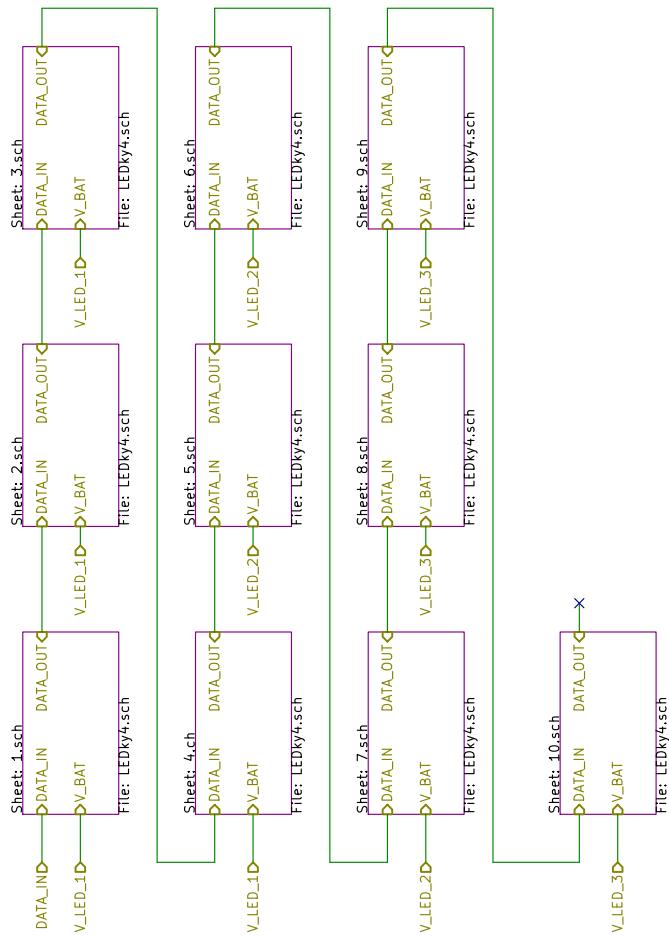


Sheet: /zapinani_LEDek.sch/
File: zapinani_LEDek.sch

Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
kicad (5.1.9)-1
Id: 16/28

| Rev: | 6 |
|------|-------|
| Id: | 16/28 |
| 5 | |
| 4 | |
| 3 | |
| 2 | |
| 1 | |
| A | B |
| C | D |



Sheet: /herni_LED.sch/
File: LEDky40.sch

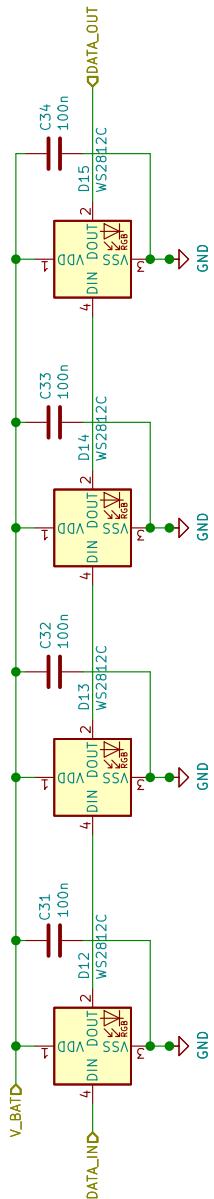
Title:

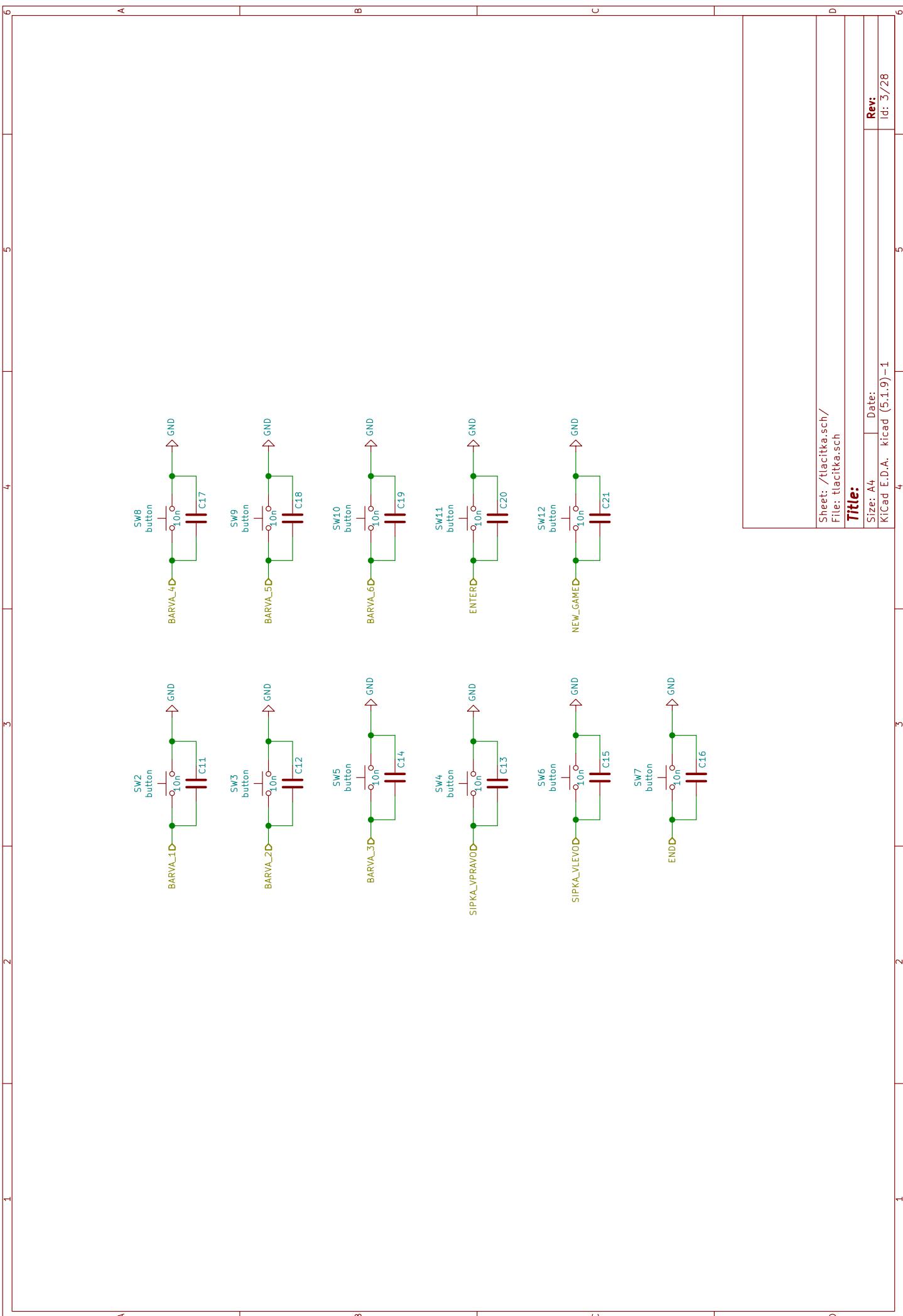
Size: A4 Date:
KiCad E.D.A. kicad (5.1.9)-1
4

Sheet: /herini_LED.sch/1.sch/
File: LEDKy4.sch

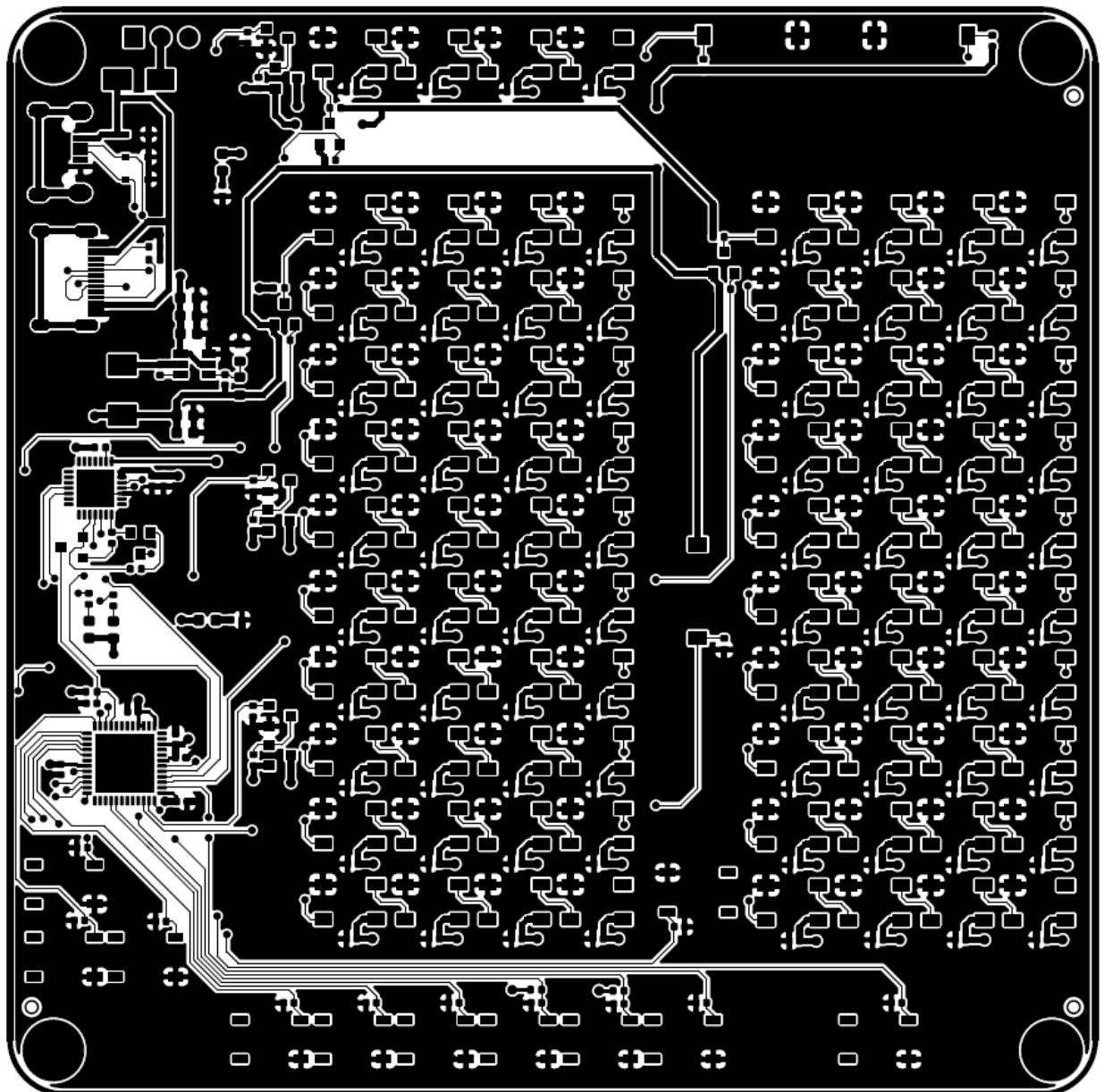
Title:

Size: A4 Date:
KiCad E.D.A. kicad (5.1.9)-1
Rev: Id: 6/28

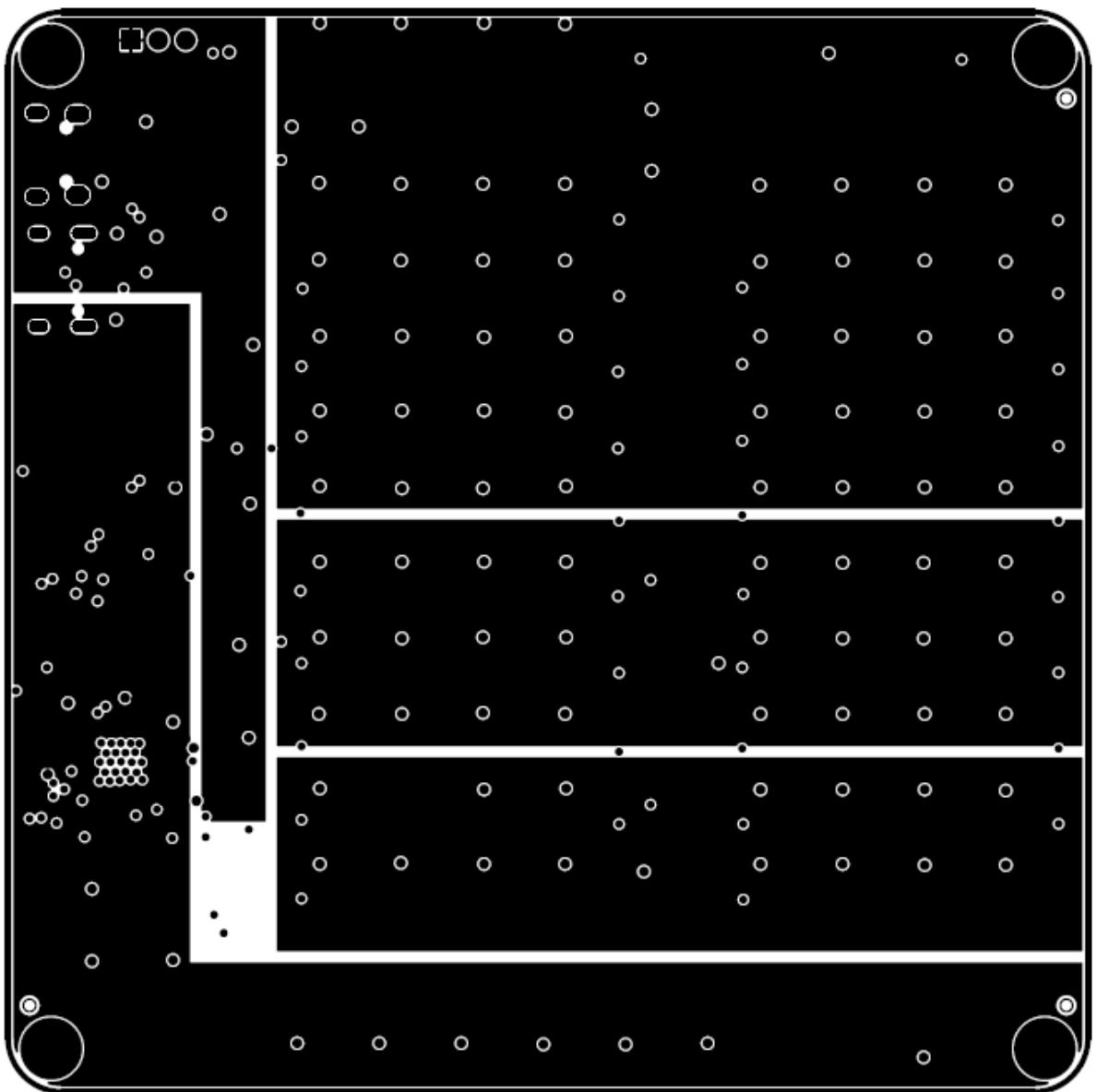




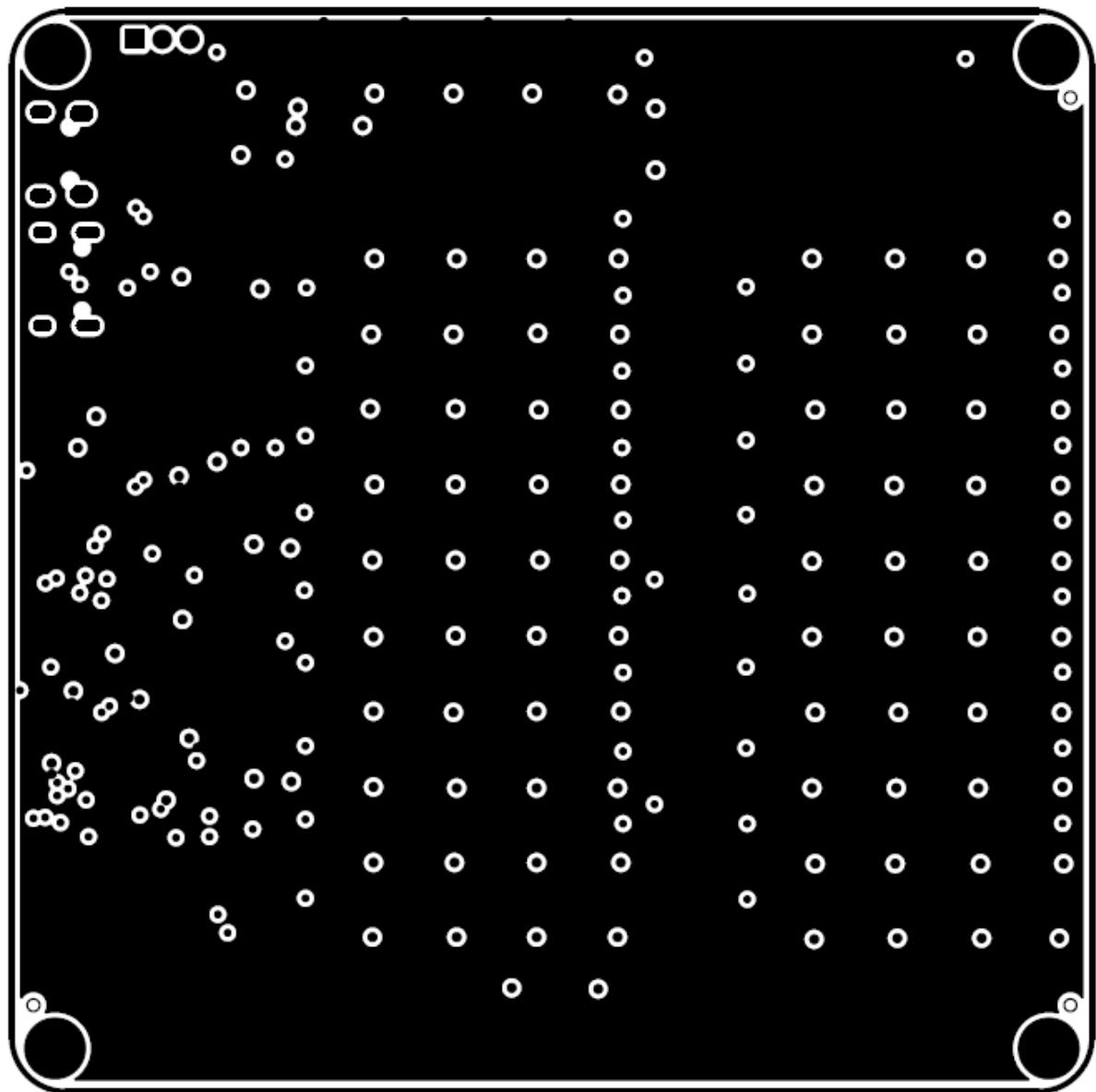
B Výrobní podklady DPS finální verze



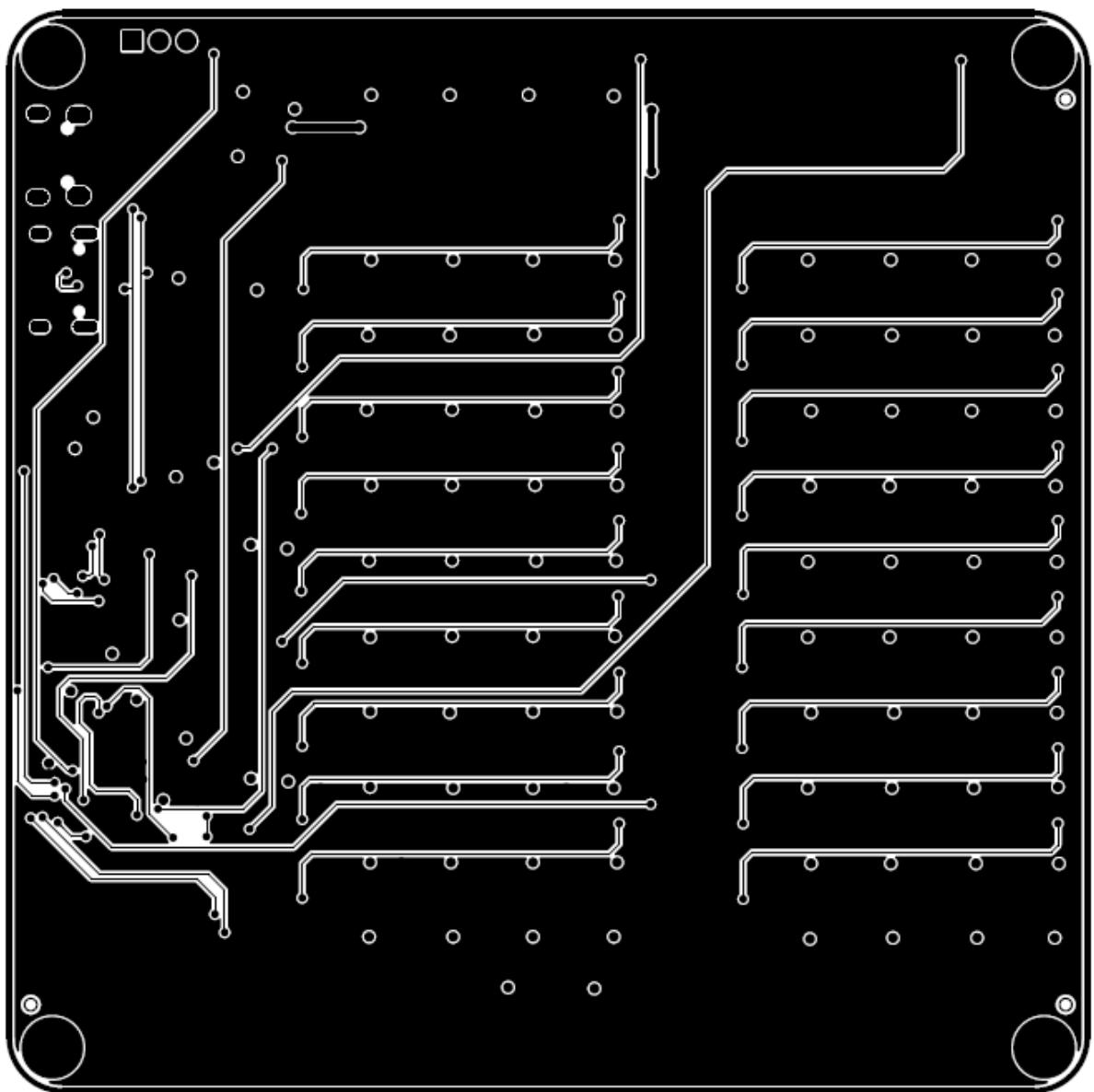
Obr. B.1: Vrstva mědi TOP.



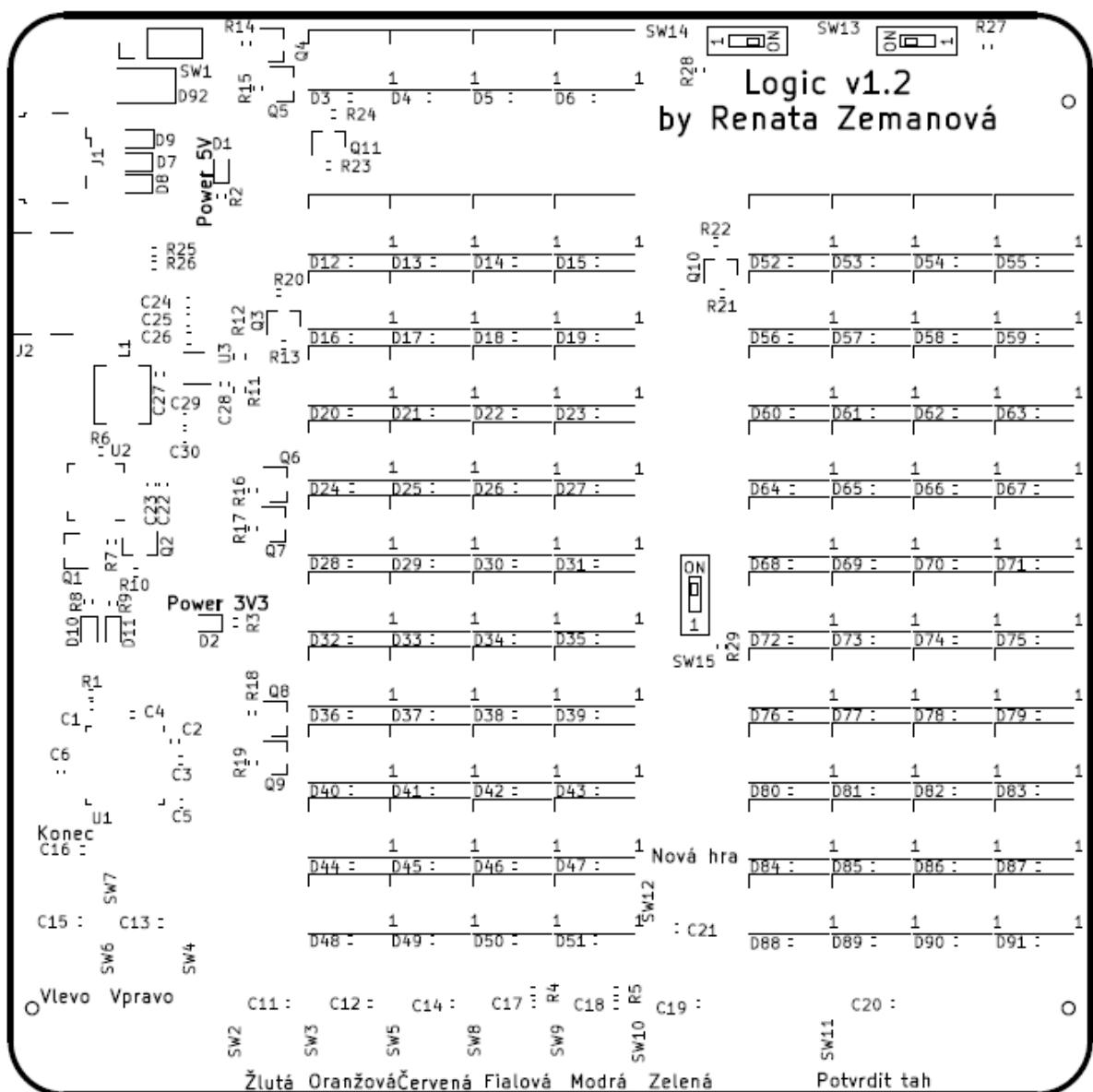
Obr. B.2: Vnitří vrstva mědi napájení.



Obr. B.3: Vnitří vrstva mědi GND.

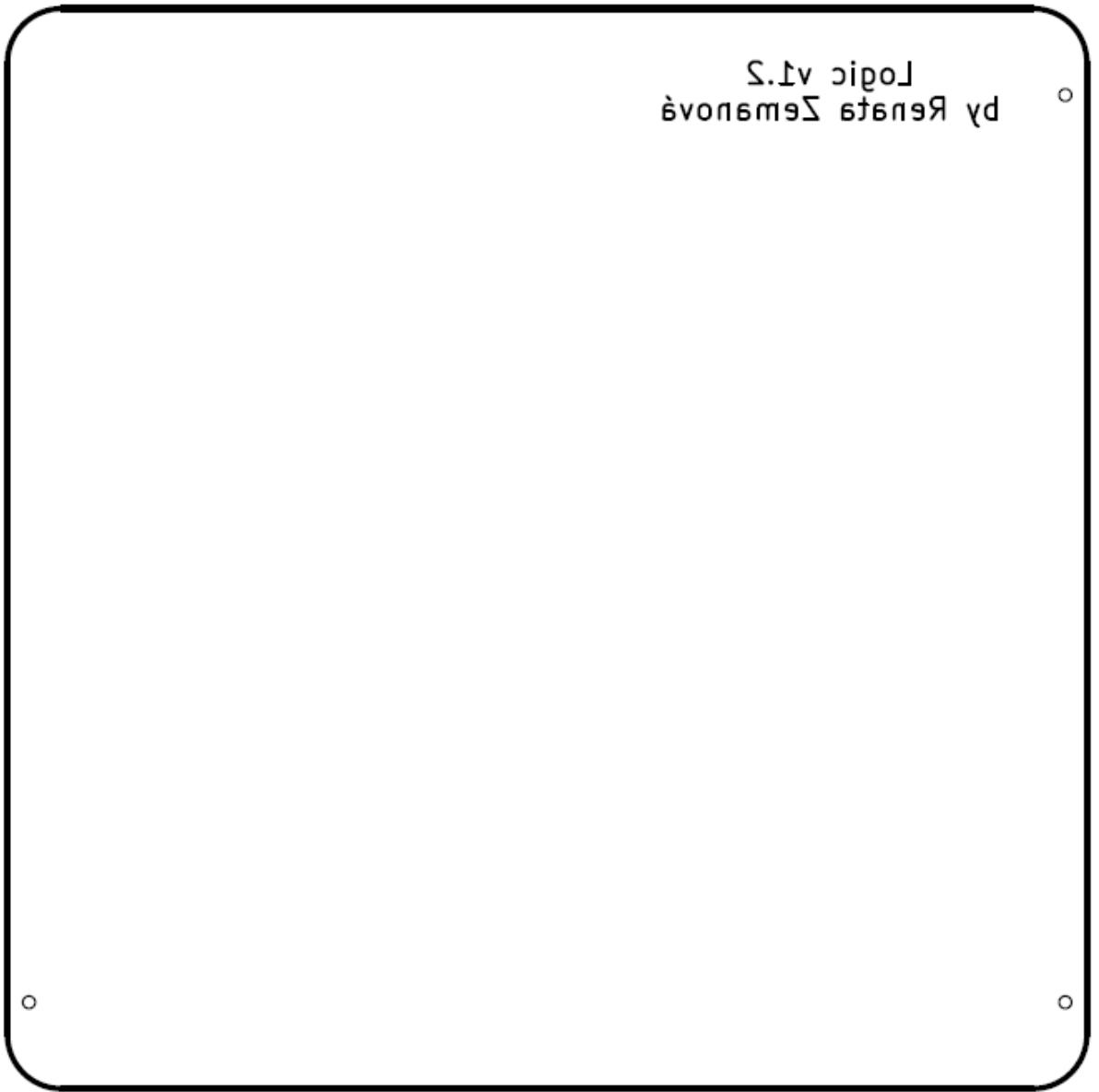


Obr. B.4: Vrstva mědi BOTTOM.

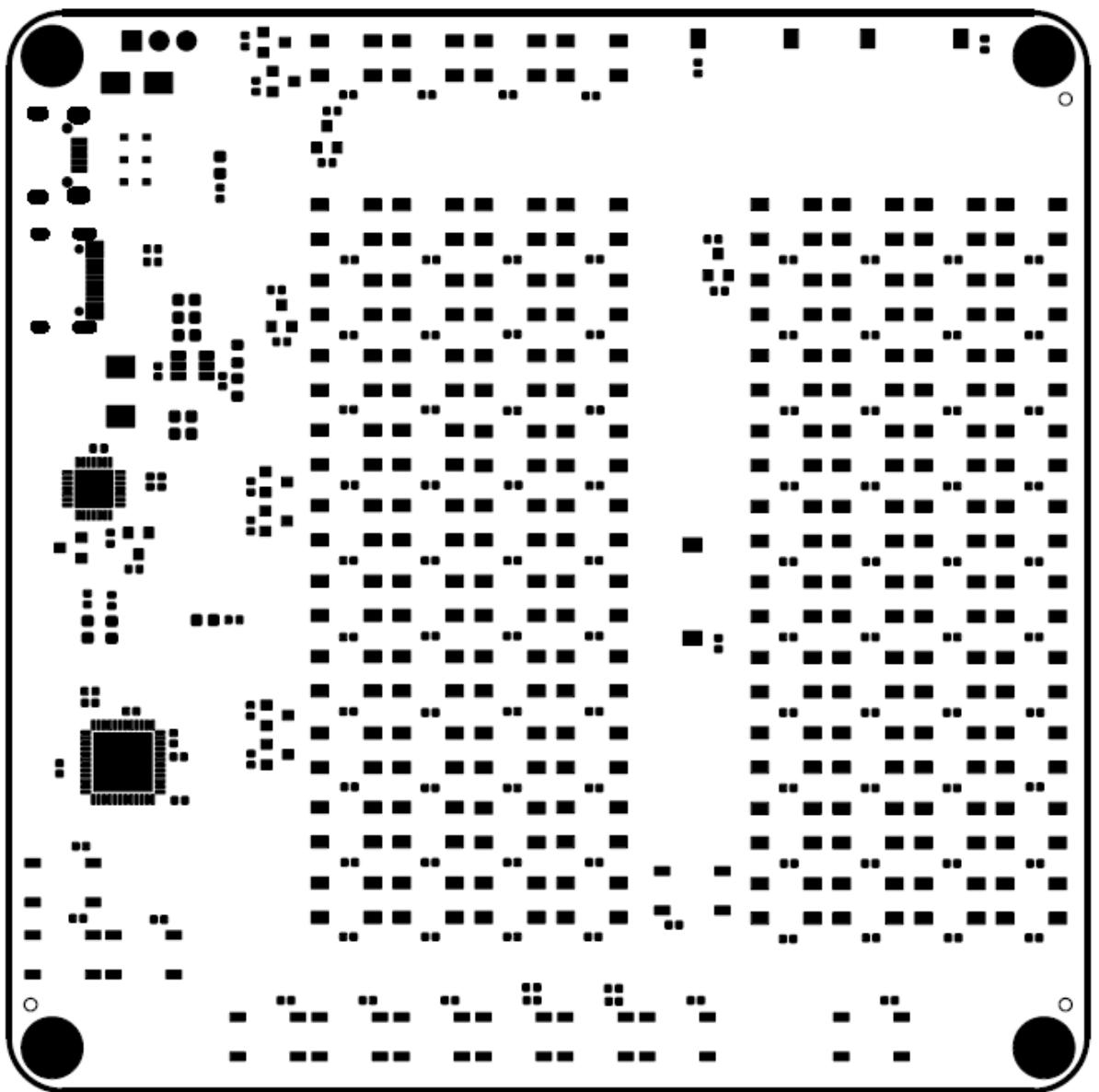


Obr. B.5: Vrstva s popisky TOP.

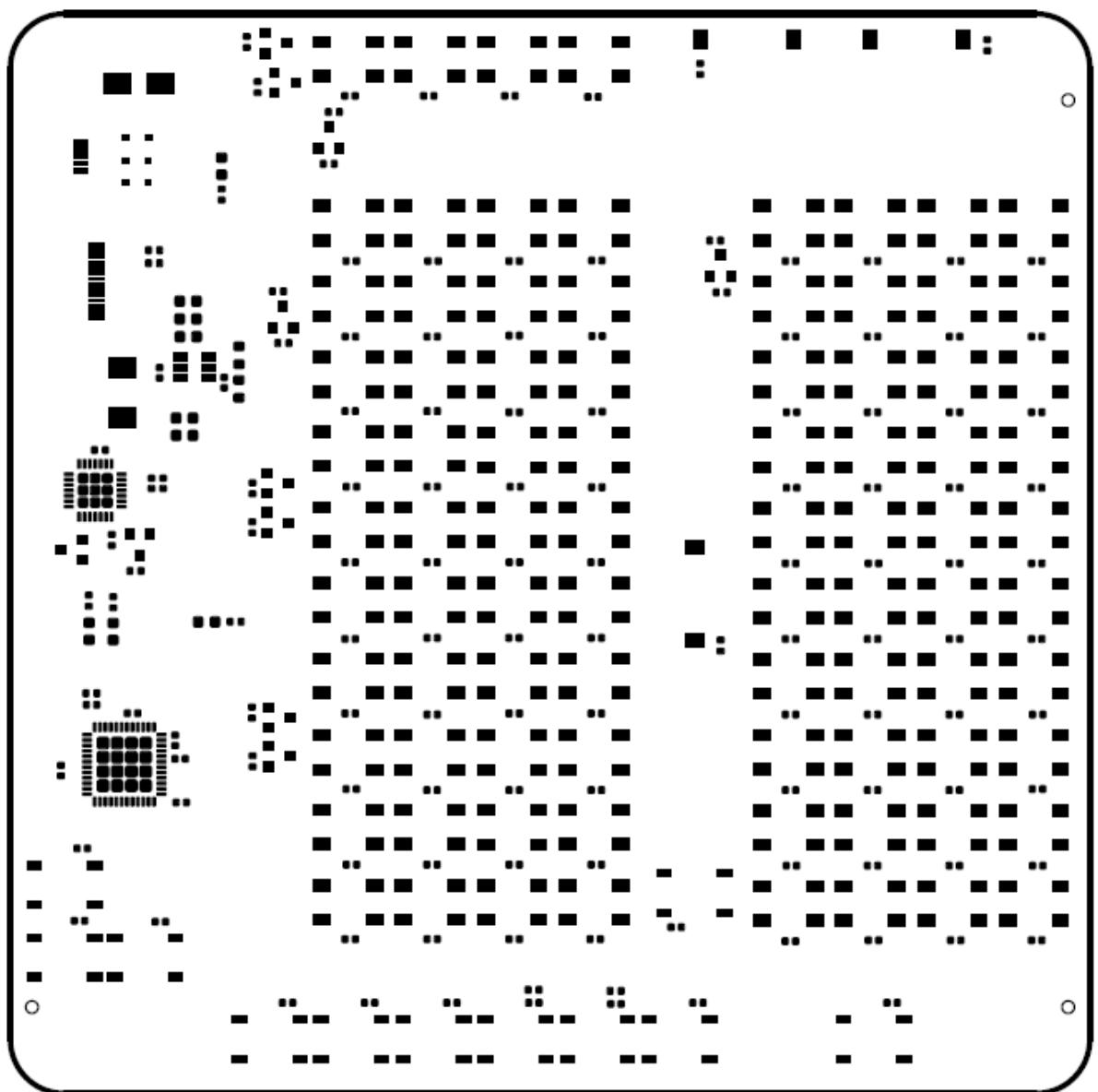
„**Py Renata Zemelova**
Logic At.



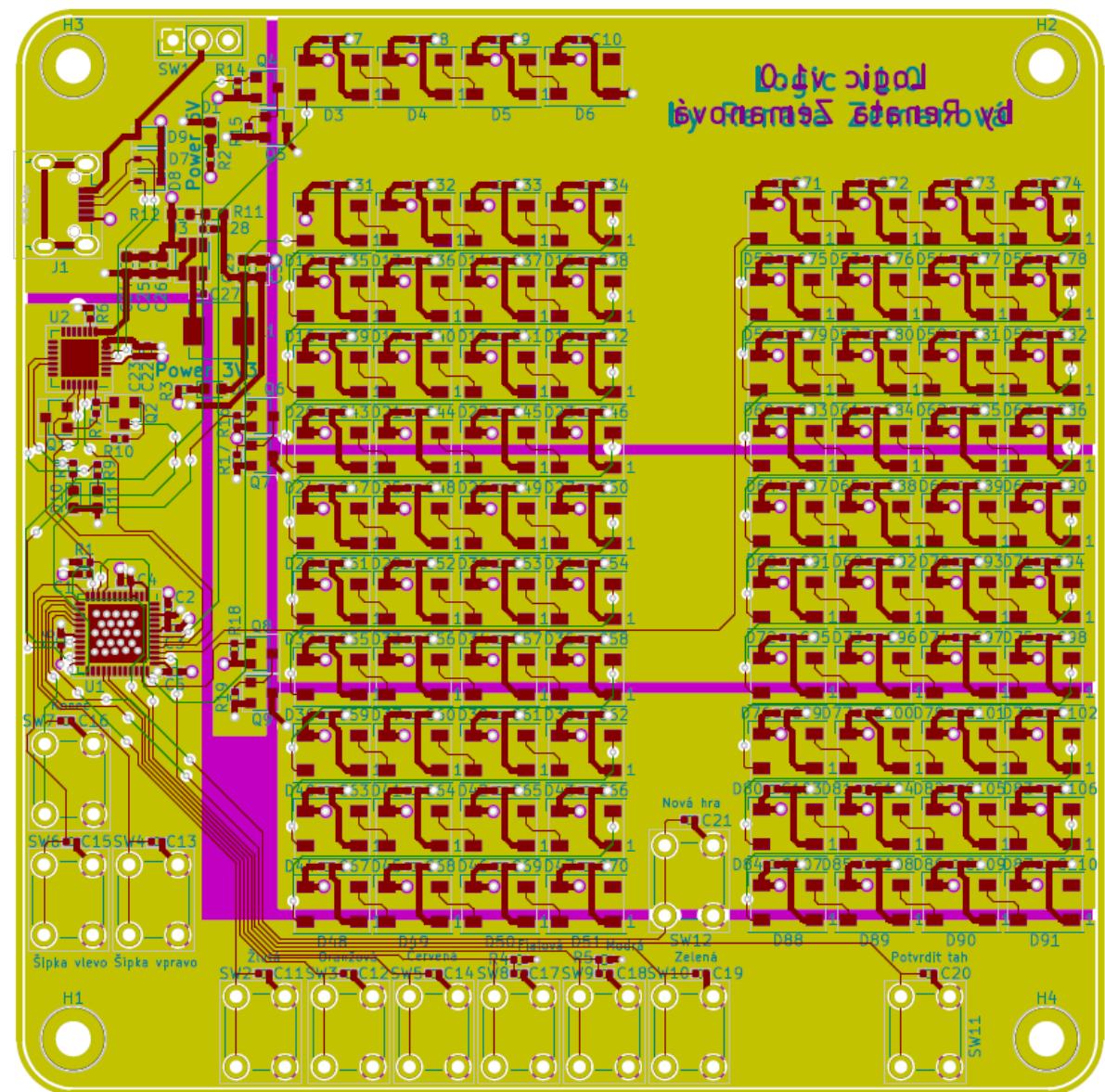
Obr. B.6: Vrstva s popisky BOTTOM.



Obr. B.7: Vrstva pro nanesení nepájivé masky TOP.



Obr. B.8: Vrstva pro nanesení pájecí pasty TOP.



Obr. B.9: Celá DPS.