



Středoškolská technika 2022

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Princip dechových nástrojů z pohledu fyziky

Jakub Tvrz

Gymnázium Zikmunda Wintra

náměstí Jana Žižky 186, Rakovník

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci ročníkovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze ročníkové práce jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Lužné dne 12.12.2021

Jakub Tvrz

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Aleně Vaníkové za pomoc, rady a poznatky při tvorbě této ročníkové práce.

Anotace

Práce se zabývá shrnutím poznatků ohledně principu vzniku zvuku hudebních nástrojů se zaměřením na nástroje dechové. Pomocí objektivních nástrojů jsou v praktické části měřeny vybrané fyzikální veličiny.

Klíčová slova

Zvuk, tón, dechové hudební nástroje

Annotation

The essay deals with a summary of knowledge about the principle of the sound of musical instruments with a focus on wind instruments. Selected objective quantities are measured in the practical part using objective tools.

Keywords

Sound, tone, wind musical instruments

Obsah

1	Úvod	6
2	Definice pojmů	6
2.1	Zvuk	6
2.2	Tón	7
3	Rozdělení hudebních dechových nástrojů	8
3.1	Dřevěné dechové nástroje.....	8
3.1.1	Flétny.....	9
3.1.2	Klarinet.....	9
3.1.3	Hoboj.....	10
3.1.4	Fagot.....	11
3.1.5	Saxofon.....	11
3.2	Žest'ové dechové nástroje.....	12
3.2.1	Trubka	12
3.2.2	Pozoun.....	13
3.2.3	Lesní roh.....	13
3.2.4	Tuba.....	13
3.2.5	Křídlovka a baskřídlovka	14
3.3	Vícehlasné dechové nástroje	14
3.3.1	Foukací harmonika	14
3.3.2	Akordeon.....	15
3.3.3	Dudy	15
3.3.4	Varhany	15
4	Vlastnosti dechových nástrojů.....	16
5	Vlastní měření.....	16
5.1.1	Pokus č. 1 - Vliv vytažení snižce na výšku tónu u tenorového snižcového pozounu....	16
5.1.2	Pokus č. 2 - Měření hlasitosti tónu u vybraných dechových nástrojů	18
5.1.3	Pokus č. 3 - Ověření předpokládaného rozsahu snižcového pozounu.....	19
6	Závěr.....	21
7	Použitá literatura.....	22
8	Seznam obrázků.....	23
9	Seznam tabulek.....	24
10	Seznam grafů	24

1 ÚVOD

Cílem této práce je vysvětlit princip fungování dechových hudebních nástrojů. Charakteristiku názvů potřebných pro bližší pochopení, zobrazuje rozřazení jednotlivých dechových hudebních nástrojů do určitých skupin a zároveň nástroje popisuje jak po vizuální, tak po funkční stránce. Součástí práce je i několik pokusů dokazujících vybrané informace, které teoretická část práce uvádí.

Téma jsem si vybral, protože hudbou se ve svém volném čase zabývám a zvláště žesťové dechové nástroje jsou mi blízké.

2 DEFINICE POJMŮ

2.1 ZVUK

Zvuk je mechanické vlnění (kmitání), které probíhá v pružném prostředí, čímž rozumíme prostor, kde existují vazebné síly mezi částicemi, tzn. částice si kmitání předávají.

S tím souvisí i rychlost šíření zvuku (v):

- vakuum 0 ms^{-1}
- vzduch 340 ms^{-1}
- voda 1500 ms^{-1}
- ocel 5000 ms^{-1}

Infrazvuk a ultrazvuk jsou druhy zvuku, které člověk nedokáže svým uchem vnímat, ale i tak mohou být pro lidstvo důležité.

Infrazvuk je typ zvuku s frekvencí menší než 16 Hz, díky němuž se dorozumívají některé typy zvířet.

Ultrazvuk je naopak typ zvuku nad 20 kHz, tudíž opačný konec škály, kterou je lidské ucho schopné vnímat. Jeho využití nalezneme například v lékařství (sledování plodu v těhotenství nebo různých orgánů), při měření hloubky moří (tzv. echoloty) nebo při zkoumání trhlin v materiálech.

2.2 TÓN

Zvuk můžeme rozlišovat na hluk a tón. Z fyzikálního pohledu je hluk nepravidelné vlnění, čili neperiodické kmitání těles, zatímco tón je zvuk se stálou frekvencí a vzniká periodickým kmitáním tělesa.

Frekvence (f) je fyzikální veličina udávající počet opakování periodického děje za určitý časový úsek. Její základní jednotkou je hertz (Hz). Každý tón je jimi přesně definován. Na tomto principu fungují ladičky hudebních nástrojů.

Tab. 1: Tabulkové hodnoty frekvence vybraných tónů

tón	c	d	e	f	g	a	h	c'
f (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	524

V praktické hudbě se běžně používají tóny s kmitočty přibližně od 16 Hz do 4000 Hz.

Tab. 2: Druhy oktáv a jejich frekvence

Druh oktávy	Příklad zvuku
Subkontra oktáva	C'' (16,4 Hz) - H''
Kontra oktáva	C' (32,7 Hz) - H'
Velká oktáva	C (65,4 Hz) - H
Malá oktáva	c (130,8 Hz) - h
Jednočárkovaná oktáva	c' (261,5 Hz) - h'
Dvoučárkovaná oktáva	c'' (523,2 Hz) - h''
Tříčárkovaná oktáva	c''' (1046 Hz) - h'''
Čtyřčárkovaná oktáva	c'''' (2093 Hz) - h''''
Pětičárkovaná oktáva	c''''' (4186 Hz) - h'''''

Každý tón má základní vlastnosti:

- výška tónu je dána frekvencí
- délka tónu je dána časem trvání
- intenzita tónu je dána energií procházející určitou plochou v daném interval
- barva tónu závisí na hudebním nástroji, lidském hlasu apod.

Další významnou veličinou v oblasti zvuku je hlasitost, která se měří v decibelech (dB).

Tab. 3: Příklady zvuků v decibelech

Hlasitost	Příklad zvuku	Hlasitost	Příklad zvuku
0 dB	Práh zvuku, slyšení	80 dB	Křik
10 dB	Šumění listů na stromech (slabý váněk)	90 dB	Jedoucí vlak
20 dB	Padající listů	100 dB	Řetězová motorová pila
30 dB	Tichý pokoj (např. ložnice)	110 dB	Rockový koncert
50 dB	Běžná komunikace	130 dB	Start tryskového letadla (práh bolestivosti)
60 dB	Hlasitá komunikace	140 dB	Výstřel z děla (bezprostřední blízkost)

3 ROZDĚLENÍ HUDEBNÍCH DECHOVÝCH NÁSTROJŮ

Dechové nástroje (aerofony) produkují zvuk díky chvění vzduchu. Dají se dělit na nástroje jednohlasé a vícehlasé. Jednohlasé se následně dělí podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, na dřevěné a žesťové. V aerofonech vzniká během hraní vzduchový sloupec, který je zdrojem kmitání. Sloupec vzniká díky proměnnému akustickému tlaku, který řídí buď rty hráče, jazyk, či konstrukce nástroje.

Hráči hrající na jednohlasé dechové nástroje jsou schopni zahrát určité tóny bez jakéhokoliv ovlivňování zvukového sloupce během hry. Těmto vybraným tónům se říká tóny alikvotní. Hráč je může měnit pouhým přitahováním, či povolováním rtů.

Nástroje obecně se skládají ze 3 částí ovlivňujících vznik a podobu tónu.

První část, nazývaná oscilátor, má funkci kmitajícího elementu. Díky němu vznikají prvotní kmity. Avšak zvuk produkovaný těmito kmity je sám o sobě velmi slabý. U dechových nástrojů jsou to typicky u dřevěných jazyčky (viz kapitola 3.1) a u žesťových rty (viz kapitola 3.2).

Aby došlo k rozkmitání oscilátoru, je třeba nějaký budící element, neboli excitátor. U dechových nástrojů je to proud vzduchu vydechovaný hráčem (popř. vytlačovaný z měchu apod. viz vícehlasé nástroje v kapitole 3.3).

Poslední podstatnou částí je rezonátor. Ten zesiluje vydávaný zvuk z oscilátoru. Rezonátor tedy často určuje vzhled - velikost a tvar hudebního nástroje. Níže se dozvíme, čím větší je dechový hudební nástroj, tím hlubší tóny jsou pro něj přirozené. Jedná se tedy vzduchový sloupec uvnitř trubice nástroje.

3.1 DŘEVĚNÉ DECHOVÉ NÁSTROJE

Do skupiny jednohlasých dechových nástrojů řadíme ty, které se vyrábí, nebo se dříve vyráběly, ze dřeva a zdrojem vzduchu jsou zde přímo hráčova ústa. Zvuk v dřevěných nástrojích vzniká rozechvíváním vzduchového sloupce dechem, neboli bez použití jiných pomůcek, jako jsou například nátrubky u žesťových nástrojů. Tón pak ovlivňuje samotný hráč prodlužováním nebo zkracováním vzduchového sloupce. Způsob, jakým hráč sloupec prodlužuje, záleží na daném

nástroji. Do skupiny dřevěných dechových nástrojů patří flétny, klarinety, hoboje, ale i například saxofony, které jsou sice kovové, ale fungují na stejném principu jako klarinety, tudíž se řadí do stejné skupiny.

3.1.1 Flétny

Flétna je jedním z nejstarších nástrojů, jelikož si ji vyráběli už lidé v daleké minulosti i proto, že není příliš velká a těžká. Fléten je několik druhů. Mezi ty nejznámější patří flétna zobcová, která má válcovitý tvar s příčným výřezem na vrchní straně a několik otvorů seřazených po délce nástroje, které hráč svými prsty zacpe a prodlouží tak délku vzduchového sloupce uvnitř nástroje. Výška jejího tónu a rozsah závisí i na druhu zobcové flétny. Mohou být sopránové, altové, tenorové nebo basové. Druh flétny lze rozeznat díky její velikosti. Sopránová flétna bude například mnohem menší, než flétna tenorová.

Zobcová flétna má název podle zobce, kterým do ní hráč dopravuje vzduch a řadíme ji mezi retné nástroje, protože tóny ovlivňuje i práce rtů.

Tab. 4: Druhy fléten a jejich rozpětí dle informací ze zdroje č. 2

Druh flétny	Nejhlubší možný tón	Nejvyšší možný tón
Sopránová	f_2	f_4
Altová	c_2	c_4
Tenorová	f_1	g_2
Basová	F	d_2

Dalším rozšířeným druhem flétny je flétna příčná. Ta se vyrábí buď z grenadilového dřeva nebo nového stříbra a měří přibližně 70 cm. Hráč vhání do nástroje vzduch přes hranu kruhového, či čtyřhranného otvoru, který představuje ret. Výška tónu je pak ovládána klapkami, které prodlužují nebo zkracují vzduchový sloupec.

Panova flétna je pak soustava trubic různé délky. Jedná se o technicky jednoduchý starý nástroj. Zvuk vzniká podobně jako u příčné flétny foukáním přes hranu jednotlivých trubic.



Obr. 1: Zobcová flétna



Obr. 2: Příčná flétna

3.1.2 Klarinet

Klarinet je příkladem nástroje, při jehož fungování je potřeba plátek (jazýček), který se vyrábí ze třtiny. Plátek se přikládá před začátkem hry na nástroj ke klarinetovému zobci pomocí

prstence. Celému tomuto komplexu se říká hubička. Klarinet se skládá dále ze soudku, horního a spodního dílu.

Pomocí klapkového mechanismu kolem dřevěného základu nástroje ovládá hráč délku vzduchového sloupce a ovlivňuje tak výšku tónu. Hráč svým dechem nejprve rozkmitá plátek, který pak svým pohybem způsobí vznik vzduchového sloupce uvnitř nástroje. Samotný tón se pak tvoří nárazy vzduchu do těla nástroje.

Problémem klarinetu je, že v přirozené tónové řadě tvoří pouze liché tóny. Příčinou je uzavření jednoho ze dnou konců nástroje ústy hráče. Tento problém se řeší přefukováním, které u klarinetu není do oktávy, nýbrž do tzv. duodecimy (oktáva a kvinta od základního tónu). Klapky jsou proto zkonstruovány tak, aby vyplnily mezeru mezi sedmým stupněm základní stupnice a duodecimy nejnižšího tónu. K vyplnění této mezery slouží speciální dírky a klapky, kterým se říká suchý rejstřík.

Délka klarinetu je 66 centimetrů a jeho vnitřní průměr 13 milimetrů. Klarinet nemá žádná zahnutí a jeho rozsah se v rámci C ladění uvádí od es do f₄.



Obr.3: Klarinet

3.1.3 Hoboj

Dalším dechovým nástrojem ze dřeva je hoboje. Ten je svým vzhledem hodně podobný klarinetu s tím rozdílem, že je k němu potřeba dvojité plátek, který je výrazně užší než ten, který se používá u klarinetu. Tón vzniká rozechvěním obou jazýčků a jeho výšku opět ovlivňuje hráč prodlužováním nebo zkracováním vzduchového sloupce za pomoci klapek.

Celková délka hoboje je přibližně 65 cm a jeho rozsah se uvádí mezi h - f₃.



Obr.4: Hoboj

3.1.4 Fagot

Fagot je oproti například klarinetu či hoboji mnohem větší nástroj. Ke hře na něj je stejně jako u hoboje potřeba strojek se dvěma plátky, který má ale oproti hoboji větší rozměry. Nástroj se při hře drží mírně šikmo, aby hráč dosáhl na všechny potřebné klapky.

Teoretická délka jeho nástrojové trubice čítá 280 centimetrů, ale kvůli případné nepraktičnosti je trubice v přeložena a má tak tvar písmene U. Rozsah kontra B - es₂.



Obr.5: Fagot

3.1.5 Saxofon

Saxofon je svým způsobem druh klarinetu se zahnutím ve spodní části (kromě sopránového saxofonu - ten je bez zahnutí), který je ale oproti ostatním nástrojům v této skupině vyroben z kovu. Ke hře je stejně jako u klarinetu potřeba třetinový plátek nasazený na hubičce a tón vzniká rozechvěním plátku. Klapkový mechanismus saxofonu je mnohem mohutnější, než u ostatních dechových nástrojů.

Saxofony, se kterými se nejčastěji setkáme jsou ty sopránové, altové, tenorové, barytonové a basové. Dále pak existují i saxofony sopraninové či kontrabasové, které se ale vyskytují jen vzácně.

Tab. 5: Druhy saxofonů, jejich běžné ladění a rozpětí dle informací ze zdroje č. 2

Druh saxofonu	Běžné ladění	Nejhlubší možný tón	Nejvyšší možný tón
Sopránový	B	as	es ₃
Altový	Es	des	as ₂
Tenorový	B	As	des ₂
Barytonový	Es	Des	ges ₁
Basový	B	kontra As	des



Obr.6: Sopranový saxofon



Obr. 7: Tenorový saxofon

3.2 ŽESTŮVÉ DECHOVÉ NÁSTROJE

Žest'ové nástroje jsou vyráběny většinou z mosazného plechu a vzduch se do něj dostává pomocí tzv. nátrubku, který má hráč během hraní přitisknutý na rtech. Ty fungují jako jazýček u dřevěných dechových nástrojů.

Velikost nátrubku se odvíjí od velikosti nástroje. Princip tvorby tónu je u všech žest'ových nástrojů stejný. Tón vzniká výdechy hráče, díky nimž se tvoří vzduchový sloupec, který se periodicky rozechvívá. V nástrojích tedy oproti dřevěným dechovým nástrojům nejsou žádné otvory. Mezi nejznámější žest'ové nástroje patří trubka, pozoun nebo lesní roh.

3.2.1 Trubka

Trubka je asi nejznámějším žest'ovým nástrojem. Zvuk se v ní koriguje pomocí tří pístů, které hráč v různých kombinacích mačká. K pístům jsou připojeny různě dlouhé trubice, které v případě stisknutí pístu zajistí delší vzduchový sloupec, tedy i jinou výšku tónu.

Celková délka trubice 132 cm. Rozsah trubky bývá e - h₂



Obr.8: Trubka

3.2.2 Pozoun

Pozoun se zvukově od trubky liší především výškou tónu. Díky velikosti nástroje samotného a širšího nátrubku, než má trubka, dokáže stvořit hlubší tóny.

Pozouny mohou být buď ventilové, nebo snižcové. Ventilový pozoun funguje podobně jako trubka a někdy se mu přezdívá trombon. Má tři klapky, díky kterým dokáže hráč měnit tón. Snižcový pozoun se ovládá pomocí tzv. snižce, který se dá vytahovat, čímž se prodlužuje prostor pro chod vzduchu. Čím více je snižec vytažen, tím hlubší je tón. Pomocí snižce je hráč schopen zahrát k základnímu alikvotnímu tónu dalších 6 půltónů.

V dnešní době existují i pozouny, které obsahují tzv. kvartovou klapku. Klapka je připojena na strojek, jehož mechanismus ovládá. Strojek bychom mohli popsat jako výhybku, která určuje, zda bude vzduch proudit původní cestou, nebo prodlouženou cestou, která nahrazuje vzdálenost, kterou by musel jinak urazit snižec. Klapka je sama o sobě díky trubce schopna simulovat snižec v šesté poloze, nebo při kombinaci s první polohou polohou sedmou. Klapka se využívá především při výuce hry na pozoun, jelikož je skvělou náhradou pro lidi, kteří jsou menšího vzrůstu a na vzdálené polohy tak nedosáhnou.

Pozoun může být tenorový, basový či tenorbasový. Délka trubice u tenorového pozounu je 270 cm a úplným vysunutím snižce se prodlouží o 120 cm (2x 60 cm díky zpětnému zahnutí). Rozsah nástroje kontra B - d₂.



Obr.9: Pozoun

3.2.3 Lesní roh

Lesní roh má stejně jako trubka tři klapky, ale od ostatních žesťových nástrojů se liší hlavně svým tvarem. Jelikož je stočený do kruhu, ze kterého se odchyluje pouze ozvučník (jinak také korpus) a nátrubková část.

Celková délka trubice nástroje v ladění F je cca 360 cm. Běžný psaný tónový rozsah je největší z žesťových nástrojů, konkrétně F - c₃.

3.2.4 Tuba

Tuba je nejmohutnější a zároveň hmotnostně nejtěžší jednohlasný žesťový nástroj. Vydává hodně hluboké tóny, tudíž se používá především jako nástroj doprovodný v různých orchestrech. Má tři až šest ventilů.

Délka trubice tuby v F ladění je 354 cm a má rozsah kontra E - b.



Obr.10: Lesní roh



Obr. 11: Tuba

3.2.5 Křídlovka a baskřídlovka

Křídlovka svým vzhledem připomíná trubku, které je hodně příbuzná. Na rozdíl od trubky je ale mohutnější (především v oblasti korpusu) a má více protáhlý nátrubek.

Baskřídlovka je zvukem hodně podobná pozounu a vzhledem tubě. Je oválně stočená s výjimkou korpusu a oblasti nátrubku, která se ale oproti lesnímu rohu nevyskytuje v rovině s oválovým tvarem.



Obr.12: Křídlovka
13: Baskřídlovka



Obr.

3.3 VÍCEHLASNÉ DECHOVÉ NÁSTROJE

Vícehlasné dechové nástroje jsou nástroje, které jsou schopné vydávat více tónů najednou.

3.3.1 Foukací harmonika

Foukací harmonika je malý nástroj s mnoha otvory ve většinou několika řadách. Hráč musí foukat ve správném úseku, aby zahrál správné tóny. Tóny ovlivňuje i to, jestli hráč do harmoniky vzduch vydechuje, nebo naopak vzduch z ní vdechuje.

3.3.2 Akordeon

Akordeon je příklad nástroje, k jehož hraní není potřeba dech hráče, ale vzduch z okolí, který se střádá do měchu. Na jedné straně je klaviatura, na které hráč většinou produkuje melodii, a na druhé knoflíky, které ovládají basové tóny. Uprostřed nástroje je měch, do kterého se nasává a vypouští přes kovové jazýčky vzduch, díky čemuž vznikají tóny.



Obr.14: Foukací harmonika



Obr. 15: Akordeon

3.3.3 Dudy

Dudy jsou lidový nástroj, ke kterému není třeba dech hráče. Skládají se z částí, kterým se říká měch, dmýchací měch, přednička a huk. Tón vzniká rozechvíváním plátku v píšťale, do které se vhání vzduch stlačováním měchu.

Nástroj má poměrně malý rozsah tónů a to 6-8 v rozsahu od $b - c_2$ (ladění v B, v tomto rozsahu nelze zahrát c_1).

3.3.4 Varhany

Varhany jsou komplex píšťal. Hráč na nástroj hraje pomocí kláves, které aktivují vzdušný tlak, který jednotlivé píšťaly rozechvívá. Oproti flétnám nefunguje ve varhanách žádné ovlivňování délky vzduchového sloupce. Díky vysokému počtu píšťal (podle velikosti nástroje v řádu stovek až tisíců), které mají různou délku a šířku, je hráč schopen zahrát velké množství různých tónů.



Obr.16: Dudy



Obr. 17: Varhany

4 VLASTNOSTI DECHOVÝCH NÁSTROJŮ

Tón, který je produkován dechovým nástrojem, neovlivňuje pouze hráč, ale i prostředí, ve kterém se právě nástroj nachází.

Teplota totiž ovlivňuje frekvenci tónu. Ta s rostoucí teplotou stoupá. Z vlastní zkušenosti lze konstatovat, že ladění nástrojů v extrémních teplotních podmínkách je poměrně problematické. Již při teplotách pod 10°C je proces znatelně komplikovanější. Například v zimních měsících venku je vhodné naladit nástroj v teplotě dechu a pokud možno ji udržet (zahřívát).

U každého dechového nástroje se v různých zdrojích uvádějí různé hodnoty nejnižších a nejvyšších tónů, které je nástroj schopen vyprodukovat. Ve skutečnosti ale záleží i na schopnostech hráče. Každý hráč je schopen zahrát určitou škálu tónů, která se ale nemusí shodovat se schopnostmi jiných hráčů.

5 VLASTNÍ MĚŘENÍ

5.1.1 Pokus č. 1 - Vliv vytažení snižce na výšku tónu u tenorového snižcového pozounu.

Pomůcky - snižcový pozoun, posuvné měřítko, metr, aplikace Soundcorset (ladička)

Při hře na snižcový pozoun je 7 základních poloh, pro které je dána pozice snižce. Vytažením snižce se prodlužuje celková délka nástroje, která má následně vliv na výšku tónu. Snižec má tvar válce.

Předpokladem je, že čím delší je trubice nástroje, tím bude tón nižší.

Postup: Posuvným měřítkem změříme vnitřní průměr snižce, dále změříme délku vysunutí snižce při jednotlivých polohách metrem a vypočteme objem prodloužení, tedy objem válce ve snižci (je nutné zohlednit, že celý snižec má tvar písmena U, tzn. vytažení např. o 1 cm prodlouží celkovou trubici o 2 cm). Dále na jednotlivých polohách pomocí ladičky určíme výšku tónu a zaznamenáme v Hz. Následně je sestaven graf, který vyjadřuje závislost mezi prodloužením nástroje snižcem a výškou hraného tónu.

Zápis měření v tabulce:

Tab. 6: Hodnoty k pokusu č. 1

	délka prodloužení trubice	průměr	poloměr	objem zvětšení válce	celkový objem válce	frekvence (měřeno ladičkou)	tón
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(Hz)	
poloha 1	0	1,38	0,69	0	0,00	233	b
poloha 2	17,4	1,38	0,69	26,02539	26,03	220	a
poloha 3	18,6	1,38	0,69	27,82025	53,85	207	as
poloha 4	19,6	1,38	0,69	29,31596	83,16	196	g
poloha 5	20,9	1,38	0,69	31,26039	114,42	185	ges
poloha 6	22,2	1,38	0,69	33,20481	147,63	174	f
poloha 7	23,4	1,38	0,69	34,99967	182,63	164	e

Vysvětlení výpočtu:

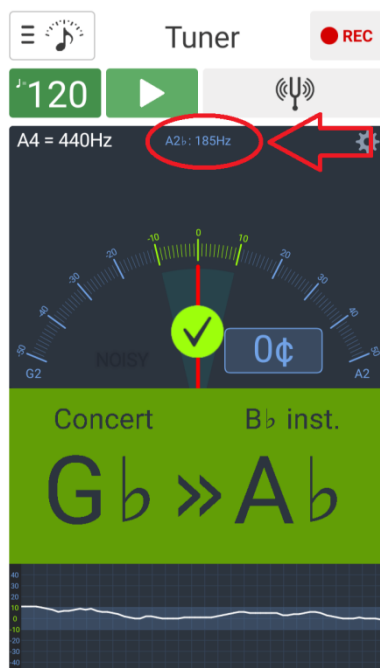
- Délku prodloužení trubice vypočítáme zdvojnásobením tabulkové hodnoty každé polohy, neboli zdvojnásobením dráhy ураženě snížcem od jedné polohy ke druhé.
- Průměr trubice zjistíme pomocí posuvného měřítka.
- Poloměr trubice vypočítáme vydělením průměru 2.
- Objem zvětšení válce (tedy pouze části od jedné polohy k té další) zjistíme pomocí vzorečku $(\pi \cdot r^2) \cdot v$, kde písmeno r představuje poloměr trubice a písmeno v délku prodloužení trubice.
- Celkový objem válce vzduchového sloupce v úrovni dané polohy vypočítáme sečtením objemů zvětšení válce po určitou polohu. Tuto hodnotu jsme v tabulce zaokrouhlili na 2 desetinná místa.
- Frekvenci jsme zjistili pomocí aplikace Soundcorset, která nám zároveň ukázala i hraný tón.

Výsledný graf:

Graf 1: Graf závislosti frekvence tónu na objemu vzduchového sloupce vytahováním snižce



Závěr měření: Z grafu vidíme, že čím více je snižec vytažen, tím nižší je hraný tón.



Obr.18: Foto obrazovky měření frekvence v pokusu č. 1

5.1.2 Pokus č. 2 - Měření hlasitosti tónu u vybraných dechových nástrojů

Pomůcky - trubka, pozoun, zobcová flétna altová, sopránová a sopraninová, aplikace Sound meter (měření dB)

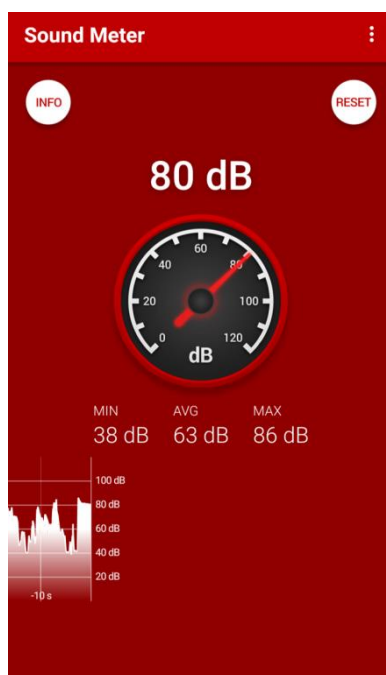
Postup: Stejný hráč s maximální intenzitou výdechu hraje po dobu 5 sekund na nástroj bez ovlivnění délky vzduchového sloupce uvnitř nástroje a zároveň je prováděno měření hlasitosti pomocí aplikace Sound meter.

Zápis měření v tabulce:

Tab. 7: Hodnoty k pokusu č. 2

Nástroj	dB
Sopraninová zobcová flétna	86
Sopránová zobcová flétna	89
Altová zobcová flétna	98
Trubka ladění B	110
Snižcový tenorový pozoun ladění B	115

Závěr měření: Čím větší je hudební nástroj, tím vyšší úroveň hlasitosti lze dosáhnout. U vybraných nástrojů ale byly rozdíly poměrně malé.



Obr. 19: Foto obrazovky měření hlasitosti v pokusu č. 2

5.1.3 Pokus č. 3 - Ověření předpokládaného rozsahu snižcového pozounu

Pomůcky: pozoun, aplikace Soundcorset (ladička)

Postup: Hráč zahraje nejnižší a nejvyšší tón dle svých schopností a zároveň je provedeno měření Hz pomocí aplikace Soundcorset.

Při hře nejnižšího tónu hráč maximálně vysune snížec a rty se pokusí maximálně uvolnit, aniž by ztratily kontakt s nátrubkem. Naopak při hře nejvyššího tónu je snížec zasunut a rty jsou v maximálním napětí. I práce rtů (oscilátoru - viz úvod kapitoly 3) je v tomto případě velmi důležitá.

Zápis měření v tabulce:

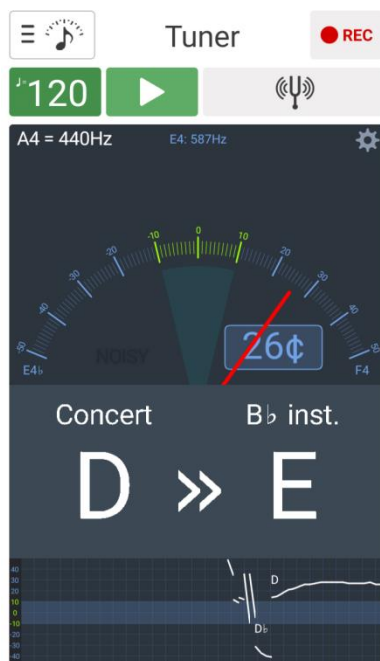
Tab. 8: Hodnoty k pokusu č. 3

	Hz	název tónu
nejnižší zahráný tón	49	kontra G
nejvyšší zahráný tón	587	d2

Závěr: Při pokusu byl potvrzen avizovaný rozsah nástroje. Zahráný spodní tón byl dokonce nižší. Je ale nutné konstatovat, že tyto extrémní polohy jsou technicky velmi náročné a to zejména pokud mají být zahrány přesně, což dokazují doložené obrázky, kde vidíme, že oba tóny nebyly zahrány přesně.



Obr.20: Foto obrazovky dokazující zahrání kontra G v pokusu č. 3



Obr. 21: Foto obrazovky dokazující zahrání d_2 v pokusu č. 3

6 ZÁVĚR

Na začátku práce jsou vysvětleny a charakterizovány základní pojmy a veličiny, které jsou potřebné pro lepší chápání dalších částí textu.

Ve druhé části je čtenářům přiblížena bližší specifikace jednotlivých dechových hudebních nástrojů ať už z pohledu rozřazení podle principu tvorby tónu, tak z pohledu vizuálního, který výsledný tón ovlivňuje.

V závěru práce jsem pomocí pokusů dokazoval vybrané informace, které jsou v práci uvedené, v praxi za použití nástrojů, které jsem měl k dispozici a běžně dostupných aplikací na měření výšky a síly tónu.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ZAMAZAL, Václav. Hudební nástroje před mikrofonem. Praha: Supraphon, 1975.
- [2] ŠPELDA, Antonín. Hudební akustika: pro posluchače filosofických a pedagogických fakult a akademií múzických umění. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978.
- [3] HODESOVÁ, Barbora. Náměty do hodin fyziky se zaměřením na hudební akustiku. Brno, 2017. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání.
- [4] SLABÁ JANOUTOVÁ, Jana. Fyzikální principy klasických hudebních nástrojů. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy.
- [5] ŠÁLEK, Libor. Specifikace české a zahraniční metodiky ve hře na snižcový pozoun a následné ověřování v praxi. České Budějovice, 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra pedagogiky a psychologie.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Zobcová flétna; <https://kytary.cz/yamaha-yrs-313iii/HN138221/>
- Obr. 2: Příčná flétna; <https://kytary.cz/soundsation-sfl-10/HN195345/>
- Obr. 3: Klarinet; <https://kytary.cz/yamaha-ycl-255s/HN123424/>
- Obr. 4: Hoboj; <https://kytary.cz/buffet-crampon-orfeo/HN178049/>
- Obr. 5: Fagot; <https://kytary.cz/arnolds-sons-afg-2006/HN178055/>
- Obr. 6: Sopránový saxofon; <https://kytary.cz/soundsation-sssx-20/HN196561/>
- Obr. 7: Tenorový saxofon; <https://kytary.cz/buffet-crampon-100-series-tenor/HN187472/>
- Obr. 8: Trubka; <https://kytary.cz/yamaha-ytr-5335gii/HN173917/>
- Obr. 9: Pozoun; <https://kytary.cz/bach-42b-stradivarius/HN116947/>
- Obr. 10: Lesní roh; <https://kytary.cz/arnolds-sons-ahr-301-baby/HN172476/>
- Obr. 11: Tuba; <https://kytary.cz/bs-3100-w-1/HN177587/>
- Obr. 12: Křídlovka; <https://kytary.cz/vanlaar-oiram-sandoval-raw-palladium/HN213699/>
- Obr. 13: Baskřídlovka; <https://kytary.cz/arnolds-sons-ath-100-junior/HN173526/>
- Obr. 14: Foukací harmonika; <https://kytary.cz/hohner-rocket-propack-c-g-a->
- Obr. 15: Akordeon; <https://kytary.cz/roland-fr-8x-bk/HN138695/?s=V5Mc98VTd4TFXj7StZxXbQ%3d%3d&source=Search>
- Obr. 16: Dudy; <https://www.histnastroje.cz/dudy-lidove/>
- Obr. 17: Varhany; <https://cs.wikipedia.org/wiki/Varhany>
- Obr. 18: Foto obrazovky měření frekvence v pokusu č. 1; vlastní foto
- Obr. 19: Foto obrazovky měření hlasitosti v pokusu č. 2; vlastní foto

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Tabulkové hodnoty frekvence vybraných tónů;

<http://www.fyzika007.cz/mechanicke-kmitani-a-vlneni/zakladni-vlastnosti-a-veliciny-charakterizujici-zvuk>

Tab. 2: Druhy oktáv a jejich frekvence;

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_\(hudba\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_(hudba))

Tab. 3: Příklady zvuků v decibelech

<http://www.eprehledy.cz/hlucnost-decibely-priklady-hluku.php>

Tab. 4: Druhy fléten a jejich rozpětí dle informací ze zdroje č. 2

Tab. 5: Druhy saxofonů, jejich běžné ladění a rozpětí dle informací ze zdroje č. 2

Tab. 6: Hodnoty k pokusu č. 1

Tab. 7: Hodnoty k pokusu č. 2

Tab. 8: Hodnoty k pokusu č. 3

10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Graf závislosti frekvence tónu na objemu vzduchového sloupce vytahováním snížce