

Možnosti bezdotykového měření vzdálenosti

The Technical Capabilities of Contactless Distance Measuring

Jan Bartoník

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan BARTONÍK
Osobní číslo: A09086
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Informační a řídicí technologie
Forma studia: prezenční

Téma práce: Možnosti bezdotykového měření vzdálenosti

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na téma ultrazvukové měřiče vzdálenosti.
2. Vypracujte literární rešerši na téma optické měřiče vzdálenosti.
3. Provedte sérii měření ultrazvukovými přístroji.
4. Zpracujte a vyhodnoťte naměřené výsledky.
5. V závěru uveďte posouzení vhodnosti využití ultrazvukových dálkoměrů v různých situacích a rozhodněte, v jakých případech bude vhodnější použít optické měřiče vzdálenosti.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. OBRAZ, Jaroslav. Ultrazvuk v měřicí technice. 2. uprav. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 485 s.
2. ŠVEHLA, Štefan a Zdenko FIGURA. Ultrazvuk v technológii. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1984, 521 s.
3. TARABA, Oldřich. Co dovede ultrazvuk: průmyslové využití ultrazvuku. Praha: Práce, 1963, 158 s.
4. KUČKA, Jozef a Štefan ŠVEHLA. Ultrazvuk a jeho použitie v priemysle. 1. vyd. Bratislava: SVTL, 1962, 392 s.
5. ĎURČEK, Karol. Hluk a ultrazvuk. [Bratislava], 1978.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2013


Termín odevzdání bakalářské práce:

14. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na možnosti bezkontaktního měření vzdálenosti. V teoretické části jsou vypracovány dvě literární rešerše na témata ultrazvukové měřiče vzdálenosti a optické měřiče vzdálenosti. V praktické části byla provedena série měření s ultrazvukovým přístrojem, kde byla testována jejich přesnost a spolehlivost. Naměřené výsledky byly zpracovány a vyhodnoceny. V závěru jsou porovnány ultrazvukové a optické přístroje na měření vzdálenosti, jejich výhody a nevýhody.

Klíčová slova: ultrazvuk, piezoelektrické senzory, sonary, optika, laser

ABSTRACT

Thesis is focused on the possibilities of contactless distance measuring. In the theoretical part, there are two researches on the topics ultrasonics distance meters and optical distance meters. In the practical part, there was done a series of measurement with ultrasonic device, which was tested for precision and reliability. The measured results were compiled and evaluated. At the end, there is comparing ultrasonic and optical devices on distance measure, their advantages and disadvantages.

Keywords: ultrasound, piezoelectric sensors, sonars, optics, laser

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Pospíšilíkovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za odbornou pomoc a čas, který si na mě vyhradil.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ULTRAZVUK	13
1.1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ULTRAZVUKU.....	13
1.2 ROZDĚLENÍ VLNĚNÍ	13
1.3 ROZDĚLENÍ ULTRAZVUKU PODLE ÚČINKŮ.....	13
1.3.1 Pasivní ultrazvuk.....	14
1.3.2 Aktivní ultrazvuk	14
1.4 VZNIK ULTRAZVUKOVÝCH VLN V PROSTŘEDÍ	14
1.5 DRUHY VLN.....	15
1.5.1 Podélné vlny	15
1.5.2 Příčné vlny.....	15
1.5.3 Lambovy vlny.....	15
1.5.4 Rayleigovy vlny.....	16
1.6 TVARY VLN	16
1.6.1 Rovinná vlna	17
1.6.2 Válcová vlna.....	17
1.6.3 Kulová vlna	17
1.7 RYCHLOST VLNĚNÍ	18
1.7.1 Rychlost vlnění v plynech	18
1.7.2 Rychlost vlnění v kapalinách	19
1.8 PŘECHOD VLNĚNÍ NA ROZHRAŇÍ 2 PROSTŘEDÍ.....	20
1.8.1 Kolmý dopad vlnění na rozhraní	20
1.8.2 Šikmý dopad vlnění na rozhraní.....	21
1.9 ULTRAZVUKOVÉ MĚNIČE.....	22
1.9.1 Základy měničů	22
1.9.2 Mechanické měniče.....	22
1.9.3 Elektromechanické měniče	22
1.9.4 Píšťaly	22
1.9.5 Sirény	23
1.9.6 Piezoelektrické měniče.....	23
1.9.6.1 Piezoelektrický jev	23
1.9.6.2 Přírodní materiály	24
1.9.6.3 Uměle vytvořené materiály	24
1.9.6.4 Výroba piezokeramiky	25
1.9.6.4 Piezoelektrické konstanty	26
1.9.7 Magnetostrikční měniče	27
1.9.7.1 Magnetostrikční materiály	27
1.9.7.2 Magnetostrikce.....	27
1.9.7.3 Magnetostrikční charakteristika a předmagnetizace	28
1.9.7.4 Tvary magnetostrikčních měničů.....	29

1.10	METODY ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘENÍ.....	30
1.10.1	Metoda průchodová.....	30
1.10.2	Metoda impulsová odrazová	31
1.11	ULTRAZVUKOVÉ SONARY	31
1.11.1	Sonar SRF04	31
1.11.2	Sonar SRF08	33
1.11.3	Sonar SRF485WPR.....	34
1.12	ULTRAZVUKOVÉ SENZORY V PRŮMYSLU	35
1.12.1	Senzor UB6000-F42-U-V15	36
1.12.2	Ultrazvukový senzor QT50UDB.....	36
1.13	DALŠÍ VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÝCH DÁLKOMĚŘŮ	37
1.13.1	Parkovací senzory.....	37
1.13.1.1	PS084.....	37
1.13.2	Měření výšky kapalin a pevných látek	38
1.13.2.1	Hladinoměr Probe LU.....	38
1.13.2.2	Hladinoměr VEGASON 65	39
1.13.3	Měření vzdáleností ve stavebnictví.....	39
1.13.3.1	MeterMaster Laser Pro.....	40
1.13.4	Echoloty	40
1.13.4.1	Echolot Lowrance Elite-5x	40
2	OPTIKA	42
2.1	VLNOVÁ OPTIKA.....	43
2.1.1	Interference.....	43
2.1.2	Ohyb	43
2.1.3	Polarizace	43
2.2	GEOMETRICKÁ OPTIKA	43
2.2.1	Rychlost světla	44
2.2.2	Absolutní index lomu.....	44
2.2.3	Index lomu.....	44
2.2.4	Odraz světla.....	45
2.2.5	Lom světla	45
2.3	KVANTOVÁ OPTIKA	45
2.4	ÚVOD A DĚLENÍ OPTICKÝCH DÁLKOMĚŘŮ	46
2.5	PASIVNÍ DÁLKOMĚRY	46
2.5.1	Princip měření	46
2.5.2	Dělení dálkoměrů	47
2.5.3	Dálkoměry bistatické.....	47
2.5.4	Dálkoměry stadimetrické	48
2.5.5	Dálkoměry monostatické.....	48
2.5.5.1	Princip monostatických dálkoměrů.....	49
2.5.5.2	Koincidenční dálkoměry	51
2.5.5.3	Stereoskopické dálkoměry	52
2.6	AKTIVNÍ DÁLKOMĚRY	53
2.6.1	Princip elektrooptických dálkoměrů	54
2.6.2	Laserové dálkoměry	55

2.6.3	Konstrukce laseru	55
2.6.3.1	Aktivní prostředí	55
2.6.3.2	Zdroj záření	56
2.6.3.3	Rezonátor	56
2.6.3.4	Laserový paprsek	56
2.6.4	Princip laseru	56
2.6.4.1	Inverze populace	57
2.6.4.2	Funkce rezonátoru	58
2.7	OPTICKÉ SENZORY	59
2.7.1	Senzor Q45BB6DXQ5	60
2.7.2	Senzor RL28-55-LAS-2840/47/115b	60
2.8	RUČNÍ DÁLKOMĚRY	61
2.8.1.1	Leica DISTO D5	61
2.9	DÁLKOMĚRY VE VOLNÉM ČASE	61
2.9.1	Laser 1200S	61
	OBR. 45: LASER 1200S [36]	62
2.10	ZEMĚMĚŘIČSKÉ PŘÍSTROJE	62
2.10.1	NIKON NIVO 5.M.	62
II	PRAKTICKÁ ČÁST	63
3	MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVÝM DÁLKOMĚREM	64
3.1	POPIS A OVLÁDÁNÍ PŘÍSTROJE	64
	OBR. 47: ULTRAZVUKOVÝ DÁLKOMĚR	64
3.1.1	Senzor SRF02	65
3.2	POSTUP MĚŘENÍ	67
3.3	NAMĚŘENÁ DATA	68
3.3.1	Měření od překážky ze dřeva	68
3.3.1.1	Velikost překážky 20 x 20 cm	68
	Velikost překážky 10 x 10 cm	69
	Velikost překážky 5 x 5 cm	70
3.3.2	Měření od překážky z hliníkové folie	71
3.3.2.1	Velikost překážky 20 x 20 cm	71
3.3.2.2	Velikost překážky 10 x 10 cm	72
3.3.2.3	Velikost překážky 5 x 5 cm	73
3.3.3	Měření pod úhlem 60 °	74
3.3.4	Měření pod úhlem 67,5 °	75
3.3.5	Měření pod úhlem 75 °	76
3.3.6	Měření od dvou tyčí vzdálených 50 cm	77
3.3.7	Měření od dvou tyčí vzdálených 90 cm	78
3.3.8	Měření od dvou tyčí vzdálených 120 cm	79
3.4	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVÝM PŘÍSTROJEM	80
3.5	FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ	81
	ZÁVĚR	83
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	85

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	87
SEZNAM OBRÁZKŮ	91
SEZNAM TABULEK.....	94

ÚVOD

Bezkontaktní měření vzdálenosti tvoří důležitou součást měření vzdáleností. Bezkontaktní dálkoměry mohou být využity ve spoustě různých aplikací. Bezesporu mají oproti kontaktním metodám velké výhody a v některých aplikacích by bez jejich využití bylo měření klasickým způsobem velmi náročné. Rozsah měření může být několik centimetrů až po desítky, někdy i stovky metrů, v závislosti na výběru typu přístroje.

V teoretické části jsou vypracovány dvě literární rešerše na téma ultrazvukové měřiče vzdálenosti a optické měřiče vzdálenosti. V první ze zmíněných rešerší jsem nejprve popsal ultrazvuk a jeho vlastnosti obecně. Následně jsou uvedeny způsoby vzniku ultrazvuku, metody měření vzdálenosti a konkrétní využití ultrazvukových dálkoměrů v praxi. V druhé literární rešerši, zaměřené na optické měřiče vzdálenosti, jsem postupoval podobně. Nejprve jsem popsal základy optiky obecně a dále jsem se věnoval optickým dálkoměrům. Ty jsou pak rozděleny na dva druhy optických dálkoměrů a to pasivní a aktivní dálkoměry.

V praktické části jsem provedl sérii měření ultrazvukovým přístrojem. Naměřené hodnoty jsem vyhodnotil a pro lepší názornost vynesl do grafů. Na závěr jsem popsal výhody a nevýhody ultrazvukových i optických dálkoměrů a provedl zhodnocení jejich vhodnosti při různých aplikacích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ULTRAZVUK

1.1 Fyzikální základy ultrazvuku

V prostoru, kterým jsme obklopeni, existují dva druhy vlnění. Jedná se o elektromagnetické vlny a elastické vlny. Zatímco elektromagnetické vlny se mohou šířit i ve vakuu, elastické vlny se šíří pouze v hmotném pružném prostředí. Pružné prostředí je takové, kde se kmitání jedné částice přenáší vazbou na vedlejší částici a současně se přenáší energie kmitavého pohybu. Oba druhy vlnění se vyskytují v širokém pásmu frekvencí od několika málo kmitů za sekundu, až po velké frekvence okolo miliard kmitů za sekundu. [1, s. 21]

1.2 Rozdělení vlnění

Ultrazvukem můžeme nazvat mechanické kmitání částic v pružném prostředí s frekvencí kmitání, která je přibližně vyšší než 20 kHz, avšak hranice není přesně vymezená. Jedná se tedy o kmitání s frekvencí nad oblastí slyšitelnosti lidského ucha. Kmitání s frekvencí v rozsahu 16 Hz až 20 kHz se nazývá zvuk a pro lidské ucho je nejvíce citlivé okolo 3000 Hz. Kmitání při frekvencích nižších než je 16 Hz, čili při frekvencích pod rozsahem slyšitelnosti, nazýváme infrazvuk. Existuje také akustické pásmo zvané hyperzvuk, jehož frekvence se pohybují nad 10^9 Hz. [1, s. 21-22]

1.3 Rozdělení ultrazvuku podle účinků

Ultrazvuk můžeme podle účinků rozdělit na pasivní a aktivní. Velikost těchto účinků závisí na intenzitě, respektive amplitudě výchylky, frekvence kmitů a vlastnosti prostředí, ve kterém ultrazvuk vzniká. [2, s. 19]

1.3.1 Pasivní ultrazvuk

Pasivní ultrazvuk se používá ve všech oblastech, kde kmitání nedosahuje takové intenzity, která by vyvolala fyzikální nebo chemické změny prostředí. Využívají se fyzikální zákonitosti o šíření ultrazvuku v plynech, kapalinách a tuhém prostředí. Pasivní ultrazvuk se používá zejména v procesech, jako jsou zjišťování vad materiálu zvaná defektoskopie, lékařství, měřicí a kontrolní technice. [2, s. 22]

1.3.2 Aktivní ultrazvuk

Aktivní ultrazvukové vlny se vyznačují tím, že při svém šíření vyvolávají fyzikální nebo chemické změny v prostředí. Jako aktivní ultrazvuk považujeme takový, který má intenzitu nad $0,5 \cdot 10^4$ W. V praxi se pak využívají k ultrazvukovému čištění, vrtání, svařování, terapii a působení na malé organismy. [2, s. 22]

1.4 Vznik ultrazvukových vln v prostředí

Jak již bylo zmíněno výše, ultrazvuk můžeme považovat za mechanické kmity částic prostředí kolem rovnovážné klidové polohy, přičemž frekvence je vyšší než 20 kHz a amplitudy těchto kmitajících částic jsou malé. Při kmitání pružného prostředí, které je vyvoláno vychýlením a kmitavým pohybem skupiny částic, se rozkmitají sousední částice působením pružných sil. Takové kmitání bez větších odchylek je sinusového tvaru. Tento typ kmitání můžeme popsat vlnovou rovnicí

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 x}{\partial r^2}, \quad 1)$$

jejíž partikulární řešení pro rovinnou vlnu je rovnice pro harmonický pohyb

$$x = A_0 \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right), \quad 2)$$

kde je x okamžitá výchylka

A_0 amplituda výchylky [m],

- ω kruhová frekvence [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$],
 c rychlost šíření vlny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 r souřadnice polohy (dráhy) [m],
 $\omega(x/c)$ fázový úhel φ [rad]. [3, s. 34-35]

1.5 Druhy vln

Vlnění se může šířit v tuhých, kapalných i plynných látkách. Ultrazvukové vlny dělíme na několik druhů. Ty se liší zejména způsobem pohybu částic prostředí vzhledem ke směru postupu vlny. [2, s. 29]

1.5.1 Podélné vlny

Za nejznámější a nejdůležitější považujeme podélné vlny (Obr. 1a), u nichž se částice prostředí pohybují ve stejném směru jako je postup vlny. Tyto vlny se šíří tuhým, kapalným i plynným prostředím a při šíření dochází ke zhušťování a zředování částic prostředí. [2, s. 29-30]

1.5.2 Příčné vlny

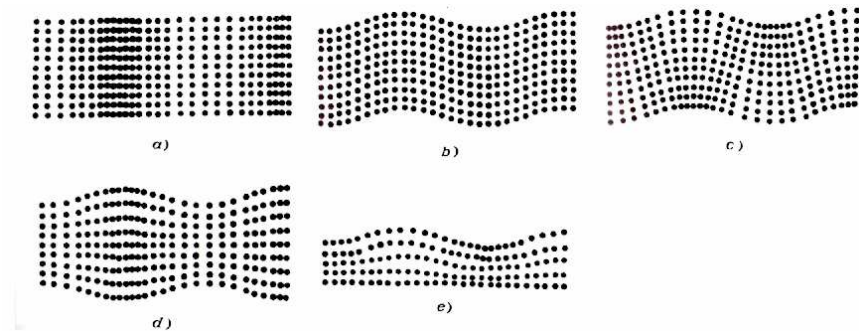
Další druh vlnění je příčné (Obr. 1b). Šíří se pouze v tuhém prostředí s rozměry mnohem většími než je délka vlny. V plynném a kapalném prostředí se nevyskytuje, jelikož tyto skupenství nekladou žádný odpor smykovému namáhání. Kmitání částic u těchto vln je kolmé na směr šíření vlny. Příčné vlny se šíří pomaleji než vlny podélné. [2, s. 30]

1.5.3 Lambovy vlny

Lambovy vlny (Obr. 1c, 1d) se šíří v prostředích jako jsou dráty nebo desky, jejichž alespoň jeden rozměr je blízký jejich vlnové délce. V defektoskopii je značíme jako deskové vlny. Dále se dělí na asymetrické a symetrické. [2, s. 30]

1.5.4 Rayleighovy vlny

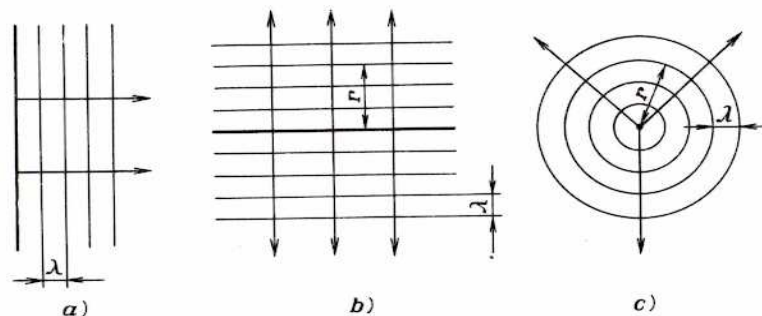
Rayleighovy vlny (Obr. 1e) se mohou šířit na volném povrchu tuhého prostředí a do hloubky přibližně stejné jako je délka vlny. Jedná se o speciální případ příčných vln, které obsahují i podélnou složku. [2, s. 30]



Obr. 1: Druhy vln [2, s. 29]

1.6 Tvary vln

Pokud není prostředí ohraničené, šíří se vlna od svého zdroje prostorově. Podle tvaru plochy zdroje vlnění a způsobu šíření vln můžeme vlnění rozdělit na tři základní typy. Jedná se o rovinnou vlnu, vlnu válcovou a kulovou vlnu. Body v prostředí, které se šíří se stejnou fází, se nazývají vlnoplochy. [3, s. 36]



Obr. 2: Tvary vln [2, s. 25]

1.6.1 Rovinná vlna

Rovinná vlna (Obr. 2a) vznikne, jestliže vlnoplocha tvoří rovinu kolmou na směr šíření a je dána rovnicí popsanou již výše a to

$$x = A_0 \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right). \quad [3, \text{s. } 38] \quad (3)$$

1.6.2 Válcová vlna

Válcová vlna (Obr. 2b) vznikne, jestliže vlnoplochy jsou vzájemně souosé válce. Zdrojem vln může být přímka nebo válec a vlna je popsána rovnicí

$$x = \frac{A_0}{\sqrt{r}} \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right). \quad [3, \text{s. } 38] \quad (4)$$

1.6.3 Kulová vlna

Kulová vlna (Obr. 2c) vznikne, máme-li zdroj vlnění malých rozměrů neboli bodový zdroj. Taková vlna je popsána rovnicí

$$x = \frac{A_0}{r} \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right), \quad (5)$$

kde vlnoplochy mají tvar soustředných kulových ploch a středem je bodový zdroj. [3, s. 38]

1.7 Rychlost vlnění

Rychlost šíření ultrazvukového vlnění závisí na tlaku, hustotě a teplotě prostředí.

1.7.1 Rychlost vlnění v plynech

Rychlost vyjádříme pomocí vzorce

$$c = \sqrt{\frac{\chi p}{\rho}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}, \quad (6)$$

kde je p tlak [Pa],

χ poměr měrných tepel,

ρ hustota plynu [kg.m^{-3}].

Protože rychlost zvuku je závislá na teplotě prostředí, použijeme pro výpočet rychlosti při teplotních odchylkách následující vzorec

$$c = c_0 + b\Theta \text{ [m.s}^{-1}\text{]}, \quad (7)$$

kde je c_0 rychlost zvuku při 0°C ,

b teplotní součinitel [$\text{m.s}^{-1}\text{.K}^{-1}$],

Θ teplota [$^\circ\text{C}$]. [2, s. 40-41]

Tabulka č. 1: Konstanty některých plynů při teplotě 0°C

Plyn	Značka	Rychlost šíření c [m.s^{-1}]	Teplotní součinitel b [$\text{m.s}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Poměr měrných tepel χ
argon	A	319	0,56	1,668
hélium	He	965	0,8	1,66
oxid uhličitý	CO ₂	259	0,4	1,299
svítiplyn	-	453	-	-
vzduch	-	331	0,61	1,402
neon	Ne	435	0,8	-
kyslík	O ₂	316	0,56	1,396
dusík	N	334	0,6	1,4

1.7.2 Rychlost vlnění v kapalinách

V čistých kapalinách závisí rychlost šíření na tlaku, hustotě prostředí a teplotě. Až na malé výjimky zde nedochází ke smykovému třetí, a proto se šíří pouze podélné vlny. Rychlost šíření ultrazvuku v kapalinách vyjádříme pomocí vzorce

$$c = \sqrt{\frac{K}{\delta}} = \sqrt{\frac{1}{\beta_{ad}\delta}} = \sqrt{\frac{\chi}{\beta_{iz}\delta}} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}], \quad (8)$$

kde je K adiabatický modul objemové pružnosti [Pa],

β_{ad} adiabatická stlačitelnost [Pa^{-1}],

β_{iz} izotermická stlačitelnost [Pa^{-1}],

χ poměr měrného tepla.

Rychlost se mění v závislosti na teplotě prostředí a popisuje se linearizovanou rovnicí

$$c(\Theta) = c_0 + b(\Theta - \Theta_0) \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}], \quad (9)$$

kde je c_0 rychlost při počáteční teplotě Θ_0 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

b absolutní teplotní součinitel [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$]. [2, s. 34-35]

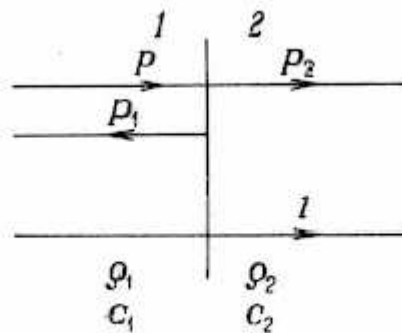
Tabulka č. 2: Konstanty některých kapalin při teplotě 20 °C

Kapalina	Hustota $\rho, 10^{-3}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Rychlost šíření c [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Teplotní součinitel b [$\text{ms}^{-1}\text{K}^{-1}$]
aceton	0,792	1192	-5,5
etylén	0,714	1008	-5,4
etylalkohol	0,789	1180	-3,6
benzín	-	1162	-4,14
metylalkohol	0,792	1128	-3,3
olej olivový	0,905	1405	-
toluen	0,866	1328	-
voda	0,997	1483	2,5

1.8 Přejchod vlnění na rozhraní 2 prostředí

Jedná se o přechod z jednoho prostředí do prostředí druhého s tím, že tyto prostředí mají odlišný vlnový odpor. Jestliže je plocha rozhraní dost velká, je možné zde použít zákony známé z optiky. Přejchod vlnění může být s kolmým nebo šikmým dopadem na rozhraní. [2, s. 48]

1.8.1 Kolmý dopad vlnění na rozhraní



Obr. 3: Kolmý dopad vlnění [2, s. 48]

Původní dopadající vlna (P) se na rozhraní dvou prostředí rozdělí na dvě složky. Na odraženou vlnu (P_1) a procházející vlnu (P_2). Součtem odražené a procházející vlny dostaneme vždy původní dopadající vlnu.

$$P = \rho_1 c_1 v, \quad (10)$$

$$P_1 = -\rho_1 c_1 v_1, \quad (11)$$

$$P_2 = \rho_2 c_2 v_2, \quad (12)$$

kde je P amplitudy akustického tlaku dopadající, odražené a procházející vlny [Pa],

v akustické rychlosti [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

ρc akustické odpory prostředí.

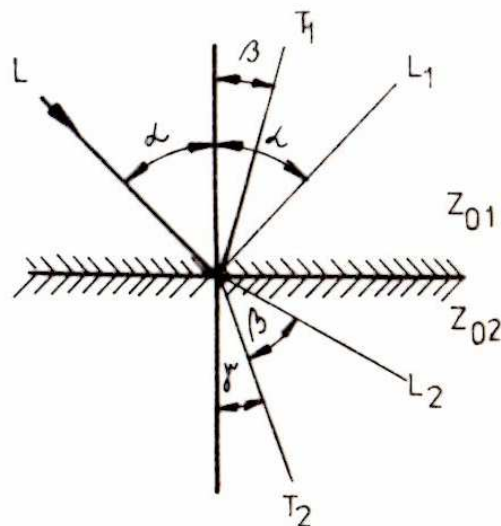
Záporné znaménko u druhé rovnice znamená, že odražená vlna postupuje v záporném směru dráhy. [2, s. 48]

1.8.2 Šikmý dopad vlnění na rozhraní

S šikmým dopadem ultrazvukové vlny na rozhraní dvou prostředí se vlna opět rozdělí na procházející a odraženou část. Úhel odražené vlny je roven úhlu dopadu. Procházející vlna přejde do druhého prostředí, přičemž nezachová svůj směr a láme se. Nastat mohou dva případy a to lom ke kolmici nebo lom od kolmice. Platí zde vztahy analogicky jako v optice, čili

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}, \quad (13)$$

kde c_1, c_2 jsou rychlosti šíření zvuku v různých prostředích. [1, s. 63]



Obr. 4: Šikmý dopad vlnění [1, 63]

L – podélná vlna, T – příčná vlna

1.9 Ultrazvukové měniče

1.9.1 Základy měničů

Ultrazvukové vlny jsou přijímány a vysílány pomocí elektroakustických měničů. Tyto elektroakustické měniče jsou zařízení, která slouží jako převodník některého druhu energie (např. kinetické nebo elektrické) na energii ultrazvukovou nebo naopak. Podle druhu energie, která se přeměňuje, dělíme ultrazvukové měniče do dvou základních skupin na mechanické a elektromechanické měniče. [1, s. 86]

1.9.2 Mechanické měniče

Mechanické měniče přeměňují energie proudů kapaliny nebo plynu na zvukovou nebo ultrazvukovou energii. Mají velmi široké jak frekvenční a výkonové pásmo, tak i rozsah účinnosti. [1, s. 87]

- píšťaly
- sirény
- speciální měniče

1.9.3 Elektromechanické měniče

- piezoelektrické měniče
- magnetostrikční měniče
- elektrodynamické měniče
- elektrostatické měniče

1.9.4 Píšťaly

Píšťaly jsou nejjednodušším typem mechanických měničů jako zdroj zvukového a ultrazvukového vlnění v plynném prostředí. Kmity vznikají tak, že proud vzduchu o určité rychlosti naráží na ostrou hranu dutiny píšťaly a třísť se o ni. Frekvence vlnění je určena

rozměry dutiny. Se zmenšujícími rozměry se zvětšuje frekvence (výška) vlnění. Mezi nejznámější píšťaly patří Galtonova nebo Hartmanova. [1, s. 87]

1.9.5 Sirény

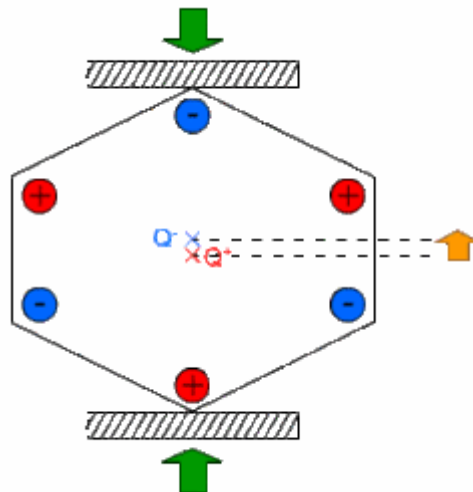
Sirény jsou zdroje pronikavých zvukových signálů, které mohou být zdrojem velkých ultrazvukových výkonů. Konstrukce sirén je poměrně složitá. Siréna se skládá ze statoru a rotoru, na jejichž obvodu je okolo sta otvorů. Jestliže se rotor otáčí, otvory na statoru a rotoru se kryjí pouze v určitých momentech a pokud se rotor otáčí konstantní rychlostí, proud vzduchu je pravidelně přerušovaný. Frekvence vln pak závisí na počtu otvorů statoru a rotoru a na rychlosti otáčení rotoru. Frekvenční rozsah je 3 až 30 kHz, s účinností až 70 procent. [1, s. 93]

1.9.6 Piezoelektrické měniče

Piezoelektrický jev objevili bratři Pierem a Jaquesem Curieovi v roce 1880. Ti zjistili, že existují určité látky, které když jsou podrobeny mechanickému namáhání, uvolňují na povrchu elektrický náboj. Objev tedy nazvali elektřina tlaku neboli piezoelektrika. [4, s. 48]

1.9.6.1 Piezoelektrický jev

Při mechanické deformaci (tlak, tah) u látek s přirozenými piezoelektrickými vlastnostmi vzniká na jejich povrchu elektrický náboj, jehož velikost je přímo úměrná této deformaci. Tomuto jevu se říká přímý piezoelektrický jev. Existuje také nepřímý piezoelektrický jev, kdy se krystal deformuje, vedeme-li na povrch krystalu elektrický náboj. Piezoelektrické vlastnosti mají pouze látky, které nemají střed souměrnosti. [5]



Obr. 5: Vznik piezoelektrické energie [6]

Elektrický náboj tedy vzniká deformací krystalické mřížky, která je tvořena kladnými a zápornými ionty. Při deformaci se kladné a záporné ionty posunou tak, že každý element krystalu získá elektricky dipólový moment a na povrchu náboje vznikne elektrický náboj. Piezoelektrické materiály dělíme na přírodní a uměle vytvořené. [5]

1.9.6.2 Přírodní materiály

Přírodních piezoelektrických látek je známých kolem 300. Patří mezi ně například křemen, turmalín nebo Seignettova sůl. Křemen se používal zejména v začátcích ultrazvukové techniky. Ve světě se těží například v Rusku, Brazílii nebo Madagaskaru. [1, s. 124]

1.9.6.3 Uměle vytvořené materiály

Uměle vytvořeným materiálům s piezoelektrickými vlastnostmi se říká piezokeramika. Tyto materiály mají lepší vlastnosti než přírodní materiály. Dnes se používají zejména systémy založené na olovo-zirkonátu-titanátu (PZT), tzn. skládají se ze smíšených krystalů zirkonátu olova a titanátu olova. [5]

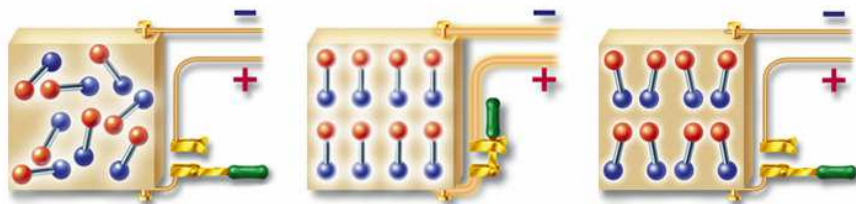
1.6.5.4 Výroba piezokeramiky

Piezokeramika se vyrábí smícháním jemných prášků oxidů kovů ve specifických proporcích. Tento prášek se lisuje, a tím pádem můžeme dosáhnout různých tvarů měničů, jako jsou například desky, hranoly, prstence nebo tyče. Následně jsou vypalovány v tunelové peci při teplotách mezi 1000 °C a 1300 °C. V této fázi si materiál vytváří svou polykrystalickou keramickou strukturu. Poté se piezokeramika ochlazuje, následně se vybrousí a na příslušné plochy se vpálí stříbrné elektrody. [7]



Obr. 6: Tvary piezokeramických měničů [5]

Po vypálení vykazují domény keramického tělesa libovolnou orientací. Znamená to, že materiál je izotropní a nemá žádné piezoelektrické vlastnosti. Abychom dosáhli stejných piezoelektrických vlastností jako u látek přirozeně piezoelektrických, musí tento materiál projít procesem polarizace. V tomto procesu je materiál vystaven stejnosměrnému elektrickému poli s vysokým napětím kolem 3 kVmm^{-1} po dobu až jedné hodiny při teplotách mezi 80 °C a 140 °C. Tím se dosáhne vhodné orientace dipólů uvnitř keramiky i po odpojení tohoto pole. [7]



Obr. 7: Piezokeramika před polarizací, během polarizace a po ní [5]

1.9.6.4 Piezoelektrické konstanty

- Piezoelektrický koeficient d_{ik} udává změnu rozměru Δl měniče v závislosti na elektrickém poli E , které je dáno napětím U . Tímto koeficientem je charakterizován nepřímý piezoelektrický jev a bývá často označován jako vysílací konstanta měniče. Lze ji spočítat pomocí vztahu

$$d_{ik} = \frac{\Delta l}{U_v} [mV^{-1}] \quad (14)$$

kde je $U_v = l \cdot E$ [V] napětí na elektrodách měniče. [2, s. 86]

- Piezoelektrickou deformační konstantu h_{ik} definujeme jako napětí naprázdno U_p , které vzniká na elektrodách měniče při tloušťkové deformaci. Touto konstantou charakterizujeme přímý piezoelektrický jev a bývá často označována jako přijímací konstanta měniče. Vypočítáme pomocí vztahu

$$h_{ik} = \frac{U_p}{\Delta l} [Vm^{-1}]. [2, s. 86] \quad (15)$$

1.9.7 Magnetostrikční měniče

Magnetostrikční jev objevil v roce 1842 anglický fyzik James Joule. Jde o jev, který se vyskytuje u látek s feromagnetickými vlastnostmi. Jestliže na látky s těmito vlastnostmi působí magnetické pole nezávisle na jeho směru, mění materiály svoje rozměry, neboli dochází k deformaci. Jestliže dojde k prodloužení materiálu, mluvíme o kladné magnetostrikci, jestli ke zkrácení, pak o záporné magnetostrikci. Jestli dojde k prodloužení nebo zkrácení, záleží na typu materiálu a velikosti intenzity magnetického pole. Existuje také opačný magnetostrikční jev, čili jestliže deformujeme předmět z feromagnetického materiálu, dochází ke změně magnetizace předmětu v magnetickém poli. [1, s. 94]

1.9.7.1 Magnetostrikční materiály

Mezi magnetostrikční materiály patří například železo, nikl, kobalt a jejich slitiny. Dále se vyskytuje u feritů, což jsou permanentní magnety vyrobené z keramických oxidů. Ty se dnes používají díky svým dobrým vlastnostem a nízké cenou. Od magnetostrikčních materiálů používaných pro měniče se očekává:

- Vysoký elektromechanický vazební činitel
- Antikorozi stálost
- Vysoká pevnost
- Minimální ztráty vířivými proudy i na vyšších frekvencích

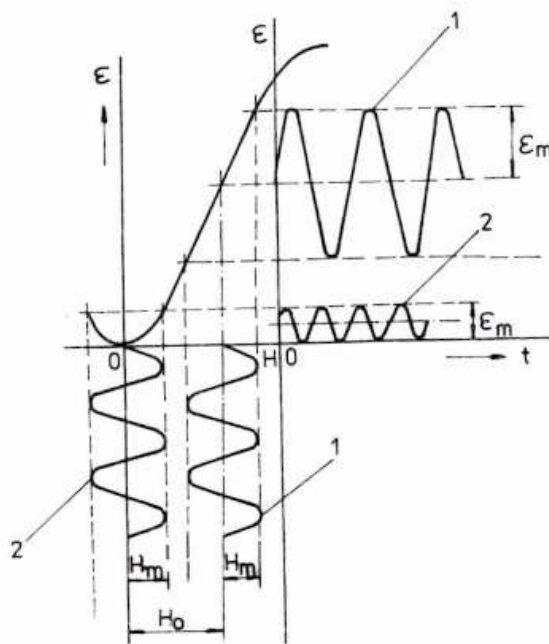
1.9.7.2 Magnetostrikce

Feromagnetické materiály mají strukturu, která je rozdělena do magnetických domén. Pokud na látku nepůsobí vnější magnetické pole, je směr magnetických momentů jednotlivých domén různý. Jejich směry odpovídají směru lehké magnetizace. Avšak pokud na látku působí vnější magnetické pole, dochází k rozšiřování hranic domén. Jejich dipólový moment je orientován ve směru vnějšího magnetického pole a tudíž je vnější magnetické pole značně zesíleno. Tímto procesem vzniká mechanické napětí v materiálu, což se projevuje natahováním nebo smršťováním. Tyto vlastnosti mají materiály pouze při teplotách menších než je Curieova teplota. Pokud je tato Curieova teplota překročena,

dipóly se ve feromagnetiku ruší a materiál ztrácí feromagnetickou schopnost. [1, s. 94][3, s. 91]

1.9.7.3 Magnetostrikční charakteristika a předmagnetizace

Magnetostrikční křivky charakterizují magnetostrikční vlastnosti materiálů. Jedná se o závislost relativního prodloužení $\Delta l / l = \varepsilon$ statické deformace na intenzitě magnetického pole H . Statická deformace ε se nemění lineárně s intenzitou magnetického pole H . Při určité intenzitě magnetického pole dosahuje maximální hodnoty tzv. nasycená magnetostrikce. Optimální podmínky pro volbu pracovního bodu předmagnetizace se volí v lineární části magnetostrikční charakteristiky. Amplituda deformace ε je mnohem větší u přemagnetizovaného, tj. polarizovaného měniče než u měniče bez předmagnetizace. [2, s. 99]

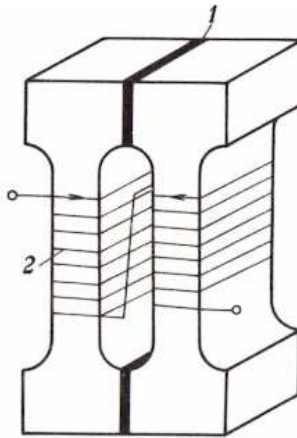


Obr. 8: Předmagnetizací(1) a bez předmagnetizace(2) [2, s. 99]

1.9.7.4 Tvary magnetostrikčních měničů

Magnetostrikční měniče mohou mít různé tvary. Nejjednodušší typ těchto měničů je půlvlňová tyč z magnetostrikčního materiálu ovinutá budícím napětím. Jestliže bude vinutím protékat střídavý proud I s frekvencí f , vytvoří se v tyči střídavé magnetické pole H . V tyči vznikne pnutí, které se navenek projeví podélným kmitáním tyče. Výhodné je tyč přemagnetizovat a tím nastavit pracovní bod do lineární oblasti. Tento typ se v praxi moc nepoužívá, avšak jeho princip je společný i u ostatních typů měničů. [1, s. 100]

Dalším typem je tyčový měnič, který je složený z tenkých plechů, které jsou od sebe izolovány, čímž se zabraňuje elektrickým ztrátám. Další typ představují okénkové měniče, které oproti předchozím typům dosáhnou stejné intenzity pole H s mnohem menším počtem závitů. Měnič je složený ze dvou tyčí, které jsou na koncích spojeny vložkou z téhož materiálu. Budící cívky jsou navinuty na obou tyčích a tvoří okénko. Tento typ se používá zejména ve výkonových ultrazvukových zařízeních. Pro větší výkony se používají víceokénkové měniče. [1, s. 101]



Obr. 9: Okénkový magnetostrikční měnič [2, s. 100]

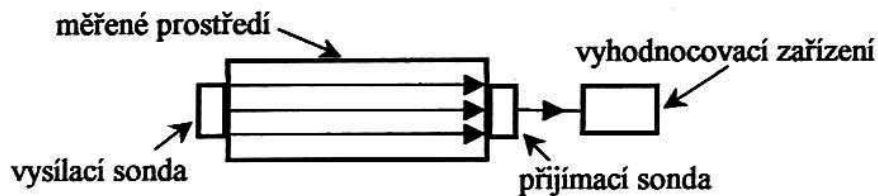
- 1) permanentní magnet, 2) budící cívka

1.10 Metody ultrazvukového měření

Ultrazvuková měřicí technika se využívá v mnoha oborech, jako jsou například stavebnictví, strojírenství, geologie, lékařství nebo vědecký výzkum. Tato technika využívá pro měření několika metod. Patří mezi ně metoda průchodová, metoda rezonanční, metoda impulsová odrazová a metoda frekvenční modulace. [2, s. 105]

1.10.1 Metoda průchodová

Jedná se o nejstarší a nejjednodušší metodu. Principem této metody je měření procházejícího akustického tlaku nebo zjišťování doby průchodu ultrazvukových vln ve vyšetřovaném prostředí. Skládá se ze dvou sond, které jsou umístěny souose na protilehlých stranách vyšetřovaného prostředí. Jedna z nich vysílá a druhá přijímá ultrazvukové vlny.



Obr. 10: Průchodová metoda [2, s. 105]

Vzdálenost měřeného prostředí se pak vypočítá podle vzorce

$$L = c \cdot t, \quad (16)$$

kde je c rychlost šíření zvuku v měřeném prostředí[m.s]

t doba mezi vysláním a přijetím signálu[s]. [2, s. 105-106]

1.10.2 Metoda impulsová odrazová

Jedná se o nejpoužívanější metodu ultrazvukové měřicí techniky. Touto metodou se měří doba průchodu a akustický tlak odraženého impulsu. K měření se většinou používá jedna sonda, která funguje jako vysílač a přijímač vlnění zároveň. Tato sonda vysílá krátké impulsy, které se po odrazu vysílají zpět. Čas od vyslání do zachycení impulsu je úměrný vzdálenosti sondy k ploše odrážející impuls.

Vzdálenost měřeného prostředí se pak vypočítá podle vzorce

$$L = \frac{c \cdot (t_1 + t_2)}{2}, \quad (17)$$

kde je c rychlost šíření zvuku v měřeném prostředí[m.s]

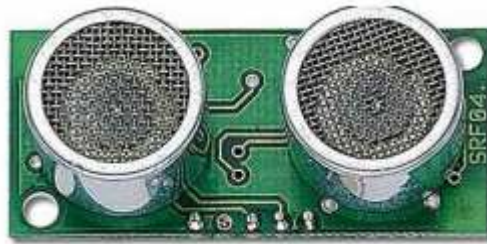
t_1+t_2 je doba mezi vyslaným a přijatým impulsem[s]. [2, s. 110]

1.11 Ultrazvukové sonary

Jedná se o ultrazvukové senzory, které jsou určeny k měření vzdálenosti k překážce. Princip měření je založen na měření doby mezi vysláním akustického impulsu a okamžikem přijetí odraženého signálu od překážky, které nazýváme echem. Tyto sonary mají širokou škálu využití, mezi které patří například měření výšek hladiny, měření vzdáleností ve stavebnictví, průmyslu, zemědělství, lesnictví nebo také automatizace či robotizace. Nejčastěji se zde používá ultrazvukový signál s frekvencí kolem 40 kHz. [8]

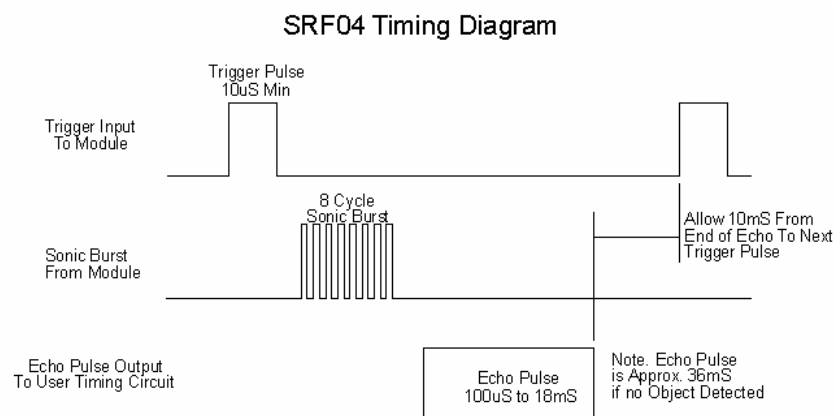
1.11.1 Sonar SRF04

SRF04 je ultrazvukový sonar s odděleným vysílačem a přijímačem používající signál s frekvencí 40 kHz. Rozsah měření je 3 cm až 3 m. Rozměry snímače jsou 43 x 20 x 17 mm. Napájení 5 V / 30 mA. Připojení pomocí sběrnice I²C. [8]

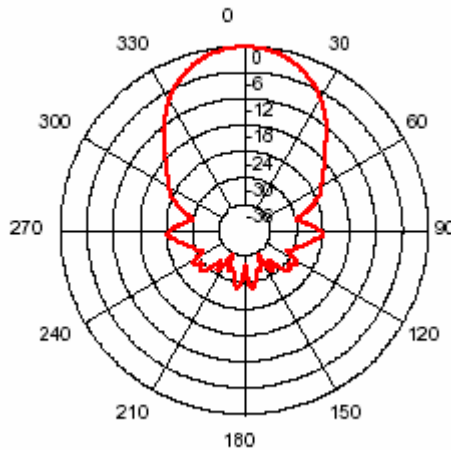


Obr. 11: Sonar SRF04 [8]

Pro ovládání je zapotřebí nadřazený mikro počítač, který odstartuje měření vygenerováním impulsu logické jedničky na vstupu trigger. Nato mikroprocesor sonaru vygeneruje 8 pulsů a výstup echo je nastaven na logickou 1. Jakmile je odražený signál přijat, echo se nastaví na logickou 0. Není-li echo přijato do 18 ms, je tento výstup v 36. milisekundě uveden do stavu logické 0, čili pokud není do 18 ms přijat žádný odražený signál, nenachází se v blízkosti žádná překážka. O vyhodnocení délky impulsu se pak postará nadřazený mikro počítač. [8]



Obr. 12: Časový diagram sonaru SRF04 [8]



Obr. 13: Oblast vyzařování SRF04 [8]

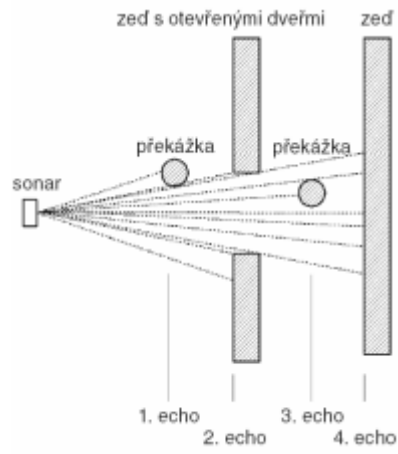
1.11.2 Sonar SRF08

Sonar SRF08 je nástupcem SRF04. Opět je zde oddělený vysílač a přijímač pracující se signálem o frekvenci 40 kHz. Rozsah měření je od 3 cm do 6 m. Jeho rozměry jsou 43 x 20 x 17 mm. Napájení 5 V / 15 mA. Připojení pomocí sběrnice I²C. [9]



Obr. 14: Sonar SRF08 [9]

Tento sonar je vhodný pro měření vzdálenosti k více překážkám, jelikož umí vyhodnotit vícenásobné echo v nastavitelných rozsazích, přičemž nejdelší je přibližně 11 m. Umí uchovat až prvních 16 ech. [9]



Obr. 15: Ukázka vícenásobné echo [8]

Modul SRF08 obsahuje celkem 36 registrů. Registr 0 je příkazový, registr 1 je vyhrazen pro zesílení senzoru osvětlení. Další registry obsahují údaje jednotlivých ech (pro každé echo jsou určeny dva registry). Zápisem příslušného kódu do příkazového registru se nastavuje jeden ze dvou módů činnosti modulu, tj. měření vzdálenosti nebo ANN. Zároveň se spustí vlastní měření. [8]

1.11.3 Sonar SRF485WPR

SRF485WPR je ultrazvukový dálkoměr s voděodolným měničem. Rozsah měření je 0,6 až 5 metrů s frekvencí 40 kHz. Připojení přes sériovou komunikaci RS485. [9]

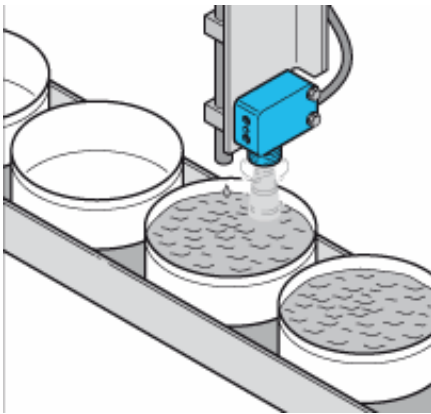


Obr. 16: Sonar SRF485WPR [9]

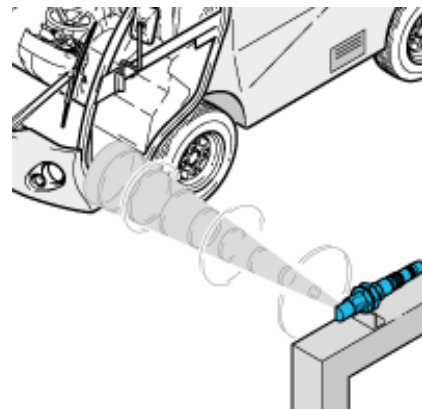
1.12 Ultrazvukové senzory v průmyslu

Ultrazvukové senzory jsou v průmyslu velmi využívány. Jejich použití je vhodné do náročných průmyslových prostředí, kde jiné typy senzorů jsou nevyhovující. Může se jednat o prašné prostředí, prostředí plné páry nebo kouře. Používají se například v nábytkářském, stavebním, zemědělském nebo potravinářském průmyslu. Využívají se také v balicích linkách, kde je potřeba detekce předmětů různých velikostí. Detekují spolehlivě sytké, kapalné nebo průhledné materiály. Jsou nastavitelné pomocí potenciometru, tlačítka Teach-in nebo je možné je připojit k PC. Konkrétní příklady využití jsou:

- Řízení polohy okraje pásu
- Monitorování dopravníkového pásu
- Detekce a počítání výrobků
- Detekce výšky hladiny v automatizované plnárně
- Detekce přítomnosti objektu [10]



Obr. 17: Detekce výšky hladiny [10]



Obr. 18: Monitorování přítomnosti [10]

1.12.1 Senzor UB6000-F42-U-V15

Jedná se o ultrazvukový senzor od společnosti Pepperl+Fuchs. Rozsah měření senzoru je 0,35 – 6 m. Pracuje s frekvencí 65 kHz. Velikost odrazové plochy by měla být alespoň 10 x 10 cm. Možnost použití při teplotách -25 až 70 °C. Rozměry senzoru jsou 80 x 80 x 34 mm. Analogový výstup 0-10 V. Napájecí napětí je 17 až 30 VDC. Rozsah nastavitelný pomocí tlačítka Teach-in. [11]



Obr. 19: Senzor UB6000-F42-U-V15 [11]

1.12.2 Ultrazvukový senzor QT50UDB

Jde o ultrazvukový senzor od společnosti Turck s měřicím rozsahem 0,2 až 8 metrů. Frekvence ultrazvuku je 75 kHz. Napájecí napětí je 10 – 30 VDC. Přístroj má dva nezávislé spínací rozsahy nastavitelné pomocí Teach-in, teplotní kompenzaci a LED signalizaci síly signálu. [12]



Obr. 20: Senzor QT50UDB [12]

1.13 Další využití ultrazvukových dálkoměrů

1.13.1 Parkovací senzory

Podle principu můžeme parkovací senzory rozdělit na ultrazvukové, elektromagnetické a nebo s využitím kamery. Na výběr jsou také systémy s bezdrátovou komunikací. Nejčastěji používané jsou ultrazvukové senzory, mezi jejichž výhody patří poměrně nízká cena, vysoká spolehlivost a snadná montáž. Nevýhodou je nutný zásah do konstrukce vozidla, zatímco u elektromagnetických senzorů tato nutnost odpadá. Ultrazvukové senzory můžeme pořídit buď jen zadní, nebo vzadu i vpředu. U zadních senzorů je pak možné vybrat typ s displejem nebo pouze se zvukovou signalizací. Pokud zvolíme předozadní senzory, je dobré být informován o způsobu spínání mezi předními a zadními senzory. U všech senzorů je důležité jejich umístění, které by mělo být minimálně 40 cm vysoko od vozovky a jejich správná orientace. Vzdálenost mezi čidly není nijak omezena. [13]

1.13.1.1 PS084

Jde o parkovací ultrazvukový senzor do zadního nárazníku od české společnosti Jablotron. Sada obsahuje malý grafický displej, čtyři čidla a řídicí jednotku. Displej mění se změnou vzdálenosti barvu podsvícení a jednotka má proměnlivou akustickou signalizaci s blížící se překážkou. Detekční vzdálenost přístroje je 0,3 až 1,5 m. Pracovní teplota je -30 až 70°C. Přístroj pracuje na frekvenci 40 kHz. Napájení přístroje je 10 – 16V. [14]



Obr. 21: Parkovací senzory PS084 [14]

Budoucnost automobilového průmyslu směřuje k plné automatizaci parkování a vyjždění automobilů zcela bez přičinění řidiče s využitím ultrazvuku. [14]

1.13.2 Měření výšky kapalin a pevných látek

Jedná se o bezkontaktní měření výšky hladiny pomocí ultrazvukových čidel. Princip je založen na odrazové impulsové metodě. Maximální měřitelná vzdálenost závisí na výkonu snímače a druhu měřené látky. Zpravidla leží mezi 2 – 100 m. Zóna, kdy snímač není schopen měřit, se pohybuje mezi 0,2 – 0,8 m. Přesnost měření se pohybuje v řádu desetin procenta měřicího rozsahu. [15]

Použití těchto snímačů je výhodné v prostředí pro měření agresivních látek, abrazivní směsi nebo hladiny vodního díla, které v zimě zamrzá. Typické použití je například vodárenství, čistírky odpadních vod, chemický a petrochemický průmysl, stavební průmysl a průmysl paliv. [15]

Správné fungování snímačů je podmíněno vlivem teploty, přetlakem a podtlakem, vlivem transportního média, páry, prachu, pěny na hladině kapaliny a proudění transportního média. Důležité je také správné umístění čidla a vyloučení zdrojů falešných potenciálních odrazů, jako jsou například potrubí uvnitř nádrže, lopatky čerpadla atd. [15]

1.13.2.1 Hladinoměr Probe LU

Přístroj Probe LU slouží k měření hladiny, objemu či průtoku kapalných látek. Měřicí rozsah je dle nastavení 0,25 – 6 m. Přesnost měření se pohybuje okolo 0,15 % rozsahu. Napájení je 24 až 30 VDC. [16]



Obr. 22: Hladinoměr Probe LU [16]

1.13.2.2 Hladinoměr VEGASON 65

Přístroj je vhodný pro měření výšky hladiny kapalin nebo sypkých materiálů. Senzor má hliníkovou nebo polyethylenovou membránu s pogumovaným čelem a integrovaným teplotním snímačem s otočným směrovým kloubem. Měřicí rozsah je u kapalin 0,8 – 45 m a u sypkých hmot 0,8 – 25 m. Přesnost je okolo 10 mm. Procesní teplota je -40 až do 80 °C. [17]



Obr. 23: Hladinoměr VEGASON 65 [17]

1.13.3 Měření vzdáleností ve stavebnictví

Velmi používané jsou ruční ultrazvukové měřiče. Při měření vzdáleností ve stavebnictví je často využíván ultrazvuk s laserovým zaměřovačem pro správné určení měřeného bodu. Jsou velmi vhodné do těžce přístupných prostorů, například měření vysokých stropů hlubokých šachet nebo jinak nepřístupných prostor. Daleko lépe eliminují chyby, které mohou vzniknout klasickým měřením vzdálenosti, například propnutí metru nebo chyby při zaměřování. Některé z těchto zaměřovačů umí vypočítat obsah plochy prostor. Na přístroji jsou až tři vodovážné bubliny, které zajišťují přesnost měření. [18]

1.13.3.1 MeterMaster Laser Pro

Jde o ultrazvukový měřič opatřený laserovým paprskem. Vyznačuje se jednoduchou obsluhou a přehledným menu. Je možno uchovat naměřené hodnoty, počítat obsah nebo objem prostoru. Výpočet vzdálenosti zahrnuje v potaz teplotu v daném prostředí. Napájení je jedna 9V baterie. Rozsah měření je 0,6 – 15 m s přesností 0,5 %. Rozměry jsou 125 x 60 x 35 mm. Hmotnost cca 130 g. [18]



Obr. 24: MeterMaster Laser Pro [18]

1.13.4 Echoloty

Echoloty jsou zařízení sloužící především na vyhledávání ryb nebo mapování vodního dna, které pracují na principu impulsové metody ultrazvukového měření vzdálenosti. Echolot umístěný na trupu lodi vysílá pomocí sondy vlny, které jdou až ke dnu, kde se odrážejí a jsou znovu zachyceny. Pod vodou není jen dno, ale také kameny, rostliny nebo ryby a každá překážka vytvoří jiné echo. Tyto echa jsou poté zobrazovány na monitoru. Ve spodu bude vždy čára, která zobrazuje dno. Jedna z předních společností, zabývající se výrobou těchto přístrojů, je společnost Lawrence. [19]

1.13.4.1 Echolot Lowrance Elite-5x

Sonar Lowrance Elite-5x má vynikající rozlišení obrazovky 480 x 480 obrazových bodů na barevné obrazovce. Úhlopříčka displeje je 127 mm. Je schopen zachytit objekty velikosti

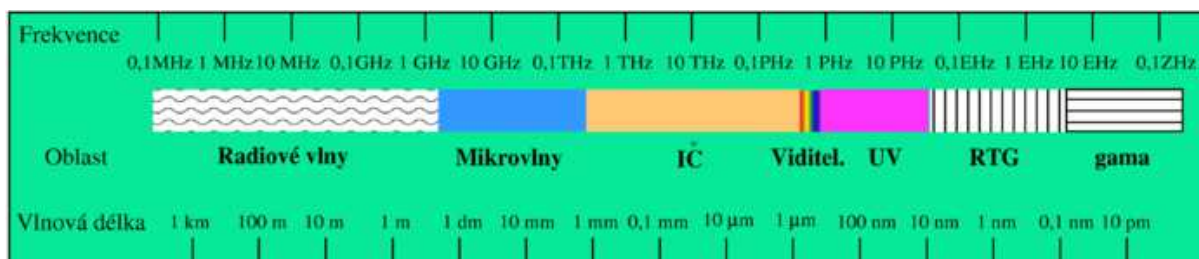
od 5 mm. Dvojfrequenční sonarové pokrytí je 60 a 120 stupňů. Frekvence sonaru 83/200 kHz se snímačem teploty. Hloubkový dosah je až 305 m. Nastavitelná citlivost pro rychlost lodě až do 113 km/h. Na výběr je několik rybářských režimů dle situace. [19]



Obr. 25: Lowrance Elite-5x [19]

2 OPTIKA

Optika je věda, která studuje původ a zákonitosti světelných jevů, děje vzájemného působení světla a látky a zabývá se i detekcí světla. Světlo je viditelná oblast spektra elektromagnetického záření přibližně v rozsahu 380 – 780 nm. Do oboru optiky spadá i blízká IR a UV oblast. Celé elektromagnetické spektrum zahrnuje záření od radiových vln až po gama záření. Přirozené optické záření je světlo emitované přírodními zdroji, například Sluncem, hvězdami, atmosférickými výboji. Takové optické záření je chaotické, nemonochromatické, nepolarizované a nekoherentní. [20, s. 9]



Obr. 26: Elektromagnetické spektrum [21]

Světelný vjem zprostředkovaný okem závisí na složení směsi světla neboli na vlnových délkách jednotlivých složek světla. Například monochromatické záření vznikne z velmi úzkého oboru vlnové délky a vede k vjemu syté spektrální barvy. Monochromatické světlo může vzniknout například ve výbojkách plněnými plyny. Záření zdrojů, jako jsou například slunce nebo žárovka, má spojité spektrum. Pokud je spektrální oblast v takovém záření rozložena rovnoměrně, nemají vznikající vjemy výraznou sytost. Optiku rozdělujeme do tří základních skupin. Jsou to vlnová optika, geometrická optika a kvantová optika. [20, s. 9]

2.1 Vlnová optika

Vlnová optika je někdy také zvana fyzikální optika. Světlo je považováno jako příčné vlnění, které se šíří prostředím. Příčná vlna je taková, kde amplituda kmitání a směr šíření vlny jsou na sebe kolmé. Pro šíření elektromagnetického vlnění není vyžadováno hmotné prostředí a vlnění je schopné se šířit i ve vakuu. Časový rozdíl mezi dvěma stejnými po sobě jdoucími prostorovými stavy (fázemi) ve stejném bodě nazýváme dobou kmitu T . Převrácenou hodnotu $f = 1 / T$ značíme jako frekvenci. Nebereme-li v úvahu časový průběh, ale pouze periodické rozložení prostorových stavů v nějakém časovém okamžiku, pak vzdálenost mezi stejnými sousedními fázemi se nazývá vlnová délka λ . [20, s. 9-10] [22]

2.1.1 Interference

Interference je skládání světelných vln pocházejících ze zdrojů koherentního světla, které mají stejnou frekvenci a jejichž fázový rozdíl je v daném bodě časově neměnný. [22]

2.1.2 Ohyb

Ohyb světla neboli difrakce světla je jev, kdy vlnění může proniknout i za překážku do oblasti geometrického stínu. [22]

2.1.3 Polarizace

Polarizace je jev, vyskytující se pouze u elektromagnetického vlnění příčného. Pokud u vlnění existuje pouze jeden směr kmitání, jde o lineárně polarizovanou vlnu. [22]

2.2 Geometrická optika

Říká se jí také paprsková optika. Nepopisuje šíření vln vlnoplochami, ale normálami k vlnoplochám, které nazýváme světelné paprsky. Paprsek světla je dráha, podél níž je v daném optickém systému přenášena světelná energie od jednoho bodu k druhému. Křížící se paprsky se navzájem neovlivňují. Paprsková optika se zabývá takovými jevy šíření, které plynou z geometrických vztahů při odrazu a lomu. [20, s. 11] [22]

2.2.1 Rychlost světla

Nejvyšší dosažitelná rychlost ve vesmíru vůbec. Značí se c a je přibližně $3 \cdot 10^8$ m/s ve vakuu. Rychlost světla v látkovém prostředí je menší než rychlost světla ve vakuu. Proto abychom odstranili velká čísla rychlosti světla, používáme indexy lomu. [20, s. 11] [22]

2.2.2 Absolutní index lomu

Absolutní index lomu n_{abs} prostředí je podíl rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí. [20, s. 11]

$$n_{abs} = \frac{c_{vak}}{c} \quad (21)$$

2.2.3 Index lomu

Index lomu n prostředí je podíl rychlosti světla ve vzduchu k rychlosti světla v daném prostředí. [20, s. 11]

$$n = \frac{c_{vzd}}{c} \quad (22)$$

Tabulka č. 3: Indexů lomů některých látek

Látka	Index lomu	Látka	Index lomu
vakuum	1	led	1,31
voda	1,33	olej	1,47
sklo	1,52	diamant	2,42
aceton	1,36	ethylalkohol	1,36
roztok cukru(30%)	1,38	tavený křemen	1,46
roztok cukru(80%)	1,49	chlorid sodný	1,54
polystyren	1,55	těžké flintové sklo	1,65
safír	1,77	nejtěžší flintové sklo	1,89

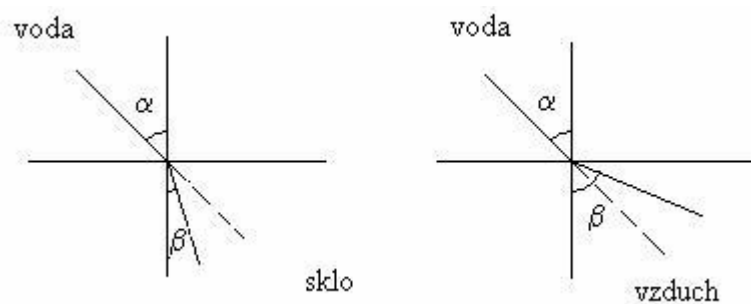
2.2.4 Odraz světla

Je-li světlo odraženo od povrchu, úhel odrazu je roven úhlu dopadu. [22]

2.2.5 Lom světla

Lom světla je dán Snellovým zákonem. Ten byl popsán již výše v kapitole přechod vlnění na rozhraní dvou prostředí ultrazvukových dálkoměrů. V podstatě mohou nastat dva případy, kdy se jedná o lom od kolmice a lom ke kolmici. Pro výpočet úhlu, pod kterým se světlo láme, můžeme použít následující rovnici

$$n \sin \alpha = n' \sin \beta. [22] \quad (23)$$



Obr. 27: Lom ke kolmici a lom od kolmice [23]

2.3 Kvantová optika

Vznikla z kvantové hypotézy Maxe Plancka. Podle ní dochází k emisi elektromagnetického záření (např. světelného) ve formě malých dále nedělitelných částí - kvant. Záření tedy není spojité a každému kvantu přísluší energie $E = hf$. [22]

2.4 Úvod a dělení optických dálkoměrů

Optické dálkoměry jsou přístroje používané k bezkontaktnímu měření vzdáleností. Jsou využívány v:

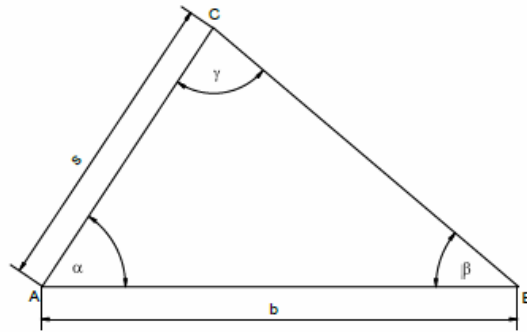
- Geodézii
- Průmyslu
- Lesnictví
- Stavby
- Při míření zbraní
- Sport

Podle způsobu určení vzdálenosti lze dálkoměry rozdělit na dva druhy: pasivní a aktivní dálkoměry. [24, s. 3]

2.5 Pasivní dálkoměry

2.5.1 Princip měření

Pasivní dálkoměry k měření využívají dálkoměrný trojúhelník. Jeho měřená strana se nazývá báze a úhel proti této straně je paralaktický úhel. Rovina trojúhelníku, čili rovina určená bází a cílem, je triangulační rovina. Tento trojúhelník se zvolí tak, aby měřená vzdálenost D byla jednou jeho stranou. Je-li tento trojúhelník obecným trojúhelníkem, musíme měřením určit jednu stranu b a dva úhly β a γ . Pokud obecný trojúhelník nahradíme pravoúhlým, měření vzdálenosti D se zjednoduší a stačí pouze dvě hodnoty. Těmi jsou délka strany a jednoho úhlu, kterým bývá zpravidla úhel ležící proti měřené straně. [24, s. 5]



Obr. 28: Dálkoměrný trojúhelník [24, s. 5]

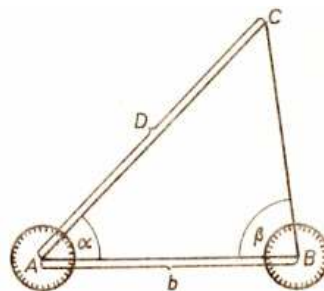
2.5.2 Dělení dálkoměrů

Podle druhu dálkoměrného trojúhelníka a podle jeho orientace vzhledem k cíli, můžeme rozdělit pasivní dálkoměry do tří poměrně velkých skupin. [24, s. 5]

- Dálkoměry bistatické
- Dálkoměry stadimetrické
- Dálkoměry monostatické

2.5.3 Dálkoměry bistatické

Bistatické dálkoměry pracují s poměrně velkou bází, která tvoří 1/10 až 1/4 měřené vzdálenosti. Zařízení tvoří dva úhlooměry (mohou být použity například teodolity) v koncových bodech báze, které měří úhly alfa a beta. Pokud změříme bázi b, můžeme snadno určit z dálkoměrného trojúhelníku hledanou vzdálenost D. [17, s. 5]



Obr. 29: Dálkoměrný trojúhelník
bistatického dálkoměru [24, s. 5]

2.5.4 Dálkoměry stadimetrické

Stadimetrické dálkoměry pracují s velmi protáhlým trojúhelníkem, který je orientován tak, že jeho báze prochází cílem. Báze je řádově rovna $1/30$ až $1/100$ měřené vzdálenosti D . Díky tomuto faktu můžeme považovat dálkoměrný trojúhelník za pravouhlý a tím redukovat měření vzdálenosti na určení báze b a protilehlého úhlu α . Tento typ dálkoměru bývá tvořen dalekohledem a stadimetrickou latí. Dalekohled je vybaven záměrným obrazcem, který je tvořen dvěma vodorovnými nebo svislými vzájemně rovnoběžnými vlákny. Při měření zůstává úhel α konstantní, mění se pouze báze tvořena stadimetrickou latí a je měřené vzdálenosti přímo úměrná. Pro stanovení vzdálenosti je nutné určit úsek stadimetrické latě, který je zarámován mezi záměrnými vlákny a násobit jej příslušnou konstantou dalekohledu. Cíl tedy musí být přístupný, proto se tato metoda používá například v topografii nebo stavebnictví. Typickým příkladem mohou být nivelační přístroje. [24, s. 5]



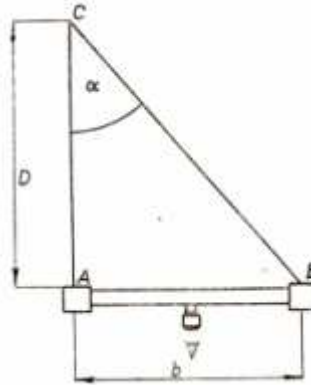
Obr. 30: Dálkoměrný trojúhelník

stadimetrického dálkoměru [24, s. 6]

2.5.5 Dálkoměry monostatické

Monostatické dálkoměry pracují s velmi protáhlým dálkoměrným trojúhelníkem, ve kterém vrchol splývá s cílem a báze prochází stanovištěm. Velikost báze se pohybuje od 0,5 do 4 m. Na rozdíl od stadimetrických dálkoměrů je zde konstantní báze, a při změně vzdálenosti

se mění pouze paralaktický úhel alfa, který je k měřené vzdálenosti D nepřímo úměrný. Monostatické dálkoměry se používaly převážně ve vojenské praxi. Je možno je rozdělit na dva druhy: koincidenční dálkoměry a dálkoměry stereoskopické. [17, s. 6]



Obr. 31: Dálkoměrný trojúhelník

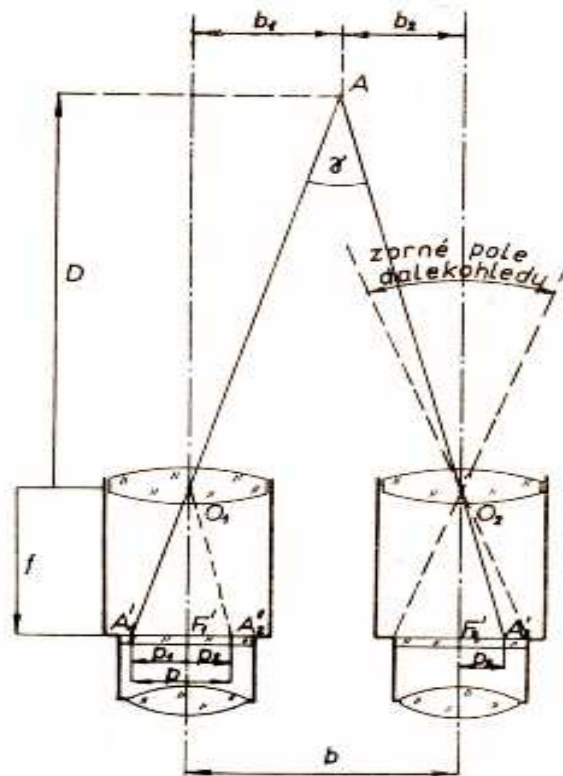
monostatického dálkoměru [24, s. 7]

2.5.5.1 Princip monostatických dálkoměrů

Jsou tvořeny dvěma stejnými dalekohledy, jejichž optické osy jsou rovnoběžné. Vzdálenost těchto os tvoří bázi dálkoměru. Podle obrázku body F_1' a F_2' značí obrazová ohniska objektivů obou uvažovaných dalekohledů tvořících monostatický dálkoměr. Uvažujme, že sledujeme bod A, nacházející se v konečné vzdálenosti (obr. 17). Pokud je ohnisková vzdálenost v porovnání s měřenou vzdáleností velmi malá, můžeme předpokládat, že obrazy A_1' a A_2' tohoto bodu budou ležet opět v obrazové ohniskové rovině. Vzdálenost obrazů měřeného bodu A od příslušných obrazových ohnisek označíme p_1 a p_2 . Obecný vzorec pro měřenou vzdálenost je potom

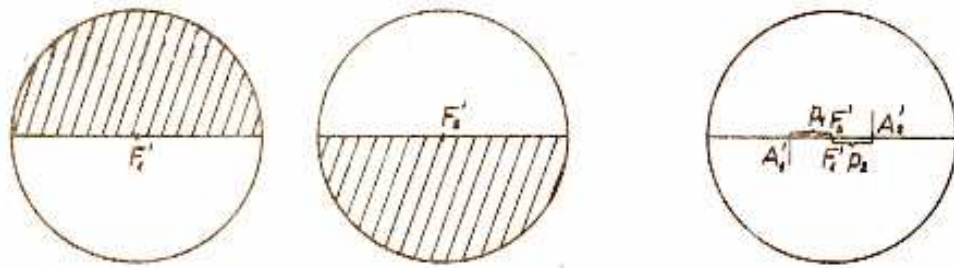
$$D = \frac{bf'}{p}, \quad (24)$$

kde báze b a ohnisková vzdálenost f' uvažovaného monostatického dálkoměru jsou konstantní. Mění se pouze hodnota p , kterou je potřeba při měření určit a tato hodnota je nepřímo úměrná měřené hodnotě D . [24, s. 11-13]



Obr. 32: Princip monostatických dálkoměrů [24, s. 12]

Určení celé délky p by si vyžádalo bez konstrukčních úprav několik nastavení a tím by rostla možnost nepřesnosti. Mezi konstrukční úpravy patří vyloučení jedné poloviny zorného pole u obou dalekohledů. Dále upravíme optickou soustavu dálkoměru tak, že zbylé poloviny zorných polí sdružíme do jednoho společného pole, které je pozorováno jediným okulárem. Tudíž obraz vytvořený levým dalekohledem leží v dolní polovině a obraz vytvořený pravým dalekohledem leží v horní polovině společného zorného pole. Další úpravou je pak zařazení deviačního zařízení do jednoho z dálkoměrů, které umožňuje plynule měnit odchylku příslušných paprskových svazků. Tím je umožněno posunutí obrazu A_2' tak, že splyne s obrazem A_1' a obrazy tvoří plynulé pokračování. Deviační zařízení slouží k určení požadovaného úhlu, pomocí něhož a báze můžeme snadno určit měřenou vzdálenost. Měření vzdálenosti bylo převedeno na měření úhlů deviačním zařízením, a tím je redukováno na jediné nastavení, kdy se snažíme dostat obrazy z jednotlivých dálkoměrů do koincidence, neboli polohy, kdy oba obrazy splývají. Spojení zorných polí obou dalekohledů dálkoměru je možno provést v principu dvojím způsobem. [24, s. 15]



Obr. 33: Vyloučení jedné poloviny zorného pole a společné zorné pole [24, s. 16]



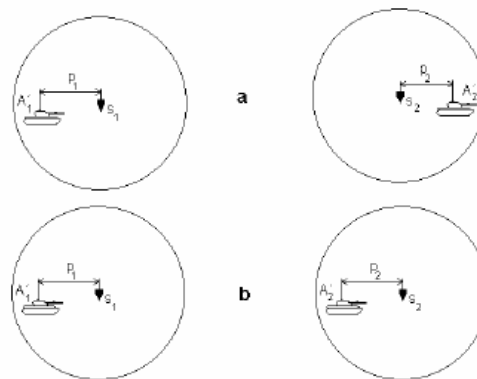
Obr. 34: Společné zorné pole před seřízením [25]

2.5.5.2 *Koincidenční dálkoměry*

U obou dalekohledů se vyloučí část zorného pole a nahradí se odpovídající částí zorného pole druhého dalekohledu. Potom oba dalekohledy dálkoměru mají společný okulár. Koincidence obou obrazů se dosáhne příčným posuvem jednoho z obrazů. Tento příčný posuv se vyvolá deviačním zařízením umístěným před objektivem jednoho z obou dalekohledů. [24, s. 18]

2.5.5.3 Stereoskopické dálkoměry

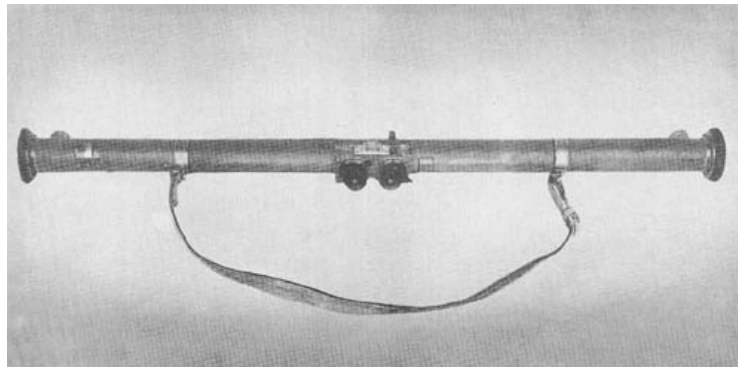
Využívá se binokulární vidění. Dálkoměr je upraven tak, aby každý z obou jeho dalekohledů měl svůj vlastní okulár. Jejich osová vzdálenost je shodná s očním rozestupem pozorovatelových očí. Vjemy vyvolané oběma očima jsou pak spojeny působením dalších očních orgánů v jediný prostorový vjem. V zorných polích obou dalekohledů se umísťuje vhodná záměrná značka. Po zaměření na cíl A , nacházející se ve vzdálenosti s bude vzhled příslušných zorných polí dalekohledů obdobný, jak je znázorněný na obr. 35a.



Obr. 35: Měření vzdálenosti stereoskopickým
dálkoměrem [24, s. 19]

Vzdálenost $p = p_1 + p_2$ změříme tak, že obraz cíle vytvořený objektivem pravého dalekohledu posuneme o hodnotu p směrem doleva, jak je to naznačeno na obr. 35b. Protože pozorovatel bude pozorovat cíl levým okem prostřednictvím levého dalekohledu a pravým okem prostřednictvím pravého dalekohledu, bude se mu jevit v případě naznačeném v obr. 14b cíl stejně vzdálený jako značka. Znamená to, že pokud $p_1 \neq p_2$, bude se jevit značka pozorovateli v jiné vzdálenosti než pozorovaný cíl. Působíme-li deviačním zařízením na příslušný paprskový svazek vstupující do pravého dalekohledu, bude se příslušný obraz cíle posouvat ve směru příčném doleva, což bude pozorovatel vnímat tak, jako kdyby se záměrná značka pohybovala ve směru pozorování z nekonečna k cíli. U těchto dálkoměrů se převádí měření délek na měření paralaktického úhlu s tím rozdílem, že při měření vzdálenosti v případě koincidenčních dálkoměrů nastavujeme příčnou koincidenční obou obrazů,

zatímco u stereoskopických dálkoměrů nastavujeme hloubkovou koincidence a značky. [24, s. 19]



Obr. 36: Stereoskopický dálkoměr [26]

2.6 Aktivní dálkoměry

Aktivní dálkoměry neboli elektrooptické dálkoměry fungují na odrazové impulsové metodě stejně jako dálkoměry ultrazvukové. Můžeme je rozdělit podle druhu použitého vlnění, dosahu nebo konstrukce.

Podle použitého vlnění:

- Infračervené světlo
- Viditelné světlo
- Monochromatické světlo (lasery)

Podle dosahu:

- Malé vzdálenosti do 3 km
- Střední vzdálenosti do 15 km
- Velké vzdálenosti nad 15 km

Podle konstrukce

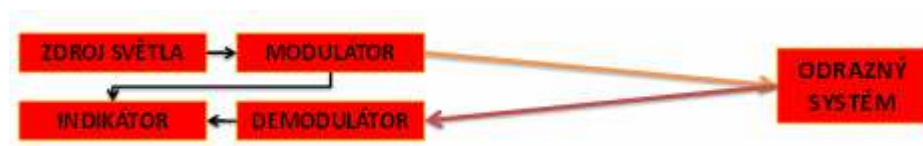
- Samostatné ruční dálkoměry
- Vestavěné dálkoměry jako totální stanice

Odrazné systémy

- Aktivní – signál zesílen a vyslán zpět
- Pasivní – rovinná zrcadla, koutový odražeč nebo odraz od měřeného předmětu

2.6.1 Princip elektrooptických dálkoměrů

Elektrooptické dálkoměry musí být vybaveny intenzivním zdrojem světla. Tento zdroj světla je transformován modulátorem. Při modulaci světla se používá modulace intenzity neboli modulace amplitudová. Odražená vlna se poté vrací zpět do dálkoměru - do zařízení zvaného demodulátor. Poté dojde k vyhodnocení měření. Uvedená zařízení musí být napájena elektrickým zdrojem. [24, s. 190]

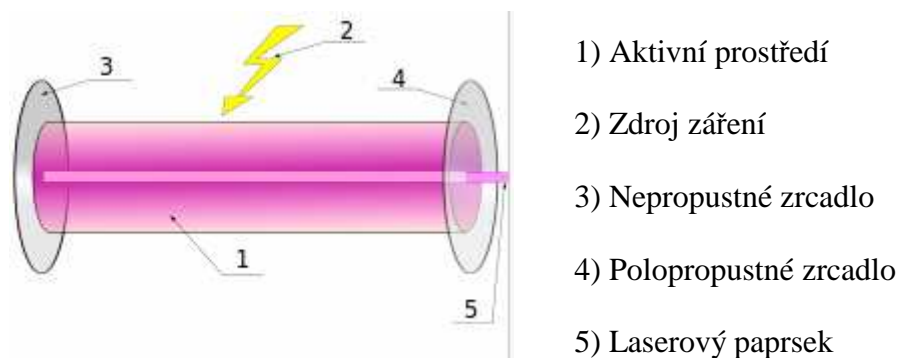


Obr. 37 : Schéma funkce světelného dálkoměru [28]

2.6.2 Laserové dálkoměry

K měření nepotřebují odrazový hranol, tím pádem je s nimi možno měřit v nepříístupných oblastech.

2.6.3 Konstrukce laseru



Obr. 38: Konstrukce laseru [29]

2.6.3.1 Aktivní prostředí

Aktivním prostředím rozumíme látku obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Velmi důležitá pro funkčnost laseru je přítomnost metastabilní hladiny. Metastabilní hladina je hladina, na které může atom relativně dlouho setrvat. Aktivní prostředí můžeme rozdělit do čtyř základních skupin. [29][30]

- Plynové – prostředí se může skládat z jednoho či více plynů
- Pevnolátkové – prostředí, které je tvořeno krystalem
- Diodové – prostředí je tvořeno polovodičem s přechodem typu P-N
- Kapalinové – prostředí tvoří roztoky různých organických barviv

2.6.3.2 Zdroj záření

Slouží k dodávání energie elektronům v aktivním prostředí, čímž umožňuje přesun mezi energetickými hladinami. Jako zdroj záření může být použit elektrický proud, výbojka nebo chemická reakce. [29]

2.6.3.3 Rezonátor

Rezonátor slouží k zesilování světla. Jsou to dvě k sobě rovnoběžná zrcadla, která jsou zároveň kolmá na osu laseru. Jedno z nich je nepropustné, druhé je polopropustné. Jako nepropustné zrcadlo bývá ve většině případů použito dielektrické zrcadlo. Další možností je použití kvalitně leštěného kovu, například zlata. Polopropustné zrcadlo udržuje fotony uvnitř laseru a propouští ven až při větší intenzitě záření. Zrcadla jsou většinou rovinná, ale mohou být použita i zrcadla zakřivená. Existují také lasery, které rezonátor nepotřebují a dostatečnou energii dokáží získat již jedním průchodem aktivním prostředím. Mezi ně patří například měděný nebo dusíkový laser. [29]

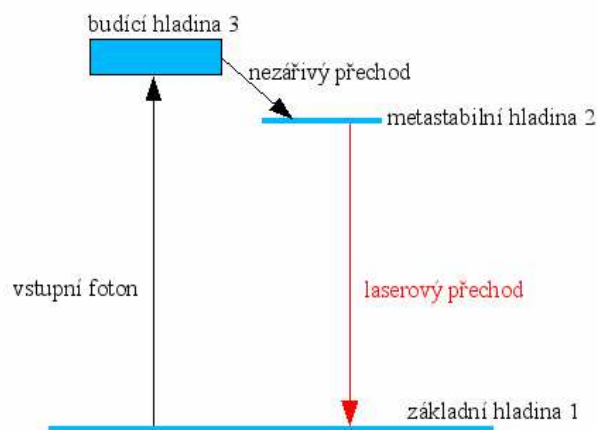
2.6.3.4 Laserový paprsek

Z aktivního prostředí laseru vychází přes polopropustné zrcadlo. Paprsek laseru je koherentní, monochromatický a rychlost je stejná jako rychlost světla čili 300 000 km / s. [29]

2.6.4 Princip laseru

Základ pro vznik laserového paprsku je v aktivním prostředí laseru. Toto prostředí obsahuje atomy, které mohou být buď v základním nebo excitovaném stavu, neboli stavu zvýšené energetické hladiny. Do excitovaného stavu se element dostane díky buzení, které může představovat například výbojka. Na vyšší energetické hladině element dlouho nezůstane a vrátí se opět do základního stavu s nejmenší energetickou hladinou. Tento proces se děje spontánně a je důležité, že při něm atom vyše náhodným směrem foton. Aktivní prostředí musí tvořit atomy, které obsahují metastabilní hladinu. Narazí-li foton do

elektronu takového atomu, elektron se excituje na vyšší energetickou hladinu a následně spadne na metastabilní hladinu. Při tomto přesunu na metastabilní hladinu uvolní opět foton, který letí opět náhodným směrem pryč. Rozdíl je ovšem v tom, že na metastabilní hladině vydrží elektron mnohem déle. Tím je zajištěno, že elektron počká na další foton, který ho stimuluje a vypustí foton, se kterým se spojí. [29]



Obr. 39: Přechod mezi energetickými hladinami [31]

2.6.4.1 Inverze populace

Dalším důležitým pojmem je inverze populace, což je stav, kdy je v atomu více elektronů na metastabilní energetické hladině než na hladině základní. Jelikož zdroj dodává neustále energii, většina elektronů excituje na vyšší energetickou hladinu a následně sestoupí na hladinu metastabilní a čeká na stimulující foton. Jakmile tento stimulující foton přiletí, sestoupí všechny elektrony na základní energetickou hladinu a každý z nich vypustí foton. Tyto fotony se spojí v jednu vlnu s větší amplitudou. Tato vlna má stejný směr, jaký měl stimulující foton, což velmi pravděpodobně není směr požadovaný. Jakmile jsou elektrony na základní hladině, celý proces se opakuje, jelikož zdroj záření posílá neustále další energii. Atomů v aktivním prostředí je mnohonásobně více. V každém z nich proběhne výše popsaná interakce. Nyní se nachází ve fázi, kdy jsou všechny elektrony na metastabilní hladině a čekají na stimulující foton. Stimulující foton přiletí, což zapříčiní sestup elektronu na základní hladinu a vypuštění zesíleného fotonu náhodným směrem, z kterého se stává další stimulující foton. Tímto způsobem se začnou stimulovat navzájem a dochází k zesílení světla. Fotony zatím létají různými směry. [29]

2.6.4.2 *Funkce rezonátoru*

Rezonátor jsou dvě zrcadla postavená proti sobě v ose laseru. Fotony letící mimo osu rezonátoru vyletí z laseru ihned nebo po několika odrazech. Ovšem zůstane zde foton, který letí ve stejném směru jako osa rezonátoru a nebude jediný. Tyto fotony pak létají ve směru osy mezi zrcadly a nabalují na sebe ostatní fotony. Čím více jich bude, tím více bude ubývat fotonů se špatným směrem, jelikož než se samovolně uvolní a spadnou na základní hladinu, strhne je některý z rovnoběžně letících fotonů. Proto je velmi důležitá přítomnost metastabilní hladiny, na které elektrony čekají, dokud nejsou strhnuty rovnoběžně letícími fotony. Jakmile se foton zesílí na určitou úroveň, polopropustné zrcadlo jej vypustí ven.

[29]

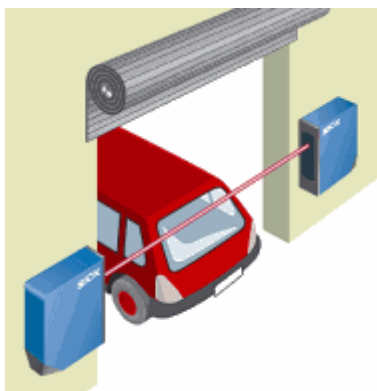
2.7 Optické senzory

Optické senzory patří mezi nejpoužívanější snímače pro zjištění přítomnosti objektů. Používají se jak zdroje paprsků oddělené od přijímačů, tak senzory se zdrojem a přijímačem paprsků v jednom pouzdře. Mezi jejich hlavní výhody patří:

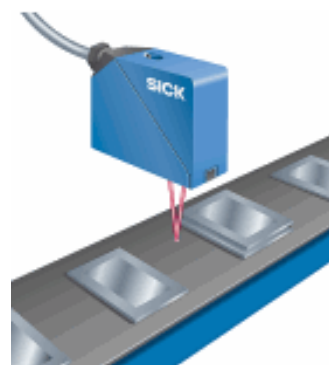
- Detekce na vzdálenosti až desítek metrů
- Detekce obrovských i malých objektů
- Existují speciální senzory pro snímání průhledných materiálů
- Detekce pohybujících se předmětů i různých teplot
- Měří i ve vakuu

Používají se například v:

- Strojní průmysl
- Textilní průmysl
- Montážní linky
- Potravinářský průmysl
- Kontrola velikosti otvorů [32]



Obr. 40 : Optický snímač jako závora [32]



Obr. 41: Snímač tenkých objektů [2]

2.7.1 Senzor Q45BB6DXQ5

Jde o optický reflexní senzor od firmy Turck. Pracuje s infračerveným světlem o vlnové délce 880 nm. Rozsah měření je 0 až 3 metry. Pracuje při okolní teplotě -40 až 70 °C. Citlivost je nastavitelná potenciometrem. Napájecí napětí je 0 až 30 VDC. [33]



Obr. 42: Senzor Q45BB6DXQ5 [33]

2.7.2 Senzor RL28-55-LAS-2840/47/115b

Laserový senzor od firmy Pepperl+Fuchs pro měření vzdáleností do 30 metrů s vlnovou délkou 650 nm. [34]



Obr. 43: Senzor RL28-55-LAS-2840/47/115b [34]

2.8 Ruční dálkoměry

2.8.1.1 Leica DISTO D5

Jedná se o laserový dálkoměr od společnosti Leica velmi často používaný ve stavebnictví. Rozsah měření je od 5 centimetrů do 100 metrů, s použitím terče až do 200 metrů. Přesnost měření je cca 1 milimetr. Dálkoměr obsahuje integrovanou digitální kameru, pomocí níž se na barevném displeji zobrazuje přímo měřený cíl s možností až čtyřnásobného přiblížení cíle. Součástí výbavy je sklonový senzor pracující v rozmezí $\pm 45^\circ$. Mezi další funkce patří kalkulačka, výpočet lichoběžníku, objem, plocha a Pythagorova věta. Vnitřní paměť dokáže uchovat až 20 posledních měření. Dálkoměr lze připevnit na stativ. [35]



Obr. 44: Leica DISTO D5 [35]

2.9 Dálkoměry ve volném čase

2.9.1 Laser 1200S

Laser 1200S je výkonný laserový dálkoměr pro měření vzdálenosti od 10 do 1100 metrů. Využití může být při volných aktivitách jako například golf, lov nebo jiné. Zařízení umožňuje výběr ze dvou režimů měření. Jedná se o režim priority prvního a režim priority vzdáleného objektu. [36]



Obr. 45: Laser 1200S [36]

2.10 Zeměměřičské přístroje

2.10.1 NIKON NIVO 5.M

Nikon NIVO 5.M je nejmenší a nejlehčí totální stanice na trhu. Rozsah měření od 1,5 m do 300 m bez odrazového hranolu, s odrazovým hranolem až 5000 metrů. Interní paměť udrží až 10 000 záznamů. Světelným zdrojem je laser. Komunikace zajištěna pomocí RS-232C. [37]



Obr. 46: Nikon NIVO 5.M [37]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVÝM DÁLKOMĚREM

3.1 Popis a ovládání přístroje

Jde o ultrazvukový přístroj pro měření vzdálenosti. Na přední straně přístroje jsou umístěny tři senzory SRF02, které mají sdružený vysílač a přijímač ultrazvukového signálu. Prostřední senzor je usazen kolmo k přístroji, zbylé dva jsou natočeny pod úhlem 60° a 120° . K ovládání přístroje slouží tři tlačítka. Tlačítka – a + se nastavuje hodnota minimální vzdálenosti, při které dojde k světelné a zvukové signalizaci. Tato minimální vzdálenost je hodnota zobrazena na displeji LCD v pravém horním rohu a její rozsah je od 0 do 255 cm. Prostředním tlačítkem se ovládá konstanta, která slouží pro nastavení velikosti kroku, po kterém se bude měnit hodnota minimální vzdálenosti. Její rozsah je od 5 do 40 cm s krokem po 5 cm. Tato konstanta je zobrazena na LCD displeji v pravém dolním rohu.



Obr. 47: Ultrazvukový dálkoměr

Kromě již zmíněného, zobrazuje LCD displej další informace. Nalevo od hodnot vzdáleností překážek naměřených jednotlivými senzory je vždy obdélník. Jestliže je naměřená hodnota vzdálenější než minimální hodnota detekce, je tento obdélník prázdný, v opačném případě vyplněný. V dolním řádku vlevo je pak zobrazeno, jestli je některý ze

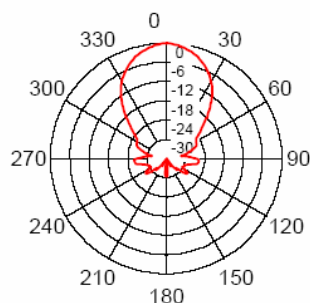
směrů volný a uprostřed pak tento směr naznačen šipkou. Pokud není volný žádný směr, je na tomto místě zobrazeno couvat, opět naznačeno šipkou. Signalizace detekce překážky je zajištěna pomocí 3 diod LED, které se rozsvítí, jestliže je vzdálenost překážky menší nebo rovna hodnotě minimální vzdálenosti. V dolní řadě je dalších 5 diod, z nichž tři jsou zelené a dvě červené. Červené diody blikají v případě, jestli byla překážka zaznamenána všemi senzory. Zelené diody signalizují volný směr. Ten může být vlevo, vpravo, vpředu a nebo jejich kombinace.

3.1.1 Senzor SRF02

SRF02 je ultrazvukový senzor, ve kterém je spojen přijímač i vysílač dohromady. Jelikož je vysílač s přijímačem v jednom pouzdře, minimální vzdálenost měření je vyšší než tomu bylo u sonarů s odděleným vysílačem a přijímačem. Senzor pracuje na frekvenci 40 kHz. Rozsah měření je od 16 cm do 6 m. Napájení je 5 V / 4 mA. Rozměry sonaru jsou 24 x 20 x 17 mm a váží 4,6 gramů. Senzor může měřit v centimetrech nebo palcích. [7]



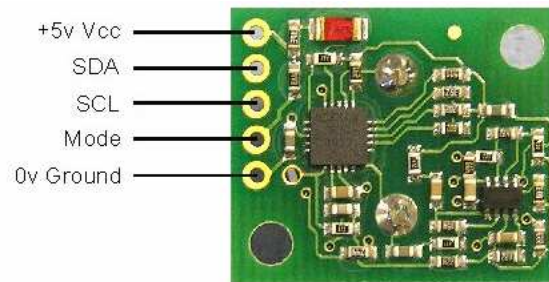
Obr. 48: Sonar SRF02 [7]



Obr. 49: Vyzařovací charakteristika

SRF02 v dB [7]

Senzor komunikuje přes sériový port RS-232 nebo I²C. Pokud chceme komunikovat přes sběrnici I²C, musí zůstat pin Mode nezapojený. Pro komunikaci přes RS-232 musí být na pin Mode zapojen 0 V. [7]



Obr. 50: Zapojení SRF02 [7]

3.2 Postup měření

Měření jsem rozdělil na několik částí. Nejprve jsem měřil vzdálenost ultrazvukovým přístrojem k překážce, která byla k přístroji kolmo. Tato měření jsem prováděl od překážek z různých materiálů, jelikož každý materiál má trochu jiné odrazové vlastnosti. Mezi využitými materiály byly dřevěná překážka, překážka z hliníkové folie, překážka z gumy, překážka z broušené ocele. Tyto materiály byly měřeny ve třech rozměrech a to 20 x 20 cm, 10 x 10 cm a 5 x 5 cm. Dále jsem prováděl měření vzdálenosti od překážky pod úhlem. Tato měření jsem prováděl od dřevěné a betonové překážky. Úhly, pod kterými jsem provedl měření, jsem zvolil 60 °, 67,5 ° a 75 °. V posledním měření jsem před přístroj postavil překážku, kterou tvořily dva železné sloupy. S přístrojem jsem ustupoval od překážek a sledoval, v jaké vzdálenosti a s jakou přesností bude překážka detekována. Měření jsem opakoval pro tři rozteče těchto tyčí. Měření jsem prováděl v tělocvičně, kde k tomu byly odpovídající prostory a měl jsem zde jistotu, že v pásmu vyzařování přístroje není žádná jiná překážka, která by měření ovlivnila. Pro minimalizaci nepřesností při měření byl přístroj přichycen na stolku lepicí páskou. Na podlahu tělocvičny jsem přilepil papírovou lepicí pásku, na které byly rozměřeny jednotlivé vzdálenosti a vytyčeny měřené úhly.

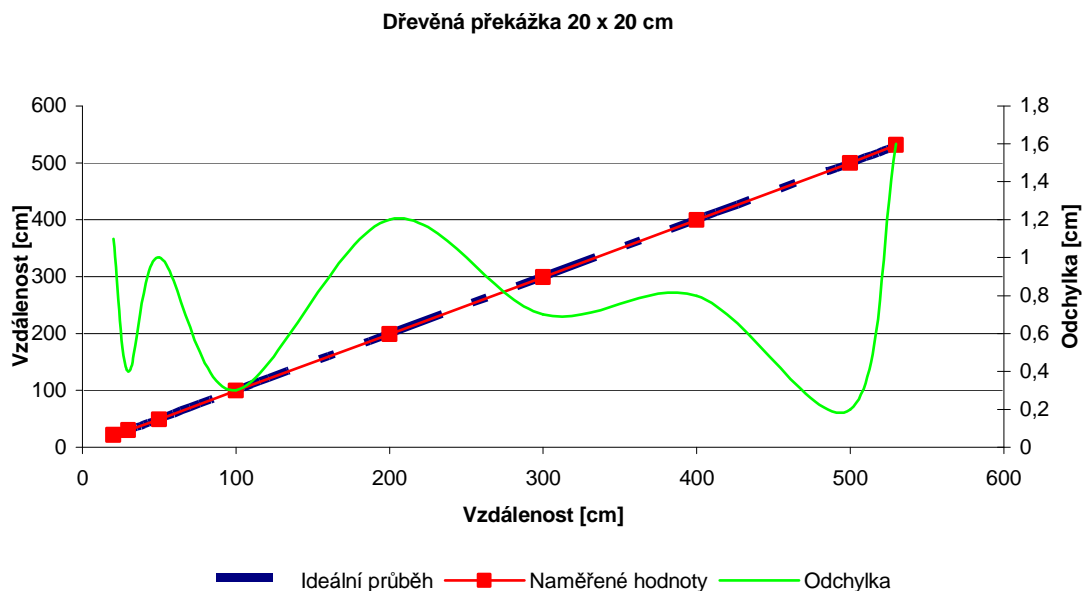
3.3 Naměřená data

3.3.1 Měření od překážky ze dřeva

3.3.1.1 Velikost překážky 20 x 20 cm

Tabulka 4: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 20 x 20 cm

Číslo měření	Vzdálenost [cm]								
	20	30	50	100	200	300	400	500	530
1	21	29	49	99	199	299	399	499	532
2	21	28	49	100	198	299	401	500	-
3	22	30	49	100	198	299	399	-	-
4	21	28	49	101	198	299	398	499	-
5	20	29	49	99	199	300	400	500	531
6	21	30	50	100	199	299	400	502	532
7	22	28	48	99	200	299	399	499	-
8	21	29	49	99	199	300	398	501	-
9	21	28	48	100	198	300	399	-	-
10	21	29	50	100	200	299	399	499	-
Průměr	21,1	29,6	49	99,7	198,8	299,3	399,2	499,8	531,6
Odchylka	1,1	0,4	1	0,3	1,2	0,7	0,8	0,2	1,6

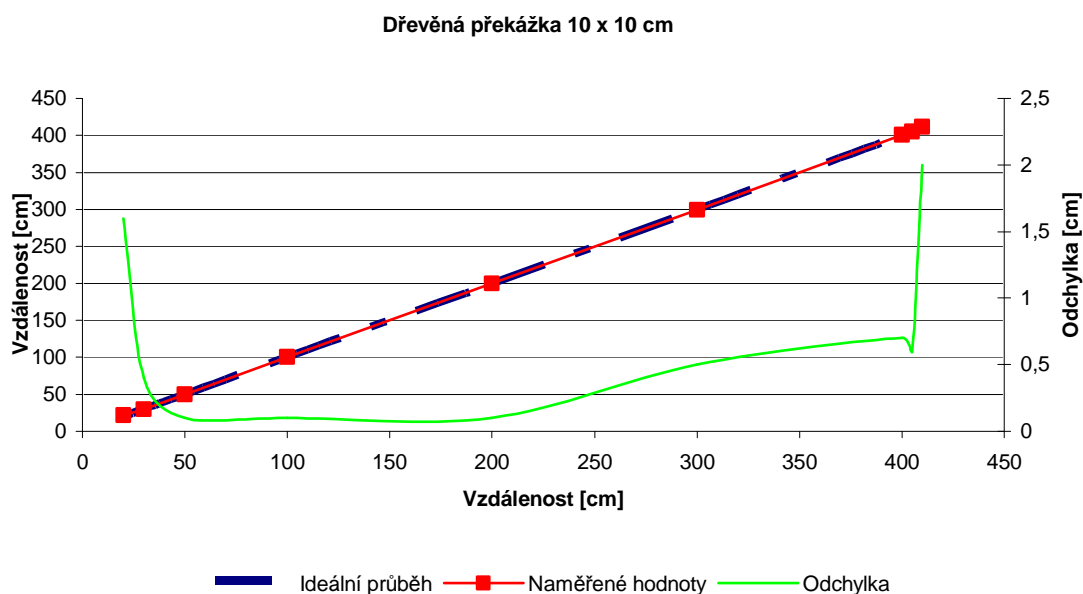


Graf 1: Dřevěná překážka 20 x 20 cm

Velikost překážky 10 x 10 cm

Tabulka 5: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 10 x 10 cm

Číslo měření	Vzdálenost [cm]								
	20	30	50	100	200	300	400	405	410
1	22	29	50	100	199	300	401	406	412
2	21	28	50	100	200	299	402	406	411
3	23	29	50	101	200	299	401	407	-
4	22	30	50	100	200	299	401	407	-
5	21	29	49	99	200	300	400	407	-
6	21	31	50	99	200	299	400	406	413
7	21	30	49	100	201	300	401	400	-
8	22	29	50	100	200	299	400	0	-
9	21	30	51	100	199	300	401	406	-
10	22	31	50	100	200	300	400	405	-
Průměr	21,6	29,6	49,9	99,9	199,9	299,5	400,7	405,6	412
Odchylka	1,6	0,4	0,1	0,1	0,1	0,5	0,7	0,6	2

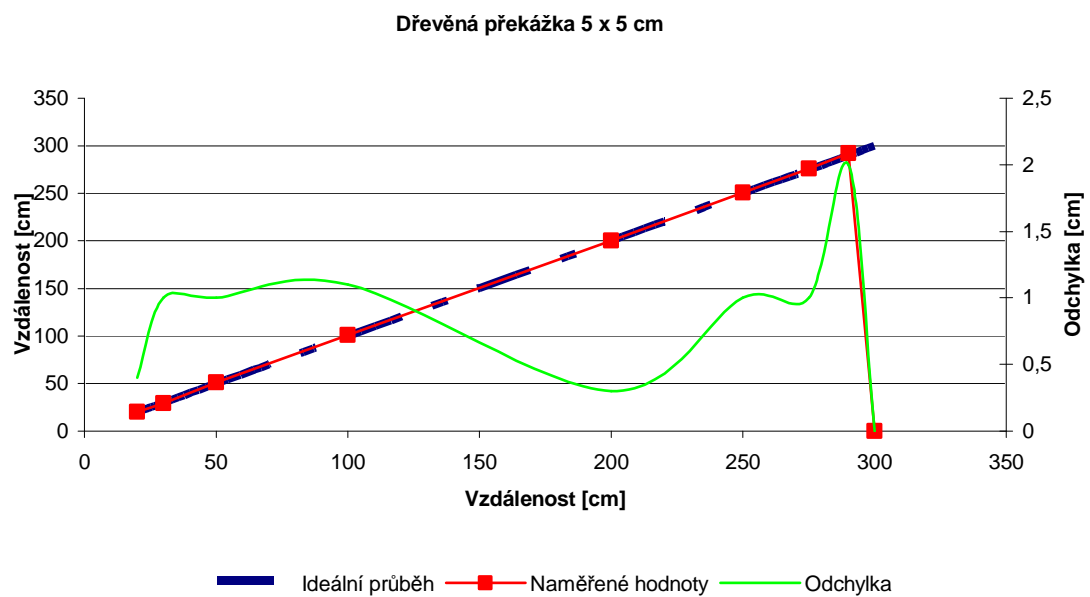


Graf 2: Dřevěná překážka 10 x 10 cm

Velikost překážky 5 x 5 cm

Tabulka 6: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 5 x 5 cm

Číslo měření	20	30	50	100	200	250	275	290	300
1	20	28	50	101	200	251	276	292	-
2	21	30	52	102	201	251	275	293	-
3	20	29	51	101	200	252	-	291	-
4	19	29	51	101	200	251	276	-	-
5	21	28	50	102	201	250	-	-	-
6	20	30	51	101	200	251	276	292	-
7	20	30	53	100	200	250	-	291	-
8	22	29	51	101	200	251	277	293	-
9	20	29	50	101	201	252	276	292	-
10	21	28	51	101	200	251	276	292	-
Průměr	20,4	29	51	101,1	200,3	251	276	292	-
Odchyłka	0,4	1	1	1,1	0,3	1	1	2	-



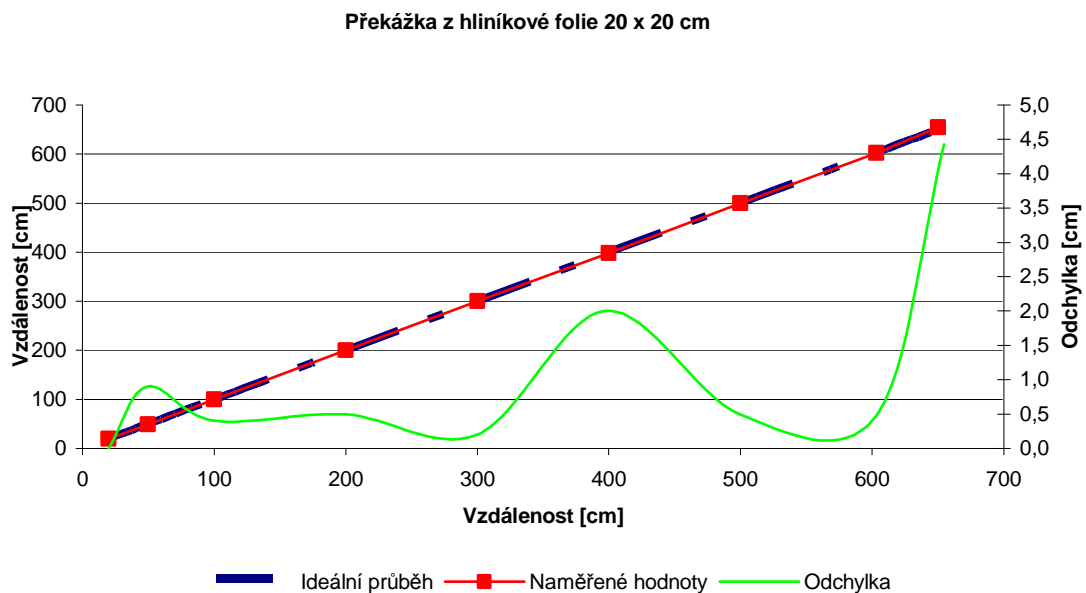
Graf 3: Dřevěná překážka 5 x 5 cm

3.3.2 Měření od překážky z hliníkové folie

3.3.2.1 Velikost překážky 20 x 20 cm

Tabulka 7: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 20 x 20 cm

Číslo měření	Vzdálenost [cm]								
	20	50	100	200	300	400	500	603	650
1	20	49	99	199	300	399	499	602	656
2	19	49	100	200	300	398	499	603	655
3	21	49	100	200	299	397	501	603	-
4	20	50	99	200	300	399	499	603	-
5	20	50	100	199	299	397	499	603	654
6	20	49	100	200	300	398	500	602	-
7	20	49	99	199	299	399	500	603	655
8	21	49	99	200	300	398	499	602	655
9	20	48	100	199	300	398	500	602	-
10	19	49	100	199	301	397	499	602	656
Průměr	20,0	49,1	99,6	199,5	299,8	398,0	499,5	602,5	654,4
Odchylka	0,0	0,9	0,4	0,5	0,2	2,0	0,5	0,5	4,4

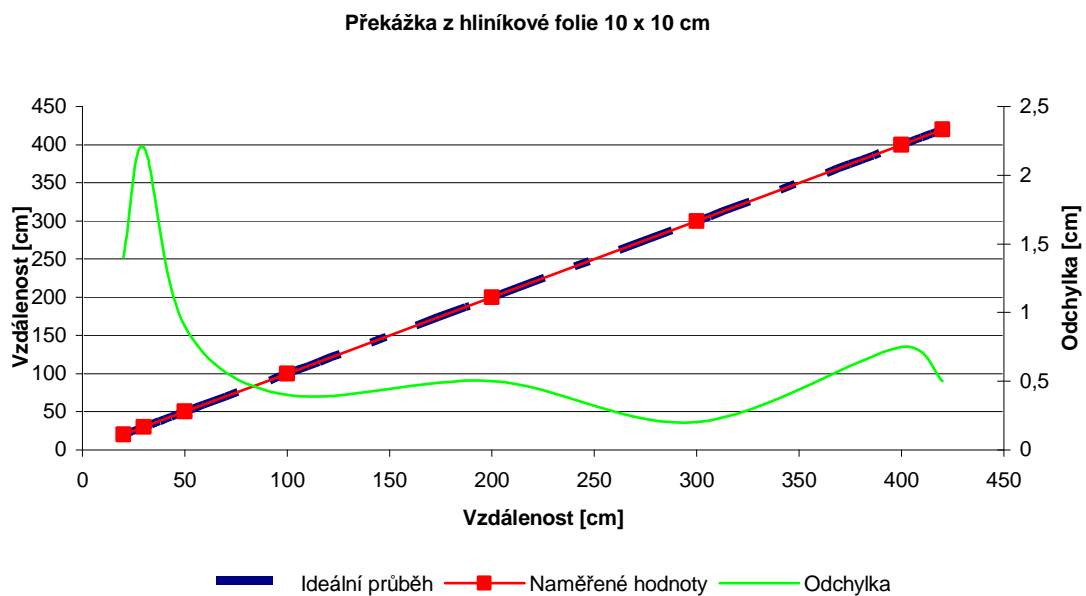


Graf 4: Překážka z hliníkové folie 20 x 20 cm

3.3.2.2 Velikost překážky 10 x 10 cm

Tabulka 8: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 10 x 10 cm

Číslo měření	Vzdálenost [cm]							
	20	30	50	100	200	300	400	420
1	18	27	49	99	199	300	400	421
2	19	28	49	100	200	300	401	-
3	19	28	49	100	200	299	402	421
4	19	29	50	99	200	300	-	-
5	18	28	50	100	199	299	401	419
6	18	28	49	100	200	300	400	-
7	18	27	49	99	199	299	402	-
8	19	28	49	99	200	300	400	422
9	19	27	48	100	199	300	400	420
10	19	28	49	100	199	301	-	-
Průměr	18,6	27,8	49,1	99,6	199,5	299,8	400,75	420,5
Odchylka	1,4	2,2	0,9	0,4	0,5	0,2	0,75	0,5

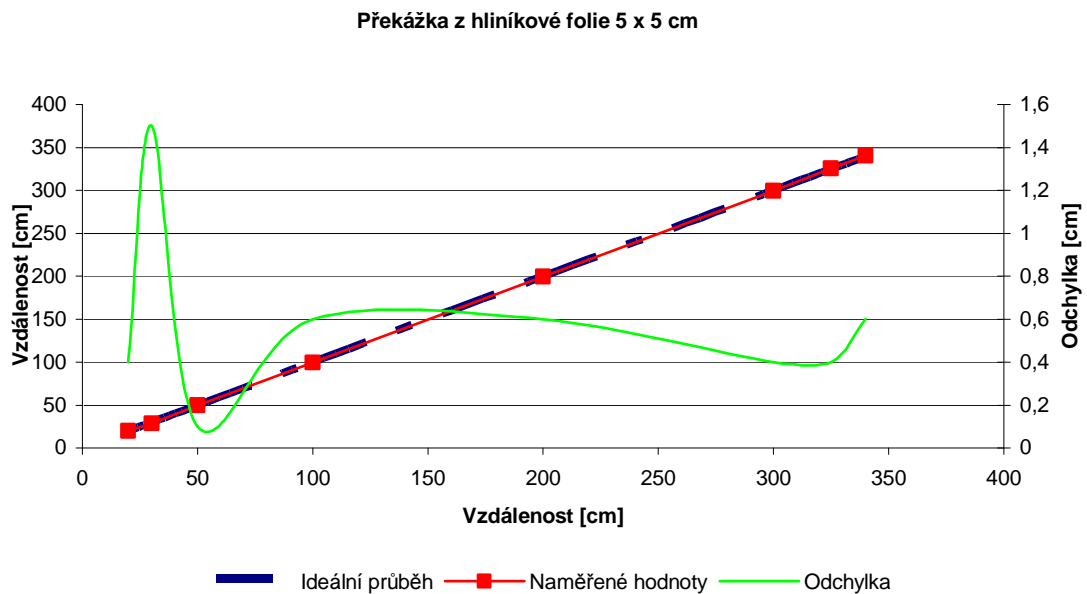


Graf 5: Překážka z hliníkové folie 10 x 10 cm

3.3.2.3 Velikost překážky 5 x 5 cm

Tabulka 9: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 5 x 5 cm

Číslo měření	Vzdálenost [cm]							
	20	30	50	100	200	300	325	340
1	19	28	50	99	199	300	325	341
2	20	29	50	99	200	299	325	340
3	20	28	50	100	199	300	326	-
4	19	28	50	100	199	300	325	-
5	20	29	50	100	200	299	326	341
6	19	29	50	99	199	300	325	340
7	20	28	49	99	200	300	325	-
8	20	29	50	100	199	299	325	-
9	20	28	50	99	200	300	326	-
10	19	29	50	99	199	299	326	341
Průměr	19,6	28,5	49,9	99,4	199,4	299,6	325,4	340,6
Odchylka	0,4	1,5	0,1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,6

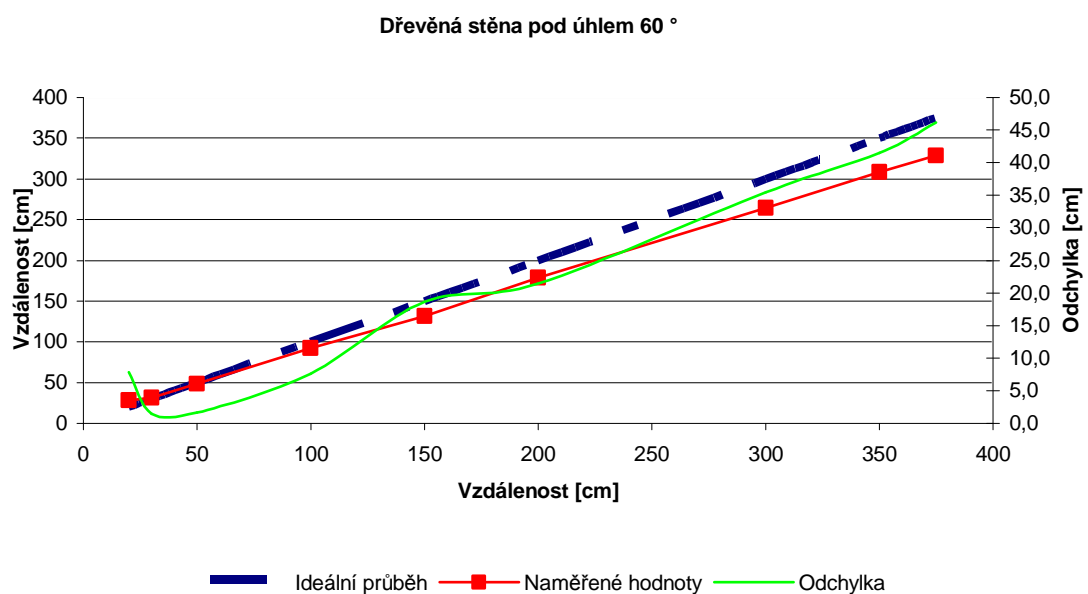


Graf 6: Překážka z hliníkové folie 5 x 5 cm

3.3.3 Měření pod úhlem 60 °

Tabulka 10: Naměřené hodnoty pod úhlem 60 °

Číslo měření	Vzdálenost [cm]								
	20	30	50	100	150	200	300	350	375
1	29	31	48	92	130	176	261	304	324
2	29	32	48	92	130	177	260	304	324
3	29	31	48	91	130	176	261	305	324
4	29	32	48	92	129	176	260	305	325
5	-	31	49	91	129	176	260	304	324
6	-	32	48	92	129	177	261	305	324
7	29	30	49	92	129	177	262	304	325
8	-	32	48	92	130	176	262	306	324
9	29	33	48	91	129	176	262	303	325
10	29	32	48	91	130	177	261	304	323
Průměr	27,9	31,5	48,4	92,4	131,4	178,5	264,5	308,5	328,8
Odchylka	7,9	1,5	1,6	7,6	18,6	21,5	35,5	41,5	46,2

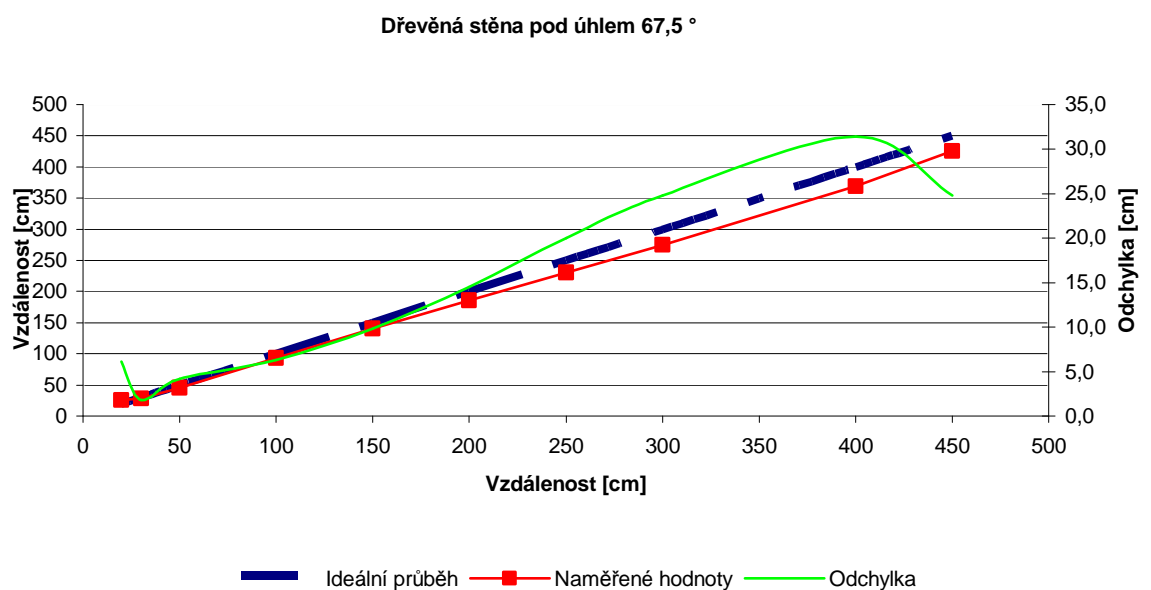


Graf 7: Měření pod úhlem 60 °

3.3.4 Měření pod úhlem 67,5 °

Tabulka 11: Naměřené hodnoty pod úhlem 67,5 °

Číslo měření	Vzdálenost [cm]									
	20	30	50	100	150	200	250	300	400	450
1	26	28	46	94	140	186	230	275	368	426
2	26	28	46	94	140	186	230	276	369	-
3	26	28	45	93	140	184	230	275	369	426
4	26	28	46	94	140	185	230	275	369	425
5	27	28	45	94	140	186	230	275	368	425
6	26	29	46	94	140	185	230	276	369	-
7	26	29	46	93	141	185	230	276	368	-
8	26	28	46	93	140	186	230	274	369	425
9	26	28	46	94	140	186	230	275	368	-
10	26	28	46	94	141	186	230	275	369	424
Průměr	26,1	28,2	45,8	93,7	140,2	185,5	230,0	275,2	368,6	425,2
Odchylka	6,1	1,8	4,2	6,3	9,8	14,5	20,0	24,8	31,4	24,8

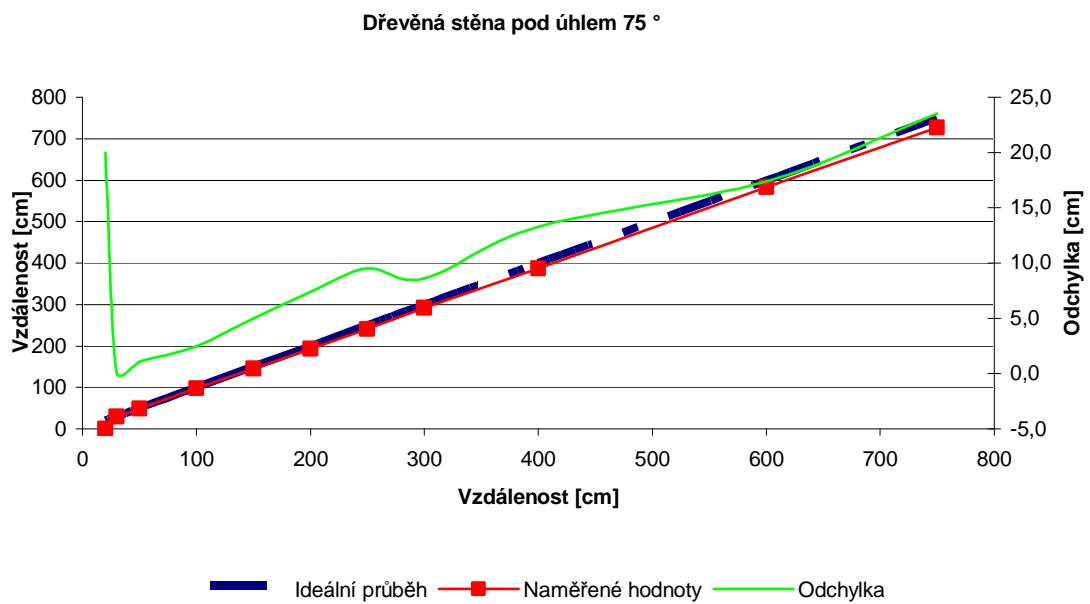


Graf 8: Měření pod úhlem 67,5 °

3.3.5 Měření pod úhlem 75 °

Tabulka 12: Naměřené hodnoty pod úhlem 75 °

Číslo měření	Vzdálenost [cm]										
	20	30	50	100	150	200	250	300	400	600	750
1	-	30	49	98	145	193	241	291	387	583	727
2	-	30	49	97	145	193	241	292	387	583	727
3	-	30	49	97	145	193	240	292	387	583	-
4	-	30	49	98	145	193	241	291	387	583	-
5	-	30	49	97	145	193	240	291	386	583	-
6	-	30	49	98	145	193	241	291	387	582	-
7	-	29	49	97	145	192	241	292	386	582	727
8	-	30	48	98	145	192	240	292	387	583	725
9	-	30	49	97	145	192	240	291	387	582	-
10	-	30	49	98	145	192	240	291	386	582	-
Průměr	0,0	29,9	48,9	97,5	145,0	192,6	240,5	291,4	386,7	582,6	726,5
Odchylka	20,0	0,1	1,1	2,5	5,0	7,4	9,5	8,6	13,3	17,4	23,5

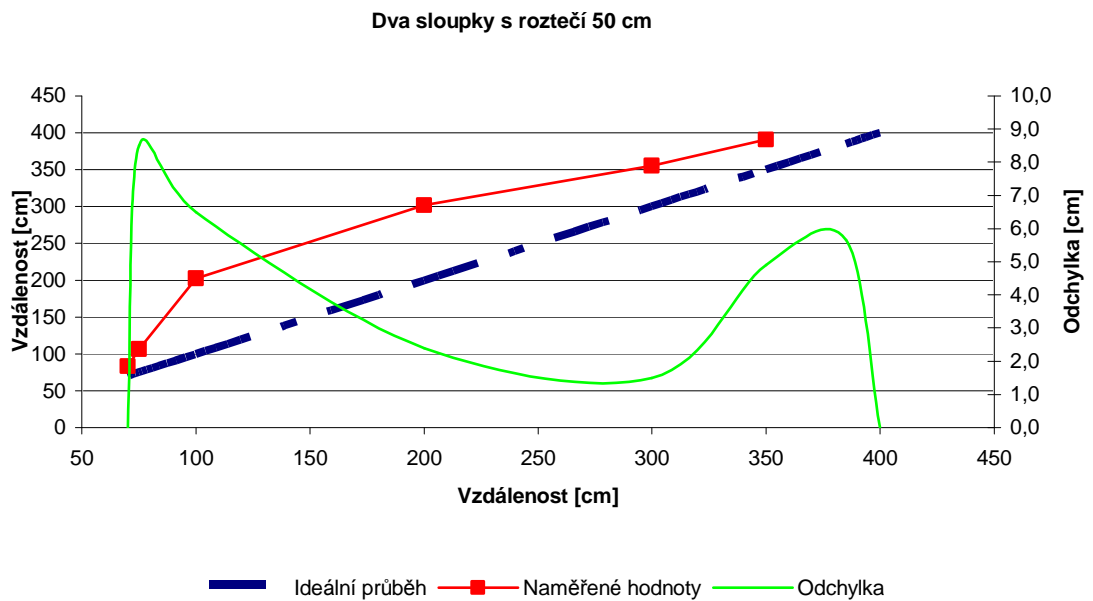


Graf 9: Měření pod úhlem 75 °

3.3.6 Měření od dvou tyčí vzdálených 50 cm

Tabulka 13: Naměřené hodnoty od dvou sloupů

Číslo měření	Vzdálenost [cm]							
	70	75	100	200	300	350	385	400
1	-	83	106	202	301	355	391	-
2	-	84	107	203	301	355	-	-
3	-	83	106	202	302	355	-	-
4	-	84	107	203	302	355	-	-
5	-	-	106	202	302	355	-	-
6	-	-	106	202	302	355	391	-
7	-	-	107	202	302	355	390	-
8	-	-	106	203	301	354	-	-
9	-	84	107	202	301	355	-	-
10	-	83	107	203	301	355	-	-
Průměr	-	83,5	106,5	202,4	301,5	354,9	390,7	0,0
Odchylka	0,0	8,5	6,5	2,4	1,5	4,9	5,7	0,0

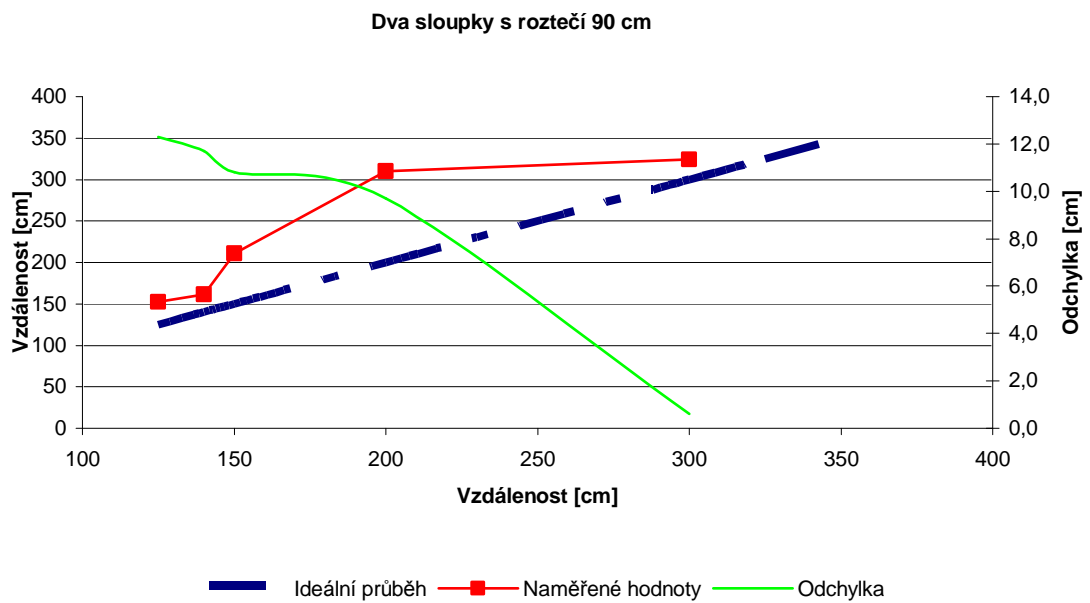


Graf 10: Měření od dvou sloupů s roztečí 50 cm

3.3.7 Měření od dvou tyčí vzdálených 90 cm

Tabulka 14: Naměřené hodnoty od dvou sloupů

Číslo měření	Vzdálenost [cm]						
	125	140	150	200	300	325	350
1	-	152	162	211	310	324	-
2	-	152	162	210	309	324	-
3	-	153	163	211	310	325	-
4	-	152	162	210	310	325	-
5	-	153	162	211	309	324	-
6	-	152	161	210	309	325	-
7	-	152	161	212	310	324	-
8	-	152	162	212	310	325	-
9	-	152	161	210	310	324	-
10	-	153	161	211	310	324	-
Průměr	0,0	152,3	161,7	210,8	309,7	324,4	0,0
Odchylka	0,0	12,3	11,7	10,8	9,7	0,6	350,0

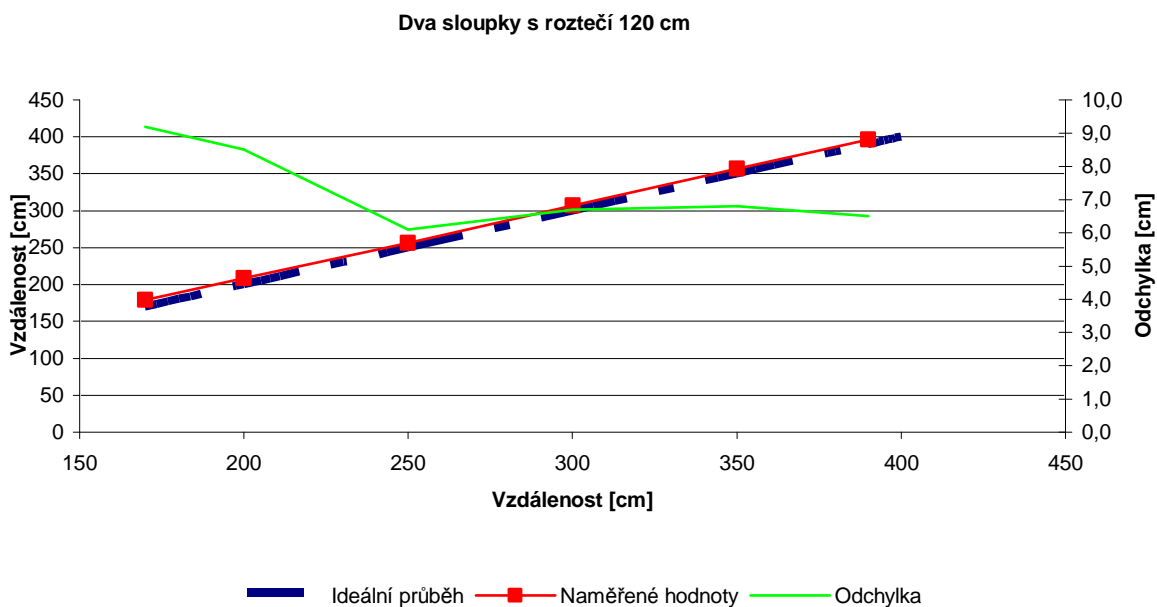


Graf 11: Měření od dvou sloupů s roztečí 90 cm

3.3.8 Měření od dvou tyčí vzdálených 120 cm

Tabulka 15: Naměřené hodnoty od dvou sloupů

Číslo měření	Vzdálenost [cm]						
	170	200	250	300	350	390	400
1	-	208	257	306	356	396	-
2	-	-	252	307	357	396	-
3	-	-	257	306	357	396	-
4	181	-	257	307	357	397	-
5	180	208	257	307	357	397	-
6	179	209	255	307	357	397	-
7	178	-	257	307	357	-	-
8	178	-	255	306	356	-	-
9	-	209	257	307	357	-	-
10	-	-	257	307	357	-	-
Průměr	179,2	208,5	256,1	306,7	356,8	396,5	0,0
Odchylka	9,2	8,5	6,1	6,7	6,8	6,5	0,0



Graf 12: Měření od dvou sloupů s roztečí 120 cm

3.4 Vyhodnocení měření ultrazvukovým přístrojem

Měření se skládalo ze tří částí. V první části jsem měřil překážku, která byla kolmo k přístroji. Překážka byla zavěšena volně v prostoru, aby nedošlo k nežádoucímu odrazu. Překážky tvořily různé materiály o různých velikostech. Ve všech případech se ukázalo, že měření vzdálenosti ultrazvukem od kolmé odrazové plochy je spolehlivé a výběr materiálu nehraje na přesnost měření výraznější roli. Odchylka při měření se pohybovala většinou kolem jednoho, maximálně dvou centimetrů a mohla být také částečně způsobena nepřesnostmi při měření. Druhou věcí potom bylo ověření maximálního dosahu měření přístrojem. Ten byl ovlivněn jak výběrem materiálu, tak i velikostí odrazových ploch, které jsem rozdělil do tří skupin na 20 x 20 cm, 10 x 10 cm a 5 x 5 cm. Při největším z těchto tří rozměrů vykazovaly nejlepší výsledky materiály z leštěného plechu a hliníkové folie. Tyto dvě překážky bylo možno zaznamenat nad vzdálenost 6 metrů, což je také maximální doporučená vzdálenost od výrobce. S menšími rozměry odrazových ploch se poté maximální dosah měření přístroje zmenšoval. U nejmenší velikosti (5 x 5 cm) odrazové plochy téměř na polovinu měřicího rozsahu, čili něco kolem tří metrů.

Jako druhý bod jsem měřil vzdálenosti pod úhlem. Měření jsem provedl na třech různých úhlech a to o velikosti 60°, 67,5° a 75°. Odrazovou plochu při tomto měření tvořila dřevěná zeď. V podstatě můžeme říci, že s rostoucím odklonem od kolmosti k měřené překážce, roste nepřesnost měření. To je způsobeno tvarem vyzářovací vlny senzoru (obr. 49). Díky tomu dojde při měření pod těmito úhly k falešné reflexi a odražená vlna se vrací zpět k přijímači senzoru dříve. U měření pod úhlem 60° činní odchylka dokonce na vzdálenosti 375 cm necelých 46,2 cm. Proto je důležité dát si na tento fakt při měření ultrazvukovými přístroji pozor.

Jako poslední jsem měřil vzdálenost od dvou železných sloupů o průměru 5 cm. Toto měření jsem opakoval třikrát při roztečích sloupů 50 cm, 90 cm a 120 cm. S přístrojem jsem postupně ustupoval od překážky a pozoroval, kdy ji přístroje bude schopen detekovat a s jakou odchylkou od skutečné vzdálenosti, jelikož se opět jednalo o způsob měření u překážky, která není kolmo k senzoru. Je zřejmé, že s rostoucí roztečí překážek rostla také vzdálenost, kdy byl přístroj schopen překážku detekovat. Naměřené výsledky jsou opět v tabulkách a grafech.

3.5 Fotografie z měření



Obr. 51: Měření vzdálenosti od ocelové překážky



Obr. 52: Měření vzdálenosti od dřevěné překážky



Obr. 53: Měření vzdálenosti pod úhlem 75°



Obr. 54 : Měření vzdálenosti od dvou tyčí

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na bezkontaktní měření vzdálenosti. V teoretické části jsou zpracovány dvě literární rešerše. První z nich se zabývá ultrazvukovými dálkoměry, jejich principy a možnostmi využití. Druhá rešerše popisuje dálkoměry optické, které se dále dělí podle principu na pasivní a aktivní.

V praktické části bylo provedeno několik měření ultrazvukovým přístrojem se senzorem SRF02. Testování dálkoměru bylo zaměřeno na jeho spolehlivost, přesnost, minimální a maximální dosah. Měření jsem prováděl od několika druhů odrazových materiálů, které byly v různých rozměrech. Přístroj fungoval bez problémů a měřil s maximální odchylkou jeden až dva centimetry. Dosah měření závisel do jisté míry na výběru odrazového materiálu a zejména velikosti jeho plochy. Dále jsem proměřoval vzdálenost od překážky, která nebyla kolmo k přístroji. Při těchto měřeních docházelo k relativně velkým odchylkám, které se zvětšovaly s přibývajícím vzdáleností od měřeného objektu. Odchylna byla způsobena vyzařovací charakteristikou ultrazvukového senzoru a je poměrně velkou nevýhodou ultrazvukových dálkoměrů. V posledním měření jsem zkoušel, v jaké vzdálenosti bude schopen přístroj detekovat dva železné sloupy, vzdálené od sebe několik desítek centimetrů. Všechna měření jsou zaznamenána v tabulkách, následně vynesena do grafů a vyhodnocena. V poslední řadě bych zhodnotil výhody a nevýhody ultrazvukových dálkoměrů a srovnal je s dálkoměry optickými. Měření ultrazvukovými dálkoměry je spolehlivé a relativně přesné. V průmyslu se ultrazvukové senzory používají zejména v náročnějších podmínkách jako je prašné prostředí, prostředí plné kouře nebo páry. Ultrazvukové dálkoměry se používají ve spoustě aplikací. Některé z nich jsou měření výšky kapaliny v nádrži, ruční dálkoměry využívané například ve stavebnictví, v automobilech jako parkovací senzory nebo echoloty sloužící k mapování vodního dna. Velkou výhodou ultrazvukových dálkoměrů je, že umí detekovat sytké nebo průhledné materiály jako například sklo. Naopak mezi nevýhody patří větší odrazová plocha překážky. Dopad paprsku na měřený objekt musí být kolmý, jinak dochází ke zkreslení naměřených hodnot. V blízkosti měřeného objektu nesmí být žádné jiné překážky.

Optické dálkoměry se používají v aplikacích, kde je potřeba mnohem větší přesnosti měření a většího dosahu. Dosah měření může být od několika centimetrů až po kilometry, v závislosti na použitém přístroji a typu měření. Používají se například v průmyslu jako senzory pro větší vzdálenosti, na stavbách, v zeměměřičských aplikacích, v lesnictví nebo

při sportech jako jsou golf či sportovní střelba. Pro měření postačí malá odrazová plocha měřeného předmětu, čímž je eliminován problém zaměření falešného objektu. Optické dálkoměry pracují i při šikmém dopadu. Obecně můžeme říct, že optické dálkoměry jsou lepšími a kvalitnějšími dálkoměry než dálkoměry ultrazvukové. Od toho se také odvíjí jejich cena. Na druhou stranu se cena těchto přístrojů snižuje a postupně dochází k nahrazování ultrazvukových přístrojů optickými.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The thesis is focused on contactless distance measuring. In the theoretical part, there are two literary researches. First of them deals ultrasonic distance meters, its principle and possibilities of use. In the second research, there is described optical distance meters, which was divided into two groups: passive and active.

In the practical part, there were performed several measurements with ultrasonic distance meter, which is using sensor SRF02. The testing of the distance meter was focused on the reliability, accuracy, minimum and maximum range. The measurement, I performed by several types of reflective materials, which was in different sizes. The device functioned without any problems and measured with a maximum deviation one to two centimeters. Range measurements depended on the choice of a reflective material, and mainly on the size of the area. Then, I were checked distance from the obstacle, which was not perpendicular to the device. For these measurements, there was a relatively large deviations, which increased with increasing distance from the object. Deviation was caused by the radiation characteristic of the ultrasonic sensor and it is big disadvantage of ultrasonic range finders. At last, I measured the distance, that the device was able to detected two iron pillars, apart a few tens of centimeters. All measurements are noted in the tables, graphs and analyzed.

Lastly, I would like to evaluate the advantages and disadvantages of ultrasonic range finders and compare them with optical rangefinders. Measurement of ultrasonic rangefinders is reliable and relatively accurate. In industry, ultrasonic sensors are mainly used in demanding conditions such as dusty environments, full of smoke or steam. Ultrasonic rangefinders are used in many applications. Some of them are measuring the height of the liquid in the tank, using in the construction industry, in cars as parking sensors or echo sounder for mapping under the water. The big advantage of ultrasonic range finders is that it can detect loose or transparent materials such as glass. The main disadvantage is, that for the distance measurement is a need for greater reflection surface. The impact of the beam at the target object must be perpendicular and close to the measured object must not be any undesirable obstacles.

Optical rangefinders are used in applications, where it is necessary much greater accuracy and greater range. Measuring range can be from a few hundred meters to few kilometers. They are used in industry such as sensors measuring greater distances, on construction

sites, in geodetic applications in forestry or for sports such as golf or shooting. For measuring, there can be a small reflective area of the object, so there is no problem with false echoes. Optical rangefinders works even at oblique impact. In general, we can say, the optical rangefinders are better and higher quality than ultrasonic rangefinders. They are more expensive then ultrasonic distance meters, but on the other hand, the price of these devices is decreased and ultrasonic range finders are replaced by optical rangefinders.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠVEHLA, Štefan a Zdenko FIGURA. *Ultrazvuk v technológii*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1984, 521 s.
- [2] OBRAZ, Jaroslav. *Ultrazvuk v měřící technice*. 2. uprav. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 485 s.
- [3] KUČKA, Jozef a Štefan ŠVEHLA. *Ultrazvuk a jeho použitie v priemysle*. 1. vyd. Bratislava: SVTL, 1962, 392 s.
- [4] TARABA, Oldřich. *Co dovede ultrazvuk: průmyslové využití ultrazvuku*. Praha: Práce, 1963, 158 s.
- [5] Základy piezokeramické technologie. *CeramTec*. [online]. 4.6.2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.cz/ceramic-materials/piezo-ceramics/basics/>
- [6] Piezoelektrický jev. *Wikipedie*. [online]. 4.6.2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrick%C3%BD_jev
- [7] Theory. *Piezokeramika*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://piezokeramika.wcz.cz/piezo.php?vek=8>
- [8] Ultrazvukové sonary. *Automa*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32330
- [9] *Ultrazvukové sonary firmy ROBOT electronics* [online].[cit. 2013-04-19]. Dostupný z <http://www.robot-electronics.co.uk>
- [10] Amtek. *Ultrazvukové senzory*. [online]. 4.6.2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.amtek.cz/ultrazvukove-senzory>
- [11] Ultrasonic sensor UB6000-F42-U-V15. *Pepperl+Fuchs*. [online]. 4.6.2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=24978
- [12] Ultrazvukové senzory. *Turck*. [online]. 4.6.2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: [http://pdb.turck.de/cz/DE/product/search?userSearch=QT50UDB&iwp\[\]=directSearch-G-0](http://pdb.turck.de/cz/DE/product/search?userSearch=QT50UDB&iwp[]=directSearch-G-0)

- [13] Parkovací senzory. *Parkovací senzory*. [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://parkovaci-senzory.cz/>
- [14] Jablotron. *PS-084*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.jablotron.com/cz/katalog-produktu/autotechnika/parkovaci-snimace/couvaci-senzory/displejovy/ps-084.aspx>
- [15] Ultrazvukové měření výšky hladiny kapalin a pevných látek. *Automa*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33552
- [16] Probe LU. *SIEMENS*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=2106f940da&ctxp=home>
- [17] Ultrazvukové snímače hladiny. *ELMOS*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.apoelmos.cz/products/ultrazvukove-snimace-hladiny-148000/vegason-65-ultrazvukovy-hladinomer-do-45-m/>
- [18] ultrazvukové měřiče. *profi-elektronika*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.profi-elektronika.cz/ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-metermaster-laser-pro/id/50-76972/>
- [19] Elite-5x. *Lowrance*. [online]. 19.4.2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.lowrance.com/en-GB/Products/echosounder/Elite5x-en-gb.aspx>
- [20] SCHRÖDER, Gottfried. *Technická optika*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981, 158 s.
- [21] Elektromagnetické spektrum. *Wikipedie*. [online]. 23.5.2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- [22] Optika a její dělení. *Encyklopedie fyziky*. [online]. 29.4.2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/433-optika-a-jeji-deleni>
- [23] Lom světla. *Matematické forum*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://forum.matweb.cz/viewtopic.php?id=16168>
- [24] KEPRT, Engelbert. *Teorie optických přístrojů: teorie a konstrukce optických dálkoměrů*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1966, 214 s.

- [25] Coincidence rangefinder. *Wikipedie*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Coincidence_rangefinder
- [26] range finder. *lonesentry*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://www.lonesentry.com/ordnance/tag/range-finder>
- [27] Jak funguje laserový dálkoměr. *GolfLaser*. [online]. 29.4.2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.golflaser.cz/jak-funguje-golf-dalkomer>
- [28] Elektrooptické dálkoměry. *Měření vzdáleností*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: http://www.stavebniskola.cz/files/osobni_stranky/geodezie/03_mereni_vzdalenosti.pdf
- [29] Součásti laseru. *Laser*. [online]. 29.4.2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/soucasti.html>
- [30] Lasery. *Encyklopedie fyziky*. [online]. 29.4.2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/775-lasery>
- [31] Lasery. *Infrared*. [online]. 23.5.2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.infrared.cz/Technologie/Lasery/>
- [32] Automatizace.hw. *Optické senzory*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [33] Optické senzory. *Turck*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: http://pdb.turck.de/media/_cz/Anlagen/Datei_EDB/edb_3047138_ces_cz.pdf
- [34] Reflexní snímače. *Pepperl+Fuchs*. [online]. 5.6.2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_11.htm?view=productdetails&prodid=24862&amxattrib=a_163/107461&amxattrib=a_164/107402&amxattrib=a_165/107748&
- [35] Leica DISTO™ D5. *Leica-geosystems*. [online]. 30.4.2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DISTO-D5_74709.htm
- [36] Laser 1200S. *Nikon*. [online]. 30.4.2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.nikon.com/products/sportoptics/lineup/laser/1200/spec.htm>

- [37] Totální stanice NIKON . *Geoobchod*. [online]. 6.6.2013 [cit. 2013-06-06].
Dostupné z: <http://geoobchod.cz/nikon-totalni-stanice-nikon-nivo-5m-C-317-D-1652.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Druhy vln.....	16
Obr. 2: Tvary vln.....	16
Obr. 3: Kolmý dopad vlnění.....	20
Obr. 4: Šikmý dopad vlnění.....	21
Obr. 5: Vznik piezoelektrické energie	24
Obr. 6: Tvary piezokeramických měničů	25
Obr. 7: Piezokeramika před polarizací, během polarizace a po ní	25
Obr. 8: Měníče s předmagnetizací(1) a bez předmagnetizace(2).....	28
Obr. 9: Okénkový magnetostrikční měnič	29
Obr. 10: Průchodová metoda.....	30
Obr. 11: Sonar SRF04	32
Obr. 12: Časový diagram sonaru SRF04	32
Obr. 13: Oblast vyzařování SRF04	33
Obr. 14: Sonar SRF08	33
Obr. 15: Ukázka vícenásobné echo	34
Obr. 16: Sonar SRF485WPR	35
Obr. 17: Detekce výšky hladiny	35
Obr. 18: Monitorování přítomnosti	35
Obr. 19: Senzor UB6000-F42-U-V15	36
Obr. 20: Ultrazvukový senzor QT50UDB	36
Obr. 21: Parkovací senzory PS084	37
Obr. 22: Hladinoměř Probe LU	38
Obr. 23: Hladinoměř VEGASON 65	39
Obr. 24: MeterMaster Laser Pro	40
Obr. 25: Lowrance Elite-5x	41

Obr. 26: Elektromagnetické spektrum	42
Obr. 27: Lom ke kolmici a lom od kolmice	45
Obr. 28: Dálkoměrný trojúhelník	47
Obr. 29: Dálkoměrný trojúhelník bistatického dálkoměru	47
Obr. 30: Dálkoměrný trojúhelník stadimetrického dálkoměru	48
Obr. 31: Dálkoměrný trojúhelník monostatického dálkoměru	49
Obr. 32: Princip monostatických dálkoměrů	50
Obr. 33: Vyloučení jedné poloviny zorného pole a společné zorné pole	51
Obr. 34: Společné zorné pole před seřízením	51
Obr. 35: Měření vzdálenosti stereoskopickým dálkoměrem	52
Obr. 36: Stereoskopický dálkoměr	53
Obr. 37 : Schéma funkce světelného dálkoměru	54
Obr. 38: Konstrukce laseru.....	55
Obr. 39: Přejít mezi energetickými hladinami.....	57
Obr. 40 : Optický snímač jako závora	59
Obr. 41: Snímač tenkých objektů	59
Obr. 42: Senzor Q45BB6DXQ5	60
Obr. 43: Senzor RL28-55-LAS-2840/47/115b	60
Obr. 44: Leica DISTO D5	61
Obr. 45: Laser 1200S.....	62
Obr. 46: Nikon NIVO 5.M	62
Obr. 47: Ultrazvukový dálkoměr	64
Obr. 48: Sonar SRF02	65
Obr. 49: Vyzařovací charakteristika SRF02 v dB	65
Obr. 50: Zapojení SRF02	66
Obr. 51: Měření vzdálenosti od ocelové překážky	81

Obr. 52: Měření vzdálenosti od dřevěné překážky	81
Obr. 53: Měření vzdálenosti pod úhlem 75°	82
Obr. 54 : Měření vzdálenosti od dvou tyčí	82

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Konstanty některých plynů při teplotě 0 °C	18
Tabulka 2: Konstanty některých kapalin při teplotě 20 °C	19
Tabulka 3: Indexů lomů některých látek	44
Tabulka 4: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 20 x 20 cm	68
Tabulka 5: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 10 x 10 cm	69
Tabulka 6: Naměřené hodnoty od překážky ze dřeva 5 x 5 cm	70
Tabulka 7: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 20 x 20 cm	71
Tabulka 8: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 10 x 10 cm	72
Tabulka 9: Naměřené hodnoty od překážky z hliníkové folie 5 x 5 cm	73
Tabulka 10: Naměřené hodnoty pod úhlem 60 °	74
Tabulka 11: Naměřené hodnoty pod úhlem 67,5 °	75
Tabulka 12: Naměřené hodnoty pod úhlem 75 °	76
Tabulka 13: Naměřené hodnoty od dvou sloupů	77
Tabulka 14: Naměřené hodnoty od dvou sloupů	78
Tabulka 15: Naměřené hodnoty od dvou sloupů	79