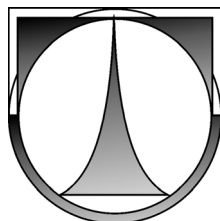


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



## **Bakalářská práce**

VÝZKUM TLOUŠŤKOMĚRU DIO 570 V ULTRAZVUKOVÉ  
STRUKTUROSKOPII LITIN

RESEARCH OF THICKNESS METER DIO 570 FOR  
ULTRASONIC MEASUREMENTS IN STRUCTUROSCOPY  
OF CAST IRON

2006

David Bílek



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálů

Studijní obor:       Materiály a technologie  
Zaměření:            Materiálové inženýrství

Výzkum tloušťkoměru DIO 570 v ultrazvukové strukturoskopii litin

**KMT – B – 113**

Vedoucí bakalářské práce:       Doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.  
Konzultant bakalářské práce:

Počet stran:       82  
Počet příloh:     8  
Počet obrázků:   23  
Počet tabulek:   26  
Počet grafů:      9

Datum odevzdání: 26.5.2006

## **ANOTACE**

Cílem této práce je výzkum ultrazvukového tloušťkoměru DIO 570 firmy STARMANS v ultrazvukové strukturoskopii litin. Vymezení optimálních podmínek měření pro určování tvaru grafitu a modulu pružnosti v litinách. A dále využití tohoto přístroje do vývojového zařízení SYLIT. Při použití tloušťkoměru dochází k nežádoucím nepřesnostem měření.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is the reaserch of a ultrasound thickness meter DIO 570 developed by STARMANS company in ultrasound structuroscopy of a cast iron. In order to define the optimal conditions for measurement of the specified form of graphide and module of flexibility the incorporation of this device into a existing and further developing SYLIT system is explored. At present undesirable errors of a measurements occures.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za vedení, cenné rady a podporu při tvorbě bakalářské práce.

## OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b>	<b>6</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>7</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD</b>	<b>10</b>
1.1 K zadání	10
<b>2. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ULTRAZVUKU</b>	<b>11</b>
2.1 Základní pojmy	11
2.1.1 Ultrazvukové vlny	11
2.1.2 Kmitání	11
2.1.3 Tvary vln	12
2.1.4 Akustický tlak	12
2.1.5 Druhy vln	12
2.2 Rychlost šíření ultrazvuku	13
2.2.1 Tuhé látky	13
2.3 Útlum ultrazvukových vln	14
2.4 Odraz a lom rovinné vlny	16
2.4.1 Kolmý dopad na rozhraní	16
2.4.2 Šikmý dopad na rozhraní	17
2.4.2.1 Lom vln	17
2.4.2.2 Odraz a průchod vln	18
2.5 Ultrazvukové impulzy	19
<b>3. VYUŽITÍ ULTRAZVUKU - DEFECTOSKOPIE</b>	<b>20</b>
3.1 Defektoskopické zkoušky	20
3.1.1 Zkoušení Ultrazvukem	20
3.1.1.1 Odrazová impulsová metoda	21
3.2 Měření tloušťek stěn ultrazvukem	23
3.2.1 Tloušťkoměry	23
3.2.1.1 Princip tloušťkoměru	24
3.2.1.2 Hlavní části tloušťkoměru	25
3.2.2 Sondy - piezokeramické	25
3.2.2.1 Přímé sondy - jednoduché	26
3.2.2.2 Přímé sondy – dvojité	26
3.2.2.3 Citlivost sond	28
3.2.3 Bezkontaktní měření ultrazvukem	30
3.2.3.1 EMAT (Electro - Magnetic Acoustinc - Transducers )	30
3.3 Aplikace ultrazvuku při zjišťování mechanických vlastností materiálu	31
<b>4. VLASTNÍ ANALÝZA - MĚŘENÍ</b>	<b>35</b>
4.1 Experimenty	35
4.1.1 DIO 570	37
4.1.2 DC-2000B	41
4.1.3 DIO 562	44
4.1.4 T MIKE-EL	46
4.2 Výsledky	48
4.2.1 Diskuze výsledků – příčiny nepřesností měření	50
4.2.2 Zhodnocení výsledků	53
<b>5. ZÁVĚR</b>	<b>58</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>60</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	<b>61</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Název	Jednotka
a	okamžitá výchylka	[m]
c	rychlost šíření vlny	[m.s <sup>-1</sup> ]
t	čas	[s]
x	souřadnice polohy	[m]
A	amplituda výchylky	[m]
$\omega$	kruhová frekvence	[rad.s <sup>-1</sup> ]
$\varphi$	fázový úhel	[rad]
$\varphi(f)$	funkce frekvence	[-]
T	doba periody	[s]
f	frekvence	[Hz]
$\lambda$	vlnová délka	[m]
$\mu$	poissonovo číslo	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[Pa]
G	modul pružnosti ve smyku	[Pa]
$\rho$	hustota prostředí	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\alpha$	součinitel útlumu	[dB.mm <sup>-1</sup> ]
p	akustický tlak	[Pa]
P	amplituda akustického tlaku	[Pa]
v	akustická rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$a_A$	součinitel absorpce	[dB.m <sup>-1</sup> .Hz <sup>-1</sup> ]
$a_R$	součinitel rozptylu	[dB.m <sup>-1</sup> .Hz <sup>-1</sup> ]
$\bar{D}$	střední velikost zrna	[m]
D	průměr měniče	[mm]
L	skutečná tloušťka	[mm]
Lu	dráha ultrazvukových vln	[mm]
$\rho_{CL}$	akustický vlnový odpor	[Pa.s.m <sup>-1</sup> ]
$l_0$	vzdálenost blízkého pole	[mm]

---

atd.	atak dále
obr.	Obrázek
tab.	Tabulka
a pod.	a podobně
popř.	popřípadě
tzv.	tak zvaný
PC	Personal -Computer (Osobní počítač)
EMAT	Electro – Magnetic - Acoustinc - Transducers



## KLÍČOVÁ SLOVA

Defektoskopie

Litina

Ultrazvuk - tloušťkoměr

# 1. ÚVOD

Výzkum ultrazvuku v oblasti fyziky byl prováděn již ve druhé polovině 19. století. První návrh o využití ultrazvukové energie byl v roce 1912, když po zkáze lodi Titanik L.F. Richardson navrhl identifikovat překážky na moři pomocí ultrazvuku. V období 1. světové války se tento návrh posuzoval s ohledem na aplikaci při indikaci ponorek. Základy ultrazvukové defektoskopie kovů položil ve 40. letech 20. století S.J. Sokolov, který publikoval návrh postupu zjišťování vnitřních nehomogenit prostředím ultrazvukem.

Ultrazvuk se uplatňuje prakticky ve všech přírodních vědách a pronikl i do mnoha odvětví techniky. Výhodou ultrazvuku je možnost měřit nedestruktivně, a to i na součástech přístupných jen z jedné strany. Další výhodou je to, že ultrazvuk umožňuje provést proces kontroly velkou rychlostí a získat trvalí záznam o zkoušce, informace o vnitřním stavu materiálu se převádějí na elektrický signál.

## 1.1 K zadání

Mocným nástrojem ke kontrole a následnému zlepšení jakosti litiny v odlitcích se stává nedestruktivní strukturoskopie. Kde se ultrazvuk využívá při zjišťování mechanických vlastností litin a jejich zařazení do jakostních tříd a ke zjišťování tvaru grafitu v litině. Použití ultrazvuku se stává nedílnou součástí systému kontroly odlitků ve slévárnách. Cílem této práce je výzkum ultrazvukového tloušťkoměru DIO 570 firmy STARMANS v ultrazvukové strukturoskopii litin. Vymezení optimálních podmínek měření pro určování tvaru grafitu a modulu pružnosti v litinách. Dále jeho vhodnost do vývojového zařízení SYLIT, které na bázi PC sdruží metodu akustickou s metodou pro komplexní popis mechanických vlastností lokálních oblastí litinových odlitků.

## 2. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ULTRAZVUKU

### 2.1 Základní pojmy

#### 2.1.1 Ultrazvukové vlny

Ultrazvuk jsou mechanické kmity částic prostředí, které mají frekvenci vyšší než 20 kHz. Podle účinku známe dva druhy ultrazvuku a to aktivní a pasivní. *Aktivním ultrazvukem* jsou ultrazvukové vlny, u nichž se při svém šíření prostředí projevují fyzikální nebo chemické účinky, jako je tomu při ultrazvukovém čištění, vrtání, svařování atd.

*Pasivní ultrazvuk* se od aktivního liší hlavně svým menším, obvykle zanedbatelným výkonem. Používá se na zjišťování vnitřních vad materiálu, v ultrazvukové měřicí technice a v neposlední řadě i diagnostice v lékařství.

#### 2.1.2 Kmitání

V této práci se budeme zabývat pouze s ultrazvukem pasivním, který se vyznačuje malými amplitudami kmitajících částic, které se nijak neliší od sinusového tvaru. Takový druh kmitání můžeme popsat vlnovou rovnicí

$$\frac{\partial^2 a}{\partial t^2} = c \frac{\partial^2 a}{\partial x^2}$$

Její partikulární řešení  $a = A \sin \omega(t - \frac{x}{c})$  je rovnicí pro *harmonický pohyb*.

Rychlost kmitání částic kolem rovnovážné polohy, tzv. akustická rychlost je dána vztahem

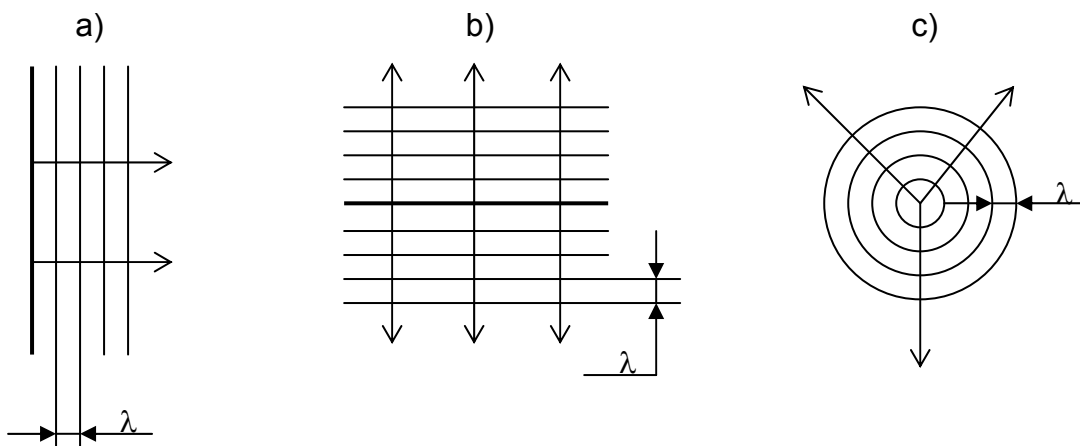
$$v = \frac{da}{dt} = \omega A \cos(\omega t - \varphi)$$

Při harmonickém kmitání se okamžitá výchylka  $a$  opakuje po čase  $T = \frac{1}{f}$ , což je vztah pro periodu kmitů. Vzdálenost dvou míst, v nichž částice kmitají v téže fázi, je dána vztahem

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \tag{1}$$

### 2.1.3 Tvary vln

Ultrazvuková vlna se v neohrazeném prostředí šíří od svého zdroje prostorově. Sousedící částice, které kmitají ve stejné fázi tvoří vlnoplochu. Podle tvaru vlnoplochy rozdělujeme tvary vln, základní jsou na obr. 2.1.



Obr. 2.1. Tvary ultrazvukových vln

a) rovinná b) válcová c) kulová

### 2.1.4 Akustický tlak

Při průchodu ultrazvukové vlny prostředím vzniká akustický tlak  $p$ , který je s akustickou rychlostí  $c$  vázán vtažem

$$p = z \cdot c \quad (2)$$

Kde  $z$  je měrná akustická impedance. Nazýváme ji také akustickým vlnovým odporem daným výrazem  $\rho c$ . Tato veličina je významným činitelem popisujícím prostředí a majícím podstatný vliv na odraz a přestup ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí.

### 2.1.5 Druhy vln

Ultrazvukové vlny šířící se prostředím rozdělujeme podle způsobu pohybu částic prostředí vzhledem ke směru postupu vlny. Nejběžnější a nejznámější jsou *podélné* ultrazvukové vlny, kdy částice prostředí kmitají přímočaře ve směru šíření vlny. Tyto vlny lze pokládat za nejdůležitější, protože se mohou šířit každým prostředím, ať tuhým, kapalným nebo plynným. Jedinou

podmínkou, aby se v prostředí mohla šířit podélná vlna, jsou jeho dostatečně velké rozměry vzhledem k délce vlny  $\lambda$  [1].

Dalším důležitým druhem vln, jsou vlny *příčné*. Tyto vlny se vyznačují tím, že částice kmitají kolmo na směr šíření vlny. Při šíření příčných vln se nemění objem prostředí, narozdíl od vln podélných.

Mezi další druhy patří vlny *Rayleighovy (povrchové)*, *Loveovy a Lambovy (deskové)*.

## 2.2 Rychlost šíření ultrazvuku

### 2.2.1 Tuhé látky

Tuhé látky se liší od kapalin a plynů mnohem vyššími meziatomárními vazebnými silami, a proto snázejí i smykové namáhání. V důsledku toho jsou tyto látky jediné, které mohou přenášet všechny druhy ultrazvukových vln [2].

Rychlost šíření ultrazvuku je charakteristická pro různé typy vlnění a závislá na rozměrech tuhého prostředí, kterým se ultrazvuk (vlnění) šíří. Zároveň je také rychlost závislá na elastických konstantách materiálu. Izotropní tělesa jsou charakterizována dvěma nezávislými konstantami pružnosti a krystaly mají více než dvě konstanty pružnosti. Počet konstant vzrůstá s klesající souměrností.

Rychlost šíření podélných vln  $c_L$ :

a) v neohrazeném prostředí - rozměr tělesa je mnohem větší než délka vlny

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (3)$$

b) v prostředí, kde jeden rozměr, kolmý na směr šíření, je ohraničen (deska )

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{1-\mu^2}} \quad (4)$$

c) v prostředí, kde dva rozměry kolmé na směr šíření jsou ohraničeny ( tyč )

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (5)$$

Rychlost šíření příčných vln v neohrazeném prostředí  $c_T$ :

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \quad (6)$$

Prostředí	Rychlost šíření ultrazvukových vln $c$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	
	Podélných $c_L$	Příčných $c_T$
Hliník	6320	3080
<b>Litina</b>	<b>3500 až 5600</b>	2200 až 3200
Měď	4700	2260
Mosaz	3830	2123
<b>Ocel</b>	<b>5900 až 6000</b>	3260
Olovo	2160	700
Stříbro	3600	1590
Wolfram	5460	2620
Zlato	3240	1200

Tab. 2.1. Rychlosti šíření podélných i příčných vln v některých pevných látkách

### 2.3 Útlum ultrazvukových vln

Ultrazvukové vlny, které prochází prostředím, ztrácejí svoji energii a akustický tlak. Vlastní útlum ultrazvukových vln je dvojího druhu:

- a) pohlcování ( absorpce ) – Mechanická energie se mění v tepelnou. Tento útlum způsobuje vnitřní tření kmitajících částic. Pohlcování je přímo úměrné frekvenci.

- b) rozptyl – Vyskytuje se zejména v tuhých látkách, protože většina z nich není naprosto homogenní a izotropní, takže se v nich vyskytují rozhraní, kde dochází k odrazu, lomu a ohybu ultrazvukových vln. Závisí na poměru velikosti zrna  $\bar{D}$  a délky vlny  $\lambda$ .

Pokles akustického tlaku je dán vztahem

$$P_l = P_0 e^{-\alpha \cdot l} \quad (7)$$

Součinitel útlumu je často vyjadřován vztahem

$$\alpha = a_A \cdot f + a_R \cdot \varphi(f) \quad (8)$$

$$\varphi(f) = \frac{\lambda}{D} \quad (9)$$

V tuhých látkách se obecně uplatňují ztráty pohlcováním a rozptylem a činitel útlumu je dán součtem dílčích útlumů  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

Útlum omezuje možnost zjišťovat v materiálu malé vady a snižuje rozlišovací schopnost v závislosti na tloušťce. Vliv útlumu lze omezit jedině použitím nižší frekvence. Nižší frekvence je nutno volit pro zkoušení látek s hrubou strukturou nebo materiálů nehomogenních jako je beton, keramika, horniny, dřevo a šedá litina. Pro technické materiály platí mezi útlumem a frekvencí vztah  $\alpha = c \cdot f^m$  kde c, m, jsou konstanty závislé na materiálu [3].

Mezi útlumem kovového materiálu se strukturou tvářenou nebo litou je značný rozdíl. Tvářením se snižuje velikost zrna, to způsobí snížení útlumu a zvýšení rychlosti šíření ultrazvuku. Proto mezi útlumem a rychlostí šíření je nepřímá úměrná závislost.

Materiály s licí strukturou, např. odlitky nebo svary, se projevují velkým zrnem a proto jejich útlum bývá až o řád vyšší. Také orientace zrn licí struktury má vliv na útlum ultrazvuku. Převažující vliv na útlum v polykrystalických látkách má rozptyl a proto útlum lze sledovat i podle šumu, který vzniká odrazy od zrn materiálu. Při větším zesílení se tento šum (tzv. tráva) pozoruje na obrazovce přístroje.

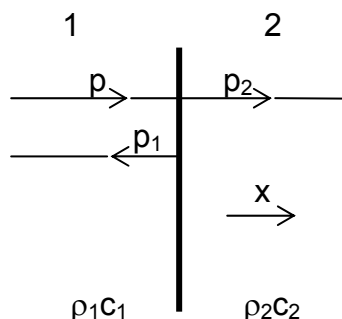
Prostředí	Útlum vln $\alpha$ (dB.mm <sup>-1</sup> )	
	Podélných $\alpha_L$	Příčných $\alpha_T$
<b>Ocel feritická</b>	<b>0,01 až 0,1</b>	0,02 až 0,3
<b>Ocel austenitická</b>	<b>0,03 až 0,4</b>	0,1 až 0,5
Hliník	0,001 až 0,04	0,003 až 0,04
Hořčík	$5 \cdot 10^{-4}$ až $3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$ až $8 \cdot 10^{-3}$
Měď	0,05 až 0,2	-
Okenní sklo	0,006	-
Plexisklo	0,5	-
Polystyren	0,4	-
Voda	$5 \cdot 10^{-4}$	-
<b>Litiny</b>	<b>až o řád vyšší než u oceli</b>	

Tab. 2.2. Útlum ultrazvuku v některých prostředích při frekvenci 2 MHz a teplotě 20°C

## 2.4 Odraz a lom rovinné vlny

### 2.4.1 Kolmý dopad na rozhraní

Šíření ultrazvukových vln je ovlivňováno každým rozhráním, na kterém nastává odraz a při šikmém dopadu i k lomu vln. Při kolmém dopadu na rozhraní se část akustického tlaku  $p_1$  odrazí zpět do prostředí 1, zatímco část  $p_2$  projde do prostředí 2.



Obr.2.2 Kolmý dopad ultrazvukové rovinné vlny na rozhraní prostředí 1 a 2



Dopadající a odražené vlny lze pro akustické tlaky popsat vztahy

$$p = P \sin \omega \left( t - \frac{x}{c_1} \right) = \rho_1 c_1 v \quad (10)$$

$$p_1 = P_1 \sin \omega \left( t + \frac{x}{c_1} \right) = -\rho_1 c_1 v_1 \quad (11)$$

$$p_2 = P_2 \sin \omega \left( t - \frac{x}{c_2} \right) = \rho_2 c_2 v_2 \quad (12)$$

Dráha  $x$  je kladná ve směru dopadající vlny. Proto v rovnici (11) je záporné znaménko u členu vyjadřujícího fázový posun, protože odražená vlna postupuje v záporném směru dráhy.

Pro součinitele odrazu platí

$$R = \frac{P_1}{P} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} = \frac{1 - m}{1 + m} \quad (13)$$

Pro součinitele průchodu platí

$$D = \frac{P_2}{P} = \frac{2}{1 + m} \quad (14)$$

$$\text{Kde } m = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}$$

$P, P_1, P_2$  – amplitudy akustického tlaku dopadající, odražené a procházející vlny

## 2.4.2 Šikmý dopad na rozhraní

### 2.4.2.1 Lom vln

Při šikmém dopadu ultrazvukové vlny na rozhraní dvou prostředí dochází k jejímu odrazu a lomu. Odražené a lomené vlny mohou být v tuhém prostředí obecně dvě a to podélná a příčná. Tento jev, kdy vzniká vlna jiného druhu než má vlna dopadající, nazýváme transformací vlny. Lom ultrazvukové vlny je změna směru jejího šíření vzhledem ke směru vlny dopadající. Jde-li o dvě

neohraničená prostředí mohou v každém z nich odrazem a lomem vzniknout dvě vlny, jedna podélná a druhá příčná, která je polarizována v rovině dopadu určené paprsky obou vln a příslušnou kolmicí dopadu. Úhly všech složek se udávají od normály k rozhraní v místě dopadu paprsku a jejich vztah je dán Snellovým zákonem [2].

$$\frac{\sin \alpha_{L1}}{c_{L1}} = \frac{\sin \alpha_{T1}}{c_{T1}} = \frac{\sin \alpha_{L2}}{c_{L2}} = \frac{\sin \alpha_{T2}}{c_{T2}} \quad (15)$$

Poměr rychlostí šíření  $c_1 / c_2$  se nazývá indexem lomu.

#### 2.4.2.2 Odraz a průchod vln

Při šikmém dopadu ultrazvuku na rozhraní mohou nastat různé případy podle druhu hraničících prostředí. Pro zkoušení materiálu má význam případ tzv. volného rozhraní, kdy tuhá látka hraničí s plynem. V tuhém prostředí se může vyskytnout podélná a příčná vlna. Velikosti součinitelů odrazu a průchodu udávají poměr amplitud příslušné vlny k vlně dopadající a závisí na úhlech jednotlivých vln, poměru jejich akustických vlnových odporů, rychlostí šíření a na hustotách prostředí.

##### 1. Dopad podélné vlny

Činitel odrazu podélné vlny

$$R_{LL} = \frac{L_1}{L} = \frac{\left(\frac{c}{c_{L1}}\right) \sin 2\alpha_{L1} \sin 2\alpha_{T1} - \cos^2 2\alpha_{T1}}{A} \quad (16)$$

Činitel odrazu příčné vlny

$$R_{LT} = \frac{T_1}{L} = \frac{2\left(\frac{c_{T1}}{c_{L1}}\right)^2 \sin 2\alpha_{L1} \cos 2\alpha_{T1}}{A} \quad (17)$$

## 2. Dopad příčné vlny

Činitel odrazu příčné vlny

$$R_{TT} = \frac{T_1}{T} = \frac{\left(\frac{c_{T1}}{c_{L1}}\right)^2 \sin 2\alpha_{L1} - \cos^2 2\alpha_{T1}}{A} \quad (18)$$

Činitel odrazu podélné vlny

$$R_{TL} = \frac{L_1}{T} = -\frac{\sin 4\alpha_{T1}}{A} \quad (19)$$

## 2.5 Ultrazvukové impulzy

Délku vlny  $\lambda$  můžeme definovat vždy, když jsou ultrazvukové vlny vysílány do prostředí spojitě nebo ve tvaru impulzů. S ultrazvukovými impulzy se často setkáváme v měřicí technice. Jejich použití má značný význam pro stanovení hloubky nebo vzdálenosti, která je přímo úměrná době průchodu ultrazvukového impulzu vyšetřovaným prostředím.

Ultrazvukové impulzy které se odráží od předmětu v prostoru se nazývají ECHA. Tyto signály získané odrazem nebo průchodem ultrazvukových impulzů lze vyhodnocovat několika způsoby, a to jednak zobrazením na stínítku nebo číslicově (displej tloušťkoměru). V ultrazvukové defektoskopii se rozlišují zobrazení typu A, B a C. Nejjednodušší je zobrazení A, které je jednorozměrné, jedna souřadnice je délková. Pro zobrazení impulzů slouží stínítko obrazovky nebo u současných modernějších přístrojů grafický displej. Na vodorovné ose se odčítá doba průchodu impulzu a na ose svislé je vidět výška impulzu, která je druhým parametrem zobrazení. Výška impulzu odpovídá velikosti akustického tlaku přijímaného elektroakustickým měničem v sondě.

Na tvar impulzů má vliv druh měřeného či zkoušeného materiálu, kde záleží na velikosti jeho útlumu. Čím větší útlum, tím větší rozdíl výšek počátečního a koncového echa. Dalším vlivem na tvar impulzů je elektronika přístroje, zvláště kvalita měniče (krystalu). Nejdeálnější impulzy jsou takové, které mají kolmé čelo, u těchto impulzů dosahujeme daleko větších přesností měření.

## 3. VYUŽITÍ ULTRAZVUKU - DEFEKTOSKOPIE

Defektoskopie je aplikačním oborem fyziky, využívá všech fyzikálních principů, jejím hlavním úkolem je jednoduchým a reprodukovatelným způsobem podat informace o vnitřním stavu materiálu. Neustále dochází k jejímu rozvoji, tak jak se vyvíjí měřicí technika [3].

### 3.1 Defektoskopické zkoušky

Defektoskopické zkoušky patří do skupiny tzv. zkoušek bez porušení. Ve strojírenské výrobě mají největší význam. Tyto zkoušky mohou být podle potřeby provedeny jak u všech vyrobených součástí, tak i v celém jejich objemu, takže umožňují až 100% kontrolu vlastností výrobků.

Defektoskopické zkoušky umožňují zjišťování skrytých povrchových i vnitřních vad, které porušují celistvost materiálu. Hlavní význam těchto zkoušek je v tom, že umožňují včasné odhalení a průkazné zjištění skrytých vad již během výrobního procesu, před dalšími výrobními operacemi. Skryté vady ohrožují provozní bezpečnost součástí tím, že zeslabují nosný průřez součástí, mají často nebezpečný vrubový účinek, snižují odolnost proti korozi nebo ji přímo vyvolávají, zaviňují netěsnost výrobku apod.

Mezi nejdůležitější defektoskopické metody patří metody prozařovací, ultrazvukové, magnetické a indukční, kapilární.

#### 3.1.1 Zkoušení Ultrazvukem

Při ultrazvukových zkouškách se používá podélných a příčných ultrazvukových vln o frekvenci zhruba 1 až 10 MHz. Ultrazvukové vlny lze budit piezoelektrickými, nebo elektrostričními měniči. Tyto měniče převádějí elektrickou energii na mechanickou a naopak. Pro ultrazvukovou měřicí techniku mají význam pouze *piezoelektrické a magnetostrickní měniče*, v nichž dochází k přeměně energie na úrovni molekul prostřednictvím elastických a elektromagnetických vazeb.

Mezi látky s přirozenými piezoelektrickými vlastnostmi patří např. křemen, turmalín, piezokeramika atd. Tyto látky se vyskytují ve formě krystalů, jejichž

ionty, tvořící krystalovou mřížku, jsou uspořádány tím způsobem, že při deformaci krystalu se negativní a pozitivní ionty posunou tak, že každý element krystalu získá elektrický dipólový moment a na celém krystalu vznikne náboj. Tento jev se nazývá *Piezoelektrický jev*.

Ultrazvuková defektoskopie má několik základních metod, z nichž každá je použitelná za určitých předpokladů. Mezi ultrazvukové metody patří metoda průchodová, odrazová, rezonanční, atd. Nejdůležitější metody z hlediska zkoušení materiálu ultrazvukem jsou v tab. 3.1.

Druh metody	Použití	Omezení
Průchodová impulsová	Tenké materiály, prostředí s vysokým útlumem	Malá rozlišovací schopnost vad
Odrazová metoda	Všeobecné použití pro zjišťování, vyhodnocení vad a měření tloušťky	Mrtvé pásmo: nevyhovuje u velmi tenkých materiálů

Tab. 3.1. Metody ultrazvukové defektoskopie

### 3.1.1.1 Odrazová impulsová metoda

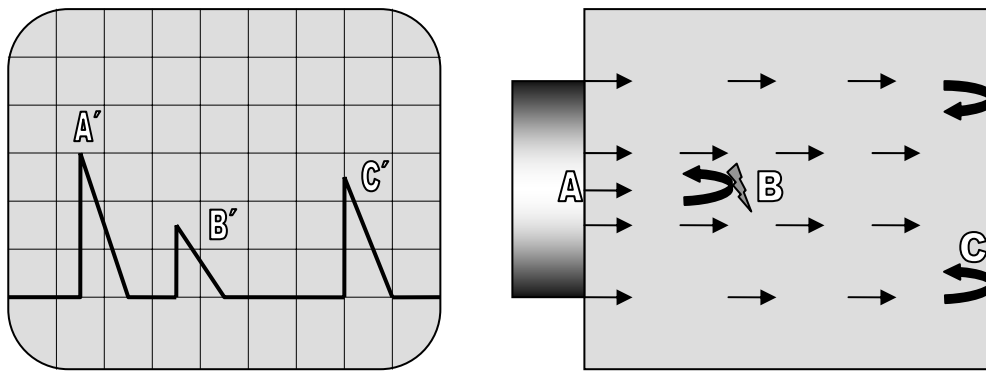
Nejvýhodnější a nejpoužívanější metodou je odrazová impulsová metoda. Tato metoda je všestranně použitelná a poskytuje nejvíce informací o vyšetřovaném předmětu, a to jak o jeho necelistvostech, tak i o struktuře materiálu, rozměrech apod. Do kontrolovaného prostředí se vysílají krátké impulzy, které se odrážejí od všech akustických rozhraní. Výhodou této metody je možnost vysílat i přijímat ultrazvukové vlny stejným elektroakustickým měničem. Můžeme kontrolovat předměty u nichž je přístupný povrch pouze z jedné strany. Lze určit hloubku nebo vzdálenost necelistvosti, podle výšky echa můžeme zjistit i velikost necelistvosti.

Další výhodou odrazové impulsové metody je menší závislost na akustické vazbě mezi sondou a materiálem. Necelistvost materiálu můžeme lokalizovat i při podstatně zhoršené akustické vazbě.

*Akustická vazba* je místo mezi sondou a kontrolovaným materiálem. Nevhodné akustické vazební prostředí může podstatně snížit spolehlivost ultrazvukové kontroly. Akustická vazba se obvykle provádí mazacími tuky, kapalinovými vrstvami nebo speciálními pastami. Druhy akustických vazeb:

1. Kontaktní – znakem tohoto druhu akustické vazby je tloušťka  $d_v$  vazební vrstvy, která je menší než délka vlny  $\lambda_v$ . Sonda je tedy v těsném kontaktu s povrchem materiálu. Jako vazební prostředí při kontaktní vazbě se používají kapaliny jako jsou oleje, petrolej, glycerín nebo různé druhy vazelín a past.
2. Mezerová – při této vazbě je mezi sondou a povrchem materiálu mezera, jejíž tloušťka  $d_v$  je srovnatelná s délkou vlny  $\lambda_v$ . Při zkoušení kovových materiálů jde tedy o tloušťky od několika milimetru do jednoho až dvou centimetrů. Sonda je upevněna v držáku tak, aby se při nastavování mezery neotáčela.
3. S předsádkou – při akustické vazbě s předsádkou je mezi sondou a zkoušeným materiálem tlustá vrstva  $d_v$  vazebního prostředí, která je větší než délka vlny  $\lambda_v$ . Vazební vrstvu může tvořit kapalina.

Jako indikátoru při zkoušení pomocí odrazové impulsové metody se používá obrazovky (displeje). Princip metody je zobrazen na obr. 3.1. V okamžiku vyslání ultrazvukového impulsu se objeví na displeji vyslaný impuls  $A'$  ( tzv. počáteční echo). Od necelistvosti B se odrazí ultrazvukový impuls a na displeji se zaznamená poruchové echo  $B'$ , dále se zobrazí koncové echo  $C'$  odražené od konce součásti C. Vzdálenost mezi počátečním echem  $A'$  a koncovým  $C'$  je úměrná tloušťce zkoušeného tělesa. Metoda odrazová impulsová se proto využívá i při **měření tloušťek stěn ultrazvukem**.



Obr. 3.1. Princip odrazové impulsové metody

## 3.2 Měření tloušťek stěn ultrazvukem

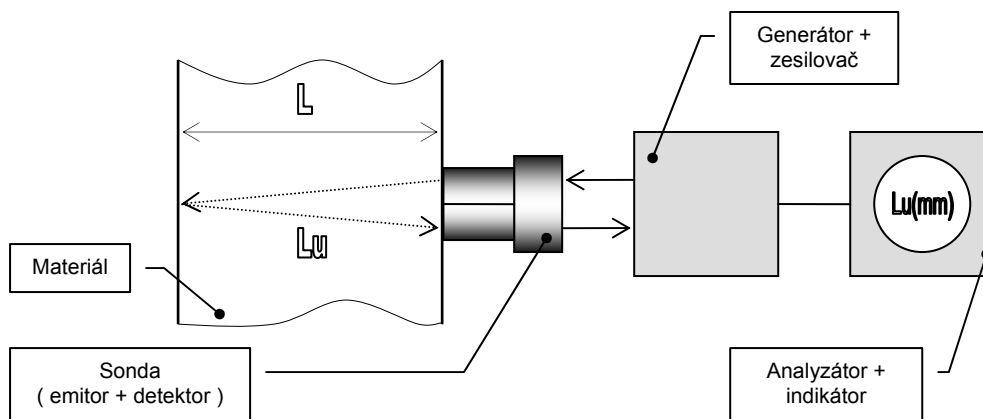
Měření tloušťky ultrazvukem je nejjednodušší aplikací ultrazvukových vln v defektoskopii. Úzce souvisí s jejich měřením rychlosti šíření. Předpokladem pro měření tloušťky je totiž znalost rychlosti šíření v měřeném prostředí. Pro měření tloušťky v technické praxi se převážně používá impulsová metoda, jejíž přednost se projevuje při měření tloušťky uzavřených nádob, potrubí a jiných výrobků přístupných pouze z jedné strany.

### 3.2.1 Tloušťkoměry

K měření tloušťek stěn se používá ultrazvukových tloušťkoměrů, které měří čas za který se vrátí vyslaný ultrazvukový impuls odražený od protilehlého povrchu měřeného předmětu. V minulosti se používaly číslicové přístroje bez obrazovky. Jejich základem byly monitory pro dobu průchodu, které vyhodnocovali čas, který potřebuje ultrazvukový impulz k průchodu prostředím. V dřívějších přístrojích byly používány analogové obvody osazeny elektronkami nebo tranzistory. V současnosti se využívá digitálních tloušťkoměrů, které mají široký funkční rozsah a komunikují s PC pomocí speciálních softwarů. K základním vlastnostem tloušťkoměrů patří především přesnost, opakovatelnost měření a spolehlivost přístroje. Stále častější jsou požadavky na měření na zakřiveném povrchu, hrubém povrchu či malé tloušťky. Právě při těchto aplikacích se projevují rozdíly mezi jednotlivými přístroji a cena přístroje se stává až druhotnou. Na spolehlivost a přesnost měření má velký vliv nejen přístroj samotný, ale také sonda.

### 3.2.1.1 Princip tloušťkoměru

Princip ultrazvukového tloušťkoměru (obr. 3.2.) je založen na velmi přesném měření časové odlehlosti  $\Delta t$  mezi emisí krátkého akustického pulsu ultrazvukovým emitorem a jeho absorpcí detektorem. Vyslaný signál se šíří v měřeném prostředí od vstupního povrchu ke druhému rozhraní, od kterého se odráží zpět.



Obr. 3.2. Princip tloušťkoměru

Pro takto užívané uspořádání platí jednoduchá formule, která je současně principem celého měření:

$$2Lu = c\Delta t \rightarrow Lu = \frac{1}{2}c_L\Delta t \quad (20)$$

Neznámá rychlost ultrazvuku měřeného materiálu se může určit rovnou z displeje tloušťkoměru, umožňuje-li to přístroj, nebo se určí ze vztahu (21). Kde  $L$  je tloušťka zkoušeného materiálu a  $Lu$  je akustická dráha. Při určování rychlosti v měřeném materiálu, u kterého neznáme rychlost šíření ultrazvuku, vždy vycházíme ze známe rychlosti šíření pro oceli  $c_{L0} \cong 5920 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rychlost ultrazvuku je důležitá pro stanovení mechanických vlastností měřeného materiálu (elastických konstant).

$$c_L = c_{L0} \cdot \frac{L}{Lu} \quad (21)$$



### 3.2.1.2 Hlavní části tloušťkoměru

1. Generátor - je elektronický obvod, který vybudí elektroakustický měnič, aby vyslal ultrazvukový impulz
2. Zesilovač - zesiluje elektrické signály, které vznikají dopadem ultrazvukových impulzů
3. Analyzátor - vyhodnocuje amplitudové spektrum a zobrazuje jej na displej
4. Indikátor - obrazovka, displej
5. Sonda - slouží k vysílání a přijímání ultrazvukových impulzů

### 3.2.2 Sondy - piezokeramické

Pro zkoušení materiálu ultrazvukem se převážně využívají sondy s piezokeramickými měniči, které vysílají a přijímají ultrazvukové impulzy. Sondy pro zkoušení materiálů pracují jako vysílač nebo jako přijímač. U měření tloušťek stěn pracuje sonda současně jako vysílač a přijímač (dvojitá sonda).

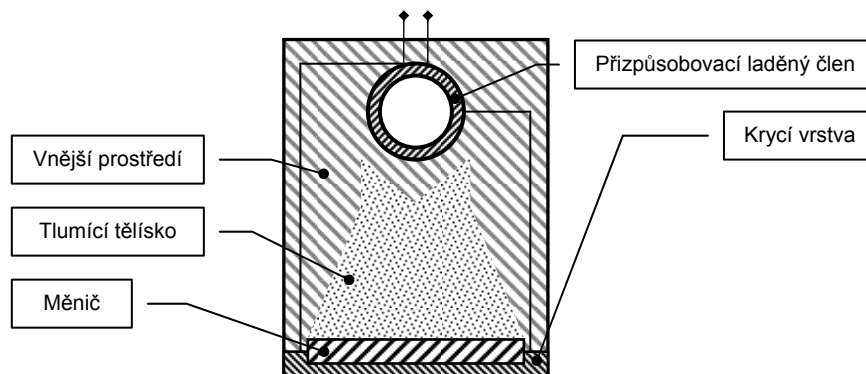
Sonda musí splňovat několik požadavků. Mezi hlavní požadavky patří maximální možný vysílací *impulsový výkon* při minimální šířce impulzu, dostatečná *citlivost* pro příjem krátkých impulzů, dobrá *rozlišovací schopnost*, minimální *mrtvé pásmo* při jednoměničovém provozu, kdy sonda pracuje jako vysílač a vzápětí jako přijímač. Další požadavek je možnost dobrého *akustického navázání* na povrch zkoušeného materiálu při kontaktní a mezerové akustické vazbě.

Hlavním parametrem sondy je její frekvence. *Frekvence sondy* se volí podle typu zkoušeného materiálu a jakosti povrchu. Vhodné zvolení frekvence je důležité z hlediska útlumu ultrazvukových vln. Předpokládáme, že útlum je v určitém materiálu tím menší, čím je větší vlnová délka  $\lambda$  použité sondy, tzn. čím nižší bude její frekvence. Sondy o nízké frekvenci mají však velkou šířku impulzu a tím i velkou mrtvou zónu. Nejběžněji používanými frekvencemi jsou 2 – 4 MHz, avšak není výjimkou zkoušení s frekvencí 10 - 15 MHz.

Uvedené požadavky daly vznik různým typům a druhům ultrazvukových sond. Podle směru, kterým sonda vyzařuje vzhledem k povrchu prostředí, dělíme sondy na *přímé* a *úhlové*. Oba typy sond mohou obsahovat jeden nebo dva měniče. Podle způsobu akustického navázání jsou sondy *kontaktní* a *imerzní* (sondy s *předsádkou*).

### 3.2.2.1 Přímé sondy - jednoduché

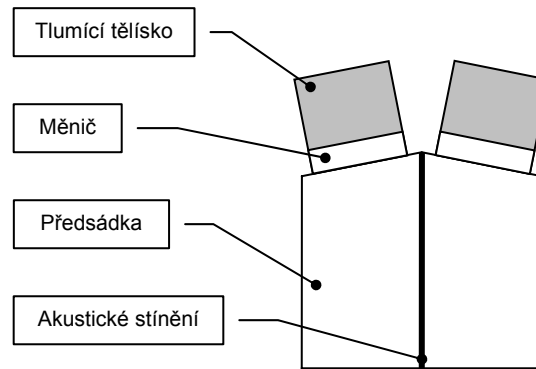
Přímé sondy vysílají a přijímají ultrazvukové impulzy kolmo na stykovou plochu. Jednoduché sondy jsou osazeny jedním piezoelektrickým měničem, který vysílá i přijímá a to podélné i příčné vlny. Nevýhodou těchto sond je velké mrtvé pásmo, proto tyto sondy nevyhovují při měření tenkých součástí, v nichž je doba průchodu porovnatelná s trváním ultrazvukového impulzu.



Obr. 3.3 Jednoduchá sonda

### 3.2.2.2 Přímé sondy – dvojitě

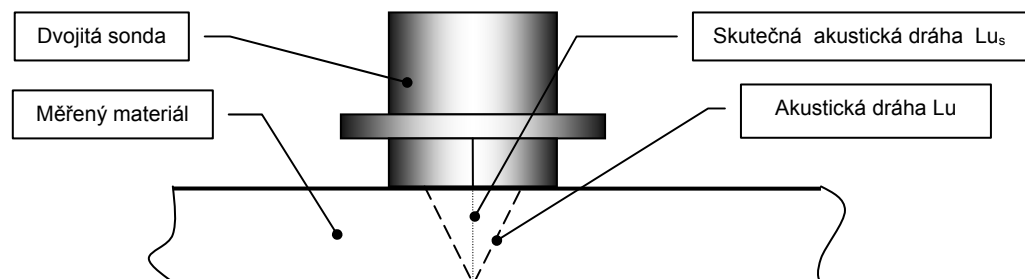
Dvojitě sondy slouží k měření malých tloušťek, v nichž jeden měnič slouží k vysílání a druhý k příjmu. Měníče jsou obvykle přilepeny na předsádky z plastu, které zpožďují průchod impulzu mezi měniči a povrchem zkoušeného materiálu.



Obr. 3.4. Dvojitá sonda

Mezi vysílacím a přijímacím měničem dvojité sondy je *akustické stínění*, které zamezuje přeslech mezi oběma díly sondy. *Tlumící tělísko* má být co nejlépe akusticky přizpůsobeno na akustický odpor měniče, aby vícenásobné odrazy v měniči byly minimální. Nejčastěji je zhotoveno ze zrnitého wolframového prášku spojeného některou pryskyřicí, obvykle epoxidovou. *Předsádka* je akustické zpožďovací prostředí, kde je taková doba průchodu ultrazvukového impulsu, která je vhodná nebo nutná vzhledem k tloušťce zkoušeného materiálu. Zároveň chrání měnič před poškozením. Předsádka je buď tuhá nebo kapalná.

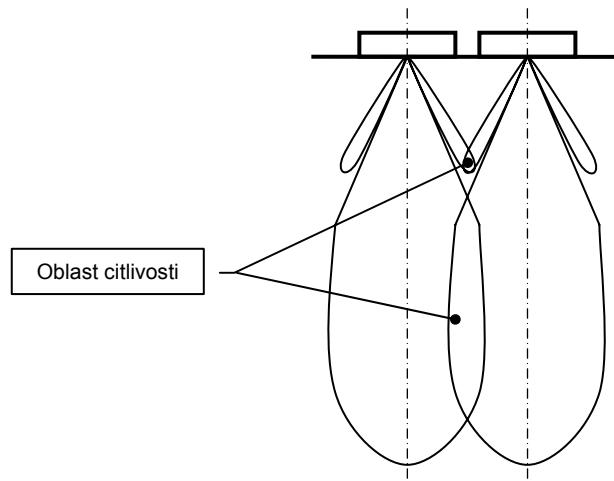
Při použití dvojitých sond musíme počítat s tzv. *V-efektem* neboli *V-dráhou*, která zkresluje dobu průchodu ultrazvuku měřenou součástí (obr. 3.5.) Projevuje se hlavně u měření tenkých součástí. U kvalitnějších tloušťkoměrů lze automaticky provádět korekci V-dráhy.



Obr. 3.5. V-dráha při průchodu ultrazvuku

### 3.2.2.3 Citlivost sond

Dvojité sondy, obdobně jako přímé jednoduché sondy, mají největší citlivost v určité hloubce pod povrchem. Tato hloubka se řídí sklonem měničů. Oblast citlivosti je však menší než u sondy jednoduché.



Obr. 3.6. Oblast citlivosti dvojitě přímé sondy

S citlivostí sond úzce souvisí jejich vyzařovací diagram (obr. 3.7.) Tento diagram se skládá ze dvou oblastí a to z blízkého a vzdáleného pole. Zobrazuje průběh citlivosti sondy v závislosti na tloušťce prozvučované součásti. Blízké pole je vzdálenost  $l_0$  od povrchu materiálu k akustickému ohnisku a závisí na průměru měniče a frekvenci sondy. V místě kde se nachází akustické ohnisko  $f_{ak}$  má sonda největší citlivost.

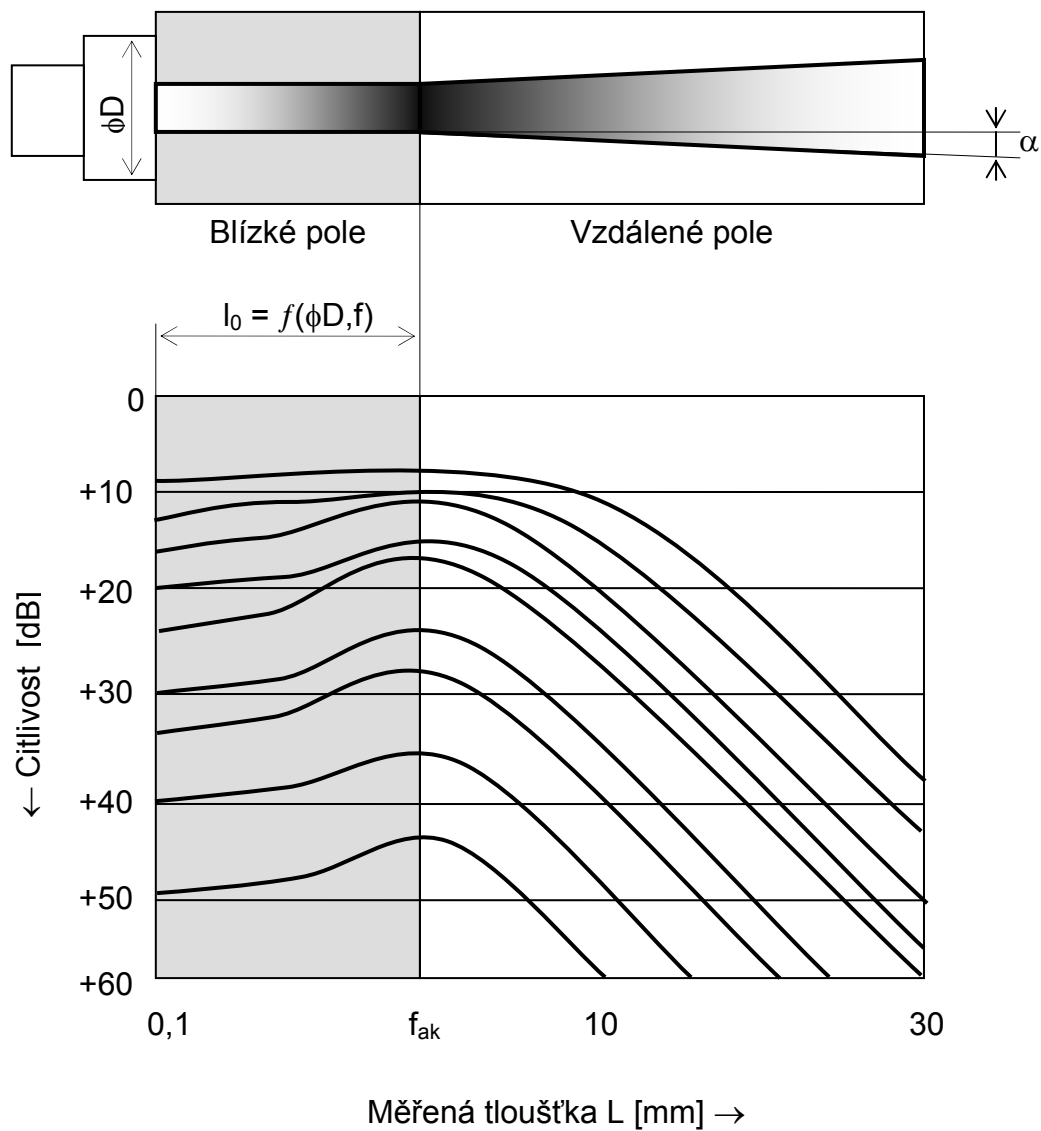
Vzdálené pole je oblast za akustickým ohniskem, kde se důsledkem útlumu a poklesu akustického tlaku citlivost s rostoucí tloušťkou snižuje a na rozdíl od blízkého pole, kde se průřez ultrazvukového svazku nepatrně zužuje, dochází k rozevření svazku. Tvar vyzařovacího diagramu a tím i zjištění vzdálenosti  $l_0$  závisí na typu použité sondy a na druhu prozvučovaného materiálu.

Pro výpočet vzdálenosti  $l_0$  platí

$$l_0 = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (22)$$

Pro úhel rozevření platí vztah

$$\sin \alpha = 1,2 \frac{\lambda}{D} \tag{23}$$



Obr. 3.7. Vyzařovací diagram sondy

### 3.2.3 Bezkontaktní měření ultrazvukem

Klasické piezokeramické sondy mají omezení v tom, že pro přenos ultrazvukové energie do měřeného materiálu potřebují kontakt s měřeným materiálem aby se uskutečnil přenos ultrazvukové energie. Tento kontakt docílujeme akustickou vazbou. Pro bezkontaktní měření tloušťek stěn byly vyvinuty tzv. bezkontaktní sondy, které přenášejí energii do prostředí účinkem termoelektrickým, elektromagnetickým nebo elektrickým. Jedna z metod, která využívá bezkontaktního měření je metoda EMAT.

#### 3.2.3.1 EMAT

Tato metoda pracuje jen ve vodivých a feromagnetických materiálech a umožňuje klasickým piezoelektrickým sondám řadu aplikací, která je jinak problematická. Princip sond EMAT spočívá na Lorencově síle přitažlivosti v magnetickém poli. Orientace magnetického pole má zásadní vliv na typ vybuzených ultrazvukových vln [7].

Zásadní výhody EMAT : pracuje bez nutnosti kontaktní nebo kapalinové vazby, může pracovat při vysokých teplotách, umožňuje generovat různé druhy vln

Nevýhody EMAT : pracuje pouze ve vodivém prostředí a ve feromagnetických materiálech, velmi slabý signál při zkoušení v současnosti požadovaných kritériích vad

EMAT sonda je složena z cívky o vhodných parametrech, běžná cívka je pro pásmo 2 až 5 MHz. Cívka je vhodně umístěna do magnetického pole magnetů ze vzácných zemin.

EMAT se používá ke zkoušení ocelových tyčí, trubek, tlakových nádob. Zkoušení při inspekci, především výměníků v elektrárnách, zkoušení nekovových výrobků, jako jsou kompozity, které však musí být pokryty tenkou vodivou vrstvou.

### 3.3 Aplikace ultrazvuku při zjišťování mechanických vlastností materiálu

Ze vztahů (3) až (6) vidíme, že při známé rychlosti podélných a příčných vln můžeme určit elastické konstanty jako jsou modul pružnosti E, modul pružnosti ve smyku G, poissonovu konstantu  $\mu$  a popř. objemový modul B. Měření rychlosti je velmi jednoduchá záležitost, protože můžeme použít buď pro tento účel speciálně konstruované přístroje a nebo pomocí tloušťkoměrů a univerzálních defektoskopů měříme rychlost porovnáním tloušťek etalonu (známe rychlost šíření příslušné vlny, je provedeno nacejchováním přístroje) a neznámého materiálu.

Stanovení elastických konstant materiálu vyžaduje změřit rychlosti šíření ultrazvukových vln s velkou přesností. Proto je důležitý tvar a příprava vzorku materiálu. Ten musí mít konstantní tloušťku, dostatečné rozměry ve směru kolmém k ose ultrazvukového svazku a dobrý povrch. Měření rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln nebývá obtížné. Měří se např. metodou odrazovou.

Měření rychlosti je důležité při zjišťování tvaru grafitu v litině, protože se zná závislost mezi těmito parametry. V litině s hrubým lístkovým grafitem je rychlost ultrazvukové vlny nejmenší ( $4300 \text{ m.s}^{-1}$ ) a s globulárním grafitem největší ( $5300 \text{ m.s}^{-1}$ ). Tzn., že je možné určovat stupeň sferoidizace grafitu, protože závislost mezi těmito dvěma krajními hodnotami je lineární.

E	G	$\mu$
$\frac{3c_L^2 c_T^2 - \frac{4}{3}c_T^2}{c_L^2 - c_T^2}$	$\rho c_T^2$	$\frac{c_L^2 - 2c_T^2}{2(c_L^2 - c_T^2)}$
$2G(1+\mu)$	$3B \frac{1-2\mu}{2+2\mu}$	$\frac{E}{2G} - 1$
$3B(1-2\mu)$	$\frac{3BE}{9B-E}$	$\frac{3B-2G}{2(3B+G)}$

Tab.3.2. Příklady vztahů mezi elastickými konstantami

V letech 2003 a 2004 došlo v České republice k dalšímu růstu výroby odlitků. Produkce výroby se přiblížila k produkci v jiných srovnatelných státech, přesto je však struktura výroby odlitků podle druhu materiálu z hlediska vyspělých států stále nevýhodná.

Rostoucí výroba odlitků však vede i k větším požadavkům na kontrolu samotných odlitků. Tento problém souvisí s tím, že velká část odlitků vyráběných v České republice je určena pro automobilový průmysl nebo pro odvětví, která s automobilovým průmyslem souvisejí. Často se jedná o automobilové díly, kde je otázka záruky výroby a kontroly odlitků naprosto zásadní. Na obr. 3.8. a 3.9. jsou zobrazeny příklady kontrolovaných odlitků.



Obr. 3.8. Hlavy válců



Obr. 3.9. Ojnice



Mezi nejdůležitější kontroly odlitku patří kontrola *nodularity*, nebo-li kontrola tvaru grafitu. Zvláště u automobilových odlitků, kde musí být stoprocentní jistota, že zkoušený odlitek má požadovaný tvar grafitu. Kontrola nodularity se provádí ultrazvukem. S použitím ultrazvukových tloušťkoměrů se vypočítá hodnota počátečního modulu pružnosti  $E_0$  dle vztahu (24), kde poměr  $L/Lu$  závisí na rychlosti šíření ultrazvuku a konstanta  $K$  se zjistí výpočtem z měření na štíhlých tyčích a závisí na konkrétním typu prozvučovaného materiálu (viz příloha). Hodnota počátečního modulu pružnosti číselně charakterizuje množství a velikost grafitu v prozvučované stěně odlitku. Její zjištění je rychlý a účinný kontrolní způsob jak určovat jakosti litin přímo na odlitku. V tab. 3.3. je zobrazena jakostní třída šedé litiny dle ČSN a v tab. 3.4. je základní rozdělení grafitických litin podle tvaru grafitu a jejich intervaly hodnot  $E_0$ .

$$E_0 = \left(K \cdot \frac{L}{Lu}\right)^2 \quad (24)$$

Jakost ČSN	42 2410	42 2415	42 2420	42 2425	42 2430
$E_0$ [GPa]	85	97	110	125	144

Tab. 3.3. Jakostní třída šedé litiny LLG

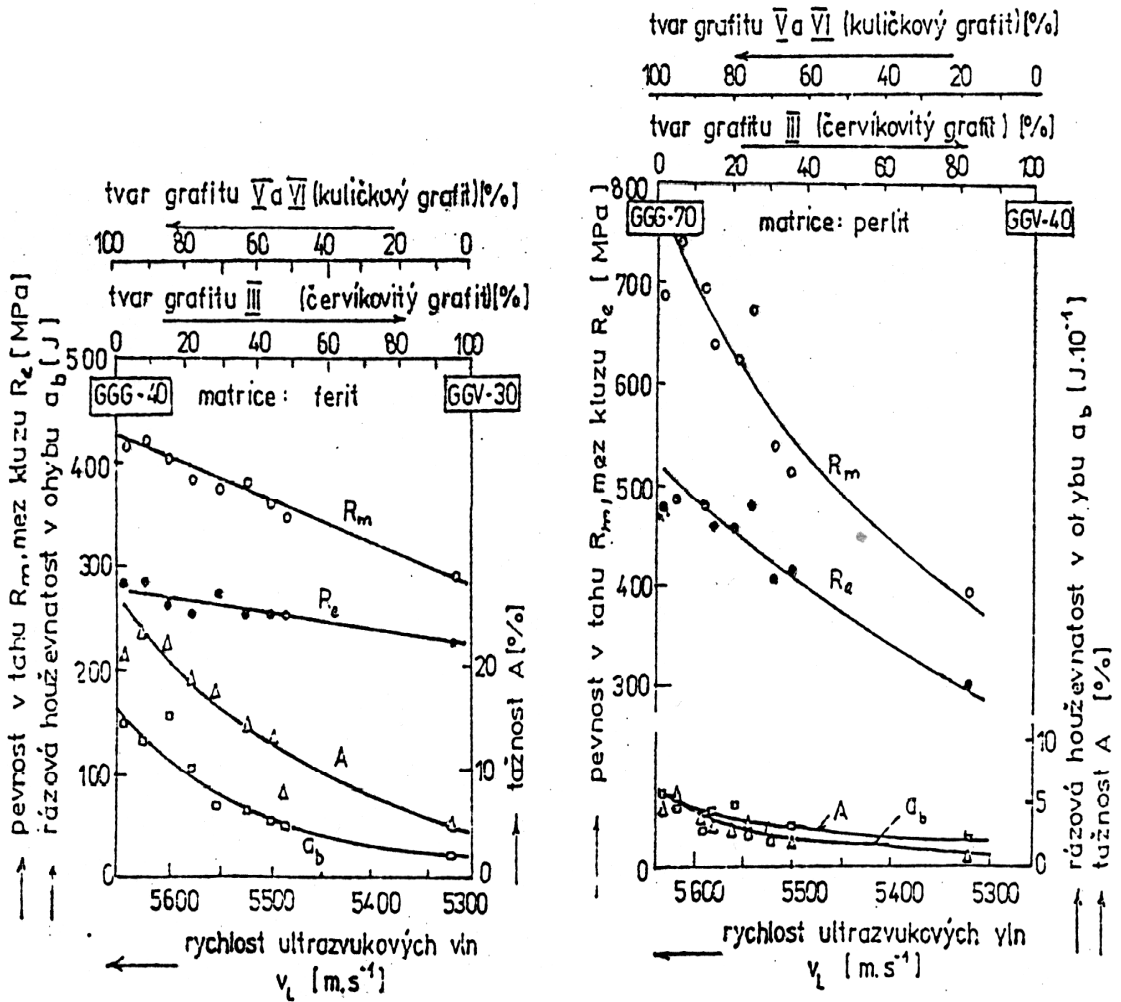
Název litiny	Zkratka	Počáteční modul pružnosti $E_0$ [GPa]
s lupínkovým grafitem	LLG	87 – 144
s červíkovým grafitem	LČG	145 – 160
s kuličkovým grafitem	LKG	165 – 175

Tab. 3.4. Rozdělení grafitických litin podle tvaru grafitu

Poměrně rozsáhlý soubor experimentů a zkoušení odlitků ultrazvukem dovolil zpracovat výsledky v grafickém vyjádření funkčních vztahů, z nichž některé jsou uvedeny v číselné podobě. Kontrola kuličkového grafitu se provádí podle vztahu (25), který je pro každou slévárnu odlišný. Podíl červíkovitého grafitu se vypočte dle vztahu (26). Pokud množství GVI je  $> 80\%$  a množství GIII je max.  $80\%$ , odlitek vyhovuje a prochází kontrolou.

$$GVI = 1132 \cdot \frac{L}{Lu} - 1000 \quad [\%] \quad (25)$$

$$GIII = 775 - 0,142 \cdot c_L \quad [\%] \quad (26)$$



Obr. 3.10. Závislost rychlosti ultrazvukových vln na tvaru grafitu

## 4. VLASTNÍ ANALÝZA - MĚŘENÍ

Cílem této práce je výzkum tloušťkoměru DIO 570, režim fakulta (naměřené hodnoty zobrazuje přímo na displeji) od firmy STARMANS v ultrazvukové strukturoskopii litin. Vymezení optimálních podmínek měření pro určování tvaru grafitu a modulu pružnosti v litinách. Poukázat na příčiny nepřesností během měření. A dále jeho vhodnost použití do vývojového zařízení SYLIT.

### 4.1 Experimenty

Experimenty se prováděly nejen na samotném tloušťkoměru DIO 570, ale také na cenově podobně dostupném tloušťkoměru DC-2000B od firmy PTS Ostrava. Dále pomocí kvalitnějšího tloušťkoměru T MIKE-EL od firmy TSI Systém a ultrazvukového defektoskopu DIO 562.

Byla realizována tři zkušební tělesa. Z oceli, z litiny s kuličkovým grafitem LKG a z litiny s lupínkovým grafitem LLG. Každé o přibližně stejné struktuře. Na každém z nich se provedla měření tloušťek na jednotlivých stupních. Nejprve se pomocí digitálního posuvného měřidla změřila skutečná hodnota tloušťky L a poté se tloušťkoměrem DIO 570 s docílením optimálního nastavení změřila hodnota akustické dráhy Lu. Nutné je zmínit se o povrchu měřených těles a místě měření (obr. 4.1). Všechny stupně, vyjma nejsilnějšího u tělesa z LLG (povrch litý), byly obrobeny.



Obr. 4.1. Zkušební těleso - Stupňovitá měřka

Hlavním předpokladem přesného měření je optimální nastavení a kalibrace přístroje dle použité sondy. Optimálního nastavení tloušťkoměru DIO 570 se dosáhne pomocí:

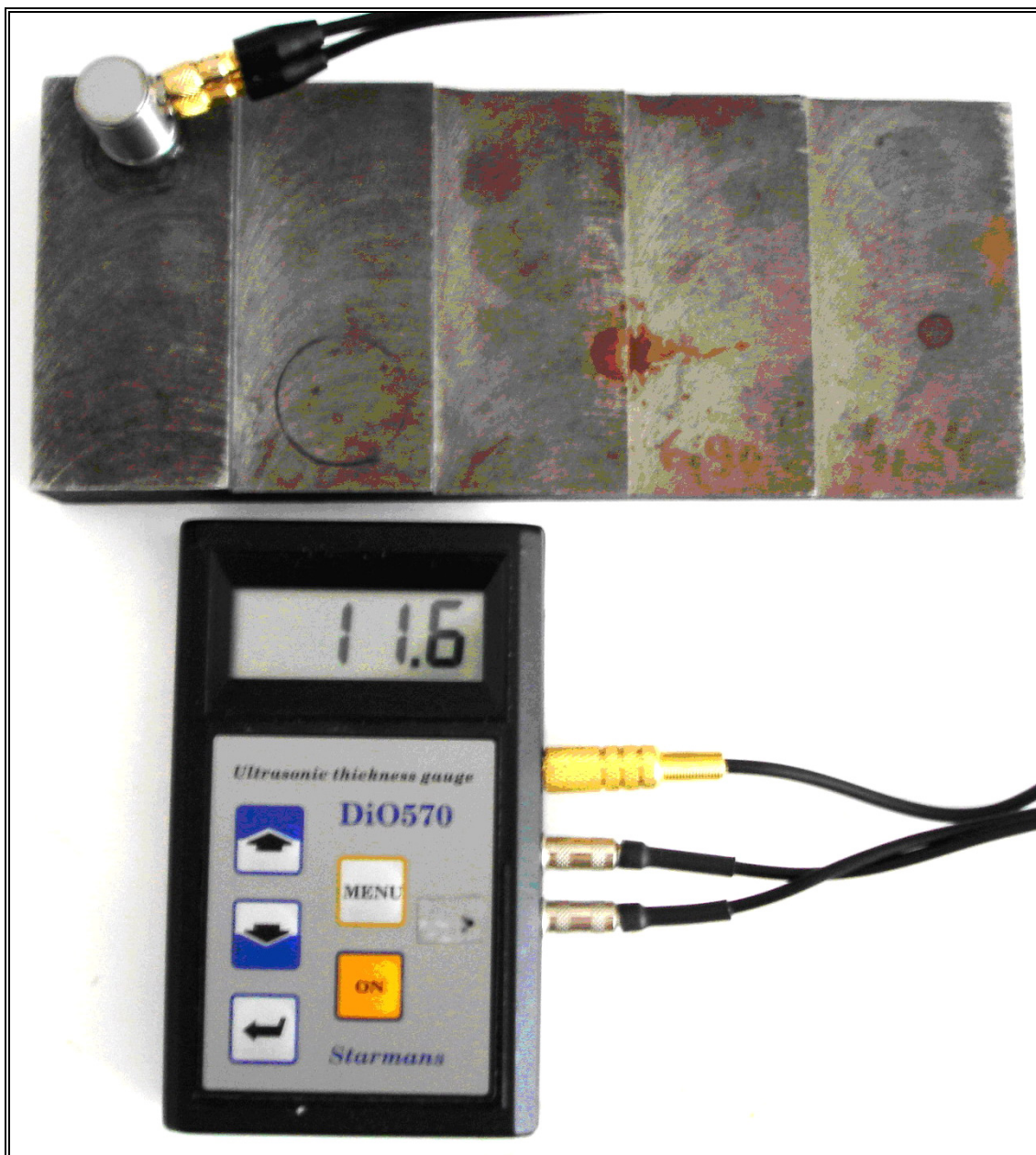
1. Nastavení rychlosti šíření ultrazvuku pro oceli (pokud neznáme rychlost šíření ultrazvuku v měřeném materiálu)
2. Nastavení citlivosti dle použité sondy a měřeného materiálu
3. Nastavení předsádky dle použité sondy

V průběhu životnosti sondy dochází při měření k opotřebování předsádky a to může ovlivnit přesnost měření. Proto je nutné sondu tzv. vynulovat (provést kalibraci nulového bodu). Kalibrace se u DIO 570 prováděla pomocí přiloženého etalonu o tloušťce 5 mm. Musí se podotknout, že při měření silnějších stěn je nutné překalibrovat tloušťkoměr a to např. s pomocí kalibrační měrky K1 (25 a 100 mm).

Nemůže se také zapomenout na správné navázání akustické vazby mezi sondou a materiálem, která se provádí pomocí speciálních olejů, gelů a past.

Všechna tři zkušební tělesa se měřila při nastavení známé rychlosti šíření ultrazvuku v ocelích, která se pohybuje od 5900 do 6000 m.s<sup>-1</sup>. Pro tělesa z LKG a LLG se rychlost zvuku vypočítá dle vztahu (21). Litiny mají totiž široké rozmezí rychlostí od 3500 do 5600 m.s<sup>-1</sup>, to je způsobené množstvím a tvarem grafitu. Proto se pro konkrétní litinu s použitím DIO 570 (pokud neznáme tloušťku materiálu) nedá rychlost šíření přesně stanovit jinak než výpočtem a to přes známou rychlost šíření v ocelích  $c_{L0} \cong 5920$  m.s<sup>-1</sup>. Specializované ultrazvukové přístroje však dokáží změřit velikost  $c_L$  a to s pomocí posuvného měřítka a sondou umístěnou v jeho čelisti. Abychom zjistili, jak velký vliv na přesnost měření s použitím DIO 570 má nastavení citlivosti a posléze také použitá sonda, provedla se na zkušebních tělesech dvě měření. Nejprve s optimální citlivostí (58,8 dB) a poté s nízkou citlivostí (cca o 13 dB) s použitím sondy PQ2/10-2C. Posléze se pomocí dalších sond (tab. 4.1.) realizovala zbývající měření již jen při optimálním nastavení. Záznam měření charakterizují grafy, kde osa x vyjadřuje počet stupňů měrky, tedy počet měření, a osa y vyjadřuje odchylku od skutečné tloušťky L.

## 4.1.1 DIO 570



Obr.4.2 DIO 570

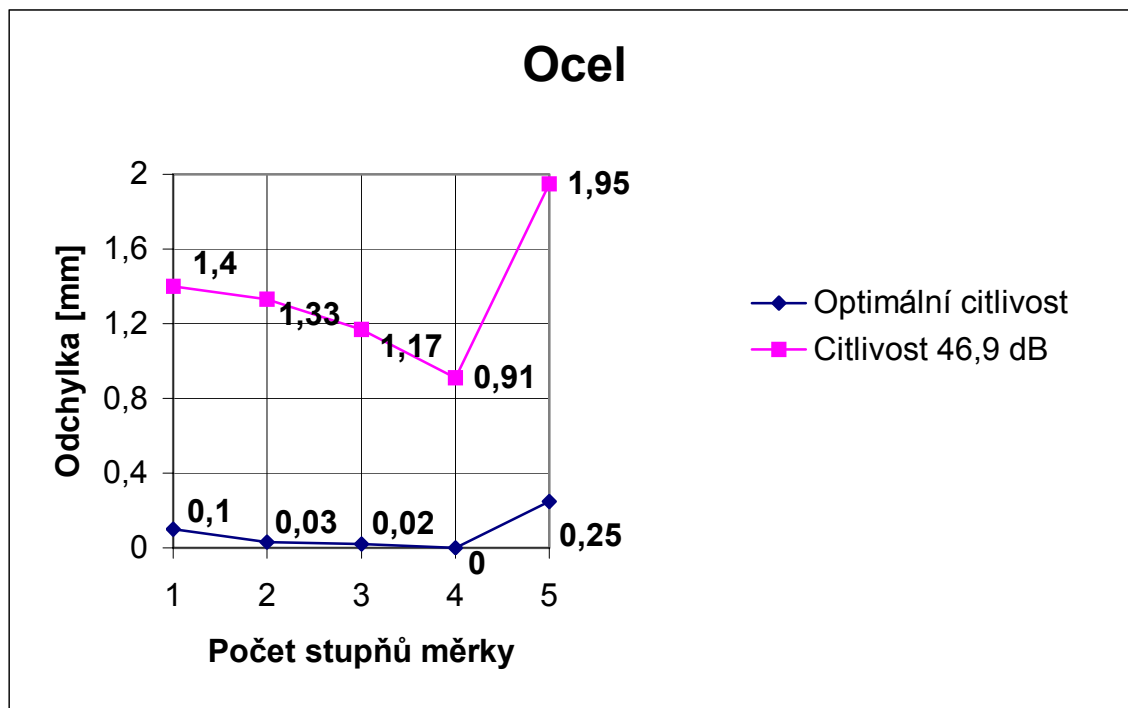
Parametry	Typ Sondy		
	PQ 2/10-2C	PQ 2/10 – 4C	SEB2
Průměr měniče [mm]	10	10	18
Frekvence [MHz]	2	4	2
Firma	STARMANS	STARMANS	KRAUTKRÄMER

Tab. 4.1 Použité sondy při měření s DIO 570

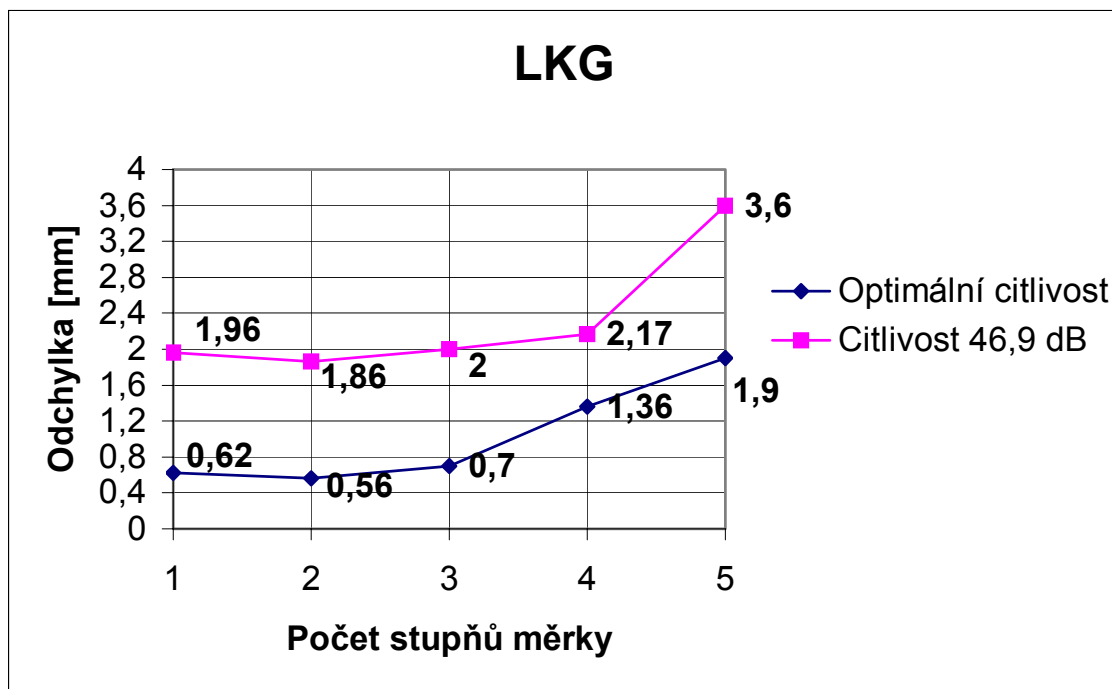
## 1. Měření sondou PQ 2/10-2C

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	<b>4,99</b>	<b>6,88</b>	<b>9,89</b>	<b>14,96</b>	<b>21,95</b>
Citlivost [dB]	Lu [mm]				
Optimální	5,09	6,91	9,91	14,96	22,2
45,9	6,39	8,21	11,06	15,87	23,9
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	<b>4,43</b>	<b>6,48</b>	<b>9,97</b>	<b>14,87</b>	<b>19,60</b>
Citlivost [dB]	Lu [mm]				
Optimální	5,05	7,04	10,67	16,23	21,5
45,9	6,39	8,34	11,97	17,04	23,2
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	<b>4,77</b>	<b>7,95</b>	<b>12,34</b>	<b>20,64</b>	
Citlivost [dB]	Lu [mm]				
Optimální	6,67	10,62	16,78	28,8	
45,9	8,73	11,45	18,21	nezměřeno	

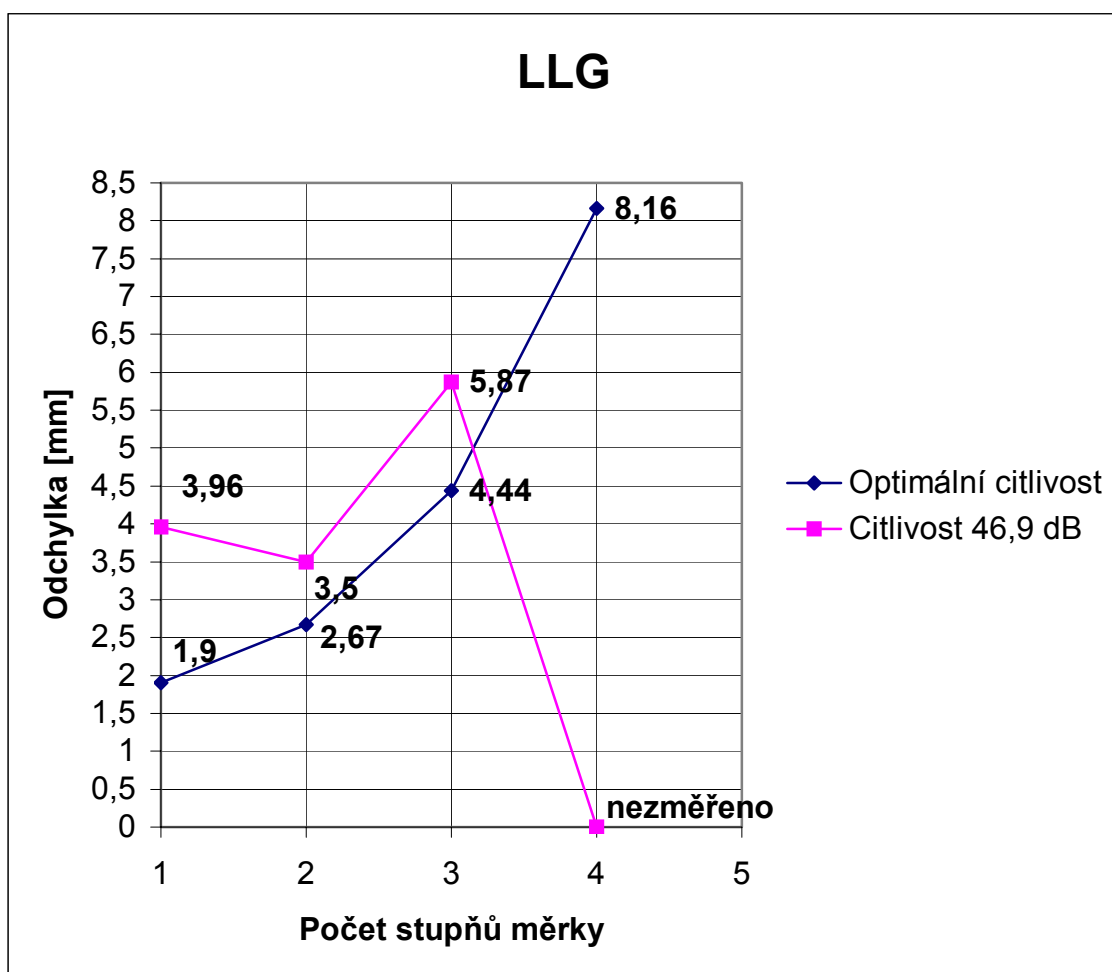
Tab. 4.2. Naměřené hodnoty



Graf 1. Vliv citlivosti na přesnost měření



Graf 2. – Vliv citlivosti na přesnost měření



Graf 3. Vliv citlivosti na přesnost měření

## 2. Měření sondou PQ 2/10 – 4C

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,14	6,94	9,98	14,96	22,6
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	5,0	7,07	10,95	16,75	22,1
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	6,52	10,81	16,62	nezměřeno	

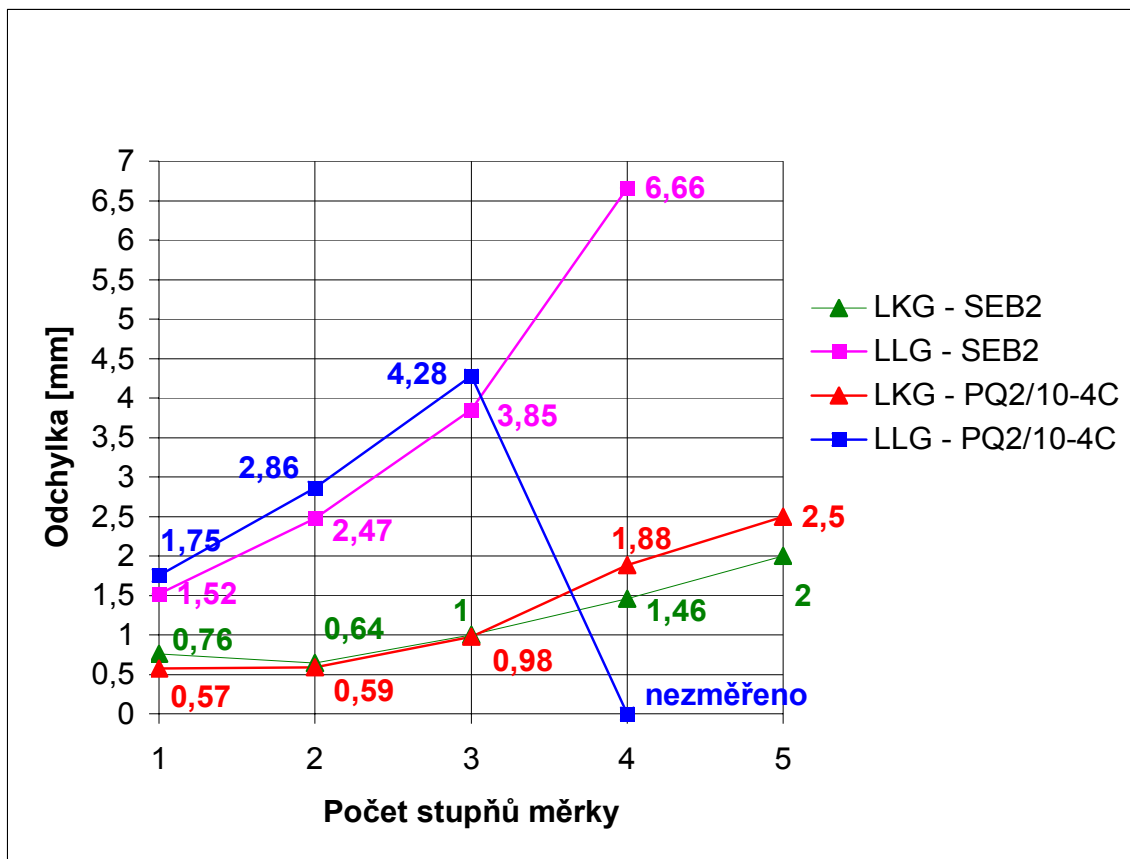
Tab.4.3. Naměřené hodnoty při optimálním nastavení

## 3. Měření sondou SEB2

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,15	6,98	9,97	14,96	22,2
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	5,19	7,12	10,97	16,33	21,6
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	6,29	10,42	16,19	27,3	

Tab.4.4. Naměřené hodnoty při optimálním nastavení

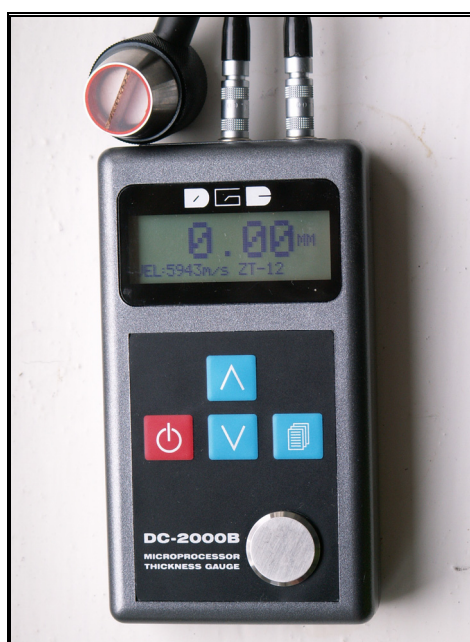




Graf. 4. Vliv volby sondy na přesnost měření

#### 4.1.2 DC-2000B

Nastavení:  $c_{L0} = 5920 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , citlivost automatická



Obr. 4.3. DC-2000B

## 1. Měření nízkofrekvenční sondou ZT-12 (2MHz)

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,01	6,95	9,93	14,96	22,0
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	4,64	7,32	10,64	15,96	21,27
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	5,87	10,03	15,72	26,85	

Tab.4.5. Naměřené hodnoty

## 2. Měření standardní sondou PT-08 (5MHz)

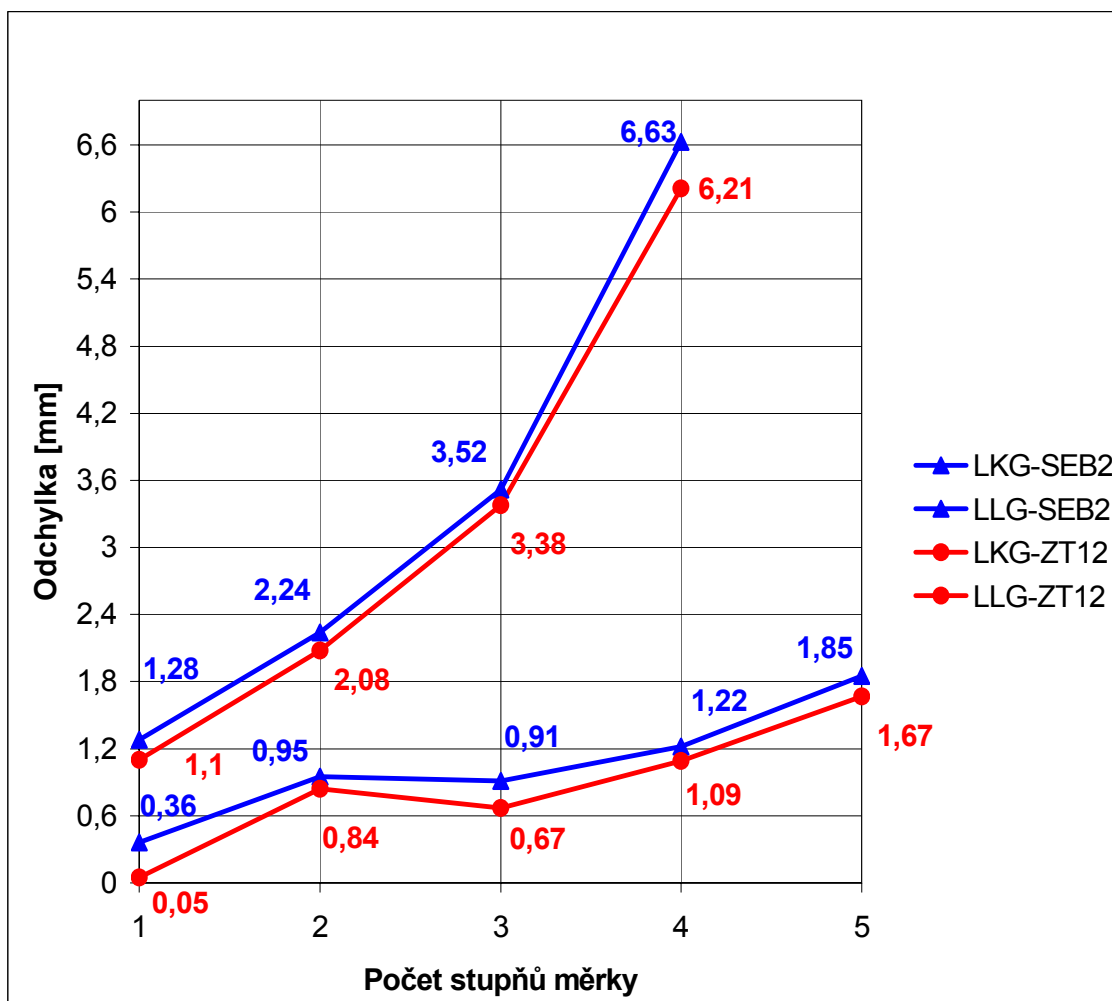
<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,04	6,92	9,95	14,96	21,99
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	4,61	7,43	10,85	16,17	21,48
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	5,97	10,19	15,87	27,03	

Tab. 4.6. Naměřené hodnoty

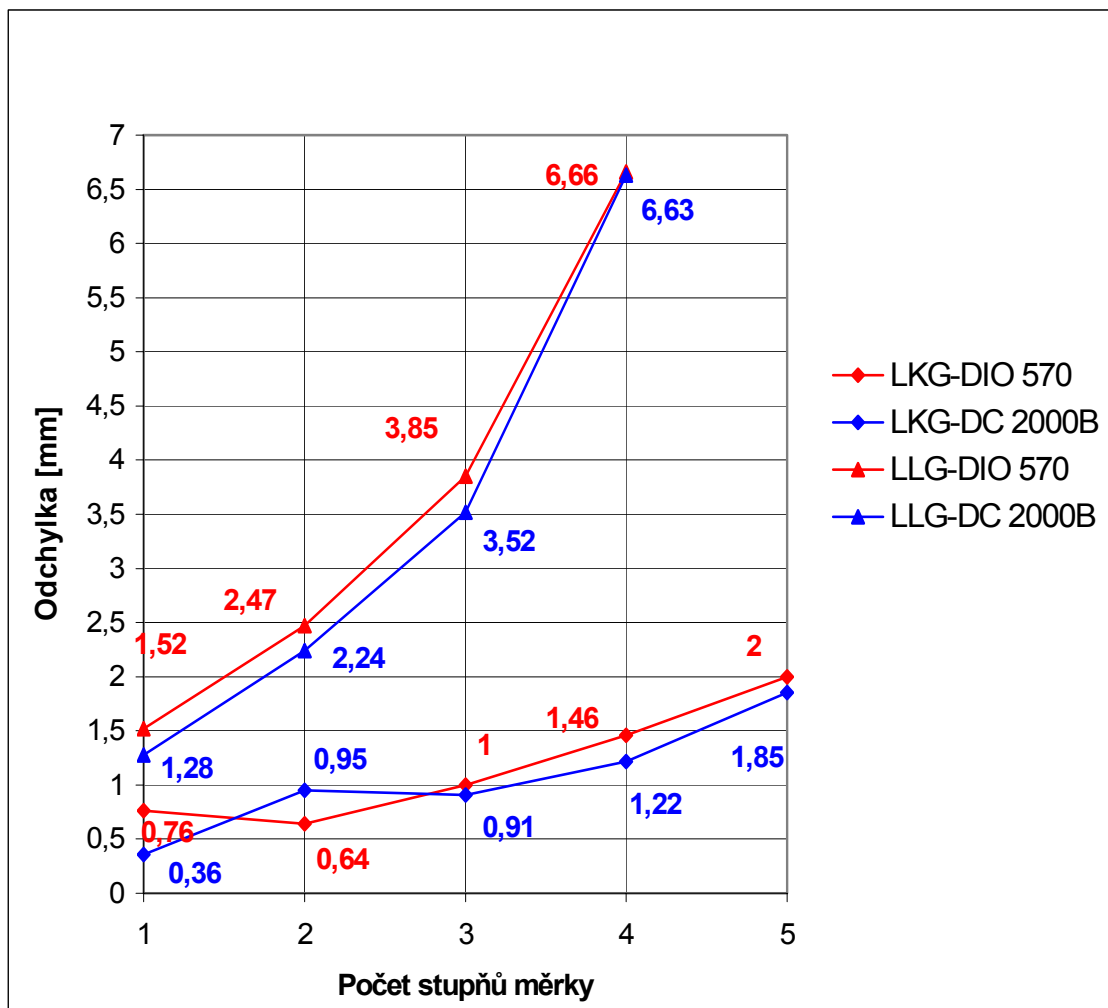
3. Měření sondou SEB2 (2MHz), překalibrováno  $c_{L0} = 5943 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,03	6,92	9,89	14,96	21,99
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	4,79	7,43	10,88	16,09	21,45
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	6,05	10,19	15,86	27,27	

Tab. 4.7. Naměřené hodnoty

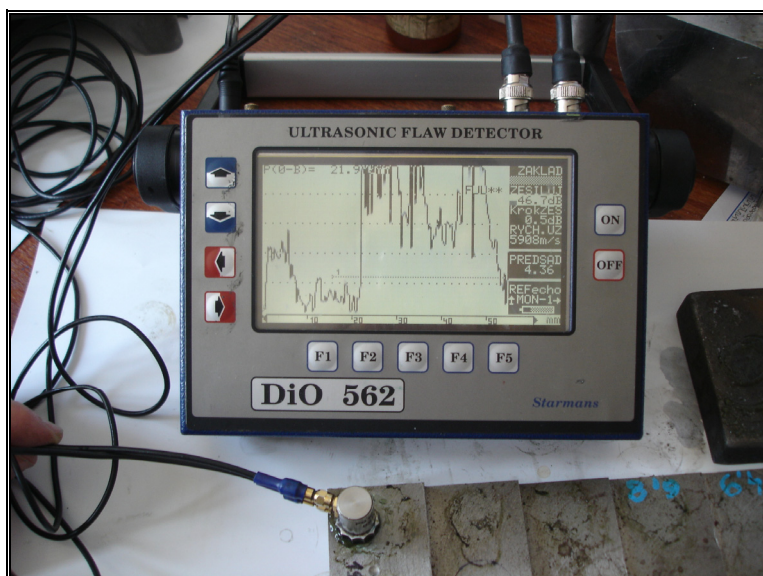


Graf 5. Porovnání hodnot při použití sondy SEB2 a ZT-12



Graf 6. Naměřené hodnoty sondou SEB2

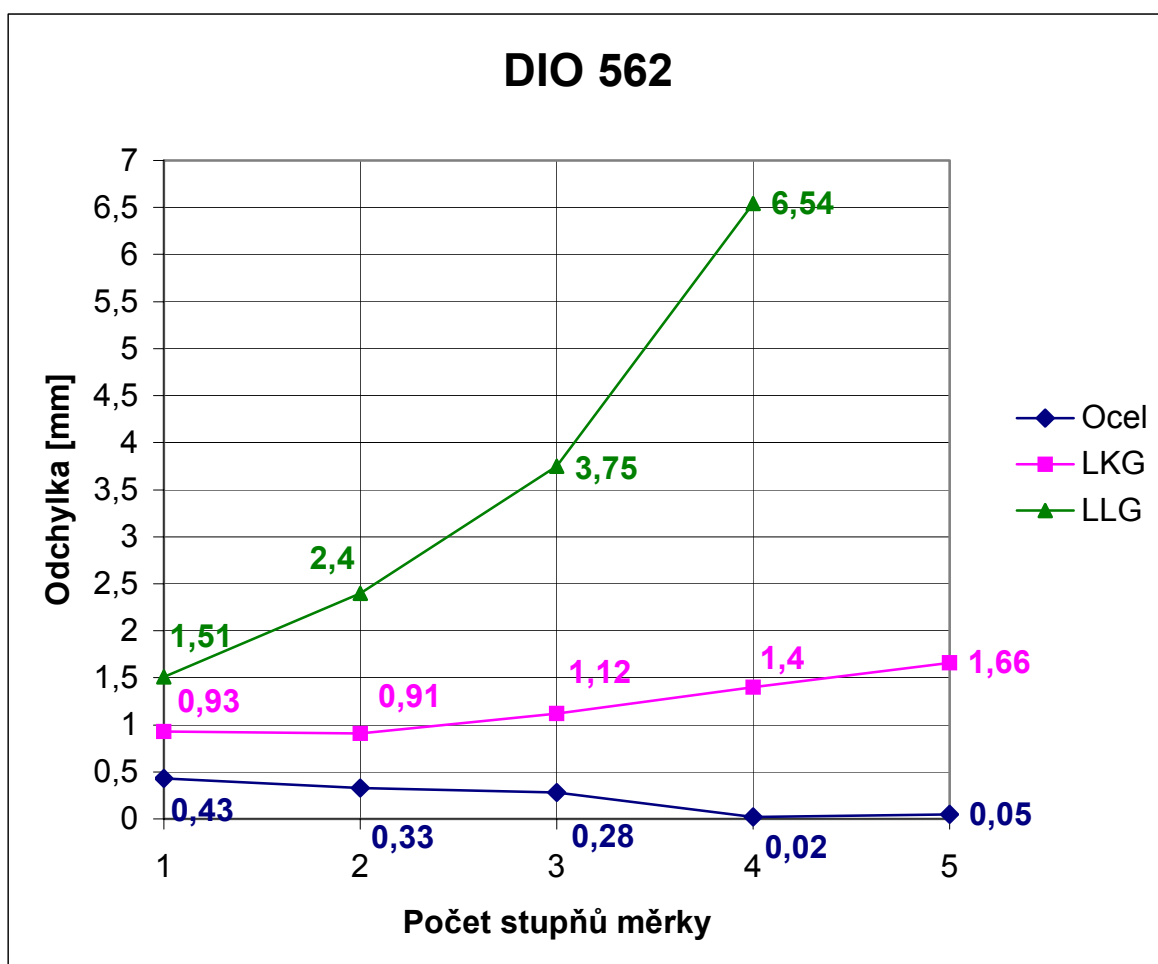
#### 4.1.3 DIO 562



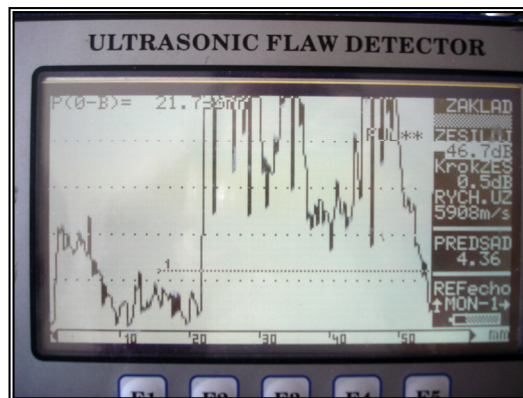
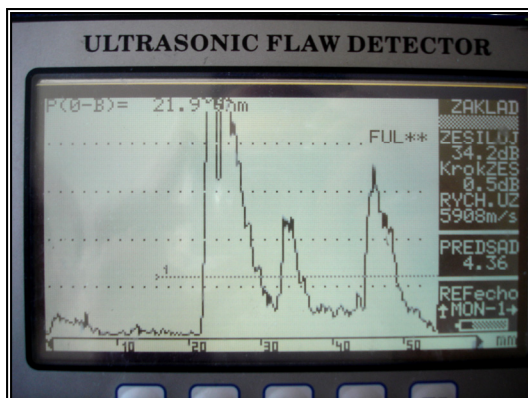
Obr. 4.4. DIO 562

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,42	7,21	10,17	14,98	22,0
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	5,36	7,39	11,09	16,27	21,26
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	6,28	10,35	16,09	27,18	

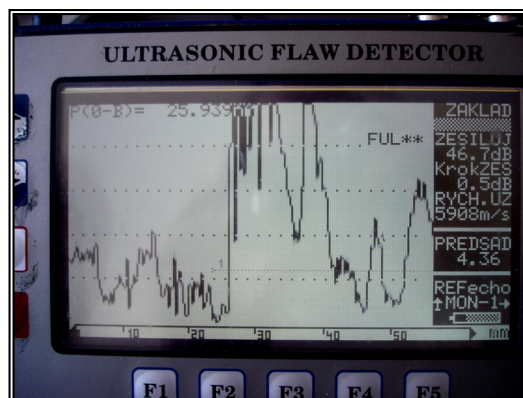
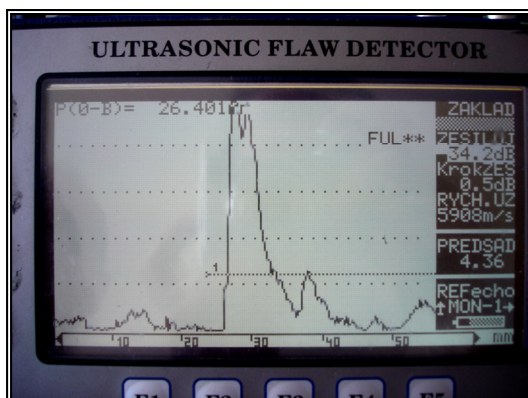
Tab. 4.8. Naměřené hodnoty DIO 562



Graf 7. Nepřesnost měření při použití DIO 562



Obr. 4.5. Vliv změny citlivosti na přesnost měření u oceli



Obr. 4.6. Vliv změny citlivosti na přesnost měření u LGG

#### 4.1.4 T MIKE-EL

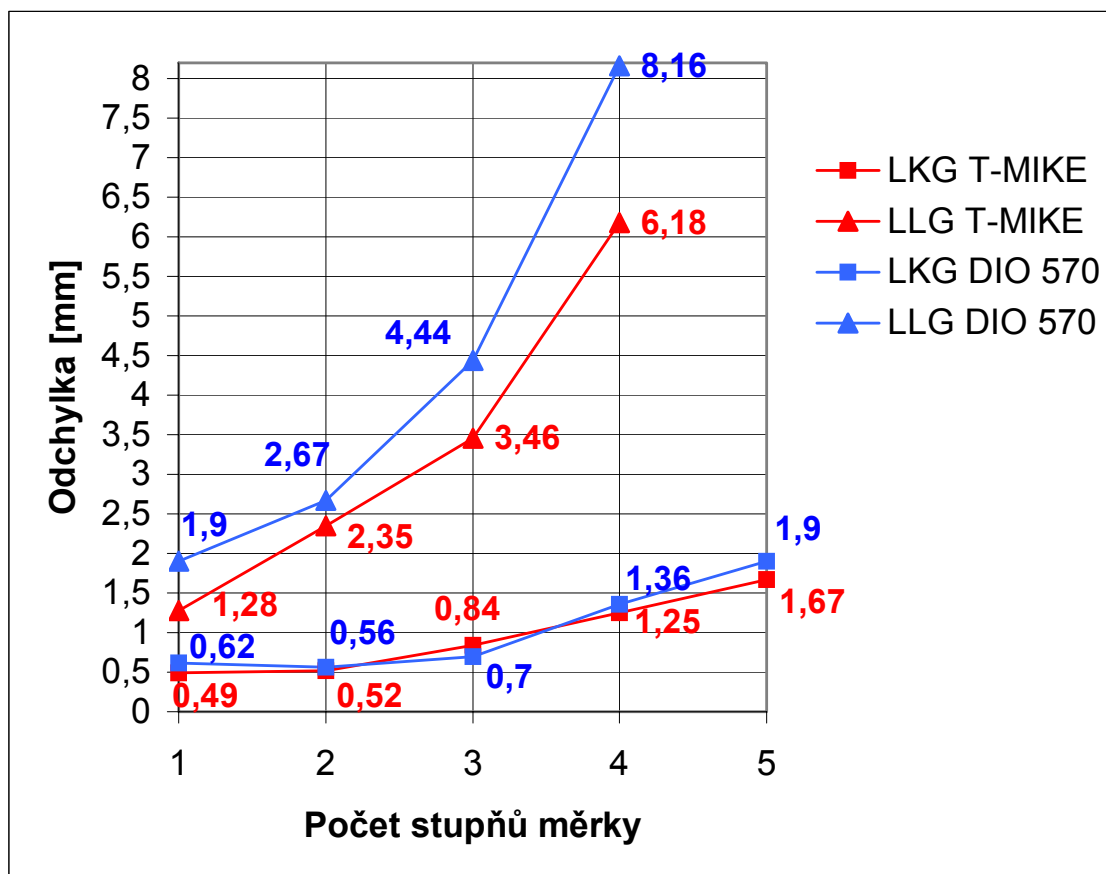
Nastavení: pro ocel  $c_{L0} = 5949 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , citlivost automatická, použitá sonda DI-0205 (2MHz)



Obr.4.7. T MIKE-EL

<b>OCEL</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,99	6,88	9,89	14,96	21,95
Lu [mm]	5,02	6,91	9,90	14,96	22,0
<b>LKG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
L [mm]	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Lu [mm]	4,92	7,0	10,81	16,12	21,27
<b>LLG</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
L [mm]	4,77	7,95	12,34	20,64	
Lu [mm]	6,05	10,30	15,80	26,82	

Tab. 4.9. Naměřené hodnoty T MIKE-EL



Graf 8. Porovnání naměřených hodnot DIO 570 a T MIKE

## 4.2 Výsledky

<b>DIO 570 - LKG</b>		<b>Jednotlivé stupně na měrce L [mm]</b>				
Použitá sonda		<b>4.43</b>	<b>6.48</b>	<b>9.97</b>	<b>14.87</b>	<b>19.60</b>
PQ2/10-2C		5228	5486	5569	5461	5433
PQ2/10-4C		5281	5463	5427	5291	5286
SEB2		5087	5424	5417	5427	5408
<b>DIO 570 - LLG</b>		<b>4.77</b>	<b>7.95</b>	<b>12.34</b>	<b>20.64</b>	
PQ2/10-2C		4262	4462	4383	4271	
PQ2/10-4C		4360	4383	4425	nezměřeno	
SEB2		4520	4547	4543	4506	
<b>DC-2000B - LKG</b>		<b>4.43</b>	<b>6.48</b>	<b>9.97</b>	<b>14.87</b>	<b>19.60</b>
ZT12		5652	5241	5547	5516	5456
PT08		5689	5163	5440	5444	5402
SEB2		5475	5163	5425	5471	5409
<b>DC-2000B - LLG</b>		<b>4.77</b>	<b>7.95</b>	<b>12.34</b>	<b>20.64</b>	
ZT12		4811	4692	4647	4551	
PT08		4730	4619	4603	4520	
SEB2		4668	4619	4606	4481	
<b>Materiál</b>	<b>Použitá sonda</b>	<b>T-MIKE EL</b>				
<b>LKG</b>	DI-0208	5357	5507	5487	5488	5482
<b>LLG</b>	DI-0208	4690	4592	4646	4578	

Tab. 4.10. Rychlost šíření ultrazvuku  $c_L$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]



<b>DIO 570 - LKG</b>		<b>Jednotlivé stupně na měrce L [mm]</b>				
Použitá sonda		<b>4.43</b>	<b>6.48</b>	<b>9.97</b>	<b>14.87</b>	<b>19.60</b>
PQ2/10-2C		139,19	153,25	157,93	151,84	150,32
PQ2/10-4C		142	151,95	149,95	142,56	143,57
SEB2		131,78	149,82	149,41	149,98	148,93
<b>DIO 570 - LLG</b>		<b>4.77</b>	<b>7.95</b>	<b>12.34</b>	<b>20.64</b>	
PQ2/10-2C		98,02	107,41	103,66	98,44	
PQ2/10-4C		102,59	103,67	105,66	nezměřeno	
SEB2		110,23	111,57	111,35	109,56	
<b>DC-2000B - LKG</b>		<b>4.43</b>	<b>6.48</b>	<b>9.97</b>	<b>14.87</b>	<b>19.60</b>
ZT12		164,88	141,75	158,82	157,01	153,59
PT08		167,03	137,58	152,73	152,97	150,6
SEB2		154,71	137,58	151,88	154,5	151,02
<b>DC-2000B - LLG</b>		<b>4.77</b>	<b>7.95</b>	<b>12.34</b>	<b>20.64</b>	
ZT12		126,56	120,42	118,11	113,26	
PT08		122,36	116,66	115,89	111,76	
SEB2		119,15	116,66	116,03	109,8	
Materiál	Použitá sonda	<b>T-MIKE EL</b>				
<b>LKG</b>	DI-0208	146,65	155	153,86	153,92	153,59
<b>LLG</b>	DI-0208	119,15	114,19	116,91	113,52	-

Tab. 4.11. Počáteční modul pružnosti  $E_0$  [GPa]

#### 4.2.1 Diskuze výsledků – příčiny nepřesností měření

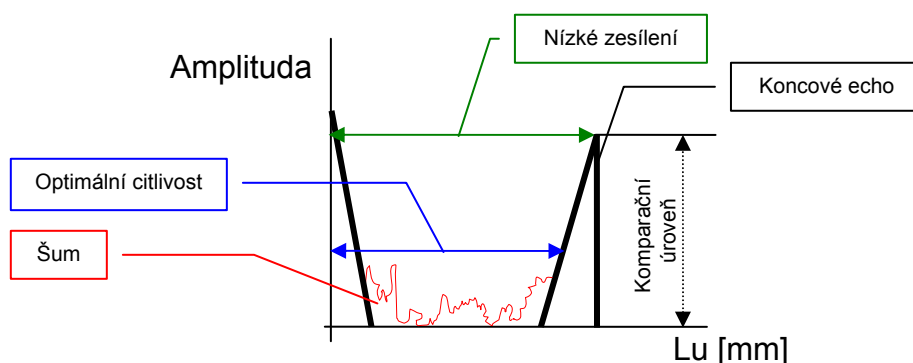
**Nastavení rychlosti šíření ultrazvuku** – Tloušťkoměr DIO 570 obsahuje v nastavení 15 předdefinovaných hodnot rychlosti šíření ultrazvuku podle příslušného materiálu (viz technický návod k obsluze). Při nastavování tloušťkoměru podle tabulkové hodnoty  $c_{L0} = 5960 \text{ m.s}^{-1}$  pro oceli, přístroj měřil nesmyslné hodnoty Lu. A tak se provedla kalibrace na zkušebním tělese z oceli podle neznáme rychlosti šíření ultrazvuku. Princip je založen na zjištění rozdílů tloušťek mezi nejtenčím a nejsilnějším stupněm měřky při měření mechanickém a poté pomocí tloušťkoměru. Je-li tento rozdíl při měření tloušťkoměrem větší než rozdíl zjištěný mechanickým měřením, je nutno údaj o rychlosti šíření snížit, v opačném případě zvýšit. Přístroj byl nastaven až když jeho hodnota rychlosti šíření ultrazvuku klesla na absurdních  $c_{L0} = 1507 \text{ m.s}^{-1}$  pro oceli s použitím sondy PQ2/10-2C. Pro sondu PQ2/10-4C a SEB2 na  $c_{L0} = 1604 \text{ m.s}^{-1}$ . Pravděpodobně se jedná o zakázkovou softwarovou chybu tloušťkoměru.

**Nastavení předsádky** – slouží k zablokování parazitních zákmitů sondy a její tloušťka se volí taková, aby koncové echo z měřeného prostředí přišlo dříve než dvojnásobné echo od styčného povrchu předsádky. Pro sondy STARMANS je přednastavena hodnota předsádky na  $2 \mu\text{s}$ .

**Nastavení optimální citlivosti** - Předpokladem přesného měření je stanovení optimální citlivosti podle druhu použitých sond. Z grafů 1,2 a 3. vidíme jak velký vliv na přesnost měření měla její změna. Vyplývá z nich, že čím menší je citlivost od optimální, tím větší je naměřená dráha ultrazvuku Lu od skutečné tloušťky L.

U tloušťkoměru DIO 570 se optimální citlivostí rozumí, že signál nemá tak vysoké zesílení, aby zasahoval do šumového pásma (problikávání displeje) a ani tak nízké že ultrazvukový paprsek nedosáhne odrazu od zadní stěny materiálu (obr. 4.8.). Při nastavování citlivosti měníme komparační úroveň [4]. Pomocí defektoskopu jsme zjistili co způsobila změna citlivosti na přesnost měření z hlediska velikosti ech (obr. 4.5.,4.6.) Je z nich patrné, že velikost citlivosti závisí nejen na typu použité sondy, ale i na druhu materiálu měřené

součásti. Rozdíl při změně citlivosti mezi L a Lu u součásti z oceli je menší než u součásti z litiny.



Obr. 4.8. Optimální citlivost

Důležitou roli na přesnost měření má i kvalita povrchu měřené součásti. Čím je horší kvalita povrchu, tím dosahujeme většího šumu (odraz ultrazvukových vln od zrn materiálu). Tedy musíme snížit citlivost, abychom jej nezachytávali, na úkor přesnosti měření.

Správná volba citlivosti je spojena s útlumem ultrazvukových vln. Protože čím větší je útlum materiálu, tím menší je výška koncového echa. Takže při nízké citlivosti se ultrazvukový paprsek neodrazí od zadní stěny materiálu.

Můžeme si všimnout, že u křivek pro oceli při optimální citlivosti dochází k odchylkám od skutečné tloušťky L (graf 1). To je důsledkem závislosti mezi citlivostí sondy a tloušťky měřeného materiálu, kdy se citlivost s rostoucí tloušťkou snižuje. Ke snižování citlivosti sondy však dochází až od určité tloušťky  $l_0$ , kde se již do značné míry začíná projevovat útlum ultrazvukových vln (pokles akustického tlaku).  $l_0$  je vzdálenost od povrchu materiálu k ohnisku sondy, tzv. blízké pole, a vypočítá se pro každý druh sondy zvlášť dle vztahu (22). V místě ohniska dosahuje sonda největší citlivosti.

Tzn., měříme-li tloušťku větší než je  $l_0$  sondy, zaznamenáváme odchylky od skutečné akustické dráhy  $Lu_s$ . Tyto odchylky s rostoucí tloušťkou narůstají. Tento jev se ve větší míře projevuje při měření zkušebních těles z litiny (grafy 2, 3), kdy útlum materiálu je o řád větší než u oceli.

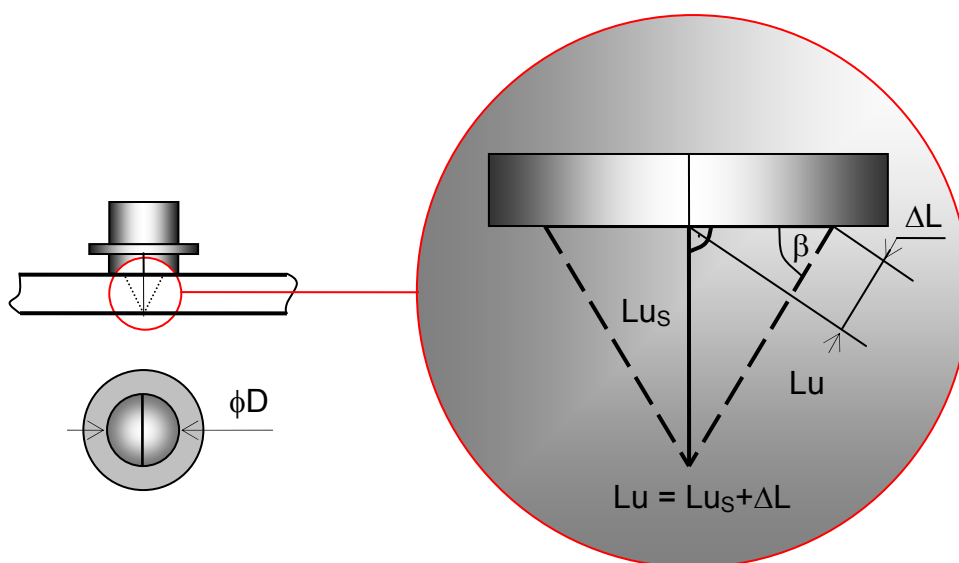
Ultrazvukové vlny jsou v litinách po několika odrazech od útvarů grafitu vyčerpány a rozptýleny. Velikost akustické dráhy  $Lu$  pak závisí na labyrintu grafitických útvarů. Čím více jsou útvary štíhlejší, jak je tomu u litiny

s lupínkovým grafitem LLG, tím větší je hodnota akustické dráhy  $L_u$  ve srovnání s přímou dráhou (tloušťkou prozvučované stěny)  $L$ . Rychlost ultrazvuku litinou  $c_L$  tak klesá [8].

Označení používané sondy – frekvence [MHz]	Vzdálenost blízkého pole $l_0$ [mm]
PQ 2/10-2C – 2	8,4
PQ2/10-4C – 4	16,8
SEB2 – 2	27,2
ZT12 – 2	12,2
PT08 – 5	13,5
DI-0205 – 2.25	14,8

Tab. 4.12. Vzdálenost blízkého pole

Dalším faktorem ovlivňujícím přesnost měření je tzv. **V-efekt**, který vzniká s použitím dvojité sondy a závisí na průměru měniče sondy a na tloušťce měřené součásti. Tento efekt se projevuje při měření menších tloušťek, čím je tato tloušťka menší, tím menší je úhel  $\beta$ , a tedy větší naměřená hodnota  $L_u$  od skutečné akustické dráhy  $L_{uS}$  (obr. 4.9). V současné době existují přístroje, tloušťkoměry, které mohou automaticky korigovat V-dráhu ultrazvuku. DIO 570, T-MIKE a DC-2000B však tuto korekci neumožňují.



Obr.4.9. V-dráha ultrazvukové vlny

Jak jsme se přesvědčili v experimentech, na přesnost měření nemá vliv jen kvalita elektroniky samotného přístroje (graf 6,8), ale také použitá sonda (graf 4,5). Hlavními parametry sondy, které mají velký vliv na přesnosti měření, jsou její frekvence a průměr měniče. Frekvence je přímo úměrná útlumu materiálu. To znamená, že čím větší zvolíme frekvenci sondy, tím větší vliv na nepřesnost měření bude mít útlum materiálu. Graf 4. zachycuje odchylky měření při použití sondy 2 MHz a 4MHz. Je z něj patrné, že při použití 4MHz dosahujeme daleko větších odchylek při měření silnějších částí litinových těles.

#### ***Vliv drsnosti a použitého gelu***

Na přesnost měření má také vliv závislost použitého gelu a měřeného povrchu. V gelu je totiž čtyřikrát menší rychlost šíření ultrazvuku než v měřeném prostředí a proto dosahujeme větší, tedy nepřesné hodnoty akustické dráhy Lu. Čím je hrubší povrch, tím musíme nanést větší množství kontaktní látky, a tedy dosahujeme větší nepřesnosti měření. Samotný experiment se prováděl na tenkých stupních schodovitých vzorků z LLG při použití ultrazvukového tloušťkoměru DC-2000B a sondy 5MHz PT-08. Měření probíhalo na litém povrchu (hrubý cca Ra 50) LP a také z druhé obrobene strany OS s identickým místem kolem drsnosti Ra 3,2. K dispozici byly dva gely VG-T a ANCORIL.

Gel – stupeň měřky [mm]	5,1		4,8	
VG-T	LP 6,76	OS 6,76	LP 5,98	OS 5,73
ANCORIL	LP 6,78	OS 6,32	LP 5,89	OS 5,78

*Tab. 4.13. Vliv použitého gelu na přesnost měření*

#### **4.2.2 Zhodnocení výsledků**

Všechny tyto příčiny nepřesností při měření (V-chyba, útlum) s použitím DIO 570 ve strukturoskopii litin, se projeví při konečném výpočtu počátečního modulu pružnosti, tedy při stanovení tvaru grafitu v litinách a jejich zařazení do jakostních tříd.

Na vypočtených hodnotách počátečních modulů pružností (tab. 4.11.) a rychlostí šíření ultrazvuku (tab. 4.10.) je zjevné, do jaké míry se projevil útlum u silnějších stěn a V-efekt u stěn slabších. Následkem útlumu nebo V-efektu

muže totiž dojít k omylu při stanovení tvaru grafitu (větší podíl červíkovitého grafitu GIII oproti skutečnosti) a určení třídy jakosti u kontrolovaných těles.

Litina s kuličkovým grafitem se kontroluje podle vztahu (25). Jelikož je tento vztah pro každou slévárnu odlišný, vypočtené hodnoty nebyly spolehlivé, musel se vztah upravit. Předpokládalo se, že zkušební měřka z LKG obsahuje 100% GVI ( $100 = 1132 \times c_{Lmax} / c_{L0} + B$ ). Vybral se výsledek pro sondu o nejvyšší hodnotě rychlosti a vypočítala se konstanta  $B_{PQ2/10-2C} = 957$   $B_{PQ2/10-4C} = 937$   $B_{SEB2} = 931$ . Zjistil se tak provizorní vzorec pro určení podílu GVI na jednotlivých stupních měřky.

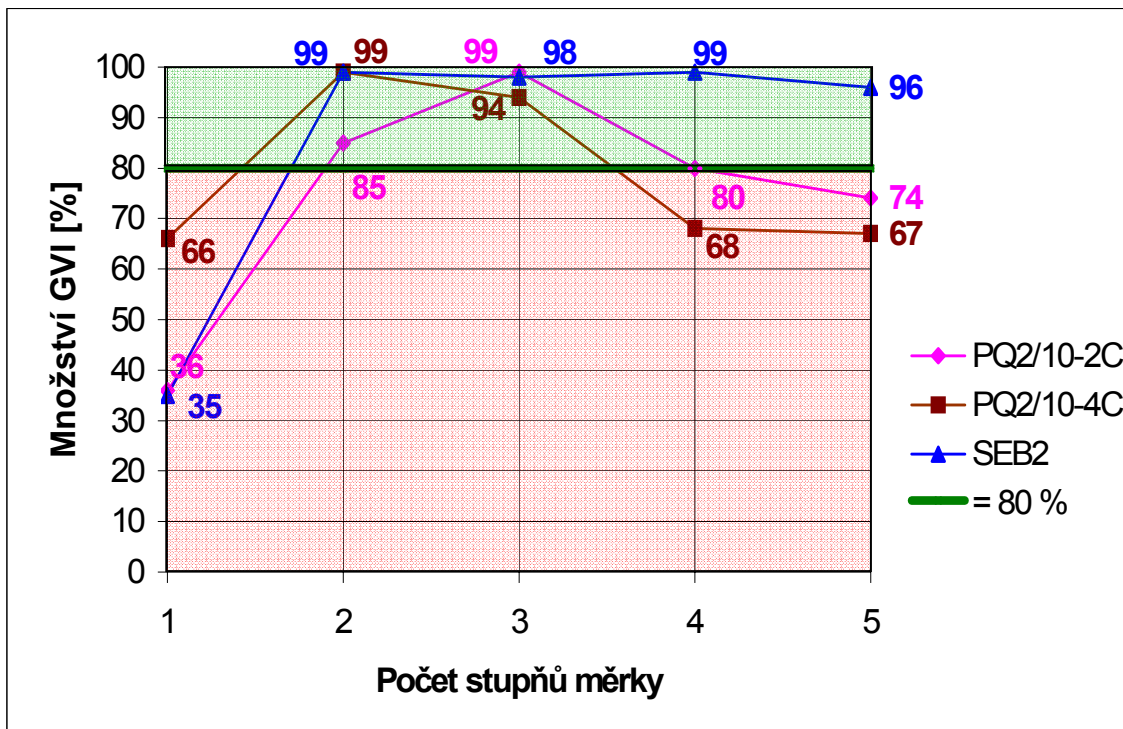
Povolené minimální množství při kontrole odlitku je 80 %. Množství kuličkového grafitu GVI na jednotlivých stupních měřky v závislosti na použité sondě je zachyceno v tab. 4.14. a v grafu 9. Jak si můžeme všimnout z tab. 3.4., tak pro velikost  $E_0$  u LKG platí rozmezí 165 -175 GPa. V našem případě jsme dosahovali maximálně 157 GPa, což není způsobené jen chybami měření (V-efekt, útlum), ale i nepřesnou konstantou  $K$  při výpočtu modulu pružnosti. Ta se stanovuje na konkrétním odlitku. Používaná hodnota  $K_{LKG} = 425,3 \text{ kN}^{1/2}\text{m}^{-1}$  a  $K_{LLG} = 437,8 \text{ kN}^{1/2}\text{m}^{-1}$  (viz příloha).

Měřená tloušťka	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Použitá sonda	Množství GVI [%]				
PQ2/10-2C	36	85	99	80	74
PQ2/10-4C	66	99	94	68	67
SEB2	35	99	98	99	96

Tab. 4.14. Množství GVI na jednotlivých stupních měřky

Měřená tloušťka	4,43	6,48	9,97	14,87	19,60
Použitá sonda	Množství GVI [%]				
ZT12	58	41	99	94	82
PT08	47	46	99	99	92
SEB2	65	44	94	99	91

Tab. 4.15. Množství GVI na jednotlivých stupních měřky při použití tloušťkoměru DC-2000B



Graf 9. Množství GVI na jednotlivých stupních měřky

U litiny s lupínkovým grafitem je prioritním hlediskem pro kontrolu a třídění odlitků modul pružnosti  $E_0$ . Podle jeho velikosti se litina zařadí do jakostní třídy. V tab. 4.16. jsou zobrazeny chyby v procentech při určování jakostní třídy litiny, kterých se dopustíme na jednotlivých stupních měřky. Provedeme úvahu, že 100% chybou bude chyba v určení o jakostní třídu. Při hrubém třídění odlitků z hlediska jakosti může být tato chyba max. **50-ti %**, pro zkoumané vývojové zařízení SYLIT však **20-ti %**. Jelikož se s pomocí sondy SEB2 dosáhlo nejvyrovnanějších výsledů  $E_0$  a to kolem 111 GPa, stahovaly se chyby v určení na jakostní třídu 42 2420 pro  $E_0 = 110$  GPa.

Měřená tloušťka	4.77	7.95	12.34	20.64
Použitá sonda	Chyba v určení třídy jakosti litiny [%]			
PQ2/10-2C	92	20	49	89
PQ2/10-4C	57	49	33	Nezměřeno
SEB2	2	12	10	10

Tab. 4.16. Chyba určení třídy jakosti při kontrole LLG

Měřená tloušťka	4.77	7.95	12.34	20.64
Použitá sonda	Chyba v určení třídy jakosti litiny [%]			
ZT12	100	69	54	22
PT08	82	44	39	12
SEB2	61	44	40	2

Tab. 4.17. Chyba určení třídy jakosti při kontrole LLG při použití tloušťkoměru DC-2000B

Jak nám ukázaly experimenty, pro LLG je nejvíce vhodná sonda SEB2 a to i při měření nejsilnějších stupňů měřky. Proto se s touto sondou provedla další měření na odlitcích č.1 (víko ložiska, viz. příloha) a č.2. (čep nápravy). Pro nás nejdůležitějším hlediskem bylo, že se odlitky v místě kontroly, při optimálním nastavení DIO 570 a s použitím sondy SEB2, dokázaly prozářit.



Obr. 4.10. Víko ložiska klikového hřídele LIAZ

Materiál	LLG
Skutečná tloušťka L [mm]	52,7
Dráha akustické vlny Lu [mm]	58,7
Rychlost šíření ultrazvuku $c_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	5315
Modul pružnosti $E_0$ [GPa]	154,5

Tab. 4.18. Hodnoty odlitku č.1






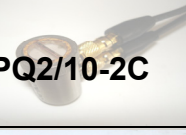
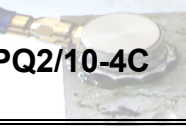
Obr. 4.11. Rejdový čep nápravy autobusu

Materiál	LKG
Skutečná tloušťka L [mm]	81,4
Dráha akustické vlny $L_u$ [mm]	86,8
Rychlost šíření ultrazvuku $c_L$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	5551
Modul pružnosti $E_0$ [GPa]	160

Tab. 4.19. Hodnoty odlitku č.2

## 5. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo nalézt optimální podmínky, při kterých nebude docházet k chybám zařazení šedé litiny do jakostních tříd a k chybám stanovení tvaru grafitu. Optimálními podmínkami se rozumí vhodné zvolení sondy na měření tloušťku odlitku spolu s optimálním nastavením tloušťkoměru DIO 570. S ohledem na výše uvedené údaje, diskuze a zhodnocení výsledků, jsou optimální podmínky při využití ultrazvukové tloušťkoměru DIO 570 v ultrazvukové strukturoskopii zobrazeny v tab. 4.20. Nejvhodnější sondou pro měření litinových odlitků při optimálním nastavení tloušťkoměru je sonda SEB2 (2MHz) od firmy KRAUTKRÄMER.

Použitá sonda	Nastavení DIO 570	Litina	Rozsah tloušťek [mm]
 <b>SEB2</b>	$c_{L0} = 1604 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ předsádka $2 \mu\text{s}$ citlivost 58,8 dB	LKG	6 – víc jak 90
		LLG	5 – víc jak 60
 <b>PQ2/10-2C</b>	$c_{L0} = 1507 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ předsádka $2 \mu\text{s}$ citlivost 58,8 dB	LKG	6 – 15
		LLG	6 – 8
 <b>PQ2/10-4C</b>	$c_{L0} = 1604 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ předsádka $2 \mu\text{s}$ citlivost 59,7 dB	LKG	5 – 10
		LLG	Není vhodná

Tab. 4.20. Vymezení optimálních podmínek

Použitím DIO 570 v ultrazvukové strukturoskopii litin dosahujeme horších výsledků měření v porovnání se zkoumanými tloušťkoměry DC-2000B a T MIKE-EL. Musíme však vzít v úvahu, že tloušťkoměr T-MIKE patří do jiné cenové skupiny. Jeho cena se pohybuje kolem 78-tis Kč. Tloušťkoměr DC-2000B od české firmy PTS je ve stejné cenové skupině jako DIO 570 (kolem 22-tis Kč). DC-2000B má rychlejší a jednodušší kalibraci, podsvícený displej a indikaci navázání akustické vazby. Co však tento model neumožňuje, je komunikace s PC a paměť naměřených hodnot, což je velká ztráta při využití tohoto přístroje do vývojového zařízení SYLIT.

Při použití číslicového tloušťkoměru DIO 570 od firmy STARMANS je nutné mít po ruce posuvné měřítko a kalkulačtor, což způsobuje delší měření.

Číslicový ultrazvukový tloušťkoměr, který spolupracuje s číslicovým posuvným měřítkem, kdy je sonda umístěna v čelisti měřítka, zvyšuje produktivitu kontroly. Příkladem takového přístroje je DMV DL od firmy KRAUTKRAMER (viz příloha, kolem 90-tis Kč). Ve vyvíjeném zařízení SYLIT tloušťkoměr DIO 570 bude spolupracovat s digitálním posuvným měřítkem i magnetickým tvrdoměrem DOMENA. Tím se získá stejně rychle dokonce i komplexnější informace o zkoušeném materiálu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] OBRAZ J: Ultrazvuk v měřicí technice. SNTL (Nakladatelství technické literatury) Praha 1976
- [2] OBRAZ J: Zkoušení materiálu ultrazvukem. SNTL Praha 1976
- [3] DUBENSKÝ R, MINAŘÍK V, ČERMÁK F: Defektoskopie. ČVUT, Praha 1987
- [4] Technický návod k obsluze DIO 570. STARMANS s.r.o., Praha
- [5] MÍŠEK B, PTÁČEK L: Zkoušení materiálů a výrobků bez porušení SNTL
- [6] doc. Ing. BŘETISLAV SKRBEK, CSc.: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků, Disertační práce, v Jablonci nad Nisou, Květen 1988
- [7] Časopis NDT welding BULLETIN, měsíčník, číslo 1/2005
- [8] Časopis Slévárenství, měsíčník, číslo 10/2003
- [9] ČSN 01 50 21. Měření tloušťky ultrazvukem

## PŘÍLOHY

- č.1 Technické parametry tloušťkoměrů DIO 570 a T MIKE-EL
- č.2 Technické parametry tloušťkoměrů DIO 570 a DC-2000B
- č.3 Parametry používaných sond, tloušťkoměr DMV DL
- č.4 Konstanta K, příklad vývojového řešení zařízení SYLIT
- č.5 Závislost mechanických vlastností šedých litin na tloušťce stěn odlitků
- č.6 Graf závislosti rychlosti šíření ultrazvukových vln na tvaru grafitu
- č.7 Výrobní výkres víka ložiska klikového hřídele LIAZ
- č.8 Technický návod k obsluze DIO 570 firmy STARMANS (69-81 str.)

## Příloha č.1

<b>Technické parametry</b>	
DIO 570	T MIKE-EL
<b>Měřicí rozsah dle použité sondy [mm]</b>	
1-200	0,635-500
<b>Rozlišovací schopnost [mm]</b>	
0,1/0,01	0,01
<b>Paměť naměřených hodnot</b>	
až 2000, možnost ukládat do 4 skupin	až 40000, do libovolných souborů
<b>Doba provozu [h]</b>	
až 40	až 80 (300 bez osvětlení)
<b>Rozsah citlivosti [dB]</b>	
0-60	0-60, automatické nastavení
<b>Zvláštní vybavení</b>	
Paměť minimální hodnoty	Diferenční měření, paměť minimální hodnoty, indikace navázání akustické vazby,
<b>Měření rychlosti ultrazvuku</b>	
Jen pokud známe tloušťku materiálu	Jen pokud známe tloušťku materiálu
<b>V-korekce</b>	
NE	NE
<b>Hmotnost [g]</b>	
370	312
<b>Rozměry [mm]</b>	
115x70x15	116x46x32
<b>Cena, bez DPH [Kč]</b>	
15 000	78 700

*Technické parametry tloušťkoměrů*

## Příloha č.2

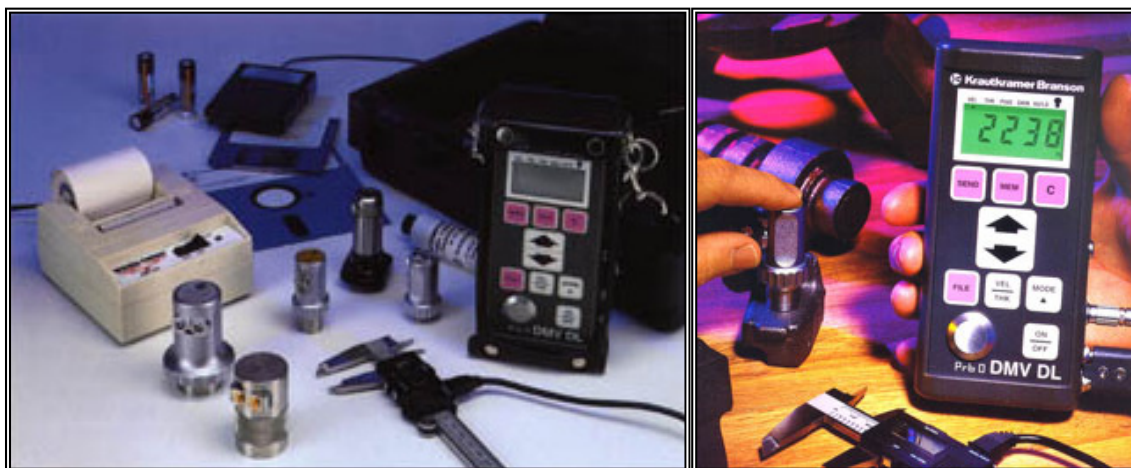
<b>Technické parametry</b>	
DIO 570	DC-2000B
<b>Měřicí rozsah dle použité sondy [mm]</b>	
1-200	0,7-250
<b>Rozlišovací schopnost [mm]</b>	
0,1/0,01	0,1/0,01
<b>Paměť naměřených hodnot</b>	
až 2000, možnost ukládat do 4 skupin	-
<b>Rozsah citlivosti [dB]</b>	
0-60	nelze nastavovat,automatická
<b>Zvláštní vybavení</b>	
Paměť minimální hodnoty	-
<b>Měření rychlosti ultrazvuku</b>	
Jen pokud známe tloušťku materiálu	Jen pokud známe tloušťku materiálu
<b>V-korekce</b>	
NE	NE
<b>Hmotnost [g]</b>	
370	230
<b>Rozměry [mm]</b>	
115x70x15	108x61x25
<b>Cena, bez DPH [Kč]</b>	
15 000	22 900

*Technické parametry tloušťkoměrů*

### Příloha č.3

Parametry	Označení Sondy					
	PQ2/10-2C	PQ2/10-4C	DI-0205	ZT12	PT08	SEB2
Průměr měniče [mm]	10	10	12,5	12	8	18
Frekvence [MHz]	2	4	2,25	2	5	2
Měřicí rozsah [mm]	1-200	1-100	1-400	2,5-250	1-200	2-1500
Prodejce	STARMANS	STARMANS	STRESSTEL	PTS	PTS	KRAUTKRÄMER
Cena bez DPH [Kč]	6800	6800	-	4570	5390	14805

*Používané sondy*



*Ultrazvukový tloušťkoměr DMV DL od firmy KRAUTKRÄMER*



## Příloha č.4

Materiál	K [ $\text{N}^{1/2}\text{m}^{-1}$ ]	Poznámka
LLG	437 791	LIAZ
LKG	431 371	žíhaná
	425 331	nežíhaná
Temperovaná litina	444 484	Agrozet
	444 238	AZKP
Vermikulární litina	437 067	SVUM
	439 654	LIAZ

*Hodnoty konstanty K*



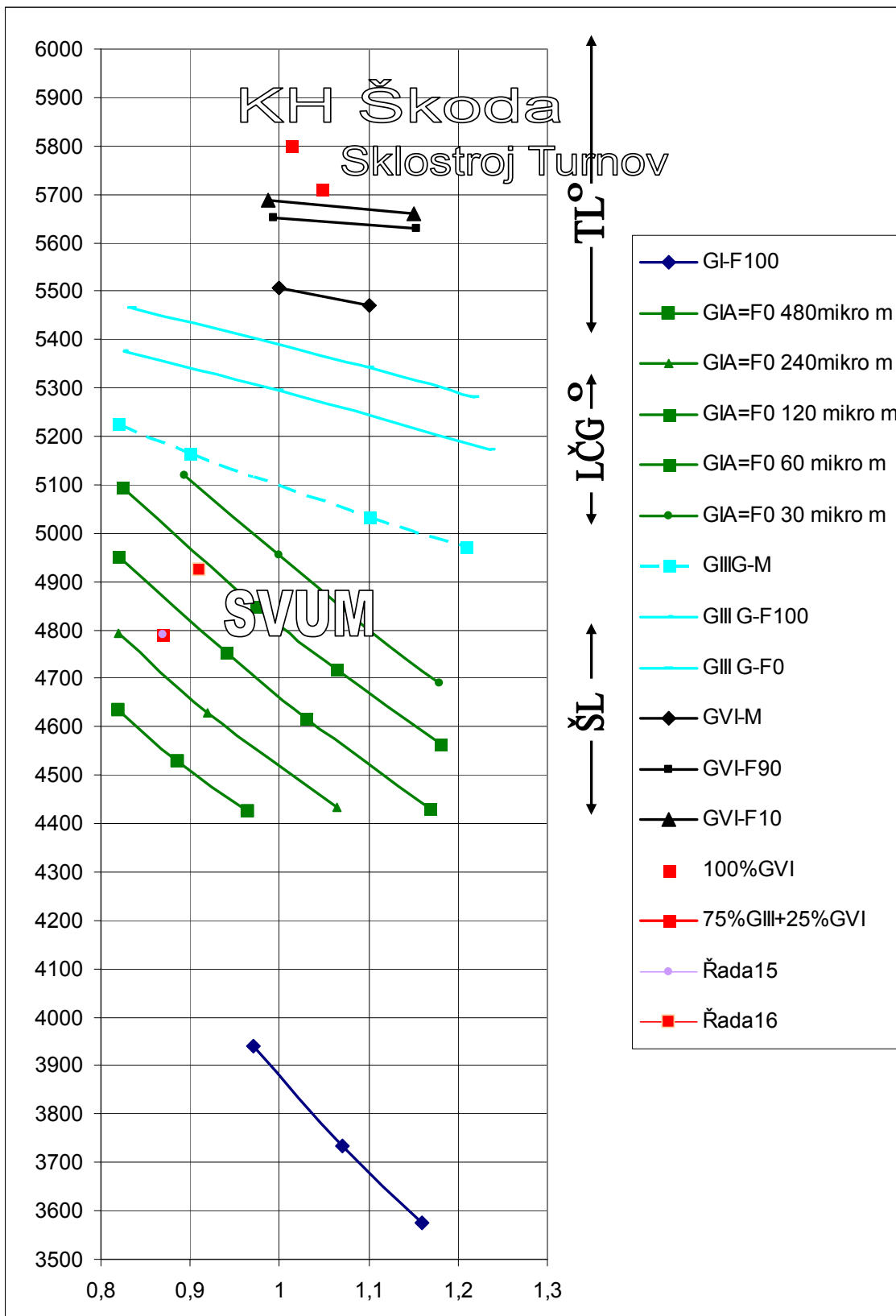
*Příklad vývojového řešení zařízení SYLIT*

## Příloha č.5

ČSN	Tloušťka stěny [mm]	4-7,9	8-14,9	15-29,9	30-44,9	45-60	80-120	
42	$\phi$ D [mm]	15	20	30	45	60	90	
2410	min. Rm [Mpa]	150	130	100	70	50		
	E <sub>0</sub> [Mpa]	96,9	93,8	88,9	81	77,2		
	HB	min.	150	130	120	110	100	
		max.	210	190	180	170	160	
2415	min. Rm [Mpa]	200	180	150	120	100		
	E <sub>0</sub> [Mpa]	109,9	106	97,3	91,6	88,9		
	HB	min.	170	150	140	130	120	
		max.	230	210	200	190	180	
2420	min. Rm [Mpa]	250	230	200	165	145	120	
	E <sub>0</sub> [Mpa]	125	119,8	109,9	102,2	97,3	91	
	HB	min.	200	180	160	150	140	130
		max.	260	240	220	210	200	190
2425	min. Rm [Mpa]	300	280	250	220	195	170	
	E <sub>0</sub> [Mpa]	144	134	125	119,9	110,0	103,5	
	HB	min.	220	2000	180	170	160	150
		max.	280	260	240	230	220	210
2430	min. Rm [Mpa]		330	300	270	245	215	
	E <sub>0</sub> [Mpa]		153	144	132	125	115	
	HB	min.		220	200	190	180	170
		max.		280	260	250	240	230
2435	min. Rm [Mpa]		380	350	320	295	265	
	E <sub>0</sub> [Mpa]			149				
	HB	min.		230	210	200	190	180
		max.		290	270	260	250	240

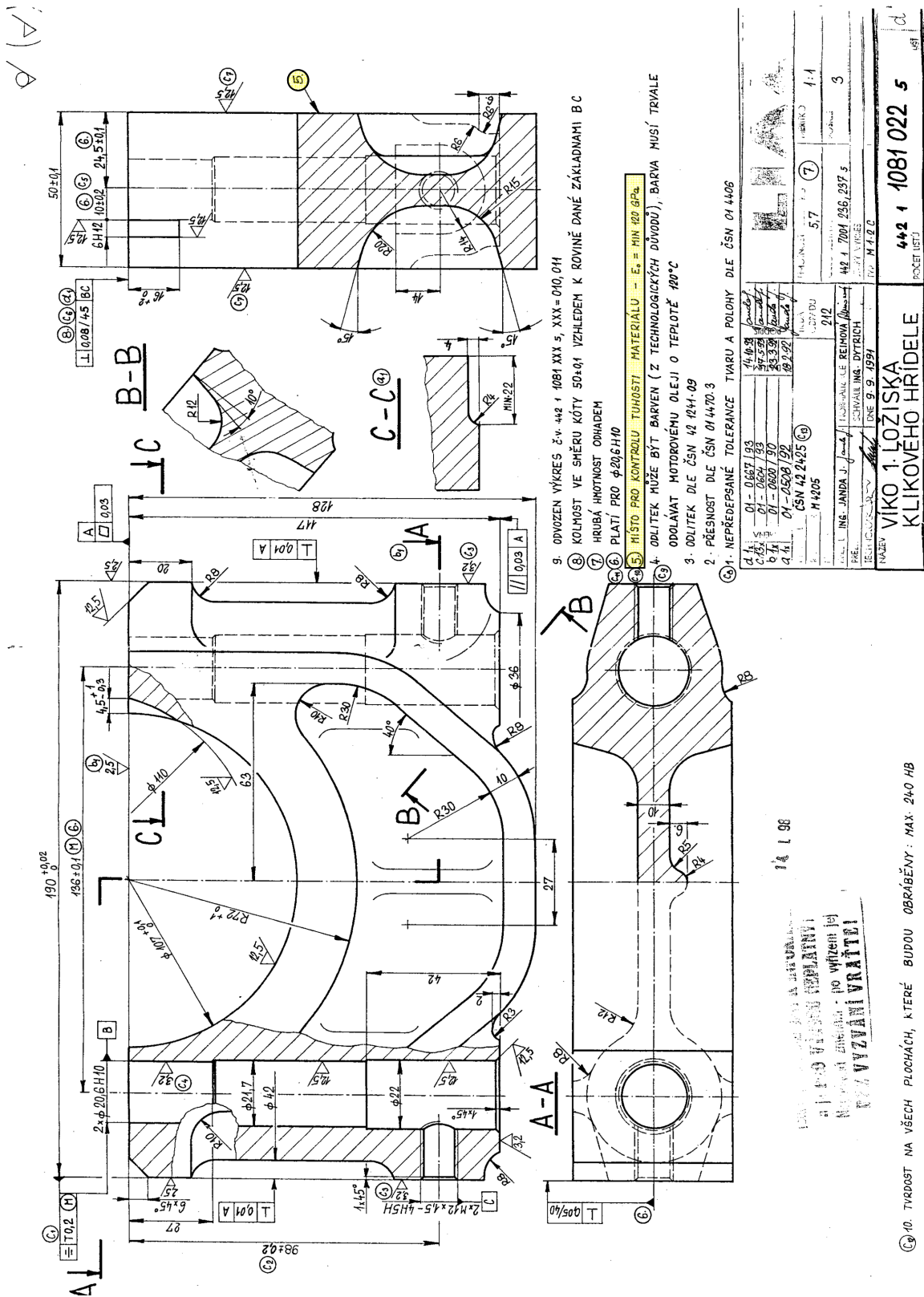
*Závislost mechanických vlastností šedých litin na tloušťce stěn (a  $\phi$  D  
zkušebních tyčí) odlitků*

### Příloha č.6



Závislost rychlosti šíření ultrazvukových vln na tvaru grafitu

# Příloha č.7



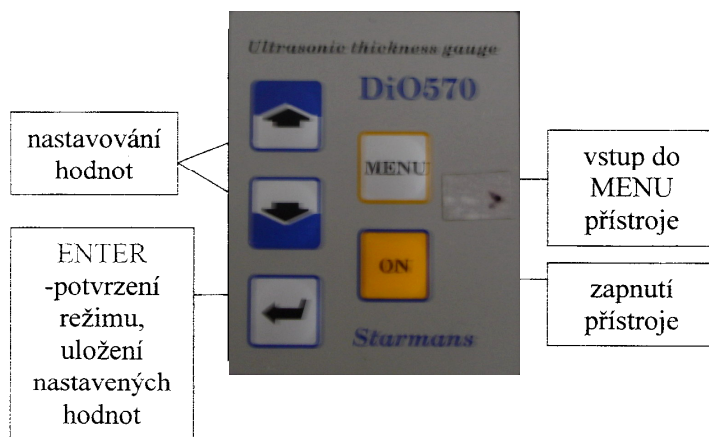
Výrobní výkres víka ložiska klikového hřídele LIAZ

## Příloha č.8

# Technický návod k obsluze DIO 570 firmy STARMANS

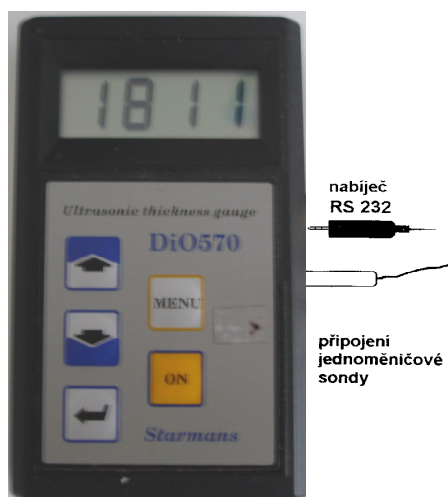


## 1. Popis klávesnice

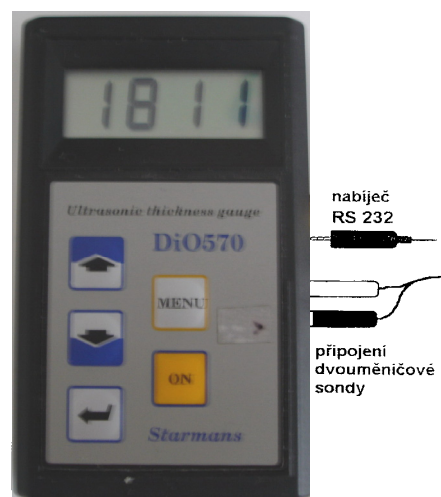


## 2. Popis připojení konektorů

Práce s jednoměničovou sondou



Práce s dvouměničovou sondou



### 3. Práce s tloušťkoměrem

Do režimu měření se dostaneme po zapnutí klávesy ON (vypíná se automaticky po 3 minutách a po opětovném zapnutí pracujeme v poslední konfiguraci, kterou jsme používali).. Na displeji problikne krátce zkratka materiálu, který je nastaven pro režim měření.

Na display se objeví



Nyní můžeme přiložit sondu k měřenému materiálu, na displeji se nám objeví tloušťka,

kterou můžeme uložit tlačítkem



nebo smazat z paměti šipkou



### 4. Měření do skupin

Měřené hodnoty můžeme ukládat buď za sebou a zpětně od konce je mazat, nebo je můžeme ukládat do skupin. Skupin je maximálně 10, a každá z nich může obsahovat 30 naměřených hodnot. Nastavení měření do skupin uděláme tak, že po zapnutí přístroje zmáčkneme klávesu MODE (MENU),

na displeji se objeví Edi, a šipkou se dostaneme na pozici EdS



potvrdíme klávesou



Na displeji je číslo skupiny, např. 001, to můžeme změnit šipkami, entrem potvrdíme a pokračujeme v měření.

### 5. Režimy tloušťkoměru

#### 5.1. Režim paměti

V tomto režimu pracujeme po zapnutí přístroje a krátkým zmáčknutím klávesy MODE (MENU). Může zde pracovat s příkazy (po potvrzení klávesou ENTER) :

Edi- prohlížení naměřených hodnot

EdS- prohlížení naměřených hodnot ve skupinách

LOA-vyvolání konfigurace sondy (uloženo pod číslem pro každý typ sondy)

výrobce je sonda miniaturní 10MHz uložena pod číslem 002

sonda 4MHz pod číslem 001

dEL-maže všechny naměřené hodnoty z paměti (nikoli nastavenou konfiguraci sondy)

Prt- tisk všech hodnot z paměti na miniaturní tiskárničku

*pozn: Prohlížení hodnot po stisku ENTER, stisk klávesy MODE.*

## 5.2. Režim kalibrace

Do režimu kalibrace se dostaneme, když po zapnutí přístroje podržíme delší dobu klávesu **MODE** (**MENU**). Na displeji se objeví **cAO**.

Režimy tohoto MENU jsou:

**cAO** – kalibrace dle známé tloušťky vzorku  
**Loc** – zámek proti náhodnému přepsání nastavené konfigurace  
**vAL** – přepínání na milimetry a palce  
**brA** – zapnutí, vypnutí podsvícení displeje  
**Loc** – zámek proti přepsání  
**AbS** – paměť poslední minimální hodnoty  
**Sav** – uložení nastavení přístroje  
**FAS** – přesnost a rychlost měření (desetiny, setiny)  
**rES** – reset nastavení přístroje (nikoli naměřených hodnot)  
**cAn** – nastavení mrtvé zóny  
**cAG** – nastavení zesílení přístroje (v dB)  
**vEL** – rychlost šíření UZ vlny v materiálu  
**cAc** – kalibrace pro vzorek s neznámou rychlostí šíření  
**tAb** – tabulka pevně nastavených rychlostí šíření a daných materiálů

*pozn: Prohlížení hodnot po stisku ENTER, stisk klávesy MODE.*

## 6. Kalibrace

### 6.1. Podle známé tloušťky materiálu

Použijeme přiložený kalibrační kroužek o síle 5mm. Přiložíme sondu přes kontaktní materiál (vazební medium) ke kal. vzorku. Klávesou **MODE** vyvoláme **MENU** přístroje.

Na displeji se objeví

**E d i**

Držíme klávesu cca 3 sekundy a na displayi se objeví

**c A O**



potvrdíme



a pomocí šipek nastavíme známou šířku materiálu.



potvrdíme

Na displeji krátce problikne

**d O n**

na důkaz uložení.



## 6.2. Kalibrace přístroje pro vzorek s neznámou rychlostí šíření

Sonda je již nastavena pro měření nějakého materiálu (ocel) a provedena kalibrace na vzorku 5mm (tzn. že souhlasí nastavení nuly).


- Změříme tloušťku vzorku s neznámou rychlostí šíření (např. posuvným měřítkem).


V MENU přístroje nastavíme příkaz



potvrdíme jej

- Přiložíme sondu na vzorek materiálu s neznámou rychlostí šíření a šipkami nastavíme skutečnou tloušťku měřeného materiálu.

Po zobrazení správné tloušťky potvrdíme údaj  Tím je nastavení skončeno.

Chceme-li toto nastavení uložit do paměti přístroje, vyvoláme příkaz **LOC**, nastavíme hodnotu 27 (nastavení a ochrana proti přepisu). Potvrdíme.  Vyvoláme **SAv\*\***

Nastavíme číslo od 1 do 6 (vybíráme čísla, která ještě nejsou použita) a potvrdíme.

### Příklad:

1. Přístroj je zkalibrován pro měření oceli s rychlostí šíření 5990 m/s (tabulková hodnota). Toto nastavení je uloženo jako **SAv 2**. Chceme provést kalibraci pro ocelolitinu u níž neznáme rychlost šíření.

- Provedeme : **LOAD 2** = sonda č. 001, ocel.

Poté nastavíme na displeji  a potvrdíme.

Přiložíme sondu na měř. vzorek, tlač. šipky nastavíme správný údaj tloušťky (rychlost šíření uvidíme stiskneme-li **MODE**) a potvrdíme.

Konfiguraci můžeme uložit příkazem **SAv** pod číslem např. 3 a potvrdíme.

Tím je nastavení skončeno. Pod příkazem **LOA 2** nyní máme uloženo měření oceli se sondou č. 001, a pod **LOA 3** pro tutéž sondu měření ocelolitinu.

2. Sonda dosud není nastavena pro měření žádného druhu materiálu (tzn. že nesouhlasí nastavení nuly), ale máme vzorek materiálu, jehož rychlost šíření odpovídá některé ze 16ti hodnot, uvedených v tabulce, případně je přístroj nastaven na rychlost odpovídající dotyčnému vzorku. - Pomocí příkazu **TAB** vybereme z tabulky příslušnou rychlost šíření. - Na zmíněném vzorku provedeme pomocí **Ca0** kalibraci nuly.


- Dále pak postupujeme podle bodu 1).

3. Sonda dosud není nastavena pro měření žádného druhu materiálu (tzn. že nesouhlasí nastavení nuly). a nemáme žádný materiál, jehož rychlost šíření by odpovídala některé ze 15ti hodnot, uvedených v tabulce.

Pořadové č.	Materiál-funkce	Zkratka na displej	Rychlost šíření
			ultrazvuk. vlnění ( m/s )
1	šedá litina	SEL	4 600
2	tvárná litina	tL	5 600
3	ocelo litina	OL	5 850
4	ocel	OcE	5 990
5	hliník	HLi	6 320
6	měď	nEd	4 700
7	mosaz	nOS	4 430
8	zinek	Zin	4 170
9	sklo	SLO	5 570
10	PE	PE	2 340
11	PVC	Puc	2 400
12	PLEXI	Pli	2 730
13	polyamid	POL	2 620
14	olovo	OLO	2 160
15	bakelit	bA	2 590

Po vyhledání příslušného materiálu, např. oceli (viz bod 6.)

O c E

stiskem klávesy  se objeví na displeji hodnota rychlosti šíření

5 . 99

- Opatříme si 2 vzorky materiálu s neznámou rychlostí šíření o různé síle (tloušťce), a to nejlépe takové, že 1. vzorek je jen o málo silnější než min. tloušťka, kterou daná sonda dokáže změřit a druhý o málo tenčí, než je dosah sondy v daném materiálu (max. dosah je někdy nutno ověřit experimentálně, zvl. u litiny či nekovových materiálů). Principiálně je možno použít i vzorky o jiných, libovolných (avšak vždy odlišných) tloušťkách než je doporučeno, nastavení přístroje však potom může být méně přesné a trvá déle, neboť se jedná vlastně o iterační postup.

- Změříme oba vzorky, hodnoty zapíšeme a určíme jejich rozdíl.

- V MENU najedeme na příkaz CaC (nastavení rychlosti šíření) a potvrdíme. Přiložíme sondu na silnější vzorek a zaznamenáme měřený údaj. Pak přiložíme sondu na tenčí vzorek a opět zaznamenáme údaj a určíme jejich rozdíl.

- Je-li tento rozdíl větší než rozdíl zjištěný mech. měřením, je nutno údaj o rychlosti šíření snížit, v opačném případě zvýšit (změna rychlosti šíření se projevuje změnou údaje o síle měřeného materiálu). Správnost nastavení potvrdíme.

- Nakonec opět vyvoláme příkaz Ca0 kalibrace, potvrdíme a na libovolné z obou měrek nastavíme správný údaj tloušťky. Údaj potvrdíme tlačítkem.

Pozn.:

Při všech kalibračních měřeních je vhodné přepnout přístroj tak, aby měřil v setinách mm (nastavit počet měření FAS větší než 50, nejlépe 150).

### 6.3. Nastavení citlivosti

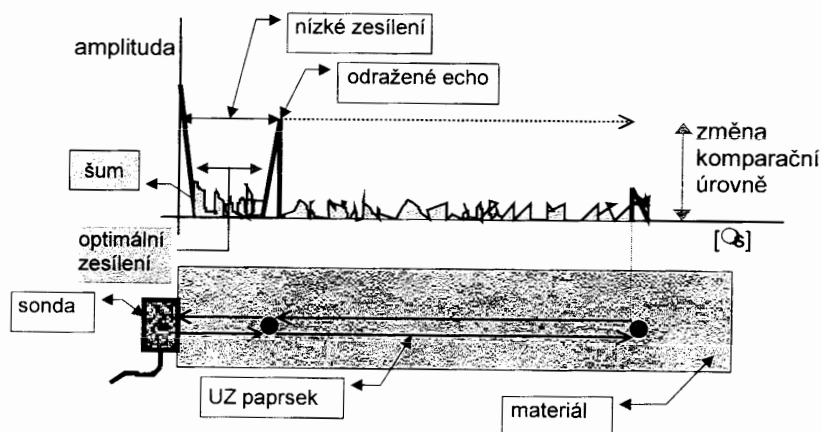
V *MENU* se nastavuje příkazem

**c A g**

potvrdíme, po stisknutí **MENU** uvidíme na hodnotu v dB



**5 1. 2**

Přístroj kalibrujeme tak aby bylo nastaveno optimální zesílení, což je tehdy, kdy signál nemá tak vysoké zesílení, že by zasahoval do šumového pásma ani tak nízké zesílení, že UZ paprsek nedosáhne odrazení od zadní stěny materiálu.



Optimální zesílení (nastavujeme bez přiložené sondy) nastavíme tak, že po vyvolání :

**c A g**

nastavujeme hodnotu displeje   tak dlouho, aby na něm byla zobrazena ještě hodnota :

**E E E**

ale těsně pod hranicí problíkávacích čísel, které znamenají již velké zesílení.

Hodnotu zesílení v dB zjistíme stisknutím tlačítka :

**MENU**

**nastavení zesílení provádíme v těchto případech:**

- a) připojíme-li k přístroji jinou sonda, než na kterou je nastaven
- b) pokud nám z nějakého důvodu nastavení citlivosti nevyhovuje (požadavek měřit na hranici možností přístroje a pod.)
- c) pokud nám na displeji problikávají čísla i když sonda není přiložena na měřený materiál

**6.4. Nastavení mrtvé zóny**

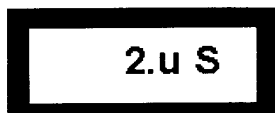
Slouží k zablokování parazitních zámků sondy, např. pro sondy Starman je přednastavena hodnota 2  $\mu$ s .

Upozornění: miniaturní sonda PQ 4/2-10C (rozsah 0,4 až 15mm) má cAn „1“ !

Na displeji nastavíme :  
potvrdíme



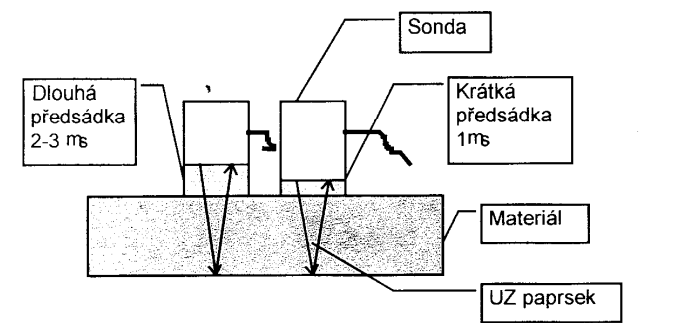
zobrazíme hodnotu, např. :



Nastavení změny doby šíření v předsádce klávesami



Tato hodnota bývá uváděna výrobcí sond.

**7. Nastavení typu materiálu**

Na displeji nastavíme :



vybereme materiál dle zkratky uváděné v tabulce (bod. 5.2.) a potvrdíme již přednastavenou hodnotu rychlosti šíření UZ vlny, pokud souhlasí, nebo ji nastavíme pokud nastavena nebyla.

Rychlost šíření UZ vlny v materiálu např.

**O c E**

ocel můžeme nastavit, nebo

**v E L**

prohlížet  
taktéž pod  
příkazem :



stlačením klávesy.

Hodnoty na displeji jsou v km/s (příklady zobrazení)

<b>S e L</b>	<b>4.60</b>	šedá litina	měď	<b>n E d</b>	<b>4.70</b>
<b>t L</b>	<b>5.60</b>	tvárná litina	mosaz	<b>n O S</b>	<b>4.43</b>
<b>O L</b>	<b>5.85</b>	ocelolitina	zinek	<b>Z I n</b>	<b>4.17</b>
<b>O c E</b>	<b>5.99</b>	ocel	sklo	<b>S L O</b>	<b>5.57</b>
<b>H L i</b>	<b>6.32</b>	hliník	PE	<b>P E</b>	<b>2.34</b>

## 8. Tisk naměřených hodnot

- buď přímo z PC, nebo možno pomocí příkazu **Prt\*\*** na přenosné jehlové tiskárničce.

**P r t**

start tisku do tiskárničky připojené do seriové linky s parametry  
2400Bd,N,8,1  
po vyslání dat do tiskárničky se přístroj sám vypne

## 9. Vymazání nastavení přístroje

**R E s**

nastaví běžné hodnoty parametrů jako počáteční stav pro připojení  
neznámé sondy

## 10. Přesnost a rychlost měření

**F A s**

měří s přesností na setiny pokud nastavíme 51-150 měření  
měří s přesností na desetiny pokud nastavíme 20-50 měření

Nastavíme v *MENU* přístroje příkaz *FA* \*\*, potvrdíme, šipkami regulujeme nastavenou hodnotu. Pokud jsme nastavili, ukončíme *ENTREM.* .

## 11. Uložení nastavené konfigurace

**S A v**

Máme možnost uložení 6-ti kombinací nastavení přístroje.

V *MENU* nastavíme *SAv* \*\* příkaz, potvrdíme.

Šipkami nastavíme číslo od 1 do 6, potvrdíme.

Uložit (platí pro 2 až 6 konfiguraci) lze za podmínky, že zámek proti přepsání *LOC* \*\* je nastaven na 0.

## 12. Vyvolání konfigurace sondy a měření

Pokud přístroj neměří, nebo nevíte jak jej nastavit do pův. stavu, vyvolejte č. konfigurace sondy

**L o A**

nastavení čísla 1 - 6

slouží k tomu aby nebylo třeba kalibrovat opětovně sondu, pokud používáte více sond (každá sonda může být použita a přednastavena pro jiný typ materiálu)

V *MENU* nastavíme *LoA* \*\* příkaz, potvrdíme, šipkami nastavíme číslo od 1 do 6, potvrdíme.

### Příklady nastavení konfigurace sondy

<u>LoA 1</u>	velká sonda 4MHz
<u>LoA 2</u>	malá sonda 1-50 mm, 10MHz
<u>LoA 3</u>	
<u>LoA 4</u>	

## 13. Zámek proti náhodnému přepsání


**L o C**

je-li nastaveno "0" uloží vše, i citlivost sondy

Je-li nastavena 1 a více, přístroj zapomene nastavené hodnoty po vybití akumulátorů

V *MENU* režimu kalibrace nastavíme *LOC* \*\*, potvrdíme, nastavíme 0, ukončíme

## 14. Paměť poslední minimální naměřené hodnoty

Slouží pro snadnější odečítání hodnot, zvláště na trubkách, kde je nutno hledat minimální naměřenou hodnotu při kolmém nastavení sondy. 



Po potvrzení nastavíme šipkami hodnotu 000 nebo 001,

**000** -vypnuta paměť posl. minimální hodnoty


**001** -zapnuta paměť posl. minimální hodnoty

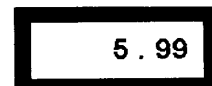
Tato funkce se automaticky vypíná při všech režimech kalibrací.

## 15. Rychlost šíření


zobrazení právě nastavené rychlosti šíření v materiálu



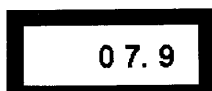
Vyhledáme v **MENU** potvrdíme, stiskem  se zobrazí ( pro ocel)



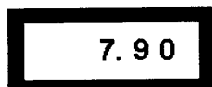
## 16. Ukládání naměřených hodnot do paměti

Po zapnutí  přístroje přiložíme sondu k měřenému materiálu, kde se nám zobrazí naměřená hodnota (v milimetrech)

V případě, že **FAs\*\*** je 20-50

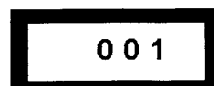


V případě, že **FAs\*\*** je 50-100

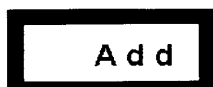


Uložíme ji **ENTREM**.

Na displayi proklikne číslo pod kterým bylo uloženo



a potvrzení



uložení

Pak se znovu objeví měřená hodnota (mm), a můžeme přejít k dalšímu měření.

## 17. Nastavení sond-jednoměničová, dvouměničová

Provedeme příkazem **Sin** (tato funkce není momentálně v přístroji).

Potvrdíme. Šipkami vybereme **Sin** (jednoměničová), nebo **duA** (dvouměničová) a potvrdíme.

Pokud chceme aby byla tato sonda uložena v paměti, nastavíme **LOC** na 27, a uložíme znovu po původní konfiguraci (pokud bylo **LOA** 002, tak opět **SAV** 002), aby bylo nastavení zachováno po vypnutí přístroje.

## 18. Podsvětlení displeje

Toto podsvětlení lze vypnout příkazem **brA**.

**bOF** – vypnuto

**bOn** – zapnuto


## 19. Měření v mm/palcích

Nastavení jednotek délky lze příkazem **vAL**.

**nn** – měření v mm

**inc** – měření v palcích


## 20. Mazání měřených hodnot z paměti

Pokud nechceme právě naměřenou a již uloženou hodnotu nechat v paměti, přiložíme sondu a  tlačítkem ji vymažeme

na displeji prohlédne pořadové číslo poslední měřené hodnoty např. :

0 0 9

a poté potvrzení zmazání

Hodnoty se mažou od poslední naměřené hodnoty k první postupným stisknutím tlačítka 

Vymazání všech hodnot z paměti najednou provedeme příkazem **dEL\*\* v režimu paměť**

d E L

Tento příkaz nechává v paměti uloženou konfiguraci sondy a materiálu.

## 21. Zavádění měřených hodnot do počítače

Naměřené hodnoty lze zavést do počítače PC-XT/AT.

To realizujeme pomocí dodávaného kabelu mezi tloušťkoměrem a počítačem.

Do počítače zkopírujeme program z diskety a spustíme jej. Dále se řídíme pokyny programu.

Port RS232 počítače nesmí být obsazen myší, ani nesmí být nainstalován driver pro myš.

## 22. Signalizace vybití akumulátorů

Signalizace vybití je realizována symbolem "LO BAT", který se na displeji zobrazí vlevo, jakmile mají akumulátory malé napětí. Přístroj ještě pracuje, není však zaručená doba činnosti, která je poměrně krátká.



### **23. Nabíjení akumulátorů**

poznáme, když přístroj zapneme tlačítkem ON a na displeji se prokroují hodnoty uložené v paměti, jako když jsou přenášeny do počítače a přístroj se sám vypne.

Nabíjení akumulátorů provádíme po dobu cca 12-15 hodin při dodaném nabíječi, kde je napětí stabilizováno na 12V, mírné přebíjení není na závadu.

Před dlouhou sérií měření doporučujeme preventivně akumulátory nabít. Do přístroje je možné použít i alkalické dva tužkové články, které pak není možné nabíjet. Očekávaná doba provozu vzroste na cca dvojnásobek.

### **24. Ošetření sondy**

Sondu otíráme po ukončení měření hadříkem dosucha. Při měření vždy musí být akustický kontakt realizován (antikoročním) vazebním médiem. Vyvarujte se styku sondy s agresivními látkami.

## PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Horní Branné dne 8. května 2006

Podpis: