

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra elektrotechniky a automatizace



## Bakalářská práce

Druhy ultrazvukových senzorů a jejich aplikační vlastnosti

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Zdeněk Bohuslávek CSc.

Autor práce: Ota Niedermeier

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Niedermeier Ota

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Druhy ultrazvukových senzorů a jejich aplikační vlastnosti.**

Anglický název

**Types of of ultrasonic sensors and their application properties.**

---

### Cíle práce

Zpracování přehledu principů činnosti ultrazvukových senzorů aplikovaných pro měření vzdálenosti, zaplnění zásobníků, průtoku tekutin a zjišťování vad materiálů. Zpracování návodu pro měření vlastností UZ senzorů vzdálenosti v laboratorních cvičení.

### Metodika

1. Studium literárních pramenů klasických i internetu, vyhodnocení.
2. Zpracování analýzy vlastností UZ senzorů vzdálenosti.
3. Provedení testů na vybraných senzorech pro měření ve vzduchu. Zhodnocení testů.
4. Zpracování návodu na cvičení.
5. Formální zpracování bakalářské práce.

### Osnova práce

1. Úvod.
2. Cíl a metodika řešení práce.
3. Popis základních principů činnosti ultrazvukových senzorů podle cíle zadání.
4. Zhodnocení kladných a záporných vlastností vybraných senzorů vzdálenosti.
5. Metody ultrazvukové defektoskopie.
6. Praktické testy ultrazvukového senzoru vzdálenosti a zpracování podrobného postupu měření jeho vlastností pro návod laboratorního cvičení.
7. Zhodnocení a závěr.

### **Rozsah textové části**

35 stran včetně obrázků, grafů a tabulek

### **Klíčová slova**

ultrazvukové senzory, senzor vzdálenosti, ultrazvuková defektoskopie

---

### **Doporučené zdroje informací**

1. Martinek, L.: Senzory v průmyslové praxi, BEN – Technická literatura, 2004, 200s.
2. Regazzová, M., Regato, M.: Ultrazvuk - základy ultrazvukové defektoskopie, BEN – Technická literatura, 2013, 290s.

---

### **Vedoucí práce**

Bohuslávek Zdeněk, prof. Ing., CSc.

### **Termín zadání**

listopad 2013

### **Termín odevzdání**

duben 2015

---

Elektronicky schváleno dne 16.1.2014

**prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.**  
Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 3.2.2014

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Druhy ultrazvukových senzorů a jejich aplikační vlastnosti" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5. 4. 2015

-----  
Podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou děkuji prof. Ing. Zdeňku Bohuslávkoví, CSc. za odborné rady, vstřícný přístup a cenné připomínky při vedení této bakalářské práce.

**ABSTRAKT:** Tato práce se zabývá základními principy ultrazvukových senzorů, jejich vlastnostmi a seznamuje s možnostmi jejich použití. V úvodní části je práce zaměřena na teoretické základy šíření ultrazvuku, které jsou nutné pro pochopení dalšího textu. Dále se práce věnuje základním principům činnosti ultrazvukových senzorů v oblastech měření vzdálenosti, měření výšky hladiny a měření průtoku kapalin. S touto částí úzce souvisí analýza vybraných ultrazvukových senzorů pro měření vzdálenosti. Následuje část věnovaná ultrazvukové defektoskopii. Zde jsou popsány metody používané pro zjišťování vad materiálů pomocí ultrazvuku. V praktické části probíhalo měření vlastností ultrazvukového senzoru vzdálenosti HC-RS04. Pro tento úkol bylo nutné navrhnout elektrický spouštěcí obvod. Na základě praktické části byl vytvořen návod pro laboratorní cvičení, který bude využíván k výuce studentů na České zemědělské univerzitě.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Ultrazvuk, senzor, vzdálenost, výška hladiny, průtok, defektoskopie

### **Types of ultrasonic sensors and their application properties**

**SUMMARY:** This thesis deals with basic principles of ultrasonic sensors, their characteristics, and explains options of their usage. The first part is theoretical and focuses on basics of ultrasonic transmission which is essential to understand the further text. Furthermore, the thesis is devoted to basic principles of ultrasonic sensors functions in the field of distance, liquid height and liquid flow measurements. This part is closely connected with the analyses of chosen ultrasonic sensors for distance measurements. Next comes the part devoted to ultrasonic materiology. There are explained the methods used for detecting material defects by means of the ultrasonic. In the practical part there proceeded measurements of characteristics of ultrasonic sensor of distance HC-RS04. For this task it was needed to design a starting circuit. An instruction manual for laboratory training has been created on the basis of the practical part and is going to be used for tutorial of students at Czech University of Life Sciences Prague.

**KEY WORDS:** Ultrasound, sensor, distance, liquid height, flow, materiology

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl a metodika řešení práce .....	2
3. Základní pojmy a principy .....	3
3.1. Ultrazvuk .....	3
3.2. Základní princip šíření zvukové vlny .....	3
3.3. Netlumené kmitání .....	3
3.4. Tlumené kmitání .....	4
3.5. Impuls .....	4
3.6. Akustický tlak .....	5
3.7. Dělení ultrazvukových vln .....	6
3.7.1. Dělení podle tvaru vlnoplochy .....	6
3.7.2. Dělení podle směru kmitání částic .....	7
3.8. Odraz a lom ultrazvukové vlny .....	8
3.8.1. Kolmý dopad .....	8
3.8.2. Šikmý dopad .....	9
3.9. Útlum .....	9
3.10. Vyzařovací charakteristika .....	10
3.10.1. Aktivní rozsah .....	10
3.10.2. Slepá zóna .....	10
3.10.3. Spínací rozsah .....	10
3.11. Akustické rozhraní .....	11
3.12. Vazby .....	11
3.12.1. Vazba kontaktní .....	11
3.12.2. Vazba mezerová .....	11

3.12.3. Vazba imerzní .....	11
4. Ultrazvukové senzory .....	12
4.1. Ultrazvukové sondy .....	12
4.2. Principy měničů .....	13
4.2.1. Piezoelektrické měniče .....	13
4.2.2. Magnetostrikční měniče .....	14
4.2.3. Elektrodynamické měniče .....	15
4.2.4. Elektrostatické měniče .....	16
4.2.5. Termomechanické měniče .....	16
4.2.6. Optické měniče .....	17
5. Měření vzdálenosti .....	18
6. Měření výšky hladiny .....	19
7. Měření průtoku kapalin .....	22
8. Metody ultrazvukové defektoskopie .....	25
8.1. Metoda průchodová .....	25
8.2. Metoda odrazová .....	26
8.2.1. Metoda impulsová .....	26
8.2.2. Metoda rezonanční .....	26
8.3. Ultrazvuková holografie .....	26
8.4. Akustická emise .....	28
8.4.1. Metoda impedanční .....	29
9. Analýza vlastností vybraných ultrazvukových senzorů .....	30
9.1. Senzory pro rozsah 0 – 150 mm .....	30
9.2. Senzory pro rozsah 30 – 250 mm .....	31
9.3. Senzory pro rozsah 200 – 1300 mm .....	32



9.4. Senzory pro rozsah 600 – 6000 mm .....	33
10. Praktické testy ultrazvukového senzoru vzdálenosti .....	34
11. Zhodnocení a závěr.....	37
12. Použitá literatura.....	39
13. Seznam obrázků .....	40
Příloha 1: Návod na laboratorní cvičení	
Příloha 2: Datový list senzoru HC-RS04 a pokyny výrobce	

# 1. Úvod

Ultrazvuk byl objeven již na konci 18. století. Nejdříve stál na pokraji zájmu. K většímu využití došlo až na začátku 20. století v armádě. Toto zařízení se jmenovalo SONAR (Sound Navigation And Ranging – zvuková navigace a zaměřování) a jeho princip vycházel s RADARu (Radio Detection And Ranging). U SONARu je místo radiových vln využíváno ultrazvuku.

V dnešní době mají ultrazvukové sensory široké možnosti využití. Mohou být použity pro měření vzdálenosti, průtoku kapalin, výšky hladiny, detekci průhledných předmětů, nedestruktivní zkoušení materiálu, aj. Pro měření a detekci se využívá odrazu ultrazvukových vln.

Ultrazvukový senzor je celek tvořený ultrazvukovou sondou a elektrickými obvody. Sonda vytváří a přijímá impulsy. Elektrické obvody zajišťují vyslání, příjem a vyhodnocení impulsů. Velkou výhodou ultrazvukových senzorů je skutečnost, že je možné je využít v prostředích, kde jiné senzory selhávají. To je např. prašné prostředí, prostředí se stříkající vodou atd.

Pro pochopení principu činnosti ultrazvukových senzorů je nutné se seznámit se základními pojmy týkajícími se ultrazvuku. Tomu je věnována první kapitola této práce. Dále jsou popsány principy měničů ultrazvukových sond, se kterými je možné se setkat. Následuje vysvětlení základních principů činnosti ultrazvukových senzorů využívaných pro měření vzdálenosti, výšky hladiny a průtoku kapalin. Další část se zaměřuje na metody nedestruktivního zkoušení materiálu v ultrazvukové defektoskopii. V analýze se práce věnuje vybraným ultrazvukovým senzorům měření vzdálenosti pro zvolené rozsahy a jejich vlastnostem. V praktické části je zjišťována převodní charakteristika vybraného ultrazvukového senzoru HC-RS04, podle které je možné určit, zda sensor měří přesně či nikoliv. Na základě tohoto měření je vytvořen návod pro cvičení, který bude využíván v rámci výuky na Technické fakultě České zemědělské univerzity.

## **2. Cíl a metodika řešení práce**

Cílem této práce je zpracování přehledu základních principů ultrazvukových senzorů aplikovaných pro měření vzdálenosti, zaplnění zásobníků, průtoku kapalin a zjišťování vad materiálů. Získané vědomosti jsou využity v praktické části při měření vlastností vybraného ultrazvukového senzoru. Na základě tohoto měření je vytvořen návod na cvičení, který bude využíván při výuce studentů Technické fakulty České zemědělské univerzity.

Teoretické informace, které obsahuje tato práce, byly získány studiem odborné literatury klasické a zdrojů dostupných na internetu. Tyto zdroje jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Práce dále obsahuje informace získané měřením vybraného ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti. Toto měření proběhlo v laboratoři Technické fakulty České zemědělské univerzity.

### 3. Základní pojmy a principy

#### 3.1. Ultrazvuk

Ultrazvuk je mechanické vlnění o frekvenci vyšší než 20 kHz. Tato frekvence je nad hranicí slyšitelnosti lidským uchem. Pásmo slyšitelnosti pro lidské ucho se udává 16Hz – 20kHz. Horní hranicí, kdy zvuk označujeme jako ultrazvuk, je 1GHz. [3]

#### 3.2. Základní princip šíření zvukové vlny

Zvuk je mechanická vlna, která je důsledkem vynuceného kmitání částic hmoty. Pro šíření zvukové vlny je nutné medium v plynném, kapalném nebo pevném skupenství. Z této skutečnosti vyplývá, že se ve vzduchoprázdnu zvuková vlna nemůže šířit. [1]

Během šíření zvukové vlny se netransportuje žádný materiál, ale částice jen kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Toto kmitání se šíří rychlostí typickou pro toto prostředí a opakuje se v pravidelných vzdálenostech a v určitých časových intervalech. Vzdálenost nazýváme vlnová délka a značí se  $\lambda$ . Časový interval nazýváme doba kmitu a značí se  $T$ . Počet kmitů za sekundu je frekvence  $f$ . [2]

Mezi dobou kmitu a frekvencí platí vztah

$$T = \frac{1}{f}$$

Mezi dobou kmitu a vlnovou délkou platí vztah

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

kde  $c$  je rychlost šíření vln. Rychlost šíření vln je závislá na prostředí, ve kterém se tyto vlny šíří. [1]

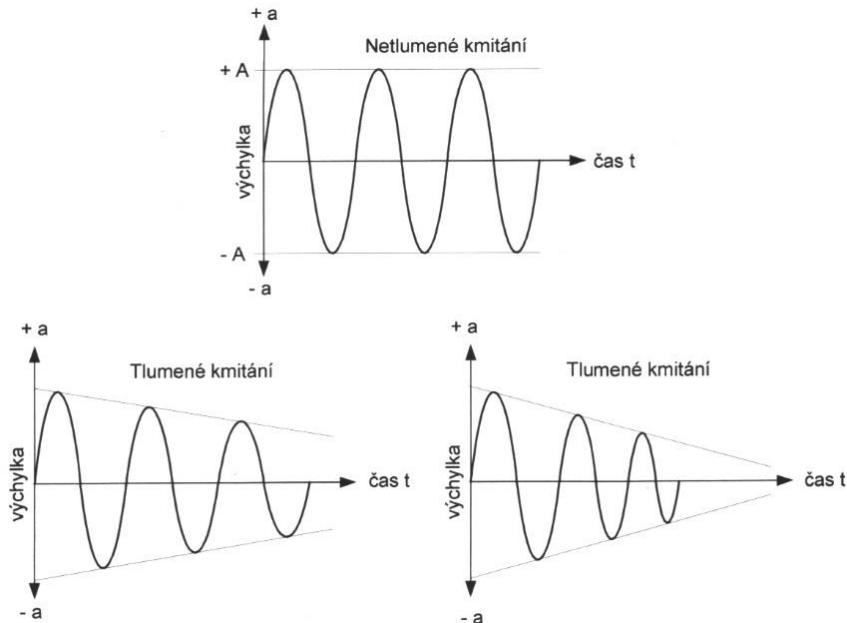
#### 3.3. Netlumené kmitání

Podmínkou pro netlumené kmitání je stálé dodávání energie, která se spotřebovává na překonání odporu prostředí. Výchylka netlumeného kmitání je konstantní. Maximální výchylka se nazývá amplituda, viz (Obr.1). [1]

### 3.4. Tlumené kmitání

Pokud není energie dodávána, kmity se šíří jako tlumené. U tlumených kmitů může s časem klesat jen výchylka nebo výchylka společně s dobou kmitu, viz (Obr.1). [1]

Obr. 1 Tlumené a netlumené kmity [1]

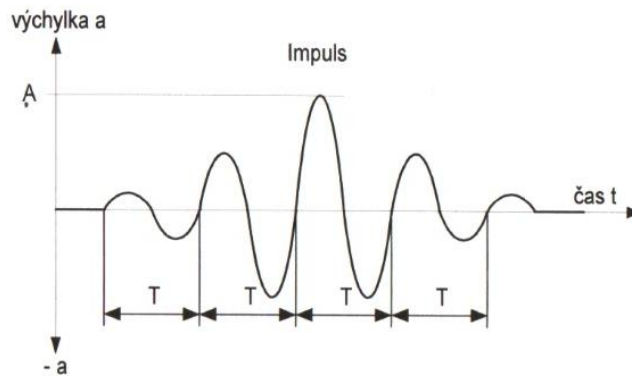


### 3.5. Impuls

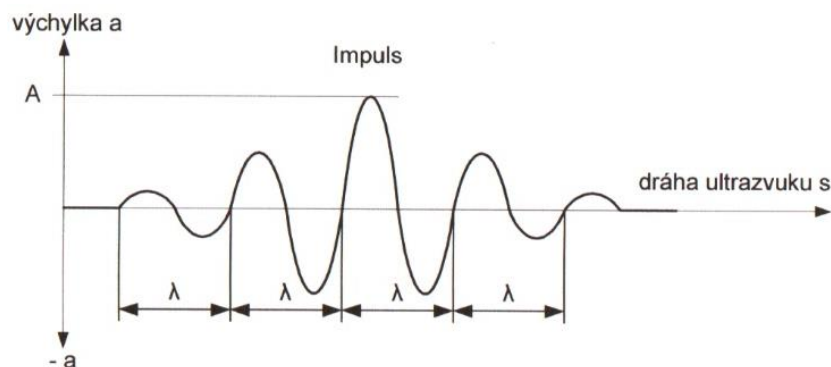
Impuls tvoří jeden nebo více kmitů, které mají stejnou dobu kmitu. Akustický tlak v impulsu nejprve stoupá a potom klesá (Obr. 2, Obr. 3). U tlumeného kmitu akustický tlak pouze klesá a u netlumeného je akustický tlak konstantní. [1]

Šíření impulsu je silně závislé na strmosti jeho náběhu a odběhu. v ultrazvukové měřicí technice se převážně užívá periodicky se opakujících impulsů. Počet opakujících se impulsů za sekundu je opakovací frekvence  $f_0$ . Časový interval mezi dvěma vzájemně si odpovídajícími body za sebou následujících, periodicky se opakujících impulsů je perioda opakovací frekvence  $T_0$ . [2]

Obr. 2 Impuls a doba kmitu [1]



Obr. 3 Impuls a vlnová délka [1]



### 3.6. Akustický tlak

Tlak, který vzniká při šíření ultrazvukové vlny, nazýváme akustický. Akustický tlak je důsledkem postupného rozkmitávání, při kterém se sousední částice dostávají do pohybu s fázovým zpožděním. Tím vznikají oblasti, ve kterých se částice k sobě různě přibližují. Hodnotu akustického tlaku vyjádříme vztahem

$$p = z \cdot v$$

kde

$p$  je akustický tlak,  $v$  je akustická rychlost a  $z$  je měrná akustická impedance.

Tento vztah je obdobou Ohmova zákona. Akustický tlak odpovídá elektrickému napětí, akustická rychlost proudu a měrná akustická impedance elektrické impedanci. Pouze v případě rovinné nebo kulové vlny je měrná akustická impedance reálná a nazývá se akustický vlnový odpor. Poměr vlnových odporů dvou sousedních prostředí má vliv na odraz a přestup ultrazvuku na rozhraní. Z hlediska zkoušení materiálu je nejdůležitějším parametrem akustický tlak, kterému je úměrné elektrické napětí, pomocí něhož vyhodnocujeme přijímané ultrazvukové kmitky. [2]

### 3.7. Dělení ultrazvukových vln

Zvukové vlny dělíme podle tvaru vlnoplochy a podle směru kmitání částic prostředí vzhledem ke směru šíření vlny. [2]

#### 3.7.1. Dělení podle tvaru vlnoplochy

Vlnoplochu tvoří sousední částice kmitající v téže fázi. Podle tvaru vlnoplochy dělíme ultrazvukové vlny na rovinné, válcové a kulové. [2]

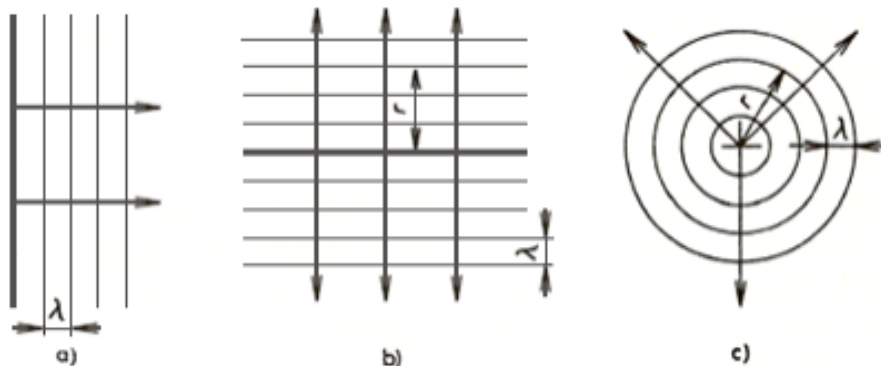
Rovinné vlny vznikají harmonickým kmitáním desky a v bezztrátovém prostředí amplituda výchylky nezávisí na vzdálenosti od zdroje. [2]

Válcové vlny vznikají kmitáním válce se zanedbatelně malým průměrem. Amplituda výchylky závisí na vzdálenosti od zdroje. [2]

Kulové vlny vznikají kolem kmitajícího bodového zdroje. Tyto vlny se šíří všemi směry. Amplituda výchylky také závisí na vzdálenosti od zdroje. [2]

*Obr. 4 Tvary ultrazvukových vln [2]*

*a) rovinná, b) válcová, c) kulová*



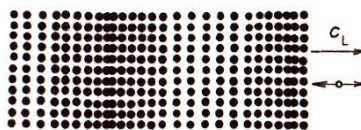
### 3.7.2. Dělení podle směru kmitání částic

Podle směru kmitání částic prostředí dělíme vlny na podélné (longitudinální), příčné (transversální), povrchové (Rayleigh) a deskové (Lambovy). [2]

Podélné vlny (Obr. 5)

Částice prostředí kmitají ve směru šíření vlny. Prostředí se střídavě zhušťuje a zředňuje. Tyto vlny se mohou šířit v tuhém, kapalném i plynném prostředí, proto se s tímto druhem vln se setkáváme nejčastěji. Tyto vlny se šíří nejrychleji. [1], [2]

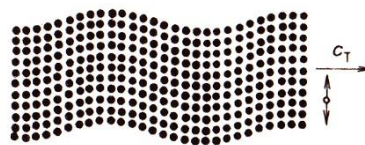
Obr. 5 Podélné vlny [2]



Příčné vlny (Obr. 6)

Tyto vlny se šíří jen v tuhém prostředí. Částice prostředí kmitají kolmo na směr šíření vlny tzn., že modul pružnosti ve smyku  $G \neq 0$ . [1], [2]

Obr. 6 Příčné vlny [2]



Povrchové vlny (Obr.7)

Jedná se o zvláštní typ příčné vlny, která se šíří po volném povrchu tuhé látky. Částice těchto vln kmitají po eliptické dráze kolem své rovnovážné polohy. Rovina kmitání je kolmá k povrchu prostředí. Podélná složka vlny prakticky zaniká v hloubce rovnající se délce příčné vlny. [1], [2]

Obr. 7 Povrchové vlny [2]



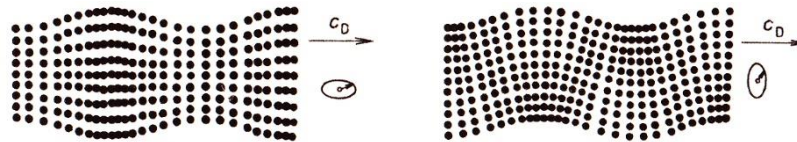
Deskové vlny (Obr. 8)

Pokud jsou rozměry prostředí v jednom nebo ve dvou směrech shodné s délkou vlny mohou se v tomto prostředí šířit vlny deskové. Těchto vln se používá k měření desek nebo drátů.



Existují dva typy deskových vln, ohybové (asymetrické) a dilatační (symetrické). Zvláštním typem deskových vln jsou vlny Loveovy, které ale v praxi nemají uplatnění. [1], [2]

Obr. 8 Deskové vlny [2]



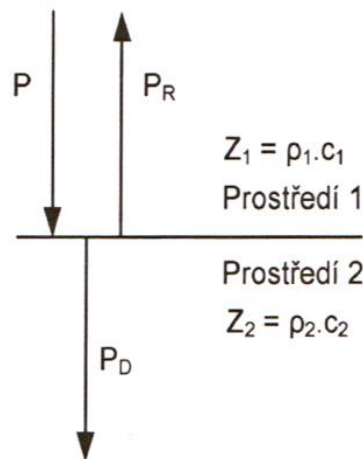
### 3.8. Odraz a lom ultrazvukové vlny

Na rozhraní dvou materiálů, přes které se šíří ultrazvuková vlna nastává obecně lom, odraz a transformace. Rozlišujeme kolmý a šikmý dopad vlny.[1]

#### 3.8.1. Kolmý dopad

Při kolmém dopadu ultrazvukové vlny vzniká na rozhraní dvou prostředí odraz a průchod rozhraním. Dopadající akustický tlak  $P$  se rozkládá na odražený tlak  $P_R$  a prošlý tlak  $P_D$ . Poměr mezi  $P_R$  a  $P_D$  závisí na akustických vlnových odporech obou prostředí ( $Z_1, Z_2$ ), viz (Obr. 9).

Obr. 9 Kolmý dopad na rozhraní [1]



V praxi platí, že čím větší je rozdíl mezi akustickými vlnovými odpory tím menší je koeficient průchodu a tím lépe je vada lokalizována. V oceli ( $Z \approx 45$ ) tedy lépe lokalizujeme vadu vyplněnou vzduchem ( $Z \approx 0$ ), než vadu vyplněnou vodou ( $Z \approx 1,5$ ). Zároveň tedy platí, že pokud požadujeme průchod ultrazvuku rozhraním, musíme zajistit malý rozdíl mezi akustickými vlnovými odpory. [1]

### 3.8.2. Šikmý dopad

Při šikmém dopadu podélné ultrazvukové vlny se tato vlna dělí na část odraženou a část prošlou. V pevných látkách vznikají vedle podélných složek také složky příčné. Tyto části jsou závislé na úhlu dopadu, na rozhraní a na rychlostech šíření vln v obou prostředích. Vztah mezi úhly všech složek je dán Snellovým zákonem

$$\frac{\sin \alpha_{L1}}{c_{L1}} = \frac{\sin \alpha_{T1}}{c_{T1}} = \frac{\sin \alpha_{L2}}{c_{L2}} = \frac{\sin \alpha_{T2}}{c_{T2}}$$

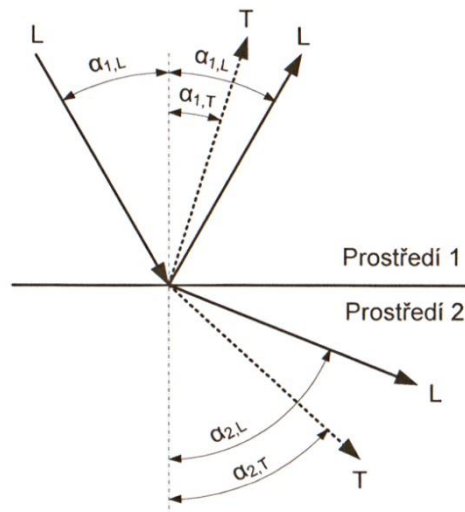
Z tohoto vztahu plyne, že poměry sinů se rovnají poměrům rychlostí šíření.

Například

$$\frac{\sin \alpha_{L1}}{\sin \alpha_{T1}} = \frac{c_{L1}}{c_{T1}}$$

U ultrazvukových senzorů je ve většině případů snímáný předmět umístěn kolmo ke směru šíření, a proto se očekává příjem odraženého signálu v místě vyslání. [3]

Obr. 10 Šikmý dopad na rozhraní [1]



### 3.9. Útlum

Vlivem rozptylu a absorpce ultrazvukové vlny při průchodu prostředím vzniká útlum. Proto klesá akustický tlak a tím energie této vlny. Rozhodující vliv rozptylu nebo absorpce je závislý na jmenovité frekvenci sondy. [1], [2]

U nízkofrekvenčních sond je rozhodující složkou absorpce. Absorpce je důsledkem vnitřního tření částic, plastického tečení, relaxačních a tepelných jevů. Mechanická energie kmitajících částic se mění na energii tepelnou. Nízké frekvence jsou v oblasti kilohertzů. [1]

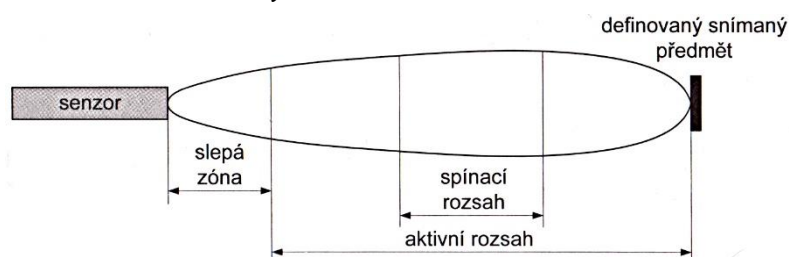
Naopak u vysokofrekvenčních sond je rozhodující složkou rozptyl. Rozptyl vzniká v nehomogenních a polykrystalických látkách. Vysoké frekvence jsou v oblasti megahertzů. [1]

Velikost útlumu závisí na prostředí, ve kterém se ultrazvuk šíří, na použité sondě a na zkušební metodě.

### 3.10. Vyzařovací charakteristika

Vyzařovací charakteristika nám poskytuje základní informace o senzoru. Je definována vyzařovacím úhlem a dosahem. Její jednotlivé části jsou patrné z Obr. 11.

Obr. 11 Vyzařovací charakteristika [3]



#### 3.10.1. Aktivní rozsah

Aktivní rozsah je oblast, ve které je možné detekovat normou definovaný předmět (destička o rozměrech 100x100x1 mm). Tato oblast začíná tam, kde končí slepá zóna [3].

#### 3.10.2. Slepá zóna

Slepá zóna vzniká důsledkem dokmitávání měniče, kdy senzor ještě nemůže přijímat odražený signál. Je to vzdálenost od senzoru, ve které nelze měřit. Tato vzdálenost jde podstatně zkrátit použitím dvouměničového senzoru. [3]

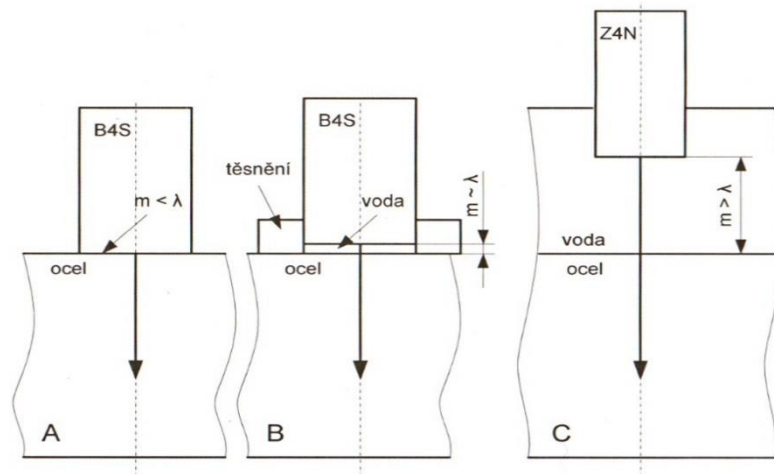
#### 3.10.3. Spínací rozsah

Spínací rozsah je zvolená oblast z aktivního rozsahu, ve které dojde při detekci předmětu k aktivování výstupu. [3]

### 3.11. Akustické rozhraní

Akustické rozhraní je prostor mezi sondou a zkoušeným předmětem. Podle vzdálenosti mezi sondou a zkušebním povrchem rozlišujeme zkoušení s vazbou kontaktní, mezerovou nebo imerzní. [1]

Obr. 12 Akustické rozhraní [1]



### 3.12. Vazby

#### 3.12.1. Vazba kontaktní

Sonda je v přímém kontaktu se zkoušeným předmětem. Vzdálenost mezi sondou a povrchem předmětu je menší než vlnová délka ve vazebním prostředí. [1]

#### 3.12.2. Vazba mezerová

Vzdálenost mezi sondou a povrchem předmětu je přibližně rovna vlnové délce ve vazebním prostředí, který vyplňuje tuto mezeru. Jako vazební prostředek se používá voda, olej, Apeko apod. U sond s vyšší frekvencí je tato vzdálenost rovna násobku vlnové délky. [1]

#### 3.12.3. Vazba imerzní

Vzdálenost mezi sondou a povrchem předmětu je výrazně větší, než je vlnová délka ve vazebním prostředí (více než 10 mm). Pro vodu nebo řídký olej platí, že vzdálenost je větší než čtvrtina tloušťky zkoušeného předmětu. [1]

## 4. Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory jsou ultrazvukové sondy doplněné o další funkční prvky. Těmito senzory můžeme měřit. Ultrazvuková sonda pracuje buď jako vysílač, nebo jako přijímač, nebo plní obě funkce současně. [3]

„Sonda by měla splňovat tyto požadavky:

1. *Maximální možný vysílací impulsový výkon při minimální šířce impulsu*
2. *Dostatečnou citlivost pro příjem krátkých impulsů*
3. *Dostatečný odstup signálu od signálů parazitních vznikajících v samotné sondě*
4. *Dobrou rozlišovací schopnost*
5. *Minimální mrtvé pásmo při jednoměničovém provozu“* [2]

### 4.1. Ultrazvukové sondy

Ultrazvukové sondy můžeme rozdělit z několika hledisek:

#### Kontaktní sondy

Kontaktní sondy se přímo přikládají na povrch zkoušeného materiálu. Jsou vybaveny ochrannou folií nebo destičkou z materiálu, který odolává opotřebení. [1]

#### Imerzní sondy

Imerzní sondy se používají pro bezkontaktní zkoušení. Mezi sondou a zkoušeným předmětem je sloupec vazebního prostředku. Jako vazební prostředek se používá nejčastěji voda nebo řídký olej. Tyto sondy nejsou vybaveny žádnou ochranou měniče a při kontaktním použití se zničí. [1]

#### Přímé sondy

Přímé sondy vysílají ultrazvuk kolmo na povrch zkoušeného předmětu. Tyto sondy jsou nejvýkonnější a také nejčastěji používané. Téměř výlučně se používají sondy s měničem, který vysílá podélné vlny. [1]

#### Úhlové sondy

Úhlové sondy vysílají ultrazvukové vlny pod určitým úhlem vůči povrchu zkoušeného předmětu. Jsou založeny na principu lomu ultrazvukových vln. Materiál je možné zkoušet příčnými i podélnými vlnami. [2]

#### Sondy jednoměničové

*„Mají jeden měnič pro vysílání ultrazvuku do materiálu i příjem ultrazvukových vln odražených od vad nebo od protilehlého povrchu“ [1]*

Sondy dvouměničové

*„Mají jeden měnič pro vysílání ultrazvuku do materiálu a druhý měnič pro příjem ultrazvukových vln odražených od vad nebo od protilehlého povrchu“ [1]*

Sondy víceměničové

*„Mají více měničů (8, 16, 32, 64, ...) pro vysílání ultrazvuku do materiálu a příjem ultrazvukových vln odražených od vad nebo od protilehlého povrchu“ [1]*

Vysoce tlumené sondy Alpha

Tyto sondy mají krátký impuls a tím úzká echa a jsou širokopásmové. Používají se v takových případech, kde je prioritou vzájemná rozlišitelnost ech nebo jednoznačný jeden vrchol impulsu (echa). Sondy Alpha se využívají především pro měření tloušťky materiálu a měření rychlostí. [1]

Středně tlumené sondy Delta

*„Tyto sondy mají delší impuls a tím širší echa. Používají se v případech, kdy je požadavkem kompromis mezi rozlišitelností vad, šířkou echa a výkonem sondy.“ [1]*

Málo tlumené sondy Gamma

Tyto sondy mají nejdelší impuls a nejširší echa. Protože je impuls dlouhý je frekvenční spektrum úzké tzn., sondy jsou úzkopásmové. Používají se především v případech, kdy je prioritou lokalizace vad a jejich hodnocení podle AVG diagramů. [1]

## 4.2. Principy měničů

### 4.2.1. Piezoelektrické měniče

Jako zdroje ultrazvukových impulsů se nejčastěji používají piezoelektrické měniče. Tyto měniče pracují jako elektroakustické transformátory elektrické energie na mechanickou a mechanické na elektrickou. Piezoelektrické měniče jsou vyráběny z piezoelektrických krystalů, které při přivedení napětí změny své geometrické rozměry a tím přemění elektrickou energii na mechanickou. Tomuto jevu se říká **nepřímý piezoelektrický jev** a je využíván při vysílání ultrazvukových impulsů. Tento jev je charakterizován piezoelektrickým součinitelem, který udává změnu rozměrů měniče v závislosti na daném napětí  $U_v$ .

$$d_{ik} = \frac{\Delta l}{U_v}$$

Naopak při přijímání ultrazvukových impulsů se využívá *přímý elektrostatický jev*, kdy se působením vnější síly mění mechanická energie na elektrickou. To se projeví měřitelným napětím. Tento jev je charakterizován deformační konstantou, která je dána napětím na prázdno  $U_p$  na elektrodách měniče při deformaci  $\Delta l$ .

$$h_{ik} = \frac{U_p}{\Delta l}$$

Nejstarším materiálem s přirozenými piezoelektrickými vlastnostmi jsou krystaly křemene. Vzhledem k tomu, že křemenné měniče mají nízké hodnoty piezoelektrických konstant je tento materiál používán výjimečně. Nahrazují je měniče z piezoelektrické keramiky, pro kterou hovoří i ekonomické důvody. Piezokeramické měniče se vyrábějí lisováním piezoelektrické keramické hmoty a jejím následným vypálením. Touto metodou lze vyrobit destičky libovolného tvaru. Dále se destičky vybrousí na požadovanou tloušťku a opatří se tenkými kovovými elektrodami. Pro výrobu elektrod se nejčastěji používá stříbro. Tento materiál se stane piezoelektrickým až po polarizaci v oleji mírně nad Curierovou teplotou (ztrácí se feromagnetické vlastnosti) a připojením stejnosměrného napětí kolem  $3 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$  po dobu až jedné hodiny. [2] [3]

#### 4.2.2. Magnetostrikční měniče

Jev, kdy látka mění svůj tvar nebo objem ve vnějším elektromagnetickém poli nazýváme magnetostrikce. Tuto vlastnost můžeme podobně jako piezoelektrický jev, využít pro výrobu ultrazvukových sond. Tento typ měničů můžeme využít pro nízké ultrazvukové frekvence, které jsou vhodné při zkoušení betonu, těžké keramiky a jiných materiálů s velkým útlumem. Výroba magnetostrikčních měničů je složitější než měničů piezoelektrických a jejich frekvenční pásmo je úzké tzn., že vysílané i přijímané impulsy jsou dlouhé a mají pomalu stoupající náběh a nelze tak přesně stanovit počátek impulsů. Z tohoto důvodu je odčítání času při měření rychlosti šíření ultrazvuku nepřesné. Dnes jsou tyto měniče nahrazovány i na frekvencích do 100kHz měniči piezoelektrickými. [2]

### 4.2.3. Elektrodynamické měniče

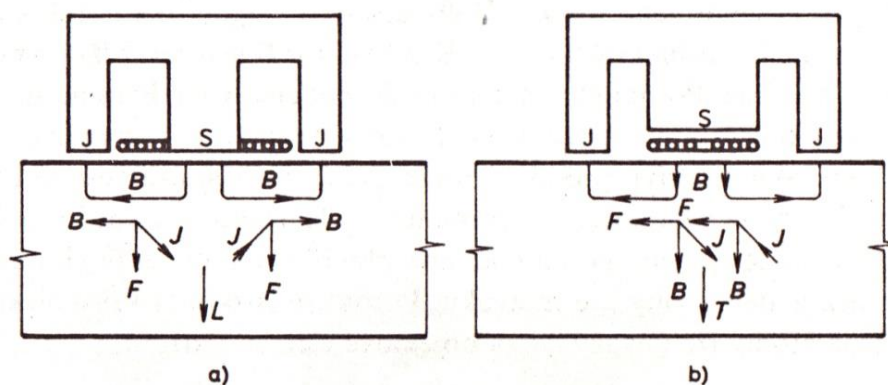
Činnost elektromagnetického měniče je založena na principu vzájemného působení dvou magnetických polí, viz (Obr. 13). Jedno magnetické pole je tvořeno permanentním magnetem, druhé magnetické pole vytváří ve svém okolí vodič. Pracuje-li měnič jako přijímač, pohybuje se vodič v magnetickém poli působením zvukové vlny. Pracuje-li měnič jako vysílač, prochází vodičem signální proud, čímž se vytvoří magnetické pole, a dochází k pohybu vodiče.

Při magnetoinduktivních jevech vzniká tzv. Lorentzova síla. Na této síle jsou založeny elektrodynamické měniče. Její velikost je dána vektorovým součinem

$$F = Q \cdot v \cdot B$$

kde  $Q$  je elektrický náboj pohybující se rychlostí  $v$  a vektor  $B$  udává velikost a směr magnetické indukce působící na materiál. Volbou směru magnetické indukce  $B$  můžeme vyvolat buď podélné nebo příčné vlny.

Obr. 13 Elektrodynamická sonda pro vlny podélné a příčné [2]



a) podélné, b) příčné

V elektrodynamickém měniči je cívka, která je umístěna přímo nad zkoušeným, elektricky vodivým materiálem. Konstantní magnetické pole vznikne působením permanentního magnetu nebo silného elektromagnetu. Vysílací měniče mohou být i bez zdroje magnetického pole, jelikož proud procházející cívkou vytváří vlastní magnetické pole. [2]

Elektrodynamické měniče jsou méně citlivé než měniče piezoelektrické. Mají však výhodu bezkontaktní akustické vazby a jsou citlivější než jiné bezkontaktní sondy. Šířka pásma je vyhovující pro přenos krátkých impulsů. Další výhodou je možnost použití při teplotách až



do 1100 °C. Citlivost těchto sond není příliš závislá na nerovnosti povrchu nebo na nanesené barvě. Díky těmto vlastnostem se dostaly i do průmyslového použití. [2]

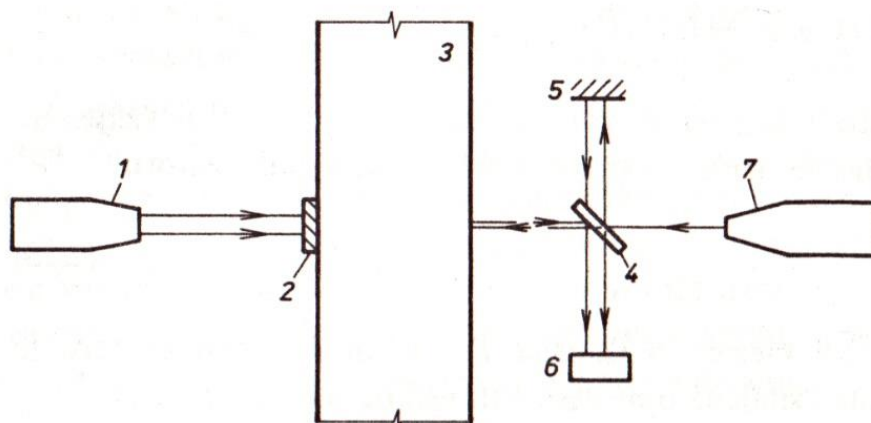
#### 4.2.4. Elektrostatické měniče

Elektrostatické měniče jsou kondenzátory s pohyblivou elektrodou, kterou tvoří membrána a pevnou elektrodou. Tyto měniče lze používat až do frekvence 100 MHz pro vysílání i příjem velmi krátkých impulsů. Kvůli malé citlivosti je jejich použití možné pouze v laboratorním prostředí. Předností elektrostatických měničů je rovnoměrná frekvenční charakteristika až do vysokých frekvencí. Přijímané signály je nutné zesílit zesilovačem s vysokým vstupním odporem. [2]

#### 4.2.5. Termomechanické měniče

Při náhlém ohřátí povrchu pevného prostředí se v něm vytvoří mechanické napětí. Pokud je doba ohřevu přibližně 10  $\mu$ s, vznikne ultrazvukový impuls se strmým náběhem. Tento tepelný náraz lze generovat mikrovlnami, laserem, svazkem elektronů apod. Velmi vhodný je laser (Obr. 14), protože umožňuje generovat velmi krátké impulsy, kterými je možné vybudit ultrazvukové impulsy o frekvenci až 200 MHz. Amplitudy akustického tlaku mohou být větší než u piezokeramických měničů. [2]

Obr. 14 Princip laserového měniče [2]



- 1) vysílací laser, 2) membrána, 3) zkoušené prostředí,  
4) polopropustné zrcadlo, 5) nepropustné zrcadlo, 7) přijímací laser

Při zkoušení materiálu se jedním laserem budí frekvence od 1 do 30 MHz (vysílací laser) a druhým laserem impulsy přijímáme. Ultrazvuková echa rozkmitávají povrch materiálu.

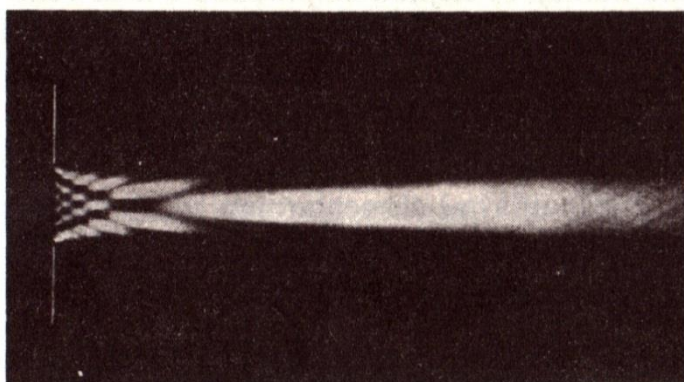
Vlivem Dopplerova jevu dochází k modulaci odraženého paprsku druhého laseru. Pro vznik elektrického signálu je použit interferometr, který odražený paprsek demoduluje. [2]

Laserovým měničem je možné bezkontaktně zkoušet materiál i na vzdálenost několika metrů. Použit lze na prakticky jakékoliv frekvenční pásmo a náběhy impulsů jsou velmi ostré. Přes tyto nesporné výhody laserových měničů je z důvodu vysokých nákladů jejich použití omezeno jen na laboratorní prostředí. [2]

#### 4.2.6. Optické měniče

Princip optických měničů je založen na vychylování světla na částicích prostředí kmitajících vlivem ultrazvuku. Tyto měniče jsou využívány především k zobrazení celého ultrazvukového pole. Takto lze zobrazit Rayleighovy (povrchové) vlny, které se šíří na povrchu tuhého prostředí. Šířením vln se deformuje povrch prostředí a tím se mění úhel dopadu světelných paprsků. Pro zobrazování tímto způsobem je předpokladem hladký povrch, který odráží světlo jedním směrem. Na hrubém povrchu lze také využít různé modulace světla, k níž dochází v důsledku kmitání určité malé plochy, kterou tvoří ohnisko, do kterého je světlo koncentrováno. Použitím laseru jako zdroje světla se získá dobrá citlivost i pro detekci velmi slabého ultrazvukového pole. Největší význam pro zobrazování celého ultrazvukového pole má šlírová metoda. [2]

*Obr. 15 Zobrazení ultrazvukového pole šlírovou metodou [2]*



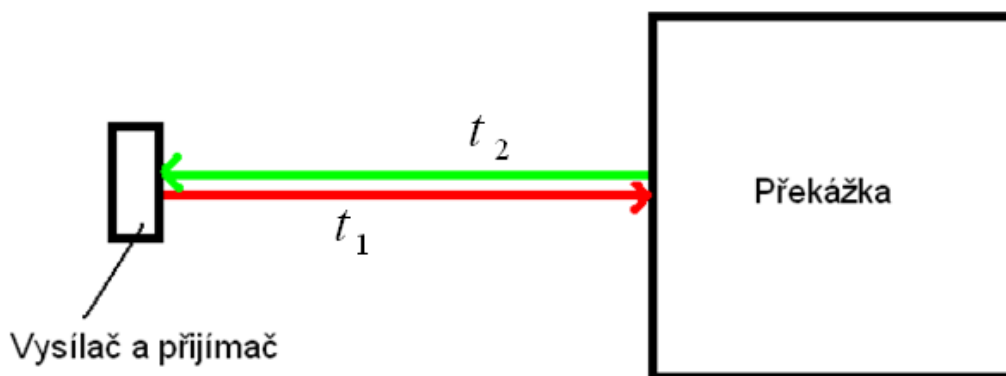
## 5. Měření vzdálenosti

Funkce ultrazvukových senzorů vzdálenosti je založena na principu měření doby od vyslání impulsu do jeho návratu (echa). Sensory mohou být jednoměničové, kde funkci přijímače i vysílače plní jeden měnič, nebo dvouměničové, kde je jeden měnič pro vysílání a druhý pro přijímání impulsů. Musíme znát prostředí, ve kterém se signál šíří (hustotu, teplotu apod.), neboť na jeho vlastnostech závisí rychlost šíření ultrazvukových vln. Výpočet vzdálenosti je dán vztahem

$$l = \frac{c \cdot T}{2}$$

kde  $c$  je rychlost šíření zvuku a  $T$  je doba od vyslání k přijetí impulsu.

Obr. 16 Princip ultrazvukového dálkoměru



Při měření vzdálenosti pomocí ultrazvuku může v praxi dojít k několika problémům. Velmi záleží na schopnosti měřeného předmětu odrážet zvuk. Dalším faktorem negativně ovlivňujícím měření mohou být několikanásobné odrazy nejen od měřeného předmětu. Vliv teploty na výsledky můžeme omezit přídavným teploměrem, jehož údaje se posílají do vyhodnocovací části a na jejich základě se provádí korekce. [7]

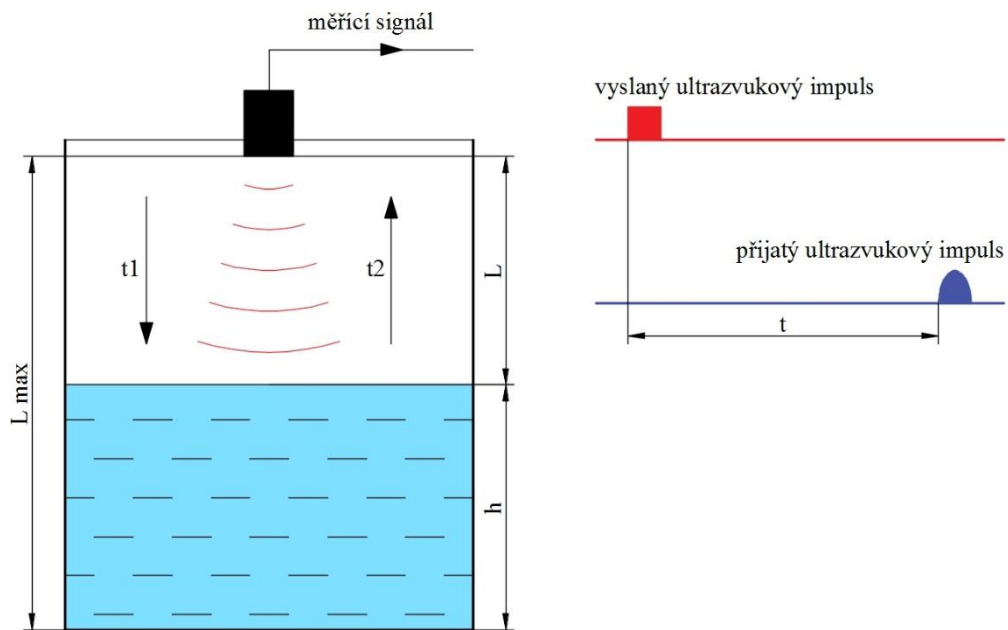
Ultrazvukové senzory měřící vzdálenost se využívají např. v automobilovém průmyslu. Zde jsou tyto senzory využity pro parkovací asistenty. Senzor měří vzdálenost od překážky a na základě takto získaných informací indikuje tuto vzdálenost pomocí zvukových signálů popř. grafického zobrazení. Standardní řešení využívá 4 senzorů umístěných v zadním nárazníku. Tuto variantu je možné rozšířit i o senzory v předním nárazníku. V dnešní době jsou i asistenty, kteří pomocí ultrazvuku umí najít místo pro zaparkování.

## 6. Měření výšky hladiny

Ultrazvukové senzory pro měření výšky hladiny využívají dva principy. V prvním případě se měří doba, za jakou se vrátí impuls odražený od hladiny a z této hodnoty se vypočítá vzdálenost. Pro výpočet musíme znát rychlost šíření zvuku v měřeném prostředí. Tento způsob se využívá pro spojitě měření hladiny. Měřicí zařízení tvoří:

- generátor a vysílač ultrazvukového signálu,
- přijímač ultrazvuku a zesilovač signálu,
- elektronické vyhodnocovací zařízení.

Obr. 17 Princip ultrazvukového hladinoměru [8]



$L_{max}$  – maximální výška hladiny,  $h$  – výška hladiny,  $t = t_1 + t_2$

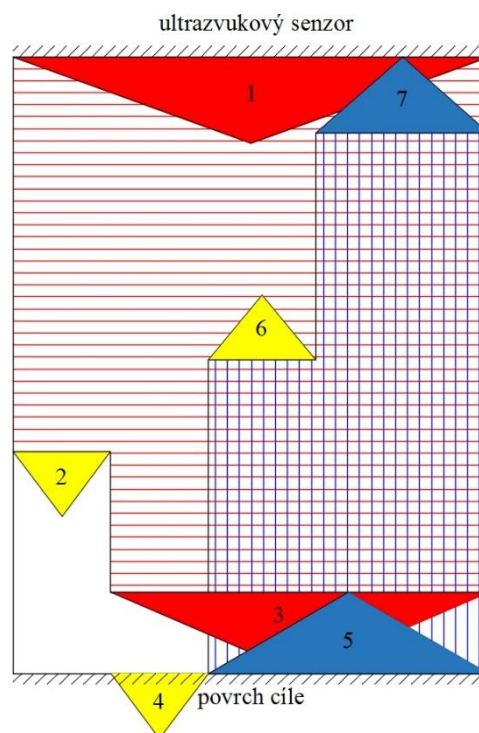
Obvykle se v horní části nádrže umísťuje vysílač a přijímač impulsů, které tvoří konstrukční celek. Je ale možné i umístění ve spodní části nádrže. Z vysílače se vyšle ultrazvukový impuls, který se odrazí od hladiny a vrací se k přijímači. Doba, za kterou se impuls vrátí do přijímače, je měřena elektronickým obvodem. Tato doba je závislá na poloze hladiny. Výška hladiny se určí odečtením poloviny vypočítané dráhy od maximálně měřitelné výšky nádrže. Tato výška odpovídá prázdné nádrži. [8]

K limitnímu měření úrovně hladiny se využívá druhý způsob, kde se vyhodnocuje útlum ultrazvukových vln v závislosti na prostředí, ve kterém se měří. [8]

Nejčastěji se pro výrobu vysílačů a přijímačů používají piezoelektrické nebo magnetostrikční měniče, které pracují s frekvencí od 20 do 50 kHz. [8]

Měřicí rozsah ultrazvukových hladinoměru je závislý i na útlumu impulsu. K vyhodnocení vráceného impulsu je potřeba jeho minimální energie, viz (Obr. 18). Tento požadavek určuje maximální měřitelnou vzdálenost v daném prostředí. Minimální měřitelná vzdálenost je dána slepou zónou konkrétního senzoru. [8]

Obr. 18 Energetická bilance ultrazvukového hladinoměru [8]



*1 – energie vyslaného ultrazvukového signálu, 2 – ztráta energie útlumem v prostředí, 3 – energie dopadající na povrch cíle, 4 – ztráta energie absorpcí v měřené látce, 5 – odražená energie, 6 – ztráta energie útlumem v prostředí, 7 – energie signálu navracející se k senzoru*

Aby bylo měření ultrazvukovými hladinoměry co nejpřesnější, vybavují se různými korekčními obvody. Tyto obvody provádí korekci např. na základě změřené teploty. Změna teploty ovlivňuje hustotu prostředí a tím rychlost šíření ultrazvukových vln. Korekční obvody mohou opravovat výsledky měření i v případě jiných příčin změny hustoty prostředí, než je teplota. [8]

Výsledky měření mohou také ovlivňovat další faktory jako je např. přítomnost míchadla, tvar a kvalita povrchu fázového rozhraní, přítomnost pěny, přítomnost vestavěných částí atd.

U nádrží s vestavenými částmi je možné použít tzv. inteligentních snímačů. U těchto snímačů se při prázdné nádrži vykoná mapování, kdy se provede zkušební měření, při kterém se zaznamenají všechny odrazy, které přijímač přijme, zaznamená se doba průchodu a amplituda odraženého signálu. Výsledky mapování se nahrají do paměti a za pomoci vhodného softwaru se během měření vliv nežádoucích odrazů eliminuje. [8]

V případech kdy je nutné zamezit styku senzoru s médiem v nádrži je možné polohu hladiny detekovat senzorem umístěným na vnější straně kovové nádrže. Impuls tak prochází stěnou nádrže a následně je několikrát odražen. Podle doby trvání odrazu se rozliší, zda je za stěnou plyn nebo kapalina. Tímto způsobem můžeme detekovat i polohu fázového rozhraní. [8]

Ultrazvukové hladinoměry dokáží měřit polohu hladiny v otevřených i uzavřených nádobách a je možné je použít i pro znečištěné, kašovitě a pastovité hmoty. Za jistých podmínek je lze použít i ke zjištění informace o úrovni pěny. Chyba měření je kolem 0,1 % měřicího rozsahu. Vzhledem k praktickým zkušenostem se doporučuje snímač umístit daleko od potenciaálních zdrojů falešných odrazů. Softwarové odstranění těchto následků je složitější než jejich předcházení. Hlavní osa vysílače by měla být kolmá na povrch měřené látky. Snímač není vhodné umísťovat do nádrže s parabolickým víkem, neboť je zde nebezpečí mnohonásobných odrazů mezi víkem a hladinou. [8]

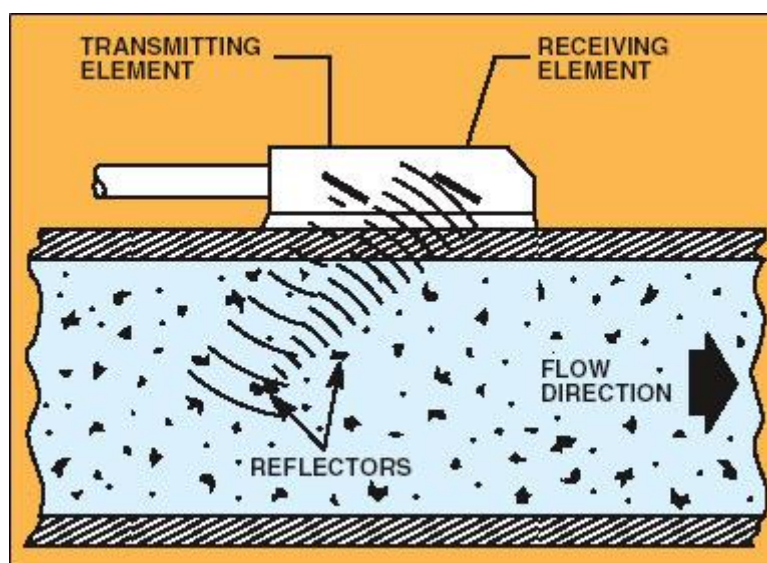
Mezi výhody ultrazvukových senzorů pro měření hladiny patří absence pohyblivých částí, bezkontaktní spojitě měření, možnost instalace z vnější strany nádrže, nezávislost na elektrické vodivosti a dielektrických vlastnostech materiálu, kompaktní provedení snímačů, vysoká rozlišovací schopnost a přesnost měření. Nevýhodou je možnost ovlivnění signálu přítomností těžkých par a prachu, rušivé působení turbulentního povrchu hladiny a přítomnost pěny. [8]

## 7. Měření průtoku kapalin

Ultrazvukové průtokoměry jsou založeny na dvou principech. Prvním z nich je Dopplerův neinvazivní průtokoměr (Obr. 19). Jak název napovídá, je založen na Dopplerovu jevu tzn. na frekvenčním posunu. Tato metoda využívá fyzikální zákon o vlnách zvuku, které mění frekvenci, pokud se odrazí od pohyblivých nehomogenit. Do trubky se vyšle ultrazvukový impuls o známé frekvenci a ten se porovná s frekvencí přijatého impulsu. Na základě jejich rozdílu je možné určit rychlost průtoku kapaliny. Tyto průtokoměry mohou pracovat pouze v kapalinách s obsahem pevných částic nebo bublinek jako jsou např. odpadní vody nebo velmi znečištěné kapaliny. Naopak nebudou pracovat pro měření na destilované nebo pitné vodě. [4], [6].

*„Běžná technologie vyžaduje, aby bylo v kapalině obsaženo nejméně 100 částiček nebo bublinek v každém milionu (ppm) s minimální velikostí 100 mikronů nebo větších.“ [4]*

Obr. 19 Princip Dopplerova průtokoměru [4]

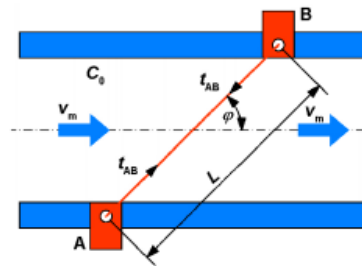


Druhý typ ultrazvukových průtokoměrů je založen na principu měření doby průchodu signálu měřenou kapalinou. Tento typ průtokoměrů je možné použít jen v čistých kapalinách. Základní průtokoměry mají dva ultrazvukové senzory, které pracují i jako vysílač, tak jako přijímač. V tomto případě se jedná o jednobáňové měření. Nejdříve první senzor vyšle signál po proudu kapaliny k druhému senzoru a změří se čas. Poté se funkce senzorů obrátí a druhý senzor vyšle k prvnímu impuls proti směru proudu kapaliny a opět se měří doba, za jakou impuls dorazí k senzoru (Obr. 20). Signál se pohybuje po směru proudu rychleji než

v proti-směru. Z obou získaných časů, úhlu mezi měřicím paprskem a osou měřicí trubice a rychlosti šíření ultrazvuku v měřeném médiu lze jednoduše stanovit střední rychlost proudění média. Pokud známe průřez měřicí trubice a máme ideální podmínky, zjistíme také průtok. Tímto způsobem je také možné zjistit rychlost šíření ultrazvuku v kapalině a z tohoto údaje identifikovat kapalinu, která protéká potrubím. [6]

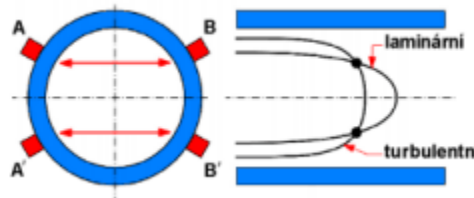
V praxi se zjistilo, že střední rychlost v trubici není na všech místech konstantní, ale je roz-

*Obr. 20 Jednakanálový průtokoměr [6]*



ložena určitým způsobem po průřezu potrubí. Rychlost měřené kapaliny závisí na rychlostním profilu. Rychlostní profil kapaliny může být laminární a turbulentní a má výrazný vliv na naměřené hodnoty. Tento rozdíl může být až 30 % naměřené střední rychlosti. Aby se vyloučil vliv rychlostního profilu, byly vyvinuty dvoukanálové ultrazvukové průtokoměry (Obr. 21). Jejich přesnost je až 0,5 % z měřené hodnoty v širokém rozsahu průtoků.

*Obr. 21 Dvoukanálový průtokoměr [6]*



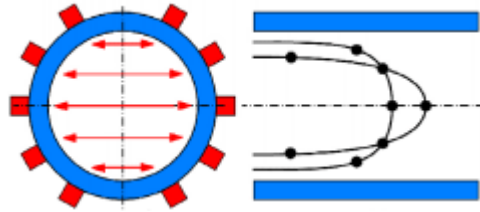
Při obchodním měření průtoku kapalin, kde je požadována co nejvyšší přesnost měření proteklého množství produktu, se používají pětikanálové ultrazvukové průtokoměry (Obr. 22). Tento průtokoměr vyvinula firma Krohne a je využíván např. v petrochemickém průmyslu pro měření průtoku ropy a jiných petrochemickým produktů.

Přesnost měření se v tomto případě pohybuje okolo 0,1 % z měřené hodnoty ve velmi širokém rozsahu průtoků. Střední rychlost se měří v pěti rovnoběžných kanálech. Z tohoto měření se získá velké množství informací o rychlostním profilu, a to jak při laminárním tak, při turbulentním proudění měřené kapaliny. Velmi přesných výsledků měření se dosahuje i při



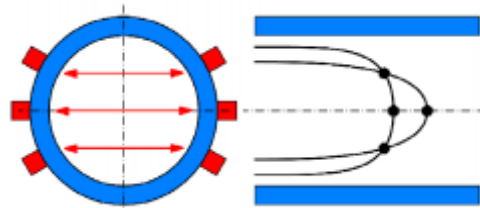
nesymetrickém rychlostním profilu, přítomnosti vírů apod. Zároveň byla vyvinuta metoda, pomocí které lze přesně a spolehlivě identifikovat měřenou kapalinu.

*Obr. 22 Pětikanálový průtokoměr [6]*



Protože použití pětikanálového průtokoměru je velmi nákladné, jsou na trhu také tříkanálové průtokoměry (Obr. 23), které nabízejí velmi přesné výsledky za přijatelnou cenu a jsou vhodné pro běžné použití. Přesnost měření je v tomto případě 0,3 % z měřené hodnoty. Pomocí třetího měřicího kanálu se získají dodatečné informace o rychlostním profilu

*Obr. 23 Tříkanálový průtokoměr [4]*



Ultrazvukové průtokoměry prošly dlouhou cestou vývoje a museli překonat mnoho překážek. V dnešní době jsou ale velmi využívány. Jejich výhodou je především to, že nemají pohyblivé části a tím pádem jsou málo náchylné na poruchy. v případě průtokoměrů na principu měření doby průchodu jsou problémy většinou způsobeny vniknutím částic nebo bublin do měřené kapaliny. V tomto případě se však průtokoměr nepoškodí a po odstranění příčiny této poruchy je opět schopný měřit s nezměněnou přesností. Situace, kdy do kapaliny vniknou částice nebo bubliny, má na mechanické průtokoměry likvidační účinky [4], [5], [6]

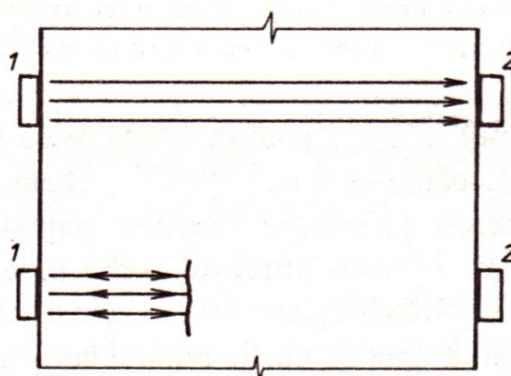
## 8. Metody ultrazvukové defektoskopie

Každá z metod zkoušení materiálu ultrazvukem má optimální parametry pro určitý druh zkoušení. Jednotlivé metody se doplňují. V okrajových případech může nastat situace, kdy použijeme pro zkoušení několik metod, jejichž působnost se překrývá. [2]

### 8.1. Metoda průchodová

Jedná se o nejjednodušší metodu zkoušení materiálu ultrazvukem. Necelistvost v materiálu sníží akustický tlak a vznikne tak ultrazvukový stín. Na protilehlých površích zkoušeného materiálu se souose umístí vysílací a přijímací sonda, viz (Obr. 24). [2]

Obr. 24 Princip průchodové metody [2]



Pokud mezi přijímačem a vysílačem není žádná necelistvost, prochází do přijímače určitý akustický tlak. Za necelistvostí v materiálu vznikne tak ultrazvukový stín a tím se sníží přijímaný akustický tlak. Průchodová metoda je tedy porovnávací metoda a porovnává se zde akustický tlak v místech bez necelistvosti a s necelistvostí. Tuto metodu používáme tam, kde je možné vyloučit změny akustické vazby, např. při imerzní metodě, protože zde není možné rozlišit, zda je pokles akustického tlaku způsoben přítomností necelistvosti, špatným akustickým navázáním nebo změnou struktury materiálu. Dalšími nevýhodami jsou nutnost použít dvě sondy, nutnost konstantní tloušťky materiálu a nevhodnost použití při zkoušení tlustých předmětů z důvodu zjistitelnosti necelistvosti v blízkosti přijímací sondy.

Naproti tomu se u této metody neuplatňuje mrtvé pásmo a je možné použít ručkový přístroj při spojitém vysílání signálu. V praxi se však používá převážně impulsové vysílání, protože je mnohem univerzálnější.

## 8.2. Metoda odrazová

### 8.2.1. Metoda impulsová

Tato metoda je nejčastěji používaná při nedestruktivním zkoušení materiálu. Je všestranně použitelná a dává nejvíce informací o zkoušeném předmětu, je možné zjistit nejenom necestivost, ale i strukturu materiálu, rozměry apod. Pro vysílání i příjem ultrazvukových vln je při této metodě použita jen jedna sonda, která pracuje jako vysílač i přijímač. Tato sonda může mít buď jeden měnič pro vysílání i příjem nebo dva měniče, jeden pro vysílání, druhý pro příjem. Vzdálenost odrazové plochy se získává podle zpoždění, se kterým se odražený impuls (echo) vrátí zpět do sondy. Velikost zjistíme dle výšky echa. [2]

### 8.2.2. Metoda rezonanční

Při spojitém vysílání vznikají stojaté vlny, které můžeme využít k měření tloušťky prostředí. Frekvence ultrazvuku se nastavuje tak, aby odpovídala měřená tloušťka celistvému násobku poloviční délky vlny. Tento stav zjistíme snížením vstupní impedance elektroakustického měniče sondy. Rezonanční metodu lze využít i pro zjištění dvojitosti materiálu. Tato metoda se dnes používá jen zřídka, neboť byla nahrazena metodou impulsovou. [2]

## 8.3. Ultrazvuková holografie

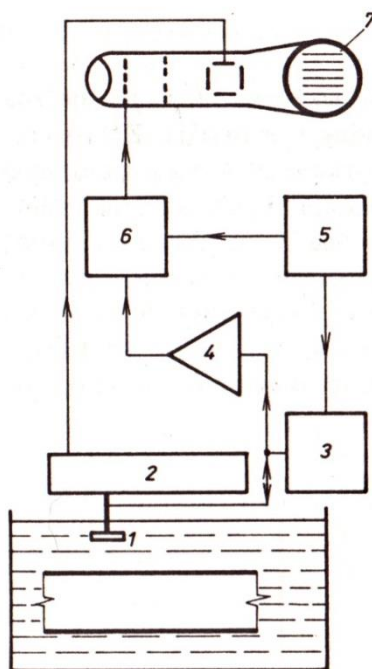
Ultrazvuková holografie byla původně metoda optická, až později se aplikovala na ultrazvuk. *“Metoda je založena na interferenčních jevech, které vznikají v holografické rovině superpozicí čela vlny obsahující informaci o zobrazovaném předmětu a čela vlny referenční. Záznam zobrazení v holografické rovině je hologram.”*[2] Hologram nedává přímo obraz předmětu, ale obsahuje jeho třírozměrnou informaci. Obraz můžeme zaznamenat např. na fotografický film. Optickou holografii využijeme v nedestruktivním zkoušení materiálu tam, kde potřebujeme znát deformaci povrchu, např. vystaveného mechanickému nebo tepelnému namáhání. [2]

Ultrazvuková holografie, umožňující zobrazení vnitřku prostředí je založena na podobném principu jako optická. Ke zkoušení předmětu používá dvě vlny, z nich jedna prochází materiálem a druhá je referenční. Záznam ultrazvukového hologramu je však obtížnější, protože neexistuje žádná přímá metoda. Dalším problémem ultrazvukové holografie je získání třírozměrného zobrazení. Dochází při něm ke zkreslení tvaru. [2]

Pro vytvoření hologramu je možné využít např. hladinu kapaliny. Při dopadu vlny procházející předmětem a zároveň vlny referenční se hladina rozvlní a vznikne tak interferenční obraz. Vzniklý hologram můžeme zaznamenat fotograficky nebo přímo opticky zobrazit. Hologram můžeme získat i elektronicky pomocí měniče ultrazvukového obrazu na viditelný. [2]

Průchodová metoda je však pro defektoskopii nevýhodná a zařízení jsou těžkopádná. Proto se v praxi lépe osvědčuje metoda odrazová, kde se použije malá sonda, která současně vysílá i přijímá ultrazvukové impulsy. Při této metodě stačí, aby měl zkoušený předmět přístupný jen jeden povrch, a proto má největší význam při zkoušení materiálu. Optické zobrazení hologramu se provádí v rekonstrukčním zařízení, viz (Obr. 25). [2]

Obr. 25 Schéma zařízení pro impulsovou odrazovou holografii [2]



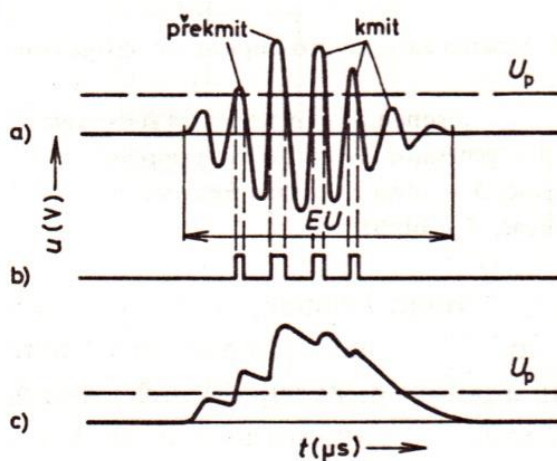
- 1) generátor, 2) vysílací měnič, 3) generátor UZ impulsů,  
4) zesilovač,

Ultrazvuková holografie se převážně využívá jen v laboratořích, neboť náklady na techniku a její složitost jsou velmi vysoké. Výhodou je možnost zobrazení určité části zkoušeného materiálu. Dnešní technika již umožňuje třírozměrné zobrazení. [2]

## 8.4. Akustická emise

Metoda využívající akustické emise analyzuje signály, které vznikají při rozšiřování trhliny v materiálu. Přestože jde o metodu, která je použitelná pouze při mechanickém namáhání materiálu, zařazujeme ji mezi metody nedestruktivní. Je to metoda pasivní, při níž se signály ultrazvuku pouze přijímají. Tyto signály jsou vysokofrekvenční impulsy, jejichž frekvence je z převážné části v rozmezí 100 – 1000 kHz.

Obr. 26 Emisní událost [2]



a) tvar signálu přijímaného snímačem, b) vytvarované překmity,  
c) obalová křivka EU po usměrnění a filtraci

Snímač akustické emise je ultrazvuková sonda citlivá na povrchové vlny. Jako zdroj emisní události může být, kromě vzniku a šíření trhlin, také plastická deformace materiálu. Intenzita této akustické emise je však mnohem menší. Při šíření trhlin vzniká akustická emise impulsová, při plastické deformaci spojitá. Pro zkoušení materiálu má význam jen emise impulsová, jejichž intenzity jsou mnohonásobně vyšší, než intenzity emise spojitě. [2]

Jako snímače akustické emise se používají piezokeramické sondy, které mají, z důvodu vyloučení příjmu rušivých signálů, maximální citlivost jen v určitém frekvenčním pásmu. U přijatých signálů akustické emise vyhodnocujeme jejich počet a velikost amplitudy. [2]

Metoda se uplatňuje při laboratorním proměřování vzorků, tlakových zkouškách a při provozním sledování namáhaných částí. Získané informace se obvykle ověřují jinými nedestruktivními metodami. [2]

### 8.4.1. Metoda impedanční

Impedanční metoda není sice ultrazvuková metoda, ale je to také akustická metoda, a proto je vhodné se o ní zmínit. Frekvence vysílané při této metodě jsou v pásmu slyšitelných kmitů od 2 do 10 kHz. Využívá se rozdílů akustických impedancí mezi dobrými a vadnými místy zkoušené součásti. Využití je především při zkoušení spojení vrstev. Změny akustické impedance se projeví zpětnou reakcí působící na piezoelektrický měnič v sondě. Srovnává se poměr amplitud vysílaného a přijímaného napětí nebo fáze mezi oběma napětími. Protože materiál v místě vady nekmitá, změní se zde impedance a tím se odhalí vada. [2]

## 9. Analýza vlastností vybraných ultrazvukových senzorů

Pro analýzu vlastností ultrazvukových senzorů byly vybrány výrobky firem di-soric, Pepperl+Fuchs a Sick. Byly stanoveny čtyři oblasti pracovních rozsahů. Pro každou oblast byl vybrán jeden výrobek výše uvedených firem. Informace o jednotlivých senzorech byly získány z produktových katalogů jednotlivých výrobců, které jsou dostupné na webových stránkách. Pracovní úhel byl

### 9.1. Senzory pro rozsah 0 – 150 mm

#### **di-soric USTI 12MFB 150-A-IBSL**

napájecí napětí:	15 – 30 v DC
slepá zóna:	0 mm
pracovní rozsah:	0 – 150 mm
pracovní úhel:	15°
frekvence	400 kHz

Senzor má nulovou slepou zónu a jako jediný pokrývá zvolený rozsah.

#### **Pepperl+Fuchs UB 120-12GM-E4-V1**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 15 mm
pracovní rozsah:	15 – 120 mm
pracovní úhel:	11°
frekvence	850 kHz

Senzor má nejmenší pracovní úhel z vybraných senzorů a velmi vysokou frekvenci. Pracovní rozsah nepokrývá zvolený rozsah.

#### **Sick UM18-217161101**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 20 mm
pracovní rozsah:	20 – 150 mm
pracovní úhel:	18°
frekvence	380 kHz

Senzor má největší slepou zónu a největší pracovní úhel z vybraných senzorů.

## 9.2. Senzory pro rozsah 30 – 250 mm

### **di-soric USTI 12M 200-A-IBSL**

napájecí napětí:	15 – 30 v DC
slepá zóna:	0 - 20 mm
pracovní rozsah:	20 – 200 mm
pracovní úhel:	3°
frekvence	400 kHz

Z vybraných senzorů má nejmenší slepou zónu a nejmenší pracovní rozsah z vybraných senzorů.

### **Pepperl+Fuchs UB 300-12GM40-E5-V1**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 30 mm
pracovní rozsah:	30 – 300 mm
pracovní úhel:	20°
frekvence	390 kHz

Senzor má nejširší pracovní úhel z vybraných senzorů a největší pracovní rozsah, který je větší než zvolený rozsah.

### **Sick UM 30-211111**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 30 mm
pracovní rozsah:	30 – 250 mm
pracovní úhel:	18°
frekvence	320 kHz

Senzor přesně pokrývá zvolený rozsah a má nejnižší frekvenci z vybraných senzorů.



### 9.3. Senzory pro rozsah 200 – 1300 mm

#### **di-soric UST 18M 1500 P3-B4**

napájecí napětí:	15 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 120 mm
pracovní rozsah:	120 – 1500 mm
pracovní úhel:	11° (pro 1300 mm)
frekvence	180 kHz

Senzor má největší pracovní rozsah z vybraných senzorů a nejnižší frekvenci a pracovní úhel. Od vzdálenosti 1300 mm se oblast detekce předmětu strmě zužuje.

#### **Pepperl+Fuchs UB 1000-18GM75-E4-V15**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 70 mm
pracovní rozsah:	70 – 1000 mm
pracovní úhel:	33°
frekvence	205 kHz

Senzor má nejmenší slepou zónu a největší pracovní úhel z vybraných senzorů. Pracovní rozsah senzoru je nejmenší a zcela nepokrývá zvolený rozsah.

#### **Sick UM 30-213111**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 200 mm
pracovní rozsah:	200 – 1300 mm
pracovní úhel:	25°
frekvence	200 kHz

Pracovní rozsah senzoru odpovídá zvolenému rozsahu. Senzor má největší slepou zónu z vybraných senzorů.

## 9.4. Senzory pro rozsah 600 – 6000 mm

### **di-soric US 60 K 5000 AI-I-TSSL**

napájecí napětí:	15 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 400 mm
pracovní rozsah:	400 – 6000 mm
pracovní úhel:	11°
frekvence	80 kHz

Senzor má nejmenší pracovní úhel z vybraných senzorů. Pracovní rozsah je větší než zvolený rozsah.

### **Pepperl+Fuchs UB6000-30GM-E4-V15**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 350 mm
pracovní rozsah:	350 – 6000 mm
pracovní úhel:	18°
frekvence	65 kHz

Senzor má nejmenší slepou zónu a největší pracovní rozsah ze zvolených senzorů.

### **Sick UM 30-215111**

napájecí napětí:	10 – 30 v DC
slepá zóna:	0 – 600 mm
pracovní rozsah:	600 – 6000 mm
pracovní úhel:	21°
frekvence	80 kHz

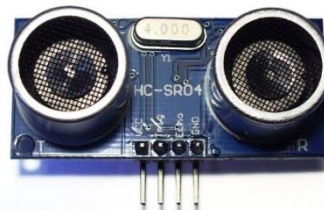
Senzor přesně pokrývá zvolený rozsah. Ze zvolených senzorů má největší pracovní úhel a největší slepou zónu.

## 10. Praktické testy ultrazvukového senzoru vzdálenosti

Měření charakteristiky ultrazvukového senzoru probíhalo v laboratoři České zemědělské univerzity v Praze. K dispozici byl ultrazvukový senzor HC-SR04 (Obr. 27). Tento senzor má následující parametry:

napájecí napětí	5V DC
pracovní rozsah	20 mm – 4000 mm
přesnost	až 3 mm při maximální vzdálenosti
pracovní úhel	15°

Obr. 27 Senzor HC-SR04



Pro vyslání ultrazvukového impulsu je potřeba přivést na svorku Trig senzoru HC-SR04 spouštěcí impuls. Tento impuls musí být dlouhý minimálně 10  $\mu$ s a vytvoříme jej pomocí obvodu 555 v zapojení monostabilního klopného obvodu.

Monostabilní klopný obvod vyrábí pouze jeden impuls v době, kdy je přivedeno na jeho svorky napětí. Po tomto impulsu je obvod v klidovém stavu. Doba trvání impulsu nastavíme pomocí odporu R1 a kondenzátoru C1. Doba impulsu je dána vztahem

$$T = 1,1 \cdot R1 \cdot C1$$

kde

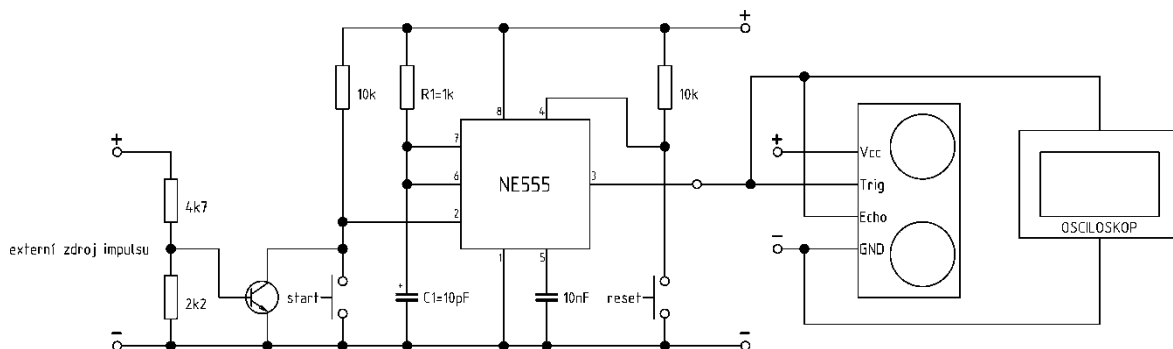
T = perioda v sekundách [s]

R1 = odpor v ohmech [ $\Omega$ ]

C1 = kapacita ve faradech [F]

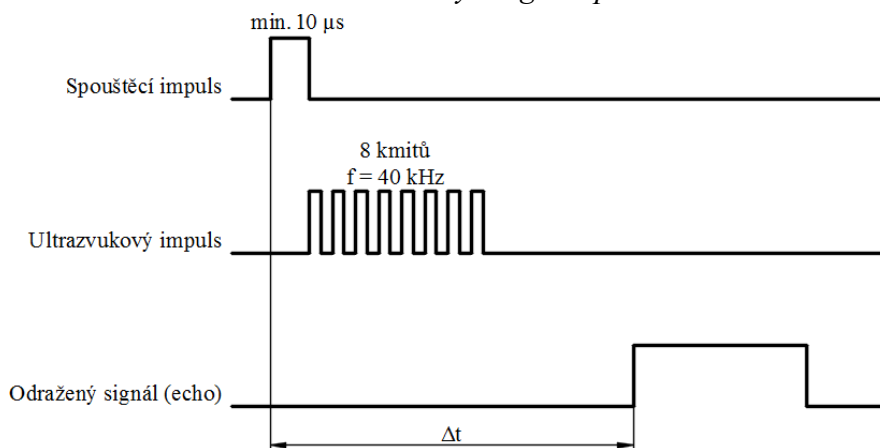
Nejdříve byla vybrána hodnota kondenzátoru C1. Ta byla zvolena 10 pF a z výše uvedeného vztahu byla dopočítána velikost potřebného odporu. Na základě vypočtené hodnoty byl zvolen rezistor 1 k $\Omega$ . Po dosazení hodnot reálných součástek do vztahu, vychází startovací impuls 11  $\mu$ s. Tato hodnota je vyhovující, jelikož hodnota udaná výrobcem je minimální. [9] Zapojení obvodu pro měření vlastností ultrazvukového senzoru viz (Obr. 28).

Obr. 28 Obvod pro měření vlastností UZ senzoru



Maximální přesnost udávaná výrobcem je dle rozboru dostupné dokumentace odvozena od času spouštěcího impulsu, který má mít hodnotu minimálně 10  $\mu\text{s}$ . Pokud do vztahu pro výpočet vzdálenosti, kterou zvuk urazí za určitou dobu, dosadíme tuto hodnotu, vyjde nám vzdálenost cca 3 mm. Tato situace nastane, pokud sensor začne vysílat impuls již na začátku spouštěcího impulsu.

Obr. 29 Časový diagram průběhu měření



Měření probíhalo v deseti krocích ve vzdálenost od 10 cm do 100 cm. Senzor byl stále v jedné pozici a vzdálenost byla nastavována pohybem odrazové destičky. Pomocí osciloskopu byla měřena  $\Delta t$ , což je doba od začátku spouštěcího do doby návratu odraženého signálu (echo). Změřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulky (viz Tab. 1).

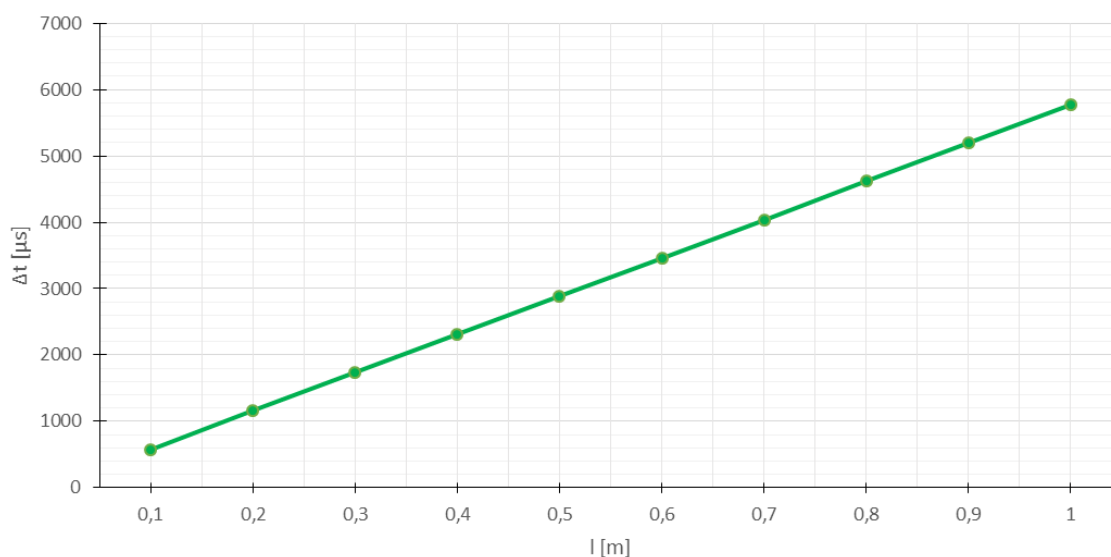
Tab. 1 Naměřené hodnoty

$l$ [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\Delta t$ [ $\mu\text{s}$ ]	577	1156	1733	2312	2889	3464	4039	4622	5198	5777

Na základě naměřených hodnot byla sestrojena převodní charakteristika senzoru HC-SR04. Protože charakteristika má lineární průběh (viz Obr. 30) a tím se potvrdila závislost času  $\Delta t$  na vzdálenosti, můžeme usuzovat, že senzor v daném rozpětí vzdáleností měří správně.

Návod na laboratorní cvičení vytvořený na základě tohoto měření je v Příloze 1.

*Obr. 30 Převodní charakteristika senzoru HC-RS04*



## 11. Zhodnocení a závěr

Ultrazvukový senzor se skládá z ultrazvukové sondy a dalších elektrických obvodů, sloužících pro řízení vysílání impulsu a vyhodnocování přijatého impulsu. Využití ultrazvukových senzorů má široké možnosti. V této práci je možno seznámit se s některými z nich. Jsou zde popsány základní principy senzorů vzdálenosti, měření výšky hladiny, průtoku kapalin a využití ultrazvuku v defektoskopii.

Senzory pro měření vzdálenosti pracují na principu měření doby od vyslání impulsu po příjem impulsu odraženého od překážky. Tomuto odraženému signálu se říká echo. Z naměřené doby a rychlosti zvuku ve vzduchu je vypočítána vzdálenost. Aby tato vzdálenost byla co nejpřesnější, mohou být senzory vybaveny prvkem, který vypočítanou hodnotu koriguje na základě změřené teploty, vlhkosti apod. V běžném životě se můžeme s ultrazvukovými senzory vzdálenosti setkat např. v automobilovém průmyslu. Zde jsou senzory využívány pro parkovací asistenty, kde nám dávají informaci o volném místě kolem automobilu.

Senzory pro měření výšky hladiny pracují na stejném principu jako senzory pro měření vzdálenosti. Odrazovou plochou je v tomto případě hladina kapaliny nebo např. sypkého materiálu. Těmito senzory měříme zaplnění různých zásobníků, nádrží apod.

Ultrazvukové průtokoměry pracují na dvou principech. Průtokoměr na principu Dopplerova jevu využívá změny frekvence vyslaného impulsu, který se odrazí od malých částic v kapalině. Proto není tento průtokoměr funkční v kapalinách, které tyto částičky neobsahují např. v destilované vodě. Druhý princip je založen na měření doby, za kterou ultrazvukový impuls urazí známou vzdálenost (od vysílače k přijímači). Protože tekoucí kapalina mění rychlost šíření ultrazvukové vlny, můžeme porovnáním změřené doby v klidovém stavu a ve stavu kdy potrubím kapalina protéká vypočítat průtok. Tento princip naopak vyžaduje kapalinu bez obsahu částic.

Pomocí ultrazvukových senzorů můžeme nedestruktivním způsobem zjišťovat vady materiálu. Tímto se zabývá ultrazvuková defektoskopie. Metody používané v defektoskopii jsou v této práci stručně popsány. Základním principem ultrazvukové defektoskopie je skutečnost, že vada v materiálu mění propustnost a odrazivost zkoušeného materiálu.

Analýza ultrazvukových senzorů pro měření vzdálenosti, kterou tato práce obsahuje, nám dává základní informace a přehled o vyráběných senzorech. Aby bylo možné jednoznačně

řící výhody a nevýhody jednotlivých senzorů, musel by být znám účel, pro který má senzor sloužit. Na trhu je velké množství výrobců a nepřehledné množství vyráběných senzorů, ze kterých je možné vybrat pro konkrétní aplikaci nejlépe vyhovující senzor. Analýza především ukazuje základní vlastnosti, dle kterých je možno senzor vybírat. Mnohé senzory jsou vybaveny i dalšími funkcemi, např. korekce na základě změřené teploty, které mohou mít vliv na konečné rozhodování.

V praktické části byla zjišťována převodní charakteristika senzoru HC-RS04, na základě které je možné odvodit přesnost senzoru. Pro toto měření byl navržen spouštěcí obvod pomocí integrovaného obvodu NE555, který vyšle startovací impuls potřebný pro zahájení vysílání impulsu senzorem. Jelikož měla charakteristika lineární průběh, bylo usouzeno, že senzor měří přesně. Z průběhu tohoto měření byl vytvořen návod pro laboratorní cvičení.

## 12. Použitá literatura

[1] REGAZZO R., REGAZZOVÁ M.: Ultrazvuk – základy ultrazvukové defektoskopie, 1. vydání, Praha, BEN – technická literatura, 2013, 292 stran, ISBN 978-80-7300-466-8

[2] OBRAZ J.: Zkoušení materiálu ultrazvukem, 1. Vydání, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 464 stran, L13-C3-V-31f/28 750

[3] MARTÍNEK R.: Senzory v průmyslové praxi, 1. vydání, Praha, BEN – technická literatura, 2004, 200 stran, ISBN 80-7300-114-4

[4] OMEGA engineering. *Úvod do ultrazvukových průtokoměrů.*

OMEGA engineering [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/UltrasonicFlowmeters.html>

[5] Elektorevue. *Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů.*

Elektorevue [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

<http://www.elektorevue.cz/clanky/01049/index.html>

[6] Automa. *Několikakanálové ultrazvukové průtokoměry.*

Automa [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

[http://automa.cz/index.php?id\\_document=28344](http://automa.cz/index.php?id_document=28344)

[7] Posterus. *Ověření funkčnosti ultrazvukového detektoru vzdálenosti.*

Posterus [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

<http://www.posterus.sk/?p=9411>

[8] Automa. *Snímače polohy hladiny – principy, vlastnosti a použití (část 2).*

Automa [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

[http://automa.cz/index.php?id\\_document=30540](http://automa.cz/index.php?id_document=30540)

[9] Pandatron. *555 a 556 – Základní zapojení.*

Pandatron [online]. [cit. 5. 4. 2015].

Dostupné z:

<http://pandatron.cz/?490&555 a 556 - zakladni zapojeni>



### 13. Seznam obrázků

Obr. 1 Tlumené a netlumené kmity [1] .....	4
Obr. 2 Impuls a doba kmitu [1].....	5
Obr. 3 Impuls a vlnová délka [1] .....	5
Obr. 4 Tvary ultrazvukových vln [2].....	6
Obr. 5 Podélné vlny [2] .....	7
Obr. 6 Příčné vlny [2].....	7
Obr. 7 Povrchové vlny [2] .....	7
Obr. 8 Deskové vlny [2] .....	8
Obr. 9 Kolmý dopad na rozhraní [1].....	8
Obr. 10 Šikmý dopad na rozhraní [1].....	9
Obr. 11 Vyzářovací charakteristika [3] .....	10
Obr. 12 Akustické rozhraní [1] .....	11
Obr. 13 Elektrodynamická sonda pro vlny podélné a příčné [2] .....	15
Obr. 14 Princip laserového měniče [2].....	16
Obr. 15 Zobrazení ultrazvukového pole šířovou metodou [2] .....	17
Obr. 16 Princip ultrazvukového dálkoměru.....	18
Obr. 17 Princip ultrazvukového hladinoměru [8] .....	19
Obr. 18 Energetická bilance ultrazvukového hladinoměru [8].....	20
Obr. 19 Princip Dopplerova průtokoměru [4] .....	22
Obr. 20 Jednokanálový průtokoměr [6].....	23
Obr. 21 Dvoukanálový průtokoměr [6] .....	23
Obr. 22 Pětikanálový průtokoměr [6].....	24
Obr. 23 Tříkanálový průtokoměr [4].....	24
Obr. 24 Princip průchodové metody [2].....	25

Obr. 25 Schéma zařízení pro impulsovou odrazovou holografii [2].....	27
Obr. 26 Emisní událost [2].....	28
Obr. 27 Senzor HC-RS04 .....	34
Obr. 28 Obvod pro měření vlastností UZ senzoru .....	35
Obr. 29 Časový diagram průběhu měření.....	35
Obr. 30 Převodní charakteristika senzoru HC-RS04 .....	36

## Ultrazvukový senzor

### **Cíl:**

Toto laboratorní cvičení má za úkol seznámit s principem měření vzdálenosti pomocí ultrazvukového senzoru.

### **Pomůcky:**

Zdroj napětí (5V DC), ultrazvukový senzor HC-RS04, odrazová destička, elektrický obvod s integrovaným obvodem NE555, měřidlo vzdálenosti

### **Popis:**

Měření vzdálenosti pomocí ultrazvuku je založeno na principu měření doby návratu vyslaného impulsu. Dle údajů výrobce senzoru HC-RS04 je nutno pro vyslání impulsu přivést na senzor spouštěcí impuls o minimální délce 10  $\mu$ s. Toto je zajištěno pomocí integrovaného obvodu NE555 v zapojení monostabilního klopného obvodu. Monostabilní klopný obvod vytváří jen jeden impuls. Spouštěcí impuls je vyslán po stlačení tlačítka. Délka doby návratu se měří pomocí osciloskopu. Tato doba je měřena od náběžné hrany spouštěcího impulsu do doby přijetí odraženého impulsu (echo).

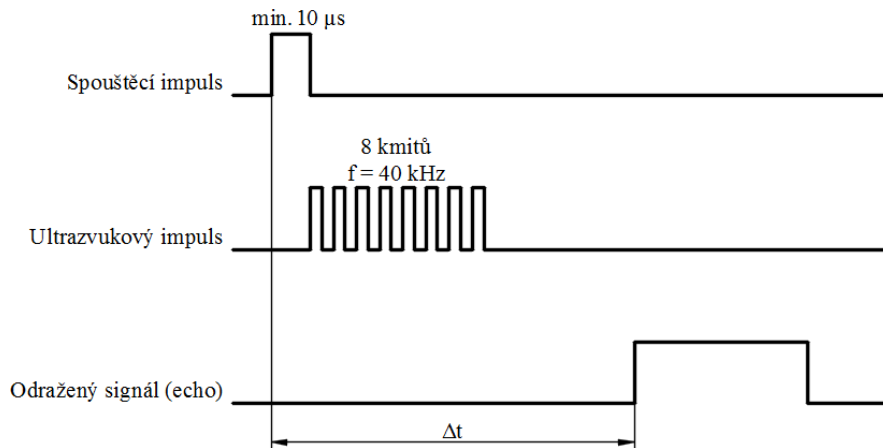
### **Úkol:**

Zjistit převodní charakteristiku ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti HC-RS04. Vzdálenost odrazové destičky od senzoru nastavujte po 10 cm v rozmezí 10 – 100 cm. Převodní charakteristika znázorňuje závislost času přijetí odraženého signálu na vzdálenosti překážky od senzoru.

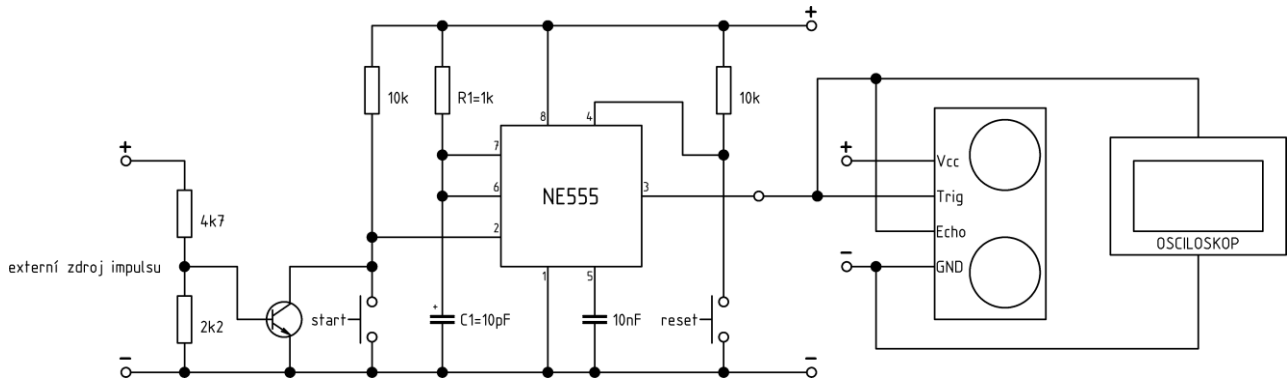
### **Postup:**

1. Zapojte ultrazvukový senzor dle schématu zapojení
2. Pomocí měřidla nastavte vzdálenost odrazové destičky od senzoru
3. Stisknutím tlačítka vyšlete impuls
4. Doby návratu odečtěte na osciloskopu a zaznamenejte do tabulky
5. Bod 2 – 4 opakujte dle zadání
6. Z naměřených hodnot sestrojte graf závislosti doby návratu impulsu ( $\Delta t$ ) na vzdálenosti
7. Zhodnoťte výsledek měření

### Časový diagram průběhu měření



### Schéma zapojení UZ senzoru



### Tabulka naměřených hodnot

l [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\Delta t$ [ $\mu$ s]										



Tech Support: [services@elecfreaks.com](mailto:services@elecfreaks.com)

## Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

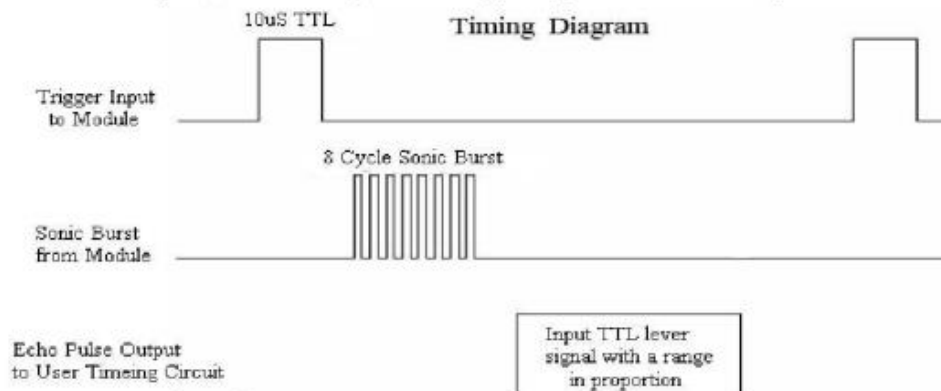
### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



## Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



---

### **Attention:**

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

[www.ElecFreaks.com](http://www.ElecFreaks.com)

