

Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze
Studium ultrazvukových vln

Číslo úlohy: 8
Jméno: **Vojtěch HORNÝ**
Spolupracoval: Jaroslav Zeman
Datum měření: 12. 10. 2009
Číslo kroužku: pondělí 13:30
Číslo skupiny: 6
Klasifikace:

Zadání

1. Změřte velikost přijímaného signálu v závislosti na úhlu mezi přijímačem a kolmicí k odrazové ploše. Výsledky zpracujte tabulkově i graficky a ověřte, zdali platí zákon odrazu pro ultrazvukové vlny. Měření proveďte pro tři různé úhly dopadu.
2. Změřte rychlost zvuku ve vzduchu. Proveďte alespoň deset měření při různých vzdálenostech vysílače od přijímače a výsledky zpracujte statisticky. Porovnejte výsledek se vztahem $v_z = 331,3 \sqrt{1 + \frac{T}{273,15}}$ (1)
3. Změřte alespoň pět vzdáleností odrazové plochy od vysílače-přijímače pomocí ultrazvukových vln (princip sonaru). Porovnejte vzdálenosti měřené sonarem a měřítkem. Použijte vámi experimentálně stanovenou rychlost zvuku z úkolu 2.
4. Změřte Dopplerův efekt pro dvě rychlosti v vozíčku pro oba případy (přijímač klid nebo přijímač pohyb) a porovnejte výsledky s teoretickými výpočty. Měření proveďte pro každý případ – přijímač klid-pohyb – a pro každou rychlost pětkrát.
5. Proměřte závislost intenzity zvukového signálu po průchodu zvukových vln soustavou štěrbin pro jednu, dvě a tři štěrbin. Výsledky zpracujte graficky a okomentujte v protokolu.

Základní pojmy a vztahy

Pokud se vlnění dostane k rozhraní dvou prostředí, může dojít k jeho odrazu zpět do prostředí, ze kterého k rozhraní přichází. Tento jev se označuje jako odraz vlnění. Odraz vlnění se řídí tzv. zákonem odrazu. Úhel odrazu je roven úhlu dopadu, přičemž odražené paprsky zůstávají v rovině dopadu.

Rychlost zvuku určíme podle jednoduchého vztahu $c = \frac{2s}{t}$, kde s je vzdálenost vysílače a přijímače od překážky a t je doba mezi vysláním a přijetím signálu. Dvojka je v čitateli z toho důvodu, že vlna urazí měřenou vzdálenost dvakrát. Podle stejného vztahu měříme vzdálenost, tentokrát ale předpokládáme znalost rychlosti zvuku a ověřujeme, zda se vypočtená vzdálenost rovná vzdálenosti námi naměřené

Dopplerův efekt je změna frekvence, jsou-li vysílač a přijímač periodického vlnění ve vzájemném pohybu. Pohybuje-li se vysílač s vlastní frekvencí f_0 rychlostí v vůči přijímači v klidu, naměříme na přijímači frekvenci $f = f_0 \frac{v_z}{v_z \mp v}$, kde znaménko minus je pro případ pohybu vysílače k přijímači.

Při pohybu přijímače vůči vysílači v klidu používáme vztah $f = f_0 \frac{v_z \mp v}{v_z}$. Znaménko minus použijeme pro případ pohybu od vysílače.

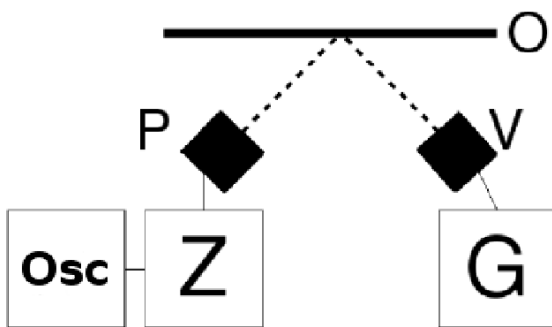
V poslední úloze se věnujeme difrakci vlnění na štěrbinách. Měli bychom pozorovat maxima v úhlech, které vyhovují podmínce $\sin \alpha = k \frac{\lambda}{d}$, kde k je celé číslo, λ vlnová délka zvukových vln a d je mřížková konstanta.

Pomůcky

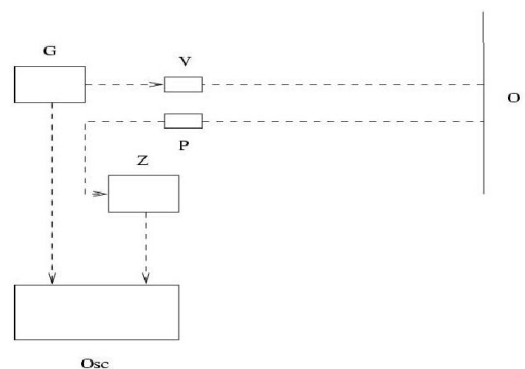
Generátor 40 kHz vln, zesilovač, 3 mikrofony, čítač Tesla, dvoukanálový digitální osciloskop, odrazová kovová deska, laboratorní stojany, parabolické odrážecí zrcadlo, difrakční mřížka s nastavitelným počtem štěrbin, elektrický vozíček s nastavitelnou rychlostí pojezdu, pojezdová lavice s měřítkem, stopky, výsvně měřítko, kovové měřítko 50 cm, měřící pásmo, úhloměr, kabely, sada držáků pro mikrofony.

Postup měření

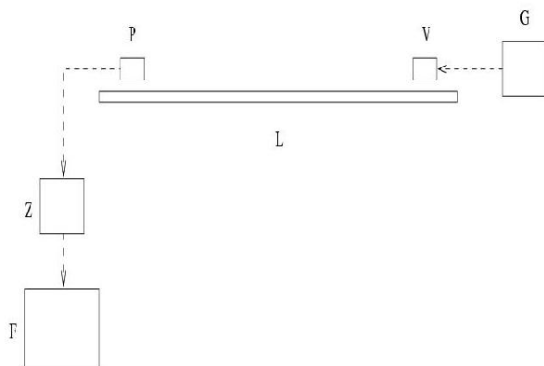
1. V první úloze ověřujeme platnost zákona odrazu, tedy že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Měříme intenzitu dopadajícího vlnění v závislosti na úhlu odrazu pomocí osciloskopu. Schéma měření je na obrázku 1.
2. Ve druhé úloze měříme rychlost zvuku. Měřícím pásmem změříme vzdálenost vysílače a



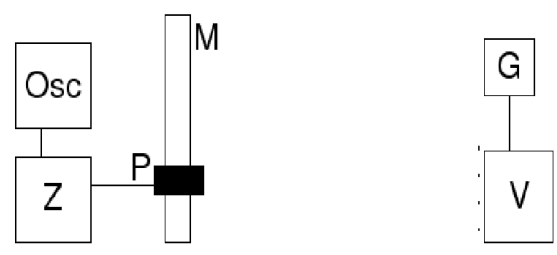
Obrázek 1: Experimentální schéma pro měření úhlu odrazu zvukových vln (G=generátor 40kHz, V=vysílač, O=odrazová plocha, P=přijímač, Z=zesilovač, Osc=osciloskop)



Obrázek 2: Schéma měření rychlosti zvuku či vzdálenosti (G=generátor, V=vysílač, P=Přijímač, Z=zesilovač, O=odrazová plocha, Osc=osciloskop)



Obrázek 3: Uspořádání experimentu při studiu Dopplerova jevu (G=generátor, V=vysílač, P=přijímač, L=pojezdová lavice, Z=zesilovač, F= čítač Tesla)



Obrázek 4: Experimentální uspořádání pro měření interference a ohybu na soustavě štěrbin (G=generátor, V=vysílač s parabolou a mříží, P=přijímač, M=měřítka, Z=zesilovač, Osc=osciloskop)

přijímače ode zdi. Vysíláme krátké pulsy a na osciloskopu měříme časový rozdíl mezi vyslanou a odraženou vlnou. Schéma obou měření je na obrázku č. 2.

3. Při měření Dopplerova jevu používáme vozík na kolejnici. Rychlost v vozíku měříme metrem a stopkami. Sonarem zaznamenáváme frekvenci přijímaných vln a porovnáváme s očekávanými hodnotami. Schéma měření je na obrázku č. 3.
4. Vysíláme vlnění, které po odrazu od parabolického zrcadla prochází soustavou štěrbin. Ve vzdálenosti 300 cm od štěrbin přijímačem zachytáváme přicházející vlnění a měříme jeho intenzitu v několika bodech.

Experimentální data a výsledky měření

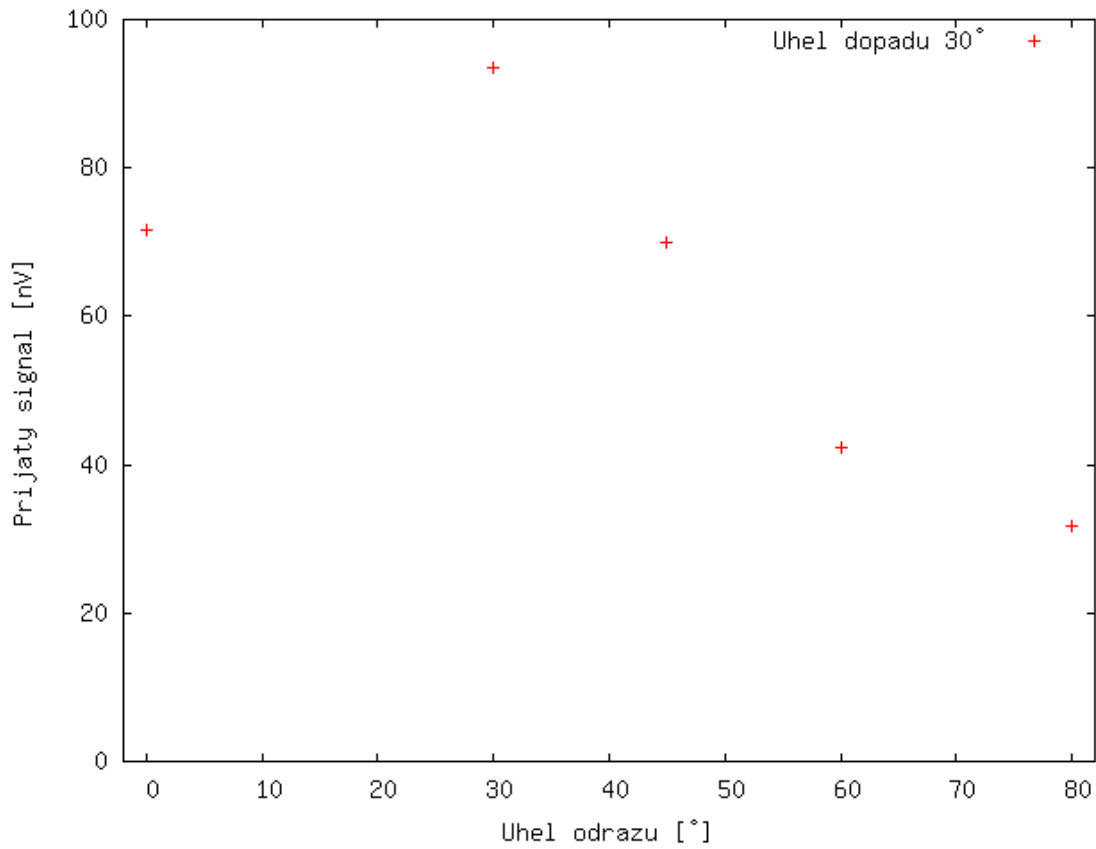
V tabulkách č. 1 - 3 jsou uvedeny velikosti přijímaného signálu v závislosti na úhlu odrazu. Hodnoty jsou zakresleny v grafech na obrázcích 5 - 7. Je vidět, že největší intenzita byla naměřena v situacích, kdy se úhel odrazu rovnal úhlu dopadu.

číslo měření	úhel dopadu [°]	úhel odrazu [°]	přijímaný signál [mV]
1	30	0	71,6
2	30	30	93,4
3	30	45	70,0
4	30	60	42,4
5	30	80	31,7

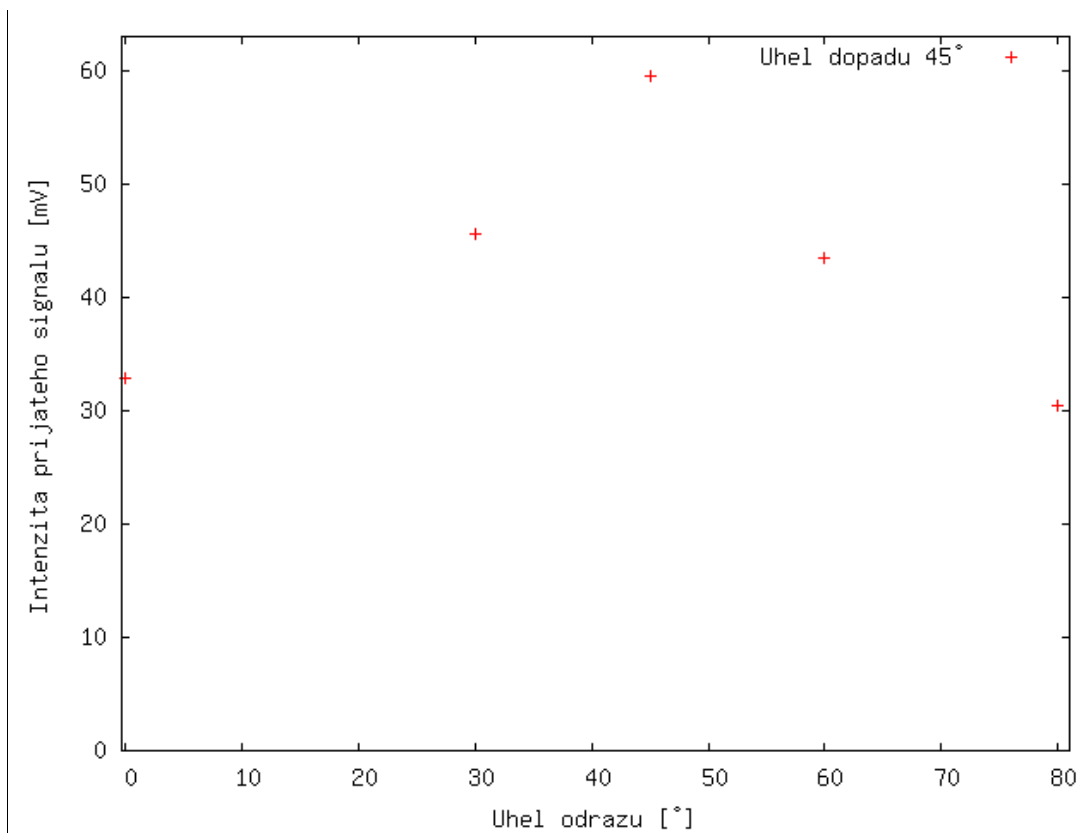
číslo měření	úhel dopadu [°]	úhel odrazu [°]	přijímaný signál [mV]
6	45	0	32,9
7	45	30	45,6
8	45	45	59,5
9	45	60	43,5
10	45	80	30,5

číslo měření	úhel dopadu [°]	úhel odrazu [°]	přijímaný signál [mV]
11	60	80	69,1
12	60	60	78,9
13	60	45	50,6
14	60	30	36,3
15	60	0	27,5

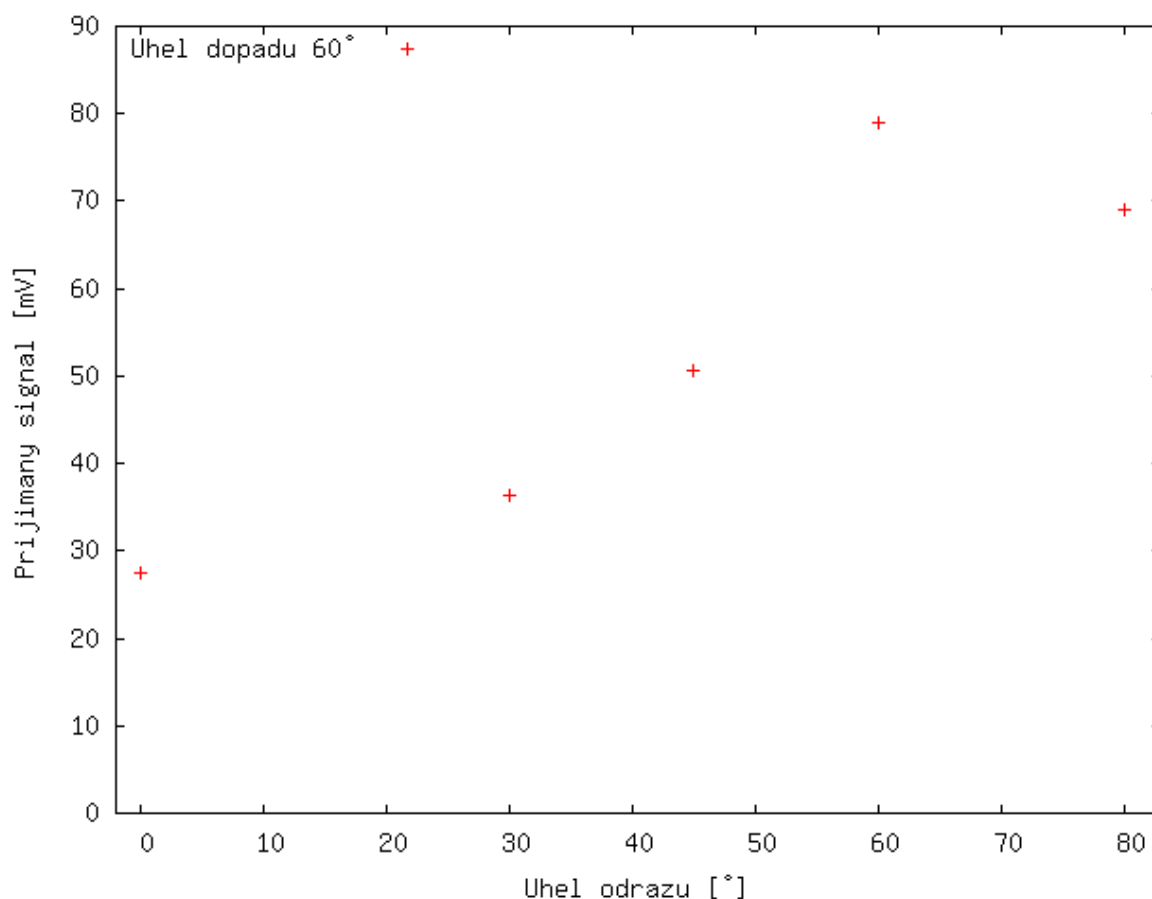
Tab. 1 -3 – Závislost přijímaného signálu na úhlu odrazu



Obr. 5 – Závislost velikosti přijatého signálu na úhlu odrazu při úhlu dopadu 30°



Obr. 6 – Závislost velikosti přijatého signálu na úhlu odrazu při úhlu dopadu 45°



Obr. 7 – Závislost velikosti přijatého signálu na úhlu odrazu při úhlu dopadu 60°

V tabulce č. 4. jsou hodnoty z měření rychlosti zvuku ve vzduchu. V místnosti jsme naměřili teplotu 25°C, podle vzorce (1) by rychlost zvuku ve vzduchu měla být 346,1 m/s. Tato hodnota se od naměřené bohužel liší. V tabulce číslo pět jsou hodnoty získané během měření vzdálenosti s využitím znalosti rychlosti zvuku. Měření nebylo dostatečně přesné.

číslo měření	s[cm]	t[ms]	v _z [m/s]
1	50	3,0	333,33
2	62	3,7	335,14
3	70	4,2	333,33
4	40	2,5	320,00
5	25	1,7	294,12
6	80	4,7	340,43
7	45	2,8	321,43
8	55	3,4	323,53
9	35	2,3	304,35
10	65	4,0	325,00
průměrná rychlost [m/s]			323,07

Tab. 4 – Měření rychlosti zvuku ve vzduchu

s – vzdálenost vysílače i přijímače od odrazové zdi
t – doba mezi vysláním a přijetím signálu
v – rychlost zvuku ve vzduchu

číslo měření	s ₀ [cm]	t [ms]	s[cm]	s _n [cm]
1	60,0	3,6	58,15	62,30
2	70,0	4,2	67,84	72,69
3	80,0	4,7	75,92	81,34
4	50,0	3,0	48,46	51,92
5	65,0	4,0	64,61	69,23

Tab. 5 – Měření vzdálenosti využitím znalosti rychlosti zvuku ve vzduchu.

s₀ – vzdálenost naměřená metrem

t – doba mezi vysláním a přijetím signálu

s_n – vypočtená vzdálenost podle rychlosti ze vztahu (1)

s – vypočtená vzdálenost podle naší rychlosti

$$v_z = (323 \pm 5) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Následující část se věnuje Dopplerově jevu. Celkem jsme provedly čtyři sady měření. V tabulce č. 6 jsou data z části měření, kdy byl v pohybu vysílač a přijímač zůstal v klidu. Rychlost vozíčku jsme měřili na úseku dlouhém 1m. Nejprve jsme jej vždy nechali nabrat konstantní rychlost a až pak začali s měřením, abychom předešli nepřesnostem způsobeným rozjezdem. Rychlost je kladná, pohybuje-li se vysílač od přijímače.

Sonarem jsme pozorovali zvýšení frekvence, pohyboval-li se vysílač k přijímači a snížení frekvence, byl-li pohyb opačný. Naměřená frekvence se lépe odpovídá frekvenci, která byla vypočítaná z námi naměřené rychlosti zvuku než frekvenci, kterou jsme vypočetli z rychlosti zvuku, kterou jsme zjistili podle vztahu (1).

V tabulce číslo 7 jsou data měření Dopplerova efektu, pohybuje-li se přijímač vůči vysílači. Jev jsme potvrdili.

č. měření	v [m/s]	f_v [kHz]	f_1 [kHz]	f_2 [kHz]	f [kHz]
1	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,038
2	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,041
3	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,055
4	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,049
5	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,040
6	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,038
7	-0,23	40,009	40,037	40,035	40,037
8	0,37	39,993	39,964	39,967	39,949
9	0,37	39,993	39,964	39,967	39,945
10	0,37	39,993	39,964	39,967	39,947
11	0,37	39,993	39,964	39,967	39,942
12	0,37	39,993	39,964	39,967	39,945

v rychlost vysílače
 f_v vlastní frekvence vysílače
 f_1 předpověděná frekvence využitím námi naměřené rychlosti zvuku
 f_2 předpověděná frekvence využitím znalosti rychlosti zvuku podle vzorce (1)
f naměřená frekvence

č. měření	v [m/s]	f_v [kHz]	f_1 [kHz]	f_2 [kHz]	f [kHz]
1	-0,37	39,910	39,864	39,966	39,838
2	-0,37	39,909	39,863	39,966	39,860
3	-0,37	39,910	39,864	39,966	39,862
4	-0,37	39,910	39,864	39,966	39,862
5	-0,37	39,910	39,864	39,966	39,863
6	0,33	40,074	40,115	40,048	40,125
7	0,33	40,074	40,115	40,048	40,121
8	0,33	40,074	40,115	40,048	40,126
9	0,33	40,074	40,115	40,048	40,123
10	0,33	40,074	40,115	40,048	40,118

Tab. 6 (vlevo nahoře) – Měření Dopplerova jevu, pohyb vysílače vůči přijímači v klidu

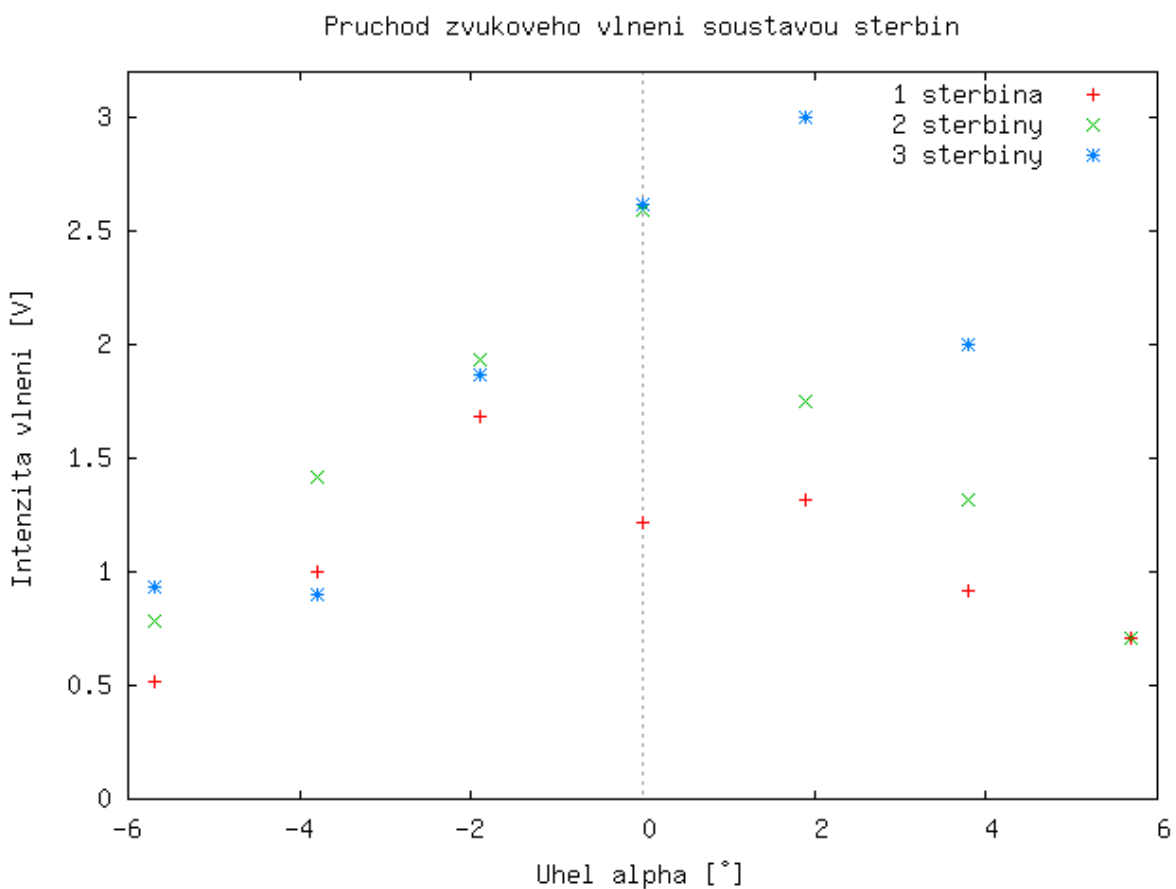
Tab. 7 (vlevo) - Měření Dopplerova jevu, pohyb vysílače vůči přijímači v klidu

Poslední data jsou z měření intenzity vlnění po průchodu soustavou štěrbin. Jsou uvedena v tabulce č. 8 a v grafu na obr. 8.

úhel[°]	I ₁ [V]	I ₂ [V]	I ₃ [V]
0,0	1,22	2,59	2,62
-1,9	1,68	1,93	1,87
-3,8	1,00	1,42	0,90
-5,7	0,52	0,78	0,93
1,9	1,32	1,75	3,00
3,8	0,92	1,32	2,00
5,7	0,71	0,71	

I₁ – intenzita po průchodu jednou štěrbinou
 I₂ – intenzita po průchodu dvěma štěrbinami
 I₃ – intenzita po průchodu třemi štěrbinami

Tab. 8 – Difrakce na soustavě štěrbin



Tab. 8 – Difrakce na soustavě štěrbin

Závěr

Nejprve jsme experimentálně ověřili platnost zákona odrazu. Nejvyšší intenzita byla naměřena, rovnal-li se úhel odrazu úhlu dopadu.

Ve druhém úkolu jsme změřili rychlost zvuku ve vzduchu $v_z = (323 \pm 5) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tabeľovaná hodnota podle vztahu (1) je přitom $346 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl námi naměřené rychlosti vůči rychlosti tabelované může být způsoben více vlivy, jako např. nepřesným

odečítáním vzdálenosti (nevěděli jsme, kde přesně se nachází vysílač a přijímač, pouze s přesností na centimetry), údajným jiným složením vzduchu a nepřesnostmi používaných přístrojů. V dalším měření bych také zkusil změřit dobu šíření signálu přímo, bez odrazu ode zdi. Také bych pečlivěji odečítal hodnoty a tím bych se pokoušel snížit poměrně vysokou chybu.

Třetí úkol se podobal úkolu druhému, měřili jsme vzdálenosti využitím znalosti rychlosti zvuku. Je velmi povzbudivé, že metrem naměřené hodnotě lépe odpovídala vzdálenost vypočítaná užitím námi naměřené rychlosti zvuku.

Ve čtvrtém úkolu jsme pozorovali a potvrdili Dopplerův efekt. Rozdíl mezi vypočítanou frekvencí a frekvencí naměřenou byl nanejvýše v řádech desítek hertzů.

V posledním úkolu jsme zkoumali ohyb vlnění na soustavě štěrbin. Bohužel se nám nepodařilo najít jiná maxima, než maximum nultého řádu. Měření bylo velice problematické kvůli velkému množství rušivých faktorů, jako třeba pohyb osob v okolí přijímače či jiná zároveň probíhající měření. Hodnoty z osciloskopu byly velmi nestálé a tím pádem šly jen velmi těžko zachycovat. V dalším měření bych se pokusil minimalizovat rušivé vlivy a také bych přijímač umístil blíže vysílači, přibližně na vzdálenost dvou metrů.

Použitá literatura

[1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz>