



**Přírodovědecká fakulta univerzity Palackého  
v Olomouci**

**Katedra optiky**

**Optoelektronický senzor vzdálenosti**

**Bakalářská práce**



**Vypracoval:**  
Jan Šana

**Vedoucí práce:**  
RNDr. František Petráš

**Studijní obor:** B1701 Přístrojová optika  
**Studijní rok:** 2012/2013

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, RNDr. Františka Petráše za použití literatury a zdrojů uvedených v závěru práce.

V Olomouci dne 13. 5. 2013

.....

Jan Šana

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce RNDr. Františku Petrášovi za jeho odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Dále děkuji panu Michalu Dvorskému za poskytnuté materiály a informace.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce je zaměřena na provedení optoelektronického senzoru vzdálenosti s akustickým signálem. Cílem bakalářské práce bylo zrealizovat literární průzkum možností IR čidel pro měření vzdáleností. Vybrání vhodného IR čidla a zrealizování optoelektronického senzoru vzdálenosti jako výrobku.

## **Abstract**

This thesis focuses on the design optoelectronic distance sensor with an acoustic signal. The aim of this thesis was to implement a literary exploration of possibilities IR sensors for distance measurement. Selecting a suitable IR sensor and realization of optoelectronic sensor distance as the product.

# OBSAH

<b>1. Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Základní optické zákony.....</b>	<b>9</b>
2.1 Světlo.....	9
2.2 Index lomu.....	10
2.3 Vlnová délka.....	10
<b>3. Infračervené záření.....</b>	<b>11</b>
3.1 Objevení infračerveného záření.....	11
3.2 Rozdělení infračerveného záření.....	11
<b>4. Zákon odrazu a lomu.....</b>	<b>12</b>
4.1 Zákon odrazu.....	12
4.2 Zákon lomu.....	13
<b>5. Odraz záření na objektech.....</b>	<b>15</b>
5.1 Zrcadlový a difuzní odraz.....	15
5.2 Barevná odrazivost povrchu objektu.....	16
5.3 Vliv barevnosti povrchu z hlediska jeho snímání.....	16
<b>6. Mikrokontroléry PIC.....</b>	<b>17</b>
<b>7. Senzory pro detekci překážek .....</b>	<b>19</b>
7.1 Ultrazvukové senzory.....	19
7.2 Infračervené senzory.....	19
7.2.1 Aktivní triangulace.....	20
7.2.2 Pasivní triangulace.....	20

<b>8. Realizace optoelektronického senzoru vzdálenosti.....</b>	<b>21</b>
8.1 Porovnání senzorů pro detekci překážek.....	21
8.2 Charakteristika optoelektronického senzoru vzdálenosti.....	22
8.2.1 Stanovení vzdálenosti.....	22
8.2.2 Generování tónů.....	23
8.3 Hardwarové řešení.....	24
8.4 Softwarové řešení.....	27
8.5 Měření odrazivosti materiálů.....	29
<b>9. Závěr.....</b>	<b>30</b>
<b>10. Seznam použité literatury.....</b>	<b>31</b>

# 1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá optoelektronickým senzorem vzdálenosti. Cílem této práce je zrealizovat literární průzkum možností IR čidel pro měření vzdáleností. A dále výběr vhodného IR čidla a zrealizovat optoelektronický senzor vzdálenosti jako výrobek.

Toto téma jsem si vybral ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že mě oblast optoelektroniky zajímá a v budoucnu bych svoji pracovní kariéru zahájil právě v tomto oboru. Dalším důvodem pak bylo to, že tento výrobek by se dal využít i v běžném životě.

Tato bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První, teoretická část je zaměřena na základní optické zákony, vlastnosti infračerveného záření, zákony lomu a odrazu, odraz záření na jednotlivých objektech, vlastnosti mikrokontroléru PIC. Dále jsou zde popsány senzory pro detekci překážek, a to ultrazvukový a infračervený. Ke konci teoretické části je uveden způsob měření vzdálenosti pomocí triangulační metody.

V druhé, praktické části nejprve porovnávám senzory pro detekci překážek. Dále se zabývám generováním hudebních tónů a přidělení těchto tónů k určitým vzdálenostem. Největší část je věnována hardwarovému a softwarovému řešení výrobku. V hardwarové části se zaměřuji na konstrukci optoelektronického senzoru vzdálenosti a vlastností jednotlivých součástek. V softwarové části pak popisují naprogramování mikrokontroléru PIC pomocí vývojového kitu PICkit 2 od společnosti Microchip a uvádím vývojový diagram, který popisuje princip fungování zdrojového kódu, který je napsán jazykem C. V závěru praktické části popisují celkovou funkčnost výrobku a vyhodnocuji data odrazivosti na jednotlivých materiálech.



## 2. Základní optické zákony

### 2.1 Světlo

Pod pojmem světlo je definována jen ta část elektromagnetického záření, která je viditelná, t.j. záření schopné působit na zrakový orgán. Meze rozsahu frekvencí se mohou měnit s pozorovatelem. Dolní hranice leží mezi 365 až 395 nm a horní hranice mezi 750 až 830 nm. Označení světlo se v některých případech používá jako synonymum pro optické záření. [1] Tato oblast elektromagnetického záření se nachází mezi ultrafialovým (UV) a infračerveným (IR) zářením. Světlo má tyto základní vlastnosti:

- svítivost (amplituda)
- barva (frekvence)
- polarizace (úhel vlnění)

Z důvodu duality částic a vlnění má pak světlo vlastnosti částic i vlnění. Naukou o světle a jeho interakcemi se zabývá obor optiky. Světlo lze popsat dvěma základními způsoby:

- jako kvantum energie, která je popsána fotony
- jako elektromagnetickou vlnu, která se šíří určitým prostředím. [2]

Rychlost světla patří mezi základní fyzikální konstanty, je rovna rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu. Tuto rychlost popsal Albert Einstein v teorii relativity. Je dána vztahem:

$$c = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$$

kde  $\varepsilon_0$  je permitivita vakua ( $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m) a  $\mu_0$  je permeabilita vakua ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m). Z tohoto vztahu vyplývá, že  $c = 2,997\,924\,584 \cdot 10^8$  m/s. Rychlost světla je tedy nejvyšší možnou rychlostí. [2]

## 2.2 Index lomu

Index lomu je bezrozměrná veličina, která popisuje šíření světla, elektromagnetické šíření v látkách a dané prostředí. Označuje se  $n$  nebo  $N$  a je definována vztahem:

$$n = c/v$$

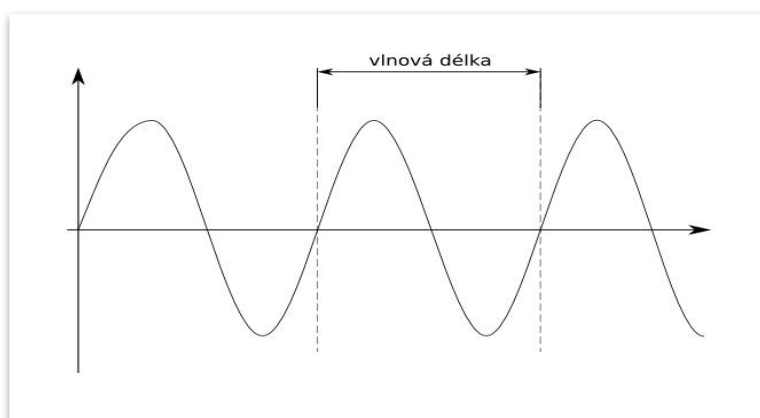
kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu ( $2,997\,924\,584 \cdot 10^8$  m/s),  $v = v(\lambda)$  je fázová rychlost světla vlnové délky  $\lambda$  v daném prostředí. Vzhledem k tomu, že rychlost  $v(\lambda)$  je závislá na vlnové délce světla, bude potom index lomu také záviset na vlnové délce světla. Index lomu optických materiálů se udává vzhledem ke vzduchu. [2]

## 2.3 Vlnová délka

Vlnová délka je vzdálenost ve směru šíření periodické vlny mezi nejbližšími dvěma body (dvěma vrcholy nebo dvěma protnutími osy), které se vyznačují stejnou fází vlny. Označuje se  $\lambda$  a její jednotkou je metr. Je definována vztahem:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

kde  $k$  je vlnové číslo. [2]



Obr. 1 – Vlnová délka [10]

### 3. Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické záření, které se nachází mezi viditelným světlem a mikrovlnným zářením. Jak z názvu vyplývá, infračervené záření se nachází "pod červenou" (z latiny infra = "pod"). Infračervené záření má vlnovou délku od 760 nm do 1 mm. [2]

#### 3.1 Objevení infračerveného záření

Infračervené záření objevil roku 1800 britský astronom Sir William Herschel pomocí optického hranolu rozložil sluneční světlo na jednotlivé barvy. Do tohoto rozloženého barevného spektra vložil rtuťové teploměry. Směrem k červené straně spektra barev rostla měřená teplota. Herschel tedy pokračoval s posouváním teploměru až za okraj červené strany spektra. K vlastnímu údivu zjistil, že zde teplota nabývá nejvyšších hodnot. Tento experiment dokázal, že musí existovat neviditelné záření, které přenáší teplo. [2]

#### 3.2 Rozdělení infračerveného záření

Infračervené záření se rozděluje na jednotlivá pásma. Mnoho zdrojů uvádí jiné rozdělení, z čehož vyplývá, že toto rozdělení není konkrétně dané. Jedno z nejčastějších rozdělení:

- blízké (0,7 - 5  $\mu\text{m}$ )
- střední (5 - 30  $\mu\text{m}$ )
- dlouhé (30  $\mu\text{m}$  - 1 mm)

Jedno z dalších rozdělení:

a) blízké (near) infračervené záření neboli NIR

- IR-A (0,76 - 1,4  $\mu\text{m}$ )
- IR-B (1,4 - 3  $\mu\text{m}$ )
- IR-C (3 - 8  $\mu\text{m}$ )
- IR-D (8 - 15  $\mu\text{m}$ )

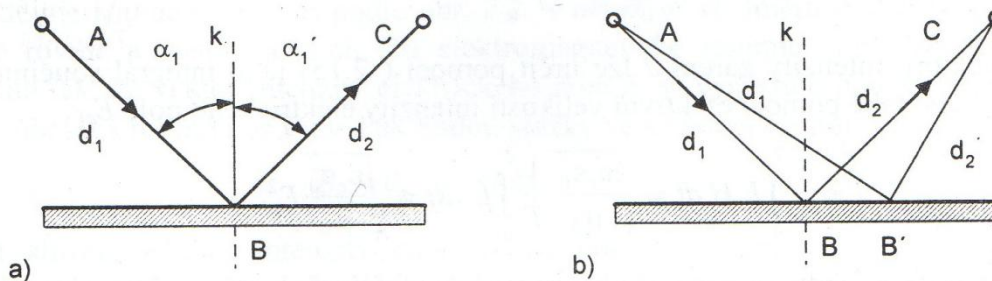
b) vzdálené (far) infračervené záření neboli FIR 15-1000  $\mu\text{m}$  [2]

## 4. Zákon odrazu a lomu

Zákony odrazu a lomu lze odvodit ze základního Fermatova principu. Podle tohoto principu se světlo šíří v prostoru z jednoho bodu do druhého tak, aby délka dráhy měla minimální hodnotu. Z Fermatova principu vyplývá, že v homogenním izotropním prostředí se světlo šíří přímočaře. Přímka je nejkratším spojením dvou bodů, pro překonání této vzdálenosti tak světlo potřebuje co nejkratší dobu.

### 4.1 Zákon odrazu

Dopadá-li světlo na plochu v bodě  $B$ , pak rovina rozdělená kolmicí  $k$  v bodě  $B$  je rovina dopadu, úhel  $\alpha_1$  je úhlem dopadu. Od plochy se paprsek odrazí tak, že odražený paprsek pak leží v rovině dopadu. Úhel odrazu  $\alpha_1'$  je tedy stejný jako úhel dopadu  $\alpha_1$ . Takto je definován zákon odrazu zapsaný ve formě:  $\alpha_1 = \alpha_1'$

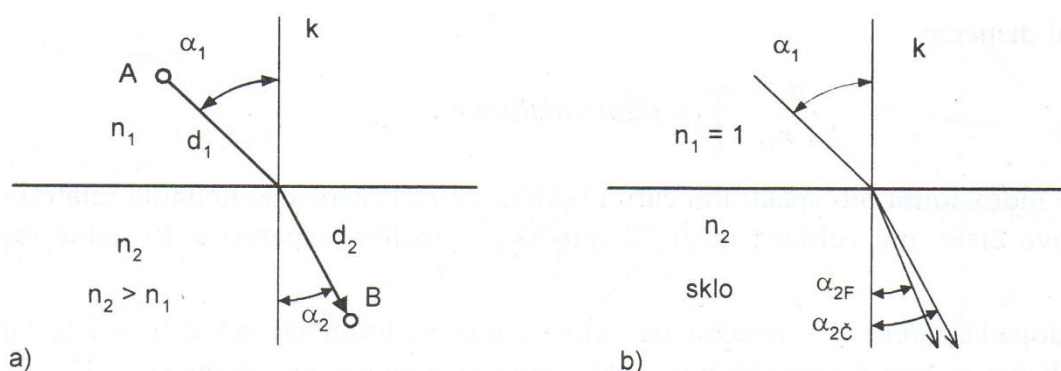


Obr. 2 – Odraz záření a) podle zákona odrazu, b) k odvození zákona odrazu dle Fermatova principu. [3]

Použitím Fermatova principu na případu dle obr. 2b) zjistíme, že paprsek běžící po dráze  $ABC$  se dostane z bodu  $A$  do bodu  $C$  za co nejnižší možný čas. Při analýze všech ostatních trojúhelníků  $AB'C$  dojdeme k výsledku, že součet jejich stran  $AB'$  a  $B'C$ , tudíž drah  $d_1'$  a  $d_2'$  je vždy delší než v případě, kdy paprsek prochází bodem  $B$ . [3]

## 4.2 Zákon lomu

Paprsek dopadající ze vzduchu na prostředí s jinou optickou mohutností (např. sklo) a proniká do něj, mění na rozhraní svůj směr. Tento jev se nazývá lom světla neboli refrakce. Prochází-li paprsek z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, láme se paprsek směrem od kolmice. V opačném případě prochází-li paprsek z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího, láme se paprsek směrem ke kolmici.



Obr. 3 - Lom záření a) monochromatického záření, b) působení optické disperze při lomu [3]

Úhel  $\alpha_1$ , který je svíraný dopadajícím paprskem a kolmicí  $k$  v bodu dopadu je úhel dopadu. Úhel  $\alpha_2$ , který je svíraný lomeným paprskem a kolmicí  $k$  je úhel lomu. Rovina rozdělená lomeným paprskem a kolmicí je rovina lomu. Uvažujeme-li, že rovina dopadu a rovina lomu jsou dvě rozdílné prostředí, pak podle Snellova zákona platí:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

Zákon lomu jde také upravit na tvar, který říká, že siny úhlu dopadu a lomu jsou ve vztahu rychlosti světla  $v_1$  v prostředí s indexem lomu  $n_1$  a rychlosti  $v_2$  a v prostředí s indexem lomu  $n_2$ . [3]

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Zákon lomu lze odvodit za pomoci Fermatova principu. Paprsek, který urazí dráhu  $d_1$  a  $d_2$  mezi body  $A$  a  $B$  uvedeným způsobem za co nejkratší dobu. Všechny jiné dráhy by byly časově delší. Z tohoto lze definovat pojem optická dráha paprsku:

$$\text{optická dráha} = n_1 d_1 + n_2 d_2$$

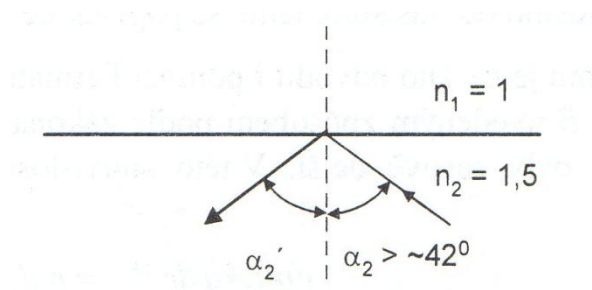
obecně platí:

$$\text{optická dráha} = \sum_i n_i d_i$$

Optickou dráhu chápeme jako vzdálenost, kterou by paprsek překonal ve vakuu za stejnou dobu, která je potřebná pro překonání dráhy  $d_1, d_2, \dots$  v jednotlivých prostředích s indexy lomu  $n_1, n_2, \dots$

Index lomu je různý pro světla různých barev. Pokud dopadne na rozhraní společně paprsek červeného a fialového světla, pak se bude lom fialového paprsku lomit blíže ke kolmici než paprsek červený. Z toho vyplývá, že index lomu skla pro fialové světlo je větší než pro červené světlo. Při lomu úzkého svazku bílých paprsků dojde k rozkladu, tzn. disperzi na jednotlivé barevné složky.

Prochází-li paprsek z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího může nastat situace, kdy se paprsek již neláme, ale odráží se nazpět. Nastává tak totální reflexe tzv. úplný odraz. Úhel, při kterém již nenastává lom, ale dojde pouze k odrazení paprsku se nazývá mezní úhel nebo kritický úhel. [3]



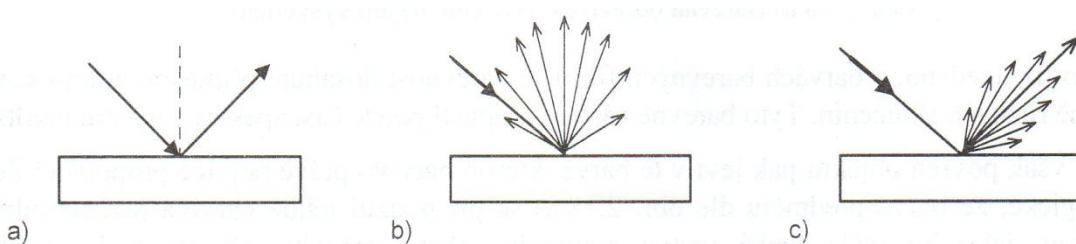
Obr. 4 - Úplný odraz [3]

## 5. Odraz záření na objektech

Převážná část materiálů a objektů nacházejících se v okolí je průsvitná velmi málo nebo je plně neprůsvitná. Při vyhodnocování těchto materiálů a objektů se pak v optice udává především záření odrážející se od jejich povrchu. [3]

### 5.1 Zrcadlový a difuzní odraz

Majoritní část materiálů je neprůsvitná, z tohoto důvodu se dopadající záření rozděluje na pohlcenou a odraženou část. V některých případech na hladkých, vyleštěných površích může nastat "zrcadlový" odraz záření. Toto odražené záření je definováno zákonem odrazu. Povrch se tedy chová jako zrcadlo. V případech, kdy paprsky dopadají na matný povrch, kde každá malá část plochy má jiný sklon, odrážejí se pak jednotlivé paprsky do různých směrů. Povaha odraženého záření je takřka difuzní. Příkladem tohoto typu odražení je odraz na bílém papíru. Povrch tohoto ozářeného tělesa pak můžeme přirovnat k Lambertovskému zářiči. Jako typ difuzního odražeče můžeme uvést matnici při dopadu paprsků na její matnou stranu. Při snímání povrchů pomocí kamery je nejčastějším stavem částečný difuzní odraz, kdy se část záření odráží zrcadlovým odrazem a část se odráží difuzním odrazem. Příkladem tohoto typu odražení je odraz na nedokonale vyleštěném povrchu kovů. [3]



Obr. 5 - Odraz záření na a) zrcadlovém, b) matném - difuzním, c) částečně difuzním povrchu [3]

V reflektorech u některých typů osvětlovačů, kde je zapotřebí, aby bylo světlo rozptýleno do různých směrů (jako je tomu při difuzním odrazu) se využívá náhodně zvlhčená plocha, která je pokryta jemnou vysoce odraznou vrstvou kovu. Rovnoběžný svazek paprsků se pak odráží do různých směrů. Nejčastějšími používanými kovy jsou hliník nebo stříbro. [3]

## 5.2 Barevná odrazivost povrchu objektu

Jestliže je odrazivost povrchu objektu nezávislá na vlnové délce  $\lambda$  záření a zároveň je menší než 1, nazýváme ho šedý povrch. V případě, že je odrazivost závislá na vlnové délce [tj.  $\rho(\lambda) = f(\lambda)$ ] pak se různé barevné složky světla odrážejí různě. Pokud takovýto povrch osvětlíme světlem, ve kterém jsou obsažené všechny barevné složky, potom dojde v odraženém světle ke změně jednotlivých barevných složek. Pozorovateli se pak povrch jeví v té barvě, ve které převažuje odrazivost povrchu objektu. Tuto skutečnost lze dokázat jednoduchým experimentem. A to, pokud vytvoříme barevným zvýrazňovacím fixem červenou čáru na bílém papíru, bude mít pak červenou barvu. Jestliže však vytvoříme červenou čáru na černém papíru, bude tmavá skoro nerozlišitelná od podkladu.

Při kombinaci různých barev (např. modré se žlutou) projde pouze ta část světla, kterou propouštějí obě barvy zároveň, tj. zelená. Případné míchání barev je tedy rozdílové, protože se odrazí jen to světlo, které vyhovuje propustnosti obou filtrů. S tímto efektem se můžeme setkat pokud na paletě smícháme všechny barvy a vznikne nám barva připomínající černou. Stejně tak obdobně na CCD kameře, pokud kaskádně složíme barevné filtry, propustnost bude velmi malá, skoro blízká nule. [3]

## 5.3 Vliv barevnosti povrchu z hlediska jeho snímání

Rozdílná odrazivost barevných povrchů pro světlo různých barev se v upravené formě používá při snímání barevných značek za pomoci barevných LED a fotodiod. V případě, že barevnou značku ozáříme světlem o stejné barvě je odraz velmi dobrý. Jestliže se ozáří zelená značka světlem jiné barvy, pak je odraz značně malý.

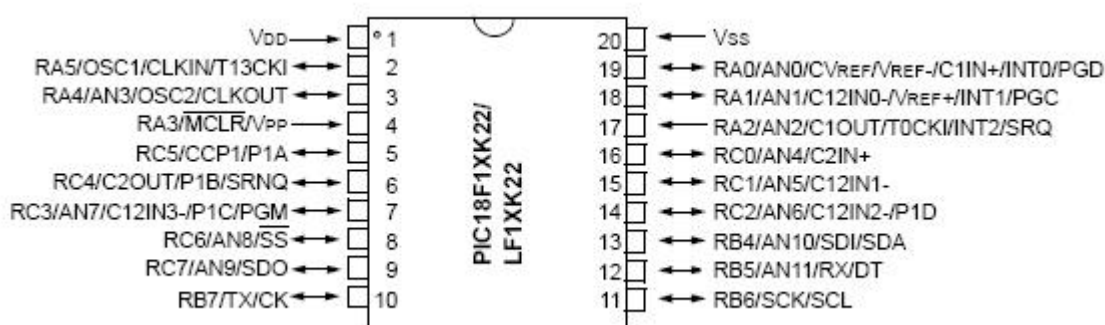
Všeobecně lze říci, že matný povrch červeného předmětu s vysokou odrazivostí pro červené světlo se při osvětlení červeným nebo bílým světlem a snímání černobílou CCD kamerou jeví jako světlý. Jestliže budeme osvětlovat modrý předmět (třebaže s vysokou odrazivostí pro modré světlo) červeným světlem na monochromatické CCD kameře bude se nám jevit jako černý.

Při aditivním skládání světla všech barev dle očekávání dostaneme bílé světlo, jako je tomu například u obrazovek počítačů či televizí. [3]



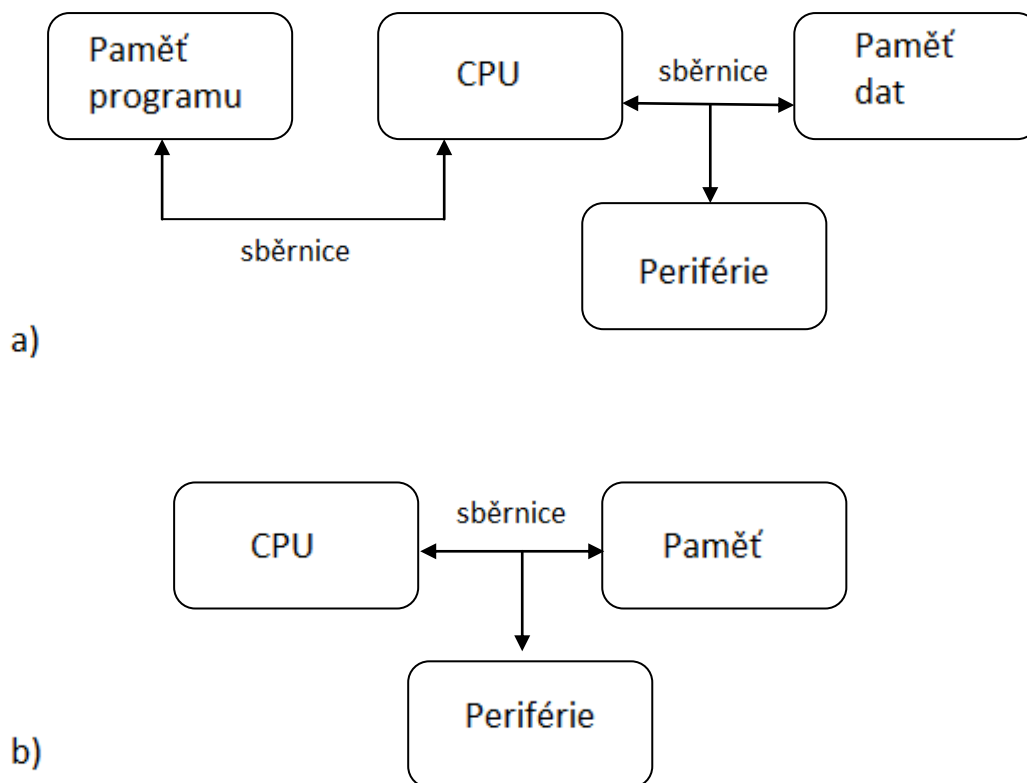
## 6. Mikrokontroléry PIC

Mikrokontroléry PIC jsou programovatelná zařízení, která díky své nízké ceně a vysoké univerzálnosti patří mezi velmi rozšířená a často využívaná. Celý systém mikrokontroléru se všemi důležitými komponentami je uzavřen v jednom pouzdře, který daný jednočip tvoří. V pouzdře se nachází procesor, paměť, A/D a D/A, převodník, vstupní a výstupní porty, komparátory, řadiče přerušení, řadiče vnějších rozšiřujících pamětí apod. [4]



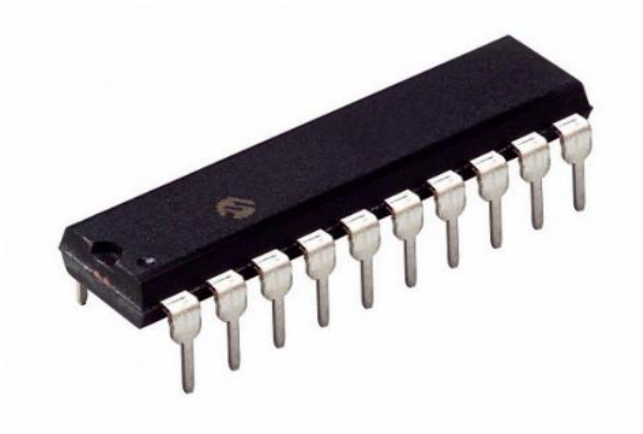
Obr. 6 - Diagram mikrokontroléru PIC18F14K22 [7]

Taktovací frekvence procesoru mikrokontroléru je daná vnitřním oscilátorem, který je tvořen RC článkem nebo krystalem. Procesory pak můžeme dělit podle délky slova na 4, 8, 16 nebo 32-bitové procesory. Mikrokontroléry PIC jsou založeny na architektuře RISC, což znamená, že procesory pracují s omezeným množstvím instrukcí (35 instrukcí) a pevnou délkou slova. Instrukční sada disponuje jednoduchými instrukcemi. Tyto instrukce jsou pevné délky a čas na provedení jedné instrukce se nazývá cyklus. Paměť u mikrokontroléru PIC je založena podle typu Harvardské architektury z čehož vyplývá, že paměť programu je oddělena od paměti dat. Opakem této architektury je architektura Von Neumanna u které je paměť společná pro program i data. [4]



Obr. 7 - a) Harvardská koncepce, b) Von Neumannova koncepce [10]

Jednočipy jsou využívány pro nejrůznější úlohy v mnoha rozdílných oborech. Využívají se pro realizaci různých měřících a řídicích systémů. Díky své nízké ceně, malé spotřebě, velikosti a univerzálnosti se dají uplatnit ve velkém množství aplikací. Mikrokontroléry se nacházejí ve velkém množství současných elektronických zařízeních. [4]



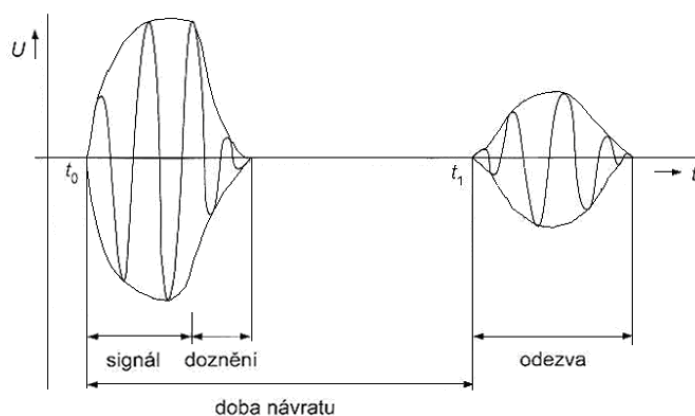
Obr. 8 - Mikrokontroléru PIC18F14K22[7]

## 7. Senzory pro detekci překážek

Při detekci překážek se využívají odrazové senzory. Tyto senzory využívají odraženého signálu od překážky. Vzdálenost překážky se pak určuje pomocí času nebo úhlu dopadu. Odražený signál se liší podle materiálu, ze kterého je daný předmět vyroben. Dochází tak k problémům při odrazech od skla či od měkkých materiálů.

### 7.1 Ultrazvukové senzory

Jedním ze zástupců senzorů pro detekci překážek jsou ultrazvukové senzory, které umožňují detekci libovolného materiálu na vzdálenosti až desítek metrů. Ultrazvukový sensor pracuje na principu měření času odezvy. Jako převodník elektrického signálu na zvuk se zde využívá piezoelektrického měniče. Měnič vysílá pulzy v čase  $t_0$ , které se šíří rychlostí zvuku a při nárazu na překážku se signál částečně odrazí a v čase  $t_1$  jej sensor zaregistruje. Senzory lze vyrobit pouze z jednoho piezoelektrického měniče. Tyto senzory vyznačujeme tzv. mrtvou dobou (dobou mezi přepnutím vysílání a příjmu), proto se častěji používají senzory s dvěma měniči (přijímacím a vysílacím). [5]



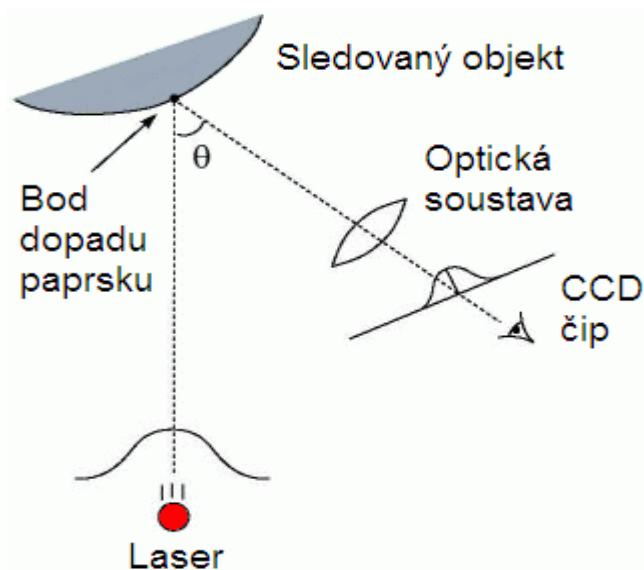
Obr. 9 - Princip ultrazvukového senzoru [5]

### 7.2 Infračervené senzory

Infračervené senzory pro detekci překážek pracují na podobném principu jako zařízení na přenos dat. Sensor se skládá z vysílací a přijímací části. Vysílaný paprsek se odráží od překážky a je detekován přijímací částí, která jej zaregistruje a vyhodnotí. Nejčastěji se pro vyhodnocení využívá triangulační metoda.

### 7.2.1 Aktivní triangulace

Aktivní triangulace je založena na fotogrametrické rekonstrukci snímaného objektu. Povrch snímaného objektu je nasvícený aktivním světelným zdrojem (LED diodou nebo laserem) a zároveň je povrch snímán CCD kamerou nebo CMOS snímačem. Zdroj světla, osvětlený bod na objektu a snímač tvoří triangulační trojúhelník. Vrchol při osvětleném bodu nazýváme triangulační bází. Úhel na straně světelného zdroje bývá konstantní, naproti tomu úhel na straně snímače je určen proměnou pozicí osvětleného bodu na CCD kameře. Z velikosti tohoto úhlu lze určit vzdálenost předmětu od senzoru. K osvětlení povrchu se využívají různé světelné vzory: světelný paprsek (jednorozměrná triangulace), světelný pruh (dvourozměrná triangulace) nebo strukturovaný světelný svazek (trojrozměrná triangulace). S rostoucí vlnovou délkou se zvětšuje i nejistota měření.



Obr. 10 - Princip aktivní triangulační metody [6]




### 7.2.2 Pasivní triangulace

Technika pasivní triangulace je založena na metodě stereovidění. Tato metoda je podobná principu na jakém pracuje lidský zrak při odhadování vzdálenosti. Oči jsou zde nahrazeny dvojicí CCD kamer, jejichž středy jsou od sebe ve vzdálenosti 65 mm. Za pomoci dvojice CCD kamer získáme stereoskopické snímky. Každý snímek představuje perspektivní odraz. Z úhlu snímaného sdruženými paprsky lze vyhodnotit vzdálenost předmětu od senzoru. [6]

## 8. Realizace výrobku

### 8.1 Porovnání senzorů pro detekci překážek

Ultrazvukové senzory se liší od infračervených senzorů svojí cenou, kdy nejlevnější ultrazvukové senzory se na českém trhu prodávají od 700 Kč a nejlevnější infračervené senzory se prodávají od 300 Kč, které mají daleko větší dosah. Využití infračervených čidel je daleko častější a to díky jejich dobrým vlastnostem a nízkým cenám. Infračervená čidla od společnosti SHARP patří k nejlevnějším na českém trhu a zároveň také k nejvyužívanějším.

		<i>Infračervený senzor SHARP GP2Y0A700</i>	<i>Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21</i>	<i>Infračervený senzor SHARP GP2D120</i>
P A R A M E T R Y	<b>Vzdálenost</b>	100 – 500 cm	5 – 80 cm	4 – 30 cm
	<b>Napájení</b>	5 V/30 mA	5 V/30 mA	5 V/30 mA
	<b>Rozměry</b>	60x20x37 mm	40x13x13,5 mm	20x13x13,5 mm
	<b>Obrázek</b>	 Obr. 11	 Obr. 12	 Obr. 13

Tabulka 1 - Infračervené senzory od společnosti SHARP [10]

Obr. 11- *Infračervený senzor SHARP GP2Y0A700* [8]

Obr. 12 - *Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21* [8]

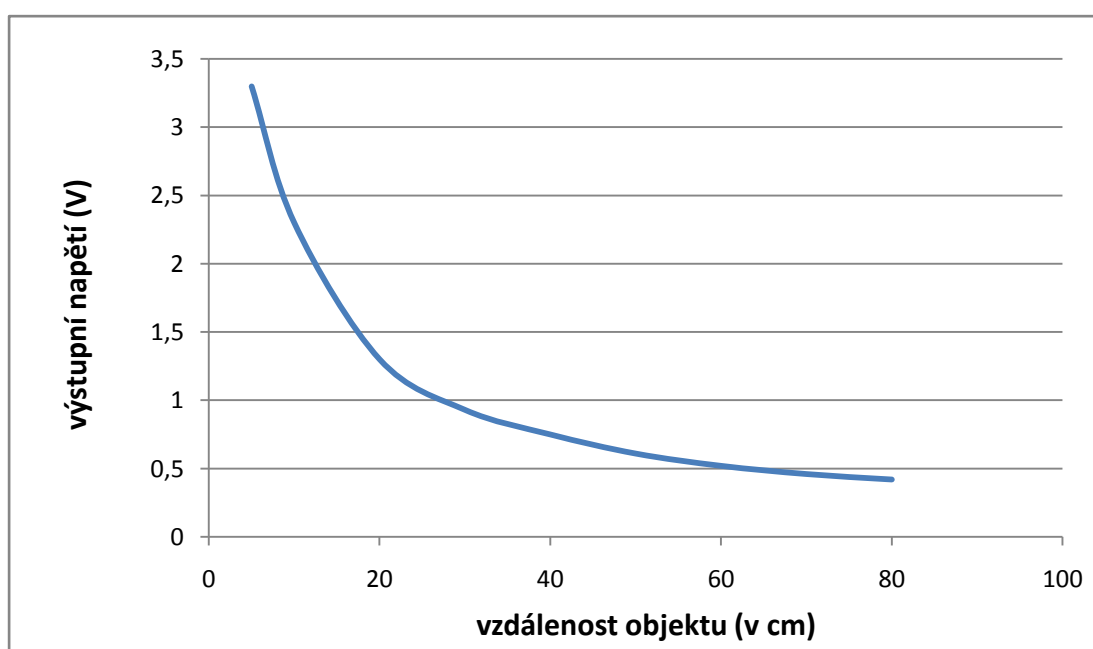
Obr. 13 - *Infračervený senzor SHARP GP2D120* [8]

## 8.2 Charakteristika optoelektronického senzoru vzdálenosti

Cílem této práce je vytvořit jednoduchý, nicméně přesný optoelektronický výrobek pro měření vzdáleností, který bude hrát různé tóny (od  $C_1$  do  $C_2$ ) podle toho v jaké vzdálenosti bude objekt od senzoru. Pomocí velmi krátké doby přerušení časovače bude přístroj neustále hrát tón poslední zjištěné vzdálenosti. Charakteristika funkčnosti optoelektronického senzoru vzdálenosti je rozdělena na dvě části. První část pojednává jak jsou výstupní data z infračerveného senzoru za pomoci mikrokontroléru PIC 18F14K22 převedena na digitální hodnotu. V druhé části je vysvětleno generování tónů.

### 8.2.1 Stanovení vzdálenosti

Infračervený senzor od společnosti SHARP pracuje na vlnové délce 870 nm. Má tři konektory, a to vstupní napětí, zem a výstupní napětí. Hodnota analogového výstupního napětí se mění v závislosti na vzdálenosti v jaké se objekt od senzoru nachází. Pomocí voltmetru byly naměřeny hodnoty výstupního napětí pro různé vzdálenosti od 10 do 80 cm.



Graf 1 - Závislost výstupního napětí na vzdálenosti objektu [10]

Součástí mikrokontroléru PIC 18F14K22 je i 10-bitový A/D převodník, který převádí vstupní analogovou hodnotu na digitální (číslicovou) hodnotu se kterou je mikrokontrolér schopný pracovat. Převodník je tedy konfigurován tak, že hodnota 0 odpovídá 0 V a hodnota 1023 odpovídá napájecímu napětí 5 V. Jeden krok A/D převodníku, tak odpovídá změně napětí o 0,00489 V, z toho vyplývá, že nejcitlivější je oblast mezi 5 až 10 cm, kde jeden krok A/D převodníku odpovídá  $\pm 0,4$  mm. Naměřeným hodnotám analogového napětí pro různé vzdálenosti lze přidělit digitální hodnoty mezi kterými budou hrát různé tóny.

TÓN	VZDÁLENOST (cm)	VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ (V)	DIGITÁLNÍ HODNOTA
C <sub>1</sub>	5 - 10	3,3 - 2,3	674 - 479
D <sub>1</sub>	10 - 20	2,3 - 1,3	478 - 271
E <sub>1</sub>	20 - 30	1,3 - 0,93	270 - 193
F <sub>1</sub>	30 - 40	0,93 - 0,75	192 - 156
G <sub>1</sub>	40 - 50	0,75 - 0,61	155 - 127
A <sub>1</sub>	50 - 60	0,61 - 0,52	126 - 108
H <sub>1</sub>	60 - 70	0,52 - 0,46	107 - 96
C <sub>2</sub>	70 - 80	0,46 - 0,42	95 - 89

Tabulka 2 - Rozsah analogových a digitálních hodnot pro jednotlivé tóny [10]

### 8.2.2 Generování tónů

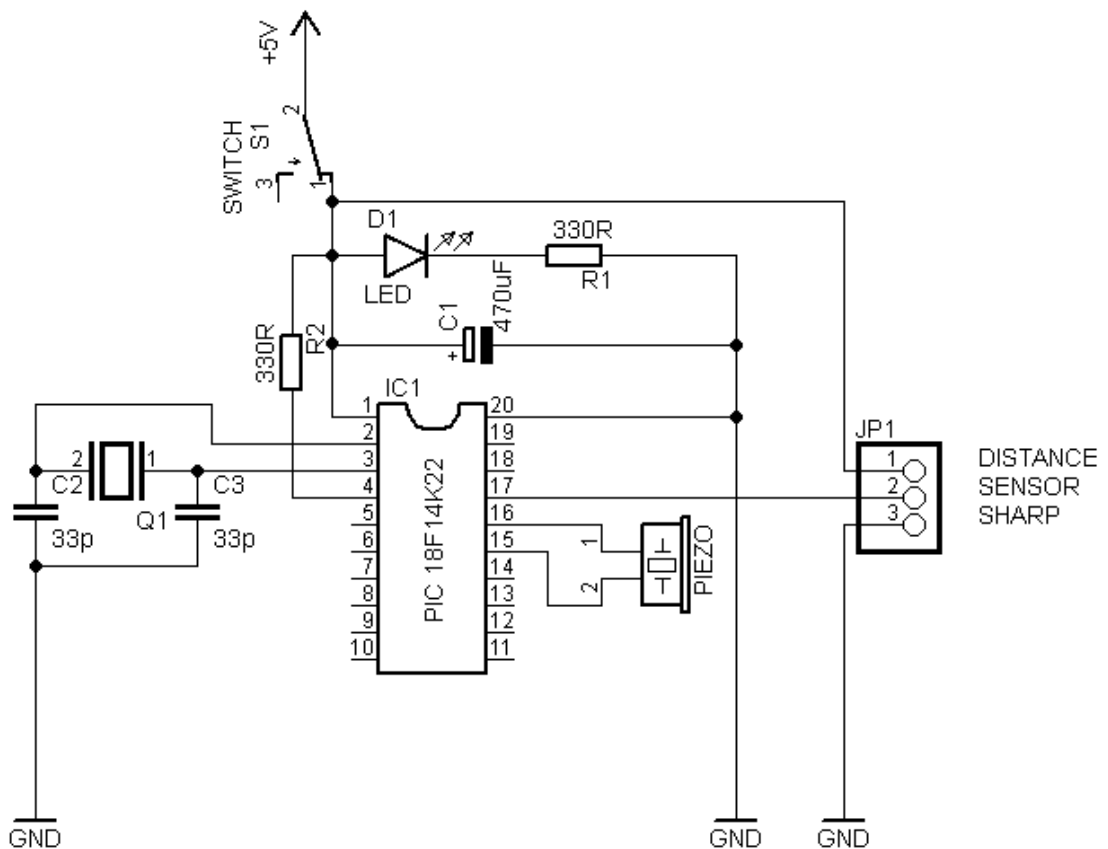
Jako tón je definován každý zvuk se stálou frekvencí, který vzniká pravidelným chvěním tělesa. Jednotlivé tóny se od sebe liší svými frekvencemi. Tóny s dvojnásobnou frekvencí se lidskému uchu zdají o jednu oktávu výše.

TÓN	FREKVENCE (Hz)
C <sub>1</sub>	261,63
D <sub>1</sub>	293,66
E <sub>1</sub>	329,63
F <sub>1</sub>	349,23
G <sub>1</sub>	392,00
A <sub>1</sub>	440,00
H <sub>1</sub>	493,88
C <sub>2</sub>	523,25

Tabulka 3 - Hodnoty frekvencí pro jednotlivé tóny [10]

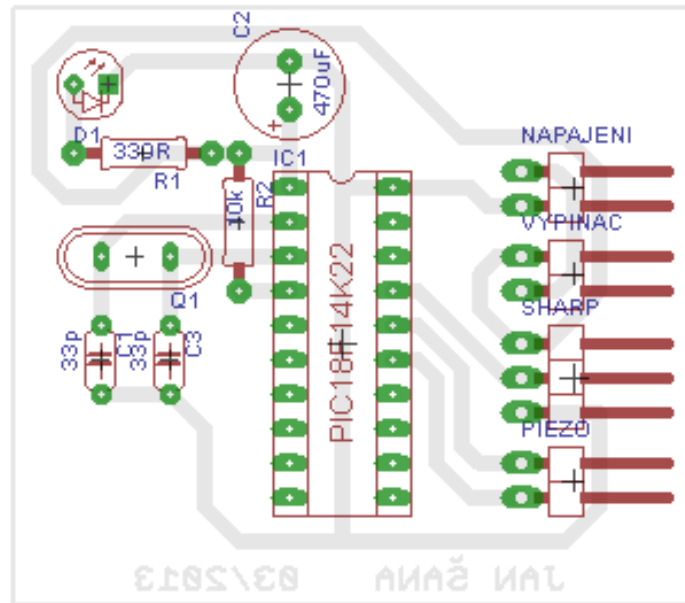
### 8.3 Hardwarové řešení

Pro co možná největší minimalizaci senzoru byla deska plošného spoje navržena tak, aby měla co nejmenší rozměry, nicméně je třeba mít na paměti, že IR čidlo i samotný PIC musejí být napájeni +5 V. Proto součásti senzoru musí být i držák na čtyři 1,5V baterie. Jedním z hlavních prvků u optoelektronického senzoru vzdálenosti je IR čidlo SHARP pro detekci překážky, jehož výstupem je analogové napětí. Analogové napětí je zpracováno pomocí A/D převodníku, který je součástí mikrokontroléru PIC 18F14K22. Na desce plošného spoje je kromě patice pro samotný mikrokontrolér také konektor pro připojení IR čidla. Dále LED dioda pro signalizaci zapnutého napájení, konektor pro připojení piezo buzzeru, konektor pro připojení napájení a patice pro výměnu krystalů s různými frekvencemi. V neposlední řadě vypínač, pár ochranných kondenzátorů a rezistor. Osazení desky plošného spoje součástkami zobrazuje obr. 15 a pohled ze strany spojů - obr. 16.

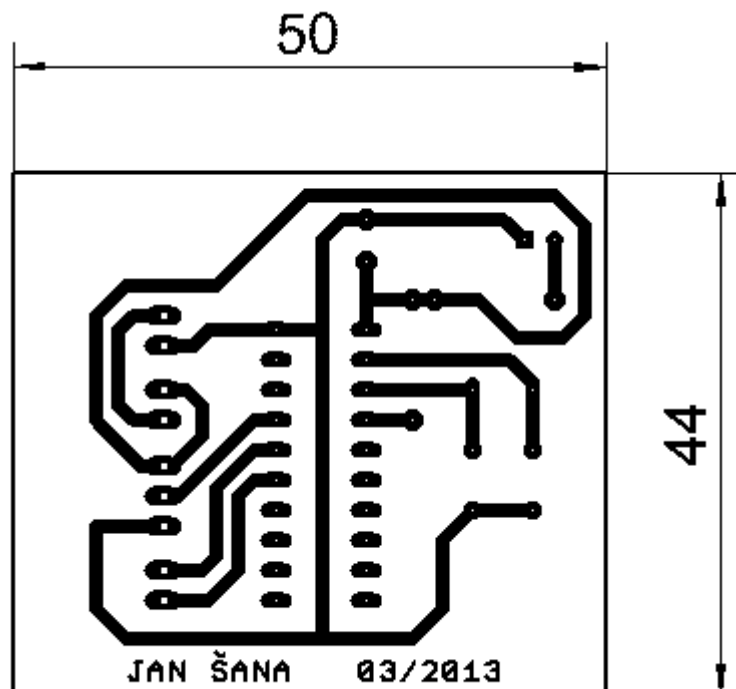


Obr. 14 - Schéma zapojení optoelektronického senzoru vzdálenosti [10]



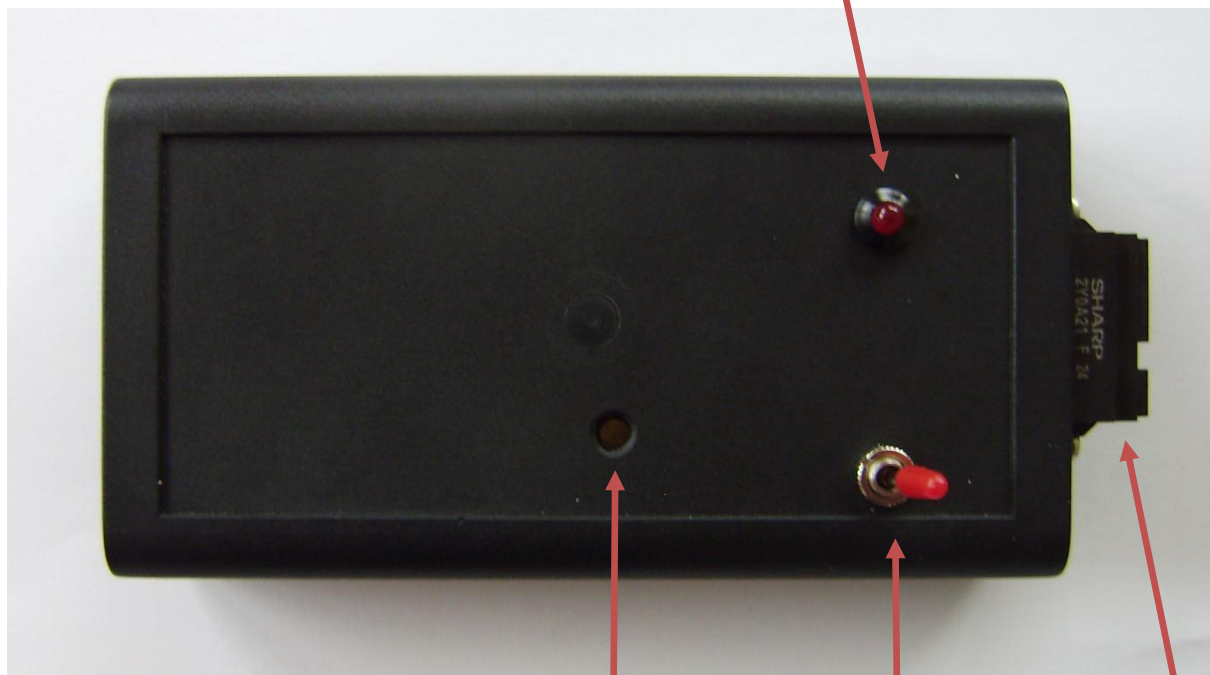


Obr. 15 - Rozmístění součástek optoelektronického senzoru vzdálenosti [10]



Obr. 16 - Strana spojů optoelektronického senzoru vzdálenosti [10]

LED dioda pro  
signalizaci napájení

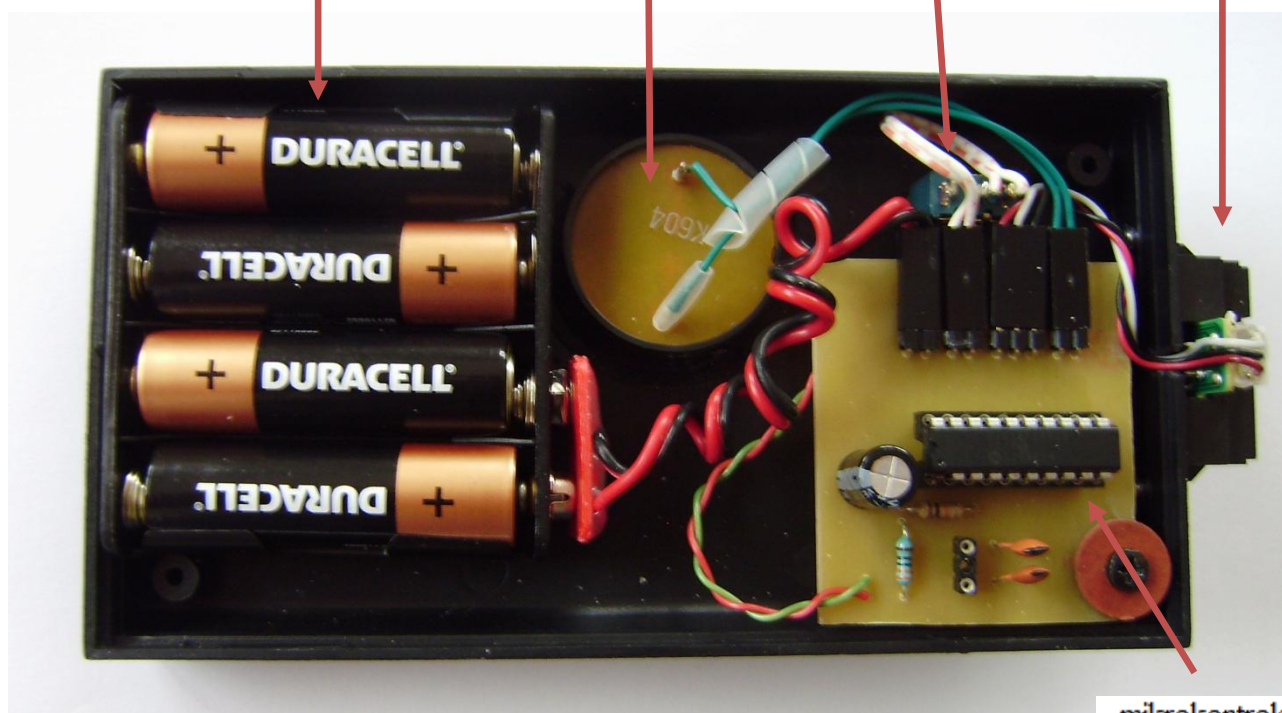


držák na  
baterie

piezo buzzer

vypínač

IR čidlo SHARP



mikrokontrolér  
PIC 18F14K22

Obr. 17 - Optoelektronický senzor vzdálenosti [10]

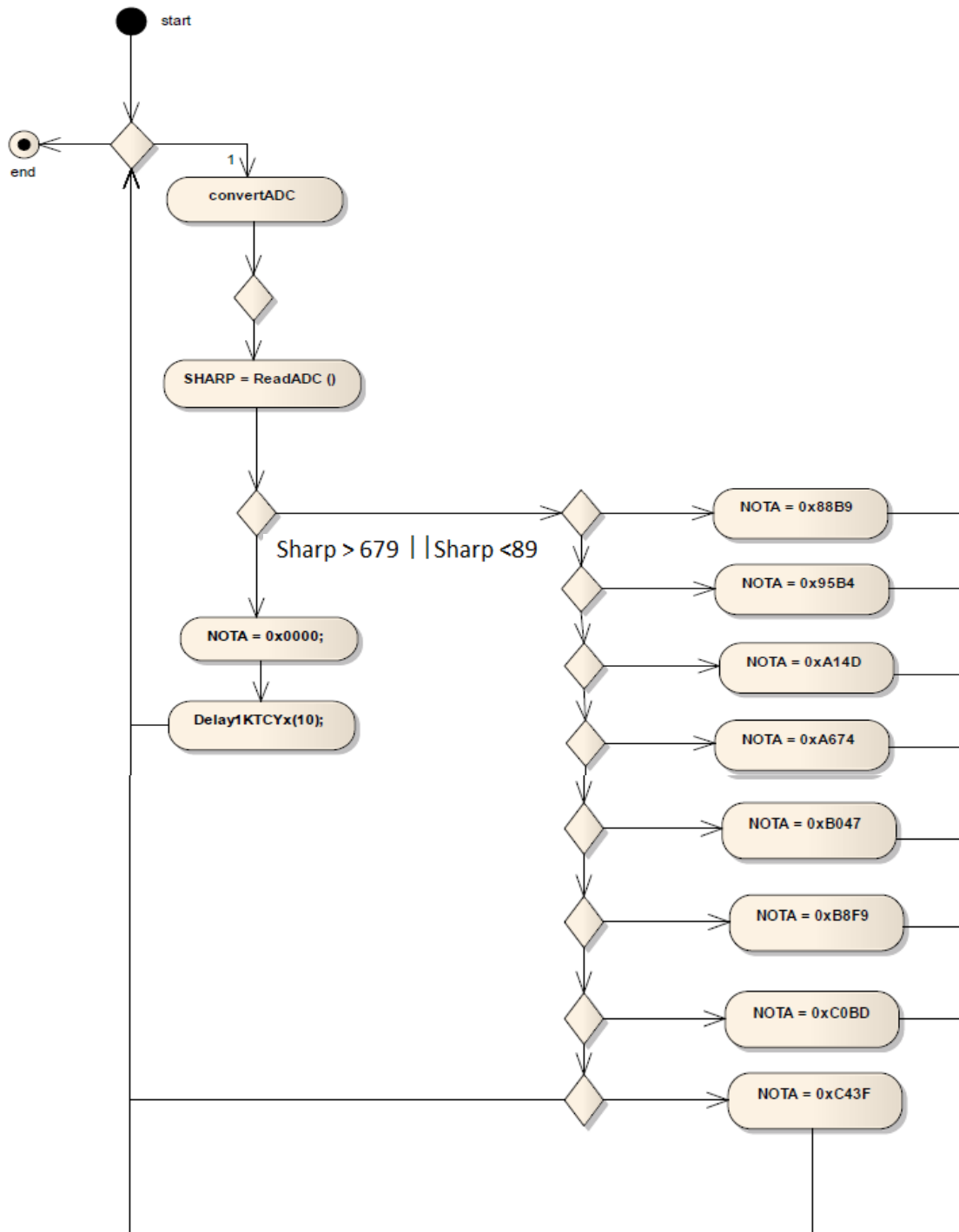
#### 8.4 Softwarové řešení

Software pro optoelektronický senzor vzdálenosti je tvořen pomocí jazyka C. Mikrokontrolér PIC 18F14K22 pro své taktování využívá vnitřního oscilátoru, který běží na frekvenci 64 MHz. Díky které se tóny dají lépe vyčasovat a zvuk tak zní reálněji. Programování mikrokontrolérů PIC se provádí pomocí vývojového kitu od společnosti Microchip, který lze zakoupit v mnoha verzích, a to buď se sériovým portem a nebo USB portem. Po kompilaci zdrojového kódu do formátu .hex lze soubor nahrát na mikrokontrolér PIC pomocí zvláštního softwaru. Tento software je zdarma dostupný na webových stránkách daného výrobce.



Obr. 18 - Vývojový kit PICkit 2 od společnosti Microchip [9]

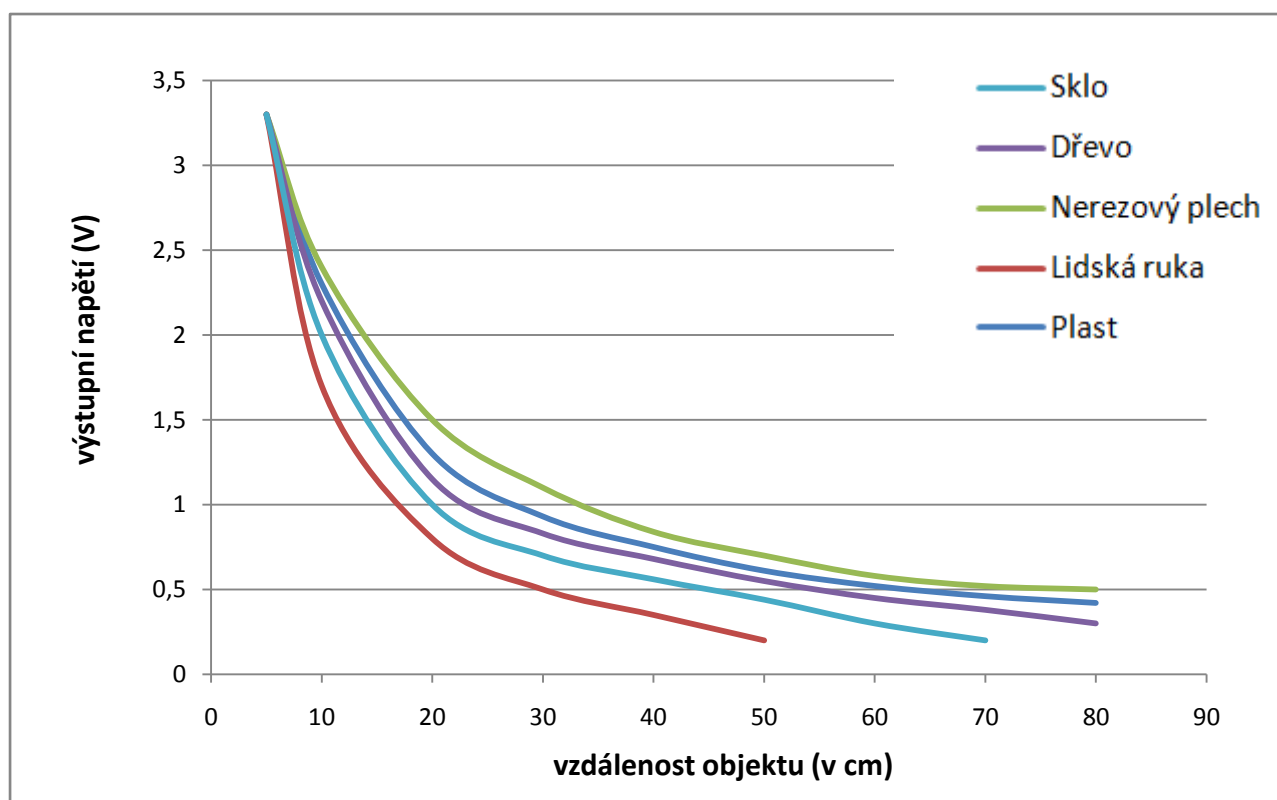
Algoritmus běží v nekonečné smyčce, kde je pouze testováno, jakou hodnotu AD převodník má. Pokud je hodnota AD převodníku od 679 do 89 senzor zahraje tón odpovídající dané hodnotě. V opačném případě program nezahraje žádný tón, zdrží se 10 ms a běží znovu od začátku. Celý zdrojový kód je přiložen v příloze.



Obr. 19 - Vývojový diagram k softwaru k optoelektronického senzoru vzdálenosti [10]

## 8.5 Měření odrazivosti materiálů

Pro měření odrazivosti materiálů bylo vybráno několik vzorků materiálu o stejné velikosti. Poté bylo sestaveno pracoviště na kterém byla snížena intenzita okolního světla tak, aby nedocházelo k chybě měření. Měření bylo prováděno tak, že čidlo bylo připojeno na regulovatelný zdroj napětí, kde bylo nastaveno 5,5 V a na výstup čidla byl připojen voltmetr. Vzorky materiálů pak byly vkládané do různých vzdáleností od 10 do 70 cm, hodnota napětí z voltmetru pak byla zaznamenána. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky ze které byl následně sestrojen graf. Materiály jsem volil náhodně, avšak ty které se nejvíce vyskytují v okolí člověka. Nejlepší odrazivost pak byla naměřena pro nerezový plech a nejhorší pro moji ruku.



Graf 2 - Odrazivost různých materiálů [10]

## 9. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo prostudovat oblast týkající se ultrazvukových senzorů a IR čidel dostupných na trhu v České republice. V případě IR čidel se jedná o poměrně velkou kapitolu a to z toho důvodu, že existuje poměrně široké spektrum dostupných výrobků, které se liší nejen v rozsahu vzdáleností pro které jsou schopny měřit, ale také v dalších parametrech jako je například napájecí napětí.

V praktické části práce byly vybrány IR čidla od společnosti SHARP. Bylo potřeba vyřešit jednak hardwarový návrh, ale také softwarové řešení optoelektronického senzoru vzdálenosti. Pro základní měření vzdáleností byl optoelektronický senzor vzdálenosti vybaven IR čidlem SHARP GP2Y0A21 pro detekci překážek. Informace o vzdálenosti překážky od čidla je velmi důležitý údaj pro uživatele, proto byly k určitým rozsahům přiděleny hudební tóny k lepší orientaci.

Po analýze vlastností, které optoelektronický senzor vzdálenosti má, spatřuji jeho největší možné využití v oblasti parkovacích senzorů automobilů. Největším problémem při konstrukci výrobku je jeho napájení, které musí být 5,5V, aby výrobek pracoval co nejpřesněji. Při napájení tužkovými bateriemi dochází k postupnému vybíjení, z tohoto důvodu klesá i napájecí napětí. Senzor tedy měří méně přesněji a na kratší vzdálenost, než kterou by měl při optimálním napájení. Tomuto problému by se dalo vyvarovat při využití v oblasti parkovacích senzorů automobilů. Senzor by se napájel přes redukci přímo z autobaterie, která by byla stále dobíjena alternátorem.

## Seznam použité literatury

[1] VRBOVÁ, Miroslava. *Odborná encyklopedie -lasery a moderní optika*. Praha: Prometheus, 1994. 450 s. ISBN 80-85849-56-9.

[2] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia- optika*. Praha: Prometheus, 2010. 207 s. ISBN - 978-80-7196-384-4.

[3] FISCHER, Jan. *Optoelektronické senzory a videometrie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 143 s. ISBN - 80-01-02525-x.

[4] HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování mikrokontrolérů PIC 2- 2. díl*. Praha: BEN-Technická literatura, 207, 141 s. ISBN - 978-80-7300-1.

[5] VOJÁČEK, Antonín. *Ultrazvukové senzory přiblížení*. Elektronické skriptum FEKT VUT. Brno. 2002. 61 stran.

[6] *Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů*. 2003. [on-line]. Dostupné z Internetu: < [http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap\\_2.htm](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm) >.

[7] *Datasheet of PIC 18f14k22, rev.070216*. [on-line]. Dostupné z Internetu: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41365d.pdf>>.

[8] *The distance sensors* . 2011.[on-line]. Dostupné z Internetu: <<http://ap.urpi.fei.stuba.sk/sensorwiki/index.php/Acrob007>>.

[9] *Microchip Technology Inc*. 2013.[on-line]. Dostupné z Internetu: <<http://www.microchip.com/>>.

[10] Vlastní tvorba

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1:** Strana spojů optoelektronického senzoru vzdálenosti

**Příloha č. 2:** Zdrojový kód programu

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Infračervené senzory od společnosti SHARP

Tabulka 2 - Rozsah analogových a digitálních hodnot pro jednotlivé tóny

Tabulka 3 - Hodnoty frekvencí pro jednotlivé tóny

## **Seznam grafů**

Graf 1 - Závislost výstupního napětí na vzdálenosti objektu

Graf 2 - Odrazivost různých materiálů

## **Seznam obrázků**

Obr. 1 – Vlnová délka

Obr. 2 – Odraz záření a) podle zákona odrazu, b) k odvození zákona odrazu dle Fermatova principu

Obr. 3 - Lom záření a) monochromatického záření, b) působení optické disperze při lomu

Obr. 4 - Úplný odraz

Obr. 5 -Odraz záření na a) zrcadlovém, b) matném - difuzním, c) částečně difuzním povrchu

Obr. 6 - Diagram mikrokontroléru PIC18F14K22

Obr. 7 - a) Harvardská koncepce, b) Von Neumannova koncepce

Obr. 8 - Mikrokontroléru PIC18F14K22

Obr. 9 - Princip ultrazvukového senzoru

Obr. 10 - Princip aktivní triangulační metody

Obr. 11- Infračervený senzor SHARP GP2Y0A700

Obr. 12 - Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21



Obr. 13 - Infračervený senzor SHARP GP2D120

Obr. 14- Schéma zapojení optoelektronického senzoru vzdálenosti

Obr. 15- Rozmístění součástek optoelektronického senzoru vzdálenosti

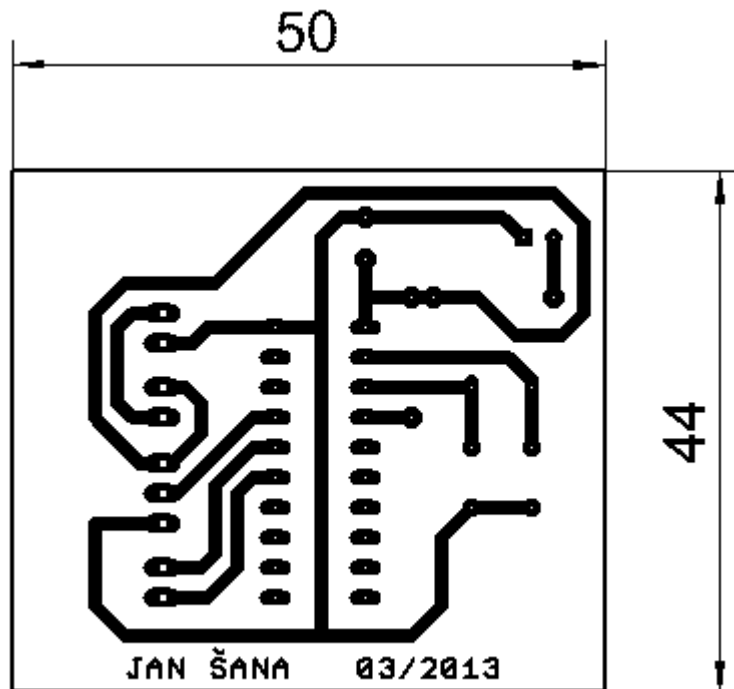
Obr. 16- Strana spojů optoelektronického senzoru vzdálenosti

Obr. 17- Optoelektronický senzor vzdálenosti

Obr. 18- Vývojový kit PICkit 2 od společnosti Microchip

Obr. 19- Vývojový diagram k softwaru k optoelektronického senzoru vzdálenosti

## Příloha č. 1: Strana spojů optoelektronického senzoru vzdálenosti



## Příloha č. 2: Zdrojový kód programu

```
/ CONFIGURATION BITS -Nastavení vnitřních Bitů/  
#pragma config FOSC = IRC //HS  
#pragma config PLLLEN = ON //4xCLOCK  
#pragma config WDTEN = OFF, LVP = OFF  
#pragma config MCLRE = ON //ext RESET (ON), RA3 (OFF) *** DIL 20 => pin 4  
***  
#pragma config CPB = ON, CP0 = ON, CP1 = ON, CPD = ON //Code protection  
  
/ INCLUDES -Vložení podprogramů/  
#include "p18f14k22.h" // Program pro nastavení PIC 18f14k22  
#include "delays.h" //Program pro časové zdržení  
#include "timers.h" //Program se základními časy  
#include "adc.h" //Program pro nastavení A/D převodníku  
  
void InterruptHandlerHigh (void);  
  
#define BUZZER LATCbits.LATC0  
  
unsigned int SHARP, NOTA;  
  
void main (void)  
{  
OSCCON = 0b01110000; //16MHz  
  
TRISA = 0b00000100; //Nastavení portů  
PORTA = 0b00000000;  
TRISC = 0b00000000;
```

```

PORTC = 0b00000000;

OpenTimer0 ( TIMER_INT_ON & T0_16BIT & T0_SOURCE_INT & T0_PS_1_1 );
OpenADC ( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH2 &
ADC_INT_OFF,0,0 ); //otevření a nastavení časovače

INTCON2bits.TMR0IP = 1;

RCON = 0b10000000;
INTCON = 0b10100000;
INTCON2 = 0b10000100;

while(1){
ConvertADC();//vymazání hodnoty z A/D převodníku
while (BusyADC()); //cekani na prevod
SHARP = ReadADC ();//načtení hodnoty z A/D převodníku

if (SHARP > 471 || SHARP < 122) {
NOTA = 0x0000;
Delay1KTCYx(10);
}
else if (SHARP <= 674 && SHARP >= 479) NOTA = 0x88B9; //C1
else if (SHARP <= 478 && SHARP >= 271) NOTA = 0x95B4; //D1
else if (SHARP <= 270 && SHARP >= 193) NOTA = 0xA14D; //E1
else if (SHARP <= 192 && SHARP >= 156) NOTA = 0xA674; //F1
else if (SHARP <= 155 && SHARP >= 127) NOTA = 0xB047; //G1
else if (SHARP <= 126 && SHARP >= 108) NOTA = 0xB8F9; //A1
else if (SHARP <= 107 && SHARP >= 96) NOTA = 0xC0BD; //H1
else if (SHARP <= 95 && SHARP >= 89) NOTA = 0xC43F; //C2
}
}

// OBSLUHA PRERUSENI
#pragma code InterruptVectorHigh = 0x08

void InterruptVectorHigh (void) { _asm goto InterruptHandlerHigh _endasm }

#pragma code
#pragma interrupt InterruptHandlerHigh //Nastavení přerušení

void InterruptHandlerHigh()
{
if (INTCONbits.TMR0IF)
{
WriteTimer0 (NOTA);

if (NOTA != 0x0000) BUZZER = ~BUZZER; // pokud hodnota A/D převodníku neodpovídá
else BUZZER = 0; //rozsahu dochází k vyčkání

INTCONbits.TMR0IF = 0;
}
INTCONbits.GIEH = 1;
return; //a návrat na začátek
}

```