

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**ZAŘÍZENÍ PRO VYVOLÁVÁNÍ FILMOVÝCH
PŘEDLOH**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman KÄMPF**
Osobní číslo: **E11N0017K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Zařízení pro vyvolávání filmových předloh**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši a srovnání filmových předloh pro výrobu desek plošných spojů na trhu.
2. Ke stávajícím nádobám s lázněmi pro vyvolávání navrhnete automatickou regulaci řízení teploty.
3. Navrhnete informativní časový display.
4. Návrhy realizujte a aplikujte do stávající vyvolávací komory na katedře KET.

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá rozbořem materiálů pro filmové předlohy desek plošných spojů (DPS) různých výrobců dostupných na našem trhu.

Jsou zde porovnány důležité vlastnosti filmů, jako je rozměrová stálost, citlivost na světlo či ostrost obrazu.

Práce popisuje stávající zařízení pro vyvolávání filmů, pro které je potřeba navrhnout a realizovat obvod na měření, regulaci teploty a cirkulaci kapaliny, která bude zajišťovat rovnoměrnou teplotu kapalin. Pro řízení procesu vyvolávání je obvod doplněn o displej zobrazující čas a zvukovou signalizaci.

Klíčová slova

Filmové předlohy, rozměrová stabilita filmů, odporové čidlo PT500, vyvolávání filmů, regulace teploty lázně.

Abstract

The submitted diploma thesis deals with analysis of materials for film templates of PCBs from various manufacturers available in our market.

Individual important characteristics of the films are compared in the thesis, such as size firmness, light sensitivity or picture sharpness.

Furthermore current device for developing the films is described for which there is a need to design and implement a circuit for measuring and regulating temperature and circulation of liquid, which will ensure even temperature of liquids. For controlling the process of developing the film artworks the circuit are supplemented with a display showing time and sound signalisation.

Key words

Film templates, size firmness of the films, resistance sensor PT500, making the films, bath temperature regulation.

Prohlášení

Předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím uvedených pramenů a literatury.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 6.5.2013

Roman Kämpf

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Čengerymu Ph.D. za odborné a metodické vedení práce, cenné profesionální rady, nápady, náměty a připomínky.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 FILMOVÉ PŘEDLOHY PRO VÝROBU DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	9
1.1 PARAMETRY FILMŮ	9
1.1.1 Citlivost na světlo	9
1.1.2 Rozměry filmů	10
1.1.3 Rozměrová stabilita	10
1.1.4 Expozice	10
1.1.5 Kvalita obrazu – ostrost	11
1.1.6 Teplota pro vyvolávání	11
1.2 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ FILMŮ	12
2 STÁVAJÍCÍ ZAŘÍZENÍ – POPIS	13
3 REGULACE A ŘÍZENÍ TEPLoty	15
3.1 PŘEHLED VYBRANÝCH METOD MĚŘENÍ TEPLoty	15
3.1.1 Měření pomocí termistoru	15
3.1.2 Měření s odporovým čidlem	16
3.1.3 Termočlánek	20
3.1.4 Čidla s přenosem dat po sběrnici	21
3.2 PŘEHLED MOŽNOSTÍ OVLÁDÁNÍ TEPELNÉ SPIRÁLY	21
3.2.1 Mechanické relé	22
3.2.2 Unipolární tranzistor	22
3.2.3 Polovodičové relé	23
4 REALIZACE	24
4.1 POPIS MIKROPROCESORU ATMEGA168	24
4.2 ODPOROVÉ ČIDLO	25
4.3 ZOBRAZOVACÍ DISPLEJ	26
4.4 MĚŘENÍ TEPLoty	28
4.5 PROGRAMOVÁNÍ PROCESORU	30
4.6 CÍRKULACE KAPALINY	31
4.7 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE	32
ZÁVĚR	34
POUŽITÁ LITERATURA	35
PŘÍLOHA A	1
PŘÍLOHA B – ZDROJOVÝ KÓD	4

Úvod

Předkládaná práce se zabývá rozbořem materiálů pro filmové předlohy desek plošných spojů různých výrobců dostupných na našem trhu. Její součástí je také rozbor důležitých vlastností filmů, jako je například citlivost filmů na světlo, rozměrová stabilita či ostrost obrazu.

Práce byla zadána na základě potřeb katedry KET. V současné době je proces vyvolávání filmových předloh řešen pomocí automatického vyvolávacího systému. To však klade velké nároky na množství použitých chemikálií, které časem stárnou a musí se obměňovat. To se jeví jako velice neekonomické, pokud je výroba prováděna v malém množství.

Z těchto důvodů byly na katedře vyrobeny dvě kovové nádoby bez regulace sloužící k manuálnímu vyvolávání filmových předloh. Tyto nádoby využívají zhruba desetkrát menší množství chemikálií než automatický stroj. Manuální řešení se jeví jako ekonomičtější pro občasné použití.

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat zařízení pro měření a regulaci teploty kapalin v těchto nádobách, promíchávání kapalin z důvodu rovnoměrného rozložení teplot a časové indikace pro předepsané časování výrobních procesů.

1 Filmové předlohy pro výrobu desek plošných spojů

Pro profesionální výrobu desek plošných spojů se používají speciální filmy s vysokou tvarovou stálostí a osvitové jednotky (fotoplotry) pracující s velmi vysokou přesností. [6] Použití kvalitních materiálů umožňuje zhotovit motivy předloh plošných spojů o velikosti vodivé cesty / izolační mezery 0,01 mm. K tomu je také nutno mít odpovídající technické vybavení a bezprašný provoz. [5] Na našem trhu jsou k dostání filmy od různých výrobců. Nejrozšířenější jsou pak filmy značek Agfa a Kodak.

1.1 Parametry filmů

Film pro výrobu desek plošných spojů musí vykazovat extrémně vysokou životnost. Měl by být nejen stabilní, ale také odolný. Bez ohledu na druh aplikace jsou zapotřebí snímky, na které se můžeme spolehnout. Výsledný obraz musí být ostrý, přesný a bez vad. Film s omezenou odolností proti otěru je nevhodný. [8]

1.1.1 Citlivost na světlo

Filmy pro předlohy desek plošných spojů se vyrábějí s různou citlivostí na vlnovou délku světla. Nejčastěji se pro osvit používá zelené a červené spektrum světla. Vlnová délka světla je dána technologií výroby filmu. Fotoplotr, který osvit zajišťuje, musí být schopen požadovanou vlnovou délku vytvořit, jinak může dojít k poškození či nedokonalosti předlohy.

Tabulka 1. Rozsah vlnových délek viditelného spektra [14]

Barva	Rozsah vlnových délek	Rozsah frekvencí
červená	~ 625 – 800 nm	~ 480 – 375 THz
oranžová	~ 590 – 625 nm	~ 510 – 480 THz
žlutá	~ 565 – 590 nm	~ 530 – 510 THz
zelená	~ 520 – 565 nm	~ 580 – 530 THz
tyrkysová	~ 500 – 520 nm	~ 600 – 580 THz
modrá	~ 430 – 500 nm	~ 700 – 600 THz
fialová	~ 400 – 430 nm	~ 750 – 700 THz

1.1.2 Rozměry filmů

Pro rozmanitou výrobu předloh desek plošných spojů je k dispozici velká škála formátů od 10,0 x 16,0 cm až po 50,8 x 61,0 cm. Velikosti vycházejí z nejčastěji používaných rozměrů. Velikost formátu určuje maximální velikost předlohy.

1.1.3 Rozměrová stabilita

Filmy, které nejsou rozměrově stabilní, nemohou poskytovat přesnost, na kterou je v dnešní době kladen stále větší důraz.

Rozměrová stabilita je změna v délce filmu při změně teploty. Tato roztažnost se projevuje v podélném i příčném směru. Stabilita je vykazována jako procentuální změna z původního rozměru.

Obecně platí, že se materiály rozšiřují při vystavení zvýšeným teplotám. Rozměrová stabilita je pro různé filmy různá. Měří se při stejných teplotách. Poskytuje tak relativní srovnávání, o jak velké zkreslení dojde ve vytápěných procesech. Přijatelné teploty pro zpracování filmu se liší a závisí na vlastnostech filmu, typu procesu a době vystavení působení. [7]

Výrobci udávají rozměrovou stabilitu v procentech na °C, ale vztahují ji také k relativní vlhkosti. Tato stabilita se u filmů před zpracováním a po zpracování liší.

Potřebujeme filmy, které jsou nejen stabilní, ale také odolné. Bez ohledu na to, pro jakou jsou aplikaci, se na ně musíme spolehnout. Předloha musí být ostrá, přesná a bez vad. Filmy s omezenou odolností proti otěru nebudou správně vykonávat svou práci, a tím se stávají nevhodné. [9]

1.1.4 Expozice

Požadovaná doba expozice je závislá na vlastnostech použitého fotoploteru, a tedy i na vlastnostech použitého zdroje světla. Většina výrobců doporučuje provést kalibrační test pro stanovení optimální expozice pro požadovanou šířku čáry a izolační mezery. Výsledný obraz kvality může být ovlivněn změnami v čase a teplotě. Někteří uživatelé tak mohou zjistit, že změna doporučené doby a teploty může (bude) poskytovat vhodnější výsledek pro konkrétní použití. [10]

1.1.5 Kvalita obrazu – ostrost

Vynikající kvalita obrazu je, bez ohledu na to, pro jakou výslednou aplikaci je určen, důležitá pro dosažení nejlepšího přenosu obrazce na foto materiál. Filmová předloha pak ovlivňuje kvalitu konečného produktu.

Kvalitní filmová předloha je velkou nutností. Bez kvalitních snímků nemůžeme pracovat efektivněji a produktivněji. Z tohoto důvodu dochází k stálému zvyšování kvality filmových materiálů. Tím dochází také k posouvání minimální možné vzdálenosti jednotlivých čar mezi sebou. [9]



Obrázek 1. Příklad 20 mikronových čar / mezer [15]

obr. a) ostrost okrajů 0,83 μm
přímota okrajů 2,30 μm
změna šířky čáry 12,08 μm

obr. b) ostrost okrajů 0,61 μm
přímota okrajů 1,10 μm
změna šířky čáry 21,91 μm

1.1.6 Teplota pro vyvolávání

Správná teplota kapaliny ve vyvolávacích lázních je velmi důležitým ukazatelem. Přesná teplota záleží především na druhu použitého filmu, specifikaci výrobce, ale také na použitých chemikáliích. Tyto hodnoty se mohou u jednotlivých typů filmů lišit. Drobná odchylka teploty ($\pm 0,5$ $^{\circ}\text{C}$) nemá na požadovaný výsledek žádný vliv.

Teplota vyvolávacích lázní je důležitým ukazatelem ovlivňujícím rychlost vyvolávání a také výsledný kontrast předlohy.

1.2 Porovnání parametrů filmů

Tabulka 2. Porovnání základních parametrů běžně dostupných filmů

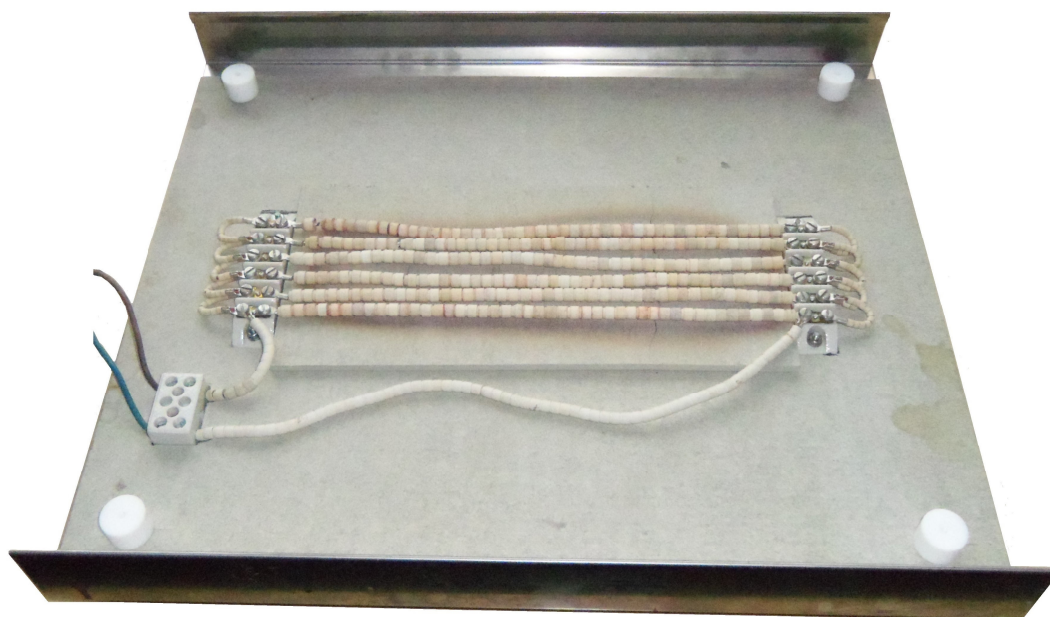
Výrobce	Typ	Vlnová délka [nm]	Rozměrová stabilita [%]	Teplota pro expozici [°C]	Doba expozice [s]
Kodak	Film ABG7	488 – 565	0,0018 °C	35	45
			0,0013 RV	38	30
			0,0012 RV	32	60
Kodak	Film APR7	633 – 670	0,0018 °C	35	45
			0,0011 RV	38	30
			0,0009 RV	32	60
Agfa	Idealine OPF	488 – 553	0,0018 °C	32	35
			0,0012 RV	35	30
Agfa	Idealine RPF	633 – 670	0,0018 °C	32	35
			0,0012 RV	35	30
Fuji	HPB-7S	488 – 530	0,0010 °C	32 - 35	30
			0,0011 RV		
Fuji	HPR-7S	633 – 670	0,0010 °C	35	30
			0,0011 RV		
			0,0010 RV		

2 Stávající zařízení – popis

Stávající zařízení pro vyvolávání filmových předloh se skládá z dvou nerezových nádob umístěných na podstavcích s topnými spirálami. Jedna nádoba se používá pro lázeň vývojky a druhá pro lázeň ustalovače. Použití obou nádob při výrobě je navazující.

Podstavec je vybaven azbestovou deskou pro odizolování tepelné spirály. Pro napájení spirály se používá stejnosměrný 12 V zdroj. V tomto zapojení není žádné měření teploty ani automatické spínání topné spirály. Tento proces probíhá ručně za pomoci rtuťového teploměru.

Nevýhodou tohoto zařízení je, že ohřev neprobíhá symetricky pod celou nádobou, a proto tekutina nemá ve všech místech stejnou teplotu. Díky tomu dochází při vyvolávání k přeexponování části filmu, který je nad tepelnou spirálou. Proces vyvolávání není rovnoměrný.



Obrázek 2. Podstavec s topnou spirálou

Vyvolávací nádoba je umístěna přímo nad tepelnou spirálou. Je o velikosti 400 x 485 mm a výšce 40 mm. Tento rozměr je pro většinu používaných filmů plně vyhovující. Při vyvolávání se do nádob lijí 2 litry tekutin. Výška hladiny je přibližně 1 cm.



Obrázek 3. Vyvolávací nádoba

3 Regulace a řízení teploty

3.1 Přehled vybraných metod měření teploty

Pro měření teploty se využívá různých způsobů založených na změně hodnoty charakteristické součástky způsobené změnou teploty. Nejčastěji používané součástky pro měření teploty jsou termistory, termočlánky, odporové snímače teploty a polovodičové snímače teploty.

3.1.1 Měření pomocí termistoru

Polovodičové senzory teploty využívají teplotní závislosti odporu na teplotě. Při teplotě absolutní nuly jsou všechny elektrony pevně vázány k jádrům atomů a materiál nemůže vést proud. Elektronům je nutno dodat energii, aby mohly překonat zakázaný pás. S rostoucí teplotou bude koncentrace nosičů nábojů narůstat a odpor materiálu se bude snižovat. [11]

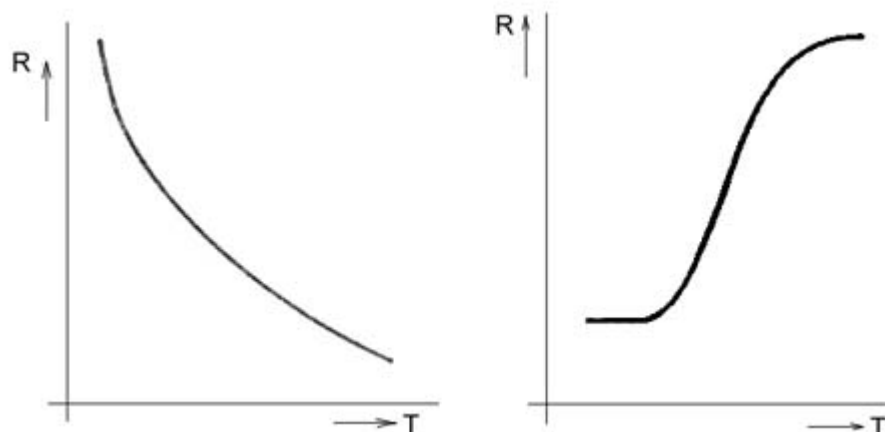


Obrázek 4. Ukázka možných provedení termistorů

Termistory se vyrábějí ve dvou provedeních – se záporným a kladným teplotním součinitelem odporu.

Termistory NTC (Negative Temperature Coefficient) mají záporný teplotní součinitel odporu, z čehož plyne, že s rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace nosičů náboje a elektrický odpor klesá. NTC termistory vykazují značně nelineární závislost odporu na teplotě. Jedná se o prvky s všestranným použitím nacházejícím uplatnění v řadě aplikací. [11]

Termistory PTC (Positive Temperature Coefficient) mají naopak kladný teplotní koeficient odporu. Jejich odpor s rostoucí teplotou nejprve mírně klesá a pak strmě roste. Po nárůstu zhruba o tři řády hodnota mírně klesne. S touto částí charakteristiky se již obvykle nepracuje. Termistory PTC lze využít pro měření teploty ve velmi úzkém teplotním pásu. Uplatnění nacházejí také jako dvoustavové detektory nebo se využívá jejich V-A charakteristiky spolu s vlastním ohřevem pro měření proudění nebo průtoku. [11]



Obrázek 5. Závislost změny odporu na teplotě u Termistoru NTC a PTC [16]

Termistory se běžně vyrábějí pro rozsah teplot -50 až 150 °C, méně často pak pro teploty -100 až 400 °C. Mají široké rozmezí hodnot odporu, velkou citlivost, malou hmotnost a rozměry, díky čemuž je možné měřit i velmi rychlé teplotní změny. Zásadní nevýhodou je však značná nelinearita. [11]

Při měření s termistorem vycházíme ze známé závislosti odporu termistoru na okolní teplotě. V dané oblasti je měřen odpor termistoru, který pak může být pomocí dalších obvodů převeden například na změnu šířky impulsů či pomocí AD převodníku převeden na digitální signál vhodný k dalšímu zpracování. Výslednou hodnotu pak lze za pomoci mikropočítače přepočítat na měřenou teplotu.

Termistory jsou jedním z nejpřesnějších typů teplotních snímačů. Dá se s nimi dosáhnout přesnosti až $\pm 0,1$ °C.

3.1.2 Měření s odporovým čidlem

Odporové snímače teploty se řadí mezi dotykové snímače používané k dálkovému měření teploty. Jejich čidlo převádí teplotní změnu prostředí na změnu elektrického odporu.

Odporová čidla k měření teploty v průmyslových podmínkách se obvykle vyrábějí z platinového, niklového, respektive měděného drátu v poměrně velké škále hodnot jmenovitých odporů, například 100 Ω , 200 Ω , 500 Ω , 1000 Ω , 2000 Ω . [23]

Tabulka 3. Základní vlastnosti obvykle užívaných čidel [23]

Materiál čidla	Základní odpor R_0 [Ω]	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]
Pt	100	-200 až 850
Ni	100	-60 až 250
Cu	100	-200 až 200

Každé čidlo je vyrobeno v určitém tolerančním pásmu. Základní pásma pro platinová čidla jsou stanovena normou ČSN IEC 751. Tato norma udává dvě třídy přesnosti.

Tabulka 4. Třídy přesnosti platinových čidel [22]

třída přesnosti A	$\Delta T = \pm (0,15 + 0,002 * T) ^{\circ}\text{C}$
třída přesnosti B	$\Delta T = \pm (0,30 + 0,005 * T) ^{\circ}\text{C}$

Teplotní závislost odporu čidla je vyjádřena rovnicí

$$R = 500(1 + AT + BT^2 + C(t - 100)T^3) \quad (\Omega; ^{\circ}\text{C}) \quad (3.1)$$

pro rozsah teplot -50 až 0 $^{\circ}\text{C}$

$$R = 500(1 + AT + BT^2) \quad (\Omega; ^{\circ}\text{C}) \quad (3.2)$$

pro rozsah teplot 0 až 400 $^{\circ}\text{C}$

kde:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-2}$$

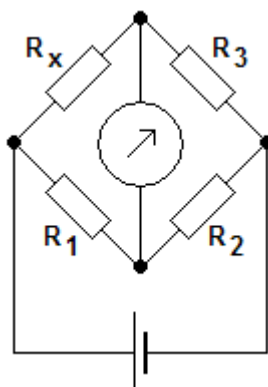
$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-4}$$

3.1.2.1 Přímé měření

Nejrozšířenějším způsobem měření teploty pomocí odporového čidla je měření změny hodnot měřeného odporu v zapojení do odporového – Wheatstoneova můstku.

Měřicí odpor je zapojen do jedné větve můstku a jeho změna zapříčiní výslednou změnu měřicího odporu, a tím dojde k rozvážení můstku. Tato změna je indikována měřicím přístrojem. Aby byl Wheatstoneův můstek vyvážený, musí platit, že součin odporu protilehlých větví se musí rovnat.

$$R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3 \quad (\Omega) \quad (3.3)$$



Obrázek 6. Wheatstoneův můstek

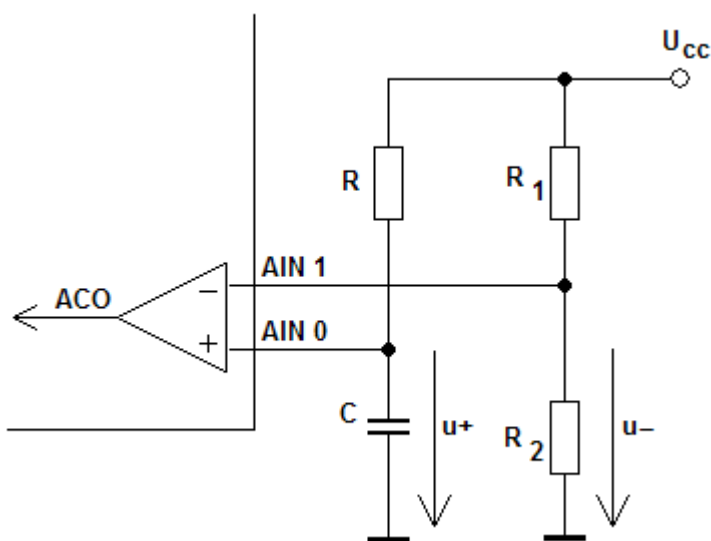
Odpor vedení mezi přístrojem a odporovým snímačem se vlivem změny teploty okolí mění a způsobuje chybu měření. Proto se toto zapojení využívá pro kratší vzdálenosti mezi měřicím místem a vyhodnocovacím přístrojem, nebo pro větší rozsahy teplot tak, aby relativní chyba měření byla v poměru k velikosti rozsahu menší. [21]

Vyvážený Wheatstoneův můstek se v současné době využívá pouze pro velmi přesná měření středně velkých odporů.

3.1.2.2 Komparačně-integrační metoda

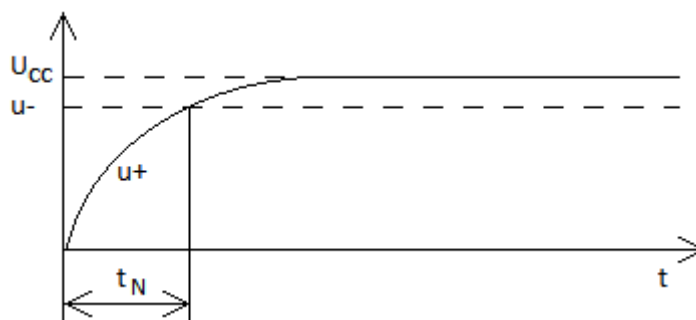
K měření teploty pomocí zabudovaného komparátoru mikropočítače lze použít zapojení, při němž měříme dobu nabíjení kondenzátoru známé hodnoty. Doba nabíjení se mění v závislosti na velikosti odporu zařazeného do série s kondenzátorem. Změnou velikosti

odporu dochází k změně doby nabíjení kondenzátoru. Místo odporu lze použít odporové teplotní čidlo.



Obrázek 7. Zapojení pro měření velikosti odporu pomocí zabudovaného komparátoru [1]

V zapojení z obr. 7 sleduje napětí u_c neinvertující vstup komparátoru u_+ , na invertující vstup u_- je přivedeno napětí pevné hodnoty z odporového děliče $R1$ a $R2$.



Obrázek 8. Časový průběh napětí na kondenzátoru [1]

Nejdříve je kondenzátor vybitý $u_c = 0$ a začíná se nabíjet přes rezistor R . Napětí neinvertujícího vstupu je nižší než napětí invertující vstupu. Výstup komparátoru ACO má tedy hodnotu log. 0. Posléze dosáhne napětí kondenzátoru napětí odporového děliče, v té chvíli se komparátor překlápí do log. 1. Čas mezi začátkem a koncem nabíjení je v obr. 8 označen jako t_N . [1]

Časový průběh napětí na kondenzátoru C při jeho nabíjení přes rezistor R na napětí U_{CC} lze zapsat rovnicí

$$u = U_{CC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{RC}}\right) \quad (V; V; s; \Omega; F) \quad (3.4)$$

Velikost teploty lze vypočítat ze vztahu

$$\frac{R_x}{R_n} = \frac{t_x}{t_n} \quad (\Omega; s) \quad (3.5)$$

$$R_x = \frac{R_n \cdot t_x}{t_n} \quad (\Omega; s) \quad (3.6)$$

$$R_x = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (\Omega; ^\circ C^{-1}; ^\circ C) \quad (3.7)$$

kde R_n je normálový odpor při 0 °C, t_n doba nabíjení kondenzátoru při normálovém odporu a t_x je doba nabíjení měřeného odporu.

3.1.3 Termočlánek

Termočlánek je snímač pro měření teploty. Je složen ze dvou různých kovů spojených do jednoho bodu. Když je tento bod zahříván nebo chlazen, vzniká na jeho koncích termoelektrické napětí. Termočláanky se vyrábějí v různých kombinacích kovů. Protože lze termočláanky využít v širokém rozsahu teplot a mohou být relativně robustní, jsou velmi často používány v průmyslu. Mezi hlavní kritéria při výběru termočláanky patří teplotní rozsah, chemická odolnost, materiál pláště a jeho odolnost vůči vnějším vlivům. [12]

Tabulka 5. Typy často používaných termočláanky [12]

Typ	Materiál termočláanky	Teplotní rozsah	Přesnost	$\Delta V / ^\circ C$ [mV]
typ J	železo – měď/nikl	0°C – 750°C	0,75%	0,053
typ K	nikl/chrom – nikl/hliník	-200°C – 1250°C	0,75%	0,040
typ E	nikl/chrom – měď/nikl	-200°C – 900°C	0,5%	0,069
typ T	měď – měď/nikl	-250°C – 350°C	0,75%	0,041

3.1.4 Čidla s přenosem dat po sběrnici

Sběrnice je prostředníkem mezi procesorem (řídícím obvodem) a připojenými periferiemi. Základním požadavkem na sběrnici je rychlost přenosu. Na jednu sběrnici může být připojeno víc čidel. Jejich výběr je prováděn pomocí adres nebo u sběrnic SPI pomocí chip selektu CS. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché připojení a bezproblémové dodatečné rozšiřování. [13]

Teplotní čidla s výstupem na sběrnici mají nejčastěji 12bitové rozlišení. Toto rozlišení zajistí velkou přesnost měření. Měřící rozsah se obvykle pohybuje v rozmezí -50 až +150 °C s přesností až +/- 0,3 °C. Nejčastěji využívanými sběrnicemi pro tyto senzory je sběrnice I²C a 1-Wire.

Tabulka 6. Příklad několika běžně dostupných čidel pracujících po sběrnici

Typ	Výrobce	Rozsah teplot	Typ sběrnice	Rozlišení [bit]	Přesnost [°C]
LM74CIM	National Semiconductor	-55°C až +155°C	I ² C	12	+/- 3
TC72	Microchip	-55°C až +125°C	SPI	10	+/- 3
TMP275	Texas Instruments	-20°C až +100°C	Two-Wire	9 - 12	+/- 0,5
DS18B20	Maxim	-55°C až +125°C	1-Wire	9 – 12	+/- 0,5

3.2 Přehled možností ovládání tepelné spirály

Jednou z důležitých věcí při výběru součástek a způsobu spínání topného tělesa je výběr vhodného spínacího prvku. Mezi nejrozšířenější způsoby spínání se řadí použití mechanických nebo polovodičových relé a tranzistorů.

3.2.1 Mechanické relé

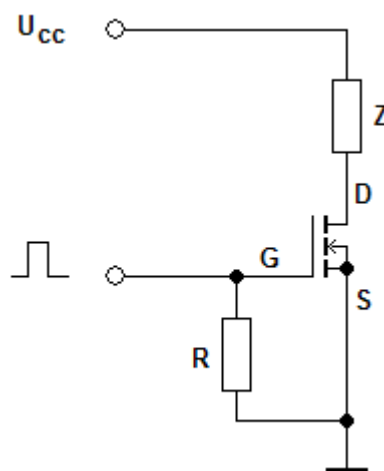
Mechanické relé většinou slouží k spínání větších výkonů, než je výkon spínaného elementu. Relé pracuje na principu elektromagnetu. Jakmile začne procházet elektromagnetem ovládací proud, jádro cívky přes kotvu sepne kontakt relé a zařízení se uvede do chodu. Přitom je k přitažení kotvy relé zapotřebí mnohem menší ovládací proud, než je proud procházející kontakty relé. Kontakty relé mohou být nejen spínací, ale také rozpínací či přepínací.

Výhodou použití relé je možnost elektrického oddělení mezi ovládacím a spínacím napětím, spínání velkých napětí a proudů při nízkém ovládacím napětí nebo ovládání vzdálených zařízení malým řídicím napětím.

Nevýhodou relé je opotřebování kontaktů. Není vhodné ho používat pro ovládání zařízení s vysokou frekvencí spínání.

3.2.2 Unipolární tranzistor

Pokud hovoříme o unipolárních tranzistorech, hovoříme o tranzistorech řízených elektrickým polem. Tyto tranzistory užívají pro vedení proudu pouze polovodič jedné vodivosti – P nebo N. Tranzistor je ovládán napětím přivedeným na řídicí elektrodu. Do této elektrody neteče skoro žádný proud. Typ vodivého kanálu určuje, jakým napětím je tranzistor ovládán.



Obrázek 9. Zapojení MOSFET tranzistoru s indukovaným N - kanálem

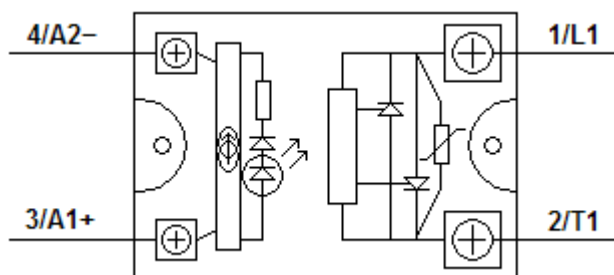
Mezi hlavní výhodu těchto tranzistorů patří velký vstupní odpor v řádu $G\Omega$. Odpor tranzistoru v sepnutém stavu je pak v řádu $m\Omega$ až Ω . Napětí U_{GS} bývá v rozmezí jednotek až desítek voltů. Maximální proud procházející tranzistorem se v závislosti na typu pohybuje od několika mA až po desítky ampér.

Unipolární tranzistory lze použít v zesilovačích, kde se využívá velkého vstupního odporu a možnosti spínat velké proudy, a má také velké uplatnění ve spínacích obvodech, kde se tranzistor chová skoro stejně jako mechanické relé – minimální odpor v sepnutém a velký odpor v rozepnutém stavu. [4]

3.2.3 Polovodičové relé

V průmyslových aplikacích, kde jsou požadovány vysoké spínací kmitočty a krátké spínací cykly, je velkou předností použití polovodičových relé. Nepřítomnost mechanických kontaktů zajišťuje delší životnost a spolehlivost.

Tato relé jsou určena pro zařízení, která vyžadují spínání v nule. Vyrábějí se pro rozmezí 10 až 125 A jmenovitého proudu. Rozsah provozních napětí se pohybuje mezi 12 až 700 V. Řídící napětí je nejčastěji 3 až 32 V DC nebo 18 až 265 V AC. Většina těchto relé je vybavena indikační LED diodou, přepětíovou ochranou v podobě transilu na vstupu a na výstupu pomocí varistoru.



Obrázek 10. Vnitřní zapojení polovodičového relé SO865070

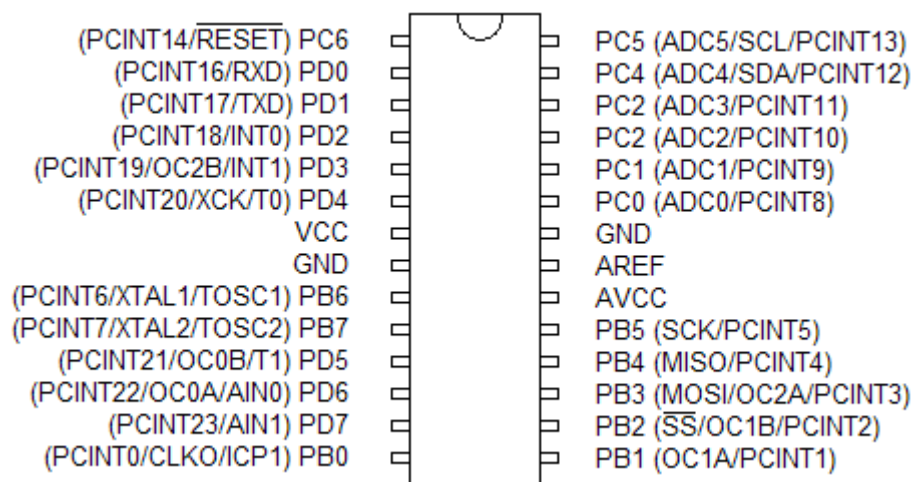
4 Realizace

Pro realizaci automatické regulace řízení teploty je vhodné použití mikroprocesoru v kombinaci s výkonovými spínacími a měřicími prvky a zobrazovacím displejem.

Při výběru procesoru hrály velkou roli tyto požadavky: snadné programování, jednoduché ovládání, přítomnost periférií potřebných pro provoz a realizaci regulace, jeho dostupnost a cena. Z těchto důvodů byl vybrán mikroprocesor firmy Atmel ATMEGA168.

Pro měření teploty je zde použita komparačně-integrační metoda v kombinaci s odporovým čidlem PT500. Toto zapojení bylo nejlépe dostupné a metoda měření se hodí pro zpracování procesorem. Je tak zajištěna i dostatečná přesnost vyhodnocení teploty +/- 1 °C. Řízení ohřevu je realizováno pomocí tranzistorů MOSFET s malým odporem kanálu, který lze řídit přímo mikroprocesorem bez nutnosti dalších součástek. Cirkulace kapalin v nádobách je zajištěna oběhovými čerpadly, která jsou také řízena procesorem.

4.1 Popis mikroprocesoru ATMEGA168



Obrázek 11. Rozmístění pinů procesoru ATMEGA168

Vlastnosti mikroprocesoru:

- 8-bitový AVR mikroprocesor
- Hodinový kmitočet 0 – 20MHz
- Interní oscilátor 0 – 8MHz
- Kapacita paměti Flash – 16 kB

Kapacita paměti EEPROM – 512 B
2 x 8-bitový čítač / časovač
1 x 16-bitový čítač / časovač
8-kanálový 10-bitový AD převodník
Analogový komparátor
Multiplexor
SPI rozhraní (Serial Peripheral Interface)
Synchronní / asynchronní sériové rozhraní USART
23 programovatelných vstupů / výstupů
Provozní napětí 2,7 – 5,5 V

4.2 Odporové čidlo

Pro měření teploty byly použity snímače teploty PT500 v průmyslovém provedení. Snímače se skládají z pouzdra, ve kterém je umístěn měřící odpor, a přívodního kabelu se silikonovou izolací se stíněním. Pouzdro snímače je vyrobeno z nerez oceli. Připojení teplotního čidla je provedeno čtyřvodičovou metodou. Konstrukce pouzdra umožňuje přímou montáž snímačů bez použití jímek, čímž je zajištěna rychlá časová odezva na změny teploty. Snímače v tomto provedení jsou určeny pro provoz v chemicky mírně agresivním prostředí. [22]



Obrázek 12. Použité čidlo PT500 [22]

Tabulka 7. Základní technické parametry použitého odporového čidla PT500 [22]

Snímací prvek	Tenkvrstvý platinový odpor
Maximální rozsah pracovních teplot	-50 °C až 400 °C
Odpor při 0°C	500 Ω
Dlouhodobá stabilita odporu	0,03 % po 1000 hod. při teplotě 400 °C
Doporučený / maximální ss měřicí proud	0,5 mA / 1,5 mA
Třída přesnosti	Třída B

Tabulka 8. Porovnání závislostí hodnot odporu na teplotě pro třídy přesnosti A a B [22]

Teplota [°C]	Odpor [Ω]	Třída A		Třída B	
		ΔT [°C]	ΔR [Ω]	ΔT [°C]	ΔR [Ω]
-50	401,53	+/- 0,25	+/- 0,50	+/- 0,55	+/- 1,09
0	500	+/- 0,15	+/- 0,29	+/- 0,30	+/- 0,51
100	692,53	+/- 0,35	+/- 0,66	+/- 0,80	+/- 1,51
200	879,28	+/- 0,55	+/- 1,01	+/- 1,30	+/- 2,39
400	1235,46	+/- 0,95	+/- 1,63	+/- 2,30	+/- 3,96

4.3 Zobrazovací displej

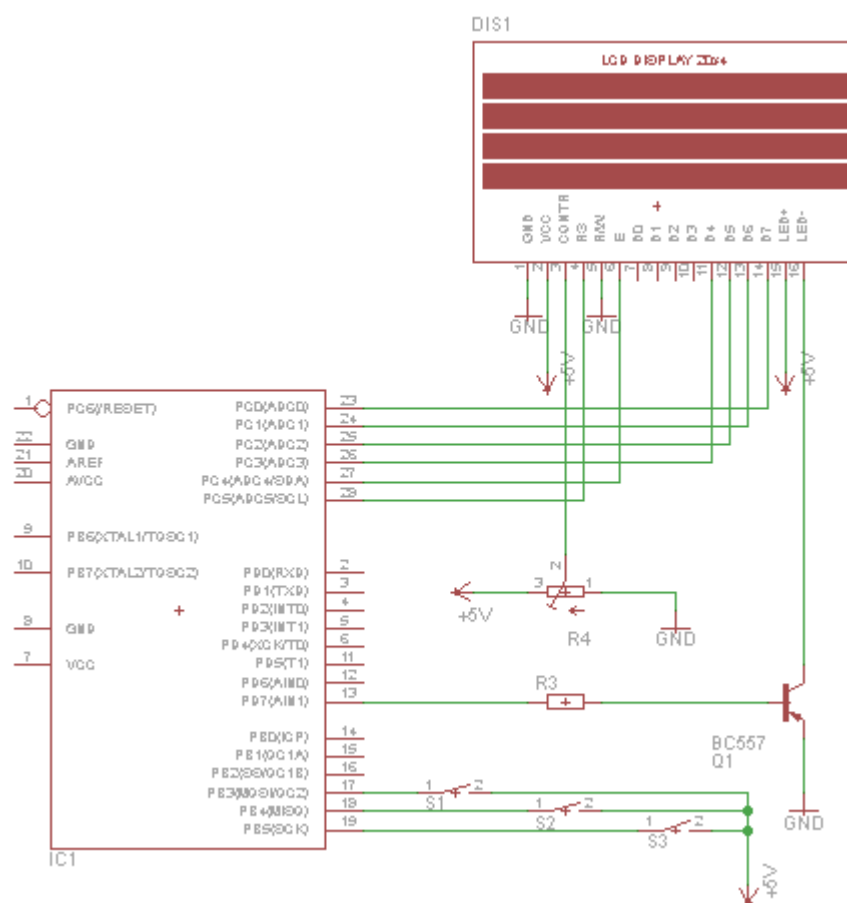
Zobrazování údajů o aktuální teplotě a nastaveném čase je realizováno pomocí čtyřřádkového LED displeje s řadičem HD47780. Tento displej se vyznačuje jednoduchým ovládáním a pro zobrazení požadovaných informací je dostačující.

Displej komunikuje pomocí 4-bitové sběrnice. Při tomto druhu komunikace jsou využity jen 4 datové vodiče *DB4 – DB7*. To je vyhovující hlavně kvůli využití menšího počtu pinů mikropočítače. Vývody displeje jsou zapojeny podle následující tabulky.

Tabulka 9. Rozmístění pinů displeje

1	V _{SS}	GND
2	V _{CC}	+5V
3	V _O	nastavení kontrastu
4	RS	instrukce / data
5	RW	zápis / čtení
6	E	hodinový vstup

7	DB0	data 0
8	DB1	data 1
9	DB2	data 2
10	DB3	data 3
11	DB4	data 4
12	DB5	data 5
13	DB6	data 6
14	DB7	data 7
15	LED +	anoda podsvícení
1	LED -	katoda podsvícení



Obrázek 13. Schéma připojení displeje

Pro ovládání bylo navrženo a realizováno menu ovládající se třemi tlačítky. Zobrazení menu na displeji je aktualizováno pravidelně každých 33 ms. K tomu je využito čítače / časovače 0. Tato inicializace je nezávislá na dalším běhu programu. Tak bylo možno docílit vždy aktuálních dat.

Výpis části dat programu

```

int main(){
    ...
    lcd_init(LCD_DISP_ON);           //inicializace displeje
    ...
    TCNT0 = 0;                       // vynulování registru č/č 0
    TIMSK0 = (1<<TOIE0);           // přerušení od přetečení TCNT0
    TCCR0B = (1<<CS02) | (1<<CS00); // nastavení předděličky
    ...

ISR(TIMER0_OVF_VEC){               // přerušení po přetečení TCNT0
    ...
    kk = ((t02 / t00) - 1) / 0.0038506; //výpočet teploty
    lcd_gotoxy(12,1);              // nastavení kurzoru
    sprintf(text, "%02.1f", kk);
    lcd_puts(text);                // vypsání hodnoty
    ...
}

```

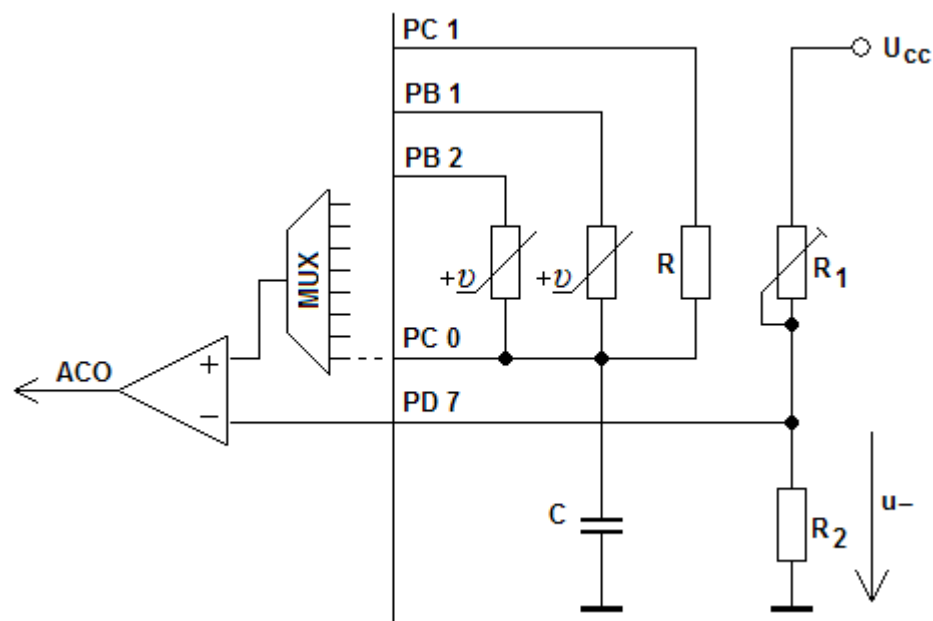


Obrázek 14. Zobrazení na displeji

4.4 Měření teploty

Pro měření teploty byla zvolena komparačně-integrační metoda. Tímto způsobem lze docílit dostatečné přesnosti i rychlosti měření. Pro realizaci měření bylo použito zapojení z kapitoly 3.1.2.2 s drobnými změnami.

Komparátor porovnává referenční napětí s napětím napájecím, které má vzrůstající tendenci díky nabíjení kondenzátoru. V tomto obvodu je zapojen kondenzátor známé hodnoty a pomocí odporového čidla *PT500* proměnný teplotně závislý odpor. Procesorem je pak měřena doba, za kterou se kondenzátor nabije na hodnotu vyšší, než je referenční napětí. Dojde k překlopení bitu *ACO* na log. 1.



Obrázek 15. Skutečné zapojení komparátoru

Referenční napětí je nastaveno odporovým děličem složením z odporu R_2 a trimru R_1 pro přesné doladění referenční hodnoty. Při oživování přípravku byla hodnota tohoto napětí nastavena na 0,9 V.

Nabíjení kondenzátoru je řízeno procesorem přes piny $PC1$, $PB1$ a $PB2$. Měření délky nabíjení je pak realizováno přes multiplexor připojený na neinvertující vstup komparátoru. Referenční napětí je připojeno na invertující vstup komparátoru. Měření probíhá postupně. Nejprve je změřen kalibrační odpor složený ze dvou paralelně zapojených $1k \Omega$ rezistorů, poté je měřena hodnota jednotlivých odporových čidel PT500. Naměřené hodnoty jsou dále zpracovávány, průměrovány a přepočteny na teplotu. Jednotlivé měřicí cykly probíhají v periodě 66 ms.

Přepočet času nabíjení kondenzátoru na teplotu vychází ze vzorce 3.7

(4.1)

$$\Delta T = \frac{t_x - t_n}{\alpha} \quad (^\circ\text{C}; s; ^\circ\text{C}^{-1})$$

kde T je velikost teploty, t_x je doba nabíjení kondenzátoru přes odporové čidlo, t_n je doba nabíjení kondenzátoru přes kalibrační odpor.

(4.2)

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} = \frac{692,53 - 500}{100 \cdot 500} = 0,0038506 \quad (^\circ\text{C}^{-1}; \Omega)$$

kde R_0 je hodnota odporu čidla při 0°C a R_{100} je hodnota odporu čidla při 100°C .

Tabulka 10. Registr analogového komparátoru

7	6	5	4	3	2	1	0
ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0
R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

Výpis části dat programu

```

int main(){
    ...
    ADCSRB |= (1<<CME);           //ADC multiplexor na AIN1
    ADCSRA = (0<<ADEN);           //vypnutí ADC kvůli MUX
    ADMUX |= (1<<MUX0);           //nastavení ADC1 na AIN1
    ACSR = 0b00000011;           //přerušení AK – náběžná hrana
    ...
    TCCR1A = 0;                   // vynulování registru č/č 1
    TIMSK1 = (1<<TOIE1);         // přerušení od přetečení TCNT1
    TCCR1B = (1<<CS11);          // nastavení předděličky
    ...

ISR(TIMER1_OVF_VEC){           // přerušení po přetečení TCNT1
    ...
    DDRB=0b11111001;            //PB1-vstupní, PB2-vstupní
    DDRC=0b00111110;            //PC1-výstupní
    ACSR=0b00000011;            //přerušení AK – náběžná hrana
    PORTC |= (1<<PC1);           //nabíjení C
    while (ACSR & (1<<ACO)){     // pokud je AK v log.1
        teplota++;
    }
    DDRB=0b11111111;            //PB1-vstupní, PB2-vstupní
    DDRC=0b00111110;            //PC1-vstupní
    PORTC &= ~(1<<PC1);          //vybíjení C
    PORTB &= ~(1<<PB1);          //vybíjení C
    PORTB &= ~(1<<PB2);          //vybíjení C
    ...
}

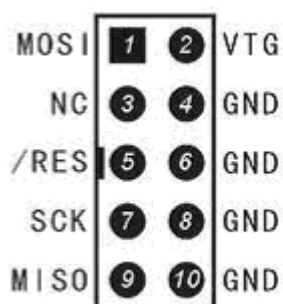
```

4.5 Programování procesoru

Procesory ATMEL AVR lze programovat nejen klasicky v programátoru pomocí paralelního programování vnitřní paměti Flash, ale i po speciálním rozhraní ISP (In System Programming), které používá šestivodičové připojení procesoru k programátoru.

ISP obsahuje napájecí napětí, ovládání pinu /RESET, vodiče pro sériový zápis (MOSI) a čtení (MISO) obsahu interních pamětí Flash a Eeprom a jeden vodič pro synchronizaci přenosu dat (SCK).

Vzhledem k tomu, že připojení programátoru zabere pouze tři vývody, které jsou využity zároveň k ovládání tlačítek menu, lze procesor programovat přímo v aplikaci pomocí speciálního desetipólového konektoru bez nutnosti vyndávat procesor z patice a vkládat ho do programátoru. [18]



Obrázek 16. Zapojení konektoru pro programování [19]

Pro psaní programu byl použit volně šiřitelný program AVR Studio 4. Jedná se o integrované vývojové prostředí pro vývoj programů pro procesory Atmel AVR s možností integrace překladů jazyka C/C11. Prostředí obsahuje rovněž simulátor procesorů AVR a přímo podporuje základní druhy ladících nástrojů Atmel. [20]

4.6 Cirkulace kapaliny

Teplotní rozdíly v různých částech nádoby jsou dány nerovnoměrným zahříváním způsobeným umístěním tepelné spirály jen ve středu nádoby. Nerovnoměrná teplota uvnitř nádoby má za následek nerovnoměrné působení na vyvolávající se film. Dochází tak k nerovnoměrnému vyvolání, kdy část filmu je přeexponovaná a část nedoexponovaná.

Za tímto účelem byla pořízena a instalována malá čerpadla, pomocí kterých se má kapalina promísit, a docílit tak rovnoměrné teploty.

Pro každou nádobu bylo využito jedno čerpadlo. Lze je ovládat (zapnout nebo vypnout) v nastavení v menu.



Obrázek 17. Zobrazení na displeji

4.7 Deska plošného spoje

Pro realizaci měřicího přípravku byla vyvinuta a odzkoušena jednovrstvá deska plošného spoje. Tato deska byla napasována do plastové krabičky a osazena odnímatelnými průmyslovými konektory pro lepší manipulaci s přípravkem.

Samotná deska je osazena klasickými součástkami v drátovém provedení. Z důvodu reálného oteplování výkonových součástek byl na desku umístěn také pasivní chladič opatřený větráčkem.

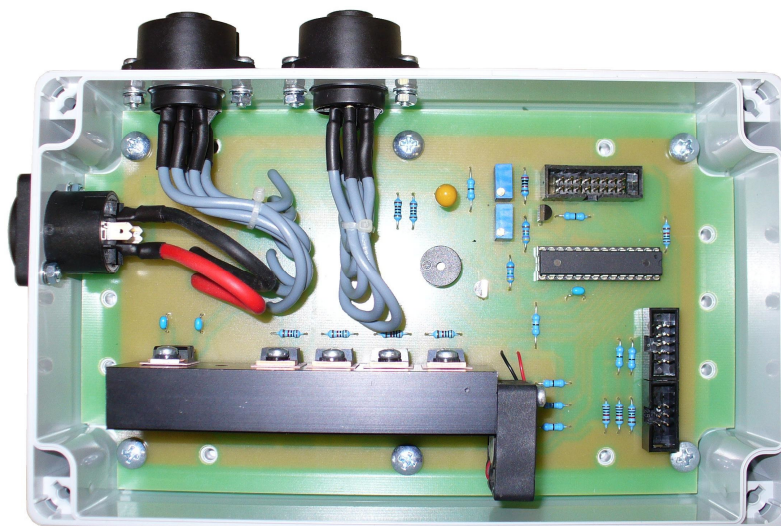
Z důvodu odpojitelosti vrchního víka s displejem a ovládacími tlačítky byly použity pro připojení těchto komponentů dvouřadé konektory pro ploché kabely.

Kvůli zjednodušení desky plošného spoje je zde také umístěno několik propojek, které jsou realizovány pomocí 0Ω rezistorů.

Tabulka 11. Seznam použitých součástek

označení	hodnota / typ	poznámka	ks	cena [kč]	cena celkem [kč]
IC1	Atmega168	DIP28	1	98,00	98,00
DIS1	LED, 4 x 20 znaků	MC2004B	1	328,00	328,00
IC2	7805	TO220	1	7,30	7,30
Q2, Q3, Q4, Q5	IRFZ44	TO220	4	15,50	62,00
Q1, Q6	BC557	TO92	2	1,10	2,20
R4	10 k Ω	64 Y 10K	1	9,10	9,10
R11	100 k Ω	64 Y 100K	1	9,10	9,10
R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23	0Ω		8	1,00	8,00
R7, R8	1 k Ω	0,6 W, 0,1 %	2	1,00	2,00
R3, R9	4,7 k Ω	0,6 W, 0,1 %	2	1,00	2,00
R1, R2, R5, R6, R12, R13, R14, R15	10 k Ω	0,6 W, 0,1 %	8	1,00	8,00

R10	20 k Ω	0,6 W, 0,1 %	1	1,00	1,00
SG1	F/UCW03LF		1	70,60	70,60
C1, C2, C3	100 nF	100 V, RM5	3	1,00	3,00
C4	100 uF	6,3 V	1	14,50	14,50
SV1	6pol.	2 x 3 (2,54)	1	5,00	5,00
SV2	10pol.	2 x 5 (2,54)	1	3,50	3,50
SV3	16pol.	2 x 8 (2,54)	1	7,30	7,30
X2, X3	7pol.	CA 6 GD	2	97,00	194,00
X1	4pol.	Neutrik NL4MP	1	51,00	51,00
S1, S2, S3	tlačítko 1-pólové	průměr 16 mm	3	67,00	201,00
	krabice		1	286,00	286,00
Cena celkem					1372,60



Obrázek 18. Vnitřek přípravku



Obrázek 19. Celkový pohled

Závěr

V této práci bylo provedeno srovnání materiálů pro filmové předlohy pro výrobu desek plošných spojů.

Vzájemným porovnáním těchto filmů byly zjištěny drobné odlišnosti u jednotlivých druhů filmů. Byla vytvořena srovnávací tabulka hlavních parametrů od různých výrobců. Mezi nejdůležitější parametry pro porovnávání patří rozměrová stabilita a ostrost předlohy.

Dále zde bylo popsáno stávající zařízení, ke kterému bylo za úkol vytvořit obvod pro automatickou regulaci a měření teploty. Tento obvod byl realizován a odzkoušen. Měřením bylo zjištěno, že použitá komparačně-integrační metoda je pro měření teploty vhodná a pro dané zapojení i dostatečně přesná ± 1 °C. Větší přesnost měření byla docílena snížením referenčního napětí komparátoru. Tím bylo možno měřit na strmé části nabíjecí charakteristiky kondenzátoru. Při vyšším referenčním napětí docházelo k velkým rozdílům v měření.

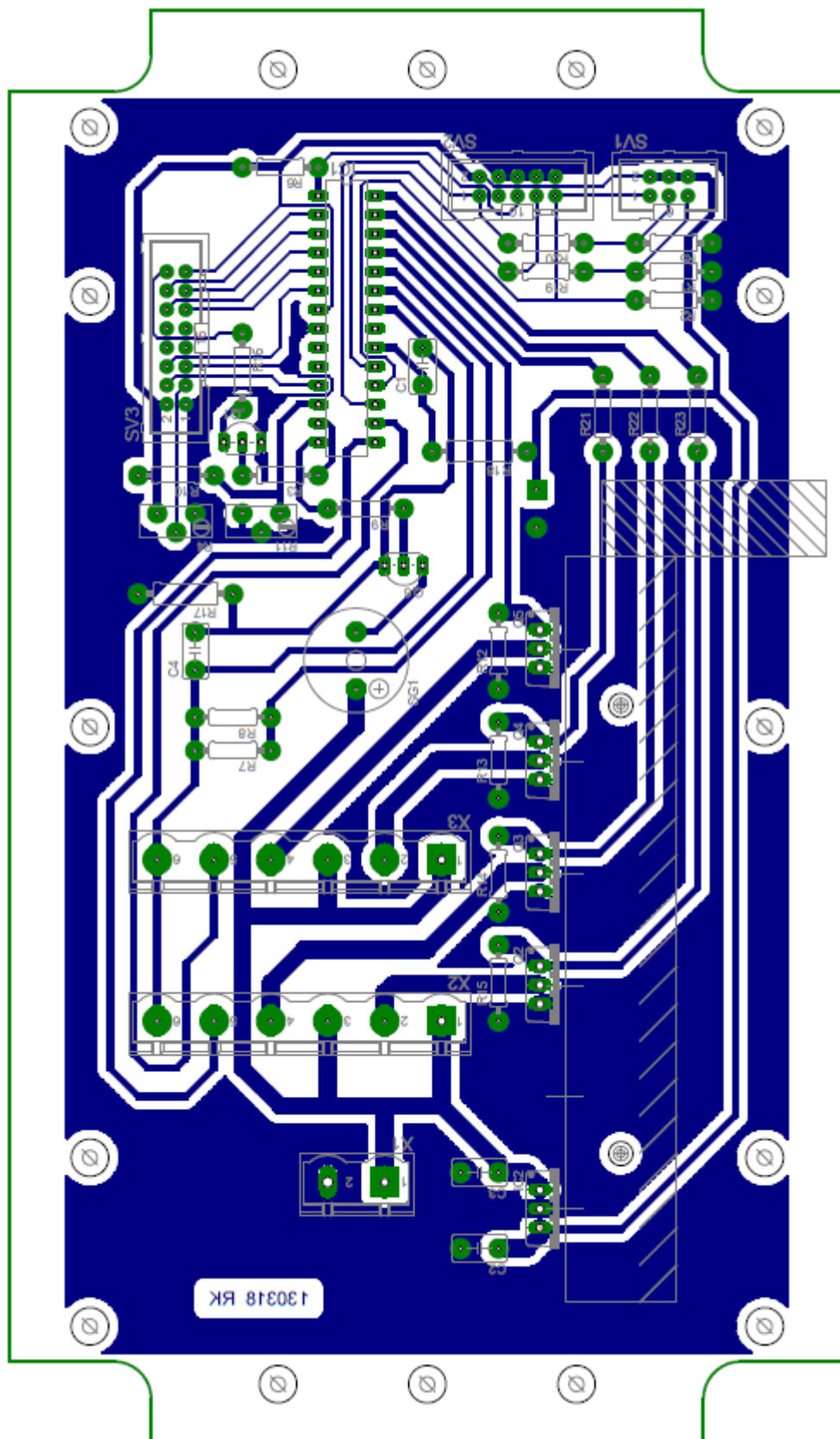
Ovládání tepelných spirál při testech fungovalo bezchybně. Obvod pro cirkulaci kapalin byl při testování ještě doplněn o výkonový odpor zapojený do série s čerpadlem. Tímto zapojením došlo k snížení otáček čerpadla a pomalejší – vhodnější rychlosti pro cirkulaci kapalin.

Použitá literatura

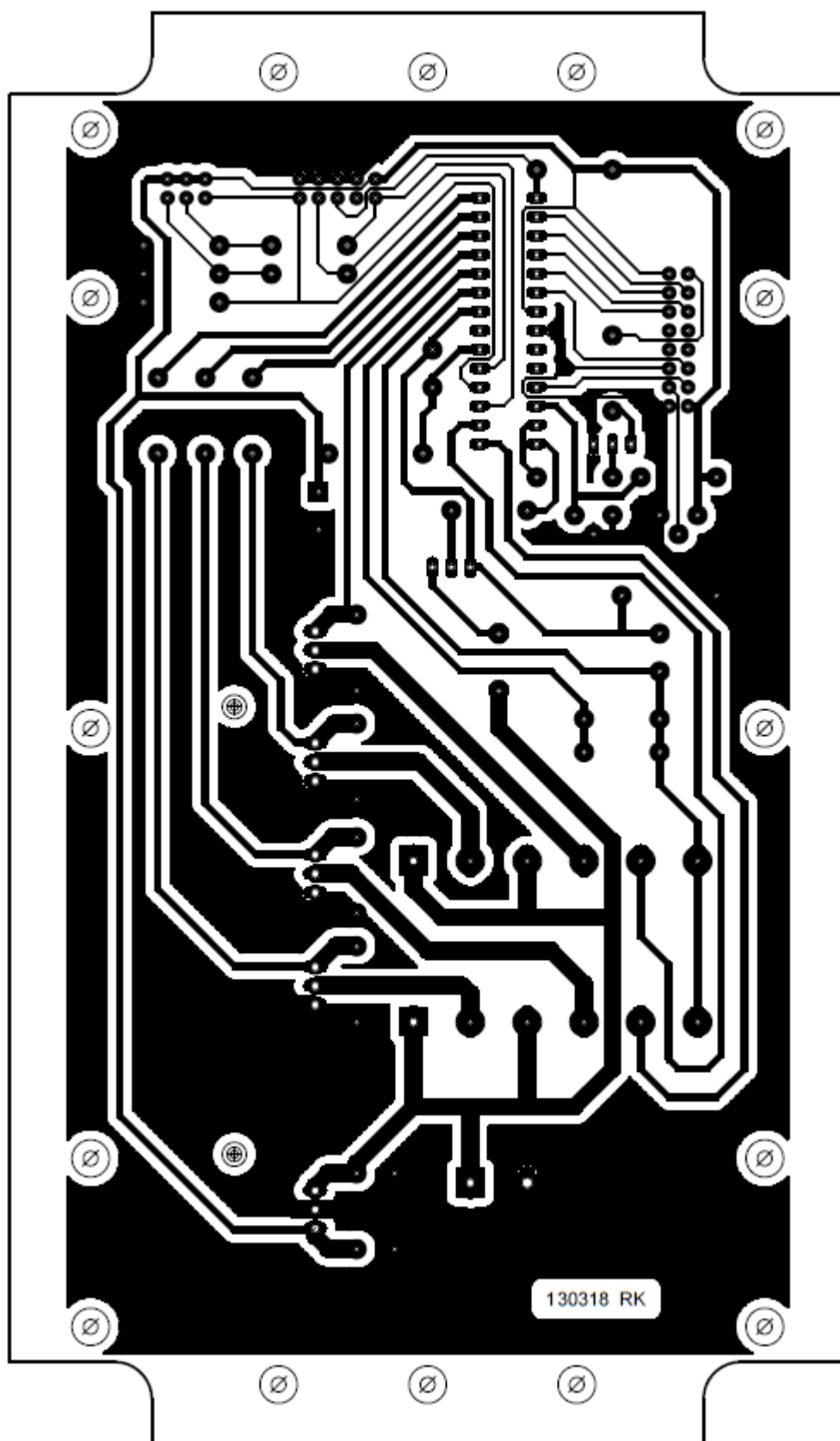
- [1] Matoušek, D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR AT90S; BEN – technická literatura, Praha 2006
- [2] Matoušek, D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051; BEN – technická literatura, Praha 2004
- [3] Elektromagnetické relé [cit. z 13.1.2013]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_rel%C3%A9
- [4] Unipolární tranzistory – základní popis, principy [cit. z 13.1.2013]. Dostupné z: <http://www.vsvadbik.cz/products/unipolarni-tranzistory-zakladni-popis-principy/>
- [5] Osvit motivu [cit. z 15.1.2013]. Dostupné z: <http://www.printed.cz/osvit-motivu-888>
- [6] Domácí výroba plošných spojů fotocestou [cit. z 15.1.2013]. Dostupné z: http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PCB.cs.html
- [7] Dimensional Stability [cit. z 19.1.2013]. Dostupné z: <http://www.polyprint.com/flexographic-stability.htm>
- [8] PCB Brochure [cit. z 15.1.2013]. Dostupné z: http://www.kodak.com/eknec/documents/5a/0900688a802aa85a/EN_pcb-brochure.pdf
- [9] Fuji Photoplotting Film HPR-7S [cit. z 15.1.2013]. Dostupné z: http://www.ngspcb.com/frontend/disppagecont.aspx?type=page&page_id=2&auth_require=N
- [10] Kodak Accumax Photoplotter Film ABG7 [cit. z 19.1.2013] Dostupné z: http://www.kodak.com/ek/US/en/Aerial_Industrial_Markets/Printed_Circuit_Board_Products/Films/Photoplotter_Films/ACCUMAX_Photoplotter_Film_ABG7.htm
- [11] Měření teploty – polovodičové odporové senzory teploty [cit. z 25.1.2013]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [12] Úvod do termočlánků [cit. z 2.1.2013]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [13] Sběrnice I2C, o co jde a jak pracuje [cit. z 2.2.2013]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/iic.htm>
- [14] Elektromagnetické spektrum [cit. z 5.2.2013]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- [15] Idealine RPF and OPF: technical information [cit. z 10.2.2013]. Dostupné z: http://www.agfa.com/docs/sp/phototooling/2_02_a_Tech_Info_OPF_RPF.pdf
- [16] Polovodičové součástky bez přechodu PN [cit. z 12.2.2013]. Dostupné z: <http://352lab.vsb.cz/ServerFinalVer/Tonhauser/polo.html>
- [17] ATmega48P/88P/168P [cit. z 25.2.2013]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8025.pdf>
- [18] AVR ISP Prog [cit. z 3.2.2013]. Dostupné z: http://avr.hw.cz/isp_prog/isp_prog.html
- [19] Atmel AVRISP STK500 USB ISP Programmer [cit. z 3.2.2013]. Dostupné z: http://www.seeedstudio.com/wiki/Atmel_AVRISP_STK500_USB_ISP_Programmer
- [20] Programování procesorů ATMEL AVR [cit. z 4.2.2013]. Dostupné z: http://www.mlab.cz/Modules/AVR/Text_Prog/DOC/Programovani%20AVR.cs.pdf
- [21] Teplota [cit. z 18.3.2013]. Dostupné z: <http://valter.byl.cz/sites/default/files/cidla.pdf>
- [22] Snímače teploty T13 [cit. z 20.3.2013]. Dostupné z: <http://www.sensit.cz/sortiment/snimace-teploty-odporoveTP13.php>

- [23] Odporové snímače teploty [cit. z 20.3.2013]. Dostupné z:
http://www.jsp.cz/files/uvod_C.pdf
- [24] Programujeme AVR v jazyku C [cit. z 5.2.2013]. Dostupné z:
<http://svetelektro.com/clanky/programujeme-avr-v-jazyku-c-6-cast-459.html>
- [25] Programování v jazyku C/C++ [cit. z 5.2.2013]. Dostupné z:
<http://www.sallyx.org/sally/c/>

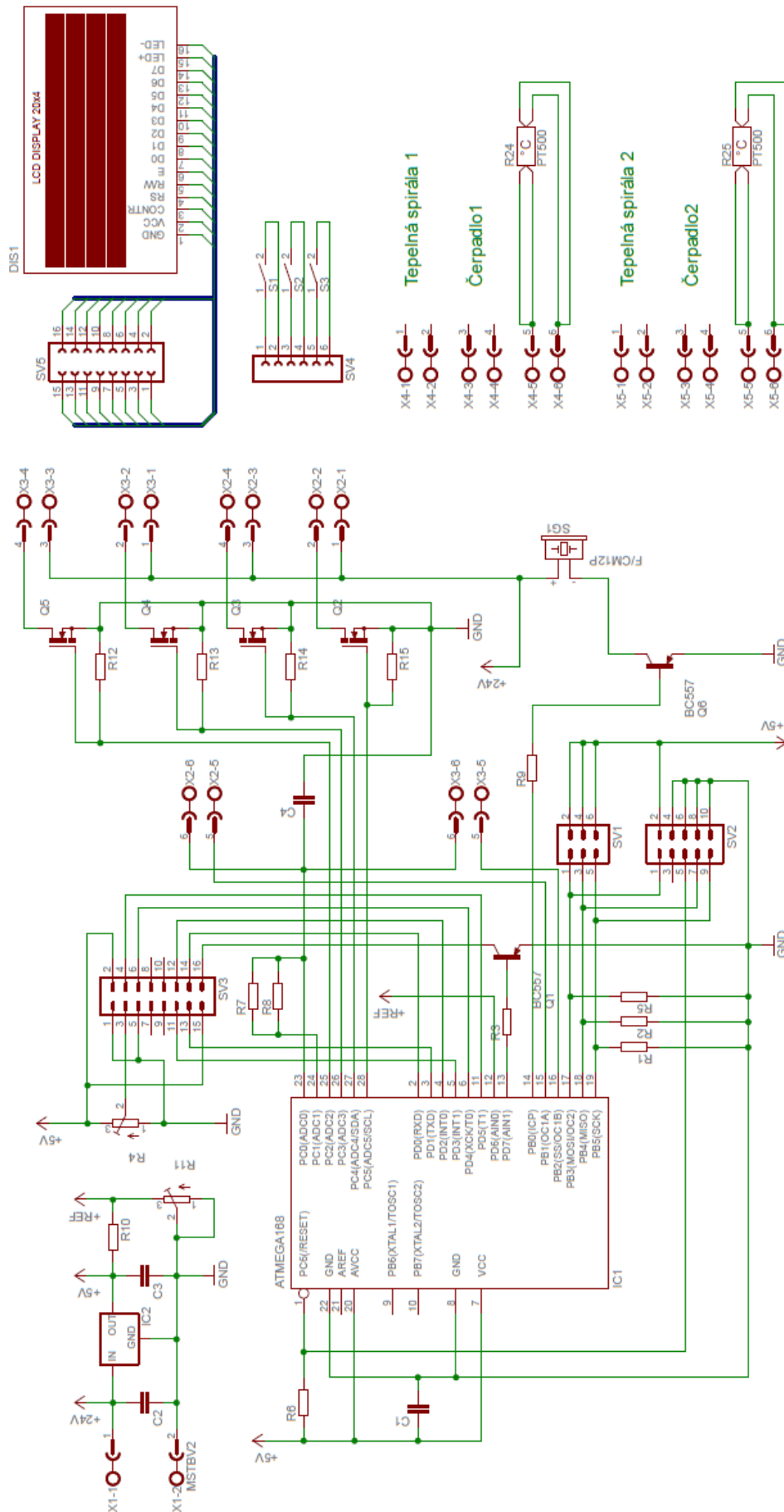
Příloha A



Obrázek A1. Osazovací výkres



Obrázek A2. Deska plošného spoje



Obrázek A3. Schéma zapojení

Příloha B – zdrojový kód

```

#include <stdio.h>
#include "lcd.h"
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <stdlib.h>

volatile unsigned char text[20], hodnota[3];
volatile unsigned int t0[10], t1[10], t2[10];
unsigned short int teplota, teplota0, teplota1, teplota2;
int rad=0, obr;
int cekej = 30, cas = 47;
int mer1=0, mer2=0, mer=0;
int min, sec, hys;
int odcitani = 0, cas_m, cas_s;
int i = 0, p = 0;

//--- aktivace EEPROM -----
void EEPROM_write (unsigned int uiAddress, unsigned char ucData){
    while (EECR & (1<<EEPE));
    EEAR = uiAddress;
    EEDR = ucData;
    EECR |= (1<<EEMPE);
    EECR |= (1<<EEPE);
}
unsigned char EEPROM_read (unsigned int uiAddress){
    while (EECR & (1<<EEPE));
    EEAR = uiAddress;
    EECR |= (1<<EERE);
    return EEDR;
}
//-----
//--- zobrazení teploty -----
ISR(TIMER0_OVF_vect){
    cli();

    int t11, t12, t21, t22;
    float uu, kk, t00, t01, t02;
    if(rad == 0 | rad == 3){
        lcd_gotoxy(12,0);
        sprintf(text, "%2d:%02d", hodnota[1], hodnota[2]);
        lcd_puts(text);

        if(t2[9] != 0){
            t00 = (t0[0] + t0[1] + t0[2] + t0[3] + t0[4] + t0[5] + t0[6] + t0[7] + t0[8] + t0[9]) / 10;
            t01 = (t1[0] + t1[1] + t1[2] + t1[3] + t1[4] + t1[5] + t1[6] + t1[7] + t1[8] + t1[9]) / 10;
            t02 = (t2[0] + t2[1] + t2[2] + t2[3] + t2[4] + t2[5] + t2[6] + t2[7] + t2[8] + t2[9]) / 10;

            uu = ((t01 / t00) - 1) / 0.0038506;

            lcd_gotoxy(11,1);
            sprintf(text, "%02.1f", uu);
            lcd_puts(text);

            kk = ((t02 / t00) - 1) / 0.0038506;

            lcd_gotoxy(11,2);
            sprintf(text, "%02.1f", kk);
            lcd_puts(text);
        }
    }
    if(rad == 4 | rad == 5 | rad == 6 | rad == 7){
        lcd_gotoxy(12,1);
        sprintf(text, "%2d:%02d", EEPROM_read(1), EEPROM_read(2));
        lcd_puts(text);
        lcd_gotoxy(11,2);
        sprintf(text, "%2d.%1d", EEPROM_read(15), EEPROM_read(16));
        lcd_puts(text);
        lcd_gotoxy(11,3);
        sprintf(text, "%2d.%1d", EEPROM_read(8), EEPROM_read(9));
        lcd_puts(text);
    }
}

```



```

}
if(rad == 8 | rad == 9 | rad == 10 | rad == 11){
    lcd_gotoxy(14,1);
    if(EEPROM_read(5) == 1){
        lcd_puts("zap");
    }
    else{
        lcd_puts("vyp");
    }
    lcd_gotoxy(14,2);
    if(EEPROM_read(6) == 1){
        lcd_puts("zap");
    }
    else{
        lcd_puts("vyp");
    }
    lcd_gotoxy(14,3);
    if(EEPROM_read(7) == 1){
        lcd_puts("zap");
    }
    else{
        lcd_puts("vyp");
    }
}
if(rad == 12 | rad == 13){
    lcd_gotoxy(14,1);
    if(EEPROM_read(4) == 1){
        lcd_puts("zap");
    }
    else{
        lcd_puts("vyp");
    }
}
}

if(kk < (EEPROM_read(15) - EEPROM_read(8) + ((EEPROM_read(16) - EEPROM_read(9)) / 10))){
    PORTC |= (1<<PC3);
}
else{
    PORTC &= ~(1<<PC3);
}
if(uu < (EEPROM_read(15) - EEPROM_read(8) + ((EEPROM_read(16) - EEPROM_read(9)) / 10))){
    PORTC |= (1<<PC5);
}
else{
    PORTC &= ~(1<<PC5);
}

sei();
}
//-----
//--- měření teploty -----
ISR(TIMER1_OVF_vect){
    cli();
    //přerušeni po přetečení TCNT1 - |OVF|

    if(mer == 2){
        DDRB=0b11111101; //PB1 - vstupní, PB2 - výstupní
        DDRC=0b00111100; //PC1 - vstupní
        ACSR = 0b00000011; //povoleno přerušeni AK - náběžná hrana
        teplota2 = 0;
        PORTB |= (1<<PB2); //nabíjení C
        while(ACSR & (1<<ACO)){
            teplota2++;
        }
        DDRB=0b11111111; //PB1 - vstupní, PB2 - výstupní
        DDRC=0b00111110; //PC1 - vstupní
        PORTB &= ~(1<<PB2); //vybíjení C
        PORTB &= ~(1<<PB1); //vybíjení C
        PORTC &= ~(1<<PC1); //vybíjení C
        t2[p] = teplota2; //zápis teploty do registru
        mer = 3;
    }

    if(mer == 1){
        DDRB=0b11111011; //PB1 - výstupní, PB2 - vstupní
        DDRC=0b00111100; //PC1 - vstupní
    }
}

```

```

        ACSR = 0b00000011; //povoleno přerušení AK - náběžná hrana
        teplota1 = 0;
        PORTB |= (1<<PB1); //nabíjení C
        while(ACSR & (1<<ACO)){
            teplota1++;
        }
        DDRB=0b11111111; //PB1 - vstupní, PB2 - výstupní
        DDRC=0b00111110; //PC1 - vstupní
        PORTB &= ~(1<<PB1); //vybíjení C
        PORTB &= ~(1<<PB1); //vybíjení C
        PORTC &= ~(1<<PC1); //vybíjení C
        t1[p] = teplota1; //zápis teploty do registru
        mer = 2;
    }

    if(mer == 0){
        DDRB=0b11111001; //PB1 - vstupní, PB2 - vstupní
        DDRC=0b00111110; //PC1 - výstupní
        ACSR = 0b00000011; //povoleno přerušení AK - náběžná hrana
        teplota0 = 0;
        PORTC |= (1<<PC1); //nabíjení C
        while(ACSR & (1<<ACO)){
            teplota0++;
        }
        DDRB=0b11111111; //PB1 - vstupní, PB2 - vstupní
        DDRC=0b00111110; //PC1 - vstupní
        PORTC &= ~(1<<PC1); //vybíjení C
        PORTB &= ~(1<<PB1); //vybíjení C
        PORTC &= ~(1<<PC1); //vybíjení C
        t0[p] = teplota0; //zápis teploty do registru
        mer = 1;
    }

    if(mer == 3){
        mer = 0;
        p++;
    }
    if(p == 10){
        p = 0;
    }

    sei();
}
//-----
//--- zobrazení na displeji -----
int display(){
    cli();
    lcd_clrscr();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts("> START");
    lcd_gotoxy(5,1);
    lcd_puts("t 1 C");
    lcd_gotoxy(16,1);
    lcd_putc(0b11011111);
    lcd_gotoxy(5,2);
    lcd_puts("t 2 C");
    lcd_gotoxy(16,2);
    lcd_putc(0b11011111);
    lcd_gotoxy(4,3);
    lcd_puts("nastaveni");
    sei();
    return;
}

int nastaveni1(){
    cli();
    lcd_clrscr();
    if(rad == 4){
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_puts("> ");
    }
    lcd_gotoxy(3,0);
    lcd_puts("navrat");
    lcd_gotoxy(5,1);
    lcd_puts("cas");
}

```

```

        lcd_gotoxy(5,2);
        lcd_puts("tepl. C");
        lcd_gotoxy(16,2);
        lcd_putc(0b11011111);
        lcd_gotoxy(5,3);
        lcd_puts("hys. C");
        lcd_gotoxy(16,2);
        lcd_putc(0b11011111);
        sei();
        return;
    }
    int nastaveni2(){
        cli();
        lcd_clrscr();
        if(rad == 9){
            lcd_gotoxy(0,1);
            lcd_puts("-> ");
        }if(rad == 11){
            lcd_gotoxy(0,3);
            lcd_puts("-> ");
        }
        lcd_gotoxy(3,0);
        lcd_puts("navrat");
        lcd_gotoxy(5,1);
        lcd_puts("cerp. 1");
        lcd_gotoxy(5,2);
        lcd_puts("cerp. 2");
        lcd_gotoxy(5,3);
        lcd_puts("zvuk");
        sei();
    }
    int nastaveni3(){
        cli();
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy(3,0);
        lcd_puts("navrat");
        lcd_gotoxy(5,1);
        lcd_puts("podsv.");
        sei();
    }
}
//-----
//--- ovládání tlačítek -----
int plus(){
    cli();
    lcd_gotoxy(0,rad % 4);
    lcd_puts(" ");
    if(rad == 0){
        rad = 3;
    }

    if(rad == 4 | rad == 5 | rad == 6 | rad == 9 | rad == 10){
        rad++;
        goto skok_1;
    }
    if(rad == 7){
        rad = 9;
        nastaveni2();
    }
    if(rad == 11){
        rad = 13;
        nastaveni3();
    }
    skok_1:
    lcd_gotoxy(0,rad % 4);
    lcd_puts("->");
    sei();
}

int minus(){
    cli();
    lcd_gotoxy(0,rad % 4);
    lcd_puts(" ");
    if(rad == 3){
        rad = 0;
    }
    if(rad == 11 | rad == 10 | rad == 7 | rad == 6 | rad == 5){

```

```

        rad--;
        goto skok_2;
    }
    if(rad == 9){
        rad = 7;
        nastaveni1();
    }
    if(rad == 13){
        rad = 11;
        nastaveni2();
    }
    skok_2:
    lcd_gotoxy(0,rad % 4);
    lcd_puts(">");
    sei();
}

int akce(){
    switch(rad){
        case 0:
            odpocet();
            break;
        case 3:
            rad = 4;
            nastaveni1();
            break;
        case 4:
            rad = 0;
            display();
            break;
        case 5:
            nastav_cas();
            break;
        case 6:
            nastav_teplotu();
            break;
        case 7:
            hystereze();
            break;
        case 13:
            podsviceni();
            break;
        case 9:
            cerp_1();
            break;
        case 10:
            cerp_2();
            break;
        case 11:
            zvuk();
            break;
    }
}

//-----
//--- bzučák -----
int bzucak(){
    PORTB |= (1<<PB0);
    _delay_ms(cekej);
    PORTB &= ~(1<<PB0);
}

//-----
//--- bzučák - pípnutí -----
int bzucak_pip(){
    cli();
    if(EEPROM_read(7) == 1){
        PORTB |= (1<<PB0);
        _delay_ms(1);
        PORTB &= ~(1<<PB0);
    }
    sei();
}

//-----
//--- zvuk -----
int zvuk(){
    if(EEPROM_read(7) == 1){
        EEPROM_write(7,0);
    }
}

```

```

    }
    else{
        EEPROM_write(7,1);
    }
    return 0;
}
//-----
//--- podsvícení -----
int podsviceni(){
    if(PIND & (1<<PD7)){
        PORTD &= ~(1<<PD7);
        EEPROM_write(4,0);
    }
    else{
        PORTD |= (1<<PD7);
        EEPROM_write(4,1);
    }
    return 0;
}
//-----
//--- čerpadlo 1 -----
int cerp_1(){
    if(PINC & (1<<PC4)){
        PORTC &= ~(1<<PC4);
        EEPROM_write(5,0);
    }
    else{
        PORTC |= (1<<PC4);
        EEPROM_write(5,1);
    }
    return 0;
}
//-----
//--- čerpadlo 2 -----
int cerp_2(){
    if(PINC & (1<<PC2)){
        PORTC &= ~(1<<PC2);
        EEPROM_write(6,0);
    }
    else{
        PORTC |= (1<<PC2);
        EEPROM_write(6,1);
    }
    return 0;
}
//-----
//--- nastavení času -----
int nastav_casu(){
    int poz = 1;
    min = EEPROM_read(1);
    sec = EEPROM_read(2);
    cli();
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_puts(" ->");
    sei();
    while(1){
        if(PINB & (1<<PB3)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                min = min + 1;
                if(min >= 60){
                    min = 60;
                }
            }
            if(poz == 2){
                sec = sec + 1;
                if(sec > 59){
                    sec = 59;
                }
            }
            EEPROM_write(1,min);
            EEPROM_write(2,sec);
            hodnota[1] = min;
            hodnota[2] = sec;
        }
    }
}

```

```

        if(PINB & (1<<PB5)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                min = min - 1;
                if(min < 0){
                    min = 0;
                }
            }
            if(poz == 2){
                sec = sec - 1;
                if(sec < 0){
                    sec = 0;
                }
            }
            EEPROM_write(1,min);
            EEPROM_write(2,sec);
            hodnota[1] = min;
            hodnota[2] = sec;
        }
        if(PINB & (1<<PB4)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                poz = 2;
                cli();
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_puts(" ->");
                sei();
            }
            else{
                cli();
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_puts("-> ");
                sei();
                return;
            }
        }
    }
    return 0;
}
//-----
//--- hystereze -----
int hystereze(){
    int poz =1;
    min = EEPROM_read(8);
    sec = EEPROM_read(9);
    cli();
    lcd_gotoxy(0,3);
    lcd_puts(" ->");
    sei();
    while(1){
        if(PINB & (1<<PB3)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                min = min + 1;
                if(min >= 9){
                    min = 9;
                }
            }
            if(poz == 2){
                sec = sec + 1;
                if(sec >= 9){
                    sec = 9;
                }
            }
        }
        EEPROM_write(8,min);
        EEPROM_write(9,sec);
    }
    if(PINB & (1<<PB5)){
        bzucak_pip();
        _delay_ms(cekej);
        if(poz == 1){
            min = min - 1;
            if(min < 0){

```

```

        min = 0;
    }
}
if(poz == 2){
    sec = sec - 1;
    if(sec < 0){
        sec = 0;
    }
}
EEPROM_write(8,min);
EEPROM_write(9,sec);
}
if(PINB & (1<<PB4)){
    bzucak_pip();
    _delay_ms(cekej);
    if(poz == 1){
        poz = 2;
        cli();
        lcd_gotoxy(0,3);
        lcd_puts(" ->");
        sei();
    }
    else{
        cli();
        lcd_gotoxy(0,3);
        lcd_puts("-> ");
        sei();
        return;
    }
}
}
return 0;
}
}
//-----
//--- nastavení teploty -----
int nastav_teplotu(){
    int poz = 1;
    min = EEPROM_read(15);
    sec = EEPROM_read(16);
    cli();
    lcd_gotoxy(0,2);
    lcd_puts(" ->");
    sei();
    while(1){
        if(PINB & (1<<PB3)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                min = min + 1;
                if(min >= 49){
                    min = 49;
                }
            }
            if(poz == 2){
                sec = sec + 1;
                if(sec >= 9){
                    sec = 9;
                }
            }
            EEPROM_write(15,min);
            EEPROM_write(16,sec);
        }
        if(PINB & (1<<PB5)){
            bzucak_pip();
            _delay_ms(cekej);
            if(poz == 1){
                min = min - 1;
                if(min < 0){
                    min = 0;
                }
            }
            if(poz == 2){
                sec = sec - 1;
                if(sec < 0){
                    sec = 0;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        EEPROM_write(15,min);
        EEPROM_write(16,sec);
    }
    if(PINB & (1<<PB4)){
        bzucak_pip();
        _delay_ms(cekej);
        if(poz == 1){
            poz = 2;
            cli();
            lcd_gotoxy(0,2);
            lcd_puts(" ->");
            sei();
        }
        else{
            cli();
            lcd_gotoxy(0,2);
            lcd_puts(" -> ");
            sei();
            return;
        }
    }
}
return 0;
}
}
//-----
//--- odpočet -----
int odpocet(){
    min = EEPROM_read(1);
    sec = EEPROM_read(2);
    hodnota[1] = min;
    hodnota[2] = sec;
    cli();
    lcd_gotoxy(3,0);
    lcd_puts("STOP ");
    sei();
    for(sec;sec >= 0;sec--){
        if(sec == 0 & min != 0){
            min = min - 1;
            sec = 59;
        }
        hodnota[1] = min;
        hodnota[2] = sec;
        _delay_ms(cas);
        if(PINB & (1<<PB4)){
            cli();
            lcd_gotoxy(3,0);
            lcd_puts("START");
            hodnota[1] = EEPROM_read(1);
            hodnota[2] = EEPROM_read(2);
            sei();
            _delay_ms(cekej);
            return;
        }
    }
    cli();
    lcd_gotoxy(3,0);
    lcd_puts("START");
    sei();

    hodnota[1] = EEPROM_read(1);
    hodnota[2] = EEPROM_read(2);
    bzucak();
    return;
}
//-----
//--- hlavní smyčka -----
int main(){
    EEPROM_write(1,0);
    EEPROM_write(2,35);
    EEPROM_write(3,2);
    EEPROM_write(4,1);
    EEPROM_write(8,1);
    EEPROM_write(9,0);
    EEPROM_write(15,33);

```



```

EEPROM_write(16,5);

min = EEPROM_read(1);
sec = EEPROM_read(2);

hodnota[1] = min;
hodnota[2] = sec;

lcd_init(LCD_DISP_ON);                                     //inicializace displeje
display();

if(EEPROM_read(4) == 1){                                   //inicializace podsvícení
    PORTD |= (1<<PD7);
}

DDRB=0b11111111;                                         //nastavení portu C - 1 = výstupní, 0 = vstupní
DDRC=0b00111110;
DDRD=0b10111111;

ADCSRB |= (1<<ACME);                                     //ADC multiplexor na AIN1
ADCSRA = (0<<ADEN);                                     //vypnutí ADC kvůli přesměrování MUX
ACSR = 0b00000011;                                     //povoleno přerušení AK - náběžná hrana

TCNT0 = 0;
TIMSK0 = (1<<TOIE0);
TCCR0B = (1<<CS02) | (1<<CS00);

TCCR1A = 0;                                              //vynulování registru
TIMSK1 = (1<<TOIE1);                                    //přerušení od přetečení TCNT1
TCCR1B = (1<<CS11);                                    //nastavení předděličky, spuštění časovače

sei();

while (1){
    if(PINB & (1<<PB3)){
        bzucak_pip();
        _delay_ms(cekej);
        minus();
    }

    if(PINB & (1<<PB4)){
        bzucak_pip();
        _delay_ms(cekej);
        akce();
    }

    if(PINB & (1<<PB5)){
        bzucak_pip();
        _delay_ms(cekej);
        plus();
    }
}
//-----

```