

SLEZSKÁ UNIVERZITA V OPAVĚ

Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné

Marketingový mix

Bakalářská práce

Karviná 2013

František Vopršálek

SLEZSKÁ UNIVERZITA V OPAVĚ

Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné

Obor: Management a marketing

František Vopršálek

Marketingový mix

Marketing mix

Bakalářská práce

Karviná 2013

Vedoucí bakalářské/diplomové práce:
Mgr. Ing. Michal Tvrdoň, Ph.D.

ABSTRAKT

Práce se zabývá konstrukčními rozdíly houslí barokního a moderního typu, propojením těchto rozdílů s objektivními akustickými poznatky a jejich vlivem na barvu zvuku.

Obsahuje: organologické shrnutí vývoje nástroje do 17. století, popis základních akustických principů tvorby zvuku na houslích, organologické shrnutí konstrukčních změn od baroka po současnost a jejich částečné projení s hudební akustikou. Poslední kapitolou je pak vlastní výzkum. Zde jsou porovnávána spektra harmonických složek jednotlivých tónů nástrojů barokních a moderních a jejich směrové vyzařovací charakteristiky. Vyvozené závěry jsou pak dány do souvislosti se subjektivním popisem barvy zvuku.

ABSTRACT

The thesis deals with the constructional differences between the baroque and modern violin and interconnects these differences with objective knowledge in acoustics and their influence on sound quality.

Contains: an organological summary of the development of the violin till the 17th century, description of the basic acoustic principles of creating sound on violin, an organological summary of constructional changes since the Baroque until present time and its partial connection with musical acoustics. The last part of the thesis is a description of the research itself. In this chapter the harmonic spectrums of the concrete tones of baroque and modern violin and their directions of radiation are compared. Deduced conclusions are connected with a subjective description of sound quality.

OBSAH

1	Anatomie houslí	3
1.1	Desky	3
1.2	Luby	3
1.3	Vykládání	3
1.4	Effa.....	3
1.5	Basový trámec (též římsa)	4
1.6	Duše.....	4
1.7	Kobylka	4
1.8	Hlavice	4
1.9	Hmatník.....	4
1.10	Lak	5
1.11	Smyčec (moderní).....	5
1.12	Struny.....	5
1.13	Struník.....	5
2	Počátky houslové rodiny, předchůdci	6
2.1	Fidula	6
2.2	Rebec.....	7
2.3	Violette	7
2.4	První houslaři	8
2.4.1	Amati.....	8
2.4.2	Stradivari.....	9
2.4.3	Guarneri.....	9
2.4.4	Evropské houslařství.....	10
3	Akustika houslí	11
3.1	Kmitání struny	11
3.2	Akustické vlastnosti trupu.....	14
3.3	Rezonance trupu, módy	15

3.4 Basový trámec, duše.....	17
4 Proměna anatomie houslí od baroka po současnost.....	19
4.1 Desky	20
4.2 Kobylka	20
4.3 Basový trámec a duše.....	21
4.4 Krk, hmatník	22
4.5 Podbradek.....	23
4.6 Smyčec	23
4.6.1 Barokní smyčec	23
4.6.2 Moderní smyčec	24
4.7 Struny.....	25
4.8 Lak	26
5 Akustický popis vlastností hudebních nástrojů	27
5.1 Směrové vyzařovací charakteristiky.....	27
5.2 Spektrum.....	29
5.3 Frekvenční spektrální analýza.....	31
6 Vlastní výzkum	33
6.1 Porovnání charakteristik a spekter	37
Závěr.....	40
Seznam použitých pramenů a literatury.....	41
Seznam obrázků	42
Seznam příloh.....	43
Příloha č. 1 Anatomie houslí	45
Příloha č. 2.....	46
Příloha č. 3.....	61

Úvod

V dnešní době se stále více rozmáhá působení interpretů na poli historicky poučené interpretace. S tím souvisí i větší důraz na dobovost hudebních nástrojů, které jsou k této interpretaci používány. Tyto nástroje vykazují určitá specifika, kterými se liší od nástrojů používaných k běžné („nepoučené“) interpretaci, a na základě osobní poslechové zkušenosti rozdílů barvy zvuku nástrojů moderního a barokního typu jsem si položil otázku, zda-li je možné tyto rozdíly objektivizovat v rámci akustiky.

Práce je rozdělena do následujících částí. První kapitola se věnuje shrnutí vývojových předchůdců houslí a ujasnění základních pojmů jednotlivých houslových komponent. V kapitole druhé popíšeme základní akustické principy tvorby zvuku na houslích a jevy s tím spojené. Protože prvotní úvaha předpokládala souvislost změn barvy zvuku s rozdílnou konstrukcí nástrojů barokního a moderního typu, je tomuto problému věnována kapitola třetí. V tomto ohledu bylo možno, alespoň částečně, čerpat i z české literatury, avšak komplexní detailnější shrnutí těchto změn bylo nutné hledat spíše v anglicky psaných pramenech. V kapitole čtvrté popíšeme dvě hlavní oblasti, ve kterých byl proveden akustický výzkum, a sice směrové vyzařovací charakteristiky a frekvenční spektrální analýzu. Poslední kapitolou je pak vlastní výzkum. Zde je popsáno, jakým způsobem probíhala příprava, proces získávání dat i následná analýza s příslušnými závěry. V rámci této kapitoly porovnáme harmonické složení tónu u jednotlivých houslí a směrové vyzařovací vlastnosti těchto nástrojů.

Množství prací, které se touto problematikou zabývají, je minimální (v českém jazyce neexistuje s tímto námětem práce žádná). Obecně je lze rozdělit na práce spíše organologické, zabývající se konstrukčními změnami, a na práce s částečným přesahem do akustiky, ve kterých jsou tedy uváděny poznatky i z akustického hlediska. Tato práce by tedy mohla být přínosem, minimálně v česky mluvícím prostředí, jak z organologického hlediska, tak i z hlediska propojení konstrukčních změn s hudební akustikou.

Na počátku byly stanoveny tyto otázky: Jaké jsou konstrukční rozdíly v houslích barokního a moderního typu? Mají tyto rozdíly vliv na akustiku nástroje? Můžeme frekvenční spektrální analýzou a směrovými vyzařovacími charakteristikami alespoň částečně tyto rozdíly, které mají vliv na barvu zvuku, popsat?

Tato práce se tedy snaží najít odpovědi na výše zmíněné otázky a podepřít je vlastním výzkumem v poslední kapitole.

Klíčová slova:

housle; barokní housle; vývoj houslí; barva zvuku houslí; spektrální analýza; směrové vyzařovací charakteristiky houslí

Key words:

violin; baroque violin; development of the violin; sound quality of the violin; spectral analysis; directionality of the violin radiation

1 Anatomie houslí

Housle, stejně jako další nástroje houslové rodiny, se skládají z více částí, kterými se budeme v této úvodní kapitole budeme zabývat. Dle Přílohy č. 1 Anatomie houslí (Hubičková et al., 2003) popíšeme jednotlivé komponenty, kterým se budeme v dalších kapitolách této práce věnovat.

1.1 Desky

Svrchní a spodní deska tvoří největší část korpusu (těla nástroje). Klasická výroba: Svrchní deska je ze dřeva smrkového a spodní ze dřeva javorového. Obě desky jsou vydlabáním mírně, ne zcela stejně vypuklé a vyklenutí klesá směrem k jejich okrajům.

1.2 Luby

Boky korpusu jsou z javorového dřeva a spojují vrchní a spodní desku. Většinou jsou vytvarovány (za tepla a vlhka) ze stejného kusu dřeva jako spodní deska a hlavice. Je jich dohromady 6 (dva horní, dva střední, dva spodní) a jsou zevnitř spojeny kličem se špalíky. Do míst, kde se stýkají s deskami, jsou vloženy tzv. přílubky, které spojují desku s luby a zvětšují tak plochu styku lubů a desek.

1.3 Vykládání

Má funkci jak estetickou zkrášlovací, tak i zpevňující a ochrannou (chrání desky proti prasknutí). Bývají dvě černá (z ebenu) a jedno světlé uprostřed (javor, jív, topol).

1.4 Effa

Otvory ve svrchní desce tvaru písmene *f* mají mimo estetickou funkci i funkci akustickou. Není zcela jasné, jakým způsobem se změnilo otvory ve svrchní desce z tvaru písmen C, otočených k sobě, do tvaru písmene *f*, ale je jisté, že takto tvarované otvory se na nástrojích objevovaly již před Andreasem Amatim (1505-1577).

1.5 Basový trámeč (též římsa)

Jedná se o trámeč připevněný pomocí klihu na spodní straně svrchní desky a nachází se pod nejnižšími strunami. Musí přesně kopírovat vyklenutí desky a je vyroben ze smrkového dřeva.

1.6 Duše

Špalíček ze smrkového dřeva vzpříčený mezi vrchní a spodní desku. Má funkci jak akustickou (viz akustika houslí), tak čistě mechanickou - vyvažuje tlak strun na svrchní desku, kterou podpírá. Je do nástroje vsazen volně, jako poslední článek.

1.7 Kobyłka

Tvar spodní části kobyłky by měl být přizpůsoben tvaru svrchní desky tak, aby kobyłka přenášela kmitání ze strun na svrchní desku s co nejmenším útlumem. Určuje základní délku prázdné struny a není ke korpusu pevně přichycena.

1.8 Hlavice

Krk i hlavice jsou z jednoho kusu javorového dřeva. Na hlavici je vyřezaný tzv. šnek (optické spirálovité stočení dovnitř) a na opačné straně je vyhloubena kolíková skříň, do níž jsou ze strany vsazeny kolíky, na které se pak navinou struny. Krk je spolu s příklíženým hmatníkem vsazen do korpusu, kde je uchycen následujícími způsoby. Zaprvé příklížením, zadruhé čepem, který spojí korpus s krkem, a zatřetí za pomoci patky - hranolku, který ční z korpusu ve směru spodní desky a v konečné fázi opticky splyne s krkem v jeden kus.

1.9 Hmatník

Dnes z ebenového dřeva, boční stěny i vrchní plocha hmatníku jsou lehce prohnuty. Část, která přesahuje na korpus, je zespod vydlabána, za účelem minimalizace hmotnosti. Na jeho vrchním konci (u hlavice) se nachází prážek, díky jehož drážkám se struny rovnoměrně rozmístí po šířce hmatníku.

1.10 Lak

Tvoří ho několik vrstev a má jak estetickou funkci, tak ochrannou - během intenzivního používání nástroje brání poškození dřeva vnějšími vlivy (např. vlhkost, pot, špína).

1.11 Smyčec (moderní)

Slouží ke kontinuálnímu rozkmitání struny. Skládá se z prutu, který vede do tzv. špičky. Na opačném konci, tam kde hráč pravou rukou smyčec drží, se nachází žabka, sloužící k napínání žíní, které jsou natažené po délce smyčce mezi žabku a špičku.



Obrázek č. 1 Moderní smyčec

Zdroj: <http://consordini.com/wp-content/uploads/2015/07/g-werner-violin-bows.jpg>

1.12 Struny

Housle mají 4 struny - *g d' a' e''*. Vyrábějí se z různých materiálů: střevové, střevové opředené kovem, pouze kovové, kovové opředené kovem, syntetické (skoro vždy opředené kovem).

1.13 Struník

Struny je třeba uchytit i na opačné straně, než je hlavičce, aby je bylo možné přepnout přes kobylku - k tomu slouží struník. Zaoblený klín trojúhelníkovitého tvaru je přichycen poutkem (tlusté vlákno) k žaludu (komponent knoflíkovitého tvaru v nejspodnější části houslí). U kvalitních nástrojů je vyroben ze dřeva, u levnějších z plastu, na historických nástrojích můžeme najít i slonovinu. Na struníku mohou být u jednotlivých strun připevněny doladovače, sloužící k jemnějším změnám výšky ladění struny (v porovnání s ladícími kolíky).

2 Počátky houslové rodiny, předchůdci

Předchůdců houslí, a houslové rodiny obecně, je mnoho a není stoprocentně jisté, jaké všechny hudební nástroje se na vzniku tohoto nového typu podílely, i s přihlédnutím k tomu, že šlo o kontinuální proces, a nikoliv o okamžitý zrod nového typu nástroje. O smyčcových nástrojích antiky a středověku nemáme skoro žádné písemné prameny, spíše pouze obrazy či jiná grafická znázornění. I ve vědeckých kruzích panuje ne zcela jasně podložený názor, že první smyčcové nástroje vznikaly v Asii a na Středním východě (Hubičková et al., 2003; Sachs, 1942). Teprve poté se vlivem migrace kulturně sociálních skupin, ale i díky jednotlivcům v rámci obchodu nebo vojenských tažení, dostaly do Evropy, kde se dále rozvíjely nezávisle na místě původu. Během středověku se různé smyčcové nástroje navzájem ovlivňovaly svojí konstrukcí a vyvíjely se na základě potřeb hráčů i dle hudebně provozních účelů. Pokud tedy přihlídneme ke geografické poloze vzniku houslí jako takových, a k jejich parametrům, které jsou společné nebo podobné nástrojům středověku a renesance, můžeme usuzovat, že ovlivnění přišlo od níže uvedených hudebních nástrojů. Bezpochyby do tohoto seznamu, který podrobněji rozebereme dále, zahrneme fidulu, rebab, violette da arco senza tasti (nebo též jinak violette da braccio). Mimo tyto zmíněné existovalo mnoho dalších typů smyčcových nástrojů, ale vzhledem k jejich podobnosti je není třeba dále rozebírat. Pro úplnost alespoň uvedme nejvýznamnější z nich: ravanastron, reba, rubeba, lyra, kemangeh, rebab perský, chrotta, trumšjat, organistrum.

Stejně jako mnoho nástrojů baroka ani housle nevznikly v jeden moment. Jejich zrod do podoby, která je pro ně typická, byl postupný. První housle datujeme přibližně do druhé poloviny 16. století. V následujících odstavcích shrneme nejdůležitější znaky jednotlivých nástrojů hudební renesance a středověku, které se nejspíš na vzniku nového nástroje podílely (Sachs, 1942).

2.1 Fidula

Ze začátku pouze jednostrunný, později až pětistrunný smyčcový nástroj středověku, který se stylem hry velmi podobal houslím. Při hraní byl umístěn na rameni hráče, svrchní ozvučná deska směřovala vzhůru.

Od 13. století se příležitostně u některých fidul objevovaly další znaky, ze kterých pak čerpali i první houslařští mistři. Ozvučná deska směrem ke krajům klesala, okraje desek lehce přečnívaly přes luby. Časem se ve svrchní desce objevily dva otvory ve tvaru písmene C orientované směrem k sobě. Ladící kolíky byly postupně umísťovány po stranách hlavice a občas se objevovaly i čtyři struny. Ladění pěti strun (dle Scintille di musica - Giovanni Maria Lanfranco - 1533) bylo následující: *g g' d' a' e''* (Johnson, 1981), pokud se tedy akordatura (postavení a řazení strun) redukovala pouze na čtyři struny, přirozeně se vypustila struna laděná *g'*, a tím pádem se dostáváme k ladění dnešních houslí *g d' a' e''*. Na konci 15. století se tyto ojedinělé vlastnosti zkombinovaly spolu s dalšími prvky jiných nástrojů a daly vzniknout prvním houslím (Sachs, 1942).

2.2 Rebec

Jinak též arabsky rebab, evropský ekvivalent - byzantská lyra. Počátky tohoto nástroje hledejme v Persii. Nástroj si poté přivlastnili Arabové, kteří jej implementovali do své klasické hudby. Při obsazení Iberského poloostrova Araby se tedy rebec dostává do Evropy (Johnson, 1981). Na začátku 16. století byl spíše označován za nepoužitelný hudební nástroj a ve vážné hudbě té doby nebyl vůbec používán. To se ale během následujících let změnilo (dle Agricola - Musica deudtch 1528) a nástroj si vydobyl své místo vedle jednoho z nejdůležitějších nástrojů té doby - violy. Během první poloviny 16. století začal rebec opouštět své orientální tvary a přizpůsobil se tvaru dalších evropských smyčcových nástrojů (z dnešního pohledu tvarům houslovým) (Hubičková et al., 2003; Sachs, 1942).

2.3 Violette

Ve stejné době se v Itálii objevují nástroje podobné rebecu, a to Violette da arco senza tasti („smyčcové violy bez pražců“) nebo též jinak Violette da braccio („malé ramenní violy“). S výjimkou basových violette (paralela k dnešním tenorovým houslím), které byly opatřeny čtyřmi strunami, byly violette potaženy strunami třemi, laděnými v kvintách (Johnson, 1981). Teprve během druhé poloviny 16. století byla přidána i struna čtvrtá, svrchní. Z dobových obrazů a nástěnných maleb v kostelích je zřejmé,

že tyto nástroje již měly tvary dnešních houslí, tzn. mělká žebra, ostré rohy, pokles svrchní desky směrem k okrajům, typicky tvarované effy a šneka (Sachs, 1942).

2.4 První houslaři

Nástroj jako takový vznikl v Italské Lombardii, ve městě Cremona (Goldstein, 2016; Hubičková et al., 2003; Sachs, 1942), a během krátké doby se začal hojně využívat i ve větších nástrojových skupinách. O tom svědčí například i dva písemně doložené prameny. Jedním z nich je objednávka francouzského krále Karla IX., která čítala dle různých pramenů 24 kusů (1560), nebo dokonce až 38 kusů (1564). Ať už je pravdivý jeden či druhý údaj, jedná se v kontextu doby o velmi zásadní a velkou objednávku. Z hlediska notového zápisu je první využití houslí v hudební produkci doložené díky partitūře opery Orfeus (1607) od Claudia Monteverdiho (McLennan, 2008). Nový nástroj se rychle rozšířil i do ostatních koutů Evropy a postupně začal vytěšňovat nástroje violové rodiny, především violy da gamba, které ale vznikly jen o málo dříve než samotné housle. Vzhledem k hlasitějšímu a barevně bohatšímu zvuku se housle prosadily v nově vznikající hudební koncertní produkci i v operách. Violy, které byly ceněné pro svůj jemný, decentní a do jisté míry aristokraticky preferovaný noblesnější zvuk, byly nakonec používány pouze v salonní produkci, načež s příchodem vrcholného baroka a poté klasicismu i zde nástroje houslové rodiny převzaly definitivní vedoucí roli a nástroje rodiny violové se nakonec přestaly zcela používat. Nejdéle se violy udržely v Anglii, kde k jejich postupnému vymizení došlo opravdu až na konci vrcholného baroka (McLennan, 2008; Sachs, 1942).

2.4.1 AMATI

Andreas Amati (1505-1577), jakožto první z rodu, je považován za tvůrce prvních houslí dnešní podoby. V jeho době ještě měly nástroje pouze tři struny (violette) a právě jemu je připisováno první zkonstruování nástroje tohoto tvaru se strunami čtyřmi. Je nejspíš nejstarším houslařem, jehož nástroje se dochovaly, a několik z nich je dokonce provozuschopných (Goldstein, 2016). V průběhu jeho života se také začalo používat ke konstrukci houslí (spodní desky, krku, kobyly, lubů) dřevo javorové.

Jeho synové Hieronymus a Antonio Amati se snažili nástroje dále konstrukčně vylepšit a jsou považováni za první houslaře, kteří postavili violu moderního typu, patřící do houslové rodiny (ne tedy violu v rámci rodiny violové).

Pravděpodobně nejrenomovanějším houslařem z této rodiny je pak Nicolo Amati (1596-1684), syn Hieronyma, jehož nástroje mají díky nepatrným změnám v konstrukci silnější tón (z čehož vyplývá, že tendence vytvořit nástroj, který má větší akustický výkon, zde byly již od počátku vzniku houslí) a který je taktéž učitelem dalších dvou významných houslařů - Antonia Stradivariho a Andrea Guarneriho (viz dále).

Linie rodiny Amati končí Nicolovým synem Jeromem, jehož nástroje jsou interprety i houslaři taktéž velmi ceněny, ale nedají se srovnat s nástroji Stradovariho a Guarneriho.

2.4.2 STRADIVARI

Antonio Stradivari (1644/1648 - 1737), žák Nicola Amatiho. Jeho první nástroje jeví značné ovlivnění Amatim, avšak brzy si Stradivari vyvinul vlastní styl, který je patrný na většině jeho nástrojů (Goldstein, 2016). Za svůj život vytvořil okolo 1100 smyčcových nástrojů, do dnešní doby se jich dochovalo přibližně 650. Některé nástroje, které jsou Stradivarimu připisovány, byly ovšem vyrobeny až po roce 1730, a jsou tedy pravděpodobně dílem jeho synů (Francesca a Omobona). Postupy, které Stradivari (stejně jako Amati a Guarneri) při stavbě houslí používal, nejsou, i přes četné výzkumy, dodnes známy. Jeho nástroje jsou považovány za nejkvalitnější nástroje vůbec, co se provedení práce i výsledné barvy zvuku týče (Goldstein, 2016; Hubičková et al., 2003).

2.4.3 GUARNERI

Prvním členem z této rodiny, který se stal houslařem, byl Andrea Guarneri (1626-1698). Učil se spolu s Antoniem Stradivarim u Nicola Amatiho. Nejvýznamnější z této houslařské rodiny byl ovšem Giuseppe Guarneri del Gesu (1698-1744), vnuk Andrea. Používal odlišný lak než Stradivari, který mohl mít vliv na odlišný charakter tónu, a ve svých pozdějších nástrojích tvar effů zaujímal větší plochu desky, což by však na akustické vlastnosti nástroje vliv mít nemělo (Hubičková et al., 2003). Za svého života patřil (v porovnání se Stradivarim) mezi méně uznávané houslaře a byl proslaven teprve po své smrti díky Paganninimu (který, ač vlastnil i housle Stradivariho, hrál

víceméně celý život pouze na nástroj od Guarneriho). Jednotlivé Guarneriho nástroje jsou velmi odlišné a nemají tedy žádný konkrétní typický tvar, charakter a vlastnosti, jako tomu je u Stradivariho houslí. V důsledku toho je (větší) část jeho nástrojů hodnocena odbornou veřejností jako špičkové kvality, zatímco zbytek již mezi ty nadprůměrné nepatří.

2.4.4 EVROPSKÉ HOUSLAŘSTVÍ

V předešlých odstavcích jsme se zabývali houslaři, kteří pocházeli z Cremony (odtud také název Cremonští mistři) a kteří dali základ tvaru moderních houslí. Jejich nástroje, zejm. tedy nástroje Stradivariho, se staly předlohou dokonalé houslařské práce, ke které se snaží dnešní houslaři co nejvíce přiblížit. To ale neznamená, že se v jiných částech Evropy housle nevyráběly. V Itálii zmiňme tedy alespoň Benátky, Řím, Miláno, v Německu pak školu tyrolskou, zastoupenou Jacobem Stainerem (1620-1683). Jeho nástroje ovlivňovaly po dlouhá léta tvar nástrojů, které vytvářeli houslaři v Rakousku-Uhersku, a tedy i v Čechách. Stejně tak tomu bylo i v Anglii a ve Francii, kde bylo čerpáno nejdříve ze škol německých a později též italských, hlavně Cremonské.

3 Akustika houslí

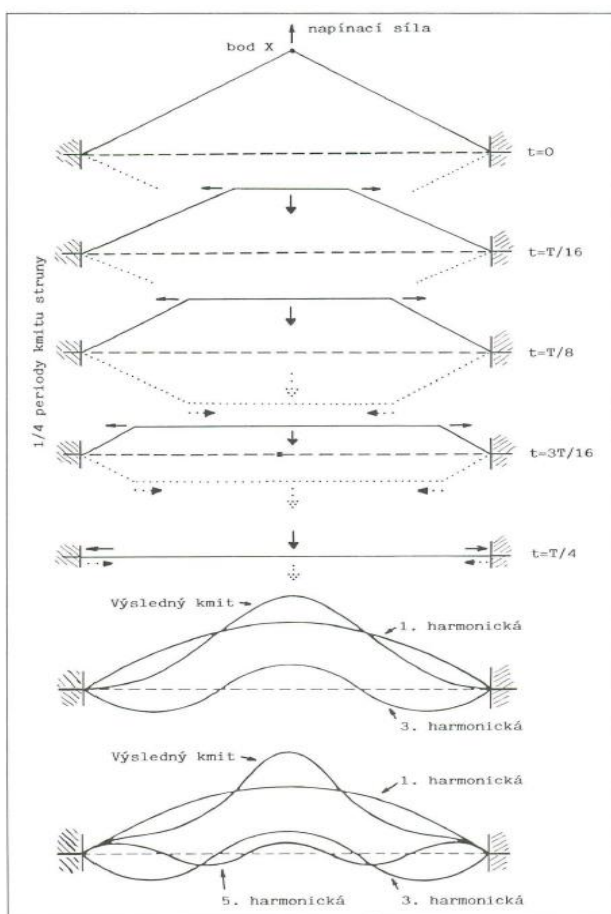
V následující kapitole se budeme věnovat šíření akustického vlnění ve smyčcových nástrojích, konkrétně v houslích.

Akustický systém houslí tvoří následující části: excitátorem (budícím elementem) je smyčec nebo prst, oscilátorem (kmitající hmotou) je struna, přes kobylku se kmitání přenáší na rezonátor, kterým je především trup (spodní a vrchní deska s luby) a vzduchový prostor mezi deskami, tyto části nástroje jsou pak též i radiátorem (Johnson, 1981; Syrový, 2013).

3.1 Kmitání struny

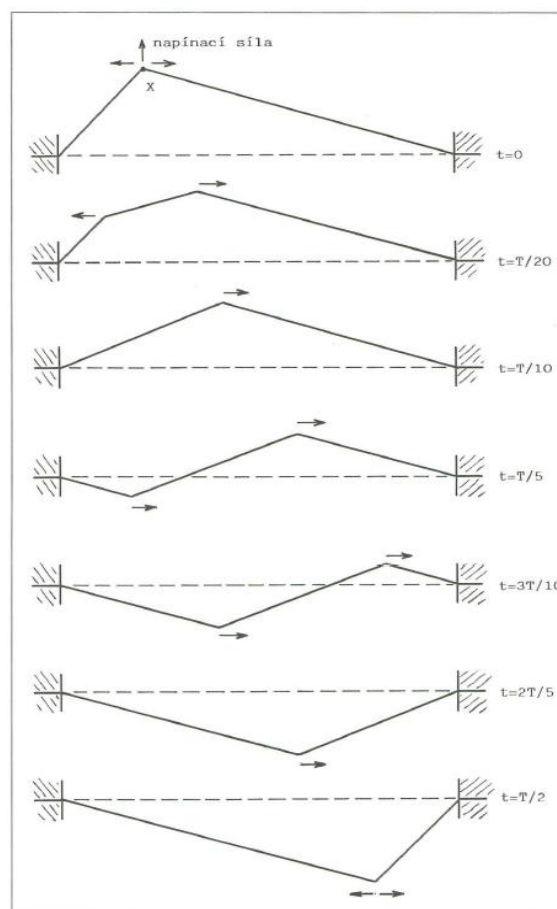
Rozeznáváme dva typy kmitání. Příčné, kdy jednotlivé uvažované body kmitají příčně na směr vlnění, a podélné, kdy částice hmoty kmitají ve směru vlnění (nastává smršťování a rozšiřování hmoty) (Pilař et al., 1986). Oscilátor u houslí - struna - kmitá příčně. Pokud bychom uvažovali dokonale tuhé upevnění struny, kde se vlna odrazí v opačné fázi, v ideálním případě by se vlna odrazila netlumená, ve skutečnosti však dochází k jejímu postupnému tlumení vlivem prostředí (materiál struny, smyčec). Strunu můžeme budit dvojím způsobem: impulzním a kontinuálním.

Při impulzním buzení je excitátorem prst, který strunu rozkmitá drnknutím. Výsledné frekvenční spektrum složených kmitů pak záleží na místě, ve kterém na strunu drkneme (Syrový, 2013). Pokud v jedné polovině, každá sudá vyšší harmonická složka bude utlumena, pokud v jedné pětině, každá pátá harmonická složka bude utlumena. Dle obrázku (Obrázek č. 2) nastává při drnknutí následný proces: struna se vychýlí do trojúhelníkovitého tvaru a poté se vzruch šíří do stran k pevnému uchycení. Zde se odrazí v opačné fázi a pokračuje v šíření v opačném směru. Tím dochází k interferenci obou vzruchů a k následnému vzniku stojatého příčného vlnění. Stejný proces nastává při drnknutí jak v jedné polovině struny, tak i v jiné části. Zde je příklad drknutí v jedné pětině struny (Obrázek č. 3) kde je výsledný tvar nesymetrický. To je i případ drnkání prsty (technika pizzicato) při hře na houslích, kde se rozmezí buzení strun pohybuje při obyčejných technikách hry od $1/30$ do $1/7$ její délky (rozmezí mezi koncem hmatníku a kobylkou). Vlnová délka základního módu kmitání je rovna dvojnásobku délky struny.



Obrázek č. 2 Drnknutí v 1/2

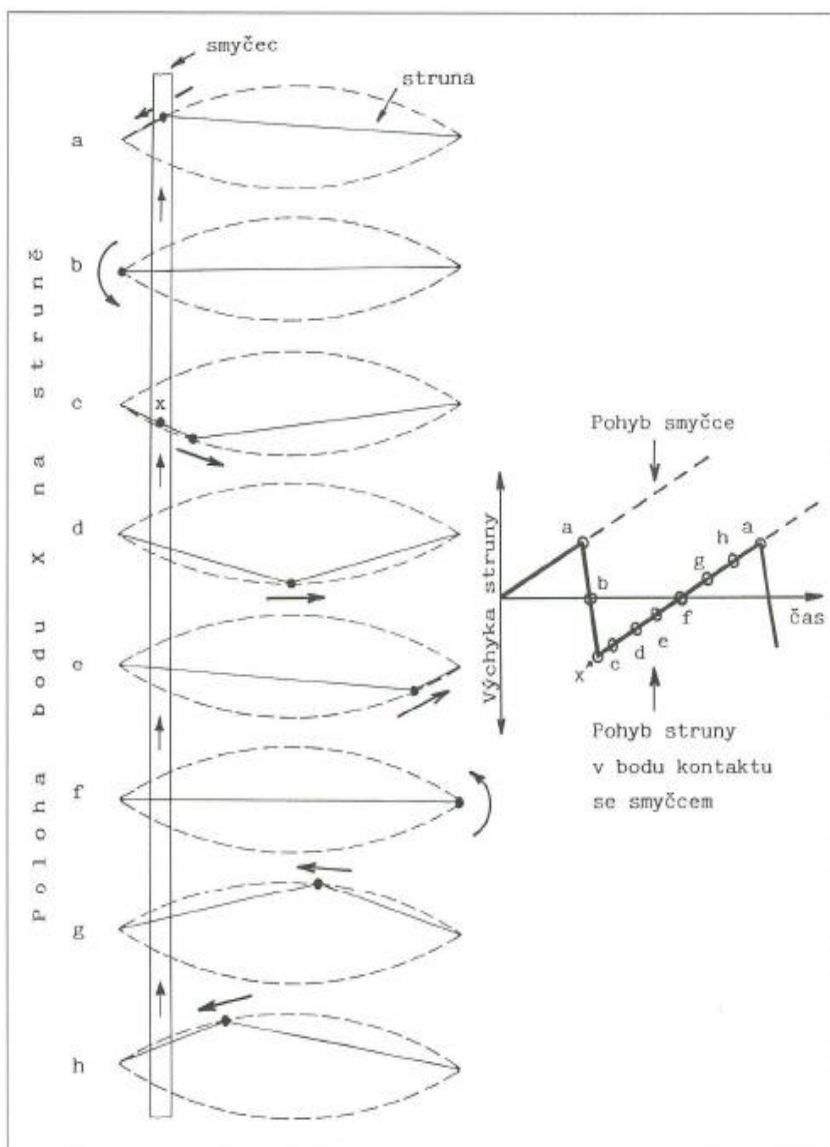
Zdroj: (Syrový, 2013)



Obrázek č. 3 Drnknutí v 1/5

Zdroj: (Syrový, 2013)

Při kontinuálním buzení používáme smyčec, který budí struny tzv. smykem (tažení smyčce po struně směrem od žabky ke špičce či opačně). Při uvažované konstantní rychlosti smyku nastává tzv. Helmholtzův pohyb (Obrázek č. 4) (Syrový, 2013), kdy vrchol ohybu struny (tzv. Helmholtzův roh) obíhá po dráze dané krajními polohami kmitů struny. I zde má poloha, kde je struna buzena, vliv na výsledné frekvenční spektrum složených kmitů. Místo smyku však nemusí mít za následek potlačení konkrétní frekvenční složky, jako je tomu u impulzního buzení, ale může danou frekvenční složku naopak zdůraznit.



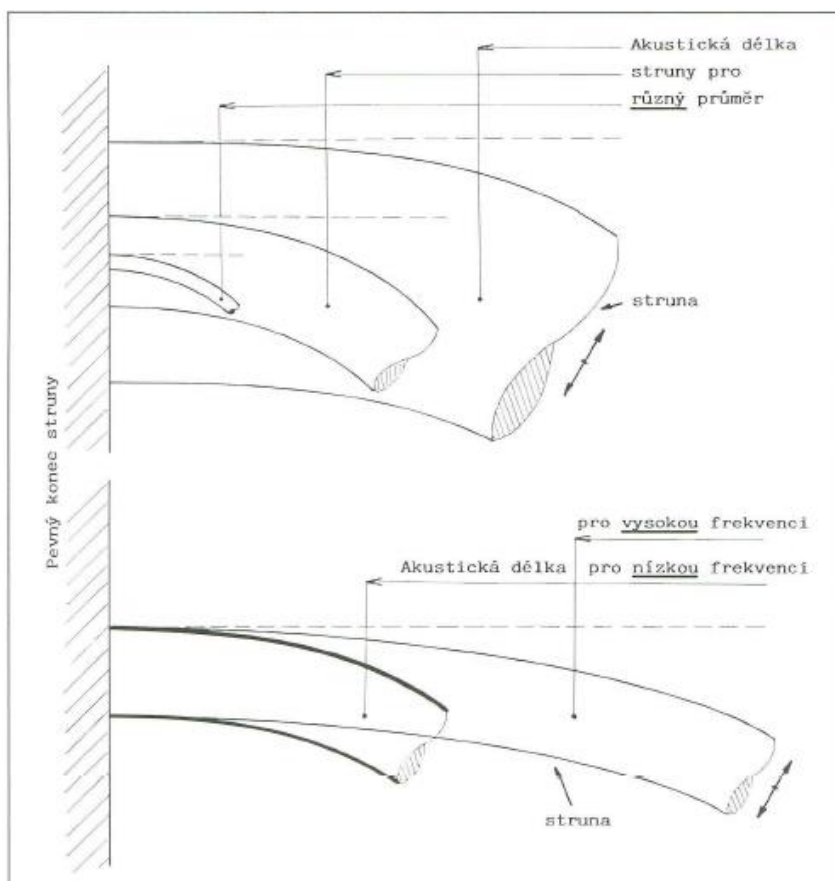
Obrázek č. 4 Helmholtzův pohyb

Zdroj: (Srový, 2013)

Směrem k hmatníku se projevuje více lichý charakter spektra a nižší podíl vyšších harmonických složek, což má za následek tón tupého a kulatého charakteru. Oproti tomu barva zvuku tónu, který je výsledkem hry smyčcem blíže kobylce, je daleko ostřejší (tedy s vyšším podílem vyšších harmonických složek).

V ideálním případě jsou všechny vyšší harmonické složky přesnými násobky základní frekvence kmitání. Reálně ale dochází k tzv. neharmonicitě. Při kmitání strun dochází k posuvu vyšších harmonických složek v důsledku pevného upevnění struny (Obrázek č. 5). Tuhostí struny se totiž v místě upevnění zkracuje reálná akustická délka více než

u strun vyšších (je zde delší část struny, která od místa upevnění, díky tuhosti, brání kmitání). U houslí nedochází k tak značné neharmonicitě jako například u basových strun klavíru, kdy se reálně znějící 10. harmonická složka může přiblížit 11násobku základní frekvence kmitání.



Obrázek č. 5 Akustická délka struny

Zdroj: (Syrový, 2013)

Pokud strunu nedomáčkujeme přímo na hmatník, můžeme v konkrétních místech cíleně utlumit jednotlivé spektrální složky, a tím vytvořit jak zcela novou barvu výsledného tónu, tak i ovlivnit jeho vnímanou výšku. Tato technika hry se jmenuje flažolet.

3.2 Akustické vlastnosti trupu

Zvuk vznikající kmitáním strun má velmi malou intenzitu, a z toho důvodu je potřeba ho zesílit, k čemuž slouží trup nástroje. Kobyłka přenáší kmity strun na svrchní desku a tvoří s ní tak velmi těsnou mechanickou vazbu. Přestože není s deskou spojena

pevně, nýbrž je jen volně vsazena, tlak strun způsobuje velmi těsné přilnutí ke svrchní desce. Svrchní deska pak dále přenáší vlnění přes duši na spodní desku, a tím dochází ke kmitání celého trupu (Pilař et al., 1986; Syrový, 2013).

Klenutí desek oproti deskám rovným má za následek větší pevnost vzhledem k tlaku, zvětšuje se kmitající plocha, a tím i zvyšuje intenzita vyzářené akustické energie nástroje. Vhodným klenutím a vypracováním lze dosáhnout optimální akustické pružnosti desek. Vlnění se v deskách šíří podélně, 15-16krát rychleji než ve vzduchu, i příčně, 2-4krát rychleji. Tyto rychlosti mají za následek oválné šíření vlnění v deskách (Pilař et al., 1986).

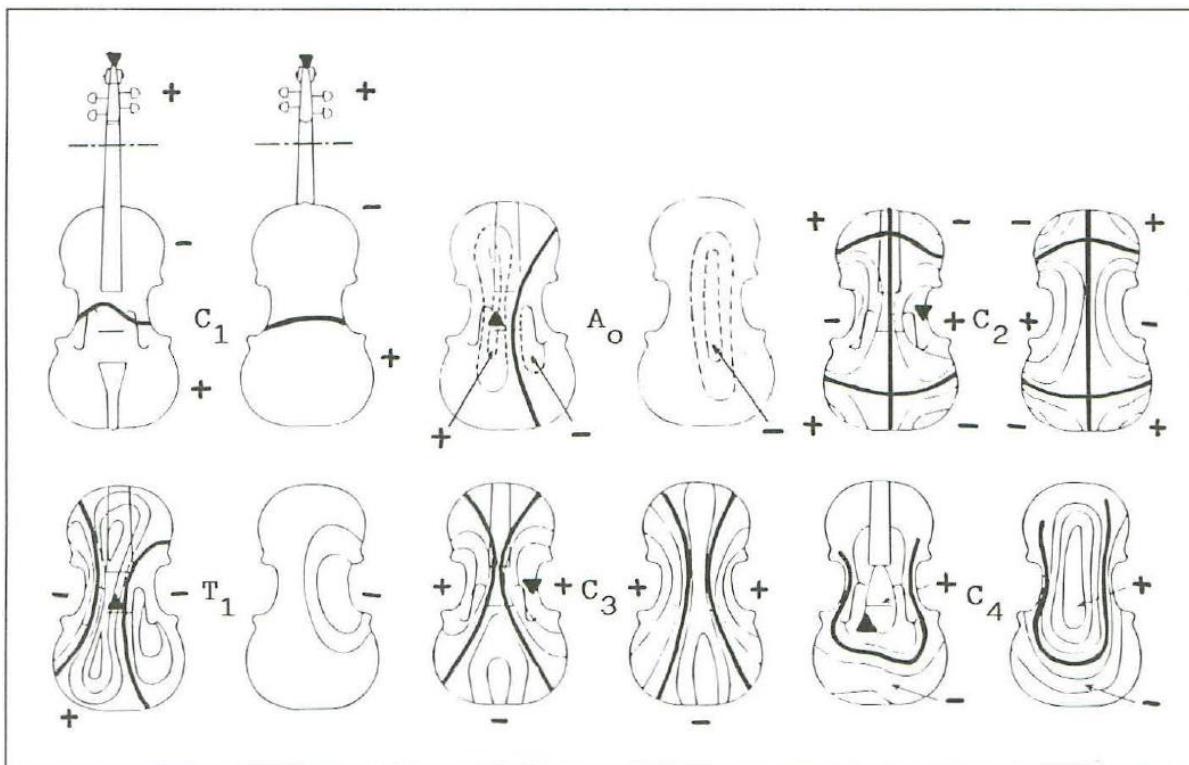
V porovnání se strunou má korpus značně větší hmotnost i povrch. Strunou vynucené kmity korpusu tedy vyvolávají v okolním vzduchu daleko větší periodické akustické změny tlaku než pouhé kmitání struny, která se ale tímto přenášením kmitů na trup částečně tlumí (Syrový, 2013). V porovnání s ostatními strunnými nástroji vykazují rezonanční skříňky smyčcových nástrojů značný útlum (krátká doba dozívání), který se ale kompenzuje kontinuálním buzením smyčcem. Oproti tomu se ale tento útlum projeví při buzení impulzním (pizzicato) (Pilař et al., 1986).

Akustické vlastnosti desek se liší, a to především díky vlastnostem konkrétního kusu dřeva, ze kterého jsou vyrobeny. Schopnost kmitání desek je charakterizována akustickou pružností, která se odvíjí od dvou hlavních parametrů. Zaprvé je dána kvalitou dřeva, z něhož je deska vyrobena, a zadruhé rozložením hmotností desky po celé její ploše. Optimálního rozložení je docíleno pomocí správné volby tloušťky a následného vydlabání desky. Nejlépe desky kmitají (tedy dosahují nejvyšší amplitudy a nejmenšího tlumení), pokud je místo, kde je deska buzena (kmity přenášenými kobylkou), totožné s těžištěm desky.

3.3 Rezonance trupu, módy

Trup vykazuje silné rezonance (zvýšení amplitudy kmitání) v konkrétních frekvenčních pásmech, tzv. rezonančních módech. Těchto rezonancí existuje více druhů. Rezonance celého nástroje včetně krku a hlavy, rezonance pouze trupu, rezonance jednotlivých desek, vzdušná rezonance, zahrnující vzduchový prostor mezi deskami, rezonance kobylky, struníku, podbradku a dalších menších komponent houslí. Kmitání skříňky, a tedy i jednotlivé módy, můžeme pozorovat díky Chladniho obrazcům

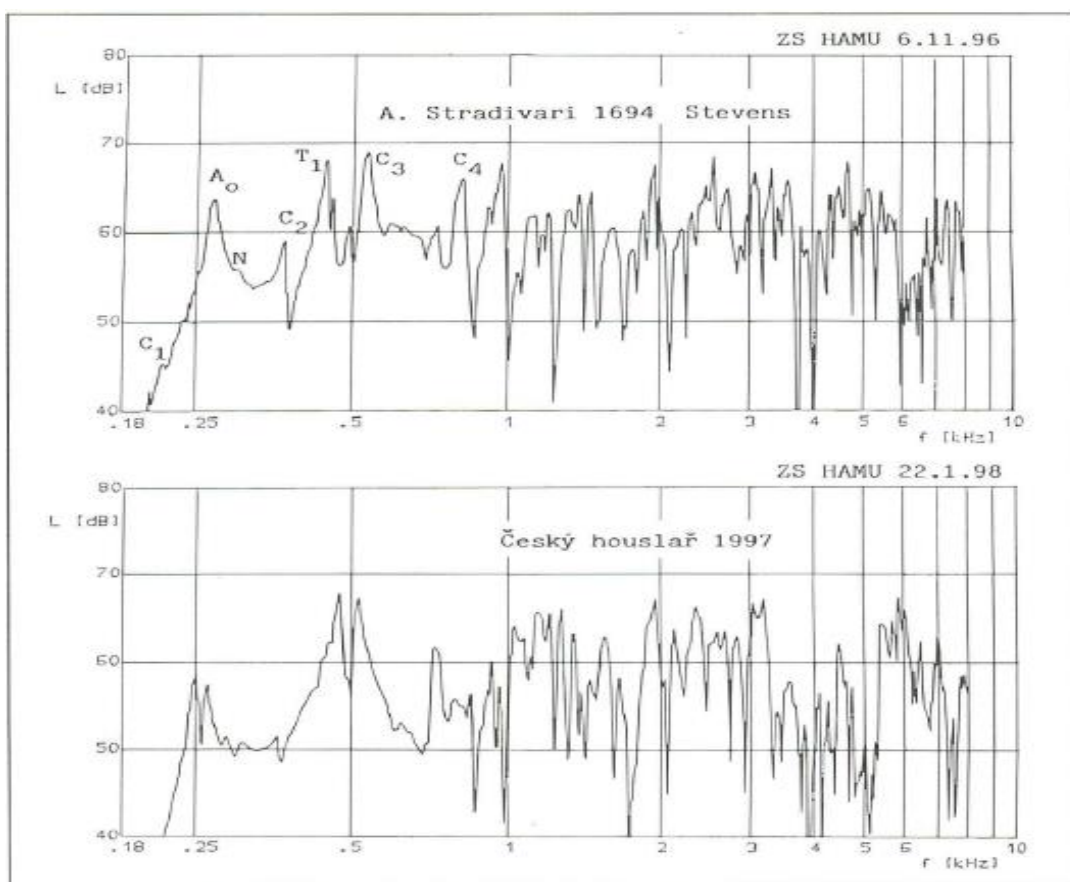
(Syrův, 2013). Jedná se o vizuální zobrazení stojatého vlnění na deskách trupu, kde můžeme pozorovat uzlové čáry (místa, kde vlnění dosahuje nulové amplitudy), popřípadě kmitny (místa, kde vlnění dosahuje maximální amplitudy). Případné nesymetrie módů jsou dány umístěním basového trámce a duše (Obrázek č. 6).



Obrázek č. 6 Chaldniho obrazce

Zdroj: (Syrův, 2013)

Dle obrázku (Obrázek č. 7) který znázorňuje frekvenční přenosovou charakteristiku trupu, popíšeme po sobě jdoucí módy znázorněné lokálním maximem amplitudy. Nejnižším módem je základní rezonance trupu (150 až 220 Hz), kde kmitání zahrnuje celý nástroj (i s krkem a hlavicí). Poté následuje tzv. Helmholtzova (vzdušná) rezonance - rezonance vzduchové dutiny mezi deskami (260 až 300 Hz). U kvalitních nástrojů se tato rezonance překrývá s rezonancí krku. Mezi druhým hlavním módem skříňky a dalšími dvěma (třetím a čtvrtým) se nachází ještě první mód svrchní desky. Nad těmito módy se pak nachází další, které jsou módy jak desek, tak vzdušné dutiny mezi nimi. Kobylka vykazuje silné rezonance okolo 3 a 6 kHz.



Obrázek č. 7 Přenosová charakteristika trupu

Zdroj: (Srový, 2013)

Pokud je dobře vybrané dřevo, ze kterého jsou desky (potažmo další komponenty) vyrobeny a také vhodně opracovány, nacházejí se módy ve frekvenčním spektru na místech, kde podpoří vyrovnanou barvu zvuku nástroje. Pokud tomu tak však není a některé módy jsou například moc silné, tzn. že v určitém frekvenčním pásmu rezonuje tělo nástroje s velmi výrazným zvýšením amplitud kmitů, ovlivňuje tato rezonance zpětně negativně kmitání kobyly a strun (Pilař et al., 1986; Srový, 2013).

Dusítka jsou dřevěné, plastové či kovové předměty, opisující celou či určitou část kobyly. Po připevnění na kobyly záměrně tlumí určitá frekvenční pásma kmitů strun a kobyly a tím pádem i budícího kmitání trupu (Srový, 2013).

3.4 Basový trámec, duše

Basový trámec má dvojí význam: statický a akustický. Působí jako protipól tlaku strun pod levou částí kobyly a tímto protitlakem ovlivňuje barvu zvuku nástroje. Částečně

ale tlumí kmity desky. Jeho rozměry je tudíž možné toto tlumení zmírnit nebo posílit. Mimo to propojuje svrchní desku a po celé její délce pomáhá lépe přenášet kmity z kobyly. Tím pádem zesiluje i intenzitu akustické tlaku, kterou nástroj vydává. Vzhledem ke své tloušťce přidává svrchní desce kmitání schopnou hmotu, která pozitivně ovlivňuje kmitání na nízkých frekvencích (Pilař et al., 1986).

Duše propojuje svrchní a spodní desku a umožňuje přenášení kmitů mezi nimi. Spolu s basovým trémcem částečně vyrovnává tlak, který vyvíjí kobylka na korpus. Pokud duše není přítomna, spodní deska rezonuje velmi slabě

4 Proměna anatomie houslí od baroka po současnost

Změny, které probíhaly v konstrukci houslí, měly dvě hlavní příčiny. První z nich se projevovala ve zdokonalování houslařských technik a kvalit nástroje jako takového bez ohledu na estetické požadavky doby. Z tohoto pohledu se v rámci vývoje od vrcholného baroka nic podstatného neudálo a epochu všech podstatných vývojových změn tohoto typu uzavřeli houslaři té doby. Mezi ně patří určitě Antonio Stradivari, Giuseppi Gurneri del Gesu a Nicolo Amati, jejichž nástroje patří dodnes k nejlépe oceňovaným jak z hlediska precizně odvedené houslařské práce, tak z hlediska zvukově estetického a staly se z nich ideály, ze kterých čerpali houslaři napříč staletími až po současnost (Hubičková et al., 2003; Pilař et al., 1986).

Druhou hlavní příčinou byly změny, které se odvíjely od zvukově estetických požadavků konkrétní doby. Probíhaly od konce vrcholného baroka a díky nim se housle do dnešní podoby přetvořily v druhé polovině 19. století. V této podobě zůstaly víceméně dodnes. Nové nástroje se stavěly už v duchu těchto požadavků a nástroje barokní byly přestavovány, aby vyhověly požadavkům doby. Důvodů těchto změn bylo hned několik.

Jedním důvodem bylo potřebné dynamické přizpůsobení nástrojů rostoucímu orchestru a novým nástrojům. Jak v rámci samotného orchestru, tak i z hlediska pozice sólisty vůči orchestru.

V průběhu hudebního klasicismu (a poté hlavně romantismu) se orchestr obohatil o mnoho dechových (hlavně žesťových) a později nových bicích nástrojů. To mělo za následek zvýšení intenzity akustického vyzáření dechových a bicích skupin. V důsledku toho, přestože se skupiny smyčců snažily vyrovnat i počtem, bylo třeba provést úpravy, které by měly za následek větší akustický výkon nástrojů.

Dalším důvodem zvýšení akustického výkonu houslí (a smyčcových nástrojů obecně) jsou změny prostorů, ve kterých probíhala hudební produkce. Od baroka se postupně začaly zvětšovat sály, ve kterých probíhaly hudební produkce, a bylo nutné tomuto trendu přizpůsobit i nástroje. Ty totiž musely dokázat vybudit prostor takovým způsobem, aby i posluchači ve vzdálených řadách měli co nejméně deformovaný vjem

jak hlasitosti jednotlivých nástrojových skupin, tak i poměru hlasitosti sólisty vůči orchestru.

Posledním důvodem konstrukčních změn jsou změny zapříčiněné novými technikami hry. V této oblasti se jedná o navýšení možných hraných poloh a jednodušší přesouvání levé ruky do vyšších poloh, možnost nových hracích technik smyčcem, možnost vytvořit konstantnější dynamiku a stabilnější tón v rámci jednoho smyku.

V rámci změn výše popsaných docházelo i ke změnám barvy zvuku, které mohly být často nikoliv přímo důvodem, ale spíše důsledkem již zmíněných změn. V následující kapitole tedy rozebereme konstrukční změny houslí, které probíhaly od baroka do 19. století.

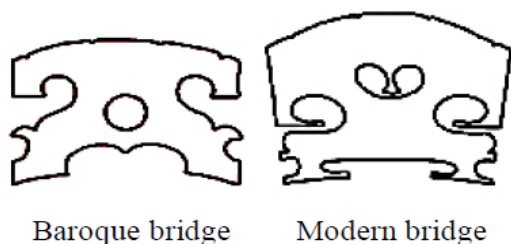
4.1 Desky

Klenutí desek moderních houslí vychází ve většině případů z houslí italských mistrů druhé poloviny 17. století (Pilař et al., 1986). Jedná se především o Stradivariho, ale také Guarneriho a rodinu Amati. Zprvu bylo klenutí poměrně vysoké. Němečtí houslaři v tomto trendu pokračovali i v době, kdy už v Itálii dospěli ke klenutí daleko ploššímu (to již za života Stradivariho, tedy ve vrcholném baroku). Můžeme tedy zjednodušeně říci, že u ranějších barokních nástrojů mají desky (především svrchní) vyšší klenbu. V pozdějších dobách tato konstrukce přetrvávala v německy mluvících zemích, odkud se později rozšířila do Anglie a Francie, zatímco v Itálii se už ve vrcholném baroku stavěly klenby nižší. K této konstrukci postupně dopěli i houslaři v ostatních zemích, a moderní nástroje mají již tedy po vzoru Stradivariho v naprosté většině případů klenbu plošší. Výška klenby dnešních nástrojů se pohybuje mezi 60-62 mm. Tloušťky a vytvarování desek musejí být přizpůsobeny konkrétnímu dřevu.

4.2 Kobylka

Dle grafických pramenů se kobylka v baroku nejspíš umísťovala níž oproti tomu, jak ji známe dnes (tedy přibližně uprostřed výšky eff) (McTighe, 2013). V baroku se obvyklé ladění pohybovalo v rozmezí intervalu 415-440 Hz (tedy až o půltón níž, než je tomu dnes), a pokud bylo třeba snížit ladění, kobylka byla umísťována mezi spodní část eff. Pokud by se ladění snížilo nebo zvýšilo, nutně by se pouhým přeladěním změnil tlak

strun na kobytku, a tím i na celý trup. Proto, aby se zachoval tlak strun, bylo zapotřebí posunout kobytku směrem dolů, aby se prodloužila akustická délka strun, a tím tedy snížilo ladění nástroje. Stejný pohled, ale z opačné strany, můžeme tedy mít na případné posunutí kobytky blíže krku, pokud budeme předpokládat, že barokní kobytky byly umístěny níže, než je tomu u moderních houslí.



Obrázek č. 8 Porovnání kobytek

Zdroj: (McTighe, 2013)

I tvar kobytky je dnes jiný, než byl v dobách hudebního baroka i klasicismu. Barokní kobytky jsou nižší, užší a s méně vyklenutou vrchní částí (Obrázek č. 8). Tlak strun byl rovnoměrněji rozložen po celé šířce kobytky než dnes (40 N na nižších strunách, 50 N na vyšších). Vrchní oblouk nebyl tak vysoko vyklenutý, ale oproti dnešní kobytce byl v podstatě symetrický. Od vrcholného baroka prošla i kobytky velkou změnou. Vzhledem k jinému úhlu hmatníku a jeho oblejšímu vytvarování se svrchní oblouk daleko více vyklenul do tvaru nerovnoměrné křivky, kdy struny d' a a' dosedají na kobytku skoro v rovině, zatímco struna e'' je relativně k tělu nástroje níž a struna g v rozmezí mezi nimi (OBR) (78 N na e'' struně oproti 38 N na g struně). Tento rozdíl tlaků strun i tvaru kobytky má za následek i podstatný rozdíl barvy. Čím vyšší tlak, tím více vyšších harmonických složek v jiných poměrech a tím jasnější a ostřejší barva zvuku. Na moderních houslích se baroknímu tlaku strun přibližuje struna g , která je v anglosaské literatuře (McTighe, 2013) popisována jako temnější, bohatší, teplejší. Vzhledem k vyrovnanějšímu tlaku na barokní kobytce je tedy celý nástroj daleko temnějšího barevného charakteru, než tomu je u moderních houslí.

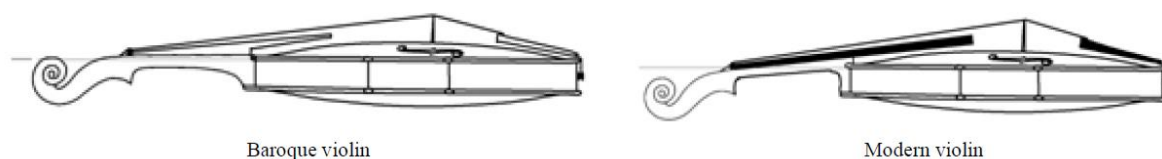
4.3 Basový trámec a duše

Jako protiváha tlaku strun se měnily i rozměrové parametry těchto komponentů. Basový trámec se od konce 17. století prodlužoval a rozšiřoval, tím docházelo i k většímu podpoření nižších frekvencí a mírnému zvýšení celkové intenzity zvuku

nástroje (Pilař et al., 1986). V první polovině 18. století byl basový trámeč dlouhý přibližně 240 mm, zatímco dnes měří 270 mm. Duše se též stávala masivnější, aby vyrovnala tlak, který byl kladen na vrchní a spodní desku.

4.4 Krk, hmatník

Kvůli stále se zvyšujícím požadavkům na virtuozy nejen sólistů, ale i orchestrálních hráčů docházelo ke změnám, které měly podpořit jednodušší pohyb levé ruky po hmatníku jak v rámci přecházení mezi jednotlivými strunami, tak při přechodu do vyšších poloh. Z toho důvodu byl hmatník prodloužen (Obrázek č. 9), aby bylo možné hrát co nejvyšší tóny plného charakteru (s domáčkutou strunou na hmatník), a ne pouze flažolety. Na moderních houslích je hmatník o 4-5 cm delší, než jaký je na dobových barokních nástrojích (McTighe, 2013; Pollens, 2009). Dále se změnilo i zakřivení hmatníku v reakci na změnu tvaru kobyly a smyčce (viz dále).



Obrázek č. 9 Profil trupu barokních a moderních houslí

Zdroj: (McTighe, 2013)

Podstatnou změnou, která zasáhla i do konstrukce korpusu, je uchycení a tvar krku. V barokních dobách byl krk s trupem v jedné rovině (McTighe, 2013) a tvar části hmatníku přisedající na krk tomu byl náležitě přizpůsoben. Krk byl ke korpusu přiklíněn a u většiny dochovaných nástrojů přibit hřebíčky (McTighe, 2013; Spáčilová 1999). Oproti tomu moderní housle svírají s trupem mírný úhel (cca 7°), a díky tomu je tvar hmatníku rovnoměrná plocha posazená na krk. Krk je do korpusu vsazen, přiklíněn a připojen čepem (Obrázek č. 9). Není jasné, zda byla tato změna reakcí na zvýšenou kobyly či opačně, ale určitě se tím dosáhlo volnějšího pohybu levé ruky. Housle, které jsou dnes vydávány za barokní, a i některé nástroje dobové však mají krk vůči trupu též jemně zkosený, jako tomu je u houslí moderních, avšak ne v tak ostrém úhlu. Zcela rovný krk je viděn pouze na minimu nástrojích.

Dnes se používá k výrobě hmatníku dřevo ebenové, ovšem dříve tomu tak nebylo, používalo se spíše dřevo javorové, ale jiné druhy (McTighe, 2013).

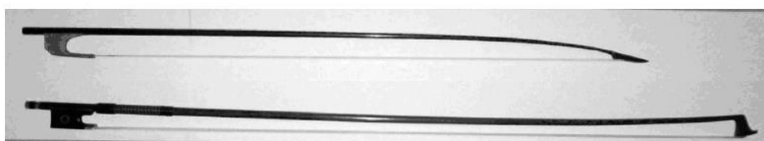
4.5 Podbradek

První podbradek se objevil v roce 1820, kdy byl vytvořen Ludwigem Spohrem (Hubičková et al., 2003). Důvodem jeho vzniku byly stále komplikovanější a náročnější pasáže dobových kompozic a jejich obtížná hratelnost. Použitím podbradku se uvolnila levá ruka, protože nástroj se najednou sevřel mezi rameno a bradu. Nemusel se tedy víceméně vůbec opírat o levou ruku, a tím se umožnilo prstům, aby snadněji vyhrály virtuózní pasáže.

4.6 Smyčec

4.6.1 BAROKNÍ SMYČEC

Houslový barokní smyčec, vyráběný výhradně z tzv. hadího dřeva („snakewood“), byl dlouhý přibližně 61 cm, ačkoliv délka nebyla v té době standardizována, jako je tomu dnes, a dle některých pramenů existovaly například i smyčce měřící pouze 51 cm (McTighe, 2013). Obvyklá váha se tedy pohybovala od 37 do 42 g. Malá hmotnost umožňovala hráči velká gesta smyků bez výraznějšího rizika hrubého vyznění hraných tónů. Smyčec byl vyklenut konvexně (což vedlo k menšímu napětí žíní, než jaké je dnes) a směrem ke špičce se kontinuálně zužoval, až v ní plynule přešel. (Obrázek č. 10, Obrázek č. 11) Tím se dosáhlo rozdílné vzdálenosti žíní od prutu, která je u žabky dána její velikostí, zatímco u špičky je vzdálenost naprosto minimální. V důsledku toho se těžiště smyčce dostává velmi blízko žabce, která je o mnoho těžší než špička, čímž se jasně diferencovaly smyky. Smyk od žabky byl obvykle používán na těžké doby, od špičky na lehké doby (to částečně přetrvalo do dnešních dob, ale ne nezbytně kvůli zvukové potřebě).



Obrázek č. 10 Barokní a moderní smyčec

Zdroj: (McTighe, 2013)



Obrázek č. 11 Špičky smyčců

Zdroj: (McTighe, 2013)

Žabky byly trojího typu (Spáčilová, 1999). Na přelomu renesance a baroka byly nejprve pouze zaskakovací. Žíně byly upevněny ke špičce a ke druhému konci prutu, žabka se vsadila do vyhloubeného žlábků, a tím vypnula žíně. Pnutí žíní pak bylo možné při hře modifikovat jejich přitlačením palcem směrem k žabce, čímž se napětí zvýšilo. Napětí bylo možno měnit i různou velikostí a tvarem žabek nebo speciálními žabkami, které se daly do smyčce vsadit na různých úrovních, a tím mohly přizpůsobit napětí. Novým typem žabky, tak jak ji známe dnes, je žabka šroubovací. Žíně jsou připevněny rovnou k žabce, ve které je vysoustružený otvor, do kterého zapadá šroubek procházející prutem, a šroubováním tohoto šroubku se mění napětí žíní. Žíní je vcelku malé množství, 80-100 žíní na smyčec (McTighe, 2013), z čehož plyne, že trs žíní je vcelku úzký. Dle výzkumů má šířka trsu žíní vliv na podíl vyšších harmonických složek, který se s užším trsem zvyšuje.

4.6.2 MODERNÍ SMYČEC

První smyčec moderního typu vyrobil Françoise Tortue, díky kterému máme dnešní standardizované míry. Smyčec je dlouhý 71 cm, váží 58-63 g a těžiště se nachází 19 cm od žabky (McTighe, 2013). Moderní smyčec je tedy těžší než smyčec barokní a vzhledem k houslové literatuře hudebního romantismu dokáže i lépe obstarat požadavky této doby. Je vyklenut konkávně, čímž se zvýší napětí žíní, a vzhledem k tvaru špičky (Obrázek č. 1, Obrázek č. 11), která je zde určitým protipólem k žabce a prut se k ní nesnižuje kontinuálně, vytváří tedy během hry rovnoměrnější tlak na celé své délce. Důsledkem je tedy pro hráče možnost zahrát kontinuální tón bez zásadně slyšitelných výměn, což je pro romantismus vcelku důležitý výrazový prostředek. Díky jeho váze také není třeba takového tlaku ruky na vysoké dynamiky, jako tomu bylo u smyčce barokního, a mimo to umožňuje i rychlé střídání technik. Díky délce a váze smyčce a napětí žíní mají interpreti možnost hrát daleko výrazněji ostřejší techniky (jako např. staccato, martelé, spiccato) (McLennan, 2008).

Nevyrábí se již z hadího dřeva, ale z fernambuku, který je poddajnější, a tudíž vhodnější k ohybu prutu nahříváním. Novotou je na ebenové žabce tzv. ferrule (OBR). Stříbrné vykládání hraje mimo svou estetickou funkci roli i ve změně tvaru trsu žíní, oproti tvaru baroknímu. Trs žíní (kterých je 150-200) se rovnoměrně rozprostře po celé

šířce žabky a ferrulí se zajistí, aby zůstaly přesně v tomto tvaru. Trs žíní tedy není tak vysoký jako u barokního smyčce, zato zaujímá větší plochu při kontaktu se strunou, a tím je možná i větší dynamika a zároveň lepší ozev impulzových technik (staccato atd.). Pokud se jedná o smyk od žabky, budí smyčec při stejné rychlosti smyku bohatší spektrum (na rozdíl od smyku od špičky, který má opačné tendence).

4.7 Struny

Rozeznáváme více typů strun dle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Struny střevové, střevové opředené kovem, pouze kovové, syntetické opředené kovem.

V baroku se používaly struny střevové a střevové opředené kovem. Střevové struny byly splétány z jehněčích (občas telecích) střívek různým způsobem (McTighe, 2013). První zmínky o opředených strunách jsou z roku 1660 (dle uveřejněné reklamy v *Introduction to the Skill of Music* v roce 1664; nebo dle rukopis z roku 1659 o strunách opředených stříbrem a používaných na loutnu) (Pollens, 2009). Nicméně technika opředených strun se nejspíše používala už před rokem 1660. Nemuselo se nutně jednat o střevové jádro opředené kovem, ale například o ocelové jádro opředené mosazí. K opředení střevoových strun se používaly následující kovy: měď, pocínovaná nebo postříbřená měď, stříbro. Mezi střevové jádro a kovové opředení se nekládalo hedvábné vlákno, jako tomu je u většiny dnes vyrobených opředených střevoových strun. Opředená struna byla v baroku většinou pouze ta nejnižší - tedy struna *g*. Vzhledem ke krátké životnosti střevoových strun (v porovnání s dalšími houslovými komponenty) se jich dochovalo opravdu velmi málo. Jejich parametry tedy můžeme doslova rekonstruovat pouze z dochovaných písemných a grafických pramenů. Dnes se používají jak kovové, tak opředené struny se střevoovým, kovovým nebo syntetickým jádrem.

Střevové struny jsou slabšího zvuku, ale při rozkmitání smyčcem mají bohatší vyšší harmonické složky oproti kovovým strunám, které jsou silnějšího, čistého zvuku, ale s menším podílem harmonických složek. Transientní děje při hře smyčcem jsou taktéž rozdílné u jednotlivých typů strun. Střevové mají delší průběh nakmitávacích dějů, transient je tedy jemnějšího charakteru zvuku. Oproti kovovým strunám, které mají transient kratší, hrubší a silnější barvy zvuku (McTighe, 2013).

4.8 Lak

Lak samotný je před duší posledním procesem, kterým se houslař při stavbě houslí zabývá (Pilař et al., 1986). Složení laku, který používali houslaři v baroku, není dnes známo, a tak o jeho přísadách panují pouze domněnky. Mimo vizuální dokončení nástroje ovlivňuje lak i jeho akustické vlastnosti, ale jen do určité míry. Nemůže vylepšit špatně zkonstruovaný nástroj nebo výběr špatného dřeva. Lak se postupně vsakuje do pórů nástroje a záleží na jeho konzistenci, jakým způsobem kooperuje s dřevem, na které je nanesen. Příliš tvrdý nebo kalný lak, který, mimo všední vizuální stránku, rychle ztvdne (okolo 5 let), bude mít za následek skleněný zvuk nástroje, v důsledku neprodyšnosti pórů dřeva. Lak, který po zaschnutí stále lepí, naopak tlumí zvuk a tento stav se ani po několika letech nemění. Nejspodnější a nejdůležitější vrstvou je tzv. základní lak. Pokud je kvalitní, tak se i po smytí vlastní vrstvy laku (vrstva svrchní) výrazně nezmění barva zvuku hudebního nástroje. Barva vizuální je dána určitě i stářím, zjednodušeně řečeno, čím starší nástroj, tím tmavší a temnější odstíny má. Lak, který používali houslaři jako Stradivari, Guarneri del Jesú a rodina Amati, se nazývá cremonský lak (dle místa působení těchto houslařů). Některé jeho vlastnosti popsal S. F. Sacconi, který se studiem toho laku dlouhodobě zabýval. Lak měl dvě vrstvy. Jednak spodní, která pronikla do dřeva a zpevnila tak desky a díky tomu lépe kmitají. Toto zpevnění nejspíš umožňovalo zredukovat sílu desek bez následné změny jejich vlastností během následujících let. Spodní vrstva nepronikla dovnitř pórů dřeva, pouze potáhla jeho povrch a charakter porézности dřeva zůstal nezměněn. Svrchní vrstva pak nepronikala do dřeva a neovlivňovala tedy nijak jeho akustické vlastnosti. Akustické vlastnosti laků se mění ještě několik let po nanesení. Jak dlouho tyto změny trvají, než se lak ustálí, záleží na konkrétním složení laku.

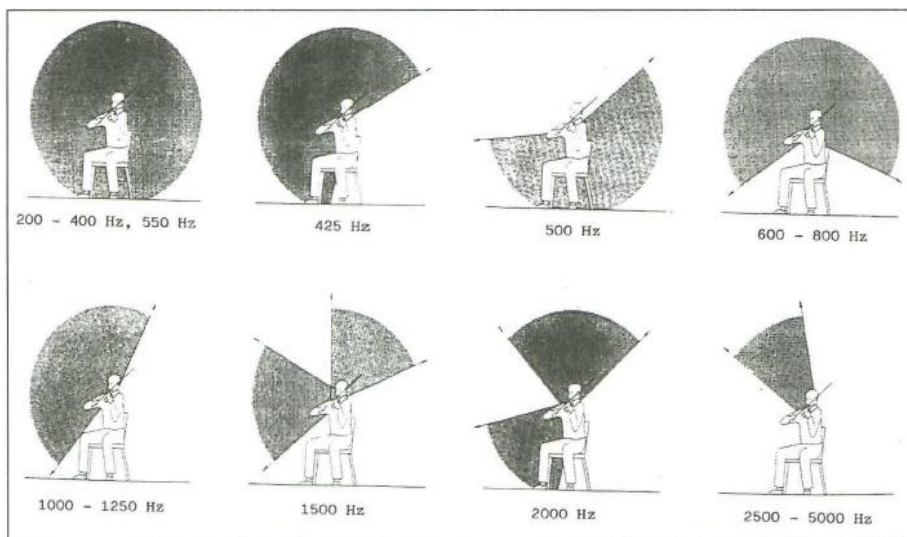
5 Akustický popis vlastností hudebních nástrojů

5.1 Směrové vyzařovací charakteristiky

Vyzařovací vlastnosti hudebních nástrojů z hlediska intenzity akustického tlaku (v závislosti na směru) se liší nástroj od nástroje (Srový, 2013). Obecně se předpokládá, že čím větší je rozměr zdroje zvuku a čím kratší je vlnová délka jím vyzařovaného zvuku, tím směrovější jsou vyzařovací vlastnosti zdroje a naopak. Konkrétní rozměrové a fyzikální vlastnosti určují, jaká frekvenční pásma budou potlačena nebo vyzářena. Všesměrové vyzařování je většinou omezeno na první harmonickou složku tónů nejnižší oktávy, přibližně do frekvence 500 Hz. Frekvence vyšší se pak stávají stále směrovější. Průběh charakteristik je nezávislý pouze v tzv. vzdáleném poli, v blízkém poli vykazují charakteristiky značnou nerovnoměrnost závislou na vzdálenosti. V následujících řádcích se tedy budeme zabývat pouze směrovými charakteristikami v poli vzdáleném. Hranice mezi blízkým a vzdáleným polem je pro účely měření většinou stanovena největším rozměrem nástroje, potažmo vlnovou délkou nejhlubšího tónu (Srový, 2013). Vzhledem ke složitým akustickým vlastnostem hudebních nástrojů, které se mění v průběhu tónového rozsahu, je výpočet směrových charakteristik vlastně neproveditelný, proto se zjišťují experimentálně. Metod je více. Nejjednodušší (a zároveň ta, kterou budeme používat ve výzkumné části této práce) je měření akustického tlaku v konstantní vzdálenosti od hudebního nástroje, v našem případě houslí. Tato měření probíhají jak v horizontální, tak ve vertikální rovině, nástroj se nachází ve středu uvažované kružnice, kterou měřící mikrofony opisují. Měření se uskutečňují v bezodrazových místnostech, ve kterých minimalizujeme vliv odrazů, které by nastaly v difuzním prostoru a které by ovlivňovaly výsledné směrové charakteristiky nástroje.

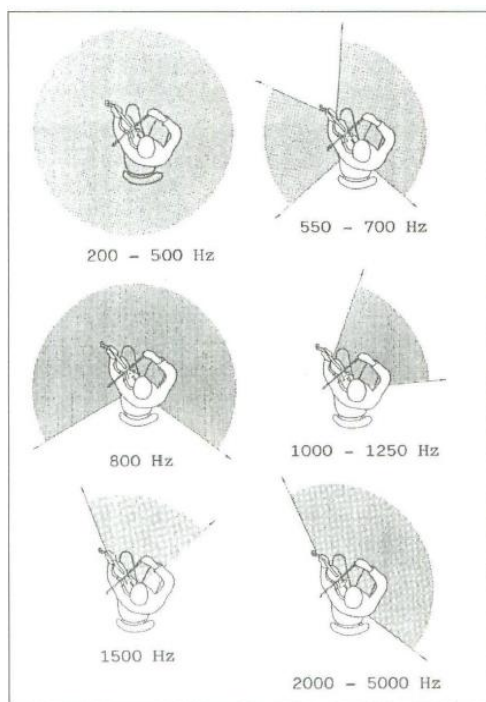
Diagramy znázorňující směrové vyzařování nástroje (směrovou charakteristiku) jsou různého druhu. Polární diagramy nesou informaci závislosti akustického tlaku na úhlu uvažovaného směru od nástroje pro konkrétní tón (frekvenci). Zobrazují průřez pro konkrétní rovinu. Pro zobrazení velikosti akustického tlaku, který působí na membrány jednotlivých mikronů v libovolně sestavené matici, se používají například cylindrické nebo válcové souřadnice. Vedle toho můžeme tzv. sonogramovou technikou popsat,

jaké frekvenční složky v konkrétním směru se na daném tónu podílejí a jaká je jejich velikost (dle sytosti barvy). U smyčcových nástrojů se většinou uvádějí vyzařovací poměry pro rovinu kobylku a pro rovinu horizontální. (Obrázek č. 12, Obrázek č. 13)



Obrázek č. 12 Vyzařovací poměry pro rovinu kobylky

Zdroj: (Syrův, 2013)



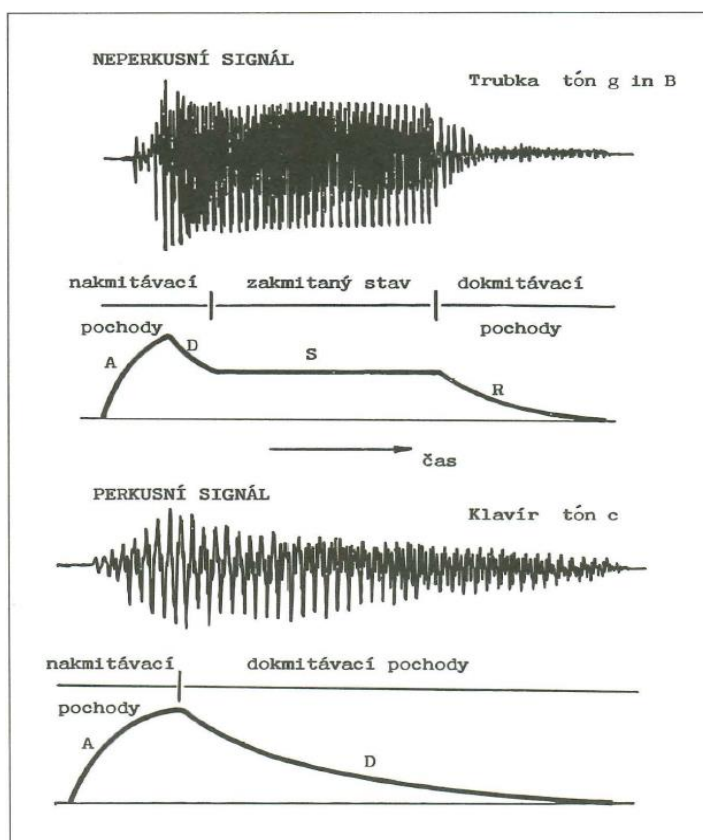
Obrázek č. 13 Vyzařovací poměry pro rovinu horizontální

Zdroj: (Syrův, 2013)

5.2 Spektrum

Základními subjektivními veličinami používanými za účelem popisu vjemu zvuku jsou: výška, hlasitost, barva (Srový, 2013). Pokud porovnááme dva odlišné zvuky stejné výšky, stejné délky i stejné hlasitosti, liší se právě v barvě. Ta se nedá spojit s jednou fyzikální veličinou, je souborem několika fyzikálních dějů.

Hudební signál můžeme z hlediska způsobu buzení rozdělit na dva typy. Při kontinuálním buzení signály neperkusní, při impulzním buzení se jedná o signály perkusní. Tyto signály mají následující části: jev nakmitávací, zakmitaný stav a jev dokmitávací. Pokud budeme analyzovat tón hudebního nástroje (konkrétně houslí) v čase, z hlediska teorie signálu se dá rozdělit následujícím způsobem: u perkusních signálů na jev nakmitávací a dokmitávací (*pizzicato*), u neperkusních na jev nakmitávací, zakmitaný stav a jev dokmitávací. Vjem barvy a následného přiřazení tónu ke konkrétnímu nástroji se neděje pouze na základě zakmitaného stavu (viz dále), ale i za pomoci jevu nakmitávacího a dokmitávacího (Obrázek č. 14). Na barvě zvuku se tedy nepodílí jen počet a poměry jednotlivých složek frekvenčního spektra v rámci zakmitaného stavu, který má charakter tónu, ale i transientní děje v rámci jevu nakmitávacího, které by měly samostatně stojící spíše charakter hluku. Časová délka transientu se pohybuje od 10 do 400 ms v závislosti na použité technice hry a typu strun, na dynamice a výšce hraného tónu.



Obrázek č. 14 Perkusní a neperkusní signály

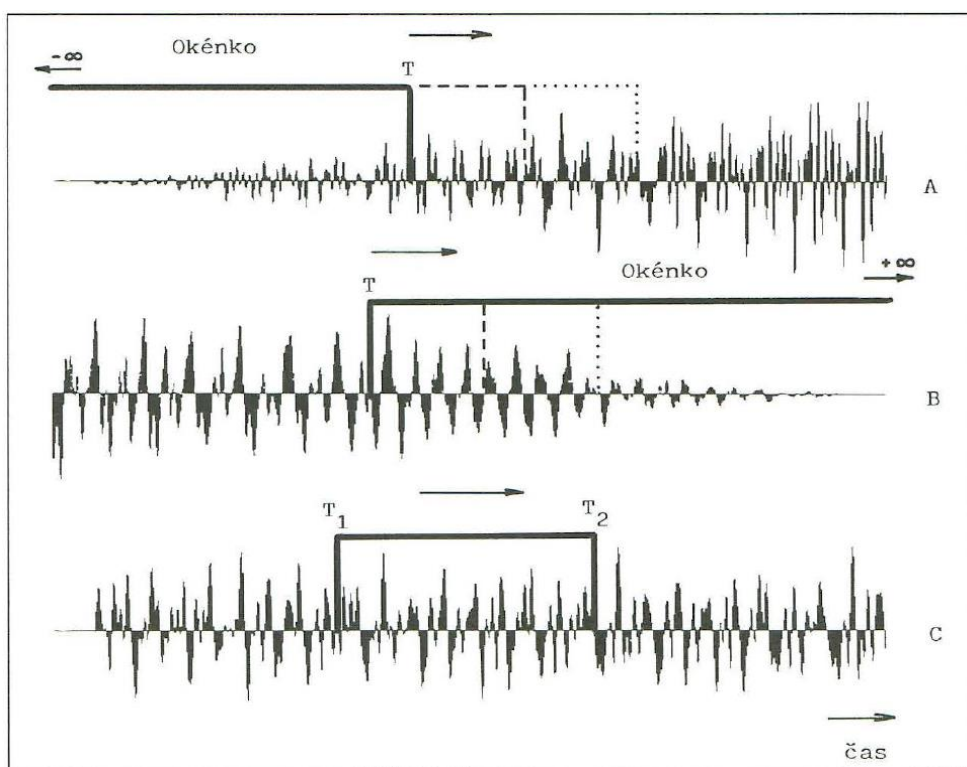
Zdroj: (Srový, 2013)

V nakmitávacích a dokmitávacích dějích dochází k velmi rychlým změnám amplitudy, frekvence i fáze jednotlivých frekvenčních složek tónu. Oproti tomu v zakmitaném stavu jsou tyto složky víceméně konstantní. Tato část hudebního signálu se též nazývá stacionární a spektra jednotlivých tónů (poměry jednotlivých harmonických složek) se většinou zjišťují právě z této oblasti kvůli své neměnnosti. Na barvě se podílí i neodlučitelné složky šumové vznikající při buzení nebo kdekoliv v nástroji (např. tažení smyčcem).

Nyní přistoupíme přímo ke frekvenčním vlastnostem houslí. Spektrální obálka harmonických složek kvalitativně vysoce hodnocených nástrojů až na nepatrné výjimky mírně klesá a užitečné spektrální složky ovlivňující vjem barvy obvykle dosahují 16 kHz. Spektrální složení výsledného tónu víceméně koresponduje se spektrem kmitů struny buzené smyčcem. Při hře nejnižších tónů je amplituda základní frekvence nižší než druhé harmonické složky. To je dáno malou velikostí trupu v porovnání s vlnovou délkou základní frekvence tónu. Slabší intenzita základní

harmonické však nemá za následek nedostatečnou konkrétnost výšky tónu, pouze vytvoří jinou barvu zvuku.

Spektrum může být diskrétní nebo spojité. Spojité zahrnuje všechny frekvenční složky analyzovaného signálu, diskrétní pouze některé - v našem případě takto budeme zobrazovat vyšší harmonické složky.



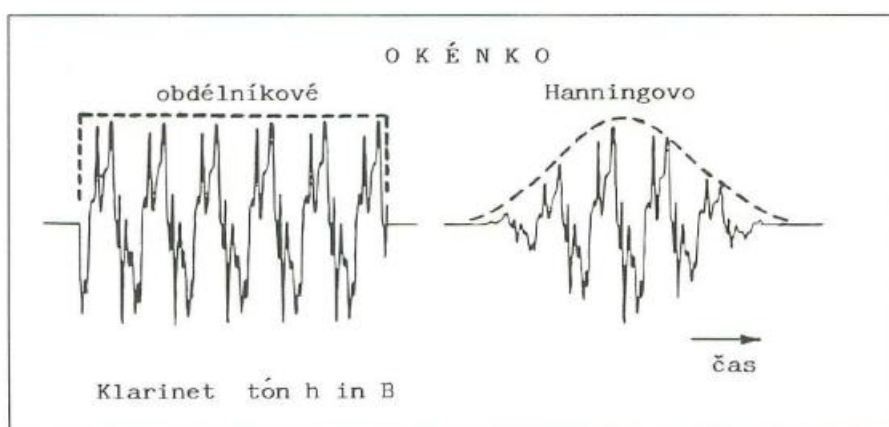
Obrázek č. 15 Vymezení spektra

Zdroj: (Syrový, 2013)

5.3 Frekvenční spektrální analýza

Pro potřeby analýzy jsou časově závislá spektra vymezena buď jednostranně, tzv. plovoucí, nebo oboustranně, tzv. okamžitá (Syrový, 2013). Dle (Obrázek č. 15) se u plovoucího spektra vymezuje buď horní, nebo spodní mez integrace, u okamžitých je to pak spodní i horní. Tomuto vymezení signálu v časové ose se říká okénkování neboli váhování. Časová funkce, kterou analyzovaný signál tzv. váhujeme (násobíme), se pak nazývá váhovou funkcí nebo časovým okénkem. Okénko se postupně posouvá po časové ose a pro každou druhou polohu provede výpočet spektra. Tedy periodický signál, který vznikne nekonečným opakováním okénka, je rozložen pomocí výpočtu Fourierova rozvoje na jednotlivé frekvenční složky. Pokud je okénko dlouhé právě tak,

že se spodní i horní hranice jeho vymezení nachází ve stejné fázi periody analyzovaného signálu, zjištěné frekvenční spektrum je totožné s reálným spektrem analyzovaného signálu. Pokud se však hranice vymezení okénka nenachází ve stejné fázi analyzovaného signálu, dochází k deformaci výsledného spektra. Stane se tak nekonečným opakováním časového okénka, které vytvoří v místě jeho propojení s druhým okénkem diskontinuity a vlastně i zcela nový signál s jiným frekvenčním spektrem (Obrázek č. 16). Pokud bude okénko dlouhé, dosáhneme vysoké frekvenční rozlišitelnosti, za cenu menší rozlišitelnosti časových změn frekvenčního spektra v důsledku jeho zprůměrování.



Obrázek č. 16 Hanningovo okénko

Zdroj: (Srový, 2013)

Jedním z typů spektrální analýzy je i FFT (Fast Fourier Transform), která se používá při digitální analýze z důvodu urychlení výpočtu (Srový, 2013). Délka okénka je udávána počtem vzorků v v druhých mocninách a diskontinuity jsou řešeny modifikací tvaru okénka. Jednou z těchto změn je např. použití tzv. Hanningova okénka, které používá funkci \cos^2 . To sníží počet frekvenčních složek zkreslujících výkonové spektrum (zejména nižší harmonické složky), ale pozmění fázové spektrum. Míra těchto změn je závislá na tvaru okénka (Hammingovo, obdélníkové atd.).

6 Vlastní výzkum

V této kapitole porovnáme frekvenční spektra a směrové charakteristiky jednotlivých nástrojů. Nejdříve uvedeme stručný popis jednotlivých nástrojů:

Jakožto nástroje moderního typu byly použity následující exempláře:

- **Moderní housle 1** byly ohodnoceny jako velmi kvalitní nástroj, vyrovnaný barevně i dynamicky v celém tónovém rozsahu. Co se konstrukce týče: mají moderní tvar a umístění krku s hmatníkem, moderní tvar a umístění kobylky, šířka a délka basového trámce a šířka duše odpovídá dnešním standardům, struny byly použity syntetické opředené kovem vyjma nejvyšší struny (e''), ta byla pouze kovová.
- **Moderní housle 2** byly ohodnoceny jako méně kvalitní nástroj s nevyrovnaným zvukem na struně g . Co se konstrukce týče, nástroj je opět typicky moderní stejně jako **Moderní housle 1**.

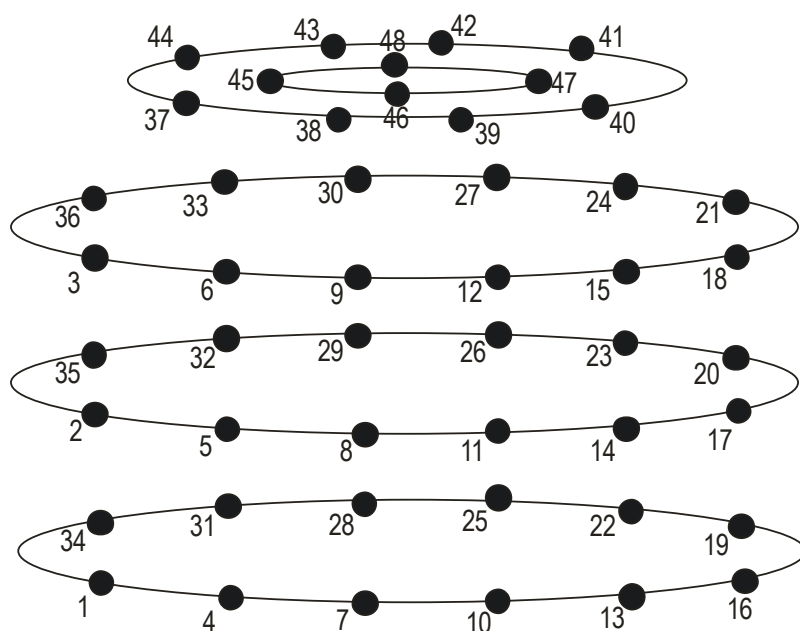
Nástroje reprezentující barokní epochu byly použity následující:

- **Barokní housle 1** byly shledány jako typicky barokní nástroj německého typu (nejspíše pocházející ze Saska nebo Tyrolska). V porovnání s moderními nástrojy zde nalezneme vysokou klenbu svrchní desky, rozměrově i tvarově odlišnou kobylku a odlišnou délku hmatníku. Struny byly pouze střevové s výjimkou nejnižších dvou (g a d'), ty byly střevové opředené kovem.
- **Barokní housle 2** je nástroj postavený nejspíše na konci 19. století v Německu (Sasko) nebo v Rakousku (Tyrolsko) jako moderní housle, přičemž později byl mírně upraven do podoby houslí barokních. Tomu odpovídá krk, kobylka, která je jiného tvaru a rozměrů, a struny stejného typu jako u **Barokních houslí 1**.
- **Barokní housle 3** byly opět shledány jako nástroj německé výroby. Doba vzniku byla odhadnuta okolo roku 1750. Nástroj je barokní, co se konstrukce týče (tedy krk, kobylka, duše, basový trámec, hmatník). Struny jsou syntetické opředené kovem.

Jak jsme již předeslali v předchozí kapitole, směrové charakteristiky byly zjišťovány experimentálně a spektrální analýza byla provedena za pomoci Fourierovy analýzy. K

provedení následujících úkonů bylo třeba zaznamenat zvukové signály, které sloužily jako vstupní data. Tento proces proběhl v bezodrazové komoře Výzkumného centra hudební akustiky AMU.

Matice mikrofonů použitá v bezodrazové komoře
Výzkumného akustického centra AMU



Obrázek č. 17 Matice mikrofonů

Matice čítající čtyřicet osm mikrofonů (tělo *Sennheiser K6* s kapslí *Sennheiser ME 62*) byla rozmístěna následujícím způsobem (Obrázek č. 17): tři horizontální soustředné kruhy o dvanácti mikrofonech (dohromady tedy třiceti šesti) a dva soustředné kruhy u stropu o osmi a čtyřech mikrofonech. Signál poté pokračoval analogovou cestou k šesti osmikanálovým předzesilovačům (*SM Pro Audio - PR8*) a poté do záznamového zařízení *Tascam X-48*. Zde byl signál v bitové hloubce 24 bitů a vzorkovací frekvenci 48 kHz zaznamenán, zvukové materiály byly poté upraveny v editačním programu *ProTools 12*. Jednalo se pouze o vyjmutí konkrétních časových úseků pro analýzu bez jakýchkoliv frekvenčních změn. Vybrány byly výseky zakmitané části signálu bez nežádoucích jevů, jako jsou např. velké změny amplitudy a frekvence či barevná deformace zapříčiněná stylem hry.

Zaznamenána byla chromatická stupnice na každé struně za použití hry smyčcem. Smyčec byl použit pouze moderní, aby se eliminoval jeho vliv na rozdílnost zvuku. Pro

potřeby analýzy byly použity jednotlivé vybrané tóny. Při snímání bylo rozhodnuto ponechat jednotlivé housle v ladění, které je pro ně dlouhodobě přirozené. Troje byly tedy v ladění A = 440 Hz (Moderní housle 1, Moderní housle 2, Barokní housle 3) a dvoje v A = 415 Hz (Barokní housle 1, Barokní housle 2). Rozdíl těchto dvou ladění je přesně půltón, a je tedy možné porovnávat jednotlivé signály, které snímáním dostaneme. Pro účely porovnávání bylo tedy třeba stanovit, které tóny budou pro analýzu nejvhodnější.

Jednalo se vždy o dva tóny na každé struně. Jeden v první poloze, který charakterizuje nižší polohy jednotlivých strun, a druhý o velkou sextu výše (9 půltónů), který oproti tomu charakterizuje vyšší polohu struny. Tóny byly vybrány takovým způsobem, aby se minimalizoval počet stejně znějících tónů (napříč oktávami) při zachování intervalu (velké sexty) v rámci jedné struny. Jednalo se tedy o následující tóny:

- na struně *g*: *gis* (*g*) 207 Hz, *eis'* (*e'*) 349 Hz;
- na struně *d'*: *e'* (*es'*) 329 Hz, *cis''* (*c''*) 554 Hz;
- na struně *a'*: *ais'* (*a'*) 466 Hz, *g''* (*ges''*) 784 Hz;
- na struně *e''*: *eis''* (*e''*) 698 Hz, *d'''* (*des'''*) 1174 Hz.

Nejdříve je uváděn název výšky tónu při ladění A = 440 Hz a poté v závorce relativní převedení názvu tónu z houslí laděných v A = 415 Hz na ladění A = 440 Hz (s možnou enharmonicou záměnou).

Jako mikrofon, ze kterého byly následující analýzy provedeny, byl vybrán mikrofon č. 6. Ten byl vyhodnocen, vzhledem k předem zjištěným směrovým charakteristikám houslí, jako mikrofon, který se nachází v hlavním vyzařovacím směru nástroje.

Analýza harmonických složek probíhala za pomoci programu Hamanal, který ze signálu v podobě stacionární části konkrétního složeného tónu:

- vypočítal pomocí FFT spektrum v celé šíři zaznamenaného frekvenčního pásma;
- vyňal ze získaného spektra jednotlivé harmonické složky tónu s hodnotami jejich amplitud; základní harmonickou složkou tohoto tónu bylo třeba graficky stanovit ve vykresleném grafu spektra;

- vytvořil textový soubor s propojením dat z bodů 1. a 2., tj. propojil pořadové číslo jednotlivých harmonických složek tónu s jim přiřazenými hodnotami amplitudy a frekvence.

Délka jednoho analyzovaného signálu byla stanovena na 34 560 vzorků (0,720 s), což byla nejkratší délka stacionární části jednoho z analyzovaných signálů. K analýze FFT bylo použito přednastavené Hanningovo okénko s překryvem 50 % pro účely analýzy harmonických složek.

Pro potřeby porovnávání pak bylo třeba z tohoto posledně jmenovaného textového souboru vytvořit v tabulkovém editoru (Excel) grafické zobrazení dat a na jejich základě vyvodit příslušné závěry.

Směrové charakteristiky byly graficky vyjádřeny skriptem v prostředí *Matlab*. Tento skript byl vytvořen přímo na požadavky měření směrových charakteristik hudebních nástrojů a jejich následného zobrazení pracovníky Výzkumného akustického centra AMU.

Vhledem k tomu, že těžiště této práce neleží v porovnávání směrových charakteristik nástrojů, nebylo grafické zobrazování vyzařovacích charakteristik provedeno pro více tónů. Byl vybrán jeden tón referenční, který se poté filtroval, a z takto upravených signálů se následně provedlo grafické zobrazení vyzařovacích směrových charakteristik jednotlivých houslí v daném frekvenčním pásmu. Jako tón pro analýzu byl zvolen tón b' , zaprvé z důvodu blízkosti referenční frekvence $a' = 440$ Hz, zadruhé kvůli vysokému zastoupení jeho výskytu v houslové literatuře (tj. skladeb napsaných pro housle).

Pro analyzovaný signál byly použity stacionární části tónu o stejné délce jako pro frekvenční spektrální analýzy (34 560 vzorků – 0,720 s). Z těchto signálů bylo třeba vytvořit signály pouze v ohraničeném frekvenčním spektru, což bylo provedeno za pomoci ekvalizéru (*Digidesign EQ3 7-band*) v editačním programu *ProTools 12*. Frekvenční pásma, ve kterých byl signál analyzován, byla vybrána na základě předchozího studia směrových vyzařovacích charakteristik houslí (Obrázek č. 12, Obrázek č. 13) a na základě cíleného výběru konkrétních pásem z důvodu předpokládané jasně viditelné změny.

6.1 Porovnání charakteristik a spekter

Housle, které byly analyzovány v bezodrazové komoře, byly poté odborně ohodnoceny a okomentovány houslařem Janem Špidlenem jak z hlediska houslařského provedení nástroje, tak z hlediska subjektivního vjemu barvy zvuku. Pokud tedy v následující kapitole budeme požívat subjektivní označení barvy zvuku, odkazuje toto označení na komentář Jana Špidlena. Tento komentář tedy v následujících odstavcích propojíme s objektivními poznatky, ke kterým jsme došli porovnáním frekvenčních spekter.

Mikrofony, kterými byl záznam analyzovaného signálu pořízen, mají úroveň šumu 15 dB a frekvenční rozsah 20 Hz - 20 kHz. Proto je nutné brát s rezervou hodnoty pod 15 dB na ose *y* a hodnoty mimo interval 20 Hz - 20 kHz taktéž. Signály byly při frekvenční spektrální analýze zkalibrovány kalibračním signálem: 1 kHz při

94 dB, což bylo stanoveno jako 0 dB při nahrávání (mikrofony *Sennheiser ME 62* mají maximální možnou zaznamenanou úroveň 130 dB na 1 kHz). Všechny hodnoty na ose *y* je tedy možné chápat absolutně.

Směrové vyzařovací charakteristiky jsou oproti tomu v relativním měřítku v každém konkrétním grafu. Vliv mikrofonu by se při tomto zobrazení měl projevit naprosto minimálně, deformace kulové charakteristiky je do 5 kHz víceméně nulová.

Při porovnání spekter (Přílohy 2 - 17) byly vyvozeny následující závěry:

- Při stejném tlaku smyčce na struny vykazují nástroje barokního typu (jak se střeovými strunami, tak s kovovými) nižší intenzitu vyzařovaného akustického tlaku v celém analyzovaném frekvenčním rozsahu nástroje.
- U nástrojů barokního typu dochází k rychlejšímu poklesu vyšších harmonických složek ve frekvenčním spektru na více než polovině analyzovaných tónů (329 Hz, 466 Hz, 544 Hz, 698 Hz, 784 Hz). Tento pokles má za následek temnější, kulatější barvu zvuku. Oproti tomu nástroje moderního typu vykazují v těchto případech bohatší frekvenční spektrum směrem k vyšším harmonickým složkám. Tím jejich barva zvuku působí daleko ostřeji, svítivěji.
- Nižší tóny (do analyzovaného tónu 349 Hz) mají spektrální obálku kontinuálnějšího charakteru (bez výrazných lokálních minim a maxim) u nástrojů moderního typu, směrem k vyšším frekvencím již tyto rozdíly víceméně vymizí a spíše záleží na konstrukci konkrétního nástroje, která spektrální obálku ovlivňuje.

- Měřené nástroje moderního typu byly i z hlediska poslechu v celém tónovém rozsahu shledány daleko vyrovnanější, co se barvy zvuku týče.
- Potvrdil se předpoklad, který jsme uvedli v kapitole 3, tedy že u nižších tónů (zde reprezentováno tónem 207 Hz) základní harmonická složka nevykazuje nejvyšší intenzitu ve spektru (s výjimkou Moderních houslí 1). U moderních nástrojů v rozmezí tónu se základní harmonickou od analyzovaných tónu 329 Hz s mírnými výjimkami převládá základní harmonická složka (mezi analyzovanými tóny 466-784 Hz nástroje vykazují individuální nepravidelnost). U většiny měřených barokních nástrojů je nejintenzivnější základní harmonická v intervalu analyzovaných tónů 349-784 Hz, u tónu 1174 Hz se u nástrojů projevuje opět individuální nepravidelnost. Základní harmonická, která vykazuje ve frekvenčním spektru nejvyšší intenzitu, má za následek silnou a hutnou barvu zvuku nástroje v daném tónovém rozmezí. Tuto kvalitu tedy barokní nástroje v nižších tónech postrádaly a nabyly jí později než nástroje moderní a s menší intenzitou.

Co se vyzářovacích směrových charakteristik týče (Přílohy 18 - 21), byly vyvozeny následující závěry:

- Ve frekvenční oblasti 200-500 Hz vykazují moderní housle daleko větší homogenitu směru vyzářování. Vyzářování do prostoru je rozděleno víceméně pouze na dva typy: hlavní směr s největší intenzitou a směr nejvíce tlumený s nejmenší intenzitou. Oproti tomu housle barokní vykazují už na těchto frekvencích užší směrovost těchto frekvencí a více ploch, kde je zvukový signál nízké intenzity.
- Ve frekvenčním pásmu 600-800 Hz se jen mírně rozšiřují plochy s útlumem a zvětšuje se směrovost jednotlivých nástrojů.
- Pásmo 1000-1500 Hz již vykazuje silnou závislost směrové charakteristiky na konkrétním nástroji. Obecně můžeme říci, že se homogenní spektrum rozdělilo na dvě až tři maxima intenzity a stejně tak na dvě až tři minima, která již nezaujímají tak velké plochy.
- Poslední zkoumané pásmo, 2000-5000 Hz, vykazovalo jisté podobnosti v rámci skupiny nástrojů moderních a v rámci skupiny nástrojů barokního typu. Moderní

nástroje v tomto pásmu měly daleko více maxim intenzity oproti nástrojům barokním, které vykazovaly spíše homogenní plochy maxima a minima.

Závěr

V rámci kapitol 1 – 4 jsme popsali konstrukční změny, které na nástrojích probíhaly od baroka po současnost, s přihlédnutím k akustice houslí a s částečným propojením poznatků organologických a akustických. Mimo to jsme zmínili i důvody, proč k těmto změnám docházelo. Tím jsme částečně odpověděli na první dvě otázky, které jsme si stanovili v úvodu, tedy: Jaké jsou konstrukční rozdíly v houslích barokního a moderního typu? Mají tyto rozdíly vliv na akustiku nástroje?

V kapitole 6, která se věnovala vlastnímu výzkumu, jsme podepřeli některá tvrzení plynoucí z kapitol 1 - 4 a mimo to jsme i odpověděli na poslední otázku stanovenou úvodem: Můžeme frekvenční spektrální analýzou a směrovými vyzařovacími charakteristikami alespoň částečně tyto rozdíly (pozn. konstrukční), které mají vliv na barvu zvuku, popsat?

Ano, z hlediska akustiky můžeme propojit subjektivní a objektivní popis rozdílnosti barvy zvuku nástrojů moderního a barokního typu. Liší se především v intenzitě a též v barvě. Hrou na moderní nástroj můžeme dosáhnout daleko větší intenzity zvuku oproti baroknímu. Z hlediska barvy je pro nástroje barokní typická především temnější barva tónu v nižších polohách (dáno konstrukčními prvky), což je důsledkem menšího počtu vyšších harmonických složek. Ke vjemu barvy přispívá i transient tónu, který se liší u barokních a moderních nástrojů (dáno smyčcem, strunami). Nástroje barokního typu mají i mírně odlišné vyzařovací charakteristiky, které se jeví větší směrovostí.

Tím jsme tedy podepřeli hypotézu, že vlivem konstrukce se moderní housle od barokních liší i akustickými vlastnostmi, a popsali jsme tyto změny jak subjektivně, tak objektivně.

Seznam použitých pramenů a literatury

BENADE, Arthur H.. *Fundamentals of Musical Acoustics*. 2. vyd. Virginia Benade, 1990. ISBN 0-486-26484-X

CHENG, Matthew. *Comparison of the Baroque and Modern Violins* [online]. Dostupné z:
https://courses.physics.illinois.edu/phys193/fa2015/Student_Reports/Fall15/Matthew_Cheng_Physics193POM_Final_Project_Report_Fa15.pdf (2017)

GOLDSTEIN, Caroline. *The Art behind the Baroque violin* [online]. Dostupné z:
http://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1953&context=honors_capstone (2017)

HUBIČKOVÁ, Libuše, Jan ŠPIDLEN a Přemysl ŠPIDLEN. *Špidlenové: čeští mistři houslaři : co nevíte o houslích*. Praha: Rodina Špidlenů, 2003. ISBN 80-239-1978-4.

JOHNSON, Eric. *The acoustics of the violin* [online]. Dostupné z:
<http://usir.salford.ac.uk/2201/1/258927.pdf> (2017)

MCLENNAN, John Ewan. *The violin: music acoustics from baroque to romantism* [online]. Dostupné z:
<https://newt.phys.unsw.edu.au/music/people/mclennan/McLennanThesisComplete.pdf> (2017)

MCTIGE, Anna. *Baroque violin: technique, sound, & replication with modern setup* [online]. Dostupné z:
<http://annemctighe.yolasite.com/resources/Baroque%20Violin%20-%20Technique,%20Sound%20and%20Replication.pdf> (2017)

PILAŘ, Vladimír a František ŠRÁMEK. *Umění houslařů*. Praha: Panton, 1986.

POLLENS, Stewart. *Some Misconceptions about the Baroque Violin* [online]. Dostupné z:
<http://www.backtomusic.ru/Stepichev/Files/Pollens.pdf> (2017)

SACHS, Curt. *The History of Musical Instruments: Curt Sachs*. London: J.M. Dent & Sons, 1942.

SPÁČILOVÁ, Jana. *Houslová hra v 17. a 18. století anebo Pokus o návod jak hrát na barokní housle*. Český Krumlov: Nadace barokního divadla zámku Český Krumlov, 1999.

SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2013. ISBN 978-80-7331-297-8.

Seznam obrázků

- Obrázek č. 1 Moderní smyčec
- Obrázek č. 2 Drnknutí v 1/2
- Obrázek č. 3 Drnknutí v 1/5
- Obrázek č. 4 Helmholtzův pohyb
- Obrázek č. 5 Akustická délka struny
- Obrázek č. 6 Chladniho obrazce
- Obrázek č. 7 Přenosová charakteristika trupu
- Obrázek č. 8 Porovnání kobylek
- Obrázek č. 9 Profil trupu Barokních a moderních houslí
- Obrázek č. 10 Barokní a moderní smyčec
- Obrázek č. 11 Špičky smyčců
- Obrázek č. 12 Vyzařovací poměry pro rovinu kobylky
- Obrázek č. 13 Vyzařovací poměry pro rovinu horizontální
- Obrázek č. 14 Perkusní a neperkusní signály
- Obrázek č. 15 Vymezení spektra
- Obrázek č. 16 Hanningovo okénko
- Obrázek č. 17 Matice mikrofónů

Seznam příloh

Příloha č. 1 Anatomie houslí

Příloha č. 2

Příloha č. 3

Příloha č. 4

Příloha č. 5

Příloha č. 6

Příloha č. 7

Příloha č. 8

Příloha č. 9

Příloha č. 10

Příloha č. 11

Příloha č. 12

Příloha č. 13

Příloha č. 14

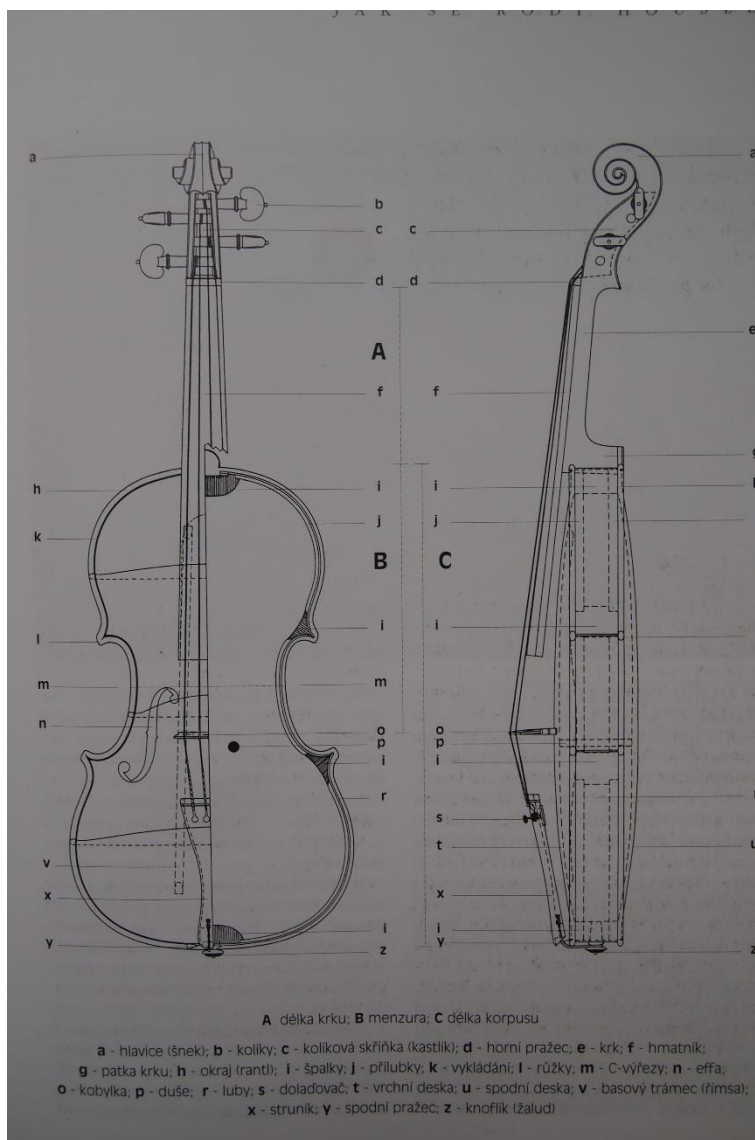
Příloha č. 15

Příloha č. 16

Příloha č. 17

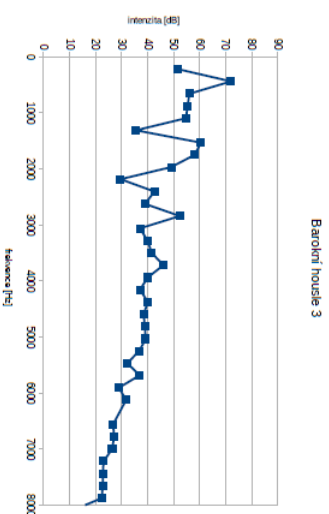
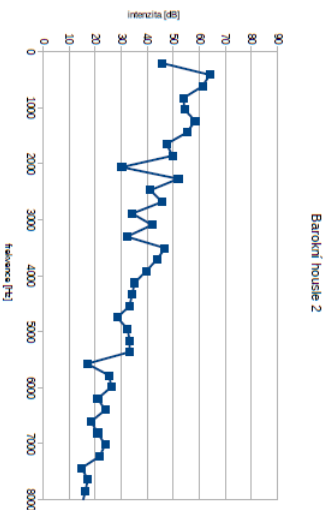
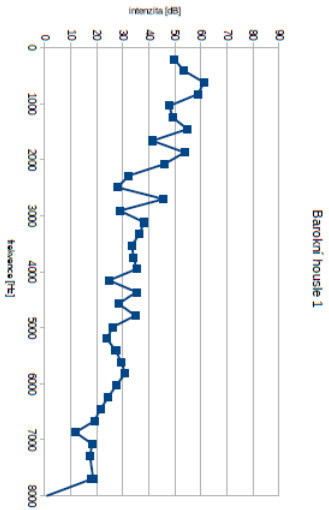
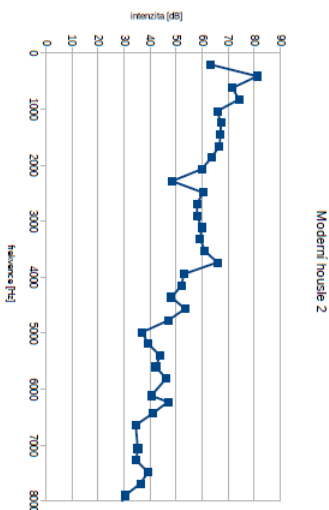
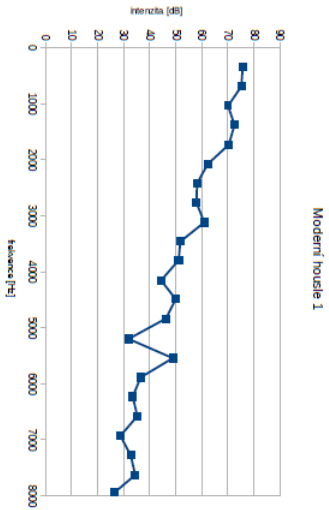
Příloha č. 18

Příloha č. 1 Anatomie houslí



Příloha č. 2 Graf 1.1

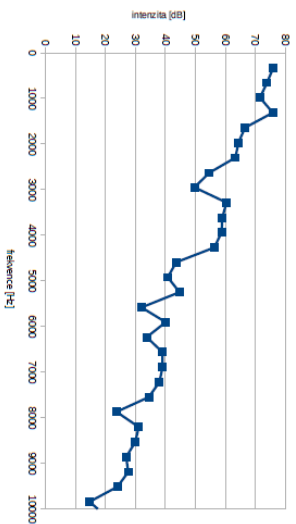
Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou 207 Hz
gis (A=440 Hz), resp. G (A=415 Hz)



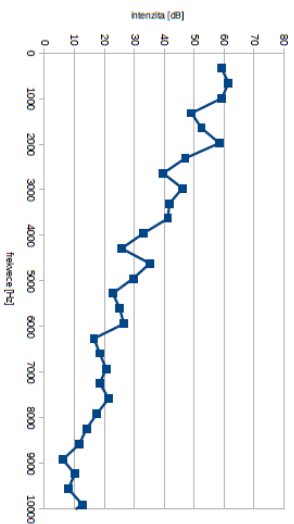
Příloha č. 3 Graf 2.1

Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou **329 Hz**
 e' ($A=440$ Hz), resp. Es' ($A=415$ Hz)

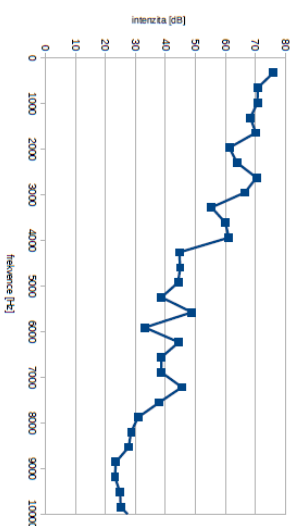
Moderní housle 1



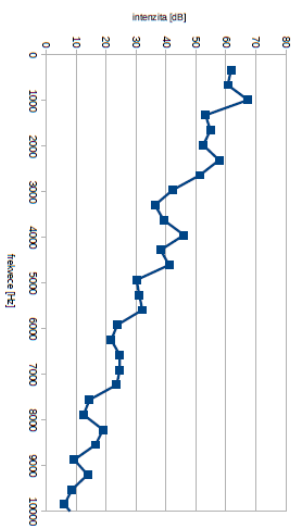
Barokní housle 1



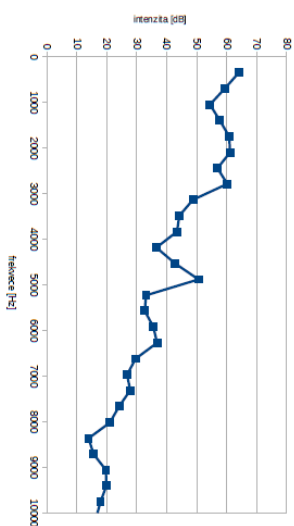
Moderní housle 2



Barokní housle 2

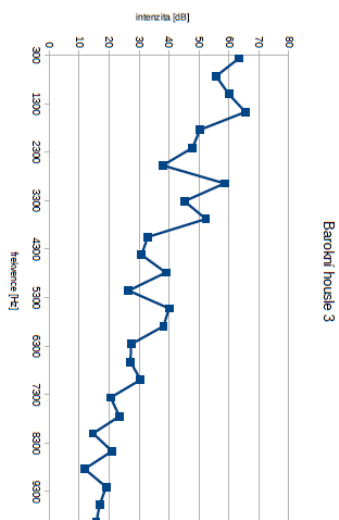
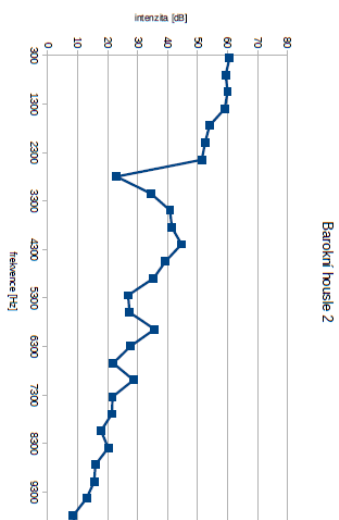
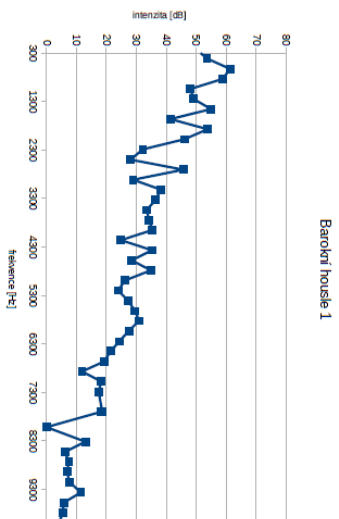
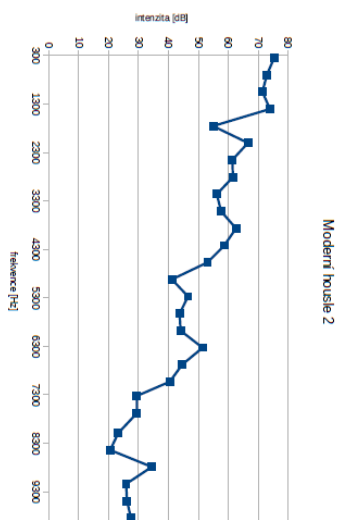
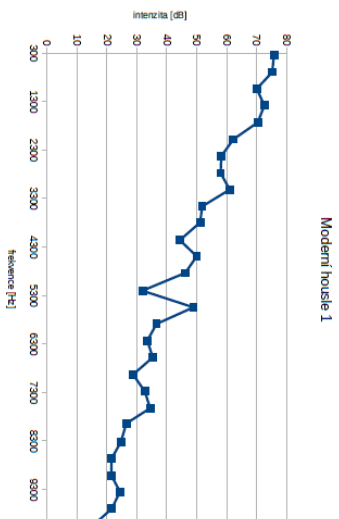


Barokní housle 3



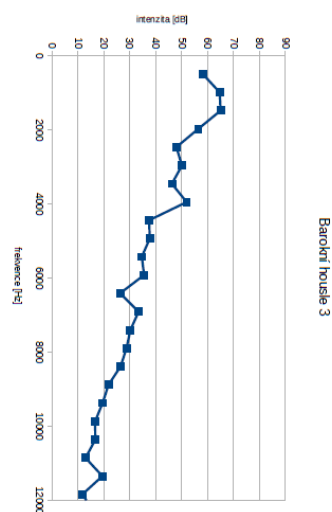
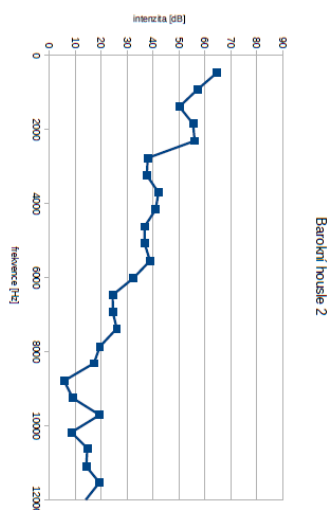
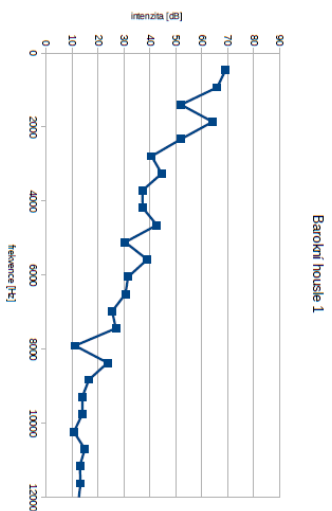
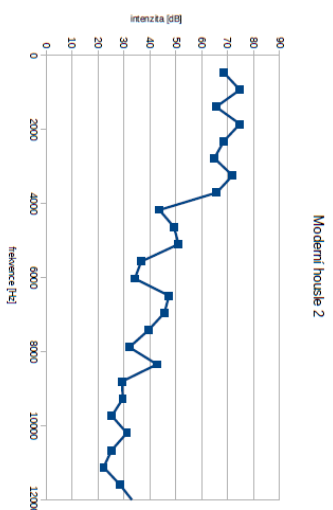
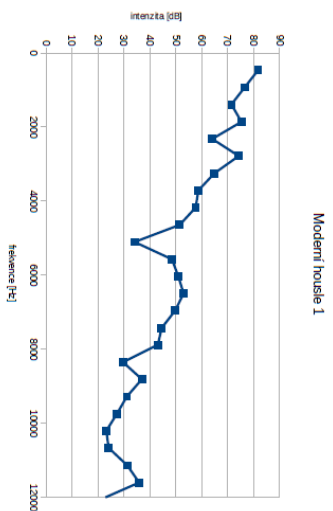
Příloha č. 4 Graf 3.1

Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou **349 Hz**
e1s' (A=440 Hz), resp. E' (A=415 Hz)



Příloha č. 5 Graf 4.1

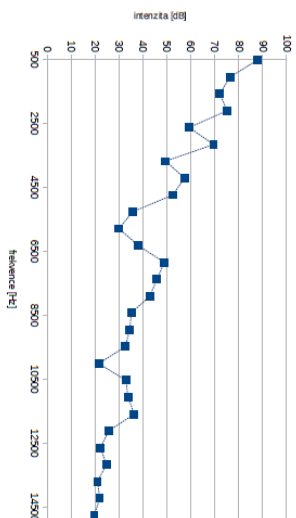
Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou 466 Hz
a1s' (A=440 Hz), resp. a1 (A=415 Hz)



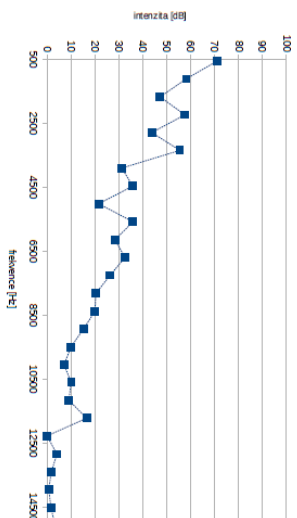
Příloha č. 6 Graf 5.1

Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou **554 Hz** cis" (A=440 Hz), resp. c" (A=415 Hz)

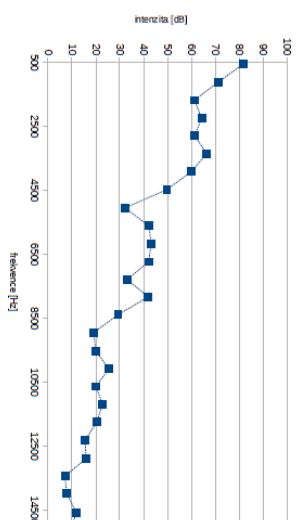
Moderní housle 1



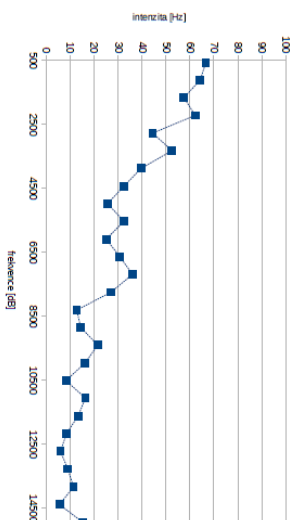
Barokní housle 1



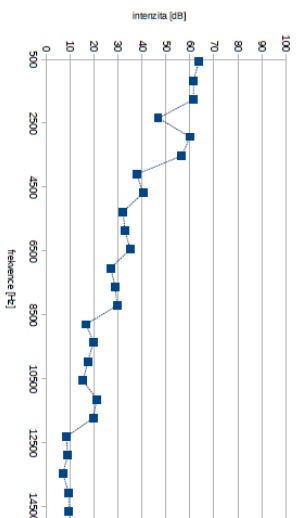
Moderní housle 2



Barokní housle 2



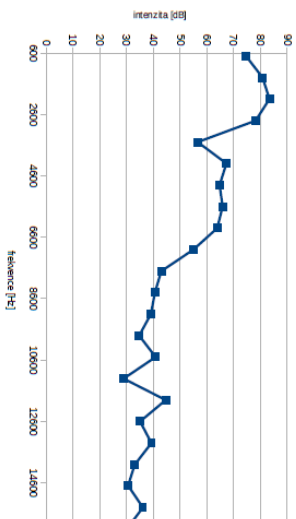
Barokní housle 3



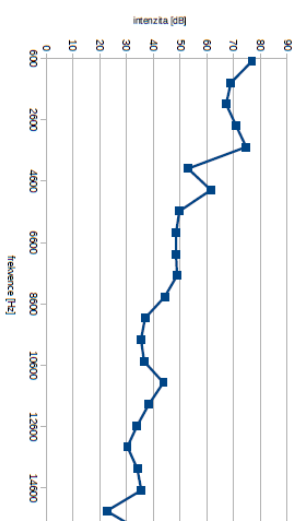
Příloha č. 7 Graf 6.1

Obalka treknvenční spektrální analýzy harmonických složek tonu se základní harmonickou **698 Hz** e1s" (A=440 Hz), resp. e" (A=415 Hz)

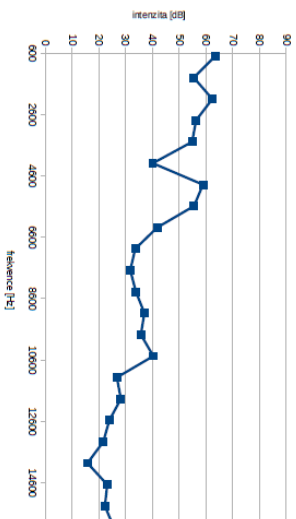
Moderní house 1



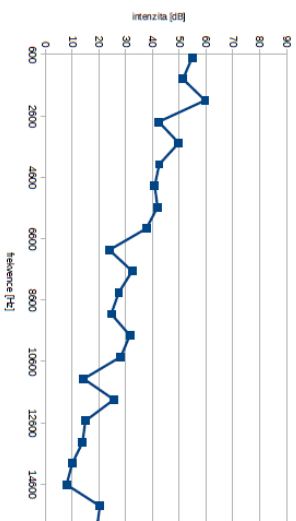
Moderní house 2



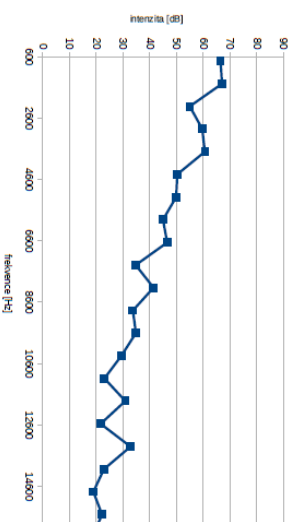
Barokní house 1



Barokní house 2

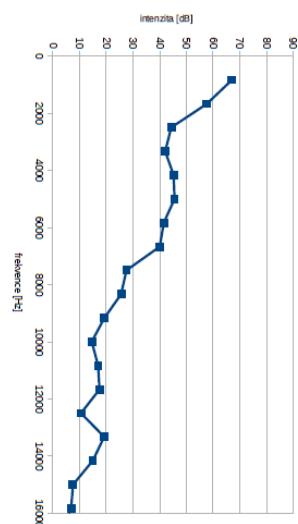
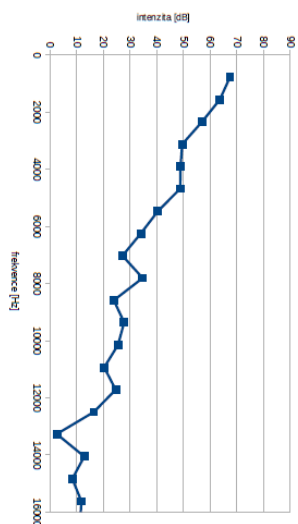
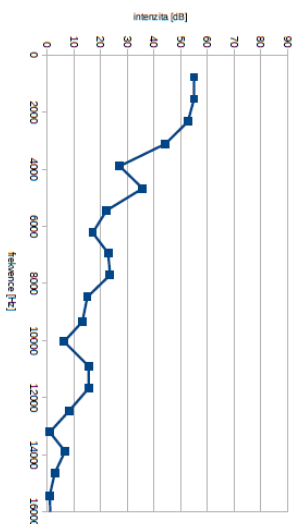
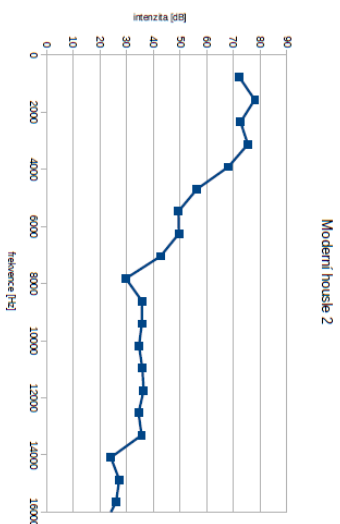
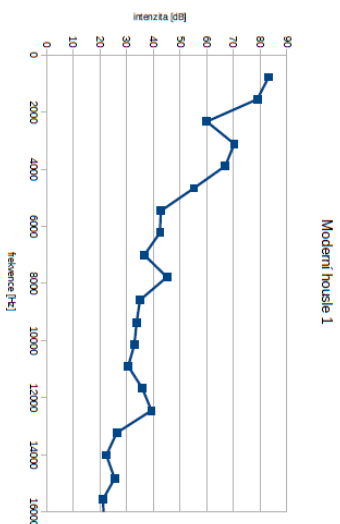


Barokní house 3



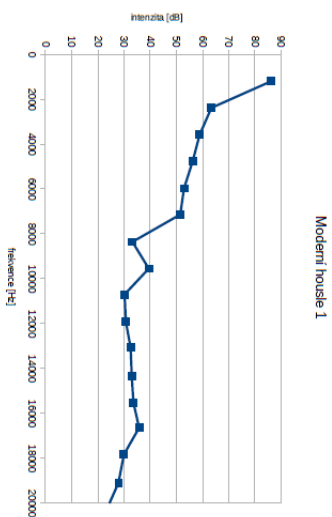
Příloha č. 8 Graf 7.1

Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou 784 Hz
g" (A=440 Hz), resp. Ges" (A=415 Hz)

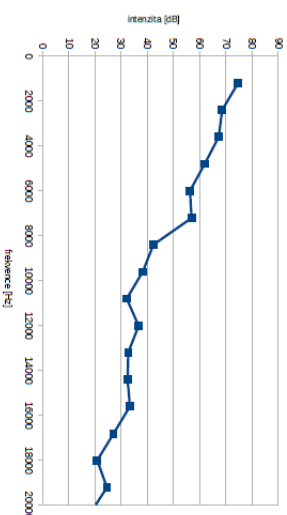


Příloha č. 9 Graf 8.1

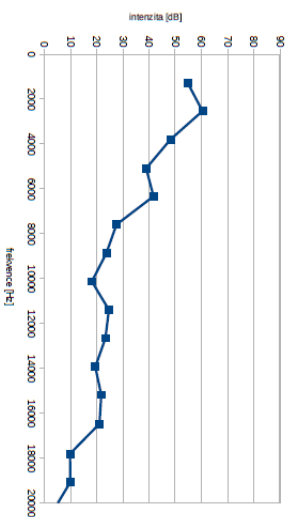
Obálka frekvenční spektrální analýzy harmonických složek tónu se základní harmonickou **1174 Hz**
 d''' (A=440 Hz), resp. Des' (A=415 Hz)



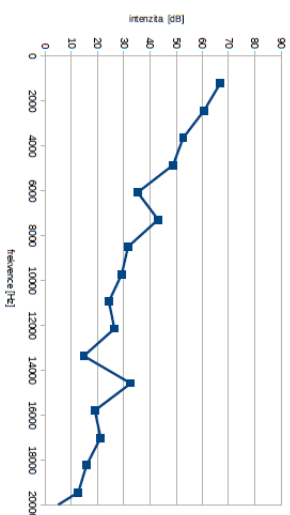
Moderní housle 1



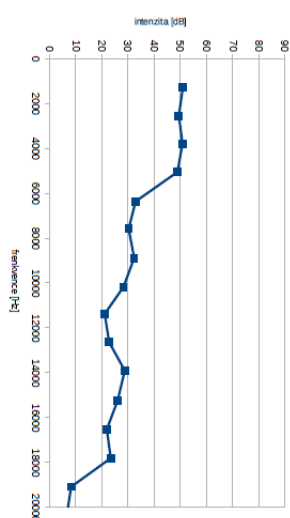
Moderní housle 2



Barokní housle 1



Barokní housle 2

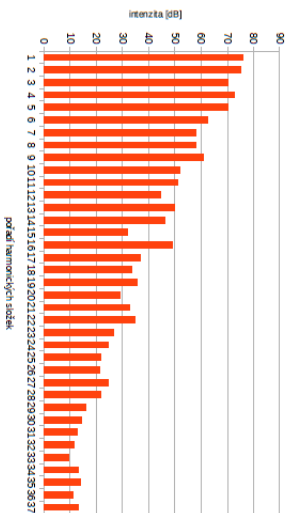


Barokní housle 3

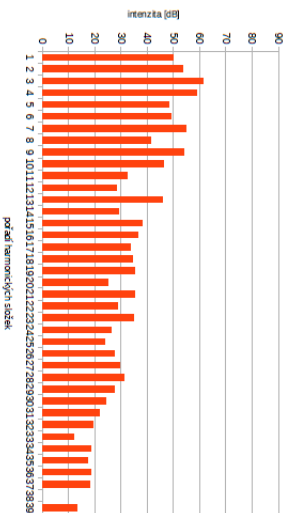
Příloha č. 10 Graf 1.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou 207 Hz
gis (A=440 Hz), resp. G (A=415 Hz)

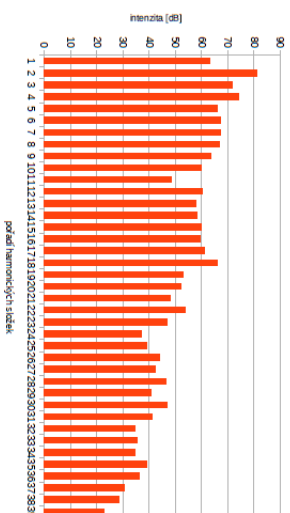
Moderní house 1



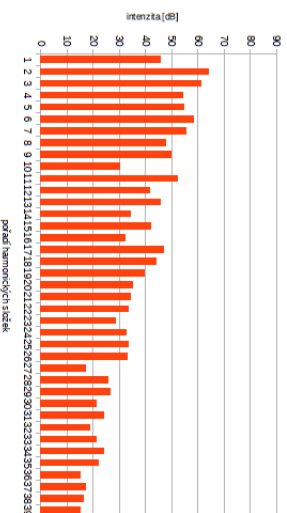
Barokní house 1



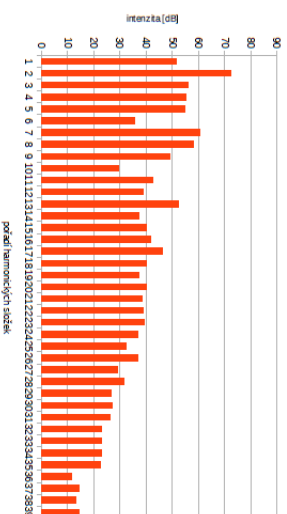
Moderní house 2



Barokní house 2

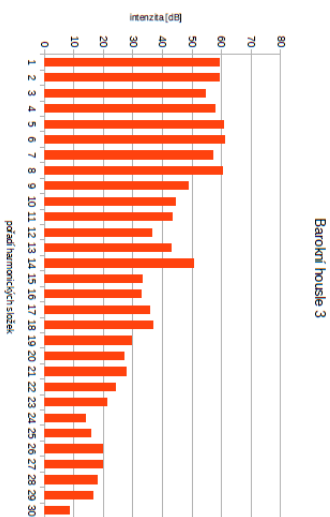
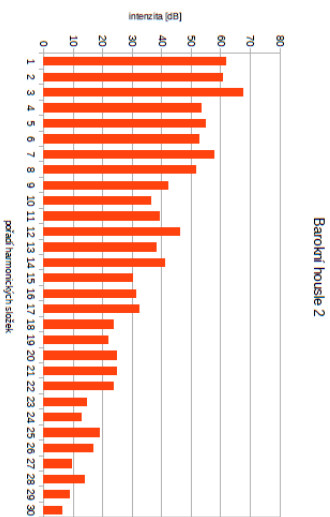
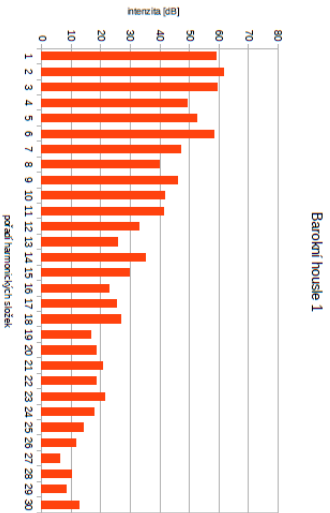
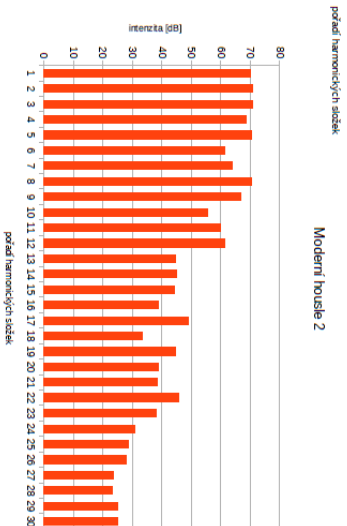
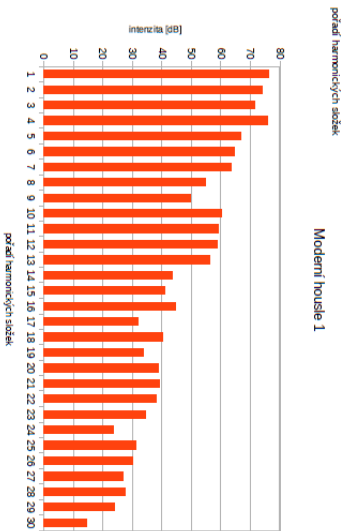


Barokní house 3



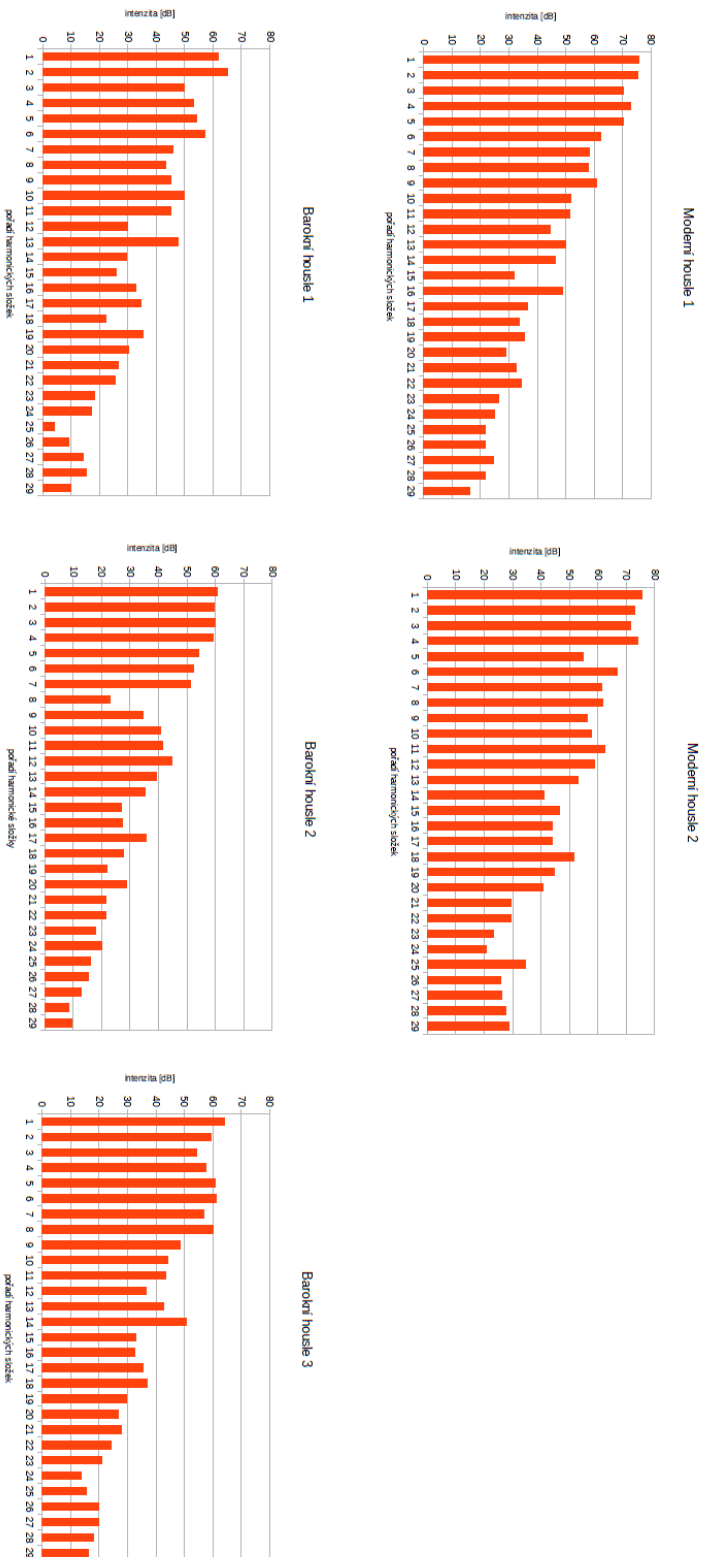
Příloha č. 11 Graf 2.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou 329 Hz
 e' (A=440 Hz), resp. Es' (A=415 Hz)

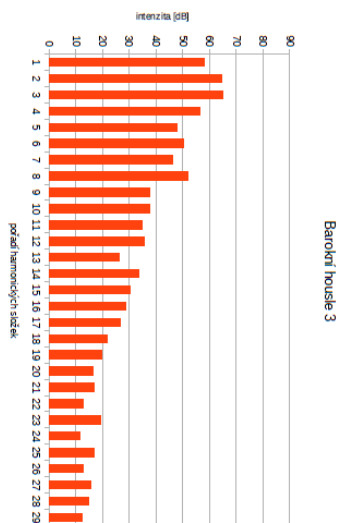
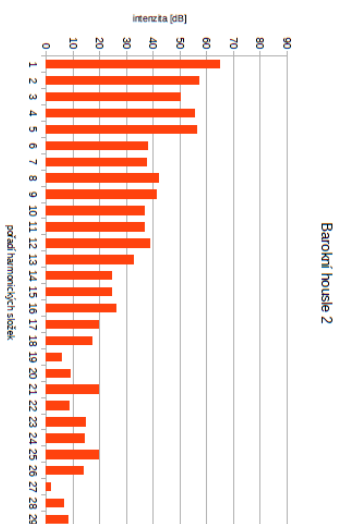
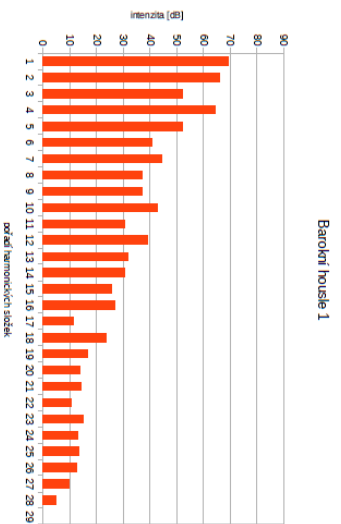
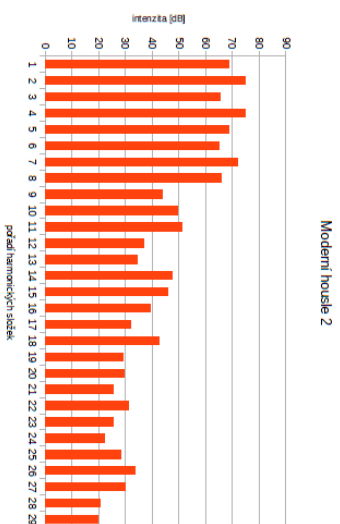
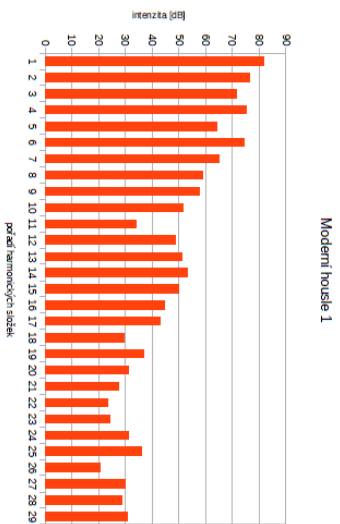


Příloha č. 12 Graf 3.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou **349 Hz**
 $e^{i\omega t}$ ($A=440$ Hz), resp. E^i ($A=415$ Hz)

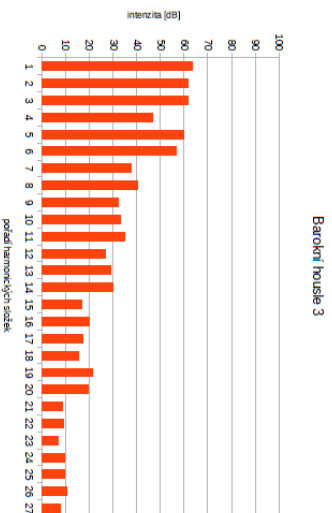
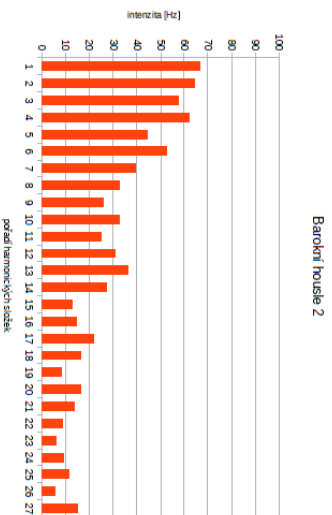
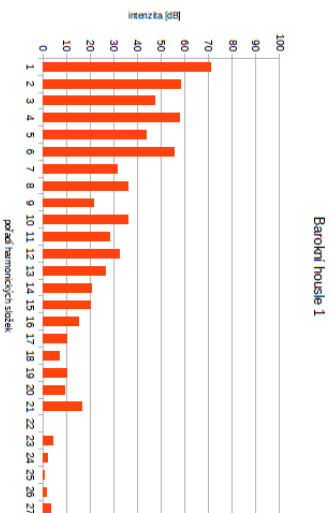
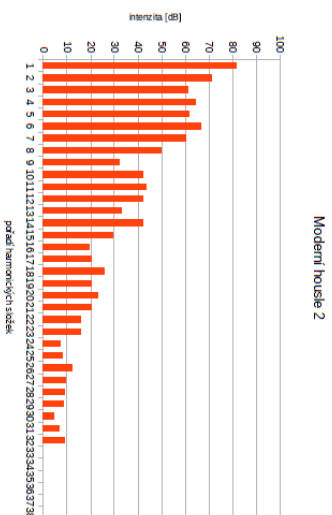
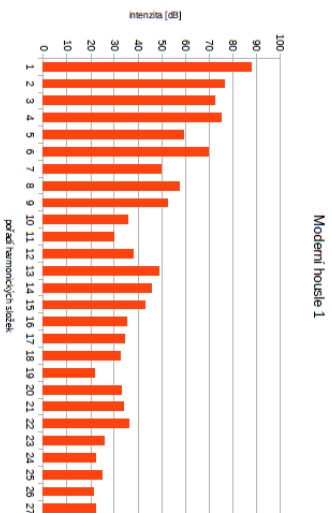


Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou **466 Hz**
 a1s' (A=440 Hz), resp. a' (A=415 Hz)



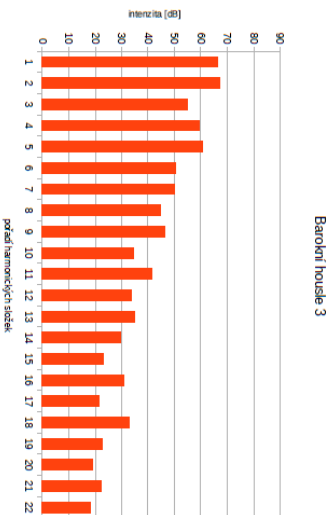
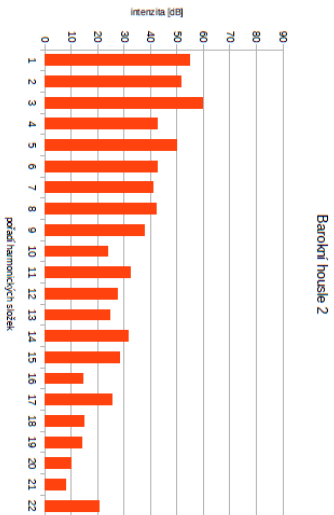
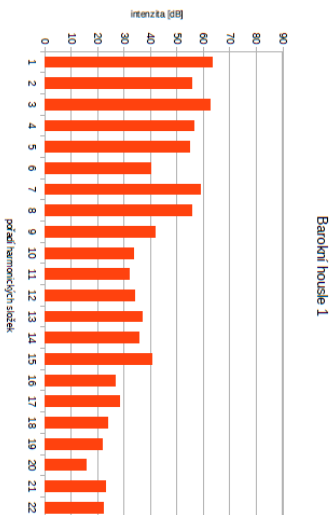
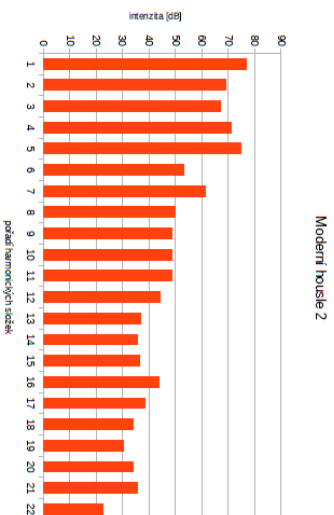
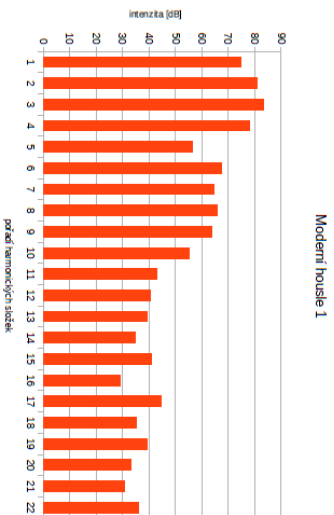
Příloha č. 14 Graf 5.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou 554 Hz
 cis' (A=440 Hz), resp. c'' (A=415 Hz)



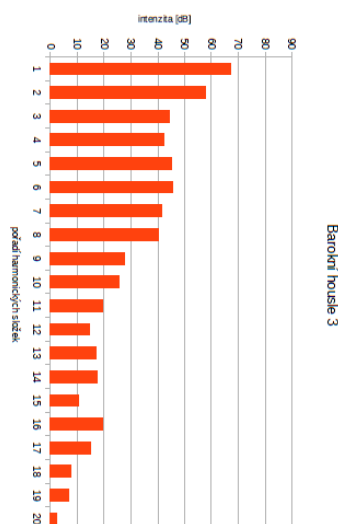
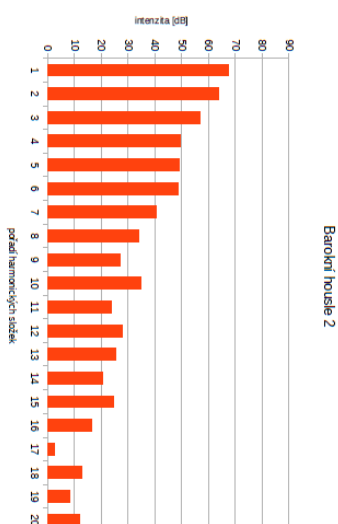
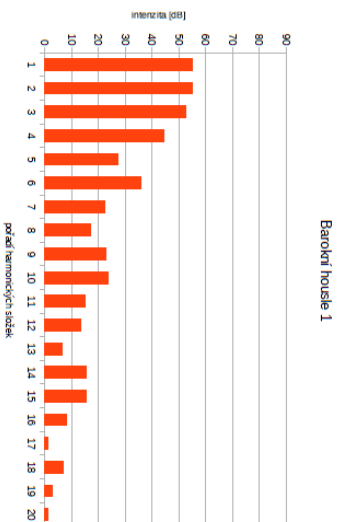
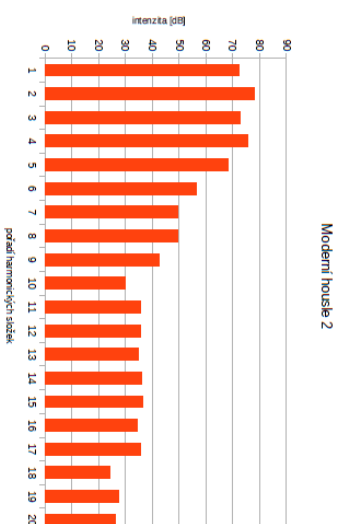
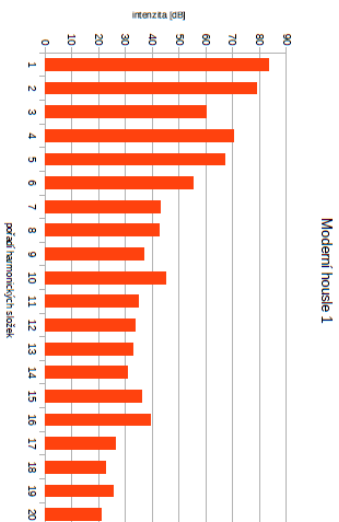
Příloha č. 15 Graf 6.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou 698 Hz
 e1s" (A=440 Hz), resp. e" (A=415 Hz)



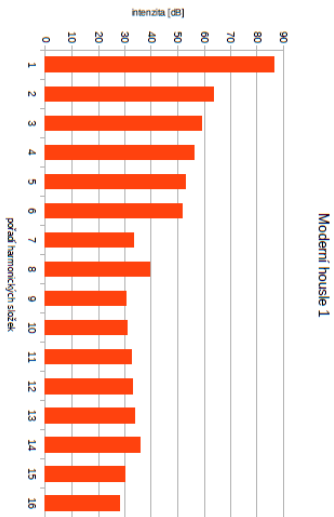
Příloha č. 16 Graf 7.2

Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou **784 Hz**
 g'' ($A=440$ Hz), resp. Ges'' ($A=415$ Hz)

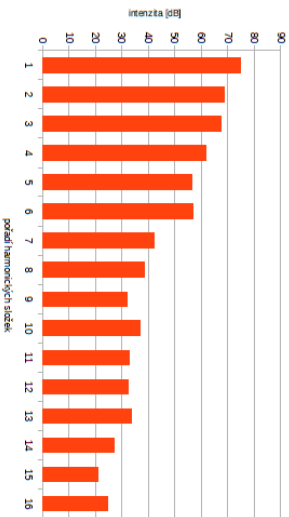


Příloha č. 17 Graf 8.2

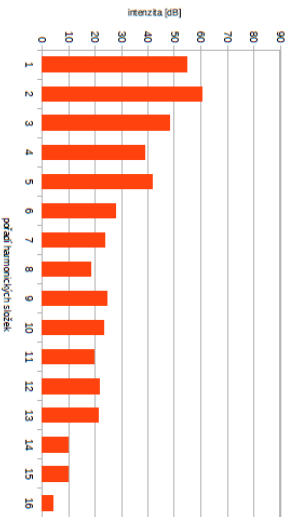
Frekvenční spektrální analýza harmonických složek tónu se základní harmonickou **1174 Hz**
 eis' (A=440 Hz), resp. Des''' (A=415 Hz)



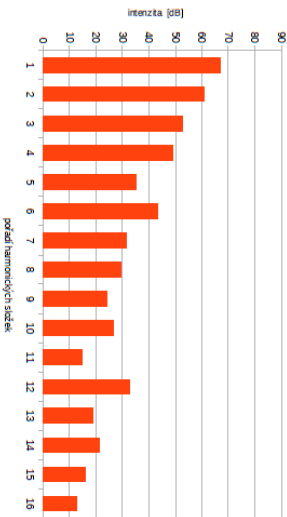
Moderní housle 1



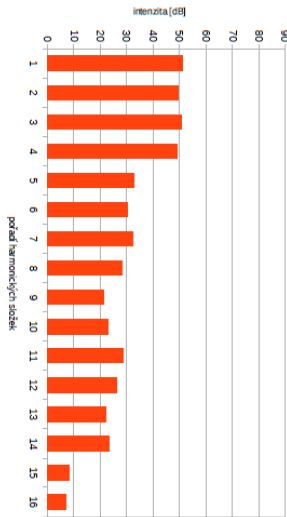
Moderní housle 2



Barokní housle 1

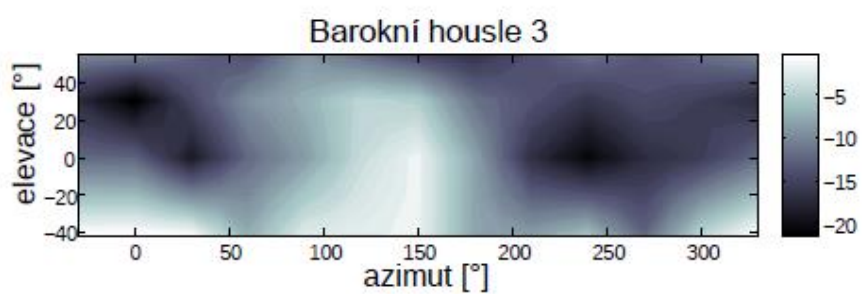
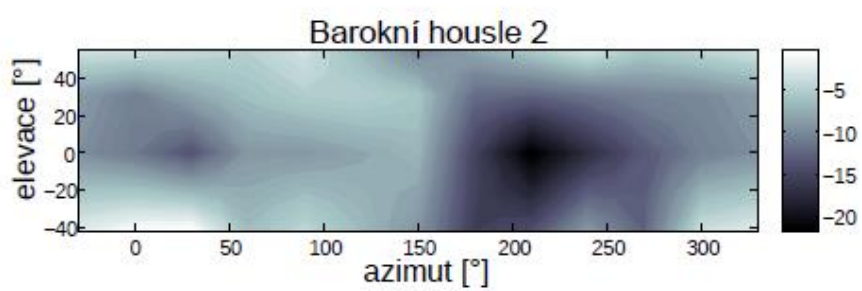
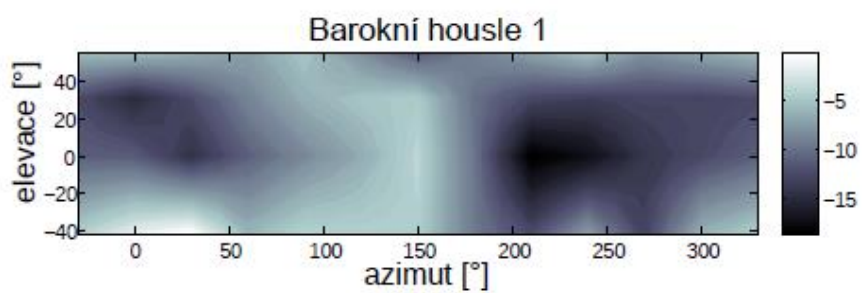
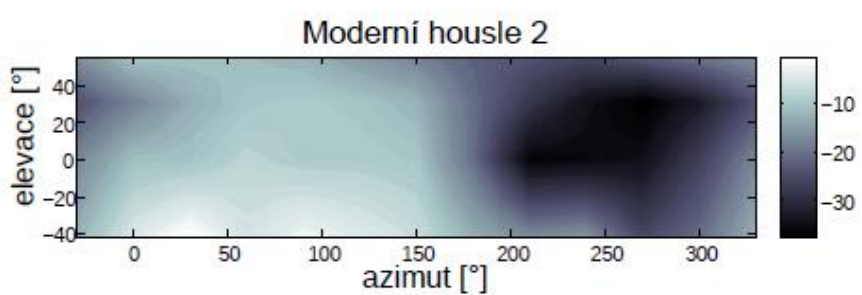
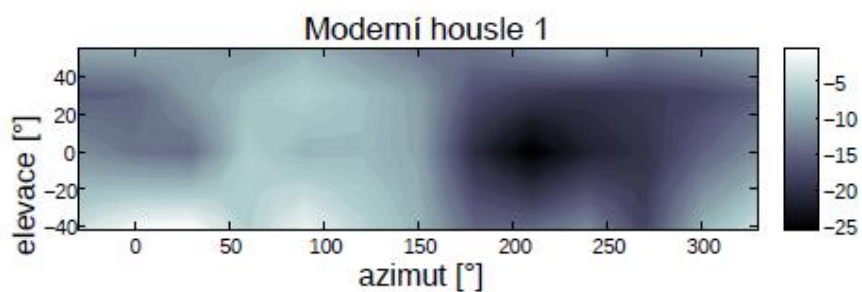


Barokní housle 2

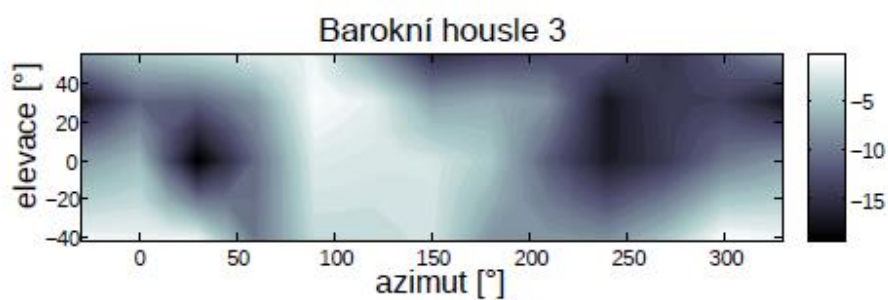
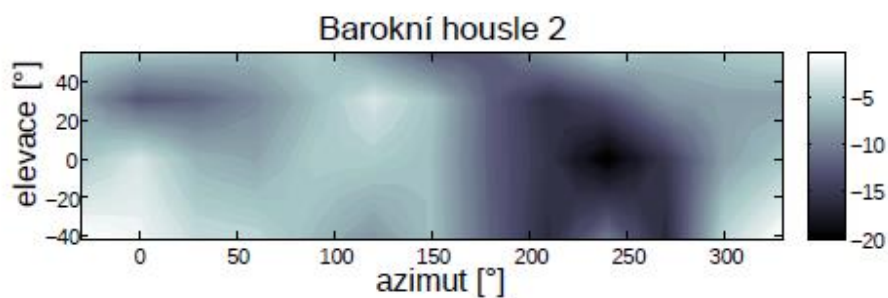
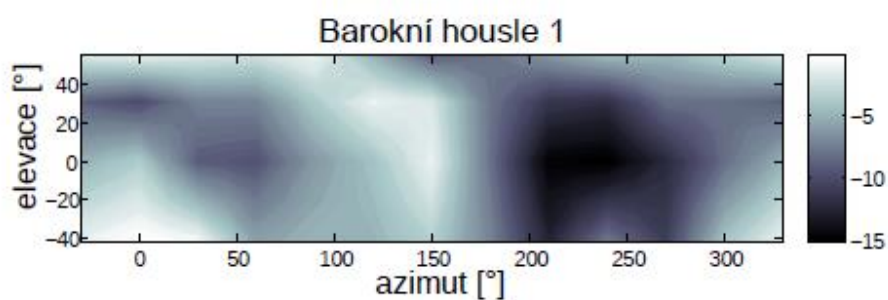
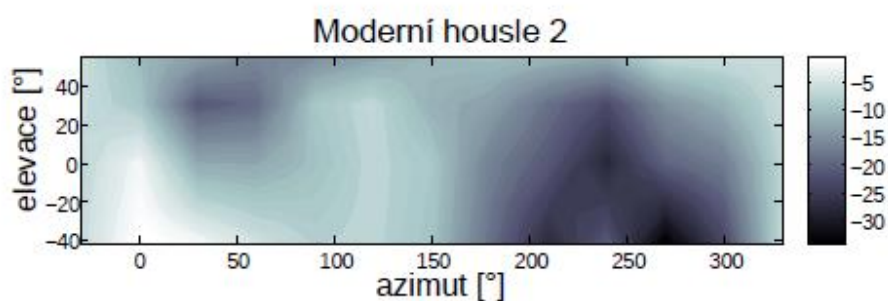
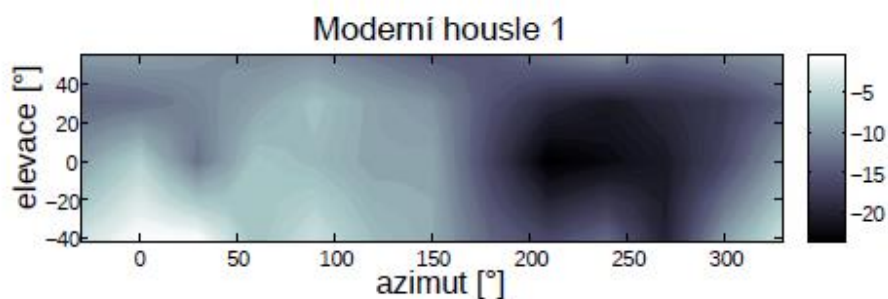


Barokní housle 3

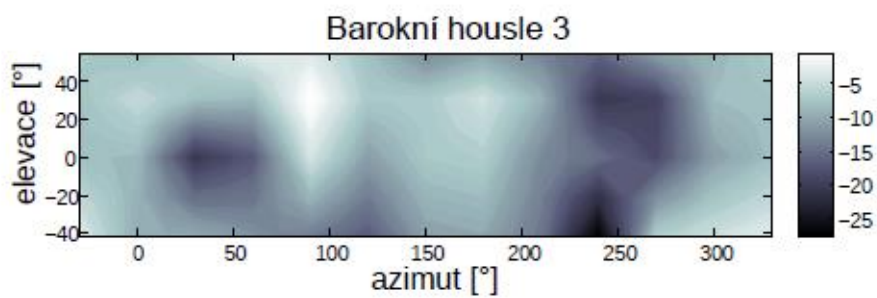
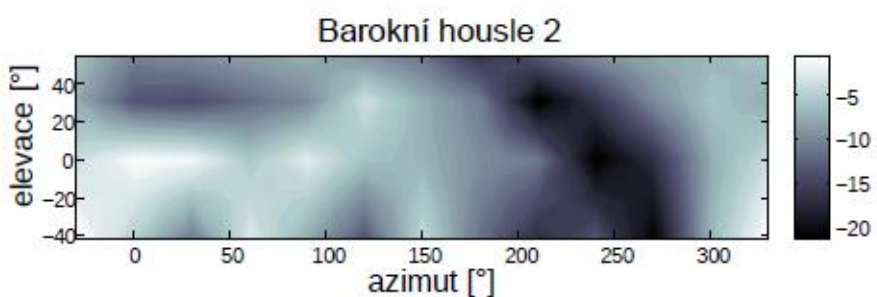
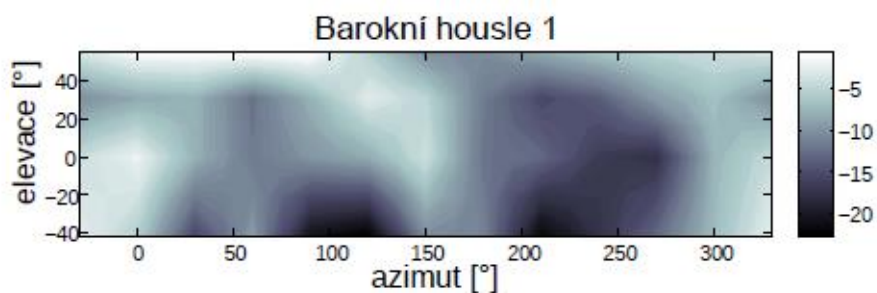
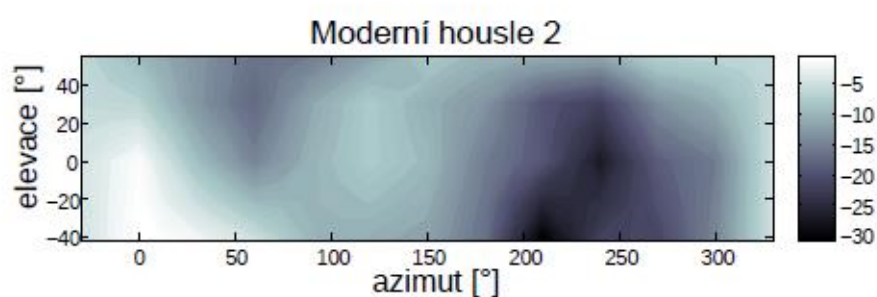
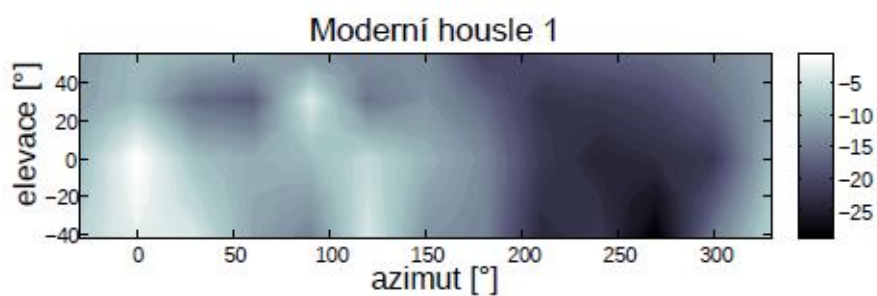
Příloha č. 18 Graf 9.1



Příloha č. 19 Graf 9.2



Příloha č. 20 Graf 9.3



Příloha č. 21 Graf 9.4

