



Středoškolská technika 2022

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Hudba ušima fyzika

Anežka Matějčková

Střední průmyslová škola sdělovací techniky
Panská 3, Praha 1

ANOTACE

Cílem tohoto projektu je vyrobit funkční housle a změřit vliv vybrané části hudebního nástroje na barvu zvuku. Práce zahrnuje postup modelování částí hudebního nástroje ve vybraném programu, jeho následnou výrobu na počítačem ovládaném dřevoobráběcím stroji a měření vlivu určeného parametru nástroje na barvu tónu. V dlouhodobé maturitní práci jsou také uvedeny další stroje potřebné pro realizaci projektu.

1 Úvod

Pro absolventský projekt jsem si vybrala zhotovení houslí v truhlářské dílně a zjišťování vlivu duše na barvu tónu. Téma jsem si vybrala proto, že jsem chtěla vyrobit projekt, který budu moct využít do budoucna. Mám velmi blízký vztah k hudebním nástrojům a k hudbě jako takové. Práce se skládá ze dvou částí: teoretické a praktické.

2 Teoretická část

2.1 Housle

Housle společně s violou, violoncellem a kontrabasem řadíme mezi strunné smyčcové nástroje. Z rodiny houslových nástrojů jsou nejmenší, a tedy i nejvýše posazené. Jako většina smyčcových nástrojů mají čtyři struny, které jsou laděny v kvintách s rozsahem od g do c5.

2.1.1 Historie

Název skupiny, do které housle řadíme je odvozen od způsobu hraní v současnosti. Na housle se totiž původně, před vytvořením a zdokonalením smyčce, pouze drnkalo. Dnešní podoba

houslí vznikla v druhé polovině 16. století na území nacházejícím se jižně od Alp. Nejnovější úprava proběhla na přelomu 18. a 19. století. Mezi nejvýznamnější houslařské rodiny patří Italové z rodu Amati. Jejich linii mistrů řemesla započal Andrea Amati, který podle všeho postavil první moderní housle. Ve stejném městě, kde Andrea Amati vyrobil nejstarší dochovanou památku z tohoto řemesla (1564), byly v roce 1716 vyrobeny nejznámější housle „Le Messie“ rukama Antonia Stradivariho. Za zmínku stojí i další italská houslařská rodina Guarneri na jejichž nástroj hrál mimo jiných i světoznámý Niccolò Paganini.

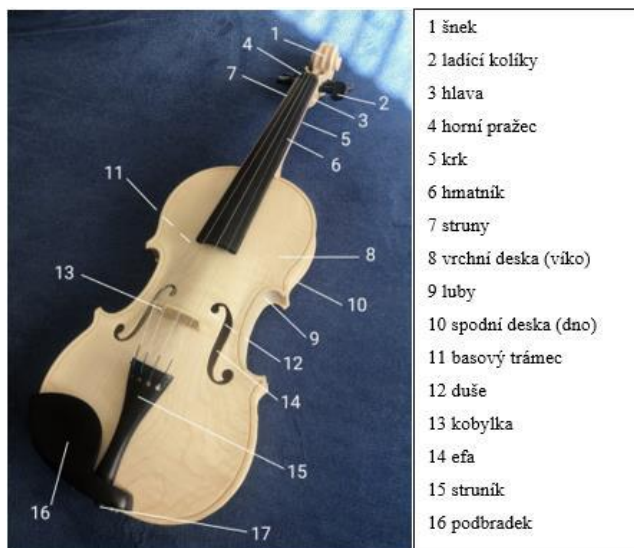
2.1.2 Ladění

Struny houslí jsou laděny v čistých kvintách (interval mezi prvním a pátým tónem). Pro některé skladby se struny záměrně podladí nebo přeladí, tato technika se nazývá *skordatura*. Housle se ladí pomocí kolíčků, které jsou umístěny napříč šnekem, v hlavě. Části houslí budou podrobněji popsány v kapitole pojednávající o stavbě tohoto nástroje. Ovšem doba se posunula a dnes je možné ladit přesněji a pohodlněji pomocí doladovačů nacházejících se na druhé straně strun (ve struníku). Kolíčky se v hlavě neprotáčí díky tření, které vzniká díky vysokému napětí strun. V důsledku toho je poměrně náročné naladit struny pouze pomocí kolíčků, protože při takovém tření je potřeba vyvinout nemalou sílu pro otočení kousku ebenu. Proto po překonání tření houslista kolíček často přetočí více než je zamýšleno.

2.1.3 Styly hraní

Housle rozezníváme smyčcem, nebo brnkáním prsty o struny. Praváci obvykle hrají pravou rukou a nástroj drží pod bradou na levé straně. Zatímco pravá horní končetina uvádí struny do pohybu, prsty levé ruky určují výšky tónů. Tento strunný nástroj, na rozdíl od kytary, ukulele atd. nemá pražce. Houslista tedy musí znát přesná místa prstokladu pro zaznění určitého tónu. Proto jsou housle považovány za jeden z nejtěžších nástrojů pro začátečníky.

2.2 Stavba



Obr. 1: Housle vyrobené v rámci projektu

2.3 Akustika

Akustika se zabývá vznikem, zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem. Zvuky dělíme do dvou základních skupin: hluky (šumy) a tóny.

2.3.1 Výška zvuku

Výšku zvuku určujeme výhradně u tónů. To jsou zvuky, které mají dost stabilní a jasnou frekvenci na to, aby se daly rozlišit od šumu. Čím vyšší je frekvence tónu, tím větší má výšku. Tóny dělíme na jednoduché a složené. Jednoduché tóny jsou harmonické a mají tedy jednoduchý sinusový časový průběh. Složený tón má průběh periodický a ten je složen z mnoha tónů jednoduchých. Jejich časový průběh není dán funkcí sinus. Výška tónu je určena základní frekvencí, která je daná frekvencí nejnižší. Ve frekvenční charakteristice složeného tónu jsou i vyšší harmonické, které jsou násobkem základní frekvence.

2.3.2 Barva tónu

Tak, jako je výška tónu daná frekvencí základní harmonické, tak je barva tónu daná amplitudovým složením vyšších harmonických. O barvě tónu tedy můžeme mluvit jen v případech, kdy se jedná o tóny složené, které obsahují ve svém spektru i vyšší harmonické složky. Barva tónu je vlastnost, která nám umožňuje rozlišit dva tóny stejné výšky, které vydávají různé zdroje zvuku. Je určena počtem vyšších harmonických tónů ve složeném tónu, velikostí jejich amplitud, šumy a šelesty. Různé nástroje mají díky rozdílné konstrukci různou barvu konkrétního tónu. Změnou techniky při hraní lze různě zvýraznit některé vyšší harmonické, čímž se mírně pozmění barva tónu. Při ladění si ale vždy všimáme pouze základního módu, jehož frekvence je nejnižší.

2.3.3 Intenzita zvuku

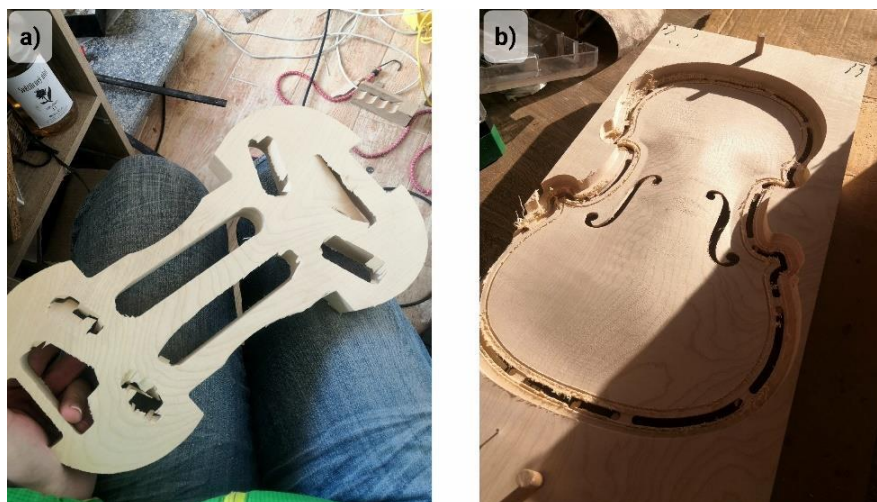
Zvuk se ve vzduchu šíří periodickým rozpínáním a stlačováním prostředí. V důsledku tohoto jevu dochází k lokálním změnám atmosférického tlaku, které naše ucho vnímá jako zvuk o určité hlasitosti. To, jak zvuk vnímáme, je závislé na citlivosti sluchu. Hlasitost je tedy veličina subjektivní. Intenzita zvuku je veličina zavedená pro objektivní popsání hladiny zvuku a je měřena v decibelech.

2.4 Fusion 360 a CAM

K modelování houslí jsem zvolila program Fusion 360 z rodiny softwaru firmy Autodesk. Důvodem byla i datová kompatibilita s programem CAM stejné firmy, který se užívá pro naprogramování trajektorie a parametrů u frézy. Pro zjednodušení práce jsem nepoužila reálné rozměry. Všechny součástky jsem modelovala podle obrázků vložených do rovin, které jsem upravila do skutečné velikosti.

2.5 CNC

CNC (Computer Numerical Control) je počítačem řízený obráběcí stroj. Základní rozdělení obráběcích strojů je na soustružnické, frézovací a kombinované. Konstrukce CNC frézy, na které byl projekt vytvořen, byla navržena pro pohyb obráběcího vřetena ve třech osách.



Obr. 2: a) Forma po frézování, b) Víko po frézování

2.9 Měření

2.9.1 Cíl měření

Cílem měření je změřit frekvenční charakteristiku jednotlivých strun houslí. Dalším úkolem bylo porovnat ji s frekvenční charakteristikou strun bez duše a zjistit vliv této standardní části houslí na výslednou barvu tónu.

2.9.2 Vnější podmínky

Z důvodu omezení vlivu vnějšího faktoru na výsledky bylo třeba zařídit stejné podmínky pro každé měření. To znamenalo, že nahrávání bylo provedeno najednou. Struny byly v průběhu dne před nahráváním kontrolovány a doladovány. Ladění bylo provedeno znovu i po vyjmutí duše z důvodu možné změny napětí strun po odstranění podpory vrchní klenby.

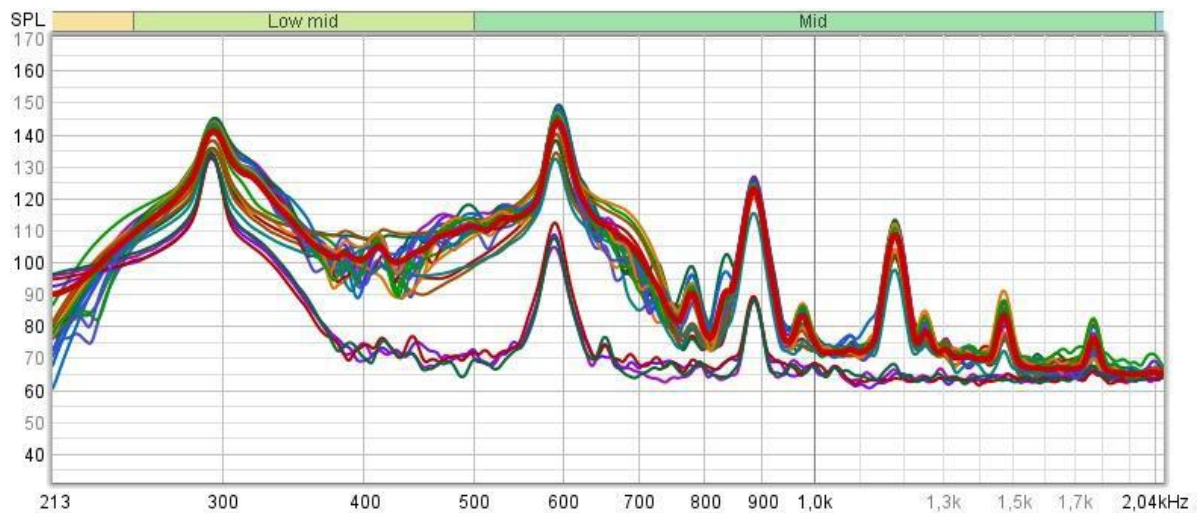
2.9.3 Výsledky měření

První měření jsem prováděla na struně G z důvodu předpokladu nejsnazšího brnkání. Struna je na kraji a je k ní tedy nejsnazší přístup. To mi umožňovalo sledovat charakter křivky v závislosti na způsobu brnkání (např. brnknutí nebo pouhé škrtnutí nehtem). Pro správné vyhodnocení výsledků bylo potřeba udržet pro celé měření konzistentní způsob rozezvučení struny. Měření bylo i přesto ovlivněno mnoha dalšími faktory (např. směr, místo a intenzita brnknutí) a bylo tedy potřeba měření průměrovat. Pro získání reprezentativních výsledků jsem použila střední kvadratický průměr (Root mean square), který je definován jako druhá odmocnina aritmetického průměru druhých mocnin hodnot spojité funkce (obr. 3). Je tedy vždy nezáporný a sčítání druhých mocnin má za následek větší váhu hodnot vzdálenějších od nuly. Na obr. 3 jsou zobrazeny všechny naměřené frekvenční charakteristiky pro strunu D (tenké barevné křivky) a jejich střední kvadratický průměr (tlustá červená křivka). V dalších obrázcích a popisu se vždy porovnávají výsledky získané kvadratickým průměrováním naměřených křivek jak pro měření s duší, tak bez duše. Grafy výsledků zobrazují závislost intenzity zvuku v decibelech na frekvenci.

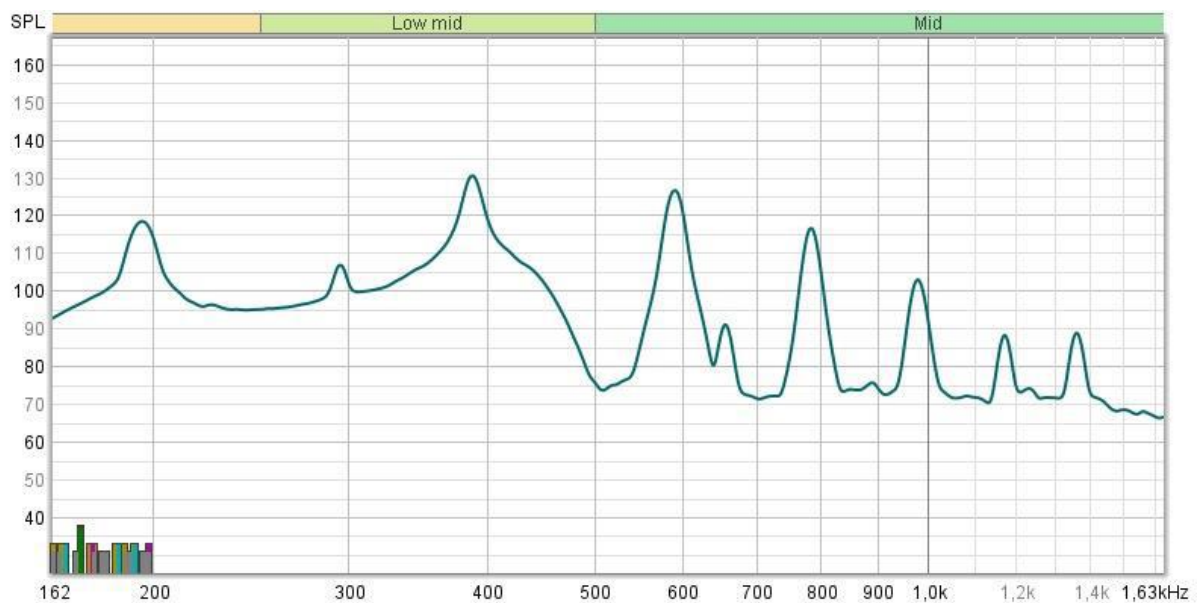
Nejdříve jsem měřila všechny struny s duší a poté bez ní. Toto pořadí jsem zvolila proto, že se duše dá dát do houslí pouze když jsou struny povolené. Další důvod pro tento postup bylo časové omezení pro měření frekvenčních charakteristik bez duše. Tento váleček totiž brání

společně s basovým trámecem propadu vrchní desky pod náparem strun. Předpokládala jsem, že budu na začátku potřebovat více času na zjišťování nejlepšího možného způsobu měření a proto jsem začala měřit s duší.

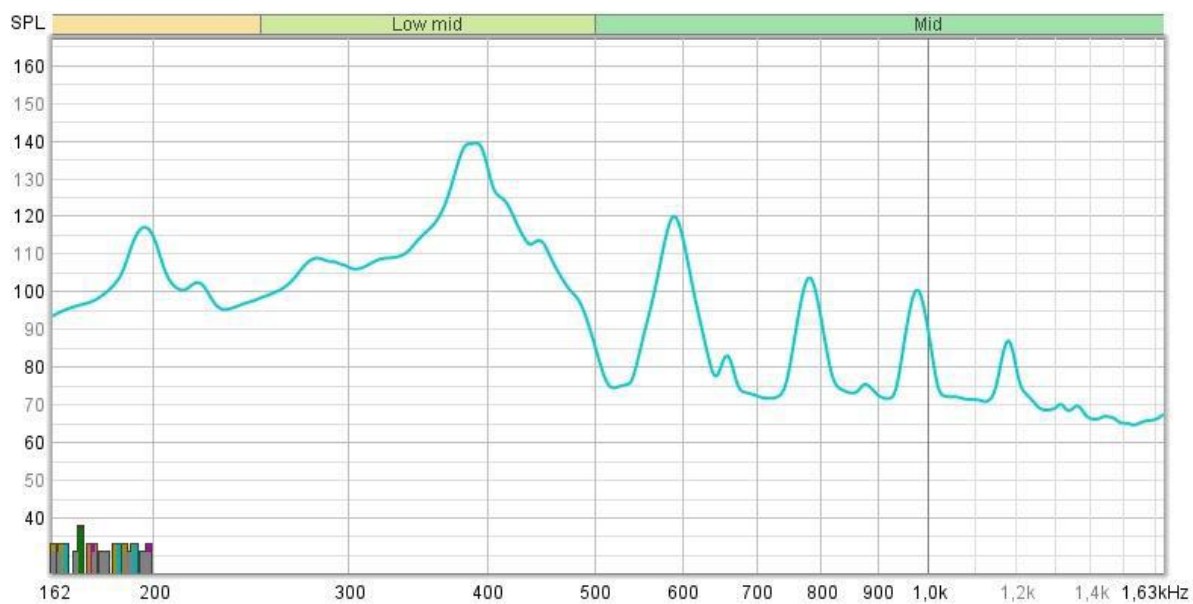
Graf porovnání kvadratických průměrů frekvenčních charakteristik je v obou případech znázorněn na třetím obrázku měření struny (obr. 6). Je vidět, že se v bodě A (první vyšší harmonická frekvence) výrazněji projevuje křivka znázorňující výsledek struny s absencí duše (obr. 5). V následujících vyšších harmonických frekvencích je zjevné, že tomu je naopak. V bodě B se tyrkysová křivka, znázorňující měření struny bez duše, na rozdíl od zelené (obr. 4) neprojevila vůbec.



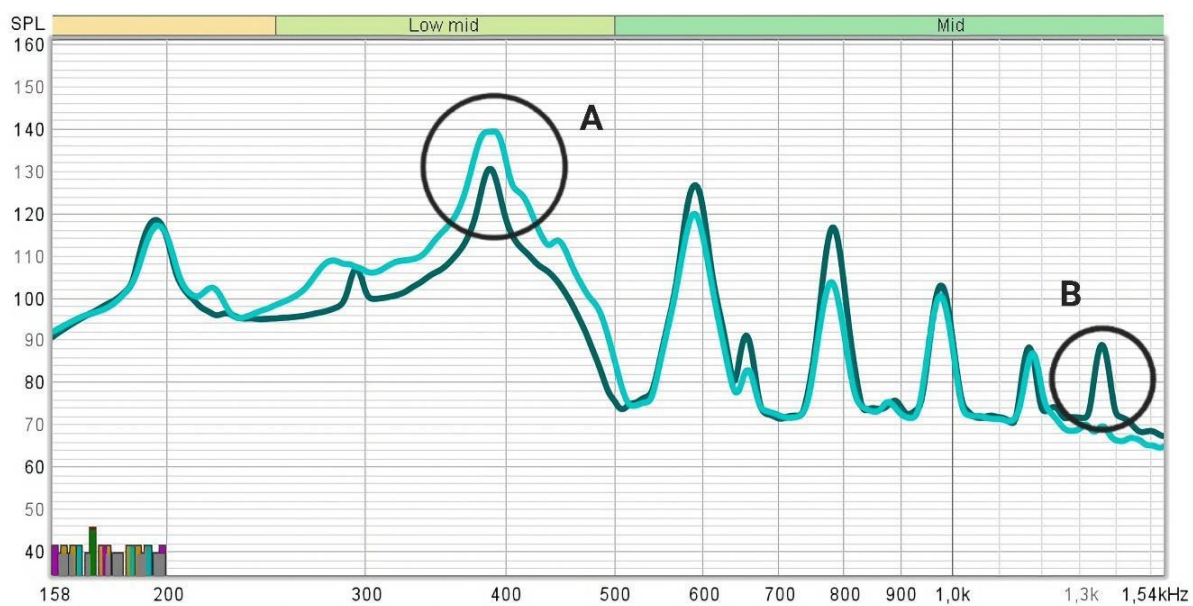
Obr. 3: Měření struny D s duší



Obr. 4: Měření struny G s duší



Obr. 5: Měření struny G bez duše



Obr. 6: Porovnání výsledků měření struny G