

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## OSVĚTLOVACÍ JEDNOTKA PRO VÝROBU DPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MATĚJ HYBLER

BRNO, 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## OSVĚTLOVACÍ JEDNOTKA PRO VÝROBU DPS

LIGHTING UNIT FOR PCB PRODUCTION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

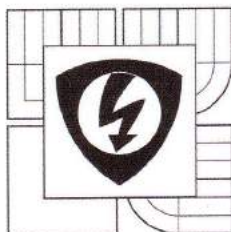
**Matěj Hybler**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jaroslav Balogh**

**BRNO 2016**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Matěj Hybler

**Ročník:** 3

**ID:** 147411

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Osvětlovací jednotka pro výrobu DPS

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem výroby desek plošných spojů. Navrhněte zapojení pro mikrokontrolérem řízenou osvětlovací jednotku pro výrobu DPS. Navrhněte algoritmus pro obslužný program mikrokontroléru s možností manuálně řízené i automatické funkce zařízení. Realizujte navržené zapojení. Prakticky ověřte kompletní funkčnost osvětlovací jednotky. Optimalizujte hardwarovou konstrukci zařízení i obslužný software pro mikrokontroler.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] NOVÁK, P. Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení. Praha: Nakladatelství BEN - Technická Literatura, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

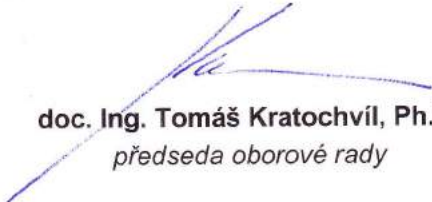
[2] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: nakladatelství BEN - Technická Literatura, 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.

**Termín zadání:** 8. 2. 2016

**Termín odevzdání:** 26. 5. 2016

**Vedoucí práce:** Ing. Jaroslav Balogh

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.  
předseda oborové rady



### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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**

Práce se zabývá návrhem mikrokontrolérem řízené osvětlovací jednotky pro výrobu desek plošných spojů za pomoci expozice a následného vyvolání nanesené vrstvy fotorezistního materiálu. Převážná část je věnována návrhu řídicí jednotky, pracující v automatickém nebo manuálním režimu, jejího obslužného softwaru v jazyce C a výběru vhodného zdroje UV záření. Dále popisuje konstrukci celého zařízení, postup a výsledky jednotlivých měření pro určení dosažitelné kvality výsledné DPS.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

osvětlovací jednotka, deska plošných spojů, DPS, výroba, mikrokontrolér, fotorezist, UV lampa

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the design of microcontroller driven lighting unit for the printed circuit board creation, using exposure of the applied layer of the photoresistive material. Main part is dedicated to design of the control unit, which can be operated either in automatic or manual mode, then its source code for microcontroller written in C language and the selection of suitable source of UV radiation. It also describes the design of the entire device, methods and results of individual measurements to determine the achievable quality of the resulting PCB.

## **KEYWORDS**

lighting unit, printed circuit board, PCB, production, microcontroller, photoresist, UV lamp

HYBLER, Matěj *Osvětlovací jednotka pro výrobu DPS*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 47 s. Vedoucí práce byl Ing. Jaroslav Balogh,

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Osvětlovací jednotka pro výrobu DPS“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno .....

.....

podpis autora

# OBSAH

Úvod	9
<b>1 DESKA S PLOŠNÝMI SPOJI A JEJICH VÝROBA</b>	<b>10</b>
1.1 Výroba DPS	10
1.2 Metody přenosu krycí masky motivu spojů na desku	10
1.2.1 Metoda expozice fotorezistního materiálu	11
1.2.2 Fotorezist	11
1.3 Osvitová jednotka	12
<b>2 ZDROJ UV ZÁŘENÍ</b>	<b>13</b>
2.1 UV LED	13
2.2 UV zářivková trubice	14
2.2.1 Napájení UV trubic	15
<b>3 NÁVRH ZAPOJENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY</b>	<b>16</b>
3.1 Mikrokontrolér	16
3.1.1 Požadavky a výběr mikrokontroléru	16
3.2 Displej	18
3.2.1 Požadavky a výběr displeje	18
3.2.2 Komunikace s displejem	18
3.3 Tlačítka, relé a bzučák	19
3.3.1 Tlačítka	19
3.3.2 Relé	19
3.3.3 Bzučák	20
3.4 Schéma zapojení řídicí jednotky	21
3.4.1 Zapojení tlačítek	21
3.4.2 Zapojení displeje	22
3.4.3 Zapojení oscilátoru, bzučáku, relé a jejich pomocných obvodů	22
3.5 Výpočet hodnot rezistorů $R_2 - R_4$	23
3.6 Návrh zapojení napájecí části	23
3.7 Napájení předřadníku pro trubice	24
3.8 Seznam použitých součástek	24
<b>4 NÁVRH OBSLUŽNÉHO SOFTWARE</b>	<b>25</b>
4.1 Časový odpočet	25
4.1.1 Výpočet nastavení časovače TMR1	25
4.1.2 Konfigurace časovače	26
4.2 Obsluha tlačítek	26

4.3	Obsluha displeje . . . . .	27
4.4	Vývojové diagramy programu . . . . .	27
<b>5</b>	<b>KONSTRUKCE OSVITOVÉ JEDNOTKY</b>	<b>29</b>
5.1	Obal . . . . .	29
5.2	Krycí sklo . . . . .	29
5.3	Víko . . . . .	29
5.4	Upevnění UV trubice . . . . .	30
5.5	Čelní panel . . . . .	30
5.6	Upevnění ostatních konstrukčních prvků . . . . .	30
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÁ MĚŘENÍ</b>	<b>32</b>
6.1	Stanovení optimální vzdálenosti UV trubice . . . . .	32
6.2	Měření optimální doby osvitu . . . . .	33
6.3	Stanovení dosažitelné kvality . . . . .	35
6.4	Shrnutí výsledků měření . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>
	<b>Literatura</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Popis ovládání</b>	<b>44</b>
A.1	Automatický režim . . . . .	44
A.2	Manuální režim . . . . .	44
<b>B</b>	<b>Předloha DPS řídicí jednotky</b>	<b>45</b>
<b>C</b>	<b>Osazovací plán DPS řídicí jednotky</b>	<b>46</b>
<b>D</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>47</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Oboustranná osvitová jednotka AZ220 [11] . . . . .	12
2.1	Vliv rozmístění LED diod na rovnoměrnost osvitu [7] . . . . .	13
2.2	Elektronický předřadník Philips HF-M RED [13] . . . . .	14
3.1	Zapojení vývodů mikrokontroléru PIC16F628 [9] . . . . .	17
3.2	displej CM 1224-STN-LY . . . . .	18
3.3	Relé RM94-2CO-12VOLT [12] . . . . .	20
3.4	Sirénka BMT0905XH [15] . . . . .	20
3.5	Kompletní schéma osvitové jednotky . . . . .	21
3.6	Zapojení trubice k předřadníku [13] . . . . .	24
4.1	Blokové schéma časovače TMR1[9] . . . . .	25
4.2	Vývojový diagram přerušení . . . . .	27
4.3	Vývojový diagram programu . . . . .	28
5.1	Osvitová jednotka . . . . .	29
5.2	Čelní panel . . . . .	30
5.3	Kompletní osvitová jednotka . . . . .	31
6.1	Srovnání vlivu přítomnosti reflexní vrstvy . . . . .	32
6.2	Konečné rozmístění trubice . . . . .	33
6.3	Zkušební předloha 1 - 10min . . . . .	34
6.4	Výsledek pro dobu osvitu 1 - 10 minut, materiál PFR2 . . . . .	34
6.5	Výsledek pro dobu osvitu 11-20 minut, materiál PFR2 . . . . .	35
6.6	Zkušební obrazec, tloušťka čar 1 - 0,1mm, materiál PFR4 . . . . .	36
6.7	Výsledek, tloušťka čar 1 - 0,1mm, materiál PFR4 . . . . .	36
6.8	Zkušební obrazec, tloušťka čar 0,1 - 0,05mm, materiál PFR2 . . . . .	37
6.9	Zkušební obrazec, různé typy SMD pouzder, materiál PFR2 . . . . .	37
A.1	Menu volby módu osvitu . . . . .	44
A.2	Menu nastavení doby osvitu . . . . .	44
A.3	Zapnutí manuálního režimu . . . . .	44



## SEZNAM TABULEK

1.1	Přehled dostupných osvitových jednotek [11] . . . . .	12
2.1	Porovnání parametrů UV LED[18] . . . . .	13
2.2	Porovnání parametrů UV zářivek [16] . . . . .	14
3.1	Přehled vhodných mikrokontrolerů [9] . . . . .	17
3.2	Seznam použitých součástek . . . . .	24
6.1	Vliv doby osvitu na výslednou kvalitu . . . . .	38
6.2	Závislost kvality na tloušťce spoje . . . . .	38
6.3	Závislost kvality na odstupu vodivých ploch . . . . .	38

# ÚVOD

Problematika návrhu a výroby desek plošných spojů je bezesporu jedním z úkolů, kterému se při realizaci jakéhokoli sofistikovanějšího elektronického zařízení nevyhneme. Jednou z možností je výrobu svěřit profesionální firmě. Cena výroby jednoho kusu desky se běžně pohybuje od několika set do jednotek tisíc korun v závislosti na požadovaných parametrech výroby a služeb. Toto řešení je poněkud nákladné, zvláště pak jedná-li se o výrobu malé série desek, či výrobu prototypu. Při vývoji elektronických zařízení ve všech oblastech průmyslu je tedy možnost vlastní výroby desek plošných spojů prakticky nezbytná jak z cenového, tak i časového hlediska.

V dnešní době je trendem zejména kvůli použití mnoho vývodových SMD součástek a celkové miniaturizaci zařízení metoda expozice fotorezistního materiálu. K expozici slouží právě osvětlovací jednotka. Na našem trhu je k dispozici poměrně velký výběr těchto zařízení. Od jednoduchých modelů s použitím UV LED diod až po profesionální s UV zářivkovými trubicemi a možností odsátí vzduchu mezi předlohou a deskou. Ovšem jejich cena se obvykle pohybuje velmi vysoko.

Tato práce se tedy zabývá návrhem a realizací této jednotky pro kusovou výrobu desek plošných spojů, řízené pomocí mikrokontroléru, která může pracovat jak v automatickém, tak i manuálně řízeném režimu. Ovládání je zajištěno pomocí čtyř kontaktních tlačítek a informace o provozu jsou přehledně zobrazovány na vestavěném dvouřádkovém LCD displeji.

# 1 DESKA S PLOŠNÝMI SPOJI A JEJICH VÝROBA

Následující kapitola se stručně zabývá metodami a technologiemi výroby desek plošných spojů.

## 1.1 Výroba DPS

Výroba DPS je dnes vlivem neustálé miniaturizace součástek stále složitější záležitost, zejména co se týče preciznosti. Výběr použité metody výroby závisí především na povaze a oblasti použití desky. V zásadě se dělí na:

- **subtraktivní** - spočívá v odstranění přebytečné vrstvy mědi
- **aditivní** - nanášení vodivých cest (napařování)
- **semiaditivní** - kombinace obou předešlých metod

Asi nejpoužívanější metoda je subtraktivní. Volí se především v případech, kdy část pokrytá mědí tvoří většinu povrchu desky. V amatérských podmínkách je většinou jedinou možnou metodou. K odstranění mědi dojde pomocí ponoření desky do nádoby s roztokem chloridu železitého nebo peroxidu vodíku a kys. chlorovodíkové. V dnešní době je však trendem i použití CNC fréz nebo i laseru, který se vyznačuje velkou přesností. Aditivní a semiaditivní metody používají zejména profesionální výrobci desek plošných spojů, neboť je zapotřebí na desku měď nanášet, čehož nelze dosáhnout bez patřičného vybavení.[1]

## 1.2 Metody přenosu krycí masky motivu spojů na desku

Existuje řada metod, používaných jak v profesionálních, tak amatérských podmínkách. Výběr metody je především určen dostupným vybavením. Dnes mezi nejpoužívanější metody patří:

- **expoze fotocitlivého materiálu**
- **CNC laser nebo fréza**
- **sítotisk**
- **ruční kreslení (amatérské)**
- **nažehlením toneru (amatérské)**

### 1.2.1 Metoda expozice fotorezistního materiálu

Tato metoda je oblíbená především pro svůj technologicky nenáročný postup. Při pečlivém provedení je možné dosáhnout velmi dobrých výsledků i u jemných vzorů. Celý postup probíhá v několika krocích:

- **úprava rozměrů desky a odstranění nečistot**
- **nanesení fotocitlivé látky tzv. fotorezistu na desku**
- **expozice fotorezistu přes vytištěnou předlohu**
- **vyvolání fotorezistu**
- **odleptání**
- **odstranění zbytku fotorezistu, vrtání a nanesení pájitelného laku**

Asi nejnáročnějším krokem je nanášení fotorezistu a expozice. Fotorezist je možné zakoupit ve formě spreje a na desku jej vlastnoručně nanést, ovšem je velmi důležité zachovat absolutní čistotu desky a zajistit rovnoměrné rozvrstvení. Dnes jsou již v obchodech běžně dostupné desky s už nanesenou vrstvou fotorezistu, zpravidla pomocí odstředivek nebo formou fólie. Jejich cena není vysoká a proto je lepší vydat se touto cestou. Výsledná kvalita je nesrovnatelně vyšší.

### 1.2.2 Fotorezist

Fotorezist je látka, která při vystavení UV záření o určité vlnové délce mění své chemické vlastnosti. Díky tomu je možné exponovaná místa po ponoření do vyvolávací lázně odplavit, nebo se naopak tato místa stanou proti vývojce odolná. A právě podle toho je třeba volit i druh předlohy. Fotorezist dělíme na dva základní druhy:

- **negativní**  
vlivem UV záření dochází k polymeraci a vytvrzení této látky, která tak získá odolnost vůči vyvolávacímu roztoku
- **pozitivní**  
po expozici tohoto materiálu UV záření dochází k narušování chemických vazeb a tím se ztrácí odolnost vůči vývojce[3]

Polymerace je proces, při kterém se molekuly jednoduchých organických látek slučují a vytvářejí makromolekulární látky bez vzniku vedlejších produktů. V monomerech jednoduchých látek tedy zaniká dvojná vazba a na takto vzniklé volné elektrony se váží další monomery. Tím vzniká řetězec monomerů, což je polymer. Tyto řetězce tvoří síťovou strukturu, díky čemuž mají lepší mechanické i chemické vlastnosti z hlediska odolnosti a pevnosti.[2]

## 1.3 Osvitová jednotka

Osvitová jednotka, jak již název napovídá, slouží k expozici desky s naneseným fotorezistem. Jejím hlavním úkolem je vytvořit prostředí, ve kterém bude pokrytí zářením co nejrovnoměrnější. Kvalitní osvit a kontrastní předloha je hlavním kritériem pro úspěšně vyrobenou desku. Expozice je závislá na řadě faktorů, zejména však na době, intenzitě a vzdálenosti zdroje UV záření od exponované desky. Cílem je tedy tento krok nejen zautomatizovat, ale také zajistit, abychom byli schopni míru expozice regulovat pouze změnou doby osvitu.



Obr. 1.1: Oboustranná osvitová jednotka AZ220 [11]

Tab. 1.1: Přehled dostupných osvitových jednotek [11]

Výrobce/typ	Zdroj UV	Výkon	Vybavení	Cena
LIV UV-LED	LED	<10W	manuální zapínání osvitu	1 365 Kč
LV202-E	UV trubice	16W	mechanický časovač, 1 strana	5 405 Kč
Pluvex 1410	UV trubice	30W	digitální časovač, 1 strana	18 078 Kč
AY315	UV trubice	90W	dig. časovač, vakuum, 1 strana	32 952 Kč
AZ220	UV trubice	240W	dig.časovač, vakuum, oboustanná	49 948 Kč
AZ326	UV trubice	480W	dig.časovač, vakuum, oboustanná	101 984 Kč

Na trhu je dostupné velké množství těchto zařízení. Jejich cena se pohybuje od několika tisíc do sta tisíc korun. Levnější modely používají jako zdroj UV záření LED diody, časovače jsou mechanické nebo elektronické bez přesného nastavení času a jeho indikace. Dražší modely jsou pak vybaveny UV zářivkovými trubicemi, časovači se sedmisegmentovými nebo znakovými displeji. Některé také disponují možností odsátí vzduchu mezi deskou a předlohou pro její dokonalé přilnutí.

## 2 ZDROJ UV ZÁŘENÍ

V katalogových údajích pro fotorezist Cramolin POSITIV se uvádí použitelná vlnová délka UV záření od 310 až do 440 nm. Nejcitlivější je však tento fotorezist na vlnovou délku od 330 do 420 nm.[6] Intenzita záření není příliš rozhodující. S klesající intenzitou se pouze prodlužuje doba osvitů. Existují dvě možnosti výběru zdroje UV záření. Jsou to:

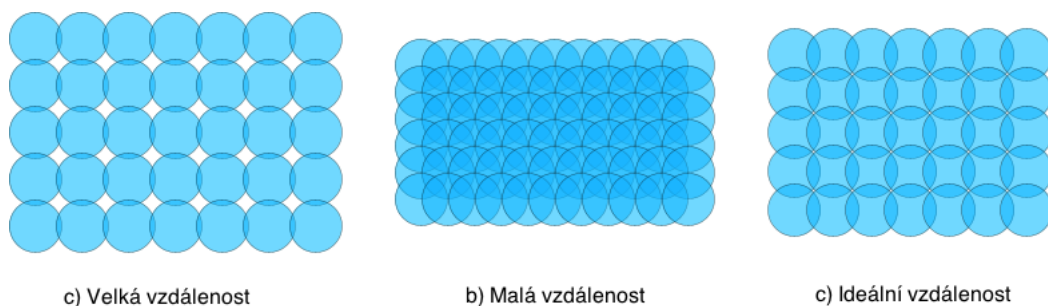
- UV LED diody
- UV zářivková trubice

### 2.1 UV LED

Jako první se nabízí použití UV LED diod. Toto řešení je sice velice lákavé hlavně díky nízkému napájecímu napětí diod, nízkým ztrátám v podobě vyzařené tepla a dlouhé životnosti. Situaci však komplikuje poměrně malý vyzařovací úhel LED diod nízký zářivý tok. Díky tomu je nutné použití velkého počtu kusů a cena výsledného zařízení tak bude vysoká. Dále by bylo nutné použití výkonějšího napájecího zdroje. Největším problémem je volba vzdálenosti mezi jednotlivými diodami.

Tab. 2.1: Porovnání parametrů UV LED[18]

Výrobce	Výkon	Vyzařovací úhel	Cena z kus
Hebei I.T.	2 mW	30°	9 Kč
Hebei I.T.	4 mW	25° - 30°	18 Kč
Wigan	1 W	120°	91 Kč



Obr. 2.1: Vliv rozmístění LED diod na rovnoměrnost osvitů [7]

Jak je vidět na obrázku 2.1, ani ideální rozmístění nemůže zaručit rovnoměrný osvit. Vždy totiž dochází ke tvorbě lokálních maxim a minim. Jejich nízký výkon by značně prodloužil dobu osvitů. O nevhodnosti použití UV LED diod svědčí zejména jejich použití v levnějších a pravděpodobně i méně kvalitních osvitových jednotkách.

## 2.2 UV zářivková trubice

Jednoznačná výhoda použití zářivkové trubice je hlavně v rovnoměrnějším vyzářování do všech směrů a v podstatně větším výkonu. Ten závisí především na délce použité trubice. V následující tabulce je provedeno srovnání parametrů dostupných UV zářivek:

Tab. 2.2: Porovnání parametrů UV zářivek [16]

Výrobce	Výkon	Velikost	Patice	Cena
Omnilux	6 W	22 cm	G5	190 Kč
<b>Philips</b>	<b>8 W</b>	<b>30 cm</b>	<b>G5</b>	<b>237 Kč</b>
SLIM	15 W	45 cm	G12	299 Kč
Narva	11 W	30x18x238 mm	G23	300 Kč
RADIATOR	9 W	30x18x168 mm	G23	338 Kč

Zvolený typ trubice Philips TUV 8W G5 T16 30 cm nejlépe splňuje požadavky na výkon a rozměry osvitové jednotky. Vzhledem k velikosti osvitové jednotky a zjištěné optimální vzálenosti mezi jednotlivými trubicemi je nutné použít celkem čtyř UV trubic, aby bylo možné zajistit rovnoměrný osvit na co největší části povrchu desky. [14]



Obr. 2.2: Elektronický předřadník Philips HF-M RED [13]

### 2.2.1 Napájení UV trubic

K napájení UV zářivkových trubic jsou dle doporučení výrobce použity elektronické předřadníky Philips HF-M RED 109 SH, které zajistí šetrný start zářivek. Jedná se o vysokofrekvenční měnič napětí pracující na frekvenci kolem 30 kHz. Po zapnutí napájení nejprve dojde k zahřátí obou elektrod zářivky a následně k jejímu okamžitému startu bez blikání. Toto řešení je výhodné i z hlediska konstrukčního. Celé zařízení je umístěno v plastové krabičce o rozměrech 94x40x22 mm. Odpadá tak nutnost použití startérů, kompenzačních kondenzátorů a hlavně rozměrných tlumivek. Cena tohoto zařízení se pohybuje kolem 200 Kč.[13]



## 3 NÁVRH ZAPOJENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

Tato kapitola se zabývá návrhem zapojení řídicí jednotky včetně výběru vhodného mikrokontroléru, který bude plnit funkci časovače a řídicí jednotky pro znakový LCD displej.

### 3.1 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je programovatelná elektronická součástka, která má nejčastěji podobu integrovaného obvodu. Je integrován na jediném čipu, který typicky obsahuje procesor, rovněž označovaný jako CPU, paměť, programovatelné vstupně-výstupní rozhraní a další periferní obvody. Mikrokontrolér je vhodný pro použití v řízení a je navržen a určen pro tzv. vestavné (angl. embedded) aplikace, tj. mikrokontrolér je buď řídicí jednotkou nějakého přístroje nebo je součástí nějakého dalšího zařízení, kde plní určitou specifickou funkci na rozdíl od běžných počítačů, které jsou určeny k univerzálnímu použití. V mikrokontroléru jsou obvykle kromě vstupně-výstupních obvodů integrovány i mnohé další periferní obvody, např. čítač, časovač, komparátor, sériové porty, analogově-digitální, příp. digitálně-analogový převodník, USB, PWM, paměť EEPROM a další.[8]

Hlavní úlohou mikrokontroléru bude funkce nastavitelného časovače, který bude spínat zdroj UV záření na dobu nutnou pro správné osvětlení fotorezistu. Je však nutné, aby tato doba byla uživatelem modifikovatelná. Z tohoto důvodu je zapotřebí použít tlačítka, pomocí kterých bude dobu osvětlení možné měnit a zároveň také znakový LCD displej, pomocí kterého bude možné nastavené parametry přístroje kontrolovat. Obsluha celého přístroje se tak stane snažší a intuitivnější.

#### 3.1.1 Požadavky a výběr mikrokontroléru

Hlavními požadavky jsou:

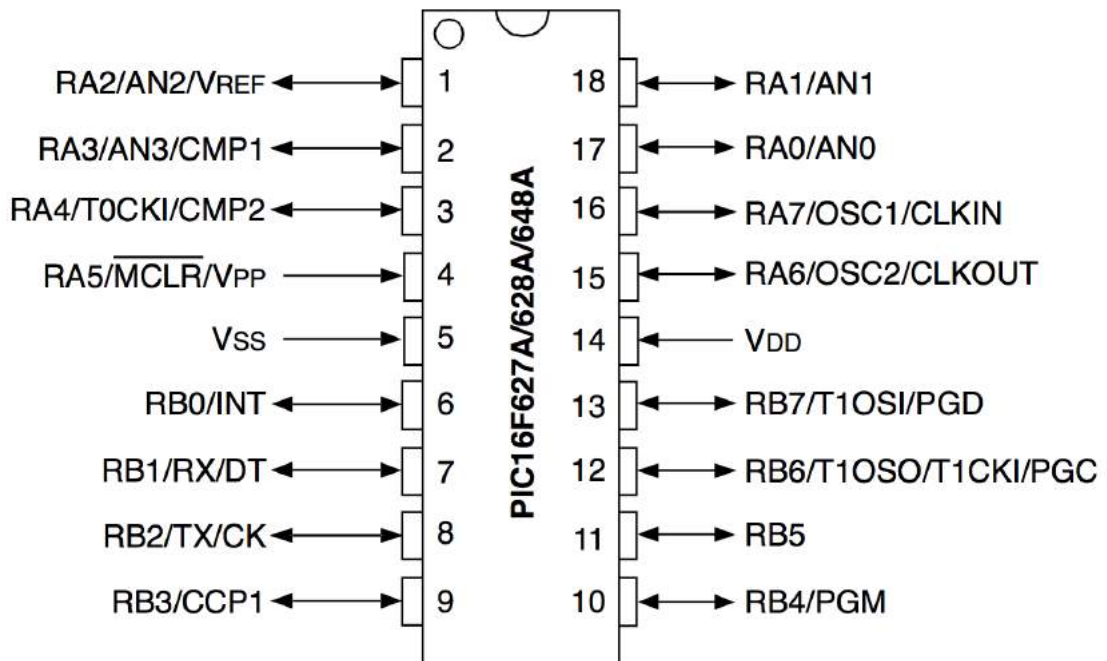
- **přítomnost vnitřního časovače**
- **dostatečné množství vstupních / výstupních portů**
- **možnost využití vnitřních pull-up rezistorů pro spínače**
- **dostatečně velká programová paměť**
- **přítomnost datové paměti pro uložení nastavení**

Z širokého výběru mikrokontrolerů značky Atmel a Microchip bylo vybráno následujících šest typů:

Tab. 3.1: Přehled vhodných mikrokontrolerů [9]

MCU	I/O portů	Velikost paměti prog./dat	Periferie
ATtiny2313	15	2K / 128	8b,16b TMR, UART, SPI
ATtiny44	12	4K / 256	8b,16b TMR, ADC, UART, SPI, PWM
AT90S1200	15	1K / -	8b TMR
AT90S2313	15	2K / 128	8b TMR, UART
<b>PIC16F628</b>	<b>16</b>	<b>2K / 128</b>	<b>2x8b,16b TMR, UART, PWM</b>
PIC16F84	13	1K / 64	8b TMR

Jako nejvýhodnější se jeví použití typu PIC16F628 značky Microchip, zejména kvůli velkému množství vstupních/výstupních portů s možnostmi nastavení pull-up rezistorů, včetně vyvolání přerušení při změně logických úrovní na portu B a přiměřeně velké programové a datové paměti.



Obr. 3.1: Zapojení vývodů mikrokontroléru PIC16F628 [9]

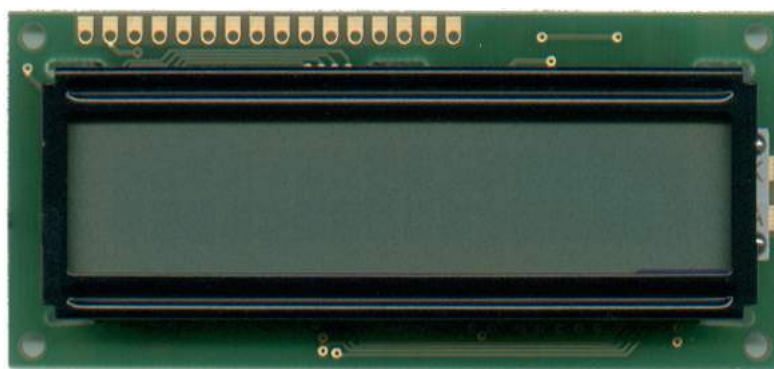
## 3.2 Displej

Displej plní funkci zobrazovacího zařízení pro kontrolu nastavení a během osvitů zobrazuje údaj o zbývajícím času osvitů.

### 3.2.1 Požadavky a výběr displeje

Hlavním požadavkem na zobrazovací zařízení je úplnost a přehlednost zobrazovaných údajů. V případě realizace pomocí sedmisegmentových zobrazovačů, ať už LED nebo LCD, je přehlednost a orientace značně omezena. Situaci komplikuje především nemožnost použití znaků latinské abecedy. Proto je vhodné použít víceřádkového znakového LCD displeje. Horní řádek můžeme použít pro zobrazení názvu právě nastavovaného parametru a spodní pak pro jeho hodnotu.

V případě znakového displeje spočívá výběr pouze ve stanovení potřebného počtu řádků a počtu znaků na řádek. Displeje jsou většinou k dostání od jednořádkových po čtyřřádkové. Počet znaků na řádek se pohybuje většinou od osmi do dvaceti. Jak bylo posáno již v požadavcích, je zapotřebí nejméně dvouřádkového displeje. Jako nejoptimálnější řešení se jeví použití displeje CM 1224-STN-LY, který disponuje dvěma řádky po šestnácti znacích a podsvícením.



Obr. 3.2: displej CM 1224-STN-LY

### 3.2.2 Komunikace s displejem

Znakové displeje se většinou vyrábějí s již vestavěným řadičem HD44780. Přenos dat mezi mikrokontrolérem a displejem probíhá pomocí obousměrné datové sběrnice a tří řídicích signálů:

- **D0 - D7** - obousměrná datová sběrnice
- **E** - zahájení přenosu dat
- **R/ $\overline{W}$**  - přepínání mezi čtením a zápisem dat.
- **RS** - výběr mezi instrukčním a datovým registrem[10]

Komunikace však může probíhat i v 4-bitovém módu, kdy datové piny D0 -D3 přivedeme na zem a data se přenáší pouze na pinech D4 - D7. Díky tomu je možné ušetřit 4 piny na mikrokontroléru. V rámci úspory je také možné uzemnit i R/ $\overline{W}$  signál. Ztrácíme tím ale možnost čtení dat z paměti řadiče.[10]

## 3.3 Tlačítka, relé a bzučák

### 3.3.1 Tlačítka

V zapojení jsou použity čtyři tlačítka a slouží ke změně nastavení a pohybu v menu řídicí jednotky. Jejich funkce je následující:

- **Plus** - prodlužování času osvitu
- **Mínus** - zkracování času osvitu
- **Mode** - výběr zadávání minuty/vteřiny, změna módu osvitu
- **Enter** - potvrzení zadání, start/stop osvitu

Je možné použít jakékoli tlačítkové spínače. Výsledný typ závisí na konstrukci zařízení, především na způsobu montáže.

### 3.3.2 Relé

Relé bude v zapojení sloužit jako spínač napájení pro UV zářivkové trubice. Hlavním parametrem pro výběr relé je velikost spínaného proudu a napětí, včetně napětí ovládacího. Ovládací napětí se běžně pohybuje od 12 V do 230 V. V tomto případě budeme volit ovládací napětí co nejnižší, aby nebylo třeba zbytečně napětově předimenzovávat napájecí zdroj. Naopak parametry spínacích kontaktů je třeba volit s rezervou. Velikost spínaného napětí kontaktů musí být aspoň 230 V. Spínaný proud je závislý na počtu a výkonu zářivkových trubice. Relé, která bývají dimenzována na síťové napětí jsou většinou schopna spínat proudy kolem 5 A a více. Rezerva by tedy měla být dostačující. Pro bezpečnost bude použito relé dvoupólové, spínající současně nulový i fázový vodič. Požadované parametry nejlépe splňuje relé RM94-2CO-12VOLT, které bude v zapojení použito.



Obr. 3.3: Relé RM94-2CO-12VOLT [12]

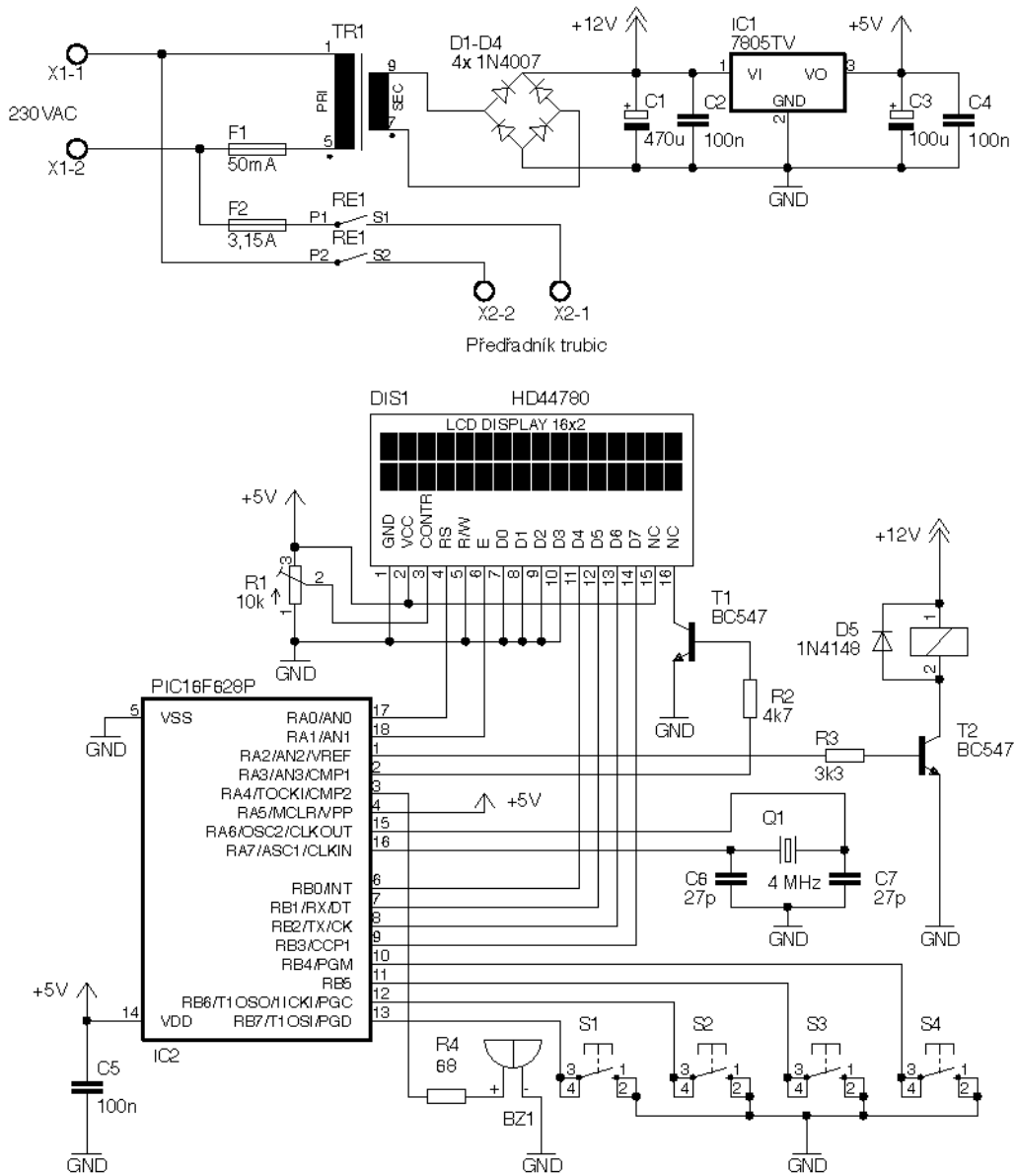
### 3.3.3 Bzučák

Bzučák je v zapojení určen k signalizaci stisku tlačítka a k oznámení ukončení osvitů. Je použita dynamická sirénka BMT0905XH. Její napájecí napětí je 5 V a odběr 25 mA. To umožňuje její připojení k mikrokontroléru pouze přes ochranný odpor. Akustický výkon činí 80 dB.[15]



Obr. 3.4: Sirénka BMT0905XH [15]

### 3.4 Schéma zapojení řídicí jednotky



Obr. 3.5: Kompletní schéma osvitové jednotky

#### 3.4.1 Zapojení tlačítek

Zapojení řídicí jednotky je závislé hlavně na konfiguraci pinů jednotlivých mikrokontroléru. Rozhodující je převážně možnost použití vestavěných pull-up rezistorů, které jsou u použitého mikrokontroléru dostupné pouze na portu B. Další skutečností je, že přerušení při změně úrovní na vstupních bránách, čehož lze s výhodou

využít při stisku tlačítek, je dostupné pouze pro piny RB4 - RB7. Z předchozích důvodů je nutné spínače zapojit mezi zem a právě piny RB4 - RB7.

### **3.4.2 Zapojení displeje**

Čtyři datové vodiče displeje je vhodné připojit na zbylé čtyři piny na portu B. Řídící signály displeje RS a E je nyní možné zapojit na jakékoli piny portu A kromě vývodů číslo 15 a 16. Ty jsou využity pro krystalový oscilátor. Signál RS bude tedy zapojen na pin RA0 a signál E na pin RA1. Nevyužité datové piny displeje (D0 - D3) jsou společně připojeny na zem. Vývod CONTR umožňuje nastavení kontrastu displeje. Jeho zapojení je převzato z katalogového listu displeje. Piny číslo 15 a 16 slouží k podsvětlení displeje.

### **3.4.3 Zapojení oscilátoru, bzučáku, relé a jejich pomocných obvodů**

#### **Oscilátor**

Oscilátor byl zapojen na základě údajů uvedených v katalogovém listu mikrokontroléru, taktéž i hodnoty použitých součástek jsou voleny na základě doporučení výrobce.[9]

#### **Bzučák**

Použitý bzučák BZ1 je dynamický o jmenovitém napětí 5 V a proudovém odběru 25 mA. Maximální dovolený proudový odběr na výstupních portech mikrokontroléru je dle katalogového listu 20 mA. Proto je zapotřebí použít ochranného rezistoru, limitujícího proud na povolenou mez. Přestože se jedná o induktivní zátěž, není již třeba použití ochranné diody. Ta je již v bzučáku integrována.[15]

#### **Relé**

Vzhledem k vyšší úrovni ovládacího napětí a proudu tekoucím cívkou, je zapotřebí použít pomocného tranzistoru T2. Ten je volen běžný, pro NF použití - BC547. Z důvodu ochrany tranzistoru před napěťovými špičkami je použita ochranná dioda D1 typu 1N4148 s maximálním dovoleným proudem v propustném směru 200 mA. Při rozepnutí relé ochrannou diodou protéká proud, který je přibližně roven proudu protékající cívkou při sepnutém stavu. Dle výpočtu 3.1 tento proud činí 71 mA. Použitý typ diody má tedy dostatečnou rezervu.

### 3.5 Výpočet hodnot rezistorů $R_2 - R_4$

Za účelem snížení proudu tekoucího bázi tranzistorů, je zapotřebí mezi báze a výstup mikrokontroléru zapojit omezovací rezistory. Při výpočtu vycházíme z Ohmova zákona. Nejdříve musíme vypočítat proud tekoucí cívkou relé. Odpor cívky  $R_{RE}$  činí  $170 \Omega$ .

$$I = \frac{U}{R_{RE}} = \frac{12}{170} \doteq 71 \text{ mA} \quad (3.1)$$

Následuje výpočet proudu bázi  $I_b$ , který je zapotřebí k sepnutí tranzistoru. Pokud je tranzistor použit jako spínač, volí se hodnota proudu báze alespoň trojnásobně vyšší, než jaká je nutná pro otevření tranzistoru. Pro výpočet je třeba znát parametr  $hFE$ , který pro tranzistor BC547 činí 150.

$$I_b = 3 \frac{I_c}{hFE} = 3 \frac{0,071}{150} \doteq 1,42 \text{ mA} \quad (3.2)$$

Nyní již známe proud  $I_b$  potřebný pro sepnutí tranzistoru. Následně je třeba vypočítat úbytek napětí na rezistoru  $R_3$ . Potřebujeme znát napětí  $U_{BE}$ , které u běžných transistorů nabývá hodnoty  $0,7 \text{ V}$ . Napětí na vstupu spínače bude mít přibližně hodnotu napětí napájecího mikrokontrolér,  $U_{CC}$  je tedy  $5 \text{ V}$ .

$$U_{R3} = U_{CC} - U_{BE} = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ V} \quad (3.3)$$

Výslednou hodnotu odporu rezistoru  $R_3$  získáme pomocí Ohmova zákona:

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_b} = \frac{4,3}{0,00142} \doteq 3,028 \text{ k}\Omega \quad (3.4)$$

Hodnotu odporu rezistoru budeme volit nejbližší vyšší z řady E24. Hodnota použitého rezistoru  $R_3$  v zapojení tedy bude  $3,3 \text{ k}\Omega$ . Podobným způsobem je možno vypočítat i hodnoty rezistorů  $R_2$  a  $R_4$ .

### 3.6 Návrh zapojení napájecí části

Napájecí zdroj je realizován pomocí transformátoru  $230\text{V}/12\text{V}$   $0,6\text{VA}$  typu TSZZ0.6/007MP. Trafo je chráněno pojistkou  $50 \text{ mA}$  dle doporučení jeho výrobce. Jedná se o klasické, často používané zapojení čtyřcestného usměrňovače spolu se stabilizátorem z řady 78xx.[20] Napětí je usměrněno pomocí čtyřcestného diodového



usměrňovače s použitím usměrňovacích diod typu 1N4007 a maximálním dovoleným proudem v propustném směru 1 A. Následuje kondenzátor C1, který vyfiltruje usměrněné napětí. Zde se odebírá napětí, které je přibližně 12 V a slouží ke spínání relé RE1. Toto napětí je dále stabilizátorem IC1 stabilizováno na 5 V které, slouží pro provoz mikrokontroléru a displeje.

### 3.7 Napájení předřadníku pro trubice

Síťové napětí 230 V je přivedeno přes ochrannou pojistku a kontakty relé na svorku, určenou pro připojení UV zářivek. Pojistka F2 slouží pouze k ochraně spínacího relé při selhání ochrany vestavěné v předřadníku. Její hodnota musí být nižší než maximální možný jmenovitý proud kontakty relé udávaný výrobcem.



Obr. 3.6: Zapojení trubice k předřadníku [13]

### 3.8 Seznam použitých součástek

Tab. 3.2: Seznam použitých součástek

Označení	Hodnota	Typ	Označení	Hodnota	Typ
DIS1	displej 16x2	CM 1224	F2	3,15A	SH32
IC1	7805TV	TO220	R1	10k	
IC2	PIC16F628	DIL18	R1	10k	
Q1	4 MHz		R2	4k7	
T1, T2	BC547	TO92	R3	3k3	
D1, D2, D3, D4	1N4007	D041	R4	68R	
D5	1N4148	DO35-7	S1, S2, S3, S4	PS52	černý
C1	470uF		RE1	RM94-12	
C3	100uF		BZ1	BMT0905XH	
C2, C4, C5	100nF	Y5V RM5	TR1	230V/12V	TSZZ0.6
F1	50mA	SH32	X1, X2	W237-102	WAGO

## 4 NÁVRH OBSLUŽNÉHO SOFTWARE

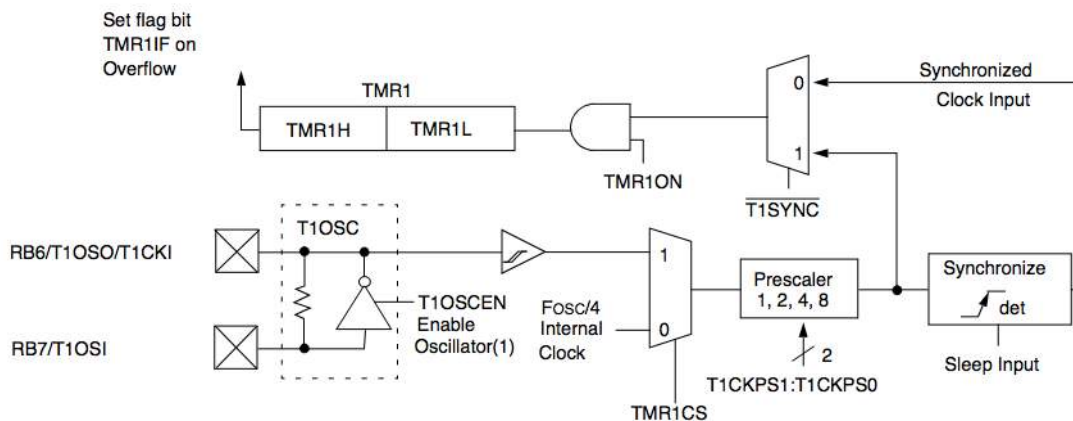
V této kapitole bude popsán návrh obslužného software pro řídicí jednotku, napsaného v programovacím jazyce C.

K vývoji softwaru pro mikrokontrolér je použito vývojové prostředí mikroC for PIC verze 2.5. Program disponuje velkým množstvím vestavěných knihoven pro různé periferie a vyniká svou jednoduchostí ovládání. Výhodou je také vestavěný simulátor, který pomáhá zejména při ladění programu. Výsledný program je do mikrokontroleru nahrán pomocí programátoru Willem Eprom, prostřednictvím rozhraní ICSP. [19][17]

### 4.1 Časový odpočet

K měření uplynulého času osvitů je použito vestavěného 16-bitového čítače TMR1 s možností vyvolání přerušování při jeho přetečení. Při použití 4 MHz oscilátoru však není možné nastavit časovač TMR1 tak, aby k jeho přetečení docházelo právě s periodou 1 s. Je tedy nutné použít ještě další softwarové děličky.

#### 4.1.1 Výpočet nastavení časovače TMR1



Obr. 4.1: Blokové schéma časovače TMR1[9]

Z blokového schématu pro časovač TMR1 na obr. 4.1 je patrné, že periodu přetečení je možné nastavit pomocí změny hodnot dvou parametrů:

- **T1CKPS** - Předdělička hodinového signálu pro časovač
- **TMR1** - Počáteční hodnota registru TMR1

Výsledný vzorec pro výpočet periody čítače je tedy:

$$T_{out} = \frac{4 \cdot T1CKPS \cdot (65536 - TMR1)}{f_{osc}} \quad (4.1)$$

Dosazením maximální hodnoty předděličky a nulovou počáteční hodnotou registru TMR1 zjistíme maximální možnou periodu časovače při použití  $f_{osc} = 4$  MHz.

$$T_{max} = \frac{4 \cdot 8 \cdot (65536 - 0)}{4 \cdot 10^6} = 0,524288 \text{ s} \quad (4.2)$$

Je tedy patrné, že nejbližší použitelná hodnota periody bude 0,5 s. Té je možné dosáhnout změnou hodnoty registru TMR1. Odvozením ze vzorce (5.1) dostaneme:

$$TMR1 = 65536 - \left( \frac{T \cdot f_{osc}}{4 \cdot T1CKPS} \right) \quad (4.3)$$

Po dosazení požadované periody 0,5 s tedy dostaneme požadovanou počáteční hodnotu registru TMR1:

$$TMR1 = 65536 - \left( \frac{0,5 \cdot 4 \cdot 10^6}{4 \cdot 8} \right) = 3036 \quad (4.4)$$

### 4.1.2 Konfigurace časovače

Při nastavení předděličky na hodnotu 8 a vypočteném počátečním stavu registru  $TMR1 = 3036$  dojde k přetečení čítače právě s periodou 0,5 s. Tuto hodnotu je nutné do registru TMR1 zapsat při každém přerušení vyvolaném přetečením čítače. K dekrementaci časového údaje však musí dojít až po 1s. Je tedy potřeba použít ještě další, tentokrát softwarovou děličku dvěma, realizovanou pomocí jednoduché podmínky.

## 4.2 Obsluha tlačítek

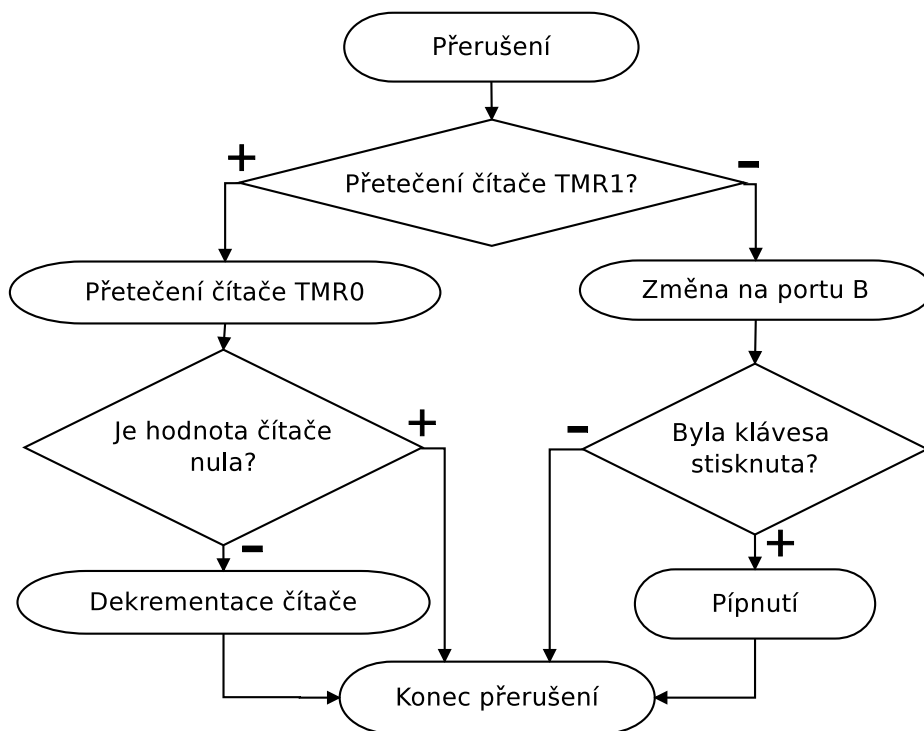
Obsluha tlačítek je poměrně jednoduchá. Nejprve je nutné aktivovat vestavěné pull-up rezistory zápisem log. 0 na pozici bitu č. 7 OPTION registru mikrokontroléru. Následně je třeba ošetřit zákmity na kontaktech tlačítek, které by mohly způsobit problémy při používání zařízení. Za tímto účelem je využito přerušení, ke kterému dojde při změně log. stavu na portu B, tedy při každém stisknutí tlačítka. Uvnitř přerušení je použito zpoždění 20 ms a také funkce **beep()**, která zvukovým signálem informuje obsluhu o stisknutí tlačítka. Zjištění konkrétního tlačítka, které bylo stisknuto, se provádí čtením hodnoty portu B za běhu hlavní programové smyčky.

## 4.3 Obsluha displeje

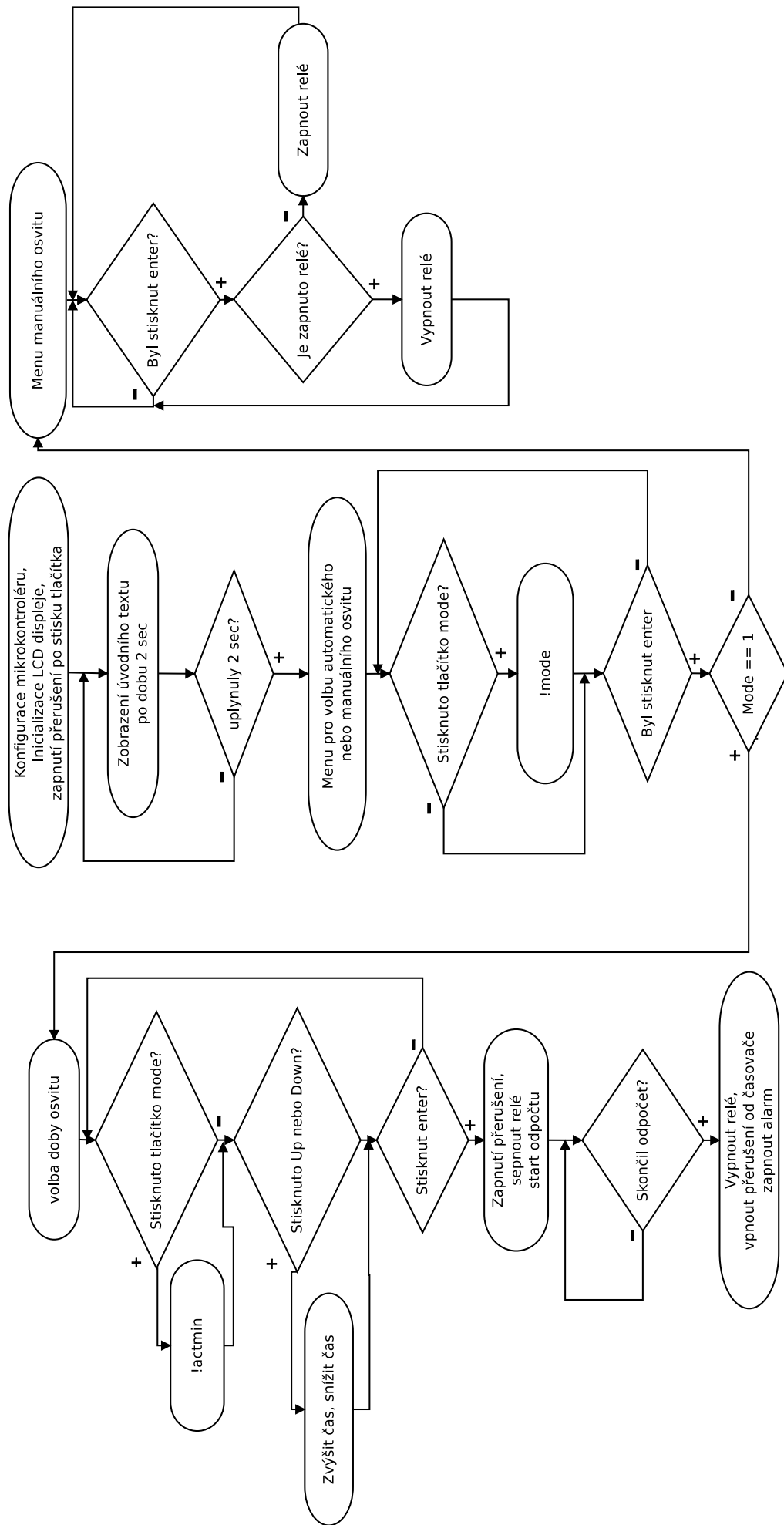
Komunikace mezi mikrokontrolérem a displejem spočívá v posílání příkazů a dat z mikrokontroléru do paměti displeje. V programu je použita vestavěná knihovna vývojového prostředí mikroC for PIC pro komunikaci se znakovým displejem standardu HD44780. V tomto případě stačí jen nadefinovat, které piny mikrokontroléru jsou použity pro připojení displeje. Po připojení napájecího napětí k displeji se však kontrolér displeje nachází v nedefinovaném stavu a je nutné jej proto před použitím inicializovat za pomoci funkce `LCD_Init()`. Následně je možné posílat do displeje příkazy pomocí funkce `LCD_Cmd(char cmd)` a data pak funkcí `LCD_Out(char row, char column, char *text)`.

## 4.4 Vývojové diagramy programu

Mikrokontrolér používá dvě přerušení. Při přetečení čítače dojde k dekrementaci časového údaje. Druhé přerušení slouží k ošetření záskmitů na tlačítkách pomocí zpoždění, které je realizováno pomocí pípnutí. Mikrokontrolér PIC16F628 používá pouze jeden vektor přerušení. Při každém přerušení je tedy třeba testovat, co bylo jeho příčinou. Průběh obsluhy přerušení je znázorněn na obr. 4.2. Diagram na obrázku 4.3 pak přehledně popisuje běh celého programu.



Obr. 4.2: Vývojový diagram přerušení



Obr. 4.3: Vývojový diagram programu

## 5 KONSTRUKCE OSVITOVÉ JEDNOTKY

Tato kapitola pojednává o stavbě osvitové jednotky se zaměřením na její jednotlivé konstrukční prvky.

### 5.1 Obal

Celé zařízení je vestavěno do krabice o rozměrech 325x315x120 mm vyrobené z hliníkového plechu o tloušťce 2 mm. Tento materiál byl zvolen hlavně díky své pevnosti, nízké hmotnosti a dobré tepelné vodivosti, která zajistí dobré chlazení při provozu přístroje. Boční stěny přístroje jsou vyrobeny z masivnějších hliníkových bloků, které tvoří hlavní nosnou část přístroje. Celé zařízení pak stojí na čtyřech gumových nohách zajišťujících lepší stabilitu.



Obr. 5.1: Osvitová jednotka

### 5.2 Krycí sklo

Sklo o síle 4 mm, na které je při osvitu položena předloha spolu s osvětlovanou cuprexitovou deskou, je opatřeno maskou z černé PVC fólie, která vymezuje použitelné pásmo osvitu o rozměrech 265x215mm.

### 5.3 Víko

Víko přístroje slouží především k ochraně obsluhy a okolí před nebezpečným UV zářením a také k rovnoměrnému přitlačení osvětlované desky s předlohou ke krycímu sklu. Jako materiál pro výrobu víka byla zvolena černě laminovaná dřevotřísková

deska o tloušťce 19 mm. Pro snadnou obsluhu je víko doplněno o kovové madlo. Upevnění víka je zajištěno pomocí dvou pantů, přichycených dvěma šrouby k zadní stěně přístroje kde se nacházejí i dorazy, které drží víko v otevřené poloze.

## 5.4 Upevnění UV trubice

UV trubice jsou upevněny a připojeny k předřadníkům pomocí patic typu G5. Tyto patice jsou pak přišroubovány k hliníkovému plechu. Čtyři elektronické předřadníky pro jednotlivé trubice jsou upevněny ke spodní části tohoto plechu. Upevnění tohoto celku k bočním stěnám přístroje je zajištěno pomocí čtyř stavitelných šroubů. Vzdálenost UV trubice od krycího skla tak lze pynule nastavovat dle potřeby. Na hliníkový plech je nalepena reflexní vrstva, která pomáhá soustředit UV záření právě směrem k osvětlované desce.

## 5.5 Čelní panel

Displej je umístěn uprostřed v horní části čelního panelu, do kterého byl vyříznut otvor o velikosti 63x15 mm. Hlavní vypínač spolu s čtyřmi ovládacími tlačítky jsou umístěny v příslušných otvorech ve spodní části přístroje. Tlačítka jsou doplněna o popisky jejich funkcí.



Obr. 5.2: Čelní panel

## 5.6 Upevnění ostatních konstrukčních prvků

Deska plošného spoje s napájecí částí i se samotnou řídicí jednotkou je upevněna pomocí čtyř šroubů ke spodní stěně přístroje. Zásuvka typu EURO, sloužící pro připojení napájecího napětí 230 V, je umístěna v pravém dolním rohu zadní stěny přístroje.



Obr. 5.3: Kompletní osvitová jednotka



## 6 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

Kapitola popisuje postup a výsledky praktických zkušebních měření, provedených za účelem ověření správné funkce osvitové jednotky a jejich schopností.

### 6.1 Stanovení optimální vzdálenosti UV trubic

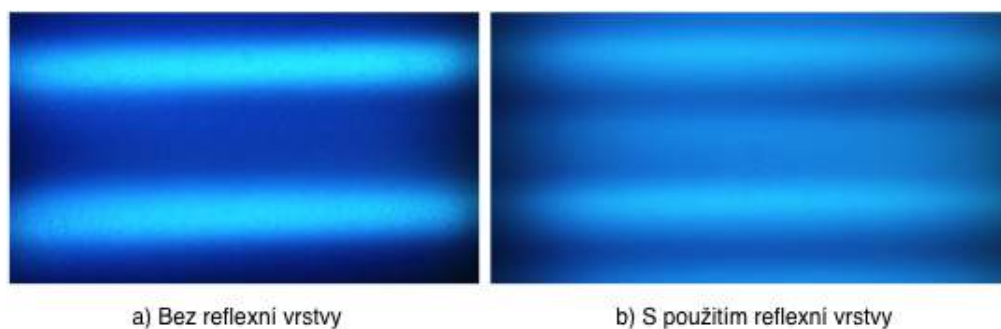
Vzhledem k neznámé vyzařovací charakteristice UV trubic je nutné zjistit optimální vzdálenost mezi UV trubicemi, kdy je rozdíl mezi jednotlivými maximy a minimy co nejmenší a byla tak zajištěna co nejlepší homogenita osvitu po celé ploše desky.

#### Metoda měření

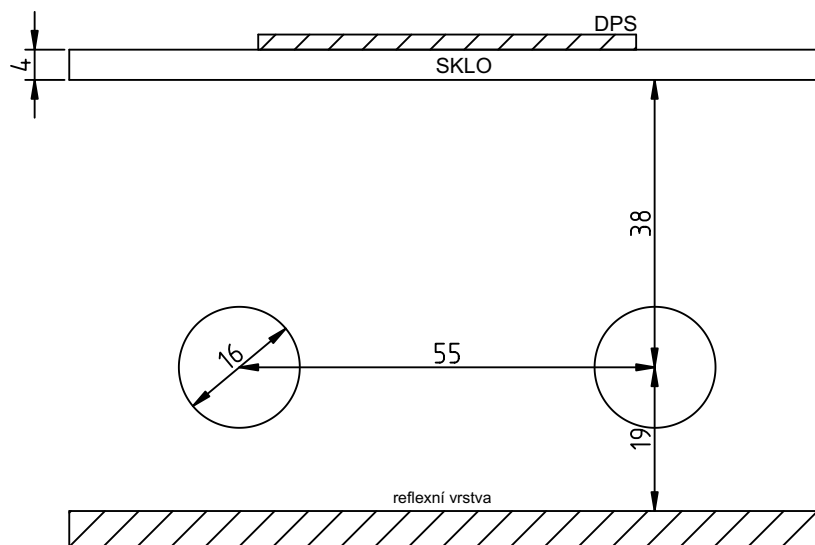
Optimální vzdálenost se nejsnadněji určí pomocí pohledu na UV trubice vhodně zacloněné běžným pauzovacím papírem. Změnou vzdálenosti trubic se snážíme dosáhnout co nejrovnoměrnějšího rozložení intenzity světla po celé ploše desky. Ověření správnosti nastavení se provede pomocí osvitu desky větších rozměrů přes prázdný pauzovací papír. Při ponoření desky do vyvolávací lázně pak nesmí být patrné rozdíly intenzity osvitu.

#### Výsledek měření

Měření prokázalo, že podstatný vliv na homogenitu osvitu má především přítomnost reflexní vrstvy za trubicemi. Optimální vzdálenost byla vyzkoušením stanovena na 55mm. Po ponoření zkušební desky o rozměrech 200 x 150 mm do vyvolávací lázně došlo k rovnoměrnému odstranění fotorezistu na celé ploše. Konečné rozmístění a vzájemná poloha trubic je znázorněna na obr. 6.2



Obr. 6.1: Srovnání vlivu přítomnosti reflexní vrstvy



Obr. 6.2: Konečné rozmístění trubic

## 6.2 Měření optimální doby osvitu

Pro dosažení co nejlepších výsledků při výrobě DPS je zapotřebí zjistit optimální dobu osvitu, při které dojde k dostatečné expozici fotorezistu na požadovaných místech a k jeho následnému úplnému odpavení při vyvolání. Naopak v místech, která nejsou osvětlena, k tomuto dojít nesmí. Následující fakt je závislý právě především na době osvitu a optické propustnosti materiálu předlohy.

### Zkušební předloha

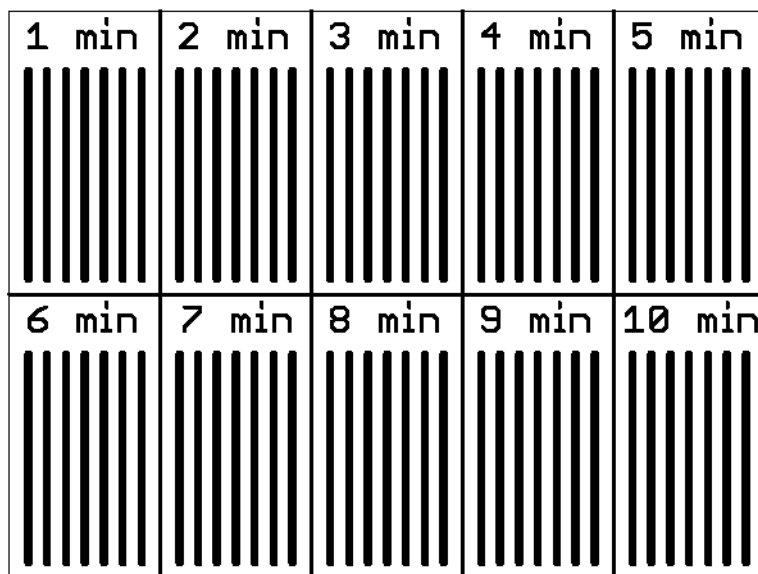
Pro tento účel byla navržena zkušební předloha, umožňující snadno určit optimální dobu osvitu. Jednotlivá okénka jsou během expozice postupně zakrývána tak, že jsou osvětlována právě po dobu v nich uvedenou. Všechny předlohy byly tištěny na laserové tiskárně na následující materiály:

- **KIMOLEC Laser Film PF-90S052**
- běžný pauzovací papír

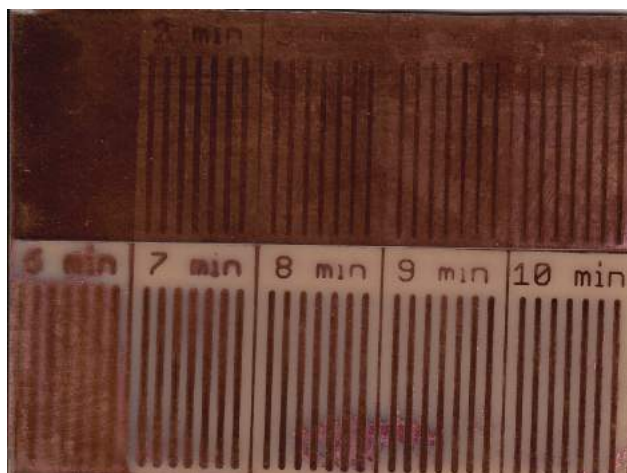
### Výsledek měření

Jako zkušební materiál byly použity jednostranné desky plošných spojů s pozitivní fotocitlivou vrstvou typu PFR2 a PFR4.

Z prvního testu pro dobu osvitu 1 - 10 minut na obr. 6.4 je patrné, že k odstranění fotorezistu začne docházet po šesti minutách expozice. Avšak ani po deseti minutách



Obr. 6.3: Zkušební předloha 1 - 10min



Obr. 6.4: Výsledek pro dobu osvitů 1 - 10 minut, materiál PFR2

osvitů nedochází k uspokojivým výsledkům. Na rozhraní jednotlivých čar jsou stále viditelné zbytky neodleptané vrstvy mědi.

Po provedení dalšího zkušebního osvitů, tentokrát pro dobu osvitů mezi třinácti a patnácti minutami. Po dvanácti minutách jsou stále vidět drobné zbytky mědi na rozhraní čar a naopak po šestnácti a více minutách je možné pozorovat příliš velké odleptání. Rozdíly mezi materiálem předlohy a cuprexitu nebyly patrné.



Obr. 6.5: Výsledek pro dobu osvitů 11-20 minut, materiál PFR2

### 6.3 Stanovení dosažitelné kvality

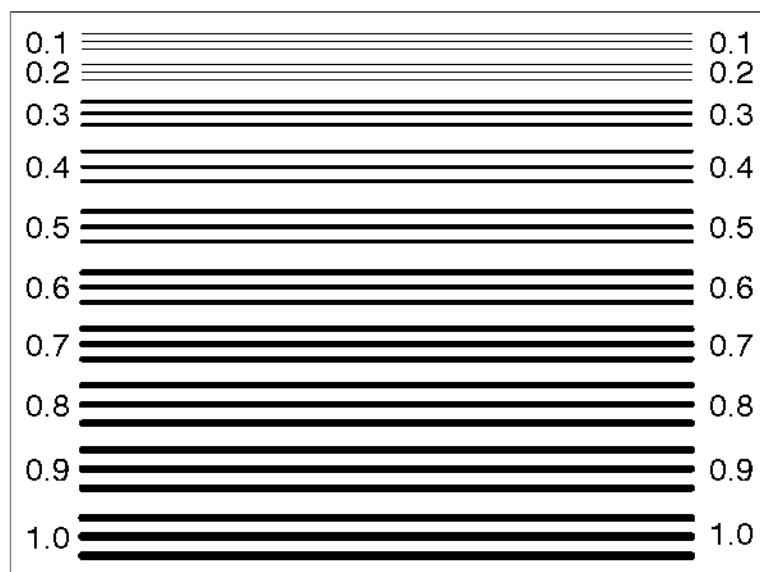
Při práci s osvitovou jednotkou je také zapotřebí znát její limity, aby bylo možné určit, zda je možné pro danou předlohu zaručit dostatečnou kvalitu.

#### Zkušební předloha

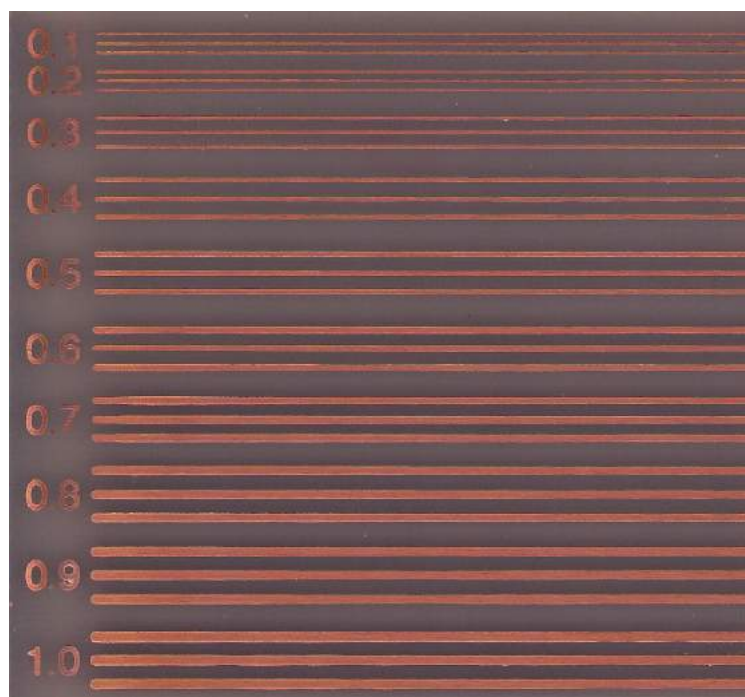
Za tímto účelem byla navržena další zkušební předloha pro různé tloušťky čar s rozsahem od 1 mm až do 0,1 mm. Dále byla zhotovena ještě další předloha která za pomoci několika typů běžně používaných pouzder SMD součástek poskytne bližší představu o schopnostech této osvitové jednotky.

#### Výsledky měření dosažitelné kvality

Z výsledku na obr. 6.7 je patrné, že nedochází k žádnému poklesu kvality spoje v závislosti na tloušťce čar v rozsahu 1 - 0,1 mm. Všechny spoje byly úspěšně otestovány na průchodnost a zkrat.



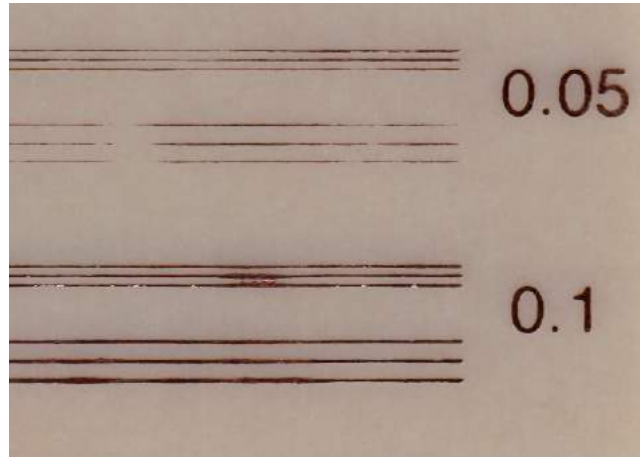
Obr. 6.6: Zkušební obrazec, tloušťka čar 1 - 0,1mm, materiál PFR4



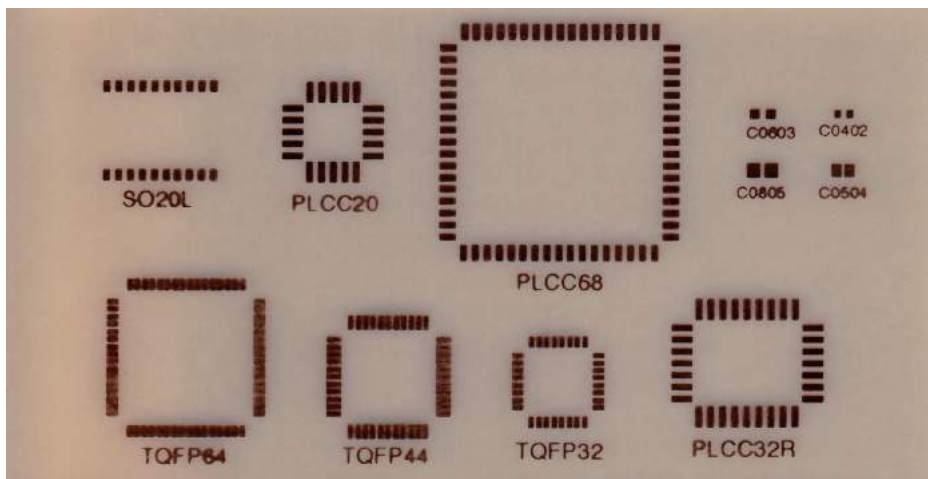
Obr. 6.7: Výsledek, tloušťka čar 1 - 0,1mm, materiál PFR4

K výraznému poklesu kvality dochází až při tloušťce čar 0,05 mm. Spoj je na několika místech viditelně přerušen. Spojení čar o tloušťce 0,1 mm pro užší rozestup je zřejmě způsobeno vzduchovou bublinou, vzniklou při ponoření desky do leptacího roztoku.

Na obrázku 6.9 je možné vidět výsledek testovacího obrazce pro různé typy pouz-



Obr. 6.8: Zkušební obrazec, tloušťka čar 0,1 - 0,05mm, materiál PFR2



Obr. 6.9: Zkušební obrazec, různé typy SMD pouzder, materiál PFR2

der SMD integrovaných obvodů a čtyř nejmenších typů pouzder SMD kondenzátorů. U pouzder typu TQFP došlo vlivem malých mezer o velikosti 0,4mm mezi jednotlivými vývody k nedostatečnému odleptání. Téměř všechny plošky jsou tak spojeny. Pouzdra typu PLCC, u kterých je mezera mezi ploškami 0,63mm, byly odleptány bez problému. Zkrat mezi sousedními ploškami nebyl nikde zjištěn.

## 6.4 Shrnutí výsledků měření

Následující tabulky shrnují veškeré poznatky zjištěné během testovacích měření. Zvýrazněné oblasti označují použitelné pásmo.

Tab. 6.1: Vliv doby osvitů na výslednou kvalitu

Doba osvitů	Kvalita	Doba osvitů	Kvalita
1 min	bez odleptání	11 min	zbytky neodleptaných míst
2 min	bez odleptání	12 min	téměř v pořádku
3 min	bez odleptání	13 min	v pořádku
4 min	bez odleptání	14 min	v pořádku
5 min	bez odleptání	15 min	v pořádku
6 min	nepoužitelné	16 min	příliš odleptáno
7 min	nepoužitelné	17 min	příliš odleptáno
8 min	nepoužitelné	18 min	příliš odleptáno
9 min	nepoužitelné	19 min	příliš odleptáno
10 min	zbytky neodleptaných míst	20 min	příliš odleptáno

Tab. 6.2: Závislost kvality na tloušťce spoje

Tloušťka spoje	Kvalita	Tloušťka spoje	Kvalita
1 mm	v pořádku	0,4 mm	v pořádku
0,9 mm	v pořádku	0,3 mm	v pořádku
0,8 mm	v pořádku	0,2 mm	v pořádku
0,7 mm	v pořádku	0,1 mm	drobné vady
0,6 mm	v pořádku	0,05 mm	spoje přerušeny
0,5 mm	v pořádku		

Tab. 6.3: Závislost kvality na odstupu vodivých ploch

Velikost mezery	Kvalita	Velikost mezery	Kvalita
1 mm	v pořádku	0,4 mm	úplné splynutí
0,9 mm	v pořádku	0,3 mm	úplné splynutí
0,8 mm	v pořádku	0,2 mm	úplné splynutí
0,7 mm	v pořádku	0,1 mm	úplné splynutí
0,6 mm	v pořádku	0,05 mm	úplné splynutí
0,5 mm	zkraty		

## 7 ZÁVĚR

Byl proveden rozbor problematiky výroby desek plošných spojů. Dále byl proveden výběr vhodného mikrokontroléru, LCD znakového displeje UV zářivkových trubic a všech ostatních součástek, potřebných pro funkci celé osvětlovací jednotky. Další postup spočíval v naprogramování ovládacího softwaru pro mikrokontrolér, který řídí celý osvit, komunikuje se zobrazovacím LCD displejem a ovládá další podpůrné obvody. Tento software byl rovněž pomocí programátoru nahrán do mikrokontroléru.

Celé zapojení bylo následně sestaveno na nepájivém kontaktním poli za účelem ověření funkce celého zapojení a softwaru mikrokontroléru a jeho případnému odladění.

Pro řídicí jednotku, včetně její napájecí části, byla navržena a vyrobena deska plošného spoje. Ta byla následně osazena, oživena a její funkčnost byla opět ověřena.

Následovala realizace celé osvětlovací jednotky, která zahrnovala výrobu vhodného obalu, krycího skla s maskou, víka, nastavitelného držáku UV zářivkových trubic s patičkami a konečnou montáž všech dílčích součástí jednotky.

Měřením pak bylo zjištěno správné rozmístění UV trubic pro zajištění co nejrovnoměrnějšího osvitu. Pro vybrané druhy předloh a desek plošných spojů byla příslušným měřením stanovena optimální doba osvitu, pro kterou po následném odleptání dochází k nejlepším výsledkům. Pro představu o schopnostech a kvalitě osvitu bylo navrženo několik druhů kontrolních předloh, jejichž úkolem bylo stanovit minimální možnou tloušťku čar spojů, kterou je osvětlovací jednotka ještě schopna správně vyrobít a zjistit minimální odstup zakrytých a exponovaných míst na desce než dojde k jejich splynutí.

Výsledkem práce je plně funkční zařízení, s jehož pomocí lze úspěšně vyrobit desku plošného spoje s tloušťkou vodivých cest do 0,1mm určenou nejen pro montáž součástek s drátovými vývody, ale i některých poměrně miniaturních součástek určených pro povrchovou montáž s minimálním odstupem vodivých cest 0,6mm. Celé zařízení tak splňuje požadavky pro kvalitní výrobu desek plošných spojů.



## LITERATURA

- [1] SEMACH. *Metodika návrhu plošných spojů* [online]. [cit. 4. 4. 2016]. Dostupné z URL: <<http://www.semach.cz/pdf/metodika.pdf>>.
- [2] KAZELLE, J. a kol.: *Elektrotechnické materiály a výrobní procesy*, elektronické skriptum, FEKT VUT v Brně
- [3] STARÝ, J., KAHLE, P.: *Plošné spoje a povrchová montáž*, elektronické skriptum, FEKT VUT v Brně
- [4] MANN, B. *C pro mikrokontroléry*. Praha: nakladatelství BEN - Technická Literatura, 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [5] NOVÁK, P. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. Praha: Nakladatelství BEN - Technická Literatura, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [6] ELCHEMCO, spol. s.r.o. *Cramolin fotolak pro výrobu desek plošných spojů* [online]. [cit. 18. 3. 2016]. Dostupné z URL: <<http://web.elchemco.cz/fotolak-fotoemulze-pozitivni-svetlocitlivy-fotorezist-vyrobu-desek-plosnych-spoju-leptani-chloridu-zelezitem-chemicke-frezovani-obrabeni-positiv-resist.php>>.
- [7] SCHEMATICS. *UV LED osvitová komora* [online]. [cit. 20. 3. 2016]. Dostupné z URL: <[http://www.schematics.wz.cz/schemata-UV\\_LED\\_osvitova\\_komora.html](http://www.schematics.wz.cz/schemata-UV_LED_osvitova_komora.html)>.
- [8] Co je to mikrokontrolér. Mikrokontroléry PIC: *Web o číslicové technice a mikrokontrolérech PIC* [online]. [cit. 12. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://mikrokontrolery-pic.cz/zaciname/co-je-to-mikrokontroler/>>.
- [9] MICROCHIP TECHNOLOGY, Inc., *PIC16F628X Data Sheet*, katalogový list, 2006, 178s. Dostupné z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300C.pdf>>.
- [10] HITACHI.Ltd, *HD44780U - Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver*, katalogový list, 1998, 60s. Dostupné z: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>>.
- [11] P2J TECHNOLOGY. *Vyroba-dps.cz*. 2014 [cit. 18. 10. 2014]. *Cramolin fotolak pro výrobu desek plošných spojů* [online]. [cit. 18. 3. 2016]. Dostupné z URL: <<http://www.vyroba-dps.cz/www-vyroba-dps-cz/eshop/5-1-UV-osvitove-jednotky-DPS>>.

- [12] RELPOL, Sa. *RM94 miniature relays*, katalogový list, 2014, 5s. Dostupné z: <<http://www.relpol.pl/content/download/13890/172264/file/RM94.pdf>>.
- [13] PHILIPS Lighting., *Philips HF-M RED 109 SH Data Sheet*, katalogový list, 2015, 2s. Dostupné z: <[http://download.p4c.philips.com/lfb/f/fp-913700422866/fp-913700422866\\_pss\\_cs\\_cz\\_001.pdf](http://download.p4c.philips.com/lfb/f/fp-913700422866/fp-913700422866_pss_cs_cz_001.pdf)>.
- [14] PHILIPS Lighting., *TUV TL Mini - Small diameter lamps for residential applications*, katalogový list, 2015, 4s. Dostupné z: <[http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-2782/comf-2782\\_pss\\_en\\_aa\\_001.pdf](http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-2782/comf-2782_pss_en_aa_001.pdf)>.
- [15] EZK, Zdeněk Krčmář. *EZK katalog*, katalogový list, 2007, 144 s. Dostupné z: <[http://www.ezk.cz/katalog\\_ezk\\_2007.zip](http://www.ezk.cz/katalog_ezk_2007.zip)>.
- [16] *Elektro Palouček* [online]. 2015 [cit.15.3.2016]. Dostupné z: <<http://www.elektro-paloucek.cz/zarovsky-a-zarivky/zarivkove-trubice/uv-zarivky>>.
- [17] *Willem EPROM Programmer* [online]. 2004 [cit.10.3.2016]. Dostupné z: <<http://www.mpu51.com/eprom/eprom.html>>.
- [18] *GM electronic* [online]. 2016 [cit.15.3.2016]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/t/uv-led>>.
- [19] *mikroC for PIC* [online]. 2016 [cit.12.5.2016]. Dostupné z: <<http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>>.
- [20] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M.: *Napájení elektronických zařízení*, elektronické skriptum, FEKT VUT v Brně

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

I	proud
U	napětí
R	odpor
hFE	proudový zesilovací činitel
DPS	deska plošných spojů
SMD	Surface Mount Device (technologie povrchové montáže součástek)
UV	Ultra Violet – technologie povrchové montáže
LED	Light Emitting Diode (světlo vyzařující dioda)
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
CNC	Computer Numeric Control (číslicové řízení počítačem)
CPU	Central Processing Unit (Centrální procesorová jednotka)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
PWM	Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektricky mazatelná semipermanentní paměť typu ROM-RAM)
MCU	Microcontroller Unit (mikrokontroler)
TMR	Timer (časovač)
UART	universal asynchronous receiver/transmitter (synchronní / asynchronní sériové rozhraní)
ADC	Analog to digital converter (analogově digitální převodník)
SPI	Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní)
RAx	Označení portu A mikrokontroleru
RBx	Označení portu B mikrokontroleru
NF	nízkofrekvenční
PVC	Polyvinylchlorid

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Popis ovládání</b>	<b>44</b>
A.1	Automatický režim . . . . .	44
A.2	Manuální režim . . . . .	44
<b>B</b>	<b>Předloha DPS řídicí jednotky</b>	<b>45</b>
<b>C</b>	<b>Osazovací plán DPS řídicí jednotky</b>	<b>46</b>
<b>D</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>47</b>

## A POPIS OVLÁDÁNÍ

Po zapnutí jednotky se po dvou sekundách objeví menu, ve kterém je pomocí tlačítka Mode možné vybírat mezi manuálním a automatickým režimem. Stiskem tlačítka Enter se výběr potvrzuje.

### A.1 Automatický režim

Po zvolení automatického režimu se na displeji objeví menu s možností nastavení času. Jednotka si pamatuje poslední zvolený čas. Stiskem tlačítka Mode je možné přepínat mezi volbou minut a sekund. Pomocí tlačítek + a - je pak vybraný parametr možno nastavit. Nastavený čas se po stisku klávesy Enter uloží a spustí se odpočet. O konci osvitu je uživatel upozorněn hláškou na displeji a varovným akustickým znamením.



Obr. A.1: Menu volby módu osvitu



Obr. A.2: Menu nastavení doby osvitu

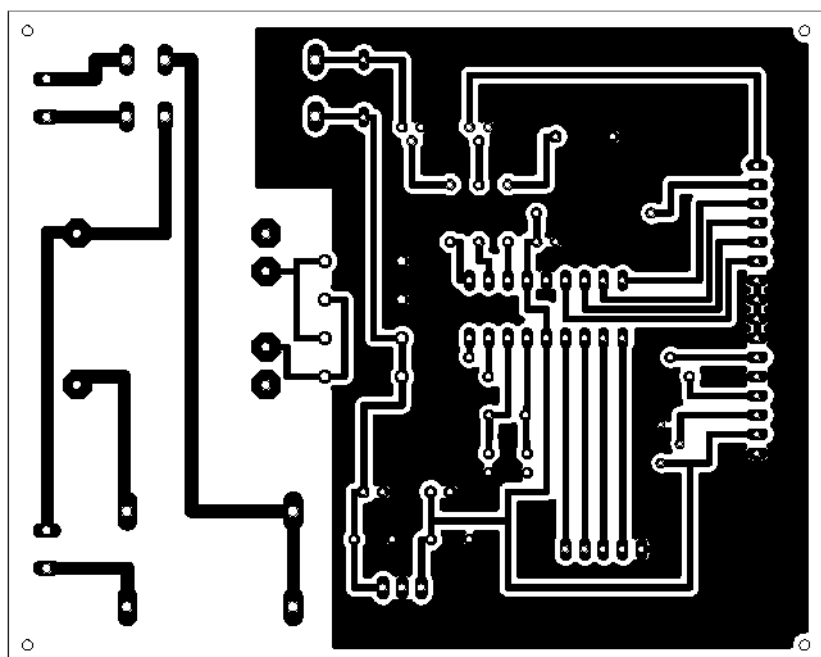
### A.2 Manuální režim

Výběrem manuálního módu se dostaneme přímo do menu, kde je možné pomocí klávesy Enter zapínat a vypínat osvit. K ukončení osvitu můžeme použít tlačítko Mode, pomocí kterého se vrátíme opět do menu volby režimu osvitu.

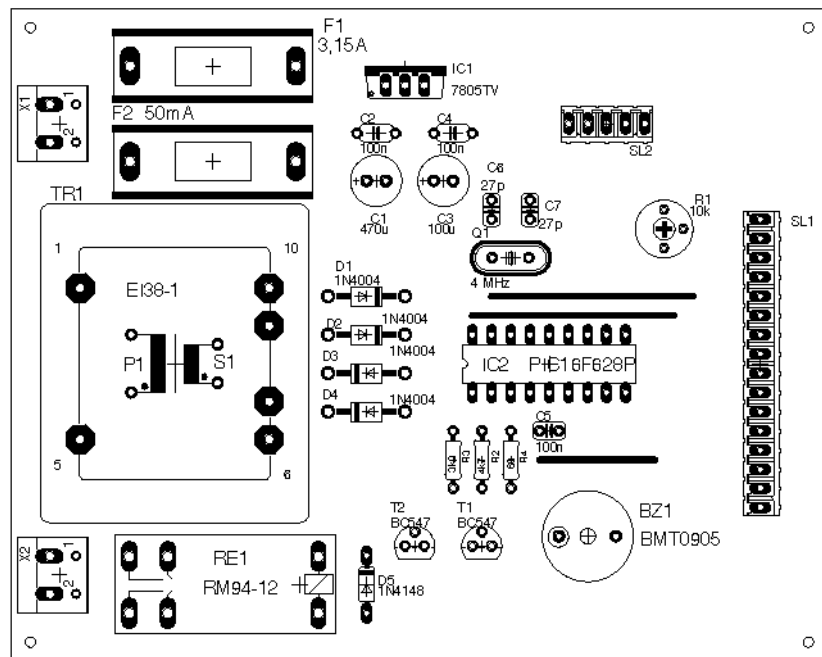


Obr. A.3: Zapnutí manuálního režimu

## B PŘEDLOHA DPS ŘÍDICÍ JEDNOTKY



# C OSAZOVACÍ PLÁN DPS ŘÍDICÍ JEDNOTKY



## D OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

/	kořenový adresář přiloženého CD
├	Osvětlovací jednotka pro výrobu DPS.....Bakalářská práce
├	Foto..... Fotografie zkonstruované jednotky
│	├ Jednotka1.jpg
│	├ Jednotka2.jpg
├	Software pro MCU.....Zdrojové soubory pro MCU
│	├ osvit.c.....hlavní program
│	├ osvit.hex.....zkompilovaný program pro MCU
│	├ microC_proj ..... Projekt pro microC IDE
├	Dokumentace..... Katalogové listy a ostatní dokumentace
│	├ 16f628a.pdf
│	├ HF-Matchbox Red.pdf
│	├ UV_lamp_spec.pdf
│	├ HD44780.pdf
│	├ RM94.pdf
│	├ LM7805.pdf
│	├ LCD.pdf
│	├ BC547.pdf
├	Předlohy DPS..... Zkušební předlohy pro výrobu DPS pro EAGLE
│	├ Řídicí jednotka.brd
│	├ TEST 1-10.brd
│	├ TEST 11-20.brd
│	├ test 1-0.1.brd
│	├ test_final.brd
├	Schéma..... Schéma osvitové jednotky EAGLE
│	├ Schéma řídicí jednotka.sch
├	LaTeX..... Zdrojové soubory pro LaTeX
│	├ loga
│	├ pdf
│	│
│	│
│	│
│	├ student-desky.pdf
│	├ student-titulka.pdf
│	├ student-zadani.pdf
│	├ text
│	│
│	│
│	│
│	│
│	│
│	│
│	│
│	│
│	│
│	├ konstrukce.tex
│	├ literatura.tex
│	├ mereni.tex
│	├ navrh_hardware.tex
│	├ navrh_software.tex
│	├ prilohy.tex
│	├ uvod.tex
│	├ vyber_uv.tex
│	├ vyroba_dps.tex
│	├ zaver.tex
│	├ zkratky.tex