

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

2125282

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**2011**

**Martin Nevlaha, Bc.**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

**MERANIE VÝŠKY HLADINY SYPKÝCH MATERIÁLOV  
V ZÁSOBNÍKOCH  
Diplomová práca**

Študijný program:	Spôľahlivosť a bezpečnosť technických systémov
Študijný odbor:	2386800, Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky
Školiteľ:	Dušan Hrubý, prof. Ing., PhD.
Konzultant:	Vladimír Cviklovič, Ing.

**Nitra 2011**

**Martin Nevlaha, Bc.**

### **Čestné vyhlásenie**

Podpísaný Martin Nevlaha vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Meranie výšky hladiny sypkých materiálov v zásobníkoch“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 15. apríla 2011

Martin Nevlaha

### **Pod'akovanie**

Touto cestou vyslovujem poďakovanie Ing. Dušanovi Hrubému PhD. a Ing. Vladimírovi Cviklovičovi za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce, za ochotu, venovaný čas a pomoc pri získavaní informácií.

## **Abstrakt**

Podstatou tejto diplomovej práce je oboznámiť sa s dostupnými metódami merania výšky hladiny sypkých materiálov v zásobníkoch. Výber metódy merania výšky hladiny bol základom pre navrhnutie elektronického obvodu pre meranie výšky hladiny sypkého materiálu. Najvýhodnejšou metódou pre vybraný hospodársky objekt je meranie ultrazvukom. Vybrané ultrazvukové snímače pracujú na bezdotykovom princípe, meraný materiál teda neprichádza do priameho styku so snímačmi. Navrhnutý elektronický obvod automaticky kompenzuje nameranú vzdialenosť na základe teploty okolitého prostredia v sile a poskytuje informáciu o výške hladiny meraného materiálu v zásobníku. Výstupom z navrhnutého elektronického obvodu je informácia o výške hladiny meraného materiálu v zásobníku. Táto informácia je zobrazená priamo pomocou indikátora a taktiež je zabezpečená možnosť softwarového spracovania. Navrhnutím tohto systému merania odpadajú problémy s nevyužitím kapacity zásobníka, alebo naopak problémy s jeho prepĺňaním.

**Kľúčové slová:** meranie, výška hladiny, snímač, ultrazvuk, elektronický obvod, kompenzácia, zásobník

## **Abstract**

The essence of this thesis is study the available methods of the level measuring of loose materials in storage tanks. The choice method of measurement level has been the basic for designing electronic circuit for the level measuring of loose material. The most preferred method for the selected object is the measurement of ultrasound. Selected ultrasonic sensors operates on contactless principle, measured material so is not in direct contact with the sensors. The proposed electronic circuit automatically compensates measured distance on ambient temperature in storage tank and provides information of level measured loose material in storage tank. The output of the proposed electronic circuit is information of the level measured in the storage tank. This information is directly displayed by the indicator and it also ensured the possibility of processing software. By proposing of this measurement system losing problems with non-use of storage capacity, or conversely problems with overcharge.

**Key words:** measurement, level, sensor, ultrasound, electronic circuit, compensation, tank

# Obsah

<b>Zoznam ilustrácií .....</b>	<b>8</b>
<b>Zoznam tabuliek .....</b>	<b>10</b>
<b>Zoznam skratiek a značiek.....</b>	<b>11</b>
<b>Slovník termínov .....</b>	<b>12</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>14</b>
<b>1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>16</b>
1.1 Výber snímačov .....	16
1.1.1 Presnosť snímačov .....	17
1.1.2 Ďalšie faktory ovplyvňujúce výber snímačov.....	17
1.2 Mechanické a elektromechanické hladinomery .....	18
1.2.1 Tyčové meradlo .....	18
1.2.2 Priehľadové hladinomery (priezory).....	19
1.2.3 Preklápací spínač .....	19
1.2.4 Mechanická sonda.....	19
1.2.5 Lopatkové (rotačné) hladinomery .....	20
1.2.6 Vibračné spínače .....	21
1.2.7 Membránové spínače .....	22
1.3 Vážne systémy .....	23
1.3.1 Teplotná expanzia nádoby .....	24
1.3.2 Obmedzenie stranového pohybu.....	24
1.3.3 Inštalácia .....	24
1.4 Hladinomery so zmenou elektrickej veličiny .....	25
1.4.1 Vodivostné spínače .....	25
1.4.2 Kapacitné meranie výšky hladiny .....	25
1.4.2.1 Výber elektród .....	27
1.4.2.2 Kapacitné hladinové spínače.....	28
1.4.3 Ultrazvukové meranie výšky hladiny .....	28
1.4.3.1 Princíp ultrazvuku a jeho zdroje .....	29
1.4.3.2 Ultrazvuk pri meraní výšky hladiny .....	32
1.4.3.3 Princíp ultrazvukového merania výšky hladiny.....	34
1.4.3.4 Ultrazvukové spínače.....	36
1.4.3.5 Použitie ultrazvukového merania výšky hladiny .....	36

1.4.4	Radarové meranie výšky hladiny .....	37
1.4.4.1	Radarové hladinomery .....	37
1.4.4.2	Reflektometrické meranie (TDR) – radar na lane/tyči .....	39
1.4.5	Radiačné meranie výšky hladiny .....	40
1.4.6	Laserové meranie výšky hladiny .....	41
<b>2</b>	<b>CIEĽ PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>44</b>
3.1	Charakteristika použitých postupov .....	44
3.2	Charakteristika hospodárskeho objektu.....	45
3.3	Charakteristika použitých prístrojov .....	46
3.3.1	Ultrazvukový snímač LV-MaxSonar EZ1 .....	46
3.3.2	Snímač teploty DS18B20.....	47
3.3.3	Mikroprocesor C8051F330.....	48
3.3.4	Dvojitý operačný zosilňovač LM358.....	49
3.3.5	Prevodník MAX232.....	50
3.3.6	Regulátor napätia LP2950ACZ 3,3V.....	51
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY PRÁCE.....</b>	<b>52</b>
4.1	Aktuálny spôsob merania výšky hladiny sypkých materiálov v sile.....	52
4.2	Overenie technických parametrov ultrazvukového snímača.....	52
4.2.1	Meranie vyžarovacieho uhla ultrazvukového snímača .....	53
4.2.2	Meranie linearity ultrazvukového snímača .....	55
4.3	Návrh inštalácie a rozmiestnenie ultrazvukových snímačov.....	57
4.3.1	Výpočet šírky záberu vyžarovacieho uhla pri maximálnom dosahu snímača.....	58
4.3.2	Umiestnenie snímačov v sile .....	58
4.3.3	Návrh krytu ultrazvukového snímača .....	60
4.3.3.1	Návrh rozmerov krytu.....	60
4.4	Kompenzácia nameranej vzdialenosti na základe teploty v sile .....	62
4.4.1	Meranie teploty v sile.....	64
4.5	Algoritmus na meranie výšky hladiny v sile .....	65
4.5.1	Princíp navrhnutého algoritmu .....	65
4.6	Návrh elektronického obvodu na ultrazvukové meranie výšky hladiny v sile.. .....	66
4.6.1	Napájanie mikroprocesora C8051F330D .....	66

4.6.2	Komunikácia medzi mikroprocesorom a snímačmi teploty .....	67
4.6.2.1	ROM ID kód .....	70
4.6.3	Komunikácia medzi mikroprocesorom a ultrazvukovými snímačmi .....	71
4.6.4	Výstup cez sériovú linku RS232 .....	73
4.6.5	Výstup pre indikátor úrovne zaplnenia sila .....	76
<b>Záver</b>	.....	<b>77</b>
<b>Zoznam použitej literatúry</b>	.....	<b>79</b>
<b>Prílohy</b>	.....	<b>82</b>



---

## Zoznam ilustrácií

Obr. 1 Meranie výšky materiálu mechanickou sondou.....	20
Obr. 2 Lopatkové rotačné spínače.....	21
Obr. 3 Vibračný spínač.....	21
Obr. 4 Membránový spínač.....	22
Obr. 5 Umiestnenie vážiaceho zariadenia.....	23
Obr. 6 Kapacitné meranie výšky hladiny.....	26
Obr. 7 Kapacitný hladinový spínač.....	28
Obr. 8 Priamy piezoelektrický jav.....	30
Obr. 9 Obrátený piezoelektrický jav.....	30
Obr. 10 Mechanické vibrácie kryštálu vyvolané periodickým napätím.....	30
Obr. 11 Piezokryštál ako vysielač ultrazvukovej vlny.....	31
Obr. 12 Niklová tyč ako magnetostrikčný zdroj ultrazvuku.....	32
Obr. 13 Chyba vznikajúca pri rozdielnej amplitúde impulzov.....	35
Obr. 14 Systém CFD eliminuje chybu.....	35
Obr. 15 Rádioizotopový žiarič v ochrannom púzdre.....	41
Obr. 16 Laserové meranie výšky hladiny.....	42
Obr. 17 Ultrazvukový snímač LV-MaxSonar EZ1.....	46
Obr. 18 Rozmery a vývody snímača LV-MaxSonar EZ1.....	46
Obr. 19 Snímač teploty DS18B20.....	47
Obr. 20 Mikroprocesor C8051F330.....	48
Obr. 21 SCON0 register.....	49
Obr. 22 Operačný zosilňovač LM358.....	50
Obr. 23 Prevodník MAX232.....	50
Obr. 24 Princíp merania uhlu snímača.....	53
Obr. 25 Merané veličiny.....	53
Obr. 26 Trojuholník vyžarovacieho uhla snímača.....	54
Obr. 27 Princíp merania linearitu ultrazvukového snímača.....	56
Obr. 28 Šírka záberu ultrazvukového snímača.....	58
Obr. 29 Umiestnenie ultrazvukových snímačov v sile.....	59
Obr. 30 Umiestnenie ultrazvukových snímačov v sile.....	60
Obr. 31 Návrh krytu snímača.....	61
Obr. 32 Výsledný návrh krytu ultrazvukového snímača.....	62
Obr. 33 Umiestnenie teplotných čidiel v sile.....	64

---

Obr. 34 Algoritmus pre meranie výšky hladiny v sile.....	66
Obr. 35 Napájanie mikrokontroléra.....	67
Obr. 36 Schéma zapojenia čidiel DS18B20.....	68
Obr. 37 Reset 1 – Wire.....	68
Obr. 38 1 - Wire vysielanie dát.....	69
Obr. 39 1 - Wire Príjem dát.....	69
Obr. 40 Štruktúra 64 bitového identifikačného čísla.....	70
Obr. 41 Register čidla DS18B20 pre informácie o teplote.....	70
Obr. 42 Dolná priepusť 1. rádu s amplitúdovo-frekvenčnou charakteristikou.....	72
Obr. 43 Schéma zapojenia ultrazvukových snímačov.....	72
Obr. 44 Zapojenie prevodníka Max 232.....	74
Obr. 45 Sériová komunikácia s PC.....	75
Obr. 46 UART 8 – bit.....	75
Obr. 47 SCON0 register.....	75
Obr. 48 SBUF0 register.....	75
Obr. 49 Konektor pre pripojenie indikátora úrovne zaplnenia sila.....	76

---

## Zoznam tabuliek

Tab. 1 Základné technické parametre snímača LV-MaxSonar EZ1.....	46
Tab. 2 Rozmery snímača LV-MaxSonar EZ1.....	47
Tab. 3 Popis vývodov na snímači LV-MaxSonar EZ1.....	47
Tab. 4 Základné technické parametre snímača DS18B20.....	48
Tab. 5 Základné technické parametre mikroprocesora C8051F330.....	48
Tab. 6 Popis bitov v SCON0 registri.....	49
Tab. 7 Základné technické parametre operačného zosilňovača LM358.....	50
Tab. 8 Základné technické parametre prevodníka MAX232.....	50
Tab. 9 Základné technické parametre regulátora napätia LP2950ACZ 3,3V.....	51
Tab. 10 Meranie vyžarovacieho uhlu ultrazvukového snímača .....	54
Tab. 11 Tabuľka hodnôt z merania linearity ultrazvukového snímača.....	56
Tab. 12 Výpočet korelácie.....	57
Tab. 13 Príklad prepočtu teploty.....	71
Tab. 14 Hodnoty napätí pri jednotlivých úrovniach.....	74

---

## Zoznam skratiek a značiek

<b>Označenie</b>	<b>Názov</b>	<b>Jednotka</b>
$A_u$	napät'ové zosilnenie	dB
C	kapacita	F
c	rýchlosť šírenia zvuku	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
f	frekvencia	Hz
G	elektrická vodivosť	S
I	elektrický prúd	A
I	intezita ultrazvuku	dB
l	dĺžka	m
m	hmotnosť	kg
p	tlak	Pa, bar
P	výkon	W
R	elektrický odpor	$\Omega$
R	plynová konštanta	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
S	plocha	$\text{m}^2$
t	čas	s
T	teplota	$^{\circ}\text{C}$
v	rýchlosť	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
$\epsilon$	permitivita	$\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$
$\lambda$	vlnová dĺžka	m
$\mu$	permeabilita	$\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$
$\rho$	hustota	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
$\kappa$	adiabatická konštanta	-

---

## Slovník termínov

**Algoritmus** je presný postup, ako vyriešiť daný typ úlohy (Wikipedie, 2011a).

**Diskrétno (bodové) meranie výšky hladiny** je (Kureková a i.,2005) zaznamenávanie prítomnosti hladiny iba v určitých diskretných bodoch, najčastejšie to býva minimum alebo maximum. Takéto meradlá sa označujú ako spínače. Do nádrží sa umiestňujú vodorovne alebo zvislo.

**Elektronický obvod** je (Wikipedie, 2011b) vzájomné vodivé spojenie elektronických súčiastok tak, aby bola splnená funkcia, ktorá sa od obvodu požaduje.

**Flash pamäť** je to pamäť (Wikipédia, 2011a), ktorá uchováva dáta aj bez napájacieho napätia. Flash pamäte sa dajú vymazať elektricky.

**Meracie zariadenie** je súbor trvale prepojených prístrojov tvoriacich celok (Krčula,1999).

**Meranie** je proces snímania, prenosu a spracovávania s cieľom zistiť kvantitu danej veličiny v podobe najvhodnejšej pre ďalšie využitie. Meranie sa vykonáva pomocou meracích prístrojov a zariadení.

**Meranie výšky hladiny** je zistenie vzdialenosti (Kureková a i.,2005) hladiny materiálu od definovanej nulovej výšky hladiny. Hladinou sa pritom označuje rozhranie medzi dvoma médiami - pevným a kvapalným, pevným a plynným, kvapalným a plynným, resp. medzi dvoma nezmiešateľnými kvapalnými médiami s rozličnou hustotou. Výška hladiny materiálu sa uvádza v dĺžkových jednotkách. V špeciálnych prípadoch bývajú meradlá výšky hladiny kalibrované priamo v objemových jednotkách.

**Mikroprocesor** je druh procesora (Wikipédia, 2011b), ktorý je integrovaný do jediného integrovaného obvodu.

**RAM pamäť** (Random acces memory) je to pamäť s ľubovoľným prístupom (Wikipédia, 2011c).

**Register** je pamäťové miesto (Wikipédia, 2011d), ktoré slúži na uchovávanie dát. Dáta sú binárneho charakteru.

**Senzor** je citlivá časť snímača (Krčula,1999).

**Signál** je fyzikálna veličina, ktorá je nositeľkou priradenej informácie. Môže to byť ľubovoľná výstupná veličina určitého systému, ktorého aspoň jeden parameter sa funkčne mení pôsobením snímanej veličiny.

---

**Silo** je konštrukcia na ukladanie sypkých materiálov (Wikipedia, 2011), ktoré sa používa v poľnohospodárstve na ukladanie obilia. Silá sú tiež bežne používané na skladovanie uhlia, cementu, pilín a potravinárskych výrobkov.

**Snímač** je funkčná jednotka (Krčula,1999) realizujúca snímanie, to znamená, že fyzikálnu veličinu charakterizujúcu meraný objekt a bezprostredne pôsobiacu na jeho citlivú časť mení na signál, vhodný aj na ďalšie spracovanie.

**Spojité meranie výšky hladiny** je meranie (Kureková a i.,2005), ktoré poskytuje analógový výstupný signál úmerný momentálnej výške hladiny.

**Veličina** je vlastnosť javu telesa alebo látky (Krčula,1999), ktorú možno kvalitatívne rozlíšiť, kvantitatívne stanoviť. Fyzikálna veličina je veličina exaktne definovaná fyzikálnymi zákonmi.

**Vstupná veličina** je veličina vstupujúca do systému.

**Vstupný signál** je signál vstupujúci do obvodov, ich častí alebo prvkov, na ktoré pôsobí.

**Vyhodnocovací prvok** je prvok vyjadrujúci výstupnú veličinu (informáciu) určenú ľudskému vnímaniu. Podľa pôsobenia na ľudské zmysly sa rozlišujú prvky zrakový (optický) a sluchový (akustický). Podľa formy výstupu môže prvok fungovať ako sledovač, zapisovač alebo návěstidlo.

**Výstupná veličina** je veličina vystupujúca zo systému.

**Výstupný signál** je signál, ktorý vystupuje z obvodov, ich častí alebo prvkov a pôsobí na iné obvody, ich časti alebo prvky.

**Zbernica** je elektrický vodič (Wikipédia, 2010e), alebo sústava vodičov, ktoré spájajú viaceré elektrické alebo elektronické zariadenia a slúžia na prenos energie, alebo prenos údajov. Pojem zbernica sa často používa na označenie komunikačného rozhrania.

**Zosilňovač** je elektronická súčiastka (Wikipédia, 2010f), ktorej úlohou je zvýšiť amplitúdu elektrického signálu, tak aby jeho ostatné charakteristiky ostali neporušené.

---

## Úvod

Meranie výšky hladiny sa v dnešnej dobe považuje za dôležitú súčasť priemyslu. Používa sa v rôznych odvetviach ako poľnohospodársky, strojársky, chemický a potravinársky priemysel. V poľnohospodárskom priemysle sú meranou látkou produkty ako obilie, olejoviny a strukoviny.

Hlavnou úlohou merania výšky hladiny je sledovanie úrovne hladiny meranej látky. Týmto spôsobom dosahujeme optimálne využitie skladovacej kapacity zásobníkov, zabráňujeme ich zbytočnému prepĺňaniu alebo zisťujeme možný únik meranej látky zo zásobníka.

Pri výbere najvhodnejšej metódy merania je potrebné komplexne zvážiť všetky faktory, ktoré vplývajú na dané meranie výšky hladiny v zásobníku. V prvom rade sú to základné konštrukčné parametre zásobníka, prevádzkové vlastnosti, vlastnosti vybranej metódy merania a v neposlednom rade aj jej samotný fyzikálny princíp. Prevádzkové vlastnosti merania sú ovplyvňované rôznymi faktormi či už priamo alebo nepriamo. Tieto faktory sú najmä: prašnosť, vlhkosť prostredia a meranej látky, teplota prostredia a meranej látky, vibrácie, nebezpečenstvo výbuchu, chemické zloženie, hustota, skupenstvo meraného materiálu. Pri výbere vhodnej metódy na meranie je potrebné však zvážiť aj procesné faktory ako tlak a vákuum. Je potrebné brať do úvahy aj to, že meraný materiál nemá vždy konštantné vlastnosti. Jeho vlastnosti ako hustota, permeabilita, vodivosť, prašnosť, lepkosť, hodnota PH sa môžu neustále meniť a tak ovplyvňovať priamo výsledok merania.

Existuje veľké množstvo meracích metód, ktoré sú pre dané meranie vhodné. No treba poznamenať, že ani jedna metóda nie je univerzálna. Je potrebné nájsť metódu, ktorá bude zohľadňovať už spomínané faktory, ktoré ovplyvňujú meranie, a bude výhodná aj z ekonomického hľadiska.

Cieľom tejto diplomovej práce je vybrať vhodnú metódu na meranie výšky hladiny sypkého materiálu v zásobníku pre zvolený hospodársky objekt. Na základe vybranej metódy merania navrhnuť elektronický obvod, ktorý bude spoľahlivo vyhodnocovať aktuálnu výšku meraného materiálu v zásobníku. Pri výbere vhodnej metódy sme zohľadnili práve spomínané faktory, ktoré vplývajú na meranie v našom prípade. Ako hospodársky objekt sme si zvolili uskladňovacie silo o kapacite 1000 ton.

---

Nami zvolený ultrazvukový princíp merania je v súčasnosti jedna z najrozšírenejších metód pre meranie výšky hladiny sypkých materiálov v zásobníkoch. V prašnom prostredí, ktoré sa v sile nachádza je veľkou výhodou samočistiaca schopnosť vybraného ultrazvukového snímača. Hlavnou nevýhodou zvolenej metódy je značná závislosť na vlastnostiach atmosféry medzi ultrazvukovým snímačom a meranou látkou. Ultrazvukové meranie najviac ovplyvňuje teplota okolitého prostredia, v ktorej sa ultrazvukový snímač nachádza. Preto nami navrhnutý systém merania zahŕňa aj kompenzáciu nameranej vzdialenosti na základe nameranej teploty v sile. Na základe tohto riešenia dosiahneme presnejšie výstupné údaje o výške meranej látky v sile. Výstupom z elektronického obvodu je informácia o aktuálnej výške hladiny v zásobníku, ktorá je posielaná na konektor pre indikátor hladiny a zároveň aj na konektor RS232. Elektronický obvod bol navrhnutý tak, aby sa táto informácia dala ďalej softwarovo spracovať pomocou počítača.



---

# 1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

## 1.1 Výber snímačov

Často dochádza k výberu snímačov na základe krátkodobej ekonomickej úvahy, (Đađo a i.,2005) pričom nie je do úvahy braný dôsledok nútenej odstávky alebo výpadku vo výrobe v dôsledku zlyhania nevhodného alebo nedostatočne spoľahlivého snímača. Pri projektovaní systému by vždy mali byť zohľadnené celkové náklady, vrátane údržby, školení personálu, atď. Bezdotykové snímače nadobúdajú na popularite, pretože majú zvyčajne menšie nároky na údržbu a s pokrokom technológií sa stávajú stále dostupnejšie.

Pri výbere vhodného snímača pre meranie hladiny je nutné zvážiť mnoho okolností. Neexistuje snímač, ktorý by bolo možné označiť za univerzálne použiteľný bez znalosti detailov ako sú vlastnosti meracieho média, technologický význam merania a jeho požadovaná presnosť, spoľahlivosť, náklady na údržbu atď.

K týmto faktorom patria aj:

- obecné fyzikálne a chemické vlastnosti meraného média (prípadne médií)
- nebezpečnosť média zvyšujúca náklady na údržbu (napr. u toxických materiálov)
- nutnosť prevádzať čistenie a sterilizáciu na mieste (potravinárstvo, farmácie)
- miešanie, zvlhčený povrch, pokrytie penou, to všetko sú faktory, ktoré sťažujú použitie bezkontaktných metód merania
- teplota vylučuje použitie niektorých typov senzorov
- rozsah pracovných tlakov
- otázka, či sa skutočne zaujímame o výšku hladiny alebo skôr o množstvo látky (významné najmä u nepravidelne tvarovaných látok)

---

### **1.1.1 Presnosť snímačov**

Je treba si uvedomiť, že presnosť snímačov špecifikovaná výrobcom je obvykle určená odvodeným spôsobom. Radary a ultrazvukové snímače sú obvykle kalibrované „meraním proti stene“. Udávaná presnosť je preto zaručená v laboratórnych podmienkach a použitie v reálnej prevádzke môže znamenať podstatné zhoršenie presnosti v dôsledku rušivých vplyvov ako zmena hustoty média u tlakových senzorov, vplyv vodivých alebo dielektrických usadenín u kapacitných snímačov alebo vlnovodových radarov.

Na druhej strane nemá význam vyžadovať vysokú presnosť tam, kde samotné vlastnosti média znemožňujú presné určenie hladiny alebo rozhrania.

Podľa účelu je možno snímače rozdeliť na hladinomery procesné (technologické) a inventárne (skladové). Pochopiteľne u druhej skupiny býva vyžadovaná oveľa väčšia presnosť. V niektorých aplikáciách je dôležité okrem skutočnej presnosti snímača to, či dodávateľ je schopný zaistiť príslušný metrologický certifikát pre tzv. stanovené meradlo v zmysle zákona.

### **1.1.2 Ďalšie faktory ovplyvňujúce výber snímačov**

Okrem známych metrologických vlastností je výber snímačov hladiny ovplyvnený taktiež ďalšími faktormi:

#### **Priestorové nároky**

Problémy pri montáži môže spôsobiť nevhodná voľba snímača, ktorý je príliš rozmerný pre dané umiestnenie, alebo jeho pracovné pole (ultrazvuk, radar) nesmie byť prehradené. Úlohu pri tom hrajú nielen vnútorné rozmery nádrže, ale tiež vnútorné usporiadanie, rôzne prekážky, pohyblivé miešadlá atď. Pokiaľ z nejakého dôvodu musí byť snímač umiestnený na vrchnej časti nádrže, je tiež potrebné zvážiť, či zostane medzi vrchom nádrže a stropom miestnosti dostatok priestoru pre umiestnenie a pre manipuláciu počas inštalácie.

#### **Iskrová bezpečnosť**

Najmä v chemickom a petrochemickom priemysle je kladený veľký dôraz na inštaláciu iba takých zariadení, ktoré sú vnútorne bezpečné t.j., v ktorých sa nenachádza napätie, ktoré by bolo schopné iskrou zapáliť výbušné pary v atmosfére. U sypkých materiálov môže hroziť nebezpečenstvo poškodenia elektrostatickým výbojom nahromadením v nádobe.

---

## Stupeň krytia IP

Nakoľko snímače hladiny pracujú často v extrémne vlhkom či prašnom prostredí, je vhodné zvážiť aký stupeň ochrany proti vlhkosti a vniknutiu častíc (IP) bude vyžadovaný u samotného snímača aj u eventuálne pripojenej elektroniky. Výrobcovia bežne dodávajú zariadenia s maximálnym krytím IP67.

## Odolnosti voči tlaku

Pri meraní hladiny v uzavretých nádobách sa môže vyskytnúť potreba prevádzky pod tlakom. Je potrebné zvážiť, že tlakové nádoby obvykle musia prechádzať pravidelnou tlakovou skúškou, a to pri tlaku vyššom než je prevádzkový tlak. Snímač a aj jeho celá konštrukcia montáže potom musia vydržať maximálny tlak aký sa môže vyskytnúť.

## 1.2 Mechanické a elektromechanické hladinoměry

Do kategórie mechanických meradiel výšky hladiny (Kureková a i.,2005) patria tyčové meradlá, priehľadové a elektromechanické hladinoměry, rotačné, limitné a vibračné spínače. Uvedené typy hladinomerov sú mimoriadne jednoduché, lacné a spoľahlivé meradlá.

Medzi hlavné výhody (Ďaďo a i.,2005) mechanických hladinomerov patrí:

- nevyžadujú elektrické napätie
- možno ich používať aj na miestach bez elektrickej energie
- v prípade výpadku elektrickej siete nie je meranie obmedzené
- nie sú citlivé na zmeny vlastností meranej látky
- môžu pracovať aj vo vákuu
- merací rozsah je takmer bez obmedzenia

Hlavnou nevýhodou mechanických hladinomerov je, že neposkytujú žiadny elektrický signál vhodný na prenos a ďalšie spracovanie nameraných údajov.

### 1.2.1 Tyčové meradlo

Tyčové meradlo je historicky najstarším meradlom (Kureková a i.,2005) výšky hladiny, ktoré sa doteraz často využíva. Ide o meradlo dĺžky, ktoré sa ponorí do nádrže kolmo na hladinu meraného materiálu. Meradlo sa môže kalibrovať v jednotkách dĺžky, alebo pri známej geometrii nádrže aj v objemových jednotkách. Používa sa najmä na orientačné zisťovanie výšky hladiny, jeho dĺžka môže dosahovať až 50 m.

---

### 1.2.2 Priehľadové hladinometry (priezory)

Používajú sa najmä na vizuálnu kontrolu množstva kvapaliny v zásobníku. Vo všeobecnosti existujú dva typy priehľadových hladinomerov:

- valcové hladinometry
- ploché hladinometry

**Valcový priehľadový hladinomer** pracuje na princípe spojených nádob. K nádrži, v ktorej sa zisťuje výška hladiny sa pripája priehľadná trubica z tvrdého skla alebo z plastickej látky.

**Plochý priehľadový hladinomer** sa umiestňuje priamo na stenu nádrže. V kovovom ráme je zasadený hrubostenný sklenený alebo plastový priezor. Dodáva sa pre široký rozsah prevádzkových tlakov a teplôt, približne do 10 MPa a 550 °C.

### 1.2.3 Preklápací spínač

Najjednoduchší mechanický detektor hladiny (Ďaďo a i.,2005) je klopný spínač. Je používaný aj pre detekciu hladiny sypkých látok. Vo vnútri hermetickej komory spínača je elektrický kontakt – mikrospínač ovládaný ťažkou oceľovou guľičkou. Teleso spínača je zavesené na pevnom kábli, ktorým vedú vodiče spínacieho elektrického okruhu.

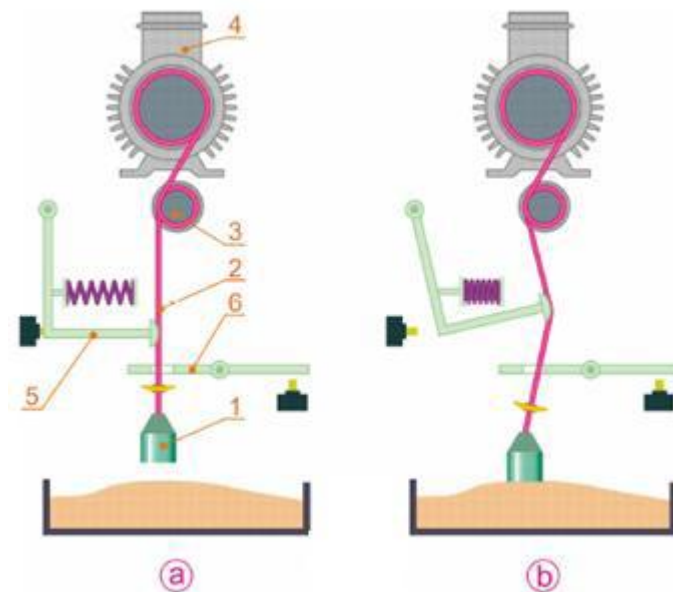
V kľudnom stave (nízka hladina) spínač visí na kábli. Keď hladina stúpne nad úroveň zavesenia spínača, teleso sa nakloní na stranu, oceľová guľička sa odvalí a elektrický kontakt sa zopne.

### 1.2.4 Mechanická sonda

Na meranie sypkého materiálu (Kureková a i.,2005) sa často používa mechanická sonda (Obr. 1). Sonda 1 (plavák) má tanierovitý alebo valcový tvar a spúšťa sa do nádrže zhora (Obr. 1.a). K sonde sa pripevňuje lanko 2 resp. reťaz alebo oceľový pás, ktoré je navinuté na bubne 3. Po určitej dĺžke posuvu lanka sa vyšle impulz, ktorý sa zaznamenáva počítadlom impulzov, takže sa dá zistiť celková odvinutá dĺžka lanka. Lanko sa navíja pomocou reverzačného motora 4, ktorého chod prepína blokovacia páka 5. Po dosadnutí sondy na materiál sa lanko uvoľní, blokovacia páka zapne spätný chod motora a lanko sa začne navíjať naspäť (Obr. 1.b). Zároveň sa zaznamená meraná úroveň. Pred ďalším meraním sa sonda vytiahne do hornej koncovej polohy, ktorú vymedzuje blokovacia páka 6. Mechanické sondy sú spoľahlivé, používajú sa najmä v silách, tankoch, zásobníkoch. Merací rozsah nepresahuje 70 m,

---

dovolená chyba meradla je približne 0,1% meracieho rozsahu. Výhodou tejto technológie (Kiseľ,2009) je, že je pomerne presná a je vhodná najmä pri veľmi jemných sypkých materiáloch. Meranie nie je ovplyvnené tvarom zásobníka, konštrukciou strechy zásobníka, zrnitosťou a oterom materiálu. Na presnosť merania nemá vplyv ani hluk počas plnenia a teplota materiálu. Metódu nemožno využiť počas plnenia, lebo padajúci materiál by mohol závažie odtrhnúť.



**Obr. 1 Meranie výšky materiálu mechanickou sondou**

1- plavák, 2 – lano, 3 – bubon, 4 – motor, 5 – páka, 6 – blokovacia sonda

Zdroj: KUREKOVÁ, E. a i. 2005. Meranie výšky hladiny.

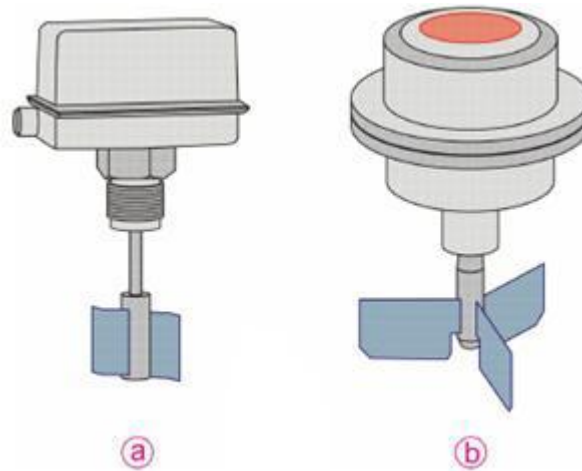
### 1.2.5 Lopatkové (rotačné) hladinoměry

Lopatkové hladinoměry (Ďaďo a i.,2005) sú používané hlavne pre sypké materiály (Obr. 2). Do nádoby s materiálom zasahuje rotujúca os s jednou alebo niekoľkými lopatkami, poháňaná napríklad nízkootáčkovým synchronným elektromotorom s malým krútiacim momentom. Pokiaľ hladina látky vystúpi až k snímaču dôjde k zablokovaniu otáčok, ktoré sú detekované.

Niektoré snímače majú medzi pohonným motorom a osou s lopatkami „cvrčka“, ktorý pri zablokovaní odskočí a zopne mikropsínač. Existujú ale aj iné možnosti detekcie. U niektorých snímačov je motor konštruovaný tak, aby vydržal dlhodobé zablokovanie a jeho krútiaci moment udržiava spínač v zopnutom stave. U iných je motor vypnutý a návrat k činnosti po odblokovaní zaisťuje pružina.

Lopatky môžu byť rôznych tvarov a veľkostí. Pre detekciu látok s malou hustotou je treba použiť lopatky o veľkej ploche k vytvoreniu dostatočného brzdiaceho

momentu. Spínač by nemal byť nainštalovaný tam, kde hrozí priame zavalenie prúdom dopĺňovaného materiálu.

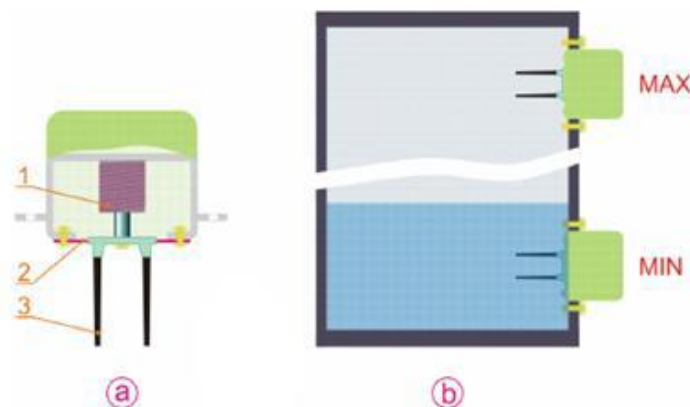


**Obr. 2 Lopatkové rotačné spínače**

Zdroj: KUREKOVÁ, E. a i. 2005. Meranie výšky hladiny.

### 1.2.6 Vibračné spínače

Vibračný spínač pracuje na princípe zmeny kmitov telesa (Kureková a i.,2005) vo voľnom priestore oproti kmitom v priestore zaplnenom materiálom (Obr. 3). Lopatky snímača sa rozkmitávajú piezoelektrickým kryštálom alebo elektromagnetickým budičom 1 (Obr. 3a). Ten prostredníctvom membrány 2 rozkmitáva oceľové lopatky (vidličky) 3 na rezonančnú frekvenciu približne 380 Hz. Lopatky vo voľnom priestore kmitajú v rezonančnom pásme, pri dotyku s meraným materiálom sa ich kmitanie utlmí (Obr. 3b). Miera útlmu sa zaznamenáva druhým piezokryštalickým prvkom a vyhodnocuje sa elektronicky.



**Obr. 3 Vibračný spínač**

*a) konštrukčné riešenie, b) umiestnenie v nádrži*

1-piezoelektrický kryštál, 2 – membrána, 3- lopatky

Zdroj: KUREKOVÁ, E. a i. 2005. Meranie výšky hladiny.

---

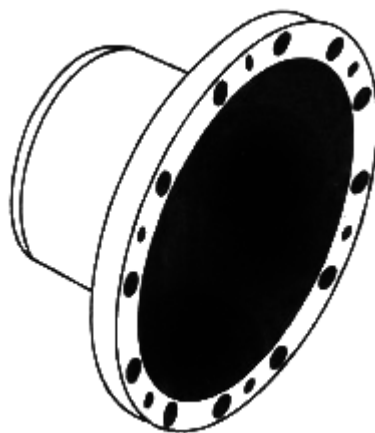
Spínač by nemal byť vystavený (Ďaďo a i.,2005) prúdu dopĺňovaného materiálu. V prípade potreby je nutné chrániť senzor strieškou proti dopadajúcemu materiálu. Pri horizontálnej inštalácii je potrebné senzor umiestniť tak, aby materiál medzi prstami mohol prepadnúť a neblokoval činnosť senzoru. Ak je senzor namontovaný príliš blízko dna zásobníka môže dôjsť k tomu, že zvyšok materiálu aj po vyprázdnení zásobníka zostane nasýpaný na senzore a bude ho tak trvale blokovat'.

Minimálna hustota detekovaného materiálu je asi  $500 \text{ kg.m}^{-3}$ . Maximálna prevádzková teplota je obmedzená spojovacím materiálom medzi piezokryštálom a telom ladičky asi na  $150^\circ\text{C}$ .

Nevýhodou vibračných spínačov (Kiseľ,2007) je možnosť ich obmedzenia pri meraní veľkých kusových sypkých materiálov, ktoré by mohli pri pohybe a sypaní poškodiť piezoelektrický oscilátor. V prípade merania sypkých materiálov vidlicou je riziko zachytenia väčšieho kusa materiálu medzi vidlicami, ktoré vedie k blokovaniu merania.

### 1.2.7 Membránové spínače

Jednoduchý spôsob (Ďaďo a i.,2005) detekcie úrovne materiálu je membránový spínač (Obr. 4). Materiálu je vystavená čelná plocha spínača s ohybnou membránou. Keď materiál vystúpi nad úroveň spínača, membrána sa tlakom prehne a dôjde ku zopnutiu. Poloha membrány je snímaná rôznym spôsobom napríklad pomocou Bourdonovej trubice s prevodom na polohu magnetu. U niektorých konštrukcií je membrána rozochvievaná piezoelektricky a je detekovaný útlm pri pokrytí membrány materiálom.



**Obr. 4 Membránový spínač**

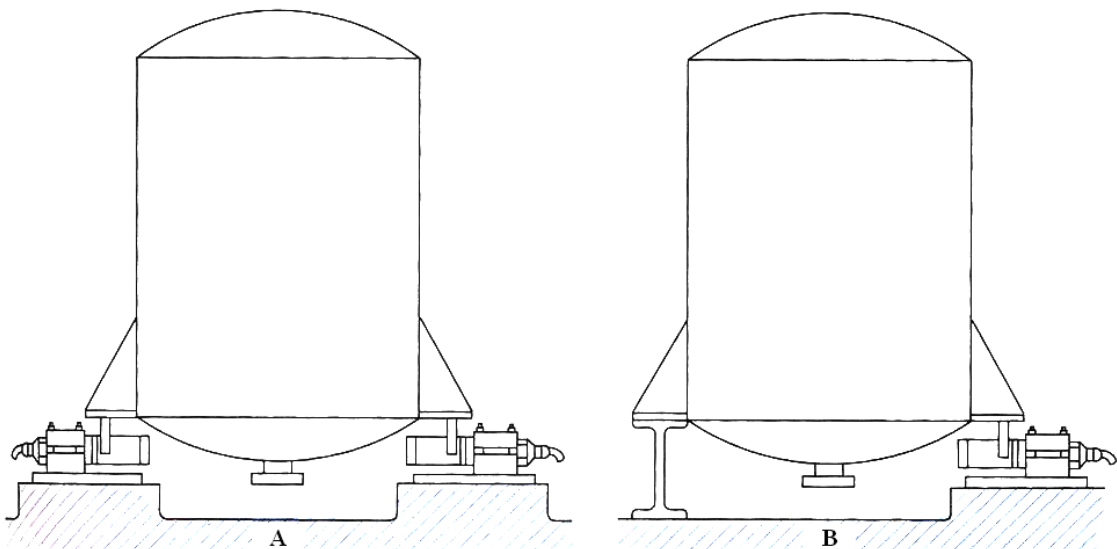
Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Meření průtoku a výšky hladiny.

### 1.3 Vážne systémy

Pri meraní hladiny nám v mnohých prípadoch ide v skutočnosti skôr o množstvo látky, ktorá je v nádobe uskladnená. Zvyčajne nás zaujíma hmotnosť uskladnenej látky, než jej objem. Najmä v týchto prípadoch dáva zmysel merať priamo hmotnosť pomocou vážneho systému. Takéto meranie je zároveň odolné voči zmenám hustoty materiálu meranej látky. Pod nádobou s meranou látkou je umiestené vážiace zariadenie (Obr. 5), ktoré určí celkovú hmotnosť nádoby a materiálu („brutto“). Po odčítaní hmotnosti prázdnej nádoby („tara“) získame čistú hmotnosť uskladnenej látky („netto“).

Vážiace zariadenie je obvykle vo forme sady prevodníkov hmotnosti. Najrozšírenejšie sú prevodníky s pružnými členmi, kde deformácia spôsobená zaťažením je meraná pomocou odporových tenzometrov vyhodnocovacou elektronikou. Je možno použiť aj iné princípy merania napríklad pre extrémne hmotnosti sa používajú hydraulické snímače s prevodom na meranie tlaku. Jednotlivé senzory hmotnosti sú inštalované pod niektoré podpery zásobníkov a súčet ich údajov dáva celkovú hmotnosť.

Lacnejšou alternatívou môže byť využitie samotnej podperovej konštrukcie ako deformačného prvku. Meranie potom možno prevádzať tenzometrami pripevnenými priamo na vzpery. Tenzometre musia byť inštalované vo dvojiciach, jeden v osy pôsobenia síl, druhý kolmo pre teplotnú kompenzáciu. Dosaiahnuteľná presnosť je však iba 3 – 5 % rozsahu.



**Obr. 5 Umiestnenie vážiaceho zariadenia**

a) Úplne podopretá nádoba b) Čiastočne podopretá nádoba

Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Měření průtoku a výšky hladiny.



---

### **1.3.1 Teplotná expanzia nádoby**

Ak je nádoba vystavená zmenám teploty teda radiálnej expanzii, je treba umožniť príslušné pohyby v uložení podpier a tým zabrániť stanovenému namáhaniu senzorov. To môže byť dosiahnuté napríklad pomocou klzných ložísk. Horšia je situácia u nádob podoprených stĺpovými prevodníkmi, kde expanzia spôsobí stranové pôsobenie sily, ktorá skresľuje meranie. Aj tieto prevodníky je však možné uložiť na klzné plochy, ktoré umožnia expanziu nádoby. Pri veľkých teplotách nádoby je zároveň vhodné použiť teplotnú izoláciu prevodníkov pomocou oddeľovacích vložiek s nízkou tepelnou vodivosťou.

### **1.3.2 Obmedzenie stranového pohybu**

Pre bezpečnú prevádzku je treba zaistiť nádoby proti prevráteniu. Vysoké nádoby inštalované mimo budovy môžu byť silne ovplyvnené vetrom. Ďalším potenciálnym zdrojom stranových pohybov je vplyv miešadiel, otrasy a deformácie podláh spôsobené dopravnými prostriedkami a podobne. Preto sú často nádoby zaistené rôznymi zabezpečovacími tyčami ukotvenými v podlahe a inštalované natesno, horizontálne a vertikálne k povrchu nádoby.

Okrem toho sú proti stranovému pohybu a prevrhnutiu nádoby inštalované ďalšie tyče vodorovne vo vyššej polohe alebo zvisle. Tieto tyče však musia byť inštalované „voľne“ teda skrz otvor o väčšom priemere ako je priemer tyče aby neskresľovali meranie hmotnosti.

### **1.3.3 Inštalácia**

Prevodníky by mali byť inštalované na úplne vodorovnú základňu, ktorú je v prípade potreby možno vypoďložiť kovovými podložkami. Jednotlivé snímače ale nemusia byť úplne v rovnakej úrovni. Os snímača by mala byť zvislá s presnosťou na  $0,5^\circ$  (resp. vodorovná v prípade ohybového snímača).

Odporúča sa inštaláciu previesť najprv so „slepými“ prevodníkmi, t.j. rozmerovo identickými vložkami a až po usadení nádoby použiť hydraulický zdvihák a postupne inštalovať skutočné prístroje. Pri projektovaní podpier nádoby je vhodné dbať na potrebu nadvihnutia pomocou hydraulického zdviháka a zaistiť preň dostatok miesta. Toto môže byť potrebné aj pri výmene poškodeného prevodníka za nový. Pri prázdnej nádobe by každý z prevodníkov mal dávať signál odpovedajúci aspoň 10 % celkovej hmotnosti prázdnej nádoby.



Pri meraní výšky hladiny (Kureková a i.,2005) nevodivých materiálov, najmä sypkých (suché cementy, múka, obilie atď.) sa dá použiť tyčová kovová sonda (Obr. 6a).

Celková kapacita systému (Obr. 6b) sa dá vypočítať podľa vzťahu (2):

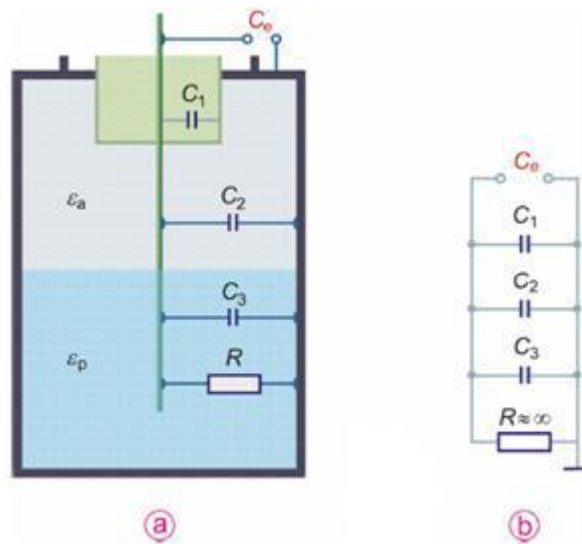
$$C_e = C_1 + C_2 + C_3, F \quad (2)$$

Kde:  $C_e$  je celková kapacita systému

$C_1$  je kapacita izolovaného prostredia

$C_2$  je kapacita elektródy nad hladinou meraného materiálu vzhľadom na steny nádoby

$C_3$  je kapacita medzi elektródou a meranou látkou



**Obr. 6 Kapacitné meranie výšky hladiny**

*schéma, b) náhradný obvod*

Zdroj: KUREKOVÁ, E. a i. 2005. Meranie výšky hladiny.

Kapacita  $C_2$  sa dá zanedbať v porovnaní s kapacitou  $C_3$ . Z toho vyplýva, že zmena celkovej kapacity systému naozaj závisí iba od výšky hladiny materiálu. Predpokladá sa pri tom stála hodnota relatívnej permitivity meraného materiálu. V praxi to ale často neplatí, pretože relatívna permitivita je citlivá na teplotu meraného materiálu, jeho vlhkosť, zrnitosť, obsah nečistôt a homogenitu chemického zloženia.

Elektróda a zásobník (Kiseľ,2007) tvoria dosky kondenzátora, meraná látka predstavuje dielektrikum. V závislosti od relatívnej permitivity látky  $\epsilon_r$  zakrytej časti elektród sa bude meniť kapacita kondenzátora. Ak bude nahradený vzduch s permitivitou  $\epsilon_r=1$  látkou s inou hodnotou permitivity  $\epsilon_r$  zväčšenie kapacity

---

kondenzátora bude zodpovedať pomeru permitív  $\epsilon_r$ . Ak sa zaplní iba časť kondenzátora, rozdelí sa vlastne na dve čiastkové kapacity.

Zmena kapacity je vyhodnocovaná príslušnou elektronikou. Táto pozostáva z oscilátora, meracieho usmerňovača a zosilňovača. Oscilátor vytvára konštantné striedavé napätie na meracom kondenzátore. Frekvencia tohto oscilátora je konštantná a dosahuje v závislosti od produktu a elektród hodnotu od 33 kHz do 2MHz. Zmena kapacity spôsobí zmenu prúdu v kondenzátore a následne v usmerňovači. Zosilňovač premení tento prúd na signál priamo úmerný meranej výške.

Výstupný signál je:

- spojitý prúdovo a galvanicky oddelený v rozsahu 4 – 20 mA
- využitý na spínanie pri dosiahnutí medzného stavu

Väčšinou sa meria len kapacita, ale aj odpor, teda výsledná impedancia a tieto snímače sa niekedy označujú ako impedančné alebo admitančné snímače s fázovo selektívnou admitanciou. Ich hlavnou výhodou je, že sú vhodné na meranie v silne lepiivých vodivých materiáloch, keď práve meranie admitancie pomáha eliminovať vplyv nalepovania materiálu na snímač a zároveň spresňuje meranie výšky hladiny v materiáloch s premennou vlhkosťou.

#### 1.4.2.1 Výber elektród

Pre správne meranie výšky hladiny pomocou kapacitného princípu je potrebné správne zvoliť elektródu. Správna výška závisí od meranej látky, príslušného zásobníka a okolitých podmienok, ako sú teplota, tlak, meraná výška, ako aj mechanické vyhotovenie. Kapacitné meranie sa osvedčilo pre látky s permitivitou  $\epsilon_r > 1,5$ . Pri základnom tvare kapacitných snímačov je možná voľba medzi tyčovou a lanovou elektródou. Na meranie výšky hladiny do 4 m sa používajú najmä tyčové elektródy. Pri väčších výškach (do 30 m) sa používajú lanové elektródy. Niektoré elektródy možno podľa potreby aj skracovať.

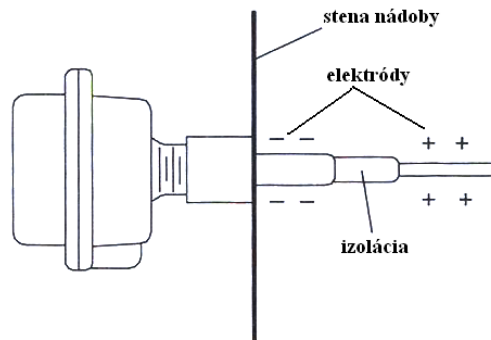
Špeciálne tvary elektród sú:

- dvojtyčová elektróda pre plastické zásobníky
- sonda s ochranou rúrkou pre linearizáciu merania nezávisle od tvaru zásobníka
- sondy diskové (do potrubia), plošné a kruhové (na vyhodnocovanie medzných stavov v zásobníkoch)
- sondy s vysoko odolnou teflonovou izoláciou pre agresívne média

---

#### 1.4.2.2 Kapacitné hladinové spínače

Kapacitné hladinové spínače (Obr. 7) detekujú zmenu permitivity prostredia v elektrickom poli (Ďaďo a i.,2005) medzi elektródami v prítomnosti kvapaliny alebo sypkej látky a to kontaktne i bezkontaktne, alebo cez stenu nevodivej nádoby. Vyhodnocuje sa malý vysokofrekvenčný kapacitný prúd tečúci medzi elektródami. Vplyv usadením je potlačovaný tzv. aktívnym tienením. Ďalšia možnosť je meranie a kompenzácia reálnej (vodivostnej) zložky admitancie.



Obr. 7 Kapacitný hladinový spínač

Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Měření průtoku a výšky hladiny.

Základné výhody kapacitných spínačov sú (Kiseľ,2007):

- ideálnosť na meranie sypkých materiálov a kvapalín,
- jednoduchá inštalácia pomocou závitů,
- vysoká chemická odolnosť ako štandardná voľba,
- univerzálna konštrukcia vyhovuje tak vyhodnocovaniu minima, ako aj maxima,
- automatické stráženie funkcie spínača,
- aplikácie aj pre vysoké teploty do 400/800 °C,
- nenáročnosť na údržbu,
- citlivosť pri širokom rozsahu materiálov.

#### 1.4.3 Ultrazvukové meranie výšky hladiny

Ultrazvuk (Ultrazvuk a jeho využitie, 2011) nachádza široké uplatnenie v rôznych odvetviach priemyslu, stavebníctva, v lodnej doprave, vo vojenskej technike, ale aj v zdravotníctve. Pomocou neho sa skúšajú vlastnosti materiálov, kontrolujú sa betónové nosníky, mosty, rotory turbín a iných strojov. Ultrazvuk umožňuje obrábanie najtvrdších materiálov, ale aj spájkovanie hliníka. Uplatňuje sa pri výrobe najjemnejších emulzií, ale aj pri meraní rýchlosti prúdenia kvapalín a plynov. Úspešne sa využíva tiež

---

v odlučovacích zariadeniach, kde zlepšuje parametre čistiacich filtrov. Možnosti použitia ultrazvuku sú však ešte ďaleko širšie.

O ultrazvukových snímačoch (Ďaďo a i., 2005) hovoríme pokiaľ ich pracovná frekvencia leží nad pásmom počuteľným pre človeka, to je nad 20kHz. Frekvenčný rozsah ultrazvukových vln je pritom veľmi široký. Technickými prostriedkami (Ultrazvuk a jeho využitie, 2011) sa dajú vytvárať aj ultrazvukové vlny s frekvenciou nad 1 GHz. Princípy funkcie ultrazvukových senzorov (Ďaďo a i., 2005) môžu byť použité aj pri nižších frekvenciách, potom hovoríme o sonických senzoroach.

#### 1.4.3.1 Princíp ultrazvuku a jeho zdroje

Podstatou zvuku a ultrazvuku je vlnenie charakterizované zhust'ovaním a zried'ovaním vzduchu. Na rozdiel od elektromagnetického vlnenia ide o pozdĺžne vlnenie.

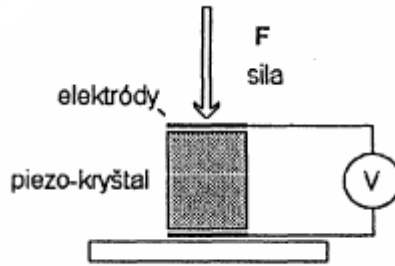
V pevných látkach sa šíri pozdĺžne aj priečne vlnenie a to s rôznymi rýchlosťami. Rýchlosť zvuku vo vzduchu je za normálnych podmienok približne  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a závisí od teploty čiastočne aj od tlaku a vlhkosti.

Hoci ultrazvuk je jav (Ultrazvuk a jeho využitie, 2011), ktorého vlastná povaha je mechanická, ultrazvuková technika je úzko spojená s elektronikou. Nejde pritom len o elektronické oscilátory, ktoré slúžia na napájanie vlastných ultrazvukových budičov, ale aj o detekciu ultrazvukovej vlny a tiež o elektronické metódy merania krátkych časových intervalov, ktoré sa v ultrazvukovej technike vyžadujú. Súčasťou ultrazvukovej techniky sú teda generátory elektrických kmitov, oscilátory, počítače.

K najčastejším zdrojom ultrazvuku patria piezoelektrické, resp. magnetostrikčné generátory. V oboch prípadoch ide o premenu elektrickej energie na akustickú. Pri nich sa využíva tzv. piezoelektrický, respektíve magnetostrikčný jav. Zdrojom ultrazvuku môže byť aj prúdiaca kvapalina, plyn. Generátory toho typu využívajú pritom rôzne hydrodynamické efekty.

#### **Piezoelektrický jav**

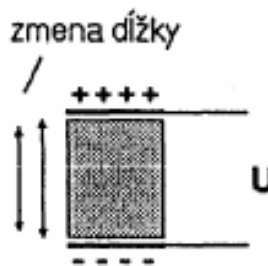
Piezoelektrina je vytvorená pod vplyvom mechanického tlaku. Grécke slovo piezos znamená tlak. Pri mechanickom stláčaní niektorých látok (Obr. 8) vznikajú na ich povrchu elektrické náboje (priamy piezoelektrický jav), čo sa prejaví vznikom elektrického napätia medzi elektródami. Vznikajúce napätie, ktoré ukáže merací prístroj je pritom priamo úmerné pôsobiacej sile.



**Obr. 8 Priamy piezoelektrický jav**

Zdroj : Ultrazvuk a jeho využitie, 2011

Piezoelektrické látky vykazujú však aj obrátený efekt (obrátený piezoelektrický jav). Ak na protiľahlé steny doštičky zhotovenej z takej látky privedieme opačné elektrické náboje, doštička sa zdeformuje (Obr. 9). Deformácia spočíva obvykle v zmene hrúbky doštičky, alebo v zmene tvaru, ktorý je charakteristický pre šmyk. To závisí od orientácie doštičky vzhľadom na kryštalografické osi.

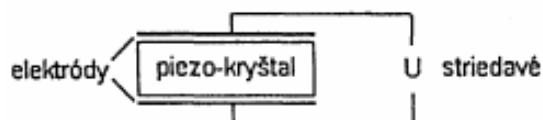


**Obr. 9 Obrátený piezoelektrický jav**

Zdroj : Ultrazvuk a jeho využitie, 2011

***Piezoelektrický zdroj ultrazvuku***

Z hľadiska ultrazvuku, je podstatná nasledovná skutočnosť. Ak na piezoelektrickú doštičku (piezokryštal) opatrenú tenkými kovovými elektródami privedieme striedavé elektrické napätie (Obr. 10), doštička bude periodicky meniť svoju hrúbku (resp. aj tvar). Bude teda vibrovať. Ak ide o dostatočne vysokú frekvenciu, bude zdrojom ultrazvuku.



**Obr. 10 Mechanické vibrácie kryštálu vyvolané periodickým napätím**

Zdroj : Ultrazvuk a jeho využitie, 2011

---

Ak takúto vibrujúcu doštičku pritlačíme k povrchu nejakej vrstvy, bude doštička vysielat' do vrstvy ultrazvukové vlnenie (Obr. 11).



**Obr. 11 Piezokryštál ako vysielateľ ultrazvukovej vlny**

Zdroj : Ultrazvuk a jeho využitie, 2011

Najznámejšou piezoelektrickou látkou je kremeň. Piezoelektrický jav vykazuje však aj turmalín, báriumtitanát a iné. Každý materiál má špecifické výhody a nevýhody, ktoré ovplyvňujú vlastnosti ako teplotná závislosť, útlm a rýchlosť šírenia vln. Na povrch kremenného, resp. báriumtitanátového výbrusu sa nanášajú tenké elektródy a to buď pokovovaním vo vákuu, alebo nanosením koloidu striebra a následným vypálením.

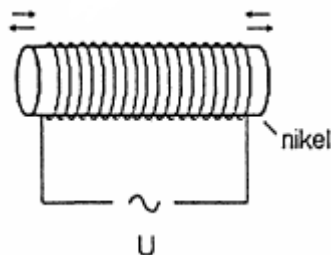
### **Magnetostrikčný jav**

Magnetostrikciou (magnetostrikčným javom) rozumieme zmenu rozmerov feromagnetických látok vyvolanú ich magnetizáciou. Klasickým magnetostrikčným materiálom nachádzajúcim široké technické použitie je nikel, resp. jeho zliatiny so železom, príp. kobaltom. Ak do dutiny cievky vložíme niklovú tyč a do cievky zapojíme jednosmerný elektrický prúd, vytvorí cievka vo svojej dutine magnetické pole. Tyč, umiestnená v dutine sa zmagnetizuje. Magnetizácia niklovej tyče spôsobí však zmenu jej dĺžky.

### ***Magnetostrikčný zdroj ultrazvuku***

Ak do cievky navinutej na niklovú tyč (Obr. 12) privedieme striedavý prúd, premenné magnetické pole v dutine cievky vyvoláva periodické kolísanie dĺžky tyče. Tyč vibruje a pri dostatočnej frekvencii prúdu sa stáva zdrojom ultrazvuku. Najjednoduchším magnetostrikčným meničom je niklová tyč. Jej kmity sú najvýraznejšie, ak cievku napájame striedavým prúdom takej frekvencie, ako je jej vlastná frekvencia.





**Obr. 12 Niklová tyč ako magnetostrikčný zdroj ultrazvuku**

Zdroj : Ultrazvuk a jeho využitie, 2011

### ***Hydrodynamické zdroje ultrazvuku***

Klasickým hydrodynamickým zdrojom ultrazvuku je ultrazvuková píšťala, napríklad Hartmanov generátor. Iným zdrojom z tejto skupiny je ultrazvuková siréna umožňujúca vytvárať ultrazvukové vlny veľkých výkonov (využívaných pri čistení plynov). V ultrazvukovej siréne sa prúd stlačeného vzduchu prerušuje rýchle rotujúcim kolesom s otvormi a to aspoň 20 000-krát za sekundu.

### **Absorpcia ultrazvuku**

Pri prechode ultrazvukovej vlny prostredím sa časť energie vlny v tomto prostredí absorbuje. Amplitúda kmitov častíc prostredia sa so vzdialenosťou  $x$  od zdroja znižuje. S uvedeným poklesom amplitúdy súvisí aj pokles intenzity  $I$  ultrazvuku, pre ktorú v prípade rovinatej vlny platí:

$$I = I_0 e^{-kx}, dB \quad (3)$$

- Kde:  $I$  je intenzita ultrazvuku  
 $I_0$  je intenzita vlny v mieste  $x = 0$   
 $k$  je koeficient absorpcie

#### 1.4.3.2 Ultrazvuk pri meraní výšky hladiny

Ultrazvukové hladinové snímače (Ďaďo a i., 2005) využívajú meniaci sa útlm vlnenia v prostredí medzi vysielateľom a prijímateľom podľa prítomnosti materiálu. Ultrazvukové spojité hladinoměry pracujú s odrazom signálu od hladiny a meraním doby letu signálu k cieľu a späť. Hlavná nevýhoda je značná závislosť na vlastnostiach atmosféry medzi prevodníkom a hladinou. V prašnom prostredí majú ultrazvukové senzory určitú samočistiacu schopnosť, pretože častice sa neudržia na vibrujúcej ploche.

Jedna z metód merania (Obraz,1984) je založená na meraní doby prechodu ultrazvukového signálu, ktorá je úmerná vzdialenosti hladiny. Meria sa buď metódou kontaktnou, keď elektroakustický menič je v priamom styku s meranou látkou, alebo metódou bezkontaktnou, kde sa ultrazvukové vlny prenášajú do látky cez plynové

---

prostredie, alebo cez stenu nádoby. Bezkontaktné meranie je vhodné pre výbušné alebo korozívne látky. Na základe stanovenej doby prechodu odrazeného echa sa môže zisťovať výška hladiny spojito, zatiaľ čo metóda založená na zmene tlmenia je iba dvojhodnotová, t.j. udáva či v danom mieste je alebo nie je hladina látky.

Meranie výšky hladiny odrazovou impulznou metódou pri sypkých látkach je možné realizovať zo strany vzduchu, teda snímač je na strope nádoby. Pri meraní možno očakávať presnejšie výsledky iba pri konštantnej teplote, pretože rýchlosť šírenia je značne závislá na teplote. Platí tu teda teplotná závislosť, ktorú možno vyjadriť podľa vzťahu (4):

$$c(\Delta\theta) = c_0(1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta), m.s^{-1} \quad (4)$$

Kde:  $\Delta\theta$  je rozmedzie teplôt

$c_0$  je rýchlosť šírenia ultrazvuku vo vzduchu pri teplote 0 °C  
( $c_0=331,82 \text{ ms}^{-1}$ )

Tento výraz však platí iba pri tlaku  $p_0=1,013.105 \text{ Pa}$  a pre suchý vzduch. Pri relatívnej vlhkosti 100 % stúpne rýchlosť ultrazvuku o 2 % čo nemá taký vplyv ako zmena teploty.

### **Rýchlosť šírenia ultrazvuku**

Premenlivá rýchlosť šírenia ultrazvuku (Ďaďo a i.,2005) v atmosfére je najväčšia slabina tohto snímača. Ostatné vplyvy ako tlak a vlhkosť sú často ignorované, avšak vplyv teploty je nevyhnutné kompenzovať.

Pre rýchlosť zvuku ( $m.s^{-1}$ ) vo vzduchu za teploty  $\theta$  (°C) platí vzťah (5):

$$c = 331,8 + 0,61 \cdot \theta, m.s^{-1} \quad (5)$$

Kde:  $c$  je rýchlosť šírenia ultrazvuku pri zohľadnení okolitej teploty

$\theta$  teplota vzduchu v °C

331,8 je rýchlosť šírenia ultrazvuku vo vzduchu pri teplote 0 °C

Presnejší odhad poskytuje vzorec (6):

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}, m.s^{-1} \quad (6)$$

Kde:  $\kappa$  je adiabatická konštanta (1,402 pre vzduch)

$R$  je plynová konštanta pre vzduch ( $287,05 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T$  je termodynamická teplota ( $t + 273,15 \text{ K}$ )

---

U niektorých ultrazvukových senzorov je kompenzácia zmien rýchlosti šírenia riešená umiestnením referenčného odražača známej vzdialenosti od senzora. Odražač poskytuje čiastočný odraz, ktorý neblokuje funkciu senzora a pretože je v známej vzdialenosti možno z neho určiť rýchlosť šírenia.

#### 1.4.3.3 Princíp ultrazvukového merania výšky hladiny

Overený ultrazvukový (Kiseľ,2007) princíp spojitého merania sa využíva na meranie výšky hladiny kvapalín a sypkých materiálov. Piezokeramický menič zvuku periodicky vysiela ultrazvukové impulzy (série impulzov) smerom k povrchu meranej látky. Tento povrch pôsobí ako reflektor: impulzy sú odrážané späť a prijímané meničom. Čas nameraný medzi odoslaním a prijatím impulzu je priamo úmerný vzdialenosti k meranému povrchu, a tým aj mierou výšky hladiny.

Na vyhodnocovanie medzného stavu úrovne hladiny sa používa aj iný princíp, keď sa vyhodnocuje útlm ultrazvukových vln v závislosti od zloženia prostredia, ktorým ultrazvuk prechádza. V praxi sa používajú meniče zvuku s výkonným piezokryštálom, ktorý sa periodicky mení na vysielač a potom na prijímač.

Snímač sa vyznačuje aj tzv. mŕtvou zónou (minimálne asi 25 cm od povrchu membrány), ktorá nie je merateľná, pretože to predstavuje časový interval, počas ktorého sa prepína menič z funkcie vysielača na funkciu prijímača. Frekvencia zvukových impulzov je podľa meracieho rozsahu 10 – 100 kHz. Ultrazvukové vlny vyžadujú medzi meničom zvuku a meraným povrchom transportné médium, ktorým je vzduch alebo plyn.

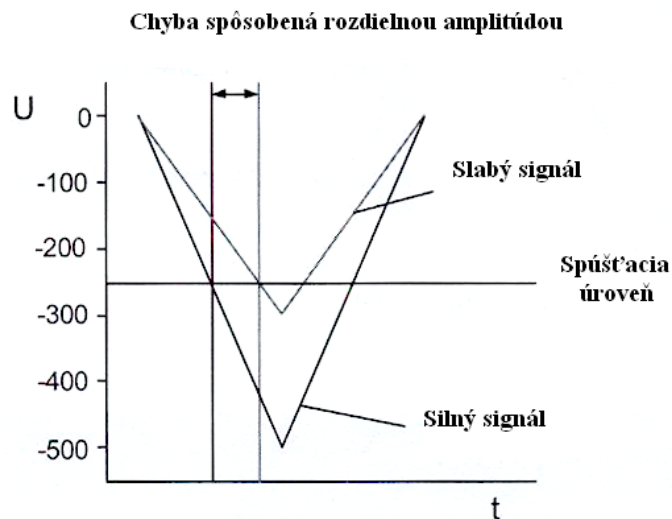
Vo vákuu tento princíp nepracuje. Prevádzkový tlak býva od 0,3 bar do 3 bar. Pri väčších prevádzkových tlakoch je obtiažne generovať ultrazvukové impulzy s dostatočným výkonom. Zároveň rýchlosť prenosu závisí od transportného plynu a jeho teploty. Preto sú v meničoch zvuku integrované aj snímače teploty. Zmena rýchlosti prenosu zvuku je týmto presne vykompenzovaná.

Ultrazvukové vlny sú pri svojom šírení vystavené frekvenčne závislému tlmeniu (poklesu intenzity podľa vzdialenosti). Tieto efekty závisia od hustoty, frekvencie, teploty a vlhkosti.

#### **Spracovanie signálu**

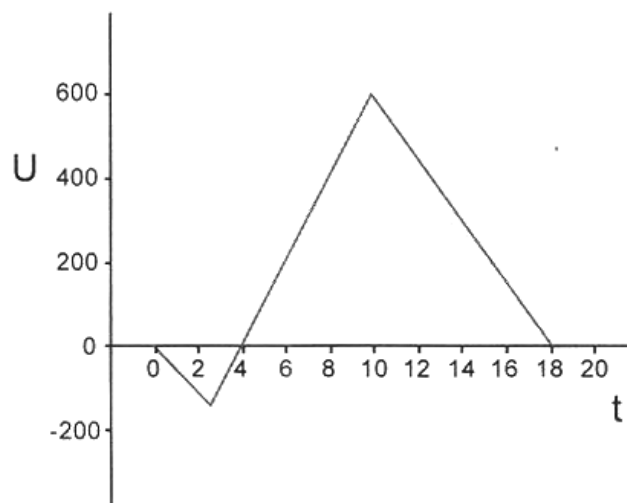
Meraná veličina (Ďaďo a i.,2005) je doba medzi vyslaním impulzu a zachytením odrazu. Keďže odrazený signál je pomerne slabý a jeho amplitúda sa môže značne

meniť podľa vzdialenosti, vzniká problém ako spoľahlivo vyhodnotiť okamih čela odrazu. Pokiaľ by okamih príchodu echa bol definovaný úrovňou, vzniká premenná chyba v závislosti na amplitúde zachyteného signálu (slabý signál dosiahne kritickú úroveň neskôr ako silný signál) (Obr. 13). Pre potlačenie tejto chyby sa niekedy používa technika CFD. CFD (constant fraction discriminator) odstraňuje závislosť okamihu pozorovanej nábežnej hrany impulzu na jeho amplitúde (predpokladá sa, že impulzy majú rovnako rýchly nábeh a líšia sa v amplitúde). Časť impulzu je tlmená a druhá časť je časovo oneskorená a invertovaná. Obidva impulzy sú potom sčítané a vyhodnocuje sa priechod nulou (Obr. 14). Tento časový okamih bude nezávislý na amplitúde prichádzajúceho impulzu.



**Obr. 13** Chyba vznikajúca pri rozdielnej amplitúde impulzov

Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Měření průtoku a výšky hladiny.



**Obr. 14** Systém CFD eliminuje chybu

Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Měření průtoku a výšky hladiny.

---

#### 1.4.3.4 Ultrazvukové spínače

##### **Hladinové spínače**

Väčšina ultrazvukových spínačov je kontaktná, avšak vyrábajú sa aj také spínače, ktoré merajú cez stenu nádoby. Niektoré spínače sa podobajú vibračným spínačom, pretože merajú útlm signálu z vibrujúcej membrány alebo inej súčasti podľa kontaktu materiálu.

##### **Transmisné – absorpčné spínače**

V najjednoduchšom prípade bude vysielateľ a prijímač umiestnený na rovnakej úrovni na opačných stranách vnútorného objemu nádoby. Prijímač zachytáva signál z vysielateľa iba dovtedy, pokiaľ medzi nimi nie je materiál (prášok, granulát a pod.).

##### **Reflexné spínače**

Spínač je určený k meraniu polohy rozhraní. Pracuje podobne ako hladinomer so spúšťacím závažím. Sonda na konci lana vysielala ultrazvuk a prijíma echo odrážané od reflektora, ktorý je súčasťou sondy.

#### 1.4.3.5 Použitie ultrazvukového merania výšky hladiny

Ultrazvukové senzory (Kiseľ,2007) sú určené na bezdotykové kontinuálne meranie výšky kvapalín a sypkých materiálov tak v otvorených, ako aj v uzatvorených nádržiach. Možno ich použiť aj na meranie znečistených, kašovitých a pastových materiálov. Zo sypkých materiálov sú to štrk, drobný štrk, piesok, cement, obilie, cukor a mnoho ďalších. Vzhľadom na použitie vysoko stabilných plastických látok na konštrukciu meniča sú tiež použiteľné bez ďalších prídavných zariadení aj v agresívnych kyselinách a zásadách.

Moderné meracie systémy obsahujú inteligentné spracovanie signálu na báze logiky Fuzzy. V prázdnom zásobníku sa vykoná „učenie sa“ falošných odrazov, keď sa zaznamenajú všetky odrazy, ktoré prijímač prijme, a zaznamená sa čas prechodu i amplitúda odrazeného signálu. Výsledok sa uloží do pamäte snímača ako tzv. zvukový obraz nádoby. Pri ďalšom meraní sa už vyhodnocuje len premenlivý signál odrazený od hladiny a všetky falošné signály sa potlačia.

Toto umožňuje mimoriadny záznam odrazov s vysokou dynamikou a číslicovou analýzou odrazov. Súčasne s funkciou automatického cyklu „učenia sa“ sa zaznamenáva história a stav meranej látky.

---

Vďaka samočisteniu čelnej membrány od kondenzátu a prachu sa podstatne znižujú nároky na údržbu. Metóda umožňuje realizovať merania až do 70 m s presnosťou lepšou ako 0,1 % a v rozsahu teplôt od -20 do +80 °C. Prevádzkové tlaky sú od 0,03 do 0,15/0,3 MPa (podľa meracieho rozsahu). V prípade meracieho rozsahu nad 10 m sa používa už 4-vodičové zapojenie snímačov, keďže treba dodávať veľký výkon do ultrazvukového meniča na prekonanie meraných rozsahov. Presnosť a spoľahlivosť merania je ovplyvňovaná prítomnosťou vstavaných prekážok, ako sú rebriky, snímače, miešadlá, potrubia, ale aj prítomnosť peny a pod.

#### 1.4.4 Radarové meranie výšky hladiny

##### 1.4.4.1 Radarové hladinomery

Dnes sa dá povedať, že radarové snímače (Kisel, 2007) sa stávajú hlavnými snímačmi výšky hladiny na trhu a postupne nahrádzajú všetky ostatné princípy spojitého merania výšky hladiny. Kombinovaný vysielač/prijímač vysiela a prijíma impulzy odrazené od meraného povrchu. Vďaka špeciálnemu spôsobu spracovania a veľmi rýchlym konštrukčným prvkom sú merateľné aj extrémne krátke časové hodnoty trvania návratu signálu od meraného povrchu. Na meranie výšky sa bežne používajú frekvencie v rozsahu 5 – 25 GHz (cm pásmo). S ohľadom na telekomunikačné odporúčania sa vysielačia frekvencia radarových senzorov volí tak, že je v rozsahu frekvencií povolených pre priemyselné použitie. Takým je tzv. ISM rozsah (Industrial Scientific Medicine). Priemerná hodnota emitovaného (vysielaného) žiarenia v f. výkonu radarov býva približne 90 μW (asi 3,18 μW/cm<sup>2</sup>), pričom dovolená medzná hodnota pre telekomunikačné zariadenia je 1 mW (približne 10 mW/cm<sup>2</sup>).

Na trhu priemyselných aplikácií na meranie výšky sa objavujú radarové systémy využívajúce dva základné princípy:

1. **radar FMCW** (frequency modulated continuous wave). Radar FMCW pri meraní výšky hladiny nepriamo využíva meranie rozdielu frekvencií vysielača a prijímača. Vysielač generuje spojitý signál s moduláciou zmeny frekvencie v určitom rozsahu (10 – 11 GHz) počas presne určeného času (pílovitý charakter zmeny frekvencie). Z rozdielu vysielaanej a prijímanej frekvencie odrazu možno po zložitej analýze získať meranú vzdialenosť. Nevýhodou tohto spôsobu merania je potreba precízneho generátora vysokej frekvencie, náročná analýza odrazeného signálu a vznik tzv. mŕtvej zóny medzi povrchom meranej látky a senzorom (vyplýva to z času výpočtu).

---

**2. Pulzný radar.** Princíp pulzného radaru je taktiež dobre známy. Radarové systémy na meranie výšky hladiny vysielajú mikrovlnné impulzy s frekvenciou 5,8/6,3 GHz alebo 24 GHz, ktoré sa od povrchu meranej látky odrážajú späť k anténe. Anténa sa prepne do funkcie príjmu a prijíma impulzy odrazených signálov. Vyhodnocuje sa vzdialenosť meraním času medzi vyslaním a prijatím impulzov. Skutočnú výšku meraného materiálu určí merací systém odpočítaním meranej vzdialenosti od zadanej výšky zásobníka.

Výška zásobníka sa vkladá do programu radarového snímača pri jeho inštalácii na zásobník. Kvalita odrazu elektromagnetických vln pri meraní radarom pri rozličných materiáloch závisí hlavne od ich vodivosti a relatívnej permitivity. Ak je látka elektricky nevodivá, potom má veľkosť  $\epsilon_r$  podstatný vplyv na účinnosť odrazu. V prípade nízkej hodnoty  $\epsilon_r$  ( $\epsilon_r < 1,6$ ) časť mikrovln preniká do meranej látky. Potom malá časť sa odráža späť k prijímaču a možno ju využiť na meranie. Tento efekt je veľmi častý v prípade merania suchých sypkých materiálov. Zo skúsenosti možno povedať, že pri meraných látkach s relatívnou permitivitou  $\epsilon_r \geq 1,6$  alebo s elektrickou vodivosťou  $G > 10 \text{ S/cm}$  je odraz dostatočný a možno ich ľahko merať.

Pri vytváraní kužeľov sypkých jemnozrnných materiáloch vznikajú pri meraní rovnaké problémy ako v prípade merania pomocou ultrazvuku. Avšak moderné radarové snímače špeciálne určené na meranie sypkých materiálov sa vyznačujú mimoriadnou citlivosťou a sú schopné detekovať odrazené signály, ktoré sú 100 x slabšie ako signál potrebný na meranie výšky kvapalín konvenčnými radarmi. Na vyhodnocovanie skutočnej hladiny a potlačenie všetkých odrazov od falošných prekážok sa používa spracovanie signálov pomocou špeciálnych algoritmov s číslicovou filtráciou, ktorá je optimálne prispôbená príslušnej aplikácii. Dá sa povedať, že práve vyhodnocovanie odrazených signálov je kľúčové.

Každý výrobca využíva svoje skúsenosti z dlhoročného nasadzovania snímačov do rozličných aplikácií. Na správne posúdenie odrazov sa využívajú funkcie ako:

- Historická pamäť (zobieranie kriviek odrazov počas merania do pamäte pre porovnanie),
- expertný systém s logikou Fuzzy na analýzu jednotlivých odrazov, kde sa zaznamenáva:
  1. veľkosť odrazu
  2. tvar odrazu

- 
3. viacnásobný odraz
  4. falošný odraz
  5. výpočet pravdepodobnosti odrazu

Na základe týchto skutočností sú všetky odrazy spracované a odraz s najvyššou pravdepodobnosťou je vyhodnotený ako meraná výška. Takéto spracovanie signálu zaisťuje vysokú spoľahlivosť aj vo veľmi náročných aplikáciách. Podobné spracovanie signálov sa používa aj v prípade ultrazvukových snímačov. K odrazom od meranej hladiny sa pridružujú ďalšie rušivé odrazy, ktoré senzor sníma. Dôležitou úlohou pri spracovaní signálov je, aby sa vyhodnotil skutočný, pravý odraz od meranej hladiny. Ak nie je možné eliminovať zdroje falošných odrazov, rebríky, steny, výstupky v zásobníku atď., potom jedinou schodnou metódou je potlačenie (prekrytie) odrazov pomocou ich pevného utlmenia vo vyhodnocovacej elektronike.

Lepšie meranie sa dosiahne, ak sa spracovanie odrazov realizuje s „plávajúcou“ strednou krivkou (floating average curve), ako aj využitím prvkov logiky Fuzzy na identifikáciu odrazov meranej hladiny. Na zlepšenie merania a zmenšenie množstva falošných odrazov je dôležité použiť vhodnú anténu, ktorá sa často volí podľa aplikácie a podľa podmienok technologického procesu. Najčastejšie sa používajú antény kovové kužeľové, parabolické, plastové, tyčové, kovové rúrové a zapuzdrované kovové v plaste.

#### 1.4.4.2 Reflektometrické meranie (TDR) – radar na lane/tyči

Reflektometrické hladinometry tvoria medzi radarovými snímačmi špeciálnu skupinu kontaktného merania. Tieto prístroje s vedeným mikrovlnným signálom využívajú šírenie elektromagnetického impulzu v telese, ktoré je ponorené do meraného materiálu v nádrži (lano, tyč, koaxiálna tyč). Mikrovlnné impulzy sa šíria rýchlosťou približne 300 000 km/s a prenášaný signál sa odráža v rovine rozhrania (meranej hladiny). Intenzita odrazeného signálu závisí od permitivity materiálu  $\epsilon_r$ . Vyhodnocuje sa (rovnako ako pri radarových snímačoch) čas medzi vyslaním impulzu a prijatím odrazeného impulzu (Time Domain Reflection – TDR). Frekvenčný rozsah signálov je 0 až 2 GHz.

Použitie reflektometrických hladinomerov prináša mnoho výhod. Signál nie je ovplyvňovaný falošnými a viacnásobnými odrazmi od inštalácií v zásobníkoch. Pretože sa impulzy šíria po vedení, nie sú utlmované prostredím medzi anténou a meraným



---

materiálom a na presnosť merania nemá vplyv teplota, tlak ani prítomnosť prachu, pár alebo peny.

Tieto snímače sú ideálne na meranie výšky práškových a granulovaných materiálov. Prirodzene nájdu uplatnenie aj v prípade merania výšky kvapalín. Reflektometrické snímače so špeciálnou konštrukciou možno využiť aj na meranie rozhrania dvoch kvapalín. Dôležitou podmienkou je, aby permitivita spodnej kvapaliny bola asi o 10 jednotiek vyššia, ako je permitivita hornej kvapaliny. Pomocou vhodného vyhodnocovacieho prístroja možno získať zo snímača 3 analógové signály, ktoré zodpovedajú výške dolnej hladiny, výške hornej hladiny a hrúbke hornej kvapaliny. Prednosťou reflektometrického merania je vysoká spoľahlivosť, opakovateľnosť a široký rozsah merania (pre lanové verzie až do 70 m). Prevádzkové teploty sa môžu pohybovať od -50 až do +200 °C a tlaky od vákua do 10 MPa. Nevýhodou je kontakt antény s meraným materiálom a prípadné nebezpečenstvo pretrhnutia lana pri meraní sypkých materiálov. Preto sa dajú laná ale aj tyče podľa potreby meniť a prípadne aj skracovať.

#### **1.4.5 Radičné meranie výšky hladiny**

Radiačné hladinomery (Ďaďo a i.,2005) možno rozdeliť na systémy útlmového typu a systémy s odrazom neutrónov. Obecné možno povedať, že sú používané tam, kde všetko ostatné zlyhá. Jedna z výhod je, že montáž a meranie sa prevádza úplne mimo nádrží, bez nutnosti odstávky. Prekážkou je pochopiteľne práca s potenciálne nebezpečným zdrojom radiácie v podobe kontajneru s náplňou rádioaktívneho materiálu, vyžadujúci si príslušné povolenie.

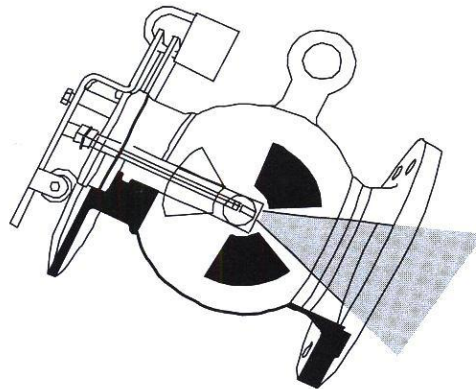
Radiačné hladinomery spoľahlivo fungujú aj v prostrediach s vysokou teplotou, tlakom, agresívnymi a toxickými látkami, v prítomnosti pohyblivých častí atď. Prípustné je dokonca aj použitie v potravinárstve a farmácii (ožiarená látka v nádobe sa sama nestane rádioaktívna).

Do úvahy je potrebné zobrať hrúbku a materiál stien nádoby, včítane izolácie a výsledok, či dochádza k tvorbe usadenín na stenách, či nebudú lúče žiarenia prúdom dopĺňovaného materiálu a podobne. Niekedy je zariadenie vhodné inštalovať mimo os nádoby, aby žiarenie prechádzalo menšou hrúbkou materiálu. Taktiež je potrebné dbať na postupné slabnutie žiariča spôsobené rádioaktívnym rozpadom, ktoré by malo byť kompenzované vyhodnocovacím systémom.

---

## Rádioizotopové hladinoměry

Rádioizotopové hladinoměry (Obr. 15) využívajú známu skutočnosť, že intenzita rádioaktívneho žiarenia klesá úmerne s hrúbkou vrstvy medzi materiálom a detektorom. Vyhodnocuje sa teda zoslabenie zväzku ionizujúceho žiarenia pri jeho prechode meraných priestorom. Meracie zariadenie pozostáva z rádioaktívneho žiariča a detektora žiarenia s elektronickými obvodmi. Ako rádioaktívne žiariče sa používajú zdroje žiarenia gama, ktoré veľmi dobre prenikajú materiálom, ale vyvolávajú jeho rádioaktivitu. Žiarič musí byť opatrený oloveným ochranným krytom s hrúbkou niekoľko centimetrov/decimetrov. Na detekciu žiarenia sa používa buď Geigerov-Müllerov detektor, alebo citlivý scintilačný detektor s fotonásobičom. Scintilačné detektory sú citlivé na teplotu, ktorá by nemala prekročiť limitnú hodnotu asi 55 °C. Intenzita žiarenia dopadajúceho na detektor závisí od hrúbky meraného materiálu.



**Obr. 15 Rádioizotopový žiarič v ochrannom púzdre**

Zdroj: ĎAĎO, S. a i. 2005. Meření průtoku a výšky hladiny.

### 1.4.6 Laserové meranie výšky hladiny

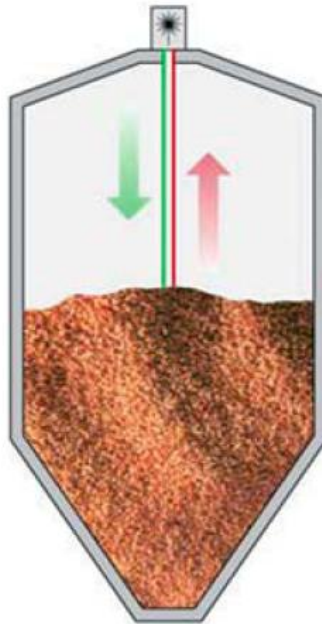
Táto technológia využíva vysokofrekvenčné elektromagnetické (Kiseľ,2009) vlny s laserovou vlnovou dĺžkou, typicky okolo 1 m (infračervený laser 780 nm, červený laser vo viditeľnom svetle 633 nm) a meranie výšky hladiny sa realizuje meraním vzdialenosti k meranému materiálu s využitím princípu merania času (time-of-flight). Laserová technológia sa efektívne využíva na skenovanie povrchu kôp sypkého materiálu. Možno ju používať na priemyselné meranie výšky hladiny, ale vždy treba zaistiť čistotu optiky.

Veľkými prednosťami tejto metódy sú mimoriadne veľký merací rozsah, ktorý môže byť viac ako 100 m, a veľmi rýchle meranie. Navyše laserový lúč je mimoriadne úzky, a dovoľuje merať aj vo veľmi úzkych zásobníkoch. Snímač možno nastaviť bez

---

kalibrácie zásobníka s materiálom. Meranie nie je citlivé na oter snímača, na permitivitu materiálu ani jeho charakteristiky, ako je vlhkosť či merná hmotnosť, a nie je ovplyvňované ani hlukom pri plnení, turbulenciami vzduchu či teplotou.

Hlavnou nevýhodou tohto merania je však obmedzenie vo veľmi prašných aplikáciách, kde laser nie je schopný preniknúť až k meranému povrchu. Ďalej je to možnosť ovplyvnenia merania v silne prašnom prostredí a prerušením lúča prúdom plneného materiálu.



**Obr. 16 Laserové meranie výšky hladiny**

Zdroj: KISEL, D. 2009. Kontinuálne snímanie hladiny v zásobníkoch s vysokou prašnosťou (2).

---

## 2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom tejto diplomovej práce je navrhnuť presnú a cenovo prístupnú formu merania výšky hladiny sypkého materiálu v zásobníku vo vybranom hospodárskom objekte. Na základe zvolenej metódy navrhnuť elektronický obvod, na ktorého výstupe bude informácia o výške hladiny materiálu v normalizovanej podobe.

Čiastkové ciele:

- Návrh metódy na meranie výšky hladiny sypkého materiálu v sile
- Výber vhodných snímačov
- Návrh inštalácie snímača do sila
- Návrh krytu snímača
- Kompenzácia nameranej vzdialenosti na základe teploty v sile
- Výber vhodných snímačov teploty
- Návrh algoritmu merania
- Návrh elektronického obvodu na meranie výšky hladiny sypkého materiálu v sile

---

## 3 METODIKA PRÁCE

### 3.1 Charakteristika použitých postupov

Pri spracovaní diplomovej práce budeme vychádzať zo zadaného cieľa diplomovej práce. Táto práca sa skladá z teoretickej časti a praktickej časti.

#### *Teoretická časť*

- Štúdium problematiky o metódach, snímačoch a fyzikálnych princípoch, ktoré sa pri meraní výšky hladiny sypkých materiálov v zásobníkoch používajú
- Spracovanie nadobudnutých poznatkov o faktoroch, ktoré ovplyvňujú meranie, o požiadavkách na výber snímačov
- Spracovanie prehľadu a princípu snímačov, ktoré sa používajú na meranie výšky hladiny sypkých materiálov

#### *Praktická časť*

- Štúdium technických parametrov vybraného hospodárskeho objektu
- Návrh vhodnej metódy na meranie výšky hladiny sypkých materiálov v zásobníku pre vybraný hospodársky objekt
- Výber vhodného snímača na základe zvolenej metódy merania výšky hladiny
- Preštudovanie technických parametrov vybraného snímača
- Laboratórne overenie technických parametrov snímača
- Návrh inštalácie snímača do hospodárskeho objektu na základe naštudovaných technických parametrov sila a snímača
- Návrh krytu snímača
- Zohľadnenie teploty okolitého prostredia pri meraní (kompenzácia)
- Navrh vhodného spôsobu merania teploty a výber vhodných teplotných snímačov, ich inštalácia do hospodárskeho objektu
- Návrh algoritmu pre elektronický obvod
- Návrh samotného elektronického obvodu na meranie výšky hladiny v sila
- Štúdium technických parametrov súčastí obvodu použitých v elektronickom obvode, vysvetlenie ich princípu zapojenia a funkčnosti
- Záver

---

## 3.2 Charakteristika hospodárskeho objektu

Vo vybranom poľnohospodárskom objekte sklady obilia slúžia na pozberové čistenie, skladovanie a dosušovanie obilia aktívnym prevetrávaním. Na príjem, prečistenie a čistenie je určená pozberová linka s dvomi aspirátormi ASP - 750. Na skladovanie a dosušovanie obilia sú používané oceľové zásobníky o kapacite 4 x 1000 ton. Konštrukcia a rozmery sila a tvar sila sú zobrazené v prílohe 1. Pohyb materiálu na technologickej linke je zabezpečený pásovými dopravníkmi a korčekovými elevátormi. Vyskladnenie obilia je riešené vynášacími dopravníkmi a korčekovými elevátormi do oceľových pojazdných zásobníkov.

Skladovaný materiál je dopravovaný nákladnými autami a je vysypaný do násypného koša, ktorý je prekrytý oceľovou príjazdovou mriežkou. Z násypky je obilie dopravované samospádom cez regulačné zariadenie do korčekového elevátora EK-180 odkiaľ sa dopraví samospádom do aspirátora ASP – 750. V aspirátore je predčistené a následne sa sype samospádom na dopravný pás, ktorý dopraví obilie do násypky korčekového elevátora EK-180, ktorý plní obilné silá.

Oceľové silá sú osadené na vyvýšenom betónovom základe, ktorý tvorí rovné dno sila. V sklade je vytvorený vyprázdňovací kanál pre vynášací pásový dopravník, ktorého jedna polovica je zakrytá, v druhej polovici sú vyprázdňovacie otvory s hradítkami. Vyprázdňovanie sil je riešené cez stredový otvor. Na konci vyprázdňovania sa vytvorí na spodu sila prstenec obilnej hmoty, ktorý je vytvorený podľa sypného uhla. Postupným otváraním ďalších hradítok sa odstráni obilie smerom k vstupnému otvoru na boku sila. Pre odstránenie zvyšku obilia sa používa prihrňovací šnek, ktorý sa osadí na stredový otvor na dne sila. Po spustení pohonu prihrňovacieho šneku je obilie vyprázdňované do stredového výpadového otvoru. Vyprázdňovací kanál delí dno sila na dve polovice, v ktorých sú vytvorené prevzdušňovacie kanály. V každom sile sú osadené radiálne ventilátory. Ovládanie ventilátorov je riešené automaticky rozvádzačom pomocou snímačov, ktoré sú osadené v zásobníkoch a slúžia na meranie teploty skladovaného obilia.

Pri vyprázdňovaní sil je možné zvoliť dva spôsoby a to vyprázdňovanie s čistením alebo bez čistenia. Pri vyprázdňovaní s čistením je obilie dopravované elevátorom na aspirátor odkiaľ je prečistené obilie dopravené dopravníkovým pásom na druhý elevátor, ktorý plní vyskladňovacie pojazdné zásobníky.

### 3.3 Charakteristika použitých prístrojov

#### 3.3.1 Ultrazvukový snímač LV-MaxSonar EZ1

Ultrazvukový snímač LV-MaxSonar od firmy MaxBotix detekuje objekty od vzdialenosti 15,24 cm až do 6,45 m s rozlíšením 2,54 cm. Tento snímač pracuje na frekvencii 42 kHz s napájacím napätím od 2,5 až 5,5 V. Snímač poskytuje ako výstup: analógové napätie, šírku impulzu a sériový digitálny výstup. V snímači nie je zabudovaná kompenzácia meranej vzdialenosti.



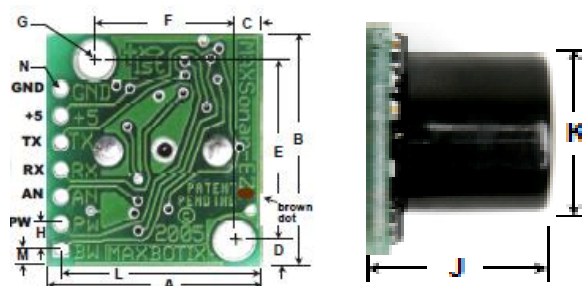
**Obr. 17 Ultrazvukový snímač LV-MaxSonar EZ1**

Zdroj: MAXBOTIX, 2011. Data sheet LV-MaxSonar EZ1

**Tab. 1 Základné technické parametre snímača LV-MaxSonar EZ1**

<b>Výrobca</b>	MaxBotix
<b>Typové označenie</b>	LV-MaxSonar EZ1
<b>Rozsah snímača (rozlíšenie)</b>	15,24 cm - 6,45 m (2,54 cm)
<b>Vyžarovací uhol</b>	30°
<b>Napájacie napätie</b>	2,5 V – 5,5 V
<b>Ober prúdu</b>	2,5 mA
<b>Obnovovacia frekvencia</b>	50 ms
<b>Pracovná frekvencia</b>	42 kHz
<b>Forma výstupu</b>	Analógové napätie, šírka impulzu, sériový digitálny výstup

*Rozmery snímača a vývody snímača LV-MaxSonar EZ1:*



**Obr. 18 Rozmery a vývody snímača LV-MaxSonar EZ1**

Zdroj: MAXBOTIX, 2011. Data sheet LV-MaxSonar EZ1

---

**Tab. 2 Rozmery snímača LV-MaxSonar EZ1**

Označenie	Rozmery (mm)	Označenie	Rozmery (mm)
A	19,9	H	2,54
B	22,1	J	15,5
C	2,54	K	16,4
D	2,54	L	18,7
E	17	M	1,7
F	12,6	N	1

**Tab. 3 Popis vývodov na snímači LV-MaxSonar EZ1**

Označenie vývodu	Popis
GND	Uzemnenie snímača
+5	Prívod napájacieho napätia
TX	Asynchrónny sériový výstup
RX	Asynchrónny sériový vstup
AN	Výstup pre výstupné analógové napätie
PW	Výstup - šírka impulzu
G	Otvory pre pripevnenie

### 3.3.2 Snímač teploty DS18B20

Snímač teploty DS18B20 od firmy Maxim Integrated Products je schopný merať teplotu v rozsahu od -55 °C až +125 °C. Maximálna odchýlka v intervale -10 °C až 85 °C je  $\pm 0,5$  °C, pre inú teplotu platí odchýlka  $\pm 2$  °C. Snímač je napájaný napätím od 3 do 5,5 V. DS18B20 komunikuje cez zbernicu 1 – Wire, na komunikáciu s inými zariadeniami využíva len jeden vodič. Výstup z tohto snímača je informácia o teplote, ktorá má veľkosť od 9 do 12 bitov.

**Obr. 19 Snímač teploty DS18B20**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008. Data sheet DS18B20



**Tab. 4 Základné technické parametre snímača DS18B20**

<b>Výrobca</b>	Maxim Integrated Products
<b>Rozsah meranej teploty</b>	-55 °C až +125 °C
<b>Napájacie napätie</b>	3 – 5,5 V
<b>Max. odchýlka (v intervale -10 °C až 85 °C)</b>	± 0,5 °C
<b>Max. odchýlka (iný interval ako -10 °C až 85 °C)</b>	± 2 °C
<b>Spotreba</b>	40 mA
<b>Formát výstupnej teploty</b>	9 – 12 bit

**3.3.3 Mikroprocesor C8051F330**

Mikroprocesor C8051F330 od firmy Silicon Laboratories má vstavané 8 bitové jadro, procesor s frekvenciou 25 MHz a pamäť 768 B RAM. Napájacie napätie je od 2,7 až 3,3 V. Ako výstupné rozhrania sú použité UART, SMBus a SPI. Taktiež obsahuje 10 bitový DAC a ADC prevodník. Pracovná teplota sa pohybuje od -40 až +85 °C.

**Obr. 20 Mikroprocesor C8051F330**

Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D

**Tab. 5 Základné technické parametre mikroprocesora C8051F330**

<b>Výrobca</b>	Silicon Laboratories
<b>Jadro</b>	8 bit
<b>Frekvencia procesora</b>	25 MHz
<b>Napájacie napätie</b>	2,7 V až 3,3 V
<b>Teplotný rozsah</b>	-40 °C až +85 °C
<b>Flash pamäť</b>	8 kB
<b>RAM pamäť</b>	768 B
<b>Rozhrania</b>	SMBus, UART, SPI
<b>Počet vstupov a výstupov</b>	17
<b>Počet vývodov</b>	20
<b>Ďalšie parametre</b>	10bit AD prevodník, 10 bit DAC výstup, komparátor napätia, snímač teploty, 80kHz vnútorný oscilátor

---

### *SCON0 (serial port 0 control register) register popis bitov*

R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
S0MODE	-	MCE0	REN0	TB80	RB80	TI0	RI0
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

**Obr. 21 SCON0 register**

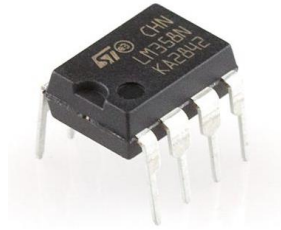
Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D

**Tab. 6 Popis bitov v SCON0 registri**

Označenie bitu v registri	Popis
Bit 7	S0MODE Log. 0 – 8 bit UART Log. 1 – 9 bit UART
Bit 6	Nemá žiadnu funkciu
Bit 5	MCE0: Multiprocessorová komunikácia Funkcia tohto bitu je závislá od od S0MODE: Log. 0 – Multiprocessorová komunikácia je vypnutá Log. 1 - Multiprocessorová komunikácia je zapnutá
Bit 4	REN0 - bit ktorý zapína a vypína príjem dát Log. 0 – príjem je vypnutý Log. 1 - príjem je zapnutý
Bit 3	TB80: Deviaty vysielaný bit nie je používaný v 8 bit UART
Bit 2	RB80: je prijímaný bit Log. 0 – označuje tzv. STOP bit Log. 1 – ak je vysielaný aj 9 dátový bit
Bit 1	TI0 – nastavovaný hardwarom, dáva informáciu o tom že prenos dát začal (8 bit UATR)
Bit 0	RI0 – nastavovaný hardwarom na log. 1 v momente keď boli prijaté všetky dáta.

#### **3.3.4 Dvojité operačný zosilňovač LM358**

LM358 sa skladá z dvoch nezávislých vysokoiskových zosilňovačov. Napájacie napätie je od 3 do 30 V. Šírka pásma je 1 Mhz a samotné napäťové zosilnenie je 100 dB.



**Obr. 22 Operačný zosilňovač LM358**

Zdroj: NATIONAL SEMIDUCTOR, 1994. Data sheet LM358 low power dual operational amplifier.

**Tab. 7 Základné technické parametre operačného zosilňovača LM358**

<b>Výrobca</b>	National Semiductor
<b>Napät'ový zisk</b>	100dB
<b>Šírka pásma</b>	1 MHz
<b>Napájacie napätie</b>	3 V až 30 V
<b>Napájací prúd</b>	500 mA

### 3.3.5 Prevodník MAX232

MAX232 od firmy Maxim Integrated Products prevádza napät'ové úrovne TTL na RS232 a naopak. Napájacie napätie tohto prevodníka je od -0,3 do +5 V.



**Obr. 23 Prevodník MAX232**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2011. Data sheet MAX232 driver/receiver

**Tab. 8 Základné technické parametre prevodníka MAX232**

<b>Výrobca</b>	Maxim Integrated Products
<b>Napájacie napätie (V<sub>CC</sub>)</b>	-0,3 V do + 5 V
<b>Vstupné napätia</b>	T <sub>IN</sub> = - 0,3V do V <sub>CC</sub> - 0,3V R <sub>IN</sub> = ±30 V T <sub>OUT</sub> = ±15 V
<b>Výstupné napätia</b>	T <sub>OUT</sub> = ±15 V R <sub>OUT</sub> = -0,3V do V <sub>CC</sub> + 0,3V

---

### 3.3.6 Regulátor napätia LP2950ACZ 3,3V

Regulátor napätia LP2950ACZ 3,3 V stabilizuje vstupné napätie na hodnotu 3,3 V. Rozsah pracovnej teploty je od -40 °C do + 125 °C.

**Tab. 9 Základné technické parametre regulátora napätia LP2950ACZ 3,3V**

<b>Výrobca</b>	National Semiductor
<b>Výstupný prúd</b>	100 mA
<b>Výstupné stabilizované napätie</b>	3,3 V
<b>Pracovná teplota</b>	-40 °C do + 125 °C

---

## 4 VÝSLEDKY PRÁCE

### 4.1 Aktuálny spôsob merania výšky hladiny sypkých materiálov v sile

V súčasnosti v danom hospodárskom objekte nemajú nainštalovaný žiadny systém na meranie výšky hladiny. Zaplnenie sila je merané len odhadom, teda odvážením privážaného materiálu a postupným sčítaním materiálu uskladňovaného v sile. Toto je veľký nedostatok, pretože dochádza k častému preplneniu sila, alebo naopak k nevyužitiu jeho skladovacej kapacity.

My sme navrhli systém, ktorý pracuje na princípe ultrazvukového snímania výšky hladiny. Použili sme ultrazvukové snímače firmy MaxBotix typu LV-MaxSonar EZ1, ich základné technické parametre sú uvedené v kapitole 3.3.1. V systéme ultrazvukového merania, ktorý sme navrhli sme použili ako základ celého elektronického obvodu mikroprocesor od firmy Silicon Laboratories typu C8051F330, ktorého základné technické parametre sú uvedené v kapitole 3.3.3. Ďalej systém obsahuje dva snímače na meranie teploty v sile, ktoré sú použité na kompenzáciu nameranej vzdialenosti. Tieto snímače teploty sú od firmy Maxim Integrated Products ich označenie je DS18B20.

Výstupom z meracieho systému je údaj, ktorý možno softwarovo spracovať, keďže ako výstup sme použili sériovú linku RS232. Taktiež ku systému možno pripojiť indikátor, ktorý priamo zobrazuje výšku hladiny materiálu v sile.

### 4.2 Overenie technických parametrov ultrazvukového snímača

Najdôležitejšie parametre ultrazvukového snímača LV-MaxSonar EZ1, ktoré nás zaujímali boli:

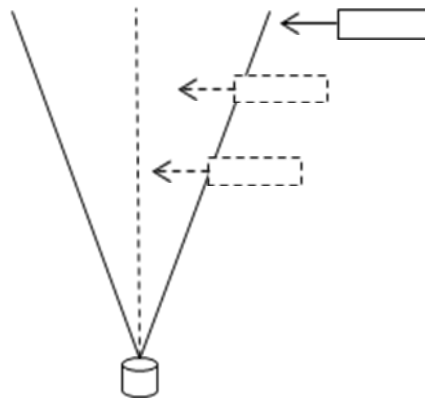
- vyžarovací uhol snímača LV-MaxSonar EZ1
- maximálny dosah snímača LV-MaxSonar EZ1

Pri laboratórnych meraniach sme porovnávali údaje, ktoré udáva výrobca v technickej dokumentácii snímača s našimi nameranými.

---

#### 4.2.1 Meranie vyžarovacieho uhla ultrazvukového snímača

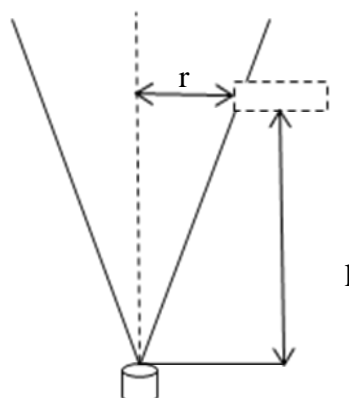
Pri tomto meraní sme overovali či namerané hodnoty sa budú približovať hodnote uhla, ktorý udáva výrobca v technických parametroch snímača. Pri meraní sme použili napájací zdroj na ktorého výstupe sme nastavili 5 V, keďže tento snímač má podľa výrobcu pracovať v rozmedzí 2,5 až 5,5 V. Ako formu výstupu sme použili analógové výstupné napätie. Toto napätie sme odčítali s voltmetra. Princípom merania bolo odmerať elektrické napätie na výstupe snímača voltmetrom. Výstupné napätie sa menilo pri vstupe prekážky do vyžarovacieho uhla snímača. Meranie sme opakovali a menili vzdialenosť prekážky vo vertikálnom smere (Obr. 24). Meranie bolo realizované pri teplote 20 °C.



**Obr. 24 Princíp merania uhlu snímača**

Zdroj: Vlastná práca

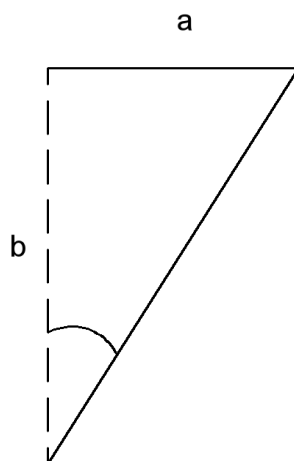
Pri každom meraní sme odčítali už spomínanú vertikálnu vzdialenosť od samotného snímača a tak isto aj horizontálnu vzdialenosť prekážky od myslenej stredovej osi snímača, tak ako je zobrazené na obrázku (Obr. 25).



**Obr. 25 Merané veličiny**

Zdroj: Vlastná práca

Z nameraných hodnôt sme mohli jednoducho pomocou goniometrickej funkcie vypočítať vyžarovací uhol snímača. Horizontálnu vzdialenosť prekážky od myslenej osi snímača sme považovali za protiľahlú odvesnu trojuholníka (označenú ako a). Vertikálna vzdialenosť prekážky od snímača bola považovaná za priľahlú odvesnu trojuholníka (označenú ako b) (Obr. 26).



**Obr. 26 Trojuholník vyžarovacieho uhla snímača**

Zdroj: Vlastná práca

Pomocou funkcie kotangens sme vypočítali polovicu z vyžarovaneho uhla snímača, keďže v horizontálnom smere sme merali len od myslenej osi snímača. Tento uhol sme museli vynásobiť dvomi. Funkcia kotangens  $\alpha$  je pomer dĺžok priľahlej odvesny (b) k dĺžke protiľahlej odvesny (a).

$$\cot g\alpha = \frac{b}{a} \quad (11)$$

**Tab. 10 Meranie vyžarovacieho uhlu ultrazvukového snímača**

Č. M.	l (m)	r (m)	b/a	$\alpha/2$ (°)	$\alpha$ (°)
1.	1,91	0,48	3,98	14,37	28,74
2.	1,52	0,40	3,80	15,05	30,10
3.	1,28	0,28	4,57	12,51	25,02
4.	0,72	0,22	3,27	17,50	35,00
5.	0,53	0,16	3,31	17,29	34,58
6.	0,38	0,08	4,75	12,34	24,68
7.	0,28	0,06	4,67	12,24	24,48
				<b>Max</b>	<b>35,00</b>

---

Legenda:

*l* – vzdialenosť prekážky vo vertikálnom smere

*r* – vzdialenosť prekážky v horizontálnom smere od myslenej osi snímača

$\alpha/2$  – vypočítaný vyžarovací uhol snímača od myslenej osi snímača

$\alpha$  – vypočítaný vyžarovací uhol snímača

*Príklad výpočtu pre meranie číslo 1:*

$$\cot g \alpha / 2 = \frac{b}{a} = \frac{1,91}{0,48} = 3,98$$

$$\alpha / 2 = 14,37$$

$$\alpha = 14,37 * 2 = 28,74^\circ$$

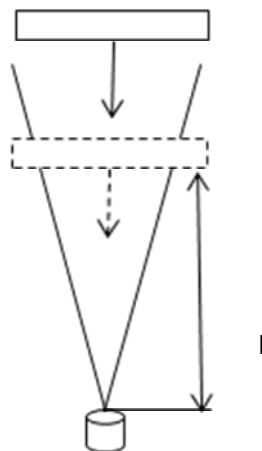
Výrobca snímača v technických parametroch udáva maximálny vyžarovací uhol 30°. Pri našich meraniach bol maximálny nameraný uhol 35°. Čo je v porovnaní s katalógový údajom 16% odchýlka.

#### **4.2.2 Meranie linearít ultrazvukového snímača**

Pri meraní sme posúvali prekážku vo vertikálnom smere na snímač (Obr. 27). Napájanie snímača bolo podobné ako v kapitole 4.2.1. Ako výstup zo snímača sme opäť použili analógové výstupné napätie, ktoré sme zobrazovali na voltmetri. Zaznamenávali sme vzdialenosť prekážky od snímača a výstupné napätie na snímači. Medzi vzdialenosťou prekážky od snímača a výstupným napätím je za ideálnych podmienok lineárna závislosť. Čo znamená, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou prekážky od snímača stúpa aj výstupné napätie na snímači. Toto je vidieť aj v Tab. 11.

Z nameraných hodnôt sme zostrojili graf, ktorý je zobrazený v prílohe 2. Na os *x* sme naniesli napätie *U* vo voltoch a na os *y* sme naniesli vzdialenosť *l* v metroch. Modrá čiara značila skutočne namerané hodnoty a červená čiara ideálnu lineárnu závislosť ultrazvukového snímača (regresná čiara). Ako je z grafu vidieť niektoré namerané hodnoty neležia na regresnej čiare, preto sme zostrojili graf, kde sú zaznamenané tieto odchýlky. Meranie bolo realizované pri teplote 20 °C.





**Obr. 27 Princíp merania linearity ultrazvukového snímača**

Zdroj: Vlastná práca

**Tab. 11 Tabuľka hodnôt z merania linearity ultrazvukového snímača**

Č.M.	U (mV)	l (m)
1	900	2,4
2	540	1,5
3	500	1,3
4	395	1
5	326	0,9
6	277	0,8
7	219	0,7
8	190	0,6
9	160	0,5
10	130	0,4
11	100	0,3
12	72	0,2

Legenda:

U – výstupné analógové napätie snímača

l – vertikálna vzdialenosť prekážky od snímača

---

**Korelácia:**

Z nameraných údajov sme vypočítali korelačný koeficient. Korelácia udáva mieru závislosti medzi dvomi premennými. V našom prípade to boli vzdialenosť prekážky od snímača a výstupné napätie snímača.

**Tab. 12 Výpočet korelácie**

Premenné	U	l
U	1,0000	$r = 0,9972$
	$p = \text{---}$	$p = 0,000$
l	$r = 0,9972$	1,0000
	$p = 0,000$	$p = \text{---}$

*Legenda:*

*U – výstupné analógové napätie snímača*

*l - vertikálna vzdialenosť prekážky od snímača*

*p – pravdepodobnosť*

*r – korelačný koeficient*

V Tab. 12 je hodnota korelačného koeficientu, ktorá je 0,9972. Taktiež táto tabuľka obsahuje pravdepodobnosť chyby. Ak je pravdepodobnosť  $p < 0,05$  závislosť sa považuje za významnú. Po vypočítaní korelačného koeficientu sme zostrojili korelogram, ktorý je zobrazený v prílohe 3. V korelograme sa nachádza rovnica regresnej priamky a korelačný koeficient.

### **4.3 Návrh inštalácie a rozmiestnenie ultrazvukových snímačov**

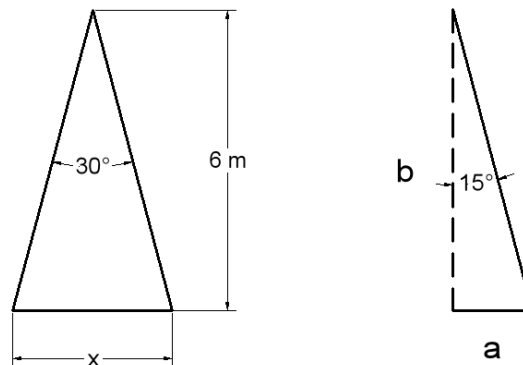
Vo vybranom poľnohospodárskom objekte sa nachádzajú štyri kusy oceľových síl. Výška a šírka každého síla je 12 m. Síla sú valcovitého tvaru. Vo vnútri síla sa nenachádzajú žiadne prekážky, ktoré by mohli ovplyvniť funkčnosť nainštalovaných snímačov. Konštrukcia síla je znázornená v prílohe 1. Použili sme ultrazvukové už spomínané snímače firmy MaxBotix typu LV-MaxSonar EZ1 (Obr. 17).

Pri návrhu umiestnenia snímačov do síla musíme brať do úvahy rozmery síla, vyžarovací uhol snímača a maximálny dosah snímača, ktorý udáva výrobca. Snímače je potrebné umiestniť tak, aby vyžarovaný lúč zo snímača nezasahoval do bočných stien síla a ani do iných prekážok a tak nedochádzalo k falošným odrazom. Taktiež je potrebné brať do úvahy plnenie síla materiálom. Plnenie síla je zabezpečené korčekovým elevátorom, z ktorého materiál padá priamo cez stred síla na dno.

---

#### 4.3.1 Výpočet šírky záberu vyžarovacieho uhla pri maximálnom dosahu snímača

Pri výpočte vychádzame z mysleneho trojuholníka, ktorý snímač pri vyžarovaní ultrazvukovej vlny vytvára. Podľa katalógových údajov poznáme maximálny dosah snímača (6,45 m) a jeho vyžarovací uhol ( $30^\circ$ ). Keďže výška sila je 12 m použili sme dva ultrazvukové snímače LV-MaxSonar EZ1 a výpočet sme realizovali so vzdialenosťou 6 m (Obr. 28).



**Obr. 28 Šírka záberu ultrazvukového snímača**

Zdroj: Vlastná práca

Pre použitie goniometrickej funkcie kotangens (11) potrebujeme tento trojuholník rozdeliť na dve časti, aby sme mohli vypočítať šírku záberu  $x$  snímača pri maximálnom dosahu (Obr. 28). Teda do vzorca (11) budeme dosádzať iba polovičný uhol.

$$\cotg \alpha = \frac{b}{a}$$

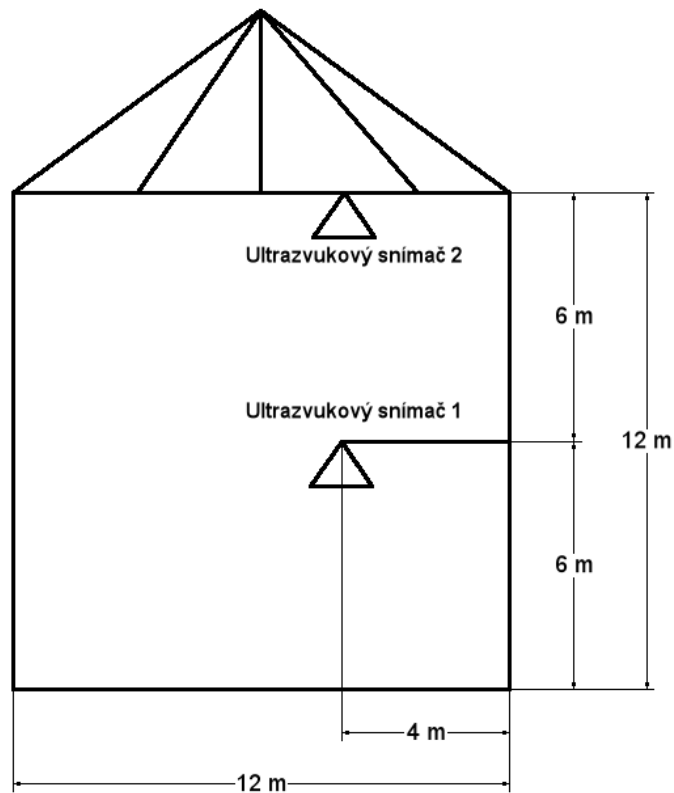
$$a = \frac{b}{\cotg \alpha} = \frac{6}{\cotg 15^\circ} = \frac{6}{3,732} = 1,607 \text{ m}$$

$$x = 2 * a = 2 * 1,607 = 3,215 \text{ m}$$

Maximálna šírka záberu snímača pri maximálnej potrebnej meranej vzdialenosti je 3,215 m. Tento údaj je dôležitý pri návrhu umiestnenia snímača v sile.

#### 4.3.2 Umiestnenie snímačov v sile

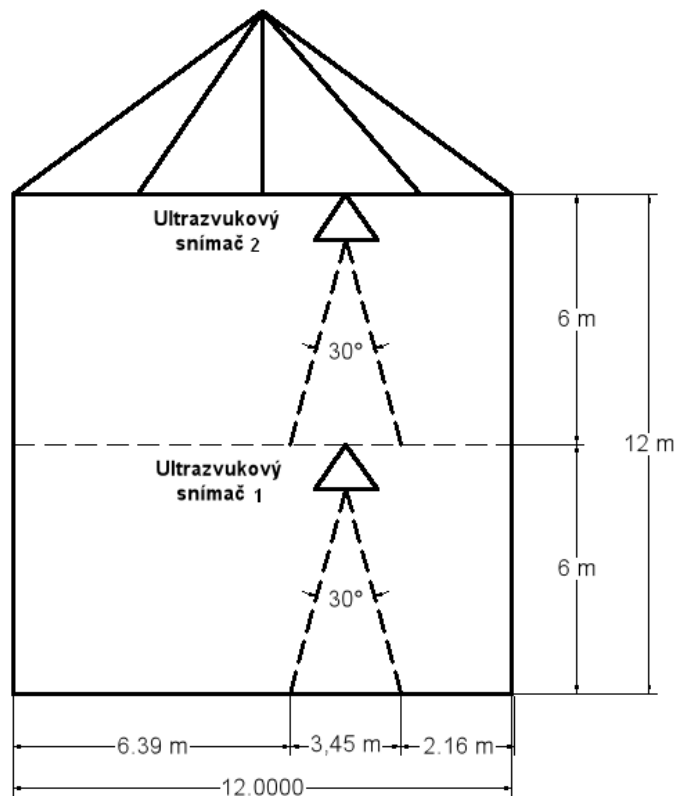
Keďže výška sila je 12 m a maximálny dosah snímača LV-MaxSonar EZ1 uvádzaný výrobcom je 6,45 m, budú nám stačiť dva snímače. Prvý je umiestnený tesne nad miestom maximálnej úrovne naplnenia sila, druhý je o 6 metrov nižšie (Obr. 29).



**Obr. 29 Umiestnenie ultrazvukových snímačov v sile**

Zdroj: Vlastná práca

Oba snímače sú umiestnené 4 m od bočnej steny sily (Obr. 29). Takto sa zabráni falošným odrazom od stien sily, keďže snímač má maximálnu šírku záberu 3,215 m pri maximálnej meranej vzdialenosti 6 m (Obr. 30). Taktiež sa vyhneme problémom, ktoré by mohli vzniknúť pri plnení sily. Snímače sú umiestnené na oceľových tyčiach, ktoré sú upevnené o bočné steny sily.



**Obr. 30 Umiestnenie ultrazvukových snímačov v sile**

Zdroj: Vlastná práca

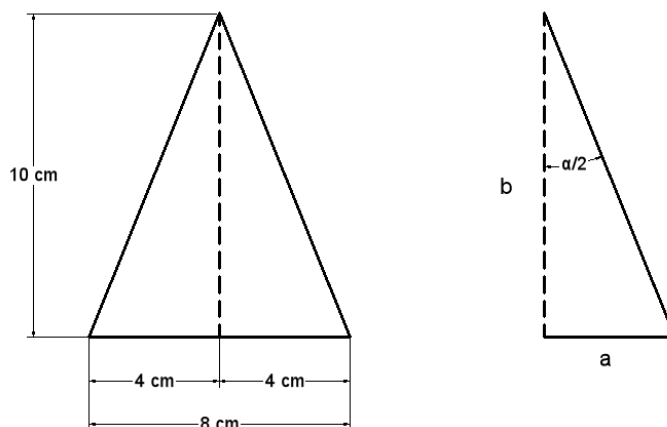
#### 4.3.3 Návrh krytu ultrazvukového snímača

Snímač je potrebné chrániť pred dopadajúcim materiálom pri plnení sily. Chránená musí byť najmä elektronika snímača. Kryt snímača musí byť zo spodnej strany otvorený a nesmie ovplyvňovať funkciu snímača. Kryt snímača je v tvare kužela, ktorý je zo spodnej strany otvorený (Obr. 32). Týmto tvarom sa pri postupnom naplňaní sily zamedzí prístupu meraného materiálu priamo ku snímaču a tak jeho priamemu poškodeniu. Keďže použitý snímač je ultrazvukový má funkciu samočistenia, čiže prach a iné drobné čiastočky sa na snímači nebudú usádzať. Kryt snímača je vytvarovaný z plechu.

##### 4.3.3.1 Návrh rozmerov krytu

Základnou požiadavkou pri návrhu rozmerov krytu je aby vyžarovací uhol snímača nebol ovplyvnený krytom. Vyžarovací uhol snímača je  $30^\circ$ . Z toho vyplýva, že uhol pri vrchole kužela musí byť väčší ako  $30^\circ$ .

Pri výpočte rozmerov krytu sme opäť vychádzali z goniometrickej funkcie kotangens (11). Výška krytu je 10 cm, spodná podstava kužela má šírku 8 cm (Obr. 31). Podľa výpočtu je uhol pri vrchole kužela  $45,8^\circ$ .



**Obr. 31 Návrh krytu snímača**

Zdroj: Vlastná práca

Výpočet uhla pri spodnej podstave krytu:

$$\cot g \alpha / 2 = \frac{b}{a} = \frac{10}{4} = 2,5$$

$$\alpha / 2 = 22,9$$

$$\alpha = 45,8^\circ$$

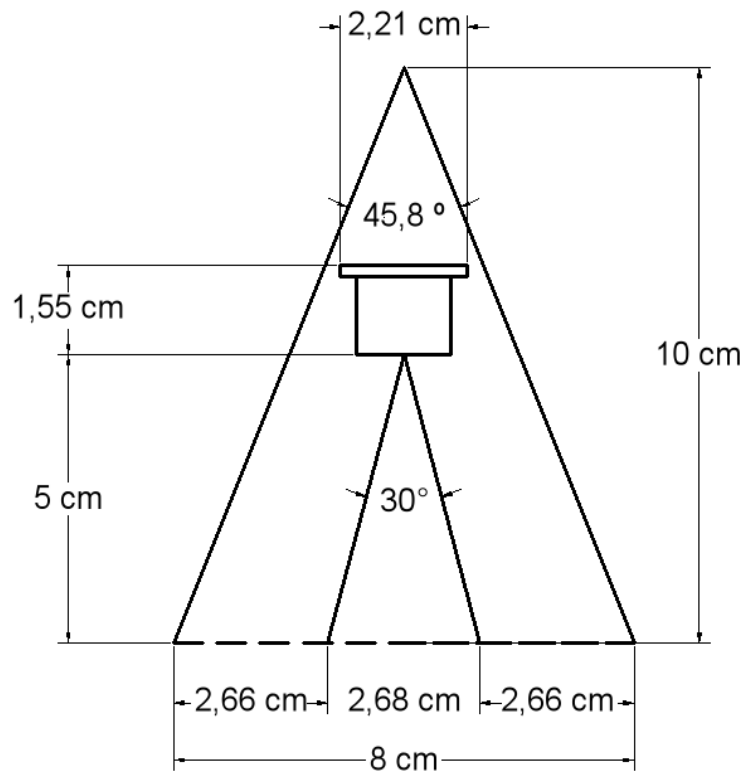
Snímač sme umiestnili tak, aby bol 5 cm od podstavy kužeľa (Obr. 32). Výpočtom sme overili, či vyžarovací lúč snímača nezasahuje do krytu snímača.

$$\cot g \alpha = \frac{b}{a}$$

$$a = \frac{b}{\cot g \alpha} = \frac{5}{\cot g 15^\circ} = \frac{5}{3,732} = 1,34 \text{ cm}$$

$$x = 2 * a = 2 * 1,34 = 2,68 \text{ cm}$$

Výpočtom sme dokázali, že umiestnenie snímača v kryte je správne a neovplyvní správnu funkciu snímača. Šírka vyžarovaného lúča v mieste kde pretína myslennú podstavu krytu je 2,68 cm. Kryt má podstavu so šírkou 8 cm a keďže je snímač v strede krytu nie je ovplyvnená jeho funkcia (Obr. 32).



**Obr. 32** Výsledný návrh krytu ultrazvukového snímača

Zdroj: Vlastná práca

#### 4.4 Kompenzácia nameranej vzdialenosti na základe teploty v sile

Keďže teplota sa vplyvom okolitého prostredia v sile neustále mení má priamy vplyv na meranie ultrazvukovým snímačom. Teplota prostredia, v ktorej sa ultrazvukový snímač nachádza ovplyvňuje rýchlosť šírenia ultrazvukových impulzov prostredím, preto pri vyhodnocovaní informácií sa musí uvažovať aj s touto teplotou a je potrebné kompenzovať údaj o nameranej vzdialenosti meranej látky od snímača.

Pri kompenzácii teploty budeme vychádzať zo vzťahu (5):

$$c = 331,8 + 0,61 \cdot \theta, m \cdot s^{-1}$$

Ako bolo spomenuté v kapitole 1.4.3.3 ultrazvukové impulzy sú vysielané smerom od snímača a odrážané naspäť k snímaču, tento čas odrazu je zaznamenaný ultrazvukovým snímačom. Keďže ultrazvukové vlny prejdú dráhu od snímača ku meranému materiálu a späť je potrebné uvažovať s dvojnásobnou dráhou ultrazvukového impulzu.

---

Pre výpočet dráhy ultrazvukových impulzov platí nasledovný vzťah (12):

$$s = \frac{c \cdot t}{2}, m \quad (12)$$

Kde  $s$  je dráha ultrazvukových vln

$c$  je výsledná rýchlosť šírenia ultrazvuku pri zohľadnení okolitej teploty

$t$  je čas návratu ultrazvukovej vlny k snímaču

Použitý snímač LV-MaxSonar EZ1 je kalibrovaný pri teplote 20 °C a nemá vstavanú automatickú kompenzáciu. Preto si musíme uvedomiť, že každá nameraná hodnota bude mať určitú odchýlku od skutočnej výšky hladiny materiálu v sile. Tento snímač teda vždy pracuje s výslednou rýchlosťou šírenia ultrazvukových vln pri teplote 20 °C pozri vzťah (13):

$$c_n = 331,8 + 20 \cdot 0,607 = 344 m \cdot s^{-1} \quad (13)$$

Kde:

$c_n$  je nominálna hodnota pre rýchlosť šírenia ultrazvukových vln pre snímač LV-MaxSonar EZ1

Pre získanie výsledného vzťahu pre kompenzáciu vzdialenosti meranej látky od snímača potrebujeme odvodiť vzťah pre čas návratu ultrazvukovej vlny k snímaču (14). Toto je čas, ktorý ultrazvukový snímač nameria.

$$t = \frac{2 \cdot s_n}{c_n}, s \quad (14)$$

Kde:  $t$  je čas návratu ultrazvukovej vlny k snímaču

$c_n$  je nominálna hodnota pre rýchlosť šírenia ultrazvukových vln pre snímač LV-MaxSonar EZ1

$s_n$  nekompenzovaná vzdialenosť nameraná ultrazvukovým snímačom

Tento vzťah pre čas návratu ultrazvukovej vlny k snímaču, použijeme na odvodenie výsledného vzťahu pre kompenzovanú vzdialenosť meranej látky od snímača (15).

$$s = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{(331,8 + 0,61 \cdot \theta) \cdot \left( \frac{2 \cdot s_n}{c_n} \right)}{2}, m$$



$$s = \frac{(331,8 + 0,61 \cdot \theta) \cdot s_n}{c_n}, m \quad (15)$$

Kde:  $s$  je kompenzovaná vzdialenosť

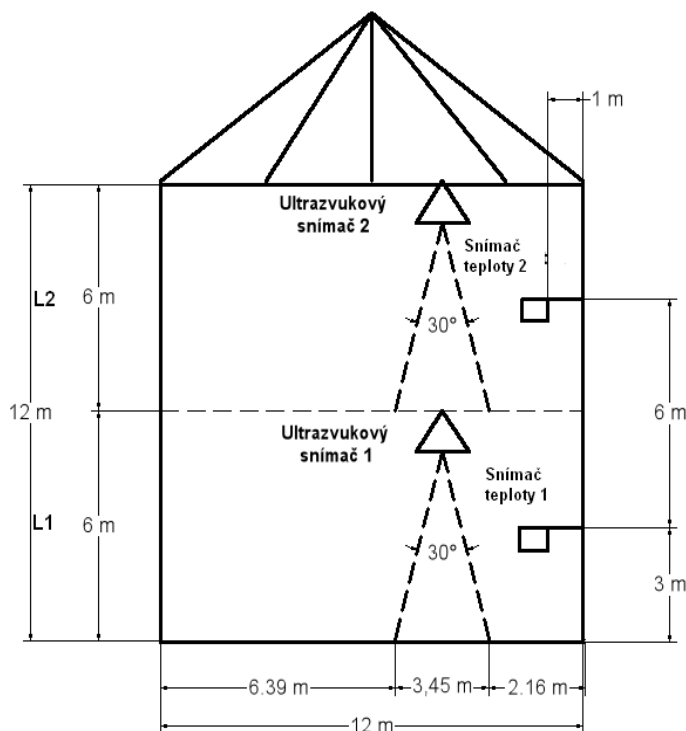
$s_n$  je nekompenzovaná vzdialenosť nameraná ultrazvukovým snímačom

$\theta$  je aktuálna nameraná teplota vzduchu

$c_n$  rýchlosť šírenia ultrazvuku vo vzduchu pri teplote 20 °C

#### 4.4.1 Meranie teploty v sile

Na meranie teploty v sile sme použili teplotné snímače od firmy Maxim Integrated Products typu DS18B20. Technické parametre týchto snímačov sú uvedené v kapitole 3.3.2. Tieto teplotné snímače merajú aktuálnu teplotu v sile, získané informácie o teplote posielajú do elektronického obvodu, kde je následne automaticky vykonaná kompenzácia vzdialenosti meranej látky od snímača. Elektronický obvod je bližšie opísaný v kapitole 4.6. Snímače DS18B20 sú zapojené paralelne a na prenos informácií používajú tzv. 1- Wire zbernicu, ktorá bližšie opísaná v kapitole 4.6.2. Teplotné snímače sú umiestnené pod ultrazvukovými snímačmi. Sú vo výške 3 m a 9 m a vo vzdialenosti 1 m od bočnej steny sily (Obr. 33) tak, aby neobmedzovali funkciu ultrazvukových snímačov a neovplyvňovali tak nežiaduco meranie.



**Obr. 33** Umiestnenie teplotných čidiel v sile

Zdroj: Vlastná práca

---

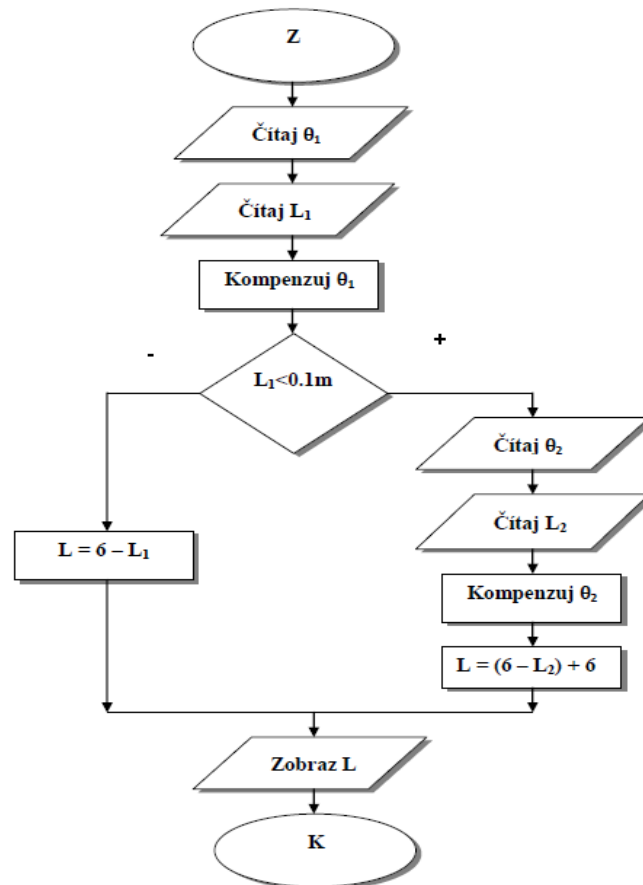
## 4.5 Algoritmus na meranie výšky hladiny v sile

Pre správnu funkciu celého elektronického obvodu sme navrhli algoritmus na základe ktorého celý obvod pracuje. Pri navrhovaní algoritmu sme museli dodržať základné pravidlo, že oba snímače nemôžu pracovať súčasne, pretože by sa mohli navzájom ovplyvňovať. Taktiež sme museli brať do úvahy to, že snímače poskytujú údaj o tom, v akej vzdialenosti sa nachádza meraná látka od snímača a nie skutočnú výšku materiálu v sile. Ešte pred samotným spustením merania musí elektrický obvod namerať teplotu v sile a následne na základe tejto teploty musí vykompenzovať nameranú vzdialenosť meranej látky od ultrazvukového snímača.

### 4.5.1 Princíp navrhnutého algoritmu

Algoritmus je zobrazený na Obr. 34. Najprv je potrebné namerať teplotu  $\theta_1$ , ktorú meria snímač teploty 1. Potom elektronický obvod začne čítať vzdialenosť meranej látky  $L_1$  z ultrazvukového snímača 1, ktorý je umiestnený vo výške 6 metrov. Na základe nameranej teploty  $\theta_1$  sa vykoná kompenzácia nameranej vzdialenosti  $L_1$ . Elektronický obvod vykoná prepočet podľa vzťahu (15). Týmto je vykonaná kompenzácia pri meraní vzdialenosti hladiny od ultrazvukového snímača 1. Ak je táto vzdialenosť väčšia ako 0,1 metra obvod odčíta od 6 metrov práve túto nameranú hodnotu a týmto spôsobom dostaneme výšku hladiny meraného materiálu v sile. Táto nameraná hodnota výšky hladiny v tomto prípade bude vždy do 6 m.

V prípade, ak je hodnota  $L_1$  menšia ako 0,1 metra obvod dá príkaz na vypnutie ultrazvukového snímača 1. Toto nám signalizuje, že výška hladiny meraného materiálu v sile bude logicky prevyšovať úroveň 6 m. Obvod dá príkaz na meranie teploty  $\theta_2$ , táto teplota sa meria pomocou snímača teploty 2. Potom elektronický obvod začne čítať vzdialenosť meranej látky  $L_2$  z ultrazvukového snímača 2, ktorý je umiestnený vo výške 12 metrov. Opäť je vykonaná kompenzácia, no tento raz je to na základe nameranej teploty  $\theta_2$ . Elektronický obvod vykoná prepočet podľa vzťahu (15). Od nameranej hodnoty  $L_2$  najprv odčíta 6 metrov a potom k výsledku pripočíta 6 metrov, čo je vlastne výška zaplnenia sily po ultrazvukový snímač 1. Týmto spôsobom dostaneme skutočnú výšku hladiny meraného materiálu v sile. Nameraná hodnota výšky hladiny meraného materiálu v sile sa v tomto prípade bude pohybovať v rozmedzí 6 až 12 m.



**Obr. 34** Algoritmus na meranie výšky hladiny v sile

Zdroj: Vlastná práca

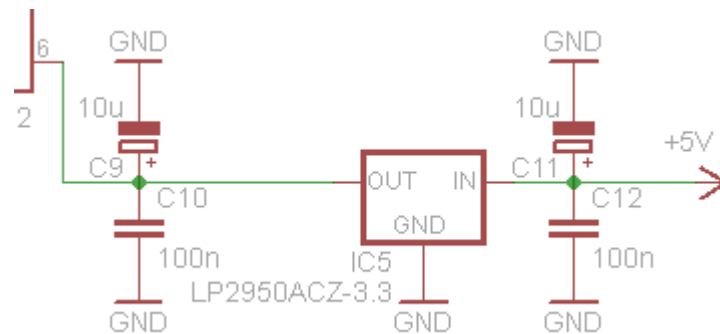
## 4.6 Návrh elektronického obvodu na ultrazvukové meranie výšky hladiny v sile

Základom celého obvodu je mikroprocesor od firmy Silicon Laboratories s označením C8051F330D. Schéma elektronického obvodu je zobrazená v prílohe 4. Základné technické parametre mikroprocesora C8051F330D sú popísané v kapitole 3.3.3. Tento mikroprocesor prijíma informácie z oboch teplotných snímačov Maxim Integrated Products DS18B20, a z oboch ultrazvukových snímačov LV-MaxSonar EZ1, ktoré sú uložené v sile. Následne vysiela informáciu priamo na konektor pre pripojenie indikátora úrovne zaplnenia sily. Súčasne je informácia o výške hladiny materiálu v sile odosielaná aj do počítača, cez sériový port RS232.

### 4.6.1 Napájanie mikroprocesora C8051F330D

Mikroprocesor C8051F330D je napájaný stabilizovaným napätím 3,3 V. Toto napätie je stabilizované nízkostratovým regulátorom napätia LP2950ACZ. Jeho technické parametre sú uvedené v kapitole 3.3.6. Funkciou tohto lineárneho

stabilizátora napätia je znížiť vstupné napätie 5 V na stabilnú úroveň 3,3 V, aj pri kolísaní napájacieho napätia 5 V. Kondenzátory  $C_9$  a  $C_{11}$  sú filtračné kondenzátory, ktoré slúžia na filtráciu jednosmerného napätia (zmenšujú jeho vlnenie). Kondenzátory  $C_{10}$  a  $C_{12}$  sú blokovacie kondenzátory, slúžia na blokovanie vývodov stabilizátora voči rušivým napätiam (filtrujú vyššie kmitočty ako filtračné elektrolyty) (Obr. 35).



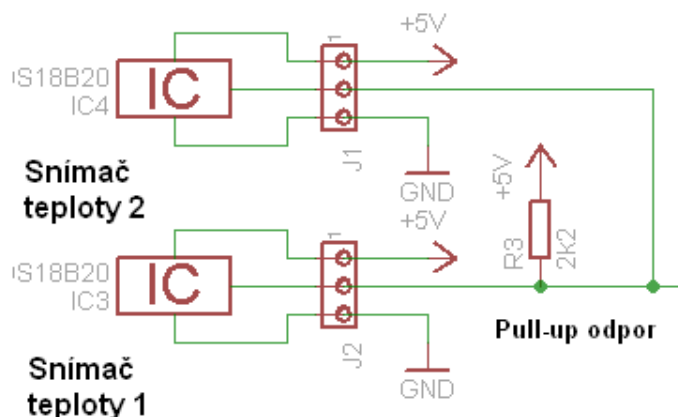
**Obr. 35 Napájanie mikrokontroléra**

Zdroj: Vlastná práca

#### 4.6.2 Komunikácia medzi mikroprocesorom a snímačmi teploty

Komunikácia medzi snímačmi teploty DS18B20 a mikroprocesorom C8051F330D je zabezpečená pomocou 1 – Wire zbernice. Túto zbernicu vyvinula firma Maxim Integrated Products. Je charakteristická tým, že údaje sú prenášané iba cez jeden vodič. Zbernica má jeden master obvod a jeden, alebo viac slave obvodov. Master obvod je obvod riadiaci a slave je ovládané zariadenie (obvod). Všetky tieto obvody sú pripojené na spoločnú zem a paralelne na spoločný dátový vodič. Ďalšou výhodou snímača DS18B20 je možnosť napájania a prenosu dát po jednom vodiči. Túto možnosť sme však v našom obvode nepoužili. Snímače teploty DS18B20 sú napájané samostatne. Komunikácia s konkrétnym obvodom je zabezpečená pomocou 64 bitovej adresy. Túto adresu má každý snímač teploty DS18B20 uloženú v ROM pamäti.

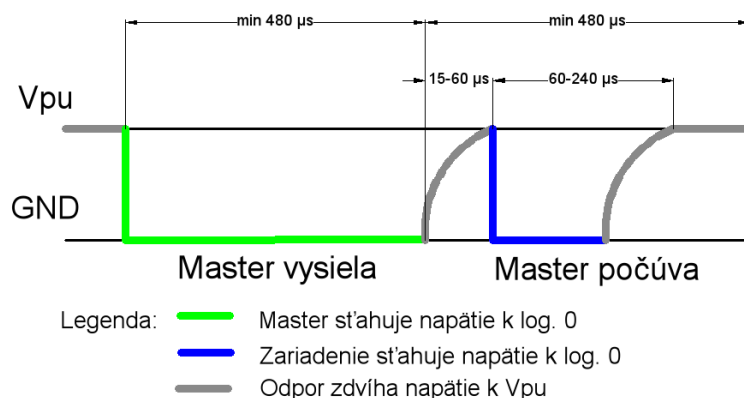
Princíp merania teploty spočíva v dvoch oscilátoroch, ktoré sú uložené vo vnútri snímača. Tieto oscilátory majú rozdielne tepelné koeficienty. V momente kedy sa dá po dátovom vodiči snímaču príkaz na začatie merania teploty, spustí sa čítanie z oboch týchto oscilátorov. Pridaním odporu  $R_3$  na dátový vodič a napojením na napájacie napätie +5 V sme zdvihli hodnotu zbernice snímača do log. 1 (Obr. 36). Tento odpor  $R_3$  je tzv. zdvíhací odpor (pull-up odpor).



**Obr. 36 Schéma zapojenia čidiel DS18B20**

Zdroj: Vlastná práca

Komunikácia sa začína vždy tzv. master reset impulzom. To znamená, že dátový vodič, na ktorom je pripojený odpor R3 sa opäť dostane na hodnotu logickú hodnotu 0. Potom sa zbernica uvoľní a následne obvod “počúva“. Odpor R3 vráti zbernicu do stavu log. 1. Keďže sme na zbernicu pripojili ešte jednej teplotný snímač DS18B20 master zariadenie začne po 15 – 60  $\mu$ s detekovať vzostupnú hranu. Po čakaní stiahne zbernicu na 60 - 240  $\mu$ s k logickej hodnote 0 (Obr. 37).



**Obr. 37 Reset 1 – Wire**

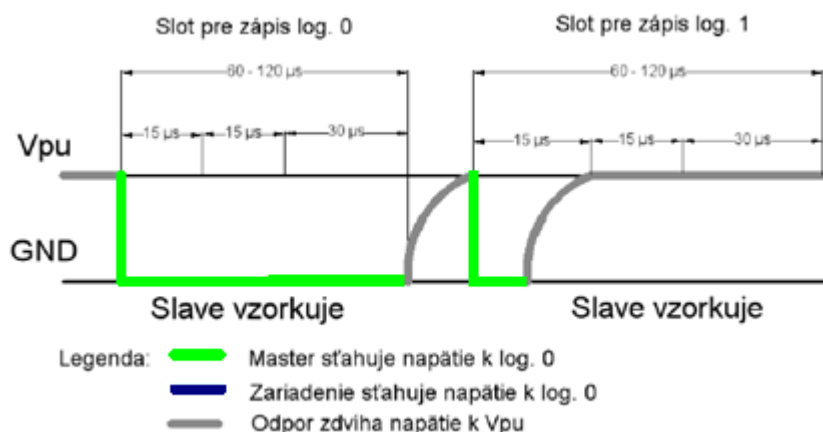
Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. 2009. *Reading and writing 1-Wire Devices through serial interfaces.*

Po tomto cykle master začne prijímať a vysielat' dáta. Dáta sú vysielané v časových sekvenciách. Jedna sekvencia je dlhá 60 až 120  $\mu$ s a počas jednej sekvencie je vyslaný alebo prijatý jeden bit informácie. Medzi sekvenciou je medzera, ktorá trvá 1  $\mu$ s.

Poznáme 4 druhy sekvencií: Zápis logickej 1, Zápis logickej 0, Čítanie logickej 1, Čítanie logickej 0

*Zápis logickej 1* – Master stiahne zbernicu k logickej 0 minimálne na 1  $\mu\text{s}$  a do 15  $\mu\text{s}$  ju uvoľní. Odpor R3 ju dostane na logickú hodnotu 1 (Obr. 38).

*Zápis logickej 0* – Master stiahne zbernicu k logickej 0 a ostane tak počas trvania celého slotu (Obr. 38).

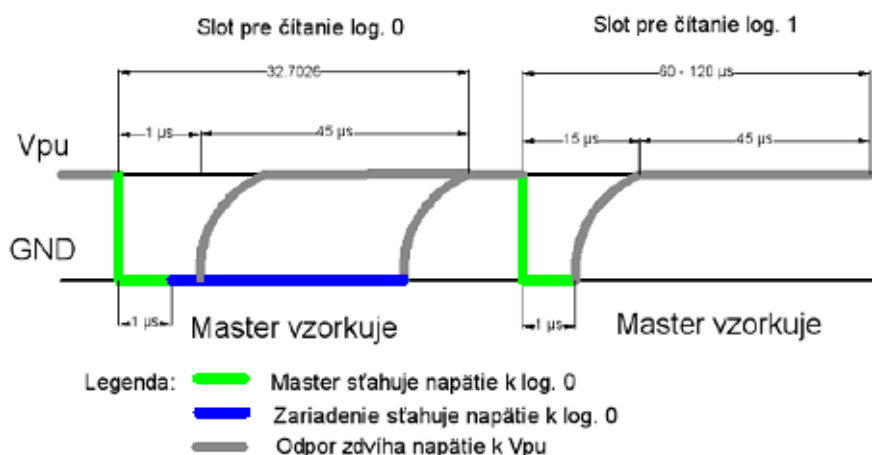


**Obr. 38 1 - Wire vysielanie dát**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. 2009. *Reading and writing 1-Wire Devices through serial interfaces.*

*Čítanie logickej 1* – Master stiahne zbernicu k logickej 0 minimálne na 1  $\mu\text{s}$  a uvoľní ju. Potom snímač môže vysielat' 1 bit tým, že ponechá zbernicu v klúde (Obr. 39).

*Čítanie logickej 0* - Master stiahne zbernicu k logickej 0 minimálne na 1  $\mu\text{s}$  a uvoľní ju. Potom snímač môže vysielat' 1 bit tým, že stiahne zbernicu k logickej 0 (Obr. 39).

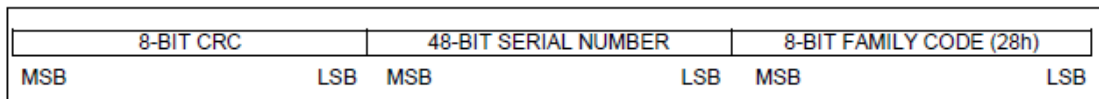


**Obr. 39 1 - Wire Príjem dát**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. 2009. *Reading and writing 1-Wire Devices through serial interfaces.*

#### 4.6.2.1 ROM ID kód

Snímače teploty DS18B20 obsahujú pamäť so 64 bitovým identifikačným kódom. Podľa tohto kódu je možné odlišovať snímač pripojený na zbernicu 1 - Wire. Najnižších 8 bitov kódu slúži na identifikáciu snímača. Ďalších 48 bitov je sériové číslo. Najvyšších 8 bitov je CRC kód (Obr. 40). CRC kód je vlastne kontrola validity dát zo snímača DS18B20. Prepočet CRC sa vykonáva vždy na master zariadení.

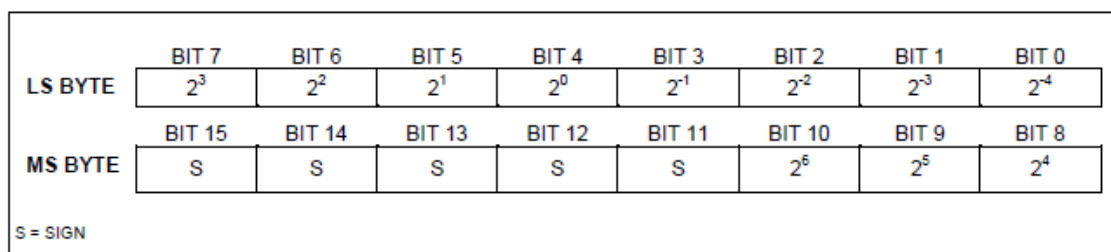


**Obr. 40 Štruktúra 64 bitového identifikačného čísla**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008. Data sheet DS18B20

Na identifikáciu snímača teploty 2 zapojeného paralelne sa používa vyhľadávací algoritmus. Tento algoritmus sa podobá prehľadávaniu binárneho stromu. Podstatou tohto algoritmu je, že pri jednom cykle vyhľadávania je objavené vždy len jedno zariadenie. Informácia o tomto zariadení sa uchová a nasleduje ďalší cyklus. Vyhľadávací algoritmus začína vždy master reset impulzom, ktorý vyšle master zariadenie v našom prípade snímač teploty 1. Po tomto impulze sa čaká na odpoveď slave zariadenia (snímač teploty 2).

Informácie o teplote sú v snímači DS18B20 uložené v dvojbajtovom registri, ktorý pozostáva zo 16 bitov (Obr. 41).



**Obr. 41 Register čidla DS18B20 pre informácie o teplote**

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008. Data sheet DS18B20

MS Byte slúži na identifikáciu znamienka teploty. Ak je  $S = 0$  teplota je pozitívna. Ak je  $S = 1$  teplota je negatívna.

---

V Tab. 13 sú uvedené príklady teplôt a ich digitálny výstup:

**Tab. 13 Príklad prepočtu teploty**

Teplota (°C)	Digitálny výstup (binárny)	Digitálny výstup (hexadecimálny)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85	0000 0101 0101 0000	0550h
+25,065	0000 0000 1010 0010	0191h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0,5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-25,065	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

Zdroj: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008. Data sheet DS18B20

#### 4.6.3 Komunikácia medzi mikroprocesorom a ultrazvukovými snímačmi

Ultrazvukové snímače LV-MaxSonar EZ1 sú napájané napätím 5 V. Ako výstup z ultrazvukových snímačov sme použili výstupne analógové napätie. Toto napätie môže maximálne dosiahnuť hodnotu 2,55 V ako udáva výrobca. Ako riadiaci vstup pre ultrazvukový snímač 1 sme použili vývod Rx, ktorý je priamo prepojený s mikroprocesorom C8051F330D. Výstup Tx na ultrazvukovom snímači 1 je pripojený na vstup Rx ultrazvukového snímača 2 (Obr. 43). Týmto sme zamedzili spusteniu oboch ultrazvukových snímačov súčasne a tak ich vzájomnému nežiaducemu ovplyvňovaniu. Výstupom z ultrazvukových snímačov ako už bolo spomínané je analógové napätie na plošnom spoji ultrazvukového snímača je to vývod označený ako AN. Označenie vývodov na plošnom spoji je zobrazené v kapitole 3.3.1.

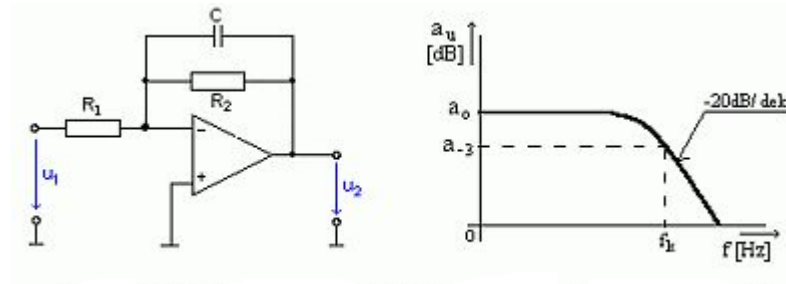
Toto analógové napätie je posielané na dvojité operačný zosilňovač LM358. Jeho technické parametre sú uvedené v kapitole 3.3.4.

Oba operačné zosilňovače IC1A a IC1B sú v invertujúcom zapojení, so zosilnením  $A = -1$  dB. Vstupné analógové napätie privedené z ultrazvukových snímačov je vedené cez odpor  $R_4$  a  $R_5$  na invertujúci vstup operačného zosilňovača LM358. Neinvertujúci vstup zosilňovača je pripojený na zem. Odpormi  $R_1$  a  $R_2$  je zabezpečená záporná spätná väzba. Podstatou invertujúceho zapojenia, ktoré sme použili je, že operačný zosilňovač otočí kladný vstupný signál na záporný výstupný signál. Pomocou kondenzátorov  $C_1$  a  $C_2$  je vytvorená z invertujúceho zapojenia dolná priepusť. To znamená, že do hodnoty medznej frekvencie danej aplikácie tento obvod prenáša a nad



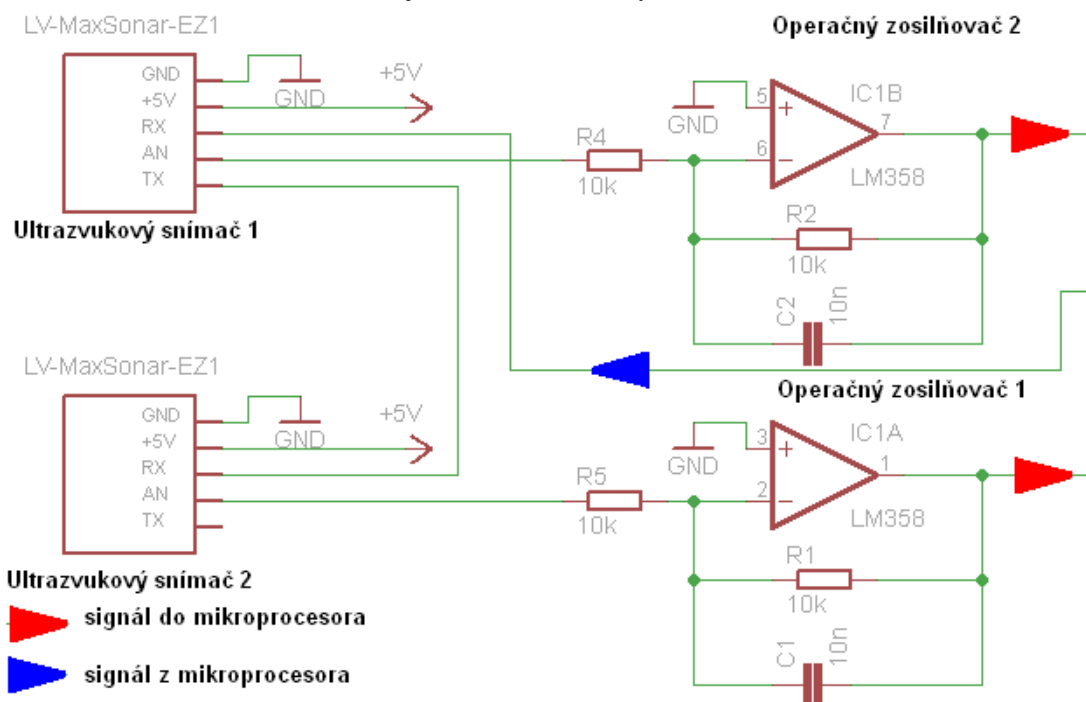
touto hodnotou tlmí vstupný signál. Z toho vyplýva, čím vyššia frekvencia nad medznou frekvenciou, tým je útlm väčší.

Medzná frekvencia je frekvencia, pri ktorej dochádza k poklesu zosilnenia o 3dB voči referenčnej frekvencii. Pri referenčnej frekvencii je zosilnenie maximálne (Obr. 42).



**Obr. 42** Dolná priepusť 1. rádu s amplitúdovo-frekvenčnou charakteristikou

Zdroj: Frekvenčné selektory, 2011



**Obr. 43** Schéma zapojenia ultrazvukových snímačov

Zdroj: Vlastná práca

---

### Výpočet parametrov operačného zosilňovača:

*Výpočet medznej frekvencie:*

Pre výpočet medznej frekvencie použijeme vzťah (16):

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C}, Hz \quad (16)$$

Kde:  $f_m$  je medzná frekvencia

$R_2$  hodnota odporu  $R_2$

$C$  hodnota kondenzátora

$\pi$  Ludolfovo číslo ( $\pi = 3,14$ )

$$R_2 = 10k\Omega = 1000 \Omega$$

$$C = 10nF = 10 \cdot 10^{-9} F$$

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-5}} = 15923 Hz = 15,923 kHz$$

*Výpočet zosilnenia invertujúceho zosilňovača:*

Pre výpočet zosilnenia použijeme vzťah (17):

$$Au = \frac{-R_2}{R_1}, dB \quad (17)$$

Kde:  $Au$  je zosilnenie operačného zosilňovača

$R_1$  je hodnota odporu  $R_1$

$R_2$  je hodnota odporu  $R_2$

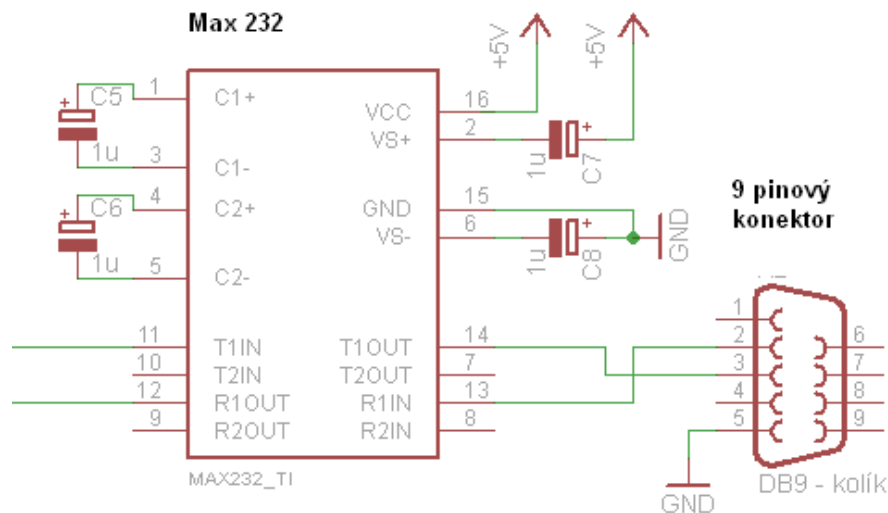
$$R_1 = 10k\Omega = 1000 \Omega$$

$$R_2 = 10k\Omega = 1000 \Omega$$

$$Au = \frac{-R_2}{R_1} = \frac{-1000}{1000} = -1 dB$$

#### 4.6.4 Výstup cez sériovú linku RS232

Výstup z elektronického obvodu, ktorý sme navrhli je realizovaný pomocou tzv. sériovej linky RS232 (port RS232). Tá sa skladá z prevodníka MAX232 a 9 pinového konektora (Obr. 44). Technické parametre prevodníka MAX232 sú bližšie opísané v kapitole 3.3.5. Prevodník MAX232 sme zapojili spôsobom, ktorý udáva výrobca v manuály.



**Obr. 44 Zapojenie prevodníka Max 232**

Zdroj: Vlastná práca

MAX232 prevádza TTL (transistor-transistor-logic) signál na rozhranie RS232. Použitie prevodníka MAX232 je potrebné, pretože medzi úrovňou TTL a RS232 sú značné rozdiely v napätiach. TTL signál je získaný z mikroprocesora C8051F330.

TTL signál je interpretovaný prevodníkom MAX232 buď ako logická 1 alebo logická 0. Ak na výstupe z mikroprocesora je napätie 0 V až 0,8 V prevodník MAX232 toto napätie interpretuje ako logickú 0. Napätie 2 V až 5 V prevodník MAX232 interpretuje ako logickú 1. Napätie 0,8 V až 2 V je pásmo, pre ktoré nie je definovaná žiadna logická hodnota.

Prevodník MAX232 na úrovni RS232 pracuje s napätím od  $-15\text{ V}$  do  $-3\text{ V}$  čo je interpretované ako logická 1. Naopak kladné napätie  $+3\text{ V}$  až  $+15\text{ V}$  je interpretované ako logická 0 (Tab. 14).

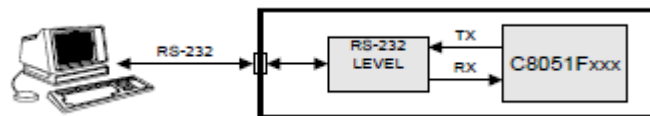
**Tab. 14 Hodnoty napätí pri jednotlivých úrovniach**

Logická hodnota	TTL úroveň	RS232 úroveň
Log. 1	+2V...+5V	-15V...-3V
Log. 0	0V...+0,8V	+3V...+15V

Samotný prevodník MAX232 však negeneruje sériové dáta, tento prevodník slúži len na prevod signálu napäťových úrovní. Samotné sériové dáta generuje mikroprocesor C8051F330. Tento mikroprocesor používa tzv. UART (the universal asynchronous receiver/transmitter). Mikroprocesor C8051F330 má v sebe teda

univerzálny asynchrónny prijímač a vysielateľ. UART je v našom elektronickom obvode základom sériovej komunikácie s počítačom (Obr. 45).

V našom prípade sme použili 8 bitový UART. Tento režim používa v skutočnosti 10 bitov na prenos jedného bajtu. Prvý bit je vždy tzv. štart bit, potom nasleduje 8 dátových bitov a jeden stop bit (Obr. 46). Keďže ide tzv. full duplex komunikáciu je umožnená v oboch smeroch súčasne. Napät'ová úroveň tejto linky je 5V.



**Obr. 45** Sériová komunikácia s PC

Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D



**Obr. 46** UART 8 – bit

Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D

Dáta sú vysielané najprv z vývodu Tx0 a prijímané sú na vývod Rx0. Mikroprocesor C8051F330 má dva registre ktoré sú používané pri prenose UART. Je to SCON0 register (Obr. 47) a SBUF0 register (Obr. 48). SCON0 je register podľa ktorého sa riadi celá komunikácia cez UART. Jednotlivé bity SCON0 registra sú opísané v kapitole 3.3.3. SBUF0 je register kde sa zapisujú dáta. Prenos dát sa začína, keď software začne zapisovať dáta do SBUF0 registra, ktorý slúži na uchovanie týchto dát.

R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
S0MODE	-	MCE0	REN0	TB80	RB80	TI0	RI0
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

**Obr. 47** SCON0 register

Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D

R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

**Obr. 48** SBUF0 register

Zdroj: SILICON LABORATORIES, 2004. Data sheet C8051F330/1, C8051F330D

---

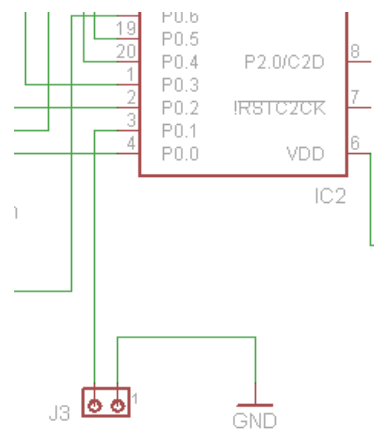
Keďže používame 8 bitový UART bit s označením S0MODE bude mať logickú hodnotu 0. Bit označený ako T10 je nastavený vždy na konci prenosu. Prijímanie dát môže začať kedykoľvek. Počas prijímania dát má bit REN0 logickú hodnotu 1.

Po vyslaní stop bitu sú dáta načítané do SBUF0 registra za nasledujúcich podmienok:

- bit RI0 má hodnotu logickej 0
- bit MEC0 má logickú hodnotu 1 ak stop bit má logickú hodnotu 1

#### 4.6.5 Výstup pre indikátor úrovne zaplnenia sila

Okrem výstupu pre pripojenie počítača navrhnutý elektronický obvod obsahuje aj výstup pre pripojenie 1 mA analógového indikátora úrovne zaplnenia sila. Tento indikátor je možné pripojiť cez 2 pinový konektor (Obr. 49), ktorý je na elektronickom obvode umiestnený.



**Obr. 49 Konektor pre pripojenie indikátora úrovne zaplnenia sila**

Zdroj: Vlastná práca

---

## Záver

Cieľom mojej diplomovej práce bolo navrhnuť elektronický obvod, ktorý bude slúžiť na meranie výšky hladiny sypkého materiálu v zásobníku. Pri výbere konkrétneho hospodárskeho objektu sme zvolili skladovacie silo o kapacite 1000 ton.

Keďže vybrané ultrazvukové snímače od firmy MaxBotix majú maximálny dosah 6,45 m, do sila sme umiestnili dva tieto snímače. Skladovacie silo má výšku 12 m, preto sme prvý snímač umiestnili tesne nad hornú hranicu plnenia sila, teda do výšky 12 m. Druhý snímač sme umiestnili o 6 metrov nižšie. Silo má šírku 12 m a je plnené materiálom priamo cez stred strechy sila elevátorom. Vyžarovací uhol snímača je 30 °, preto bolo potrebné navrhnuť umiestnenie tak, aby tento lúč nezasahoval do bočných stien sila a vyhnúť sa priamemu dopadu materiálu pri plnení sila na snímač. Pri dodržaní týchto podmienok sme snímač umiestnili 4 m od bočnej steny sila. Návrh sme overili výpočtom, ktorý dokazuje správnosť inštalácie ultrazvukových snímačov.

Samotný ultrazvukový snímač je potrebné chrániť pred poškodením, preto sme navrhli kryt na použité ultrazvukové snímače. Pri návrhu sme vychádzali z rozmerov ultrazvukového snímača a jeho vyžarovacieho uhlu. Výsledný návrh krytu je v tvare kužeľa, ktorý je zo spodnej strany otvorený. Týmto spôsobom nie je nijako ovplyvnená funkcia snímačov a zabráni sa priamemu kontaktu snímačov s meranou látkou. Snímače spolu s krytom sú umiestnené na oceľových tyčiach, ktoré sú pripevnené o bočnú stenu sila.

Ultrazvukové meranie do značnej miery ovplyvňuje teplota prostredia, v ktorej sa snímač nachádza. Preto pri našom meracom systéme sme museli vykompenzovať nameranú vzdialenosť meranej látky od snímača na základe nameranej teploty v sile. Pri kompenzácii vzdialenosti sme vychádzali zo základného vzťahu (5) pre šírenie ultrazvukových vln, ktorý zohľadňuje aktuálnu teplotu v sile.

Na meranie teploty v sile sme použili snímače teploty DS18B20. Keďže teplota vzduchu v sile nie je všade konštantná, použili sme 2 teplotné snímače. Tieto snímače sme umiestnili vo výške 3 m a 9 m od dna sila. Sú teda presne v strede meranej vzdialenosti každého ultrazvukového snímača. Snímače teploty sú umiestnené 1 m od bočnej steny sila tak, aby neovplyvnili funkciu ultrazvukových snímačov. Týmto spôsobom sme dosiahli optimálne meranie teploty v sile. Tieto snímače sú zapojené paralelne a komunikujú cez zbernicu 1 – Wire.

---

Základom celého elektronického obvodu je mikroprocesor od firmy Silicon Laboratories typu C8051F330D. Tento mikroprocesor prijíma informácie o meranej teplote v sile a automaticky kompenzuje nameranú vzdialenosť meranej látky od ultrazvukových snímačov. Tak isto riadi činnosť ultrazvukových snímačov a prijíma informáciu o výške hladiny meraného materiálu v sile. Pri meraní výšky hladiny v sile sme zabezpečili aby snímače nepracovali súčasne, pretože by sa mohli navzájom nežiadúco ovplyvňovať. Riešenie tohto problému je opísané v kapitole 4.5. Ultrazvukové snímače poskytujú informáciu o tom, v akej vzdialenosti sa nachádza materiál od snímača, čiže nepodávajú priamo údaj o výške hladiny v sile. Preto sme navrhli algoritmus pomocou ktorého elektronický obvod bude podávať správnu výstupnú hodnotu meranej látky v sile.

Navrhnutý elektronický obvod poskytuje výstupnú informáciu o aktuálnej hladine meraného materiálu pomocou indikátora, ktorý je možné pripojiť pomocou 2 pinového konektora. Tento indikátor slúži len na kontrolu úrovne zaplnenia sila materiálom. Hlavným výstupom z elektronického obvodu je informácia posielaná cez sériovú linku RS232. Na prevod TTL úrovne na úroveň RS232 slúži prevodník od firmy Maxim Integrated Products typu MAX232. Prepojenie počítača a elektronického obvodu je zabezpečené pomocou 9 pinového konektora. Prenosom dát cez sériovú linku RS232 sme zabezpečili možnosť softwarového spracovania informácie o výške hladiny meraného materiálu v sile. Všetky súčasti elektronického obvodu sú napájané napätím 5 V. Výnimkou je mikroprocesor C8051F330D, ktorý je napájaný cez regulátor napätia. Tento regulátor napätia reguluje vstupné napätie 5 V na stabilizovanú hodnotu 3,3 V. Celý elektronický obvod je uzavretý do vodotesného krytu, ktorý je umiestnený na bočnej stene sila. Na tomto kryte je umiestnený aj 2 pinový konektor pre možnosť pripojenia analógového indikátora úrovne zaplnenia sila meraným materiálom.

Výhody navrhnutého systému merania:

- Komplexný návrh systému merania pracuje na bezdotykovom princípe
- Ultrazvukové snímače majú schopnosť samočistenia
- Systém merania kompenzuje nameranú vzdialenosť na základe nameranej teploty v sile
- Informáciu o výške hladiny možno softwarovo spracovať
- Celková cena riešeného systému

---

## Zoznam použitej literatúry

1. ĎAĎO, S. – BEJČEK, L. – PLATIL, A. 2005. *Měření průtoků a výšky hladiny*. Praha: BEN, 2005. 448s. ISBN 80-7300-156-X
2. DRAFTS, B. 2001. Acoustic Wave Technology Sensors. In *IEEE Transaction on microwave theory and technique* [online]. VOL. 49 NO. 4. April 2001. s 795-802 [cit. 2011-04-3] Dostupné na: <<http://www2.nkfust.edu.tw/~jcyu/Paper/Acoustic%20wave%20technology%20sensors.pdf>>.
3. *Frekvenčné selektory*. [2011]. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na: <[http://alzat.szm.com/selektory/frekvenc/frek\\_sel.htm](http://alzat.szm.com/selektory/frekvenc/frek_sel.htm)>.
4. KISEL, D. 2007. Meranie výšky hladiny (1). In *AT&P journal*. roč. 6, 2007,č. 6.
5. KISEL, D. 2007. Meranie výšky hladiny (2). In *AT&P journal*. roč.7, 2007,č. 7.
6. KISEL, D. 2007. Meranie výšky hladiny (4). In *AT&P journal*. roč. 9, 2007,č. 9.
7. KISEL, D. 2007. Meranie výšky hladiny (6). In *AT&P journal*. roč. 11, 2007, č.11.
8. KISEL, D. 2009. Kontinuálne snímanie hladiny v zásobníkoch s vysokou prašnosťou (2). In *AT&P journal* [online]. roč. 7, 2009, [cit. 2011-04-3]. Dostupné na: <[http://www.atpjournalsk/buxus/docs/casopisy/atp\\_2009/pdf/atp-2009-07-14.pdf](http://www.atpjournalsk/buxus/docs/casopisy/atp_2009/pdf/atp-2009-07-14.pdf)>.
9. KISEL, D. 2009. Kontinuálne snímanie hladiny v zásobníkoch s vysokou prašnosťou (1). In *AT&P journal* [online]. roč. 6, 2009, [cit. 2011-04-5]. Dostupné na: <[http://www.atpjournalsk/buxus/docs/casopisy/atp\\_2009/pdf/atp-2009-06-21.pdf](http://www.atpjournalsk/buxus/docs/casopisy/atp_2009/pdf/atp-2009-06-21.pdf)>.
10. KRČULA, J. 1999. *Základy automatizácie a robotizácie*. Nitra: SPU, 1999. 181s. ISBN 80-7137-584-5
11. KUREKOVÁ, E. a i. 2005. Meranie výšky hladiny. In *Technické meranie: Učebné texty z projektu METROMEDIA-ONLINE* [online]. Bratislava : STU, 2005 [cit. 2011-03-17], s. 330-344. Dostupné na: <<http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/11s.pdf>>. ISBN 80-89112-04-8.



- 
12. LEWIS, J. 2004. *Techology Review – Level Measurement of Bulk Solids and Powders in Bins, Silos and Hoppers*. [online]. s. 25 [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <[http://www.monitortech.com/webseminar/WebSeminar\\_Dec04.pdf](http://www.monitortech.com/webseminar/WebSeminar_Dec04.pdf)>.
  13. MARTINEK, R. 2004. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN, 2004. 200s. ISBN 80-7300-114-4
  14. MAXBOTIX, 2011. *Data sheet LV-MaxSonar EZ1*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <[www.maxbotix.com/uploads/LV-MaxSonar-EZ1-datasheet.pdf](http://www.maxbotix.com/uploads/LV-MaxSonar-EZ1-datasheet.pdf)>
  15. MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008. *Data sheet DS18B20*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>>
  16. MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. 2008. *Overview of 1-Wire Technology and its use*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1796.pdf>>.
  17. MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. 2009. *Reading and writing 1-Wire Devices through serial interfaces*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN74.pdf>>.
  18. NATIONAL SEMIDUCTOR, 1994. *Data sheet LM358 low power dual operational amplifiers*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS007787.PDF>>.
  19. OBRAZ, J. 1984. *Ultrazvuk v měřící technice*. Praha: SNTL, 1984. 485s. ISBN 04-222-84
  20. RATAJ, V. a i. 2007. *Metodika písania zaverčných prác na SPU v Nitre*. Nitra: SPU, 2007. 80s. ISBN 978-80-8069-832-4
  21. SILICON LABORATORIES, 2004. *Data sheet C8051F330/1, C8051F330D*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <<http://www.keil.com/dd/docs/datashts/silabs/c8051f33x.pdf>>.
  22. MALÝ, M. 2004. *Sběrnica 1 – Wire*. [online]. Dostupné na: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1215-Sbernice-1-Wire™.html>>.
  23. MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2011. *Data sheet MAX232 driver/receiver*. [online]. [cit. 2011-04-5] Dostupné na: <[www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf)>.
-

- 
24. *Ultrazvuk a jeho využitie*. [2011]. [online]. [cit. 2011-04-5] Bratislava: STU, Dostupné na:  
<[http://web.svf.stuba.sk/kat/FYZ/fyzika\\_ta\\_vola/skripta/other/ultrazvuk.pdf](http://web.svf.stuba.sk/kat/FYZ/fyzika_ta_vola/skripta/other/ultrazvuk.pdf)>.
  25. *WIKIPÉDIA*. 2010e. *Zbernica*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<<http://sk.wikipedia.org/wiki/Zbernica>>.
  26. *WIKIPÉDIA*. 2010f. *Zosilňovač*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<<http://sk.wikipedia.org/wiki/Zosilňovač>>.
  27. *WIKIPEDIA*. 2011. *Silo*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Silo>>.
  28. *WIKIPÉDIA*. 2011a. *Flash pamäť*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<[http://sk.wikipedia.org/wiki/Flash\\_pamäť](http://sk.wikipedia.org/wiki/Flash_pamäť)>.
  29. *WIKIPÉDIA*. 2011b. *Mikroprocesor*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<<http://sk.wikipedia.org/wiki/Mikroprocesor>>.
  30. *WIKIPÉDIA*. 2011c. *Pamäť s priamym prístupom*. [online]. [cit. 2010-02-15].  
Dostupné na: <[http://sk.wikipedia.org/wiki/Pamäť\\_s\\_priamym\\_prístupom](http://sk.wikipedia.org/wiki/Pamäť_s_priamym_prístupom)>
  31. *WIKIPÉDIA*. 2011d. *Register*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<[http://sk.wikipedia.org/wiki/Register\\_\(procesor\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Register_(procesor))>.
  32. *WIKIPEDIE*. 2011a. *Algoritmus*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Algoritmus>>.
  33. *WIKIPEDIE*. 2011b. *Elektrický obvod*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupné na:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrický\\_obvod](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrický_obvod)>.

---

## **Prílohy**

Zoznam príloh:

Príloha 1 – Technický výkres sila

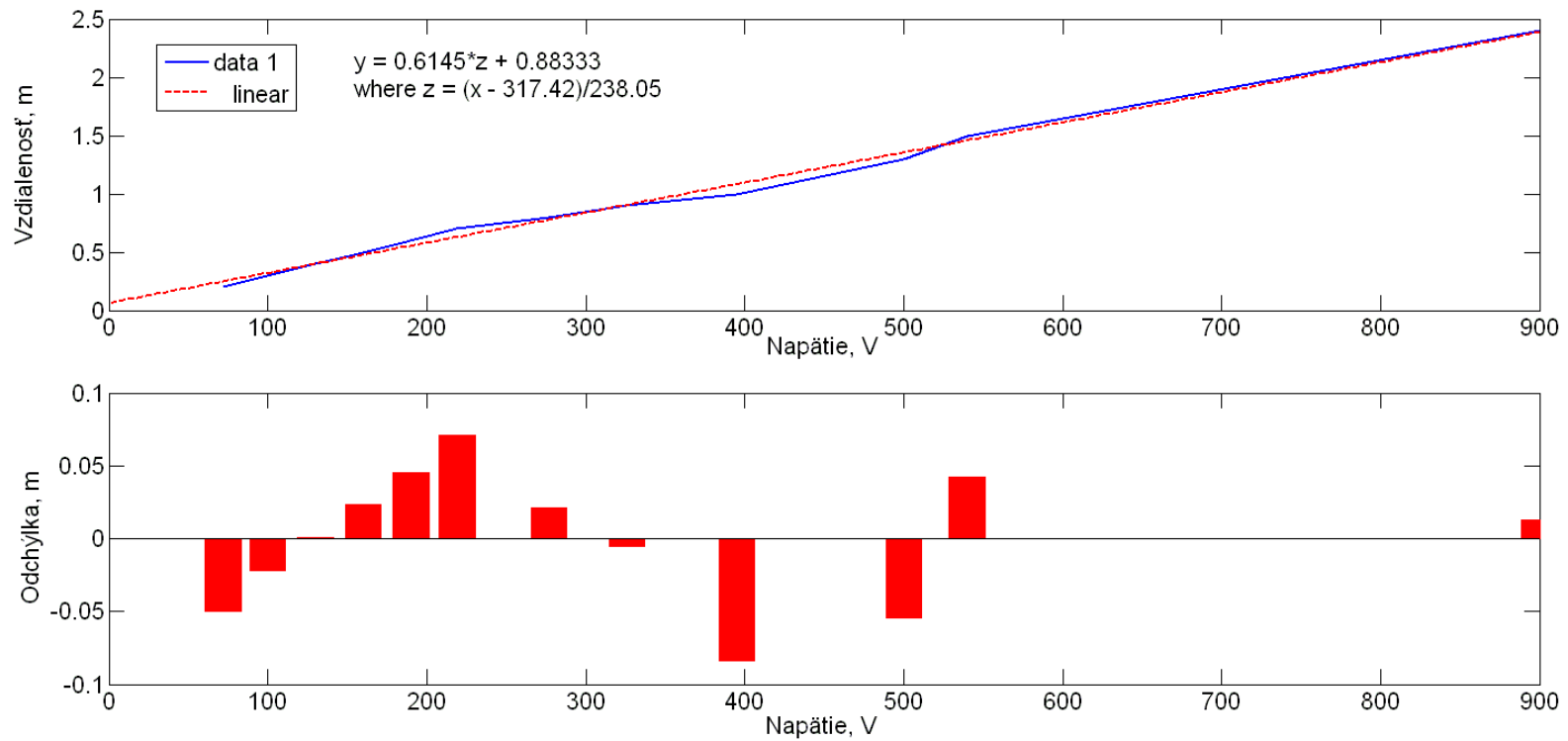
Príloha 2 – Graf linearity ultrazvukového snímača

Príloha 3 – Korelogram

Príloha 4 – Schéma navrhnutého elektronického obvodu

---

## Príloha 2 – Graf linearity ultrazvukového snímača



### Príloha 3 – Kolerogram

