

Nikolaj Sajko

SNG Maribor, Konservatorij za glasbo in balet Maribor

LOKOVANJA GODALNEGA ORKESTRA Z VIDIKA FIZIKALNIH IN FIZIOLOŠKIH LASTNOSTI PRODUKCIJE IN ZAZNAVANJA TONA

Izvleček

Pričujoči članek obravnava problem poenotenja lokovanj med sekcijami godalnega orkestra z analizo fizikalnih lastnosti produkcije tona in fizioloških lastnosti njegovega zaznavanja z vidika glasbenega izvajanja. Najprej so razčlenjeni gibanje z lokom potezane strune s pomočjo različnih fizikalnih modelov ter tri spremenljivke, s katerimi glasbeniki vplivajo na formiranje tona (pritisk loka, hitrost loka in razdalja loka od kobilice). V nadaljevanju je analizirano, kako vpliva na oblikovanje zvena telo inštrumenta, razlike med violino, violo, violončelom in kontrabasom ter kako slušni sistem poslušalca zazna zvok godal. Obravnavane so razlike v igralni tehniki med skupinami inštrumentov. Ugotovitve kažejo na nujnost uporabe specifičnih lokovanj v orkestrskih sekcijah, prilagojenih značilnostim produkcije in zaznavanja tona glede na vrsto godala.

Ključne besede: godalni orkester, lokovanja, produkcija tona, zaznavanje tona, igralna tehnika, gibanje strune, zvenski spekter

Abstract

Bowings in string orchestra from the viewpoint of physical and physiological characteristics of sound production and perception

The following article is dealing with the issues of unifying bowings across sections of a string orchestra through analysis of physical properties of sound production and physiological properties of sound perception from a performer's point of view. First, behavior of a bowed string is explained using various models, and the three variables that manipulate the sound are analyzed (bow pressure, bow speed, distance from the bridge). Next, the impact of the instrument's body on sound formation is examined along with the differences between violin, viola, cello and double bass, together with aural perception of the sound considering each instrument. Differences in performance technique are discussed. Findings show the need to use section-specific bowings that are adjusted to characteristics of each instrument's sound production and perception.

Key words: string orchestra, bowings, tone production, tone perception, performance technique, bowed string movement, sound spectrum

Uvod

Problem orkestrskega igranja lahko opišemo takole: skupina izvajalcev, pri kateri izhaja vsak posameznik iz (vsaj nekoliko) drugačne šole igranja, želi na inštrumente z različnimi lastnostmi (glede skupine inštrumentov – violina, viola, violončelo, kontrabas – in glede vsakega posameznega inštrumenta) zaigrati določeno znamenje v notnem zapisu na enak način. Če želimo ob objektivnih razlikah inštrumentov, osebnih stilov in tehnik igranja posameznih glasbenikov igranje skupine poenotiti, je potrebno med drugim poznati in upoštevati osnovne fizikalne lastnosti produkcije in zaznavanja tona pri godalih ter razlike med posameznimi skupinami inštrumentov. Vsaka skupina godalnih inštrumentov ima specifične značilnosti produkcije tona in njegovega zaznavanja, zato je potrebno prilagoditi lokovanja razen notnemu zapisu in izvajalski praksi obdobja, v katerem je izvajana skladba nastala, tudi fizikalnim lastnostim produkcije tona godal ter fiziološkim lastnostim zaznavanja tona. Neredko se namreč v orkestru dogaja, da ima pri pripravi lokovanj glavno besedo koncertni mojster, ostale sekcije pa sledijo lokovanjem brez posebnega prilagajanja specifikam svoje sekcije.

Problem in cilji

V članku bomo podrobneje analizirali fizikalne vidike produkcije tona pri godalih in prikazali, zakaj neposreden prenos lokovanj oziroma dejavnikov lokovanja (hitrost loka, razdalja loka od kobilice in pritisk loka) med sekcijami ni smotrno z vidika kakovosti in ustreznosti produkcije tona.

Uporaba osnovnih lokovnih potez naj bi pri izvajalcih potekala na podzavestnem nivoju, saj naj bi se pravih gibov do avtomatske rabe naučili v času študija inštrumenta. Učenje igranja zato večinoma poteka s povezovanjem giba z zvokom (Mantel, 1995). Tak način učenja je smiseln, saj za priučeno in avtomatsko vzpostavljanje povezave med gibom in zvokom ne potrebujemo kot posrednika teoretične razlage. Glasbeniki se med študijem večinoma seznanijo le z osnovnimi fizikalnimi dejstvi glede produkcije tona. Odgovore na mnoga vprašanja o izbiri najprimernejšega lokovanja in o njegovi funkcionalnosti znotraj določene sekcije pa lahko dobimo s podrobnim poznavanjem fizikalnih lastnosti produkcije in zaznavanja tona pri godalih. Te so v stroki sicer dobro raziskane, vendar relevantna strokovna literatura zaradi znanstvene metodologije praviloma nima uporabne vrednosti za glasbene izvajalce: opisi ne vzpostavljajo vzročno-posledičnih odnosov med gibanjem strune in glasbeno zaželenimi zvoki ter se ne ukvarjajo s psihoakustiko oziroma s fiziološkimi problemi zaznavanja tonov. Obstoječa literatura se tudi ne posveča razlikam med skupinami inštrumentov.

Metodologija

Raziskovalni pristop je teoretičen in ne temelji na empirični metodologiji.

Uporabljena je deskriptivna metoda (podroben opis procesa produkcije tona pri godalih) in metoda analize ter sinteze (analiziranje razlik med skupinami inštrumentov in njihov vpliv na principe izdelovanja lokovanj).

Helmholtzev nihajni tip kot osnovni opis nihanja z lokom potezane strune

Nihanje z lokom potezane strune je bilo predmet raziskav že v 19. stoletju, vendar je bilo dodobra pojasnjeno šele v drugi polovici 20. stoletja. Temelje raziskovanj je postavil Hermann von Helmholtz, ko je odkril, kako se giblje z lokom potezana struna, pri kateri zanemarimo njeno togost, longitudinalno in torzijsko gibanje.

Helmholtzevo nihanje strune opisuje gibanje z lokom potezane strune na sledeč način: lok, ki je – poenostavljeno – »zelo tanek« snopič primerno dolge in napete žime, namazane s kolofonijo, stalno vzdržuje vsiljeno nihanje (Adlešič, 1964). Zaradi kolofonije se struna in žima sprimeta (faza oprijemanja). Ko se struna dovolj izboči in postane njena transverzalna sila večja od adhezijske sile kolofonije, se od loka odlepi (faza polzenja), vrne proti izhodiščnemu položaju z višjo hitrostjo in umiri v nasprotni skrajni legi, kjer se ponovno sprime z žimo, in cikel se ponovi. Frekvenca cikla je enaka frekvenci tona. Hitrost gibanja strune v točki stika z lokom je enaka hitrosti vlečenja loka v fazi oprijemanja, v fazi polzenja pa je višja.

Pri potezanju strune z lokom nastane na struni potujoči kót oziroma val (na sliki 1 označen s polnimi črtami), ki se giblje vzdolž strune. Od mesta potezanja se ta kót giblje proti sedlu in nazaj do mesta potezanja, struna in lok sta ves čas sprijeta. Struna se od loka odlepi – kót potuje od mesta potezanja do kobilice in nazaj, medtem struna polzi v nasprotni smeri od potezanja loka. Pot, ki jo opiše kót, daje vtis, da struna niha v obliki parabole (na sliki 1 je to označeno s prekinjenimi črtami).

Slika 1: Oblika nihanja strune.

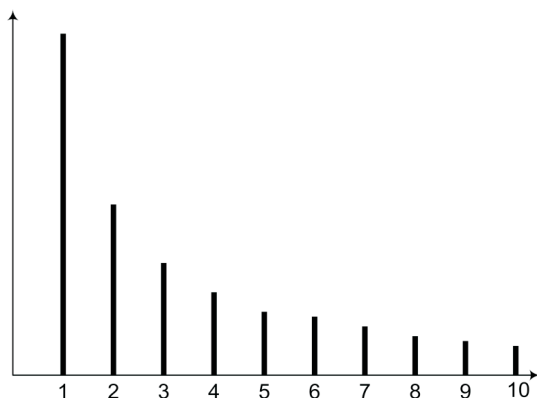


V principu je nihanje z lokom potezane strune podobno žagastemu nihanju. S pomočjo Furierjeve vrste zapišemo žagasto nihanje kot:

$$f(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin 2\pi k f t}{k}$$

Iz enačbe je razvidno, da amplitude komponent upadajo sorazmerno z njihovim redom, prisotni pa so vsi alikvoti. Slika 2 prikazuje zvenski spekter žagastega nihanja za prvih 10 frekvenc.

Slika 2: Zvenski spekter žagastega nihanja, amplitude upadajo sorazmerno z njihovim redom.



Če zanemarimo širino žimnega traku in predpostavimo, da se žima dotika strune zgolj v točki, se v točki stika žime s struno ustvarja umetni vozle, zaradi česar zvenske komponente, ki imajo vozle v kontaktni točki loka, po tej razlagi ne morejo nastati. Na primer: če potezamo struno na 1/3 njene dolžine, se ne razvijejo alikvoti mnogokratnika števila 3: 3, 6, 9, 12...

Izvajalčev cilj je torej vzbuditi Helmholtzevo nihanje strune, kar z določenimi lokovnimi potezami doseže in z drugimi ne; včasih je potreben daljši čas potezanja, preden prične struna nihati v Helmholtzevem tipu (Woodhouse & Galluzzo, 2004), pred tem pa nastajajo prehodni zvoki oziroma tranzienti. Gre za problem »igralnosti« oziroma za vprašanje, s kolikšno lahkoto se struna odziva namenom izvajalca.

Druga pomembnejša spoznanja pri opisu gibanja z lokom potezane strune

C. V. Raman se je leta 1920 ukvarjal z vprašanjem, kako zanihati struno v Helmholtzevem tipu. Prišel je do naslednjih ugotovitev (Woodhouse & Galluzzo, 2004):

- Pri srednji hitrosti loka se za zbujanje nihanja strune v Helmholtzevem tipu potreben pritisk loka na struno spreminja v obratnem sorazmerju s kvadratom razdalje loka od kobilice.
- Če je hitrost loka zelo majhna, se potreben pritisk bliža minimalni vrednosti. Če hitrost povečamo, se pritisk večja sprva polagoma, kasneje pa strmo.
- Za igranje potreben pritisk ni enak za vsako frekvenco – ujema se z resonančnimi frekvencami trupa inštrumenta.

V drugi polovici 20. stoletja je bila po mnenju raziskovalcev razložena večina ostalih relevantnih pojavov (Woodhouse & Galluzzo, 2004; Beament, 1997). Zaradi preglednosti so navedene samo pomembnejše ugotovitve in pojavi brez njihovih podrobnih opisov in vzročno-posledičnih zvez:

- Pri manjšem pritisku loka na struno je potujoči kót strune zaokrožen zaradi togosti strune, pri večjem pritisku se zaokroženost zmanjša.
- Zaokroženost kóta vpliva na zvenski spekter: večja kot je zaokroženost, manjši je delež alikvotov.
- Pri prehodu med fazo oprijemanja in fazo polzenja se zaradi visoke adhezijske sile oziroma sile trenja gibanje strune odkloni od Helmholtzevega nihanja, s tem nastane dodatno nihanje, ki je odvisno od pozicije kontaktne točke loka in strune.
- Pri previsokih pritiskih loka na struno se poveča perioda nihanja – višina tona se zniža.
- Struna ima določeno upornost proti ukrivljanju. Zaradi togosti strune in njenega notranjega dušenja zveni struna manj harmonično – alikvoti so glede na osnovni ton previsoki.
- Torzijsko gibanje strune: sila loka na struno, ki se strune tangentno dotika, povzroči, da se struna torzijsko giblje okoli svoje osi, to nihanje ima osnovno frekvenco pod osnovno frekvenco strune. Eksperimentalno je bilo ugotovljeno, da pri muzikalnem potezanju strune (kadar je lok potezal izučen glasbenik) torzijsko nihanje nadomesti zaradi kontaktne točke loka manjkajoče alikvote.
- Nihanje kobilice vpliva na odboj transversalnih valov (vzdolž strune), kobilica zaniha v smeri strune dvakrat v času enega nihaja, kar okrepi sode zvenske komponente.
- Elastičnost žime: če bi bila žima popolnoma toga, bi bila faza oprijemanja precej krajša. Elastične lastnosti žime omogočajo, da traja faza oprijemanja dlje, kar pomeni, da se gibanje žime razlikuje od gibanja palice loka. Žima

ima svoje lastno nihanje, ki ustreza frekvenci Helmholtzevega gibanja strune. Elastičnost pride do izraza pri igranju z visokim pritiskom loka in povzroči »sijoč« ton.

- Elastičnost palice loka dodatno doprinese k nihanju žime.
- Širina loka: lok se strune ne dotika v eni točki – zaradi raztezanja žime hitrosti posameznih žimnih vlaken niso med seboj enake, saj se pri nekaterih vlaknih dogaja lokalizirano polzenje, medtem ko so ostala v fazi oprijemanja. Ta pojav je značilen zlasti za igranje *sul ponticello*, dogaja se pa tudi pri navadnem igranju.
- Obnašanje kolofonije: kolofonija se med fazo polzenja segreva in odvaja toploto pri fazi oprijemanja.
- Pred vzpostavitev Helmholtzevega nihanja nastanejo tranzienti, ki so odvisni od pritiska loka na struno in pospeška loka. Tranziente lahko razdelimo v dve skupini: pri prvi je hitrost loka na začetku potezanja enaka nič (pričetek potezanja na struni), pri drugi pa ni enaka nič (lok je v gibanju: menjava strune, *spiccato*...). Tranzienti iz prve skupine so sicer po jakosti močnejši, vendar jih je v primerjavi z drugo skupino lažje nadzirati.

Dejavniki lokovanja

Opisano nihanje strune vzbujamo z variiranjem treh dejavnikov lokovanja oziroma spremenljivk: s hitrostostjo loka, s pritiskom loka na struno in z odmikom loka od kobilice (Mantel, 1972; Kjelland, 2003). Z njimi vplivamo na tri glasbene elemente tona: jakost, artikulacijo oziroma atako tona in *timbre* oziroma barvo tona (razdelitev je narejena glede na potrebe izvajalcev glasbe in ni ustrezna z akustičnega vidika).

Pritisk loka na struno

V izvajalski terminologiji ima izraz »pritisk« negativno konotacijo, s pedagoškega vidika pa se zdi izraz napačen (besedo pritisk povezujemo s stiskanjem), saj moramo vso silo loka na struno pridobiti s sproščenimi mišicami – torej samo s pomočjo teže roke. Med izvajalci in pedagogi se zato ne omenja pritiska loka na struno, temveč težo roke oziroma igranje s pomočjo gravitacije.

Oglejmo si primer povečanja dinamičnega nivoja igranja. Nihanje kobilice in telesa inštrumenta je sorazmerno z amplitudo nihanja strune, kar pomeni, da se jakost zvoka poveča, če povečamo amplitudo nihanja strune. Ko struno z lokom premaknemo iz izhodiščne lege, začne na lok delovati sila, ki želi vrniti struno nazaj v izhodiščno lego in je sorazmerna s kotom med struno in kobilico; vrnitvi strune v osnovni položaj pa nasprotuje adhezijska sila med žimo (kolofonijo) in struno. Lok struno izpusti, ko postane sila strune na lok prevelika. Če povečamo pritisk loka na struno, povečamo adhezijsko silo, kar omogoča, da premaknemo

struno dlje od izhodiščne lege – s tem dobimo večjo amplitudo nihanja, ki je pogoj za večjo jakost zvoka (Mantel, 1995).

Oglejmo si, kaj se dogaja s Helmholtzevim gibanjem strune pri povečanju pritiska in ohranitvi hitrosti loka:

V fazi oprijemanja uspe lok zaradi povečanega pritiska odmakniti struno dlje, ta se v fazi polzenja vrne v nasprotno ekstremno lego, kjer pa se mora prilagoditi hitrosti loka, ki je nespremenjena, kar dojamemo kot spremembo v zvoku. Cikel se ponavlja – povečanje amplitude je ovirano, ton postane šibkejši, namesto da bi bil močnejši.

Če želimo povečati amplitudo, moramo poleg povečanja pritiska prilagoditi tudi hitrost loka (ali premakniti lok bliže h kobilici – glej spodaj).

Pri igranju z večjim pritiskom se spremeni tudi kót, ki potuje po struni (Helmholtzevo gibanje). Pri igranju z manjšim pritiskom kót nima popolne »V« oblike, temveč je vrh nekoliko zaokrožen zaradi togosti strune. Ta zaokroženost vpliva na delež alikvotov: čim manjša je zaokroženost (torej večji kot je pritisk), več je alikvotov – ton je bolj sijoč.

Hitrost loka

Povečanje dinamičnega nivoja lahko razložimo tudi z vidika povečanja hitrosti loka.

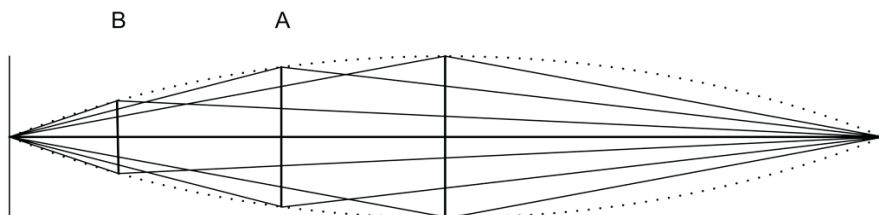
Če povečamo hitrost loka na višjo konstantno hitrost, premikamo struno dlje v enakem času kot prej, hkrati pa moramo premagati tudi silo, ki želi vrniti struno v izhodiščno lego, ki je zaradi večjega odmika močnejša kot prej. Povečati moramo torej tudi adhezijsko silo med lokom in struno, kar pomeni povečati pritisk.

Če povečamo samo hitrost loka (pritisk in kontaktna točka pa ostaneta enaka), je pri povišani hitrosti adhezijska sila med žimo in struno premajhna, posledica tega je, da ne nastane Helmholtzevo nihanje, temveč nihanje višjega reda (Woodhouse & Galluzzo, 2004). Namesto enega kota nastaneta dva, ki se gibljeta v nasprotni smeri. Tak ton je nestabilen in z nizkim deležem alikvotov, najmočnejša pa je komponenta zvena, ki ustreza redu nihajnega tipa. Ob določenih pogojih se osnovni ton sploh ne oglasi, kar pomeni, da je zven za oktavo višji.

Razdalja od kobilice

Z vidika gibanja vala (kóta) po struni je vseeno, v kateri točki struno potezamo – kót bo vedno naredil enako pot. Različno dolge bodo faze oprijemanja in polzenja.

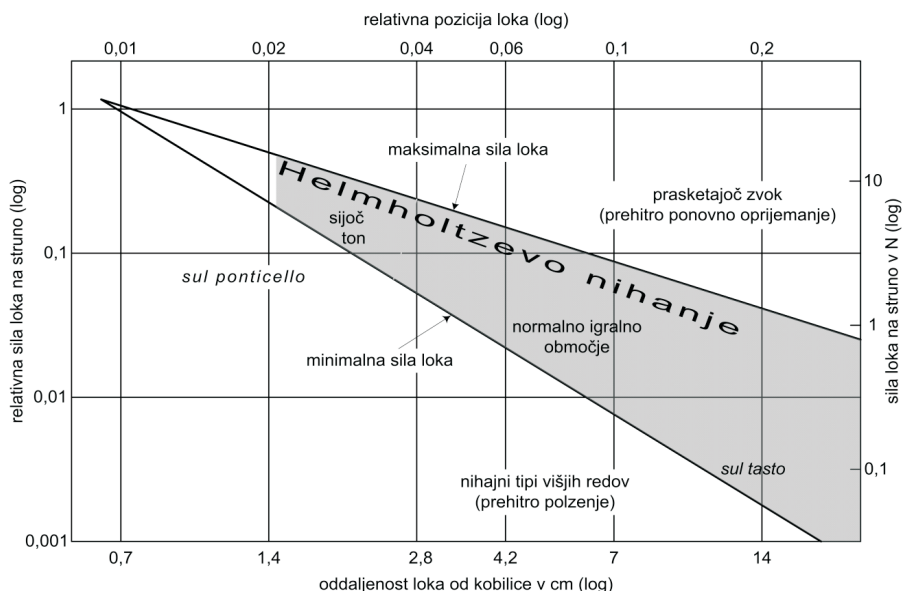
Slika 3: Potezanje na različnih razdaljah od kobilice zahteva različne hitrosti loka.



Če potevamo struno v točki A (slika 3), ki se nahaja recimo na 1/5 dolžine strune, mora lok vleči struno razmeroma dolgo, da bi jo zanihal v določeni amplitudi.

Če lok premaknemo v točko B, moramo za želeno amplitudo napraviti krajšo pot – s pomikanjem mesta potezanja proti kobilici lahko z opravljeno krajšo potjo dobimo večje amplitude. Pri večjih amplitudah pa je večja tudi sila strune na lok, tako da moramo povečati tudi pritisk loka. S spremembo kontaktne točke loka lahko torej povečamo amplitudo, ne da bi bilo treba spremeniti hitrost loka. Odvisnost med razdaljo od kobilice in pritiskom loka lahko ponazorimo z diagramom, ki ga je izdelal Schelleng leta 1971 (Schelleng, 1973) – slika 4.

Slika 4: Schellengov diagram: igralno območje a-strune violončela pri potezanju s konstantno hitrostjo loka 20 cm/s



Ramanova ugotovitev, da se potrebni pritisk loka na struno spreminja v obratnem sorazmerju s kvadratom razdalje loka od kobilice, je bila s Schellengovimi raziskavami še razširjena: z eksperimenti je bilo ugotovljeno, da je maksimalna sila loka obratno sorazmerna z razdaljo loka od kobilice. Če pri grafičnem prikazu uporabimo logaritemsko skalo, dobimo dve premici, med njima označeno področje prikazuje razpon sile loka, pri katerem lahko dosežemo Helmholtzev tip nihanja. Če je sila loka premajhna, se struna od loka prehitro odlepi in nastane nihanje višjih redov. Če pa je sila prevelika, se struna ne uspe vrniti nazaj, saj se z lokom prehitro sprime – nastane hripav oziroma prasketajoč zvok.

Bolj ko se bližamo kobilici, manjša je razlika med minimalnim in maksimalnim pritiskom loka, hkrati pa se oba pritiska povečujeta. Iz tega sledi, da je stabilno vodenje loka pri kobilici zahtevnejše.

S pomikanjem loka proti kobilici se povečuje delež alikvotov, s povečanim pritiskom se poveča tudi obseg nihanja žime in palice loka (zaradi elastičnosti žime oziroma palice) – ton postane sijoč (*strahlend, brilliant*). Ton izgubi svojo sijočo kvaliteto, če je pritisk na struno prevelik ali če držimo lok v roki preveč trdno – s tem zadušimo lastno nihanje palice loka in posledično žime.

Pravila produkcije tona

Iz prej analiziranih dejavnikov lokovanja lahko izpeljemo nekaj osnovnih pravil produkcije tona:

- Če želimo povečati jakost tona, moramo povečati pritisk, hkrati pa bodisi povečati hitrost loka bodisi premakniti kontaktno točko bliže h kobilici.
- Večja hitrost loka zahteva povečan pritisk (kar poveča tudi jakost tona) oziroma premik kontaktne točke proti ubiralki (jakost tona ostane enaka).
- Če premaknemo kontaktno točko proti kobilici, moramo zmanjšati hitrost loka (jakost tona ostane enaka) ali povečati pritisk (kar povzroči, da se jakost tona poveča).
- Kadar je z levo roko struna skrajšana (torej ni prazna), je potrebno igrati bliže pri kobilici, saj se zaradi krajše strune razmerja zmanjšajo oziroma »premaknejo« bliže h kobilici.
- Kontaktne točke niso enake pri vseh strunah: nižje strune je potrebno ptezati bliže pri ubiralki kot višje.
Povezava med amplitudo nihanja in jakostjo zvoka velja le za določeno frekvenco, ustrežnejša je povezava med energijo nihanja in jakostjo zvoka. Energija nihanja je produkt med frekvenco in amplitudo, kar pomeni, da imajo strune z nižjo frekvenco večjo amplitudo, ki zahteva, da jih ptezamo nekoliko bliže pri ubiralki (Mantel, 1995).

S fizikalnega vidika so torej omejene možnosti izbire različnih lokovanj, pri katerih se ohranja enakomeren ton z enako barvo. Z muzikalnega vidika pa je takšno igranje le redko potrebno, saj vsaka glasbena misel zahteva določeno fraziranje, torej spreminjanje jakosti tona oziroma barve.

Ataka tona

Obstajata dva načina vzbujanja strune v nihanje: vzbujanje v fazi polzenja ali v fazi oprijemanja (Schelleng, 1973). Prvo je povezano z mehkim pristankom gibajočega se loka na struni, zaradi manjšega pritiska se najprej vzpostavi faza polzenja. Frekvenca takšnega nastavka ni nujno enaka frekvenci polno razvitega tona. Zaradi tega in zaradi dejstva, da tako vzbujeni ton nima nikakršnega artikulacijskega značaja oziroma ima na začetku majhen *crescendo*, se uporablja redkeje.

Drugi način vzbujanja tona je povezan z začetnim »potrzanjem« strune, lahko tudi rečemo, da je *quasi pizzicato* (Gigante, 1953 govori o "ugrizu" loka: *bow bite*). Ob predhodnem apliciranju pritiska lok zagrabi struno, jo potegne do ekstremne lege in ko postane njena transversalna sila večja od adhezijske sile kolofonije, se od loka odlepi. Pri tem pomaga tudi perkusija leve roke: prsti delujejo na struno kot kladivca klavirja, zaradi odsotnosti perkusije je prazno struno tudi težje zbuditi.

Vpliv inštrumenta na zvok

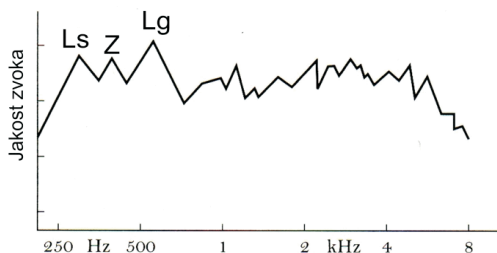
Telo inštrumenta okrepi in seva v prostor zven, ki ga glasbenik ustvari s potezanjem ali trzanjem strune, hkrati pa modificira zvenski spekter.

F. A. Saunders je v tridesetih letih 20. stoletja meril jakost zvoka inštrumenta pri močnem lokovanju v odvisnosti od frekvence (Beament, 1997). Ugotovil je, da se vrednosti razmerja v celotnem obsegu inštrumenta precej razlikujejo. Te vrednosti povedo, kako se inštrument odziva na potezanje z lokom (krivulja odzivnosti inštrumenta). V modernem času se je uveljavila druga metoda merjenja: na vrh kobilice se vsili sinusno nihanje, nato pa se meri količina energije, ki jo inštrument odvzame (resonančna krivulja inštrumenta). Prednosti slednje metode so v tem, da se izloči nenatančnosti izvajalca in se natančno ugotovi, koliko energije odvzame inštrument pri točno določeni frekvenci, vendar pa ne vemo natančno, za kaj se ta energija porabi (pri različnih frekvencah potrebuje inštrument različno količino energije za nihanje lesa), saj ne merimo oddanega zvoka. Tretja metoda odpravlja to slabost, na kobilico se vsili sinusni ton, nato pa z mikrofonom merimo oddani zvok.

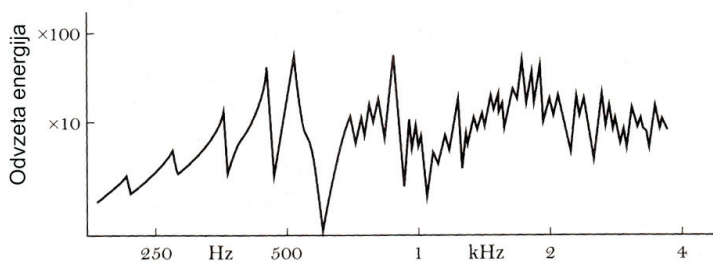
Slika 5: (krivulja odzivnosti) prikazuje variacije v jakosti zvoka dobre violine pri zaporedno zaigranih kromatičnih tonih, slika 6 prikazuje resonančno krivuljo violine. Na krivulji odzivnosti so označeni trije vrhovi: **Z** se ujema z resonanco zraka (*air resonance*), **Lg** pa se ujema z glavno resonanco lesa (*wood resonance*).

Lesna resonanca je lastna frekvenca trupa inštrumenta in ima dva vrhova (**Lg** in **Ls**). Resonanca zraka je lastna frekvenca zračnega stolpca v inštrumentu in je pri dobrih violinah kvinto pod glavno lesno resonanco (**Lg**). **Ls** prikazuje subharmonsko lesno resonanco, ki je pri dobrih violinah oktavo pod glavno lesno resonanco. Trije opisani resonančni vrhovi obstajajo pri vseh klasično grajenih inštrumentih, njihova pozicija pa se ujema samo približno (Jansson, 2002).

Slika 5: Primer prikaza odzivnosti.¹



Slika 6: Primer resonančne krivulje.



Resonančne krivulje imajo precej večje število resonančnih vrhov, kot je vrhov odzivnosti, hkrati pa zelo nepravilen vzorec, ki je značilen za posamezni inštrument. Dobra violina ima resonance do 8 kHz (čeprav segajo komponente violinskega zvoka v visokih legah do 30 kHz), viola do 7 kHz, violončelo do 5 kHz ter kontrabas do 2,5 kHz.

Poleg treh prej omenjenih resonanc se na resonančni krivulji lahko določi še maksimum, ki nastane zaradi resonance kobilice. Violinska kobilica ima resonanci pri 3 kHz in 6 kHz, kobilica violončela pa pri 2,1 kHz in 3 kHz. Pomembna je predvsem nižja resonanca, ki lahko ojača zvok v legah, bistvenih za solistično igranje, saj okrepi alikvote, ki se pojavijo pri sijočem tonu (Beament, 1997).

¹ Slika 5 in slika 6 sta povzeti po Jansson, 2002.

Resonance pri violi, violončelu in kontrbasu

Če za violino velja, da je njena velikost v približnem sorazmerju z višinami tonov, na katere je uglasena, to ne velja za ostale tri člane družine godal. Razmerja med inštrumenti prikazuje tabela 1.

Tabela 1: Potrebne velikosti inštrumentov za ohranjanje resonančnih vrhov.²

	Violina	Viola	Violončelo	Kontrabas
Dolžina trupa (mm)	355	407	735	1090
Dolžina, ki bi bila potrebna, da bi se lesni resonanci ujemali z violino (mm)	355	538	1065	1725
Razmerje med volumnom trupa in volumnom trupa violine	1	1,5	17	58
Razmerje volumna, ki bi bilo potrebno, da se resonanca zraka ujema z resonanco zraka violine	1	1,5	17,5	68

Iz podatkov vidimo, da se resonanca lesa, resonanca zraka in subharmonska resonanca ne spreminjajo sorazmerno z velikostjo inštrumenta. Resonance zraka se približno ujemajo z violinskimi, lesna in subharmonska resonanca pa sta pri nižjih inštrumentih višji kot pri violini.

Različna lega resonančnih vrhov vpliva na tipičen zvok violin. Nizke resonance pri violini vplivajo na topel zvok g-strune, višje resonance pri violi vplivajo na šibkost inštrumenta v nizkih legah.

Z izdelovanjem večjih inštrumentov se problema ne da rešiti, saj je nihanje strune omejeno s količino energije, ki jo dovaja lok. Če bi na primer pri violi povečali površino pokrova, bi pri enaki energiji bilo nihanje pokrova manjše in s tem bi bil tudi ton šibkejši.

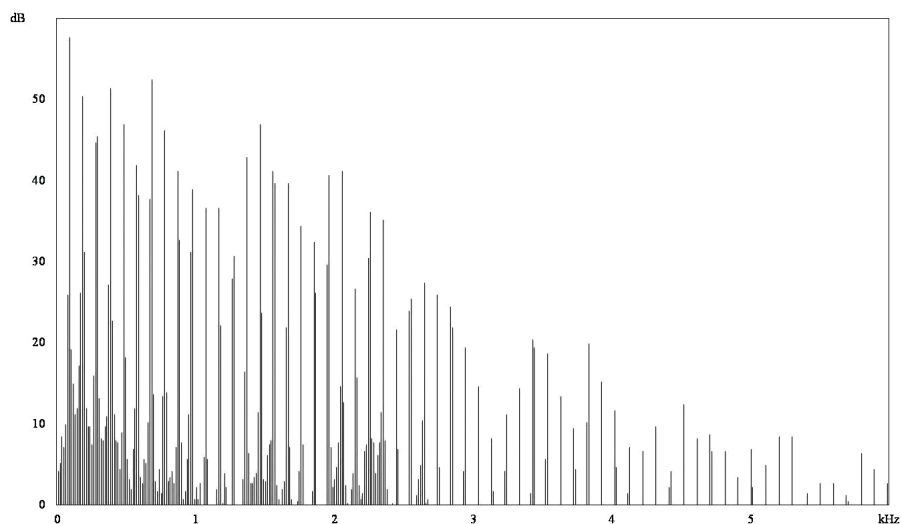
Zvok godal in sluh

Močno potezana struna izseva veliko število alikvotnih tonov. Sliki 7 in 8 prikazujeta dve varianti spektrograma istega posnetka tona G, ki je bil izvajan na violončelu in potezan na sredini med kobilico in ubiralko. Vidnih je več kot 50 alikvotov, ki jim upada jakost. Pri 40. alikvotu je jakost upadla za približno 50 dB. Jasno je vidno tudi prehodno obdobje pred vzpostavitvijo Helmholtzevega nihanja (slika 8).

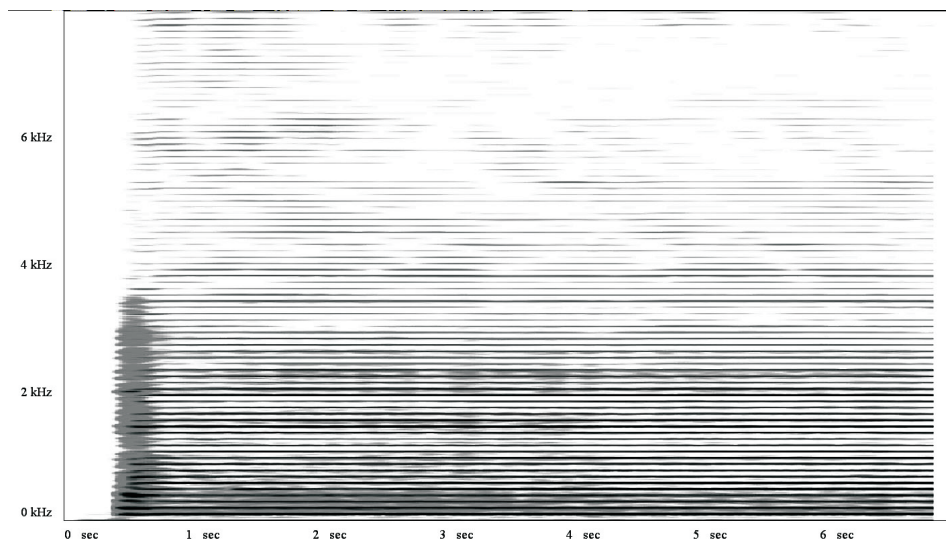
Jakost zvoka upada s kvadratom razdalje od vira zvoka, tako da je v ozadju velike dvorane slišati bistveno manj alikvotov, kot se jih sliši neposredno ob inštrumentu.

² Tabela je povzeta po Beament, 1997.

Slika 7: Spektrogram G-strune violončela – jakost zvoka glede na frekvenco.

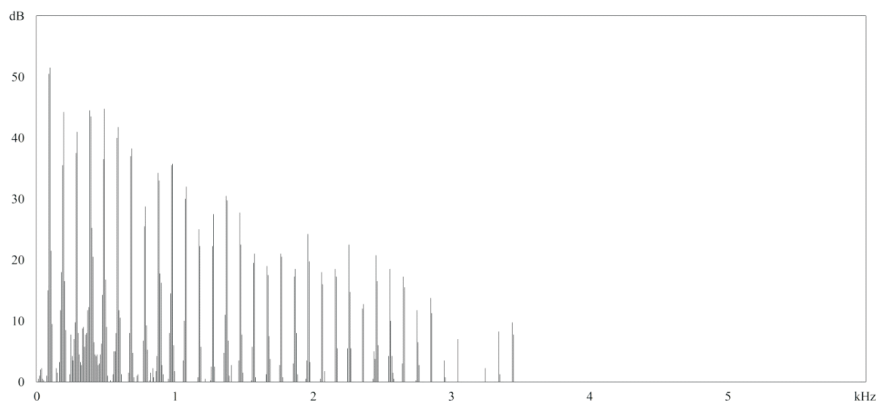


Slika 8: Spektrogram G-strune violončela – frekvence glede na čas.



Slika 9 prikazuje spektrogram G-strune violončela, potezane *sul tasto*: osnovni ton ima enako jakost kot v prejšnjem primeru, delež alikvotov je znatno nižji.

Slika 9: Spektrogram G-strune violončela, potezane *sul tasto*.



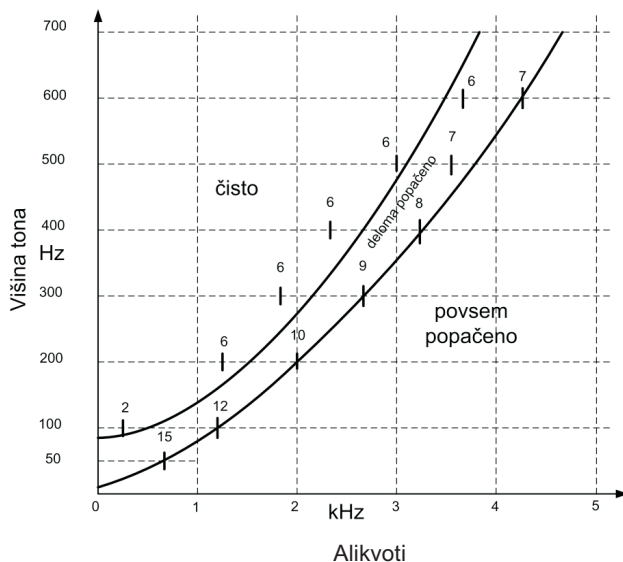
Za izvajalca je zanimivo tudi vprašanje, koliko alikvotov poslušalci slišijo, oziroma kako alikvoti vplivajo na dejansko dožemanje zvoka godal.

Popačenje zaradi bližine frekvenc

Človeški sluh ima lastnost, da frekvenc, ki so blizu skupaj, ne dojema kot dva različna tona, temveč kot popačen zvok. Pri višjih frekvencah mora biti razlika frekvenc vedno višja, da jih še lahko dojamemo kot dva različna tona. Zvok potezane strune je sestavljen iz toliko komponent, da večina alikvotov zapade v področje popolnega popačenja. Na primeru violinine G-strune (200 Hz) so komponente do šestega alikvota znotraj čistega področja, kjer lahko jasno zaznamo vse alikvote, deseti alikvot pa je na robu popolnega popačenja – zaznamo samo šumenje. Alikvoti 7 do 10 so v območju delnega popačenja, kar pomeni, da jih zaznavamo vedno manj jasno.

Slika 10 prikazuje mejo med delno in popolno popačenostjo, z vertikalnimi črticami je označeno število alikvotov, ki padejo v območje delnega oziroma popolnega popačenja.

Slika 10: Meja med čistim, deloma popačenim in popolnoma popačeno zaznanim zvokom.³



V višinah tonov med g do g^2 imajo toni šest čistih alikvotov, popolno popačenje se pri c^1 prične pri desetem alikvotu, pri a^1 pri osmem, pri c^3 je samo še pet čistih alikvotov, vsi ostali so popačeni.

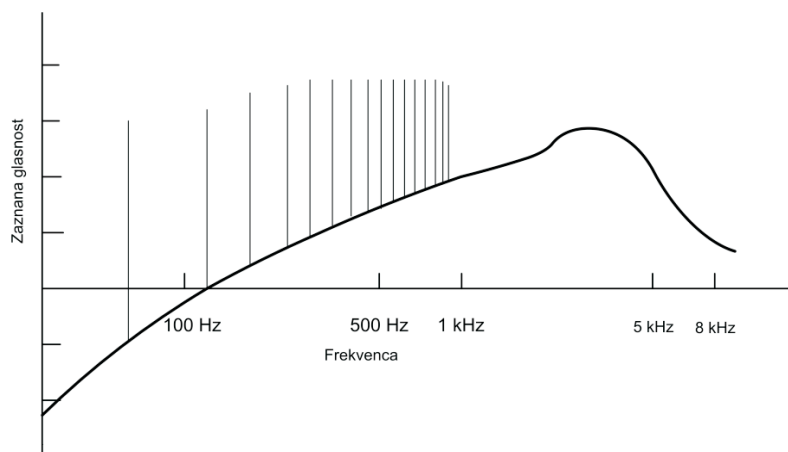
Pri nižjih frekvencah se sluh obnaša drugače: samo prva dva alikvota G-strune violončela sta čista, vendar lahko tone razločimo vse do dvanajstega alikvota. Pri C-struni violončela padejo vsi alikvoti v področje delnega popačenja, vendar jih lahko razločimo vse do petnajstega alikvota. Pri nižjih strunah kontrabasa je popačenje še očitnejše.

Popačenje slišimo kot stalen brneč šum pri kontrabasu in v nizkih legah violončela, pri višje uglasenih instrumentih ga je manj in ima sikajoč značaj (del šuma, ki ga slišimo pri igranju in ga zaznajo tudi merilne naprave, je posledica trenja med žimo in lokom v fazi polzenja). Kadar se igra v bližini ubiralke in z manj pritiska, je šuma manj, saj s tem ustvarjamo manjši delež alikvotov.

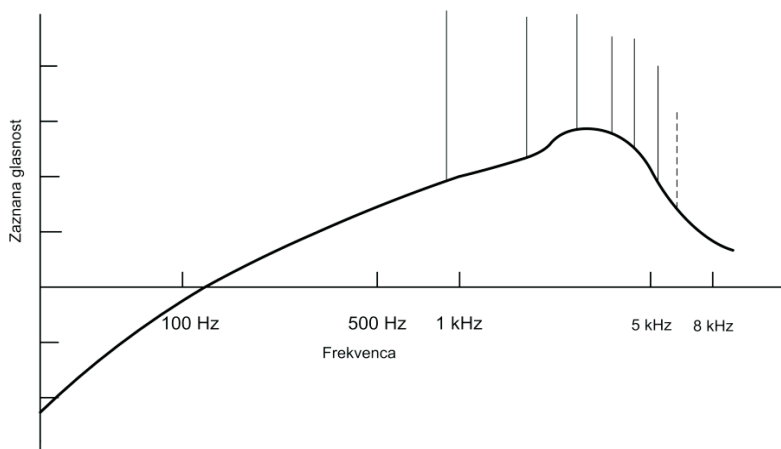
Rečemo lahko, da pri zvoku godal dojamemo 16 alikvotov v nizkih legah, v srednjih legah do 12 in v višjih legah 8 ali manj.

Če se od instrumenta oddaljujemo, upada jakost tona. Ker so amplitude višje ležečih alikvotov manjše od nižje ležečih in od osnovnega tona, ti alikvoti počasi izginejo, kar pomeni, da zvenijo instrumenti manj šumno, v koncertnih dvorinah pa se zaradi oddaljenosti popačenje skoraj več ne opazi.

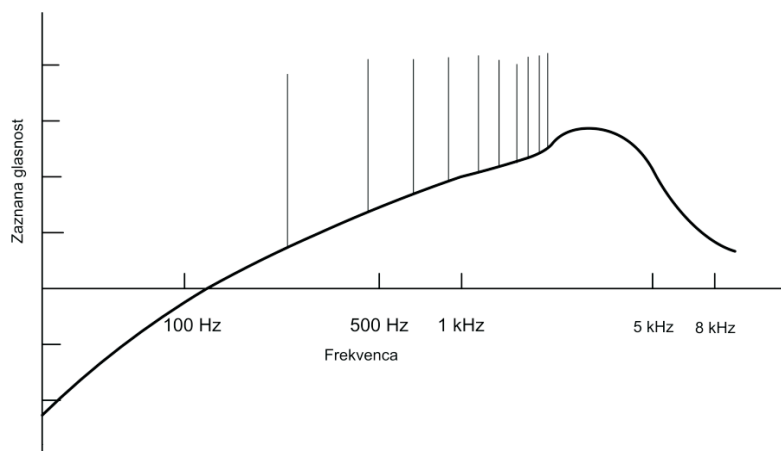
³ Slika 10 je povzeta po Beament, 1997.



Slika 12: Zvenske komponente tona srednje lege glede na krivuljo enake glasnosti.



Slika 13: Zvenske komponente tona visoke lege glede na krivuljo enake glasnosti.



Alikvote godal lahko glede na krivuljo enake glasnosti razdelimo v tri skupine: progresivno naraščajoče (0 – 1 kHz), močne (1 – 5 kHz) in slabo dojete alikvote (nad 5 kHz). Kako so porazdeljeni alikvoti najnižjih in najvišjih strun godal, prikazuje tabela 2.⁴

⁴ Vse navedbe po Beament, 1997.

Tabela 2: Razporeditev zvenskih komponent glede na njihovo glasnost pri igranju na prazne strune.

Prazna struna	Osnovna frekvenca (Hz)	Število dojetih zvenskih komponent	Progresivno naraščajoče zvenske komponente (do 1 kHz)	Močno dojete zvenske komponente (1 kHz – 5 kHz)	Slabo dojete zvenske komponente (nad 5 kHz)
Kontrabas spodnji C ₁	31	16	1. – 16.	-	-
Violončelo C	62	15	1. – 15.	-	-
Viola c	125	11	1. – 8.	9. – 11.	-
Violina g	200	10	1. – 6.	7. – 10.	-
Kontrabas G	100	10	1. – 10.	-	-
Violončelo a	220	10	1. – 5.	6. – 10.	-
Viola a ¹	440	9	1. – 3.	4. – 9.	-
Violina e ²	660	7	1. – 2.	3. – 6.	7

Tabela 3: Razporeditev zvenskih komponent glede na njihovo glasnost pri igranju oktave nad prazno struno.

Oktava nad prazno struno	Osnovna frekvenca (Hz)	Število dojetih zvenskih komponent	Progresivno naraščajoče zvenske komponente (do 1 kHz)	Močno dojete zvenske komponente (1 kHz – 5 kHz)	Slabo dojete zvenske komponente (nad 5 kHz)	Meja inštrumentove resonance (kHz)
Kontrabas g	200	10	1. – 5.	6. – 10.	-	2,5
Violončelo a ¹	440	8	1. – 2.	3. – 8.	-	5
Viola a ²	880	6	1	2. – 5.	6	7
Violina e ³	1320	5	-	1. – 3.	4. – 5.	8

Kadar se po struni vzpenjamo (ubiramo višje tone), se zvok inštrumenta spremeni. Pri violini na e-struni in violi na a-struni se z ubiranjem višjih tonov slabša dojetanje alikvotov – zvok postane manj bogat.

Pri violončelu in kontrabasu je efekt v višjih legah obraten – alikvoti se okrepijo. Pri igranju še višjih tonov (več kot oktavo nad prazno struno) se blizamo meji inštrumentove resonance, kar pomeni, da trup inštrumenta teh frekvenc več ne okrepi in da jih vedno slabše izseva.

Nadaljnji odmiki od opisanega modela

S spektralno analizo je bilo ugotovljeno, da se frekvenca z lokom potezane strune glede na prej opisane modele stalno nepravilno spreminja – pri prazni struni violine za približno 5 centov, pri s prstom skrajšani struni za okoli 10 centov. To se dogaja zaradi več dejavnikov, poglavitna sta torzijsko nihanje strune in krožno gibanje strune – sila, s katero delujemo z lokom na struno, povzroči, da se struna ne giblje le v ravnini potezanja loka, temveč da ta ravnina kroži.

Preden se vzpostavi Helmholtzev tip nihanja, ima zvok strune prehodno obliko (tranzient) – vsebuje osnovni ton in vse alikvote, ki jih bo imel naslednji zvok. Tranzient se od običajnega zvena loči po tem, da se amplitude zvenskih komponent konstantno spreminjajo in da vsebuje ob vsem naštetem še dodatni šum. Spreminjajoč zvok si zapomnimo precej lažje kot konstantnega in zato lahko po tranzientih prepoznamo določenega glasbenika.

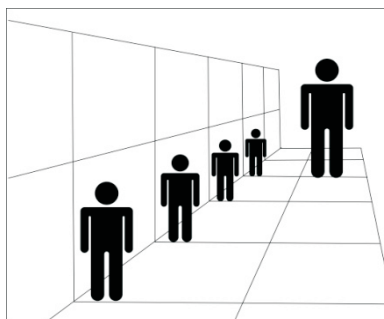
Pri violini traja tranzient okoli 40 milisekund pri normalnem igranju in tudi do pol sekunde pri igranju na ubiralki v nizki dinamiki. Raziskave so pokazale, da so glasbeno najbolj zaželeni tranzienti, ki pri igranju na violino trajajo manj kot 50 milisekund (Woodhouse & Galluzzo, 2004). Pri nižjih inštrumentih je prehodni čas večji. Izkušeni glasbeniki si pomagajo z majhnim dražljajem loka, ki sicer skrajša prehodni čas, vendar tudi poveča glasnost tranzienta.

Dojemanje zvoka

Dodatni element, ki nam lahko pomaga pri odločitvi za določen način igranja, je poznavanje »principa ohranjanja velikosti« oziroma glasnosti (Shepard, 1999).

Vizualna slika določenega objekta se v našem vidnem polju povečuje oziroma zmanjšuje glede na razdaljo objekta od nas, vendar naši možgani tega ne interpretirajo kot spremembe velikosti objekta, temveč razumejo, da se velikost ohrani.

Slika 14 prikazuje ta princip - podobi skrajno levo spodaj in skrajno desno zgoraj sta enako veliki, vendar možgani interpretirajo, da je desna podoba veliko večja. Ta princip lahko prenesemo na akustično področje.

Slika 14: Princip ohranjanja velikosti v perspektivi.

Pri vseh akustičnih inštrumentih se z jakostjo tona povečuje tudi vsebnost alikvotov. Naš slušni sistem ločuje torej med tonom, ki nastane pri glasnih in tihih dinamikah, čeprav mu odvzamemo ali dodamo jakost – ga poslušamo na večji ali manjši oddaljenosti, oziroma poslušamo na *hi-fi* napravah ob različnih jakostih. Če se principa dojemanja zvoka zavedamo, lahko z njim manipuliramo: uporabimo na primer *piano* ton po barvi (torej zven z manj alikvoti – igran v bližini ubiralke z večjo hitrostjo loka), vendar po jakosti dovolj glasen, da napolni dvorano, ali pa *forte* ton po barvi, ki je dovolj tih, da ne pokrije solističnega inštrumenta ali druge skupine inštrumentov (zven z večjo vsebnostjo alikvotnih tonov, igran z običajnim pritiskom in počasnejšo potezo).

Sklep

Kot smo videli, ima vsak inštrument v skupini godal določene karakteristike, zaradi česar ne moremo lokovanj oziroma dejavnikov lokovanja neposredno prenesti na drug inštrument. Igralna tehnika mora upoštevati posebnosti inštrumentov, kot so:

1. Velikost inštrumenta

Večji kot je inštrument, nižje je uglasen – strune so daljše in debelejše, kar pomeni, da potrebujemo za doseganje sijočega tona večji pritisk. Manjši pritisk loka pri višje uglasenih inštrumentih omogoča hitrejša poteza loka in večji odklik od strune pri igranju lokovanj nad struno, zato je lok tudi lažji in daljši.

2. Nagnjenost in položaj inštrumenta

Tudi nagnjenost in vertikalna pozicija inštrumenta vplivata na način izvedbe pritiska loka na struno: pri violini in violi deluje desna roka na višji legi kot pri violončelu in kontrabasu, kar pri violini in violi omogoča večjo naravno uporabo teže roke. Pri študiju violine se tako posveča veliko pozornosti odvzemanju oziroma kompenziranju naravnega pritiska

roke, medtem ko se pri violončelu in kontrabasu posveča več pozornosti igranju s težo oziroma gravitacijo, torej igranju brez *aktivnega* pritiskanja loka ob struno.

Zmožnost apliciranja pritiska je pri večjih inštrumentih zmanjšana, kar vpliva tudi na tipično barvo tona, ki jo želimo doseči, oziroma na razmerje med hitrostjo in pritiskom (na primer: kontrabas zaradi krajšega loka in manjšega relativnega pritiska potrebuje več loka za igranje kantilenskega mesta kot violina).

Položaj inštrumenta vpliva tudi na to, kako izvajalec sliši svoj ton. Violinisti in violisti dojemajo svoj ton precej drugače kot violončelisti in kontrabasisti iz dveh razlogov: izvajalčeva ušesa so veliko bližje telesu inštrumenta in izvajalec ima z inštrumentom neposreden kontakt preko obraznih kosti (Adey, 1998). Posledično ima izvajalec pri igranju na violino ali violo občutek, da igra veliko glasneje kot v resnici.

Frekvence nad 1000 Hz violončelo in kontrabas ne izsevata pravokotno na trup (oziroma proti publiki), temveč proti izvajalcu – to pomeni, da poslušalec sliši precej manj višjih frekvenc kot izvajalec. Violončelisti in kontrabasisti imajo občutek, da je ton inštrumenta ostrejši, kot se dejansko sliši v dvorani.

3. Obratno uglasene strune

Nadaljnje razlike med violino in violo ter violončelom in kontrabasom so v položaju strun: violina in viola imata najnižjo struno na levi strani (gledano z izvajalčeve strani), violončelo in kontrabas pa na desni. Razlike nastanejo pri prehodu čez strune: kadar lok potuje z nižje na višjo struno, pri potezi navzdol pri violini in violi lok »pridobi dolžino«, pri violončelu in kontrabasu pa jo izgubi; pri prečkanju strun pri potezi navzgor pa lok pri violini in violi dolžino izgubi in pri violončelu in kontrabasu pridobi.

Izguba ali pridobitev prostora na loku je neposredno povezana z izvedbo prehoda čez strune tudi pri ločenih potezah – na violini in violi so te lažje izvedljive, kadar se poteza navzdol ujema z nižjo struno, pri violončelu in kontrabasu pa obratno.

4. Drugačno dojetje tonov

Razlike med skupinami inštrumentov se pojavijo tudi v barvi tona, ki jo želimo dobiti.

Na primer: pri prazni violinski e-struni praviloma želimo dobiti temnejši ton, saj slušni sistem dobro dojema le prvih šest alikvotov te strune. Pri prazni C-struni na violončelu, pri kateri je dobro dojetih 15 alikvotov (osnovni ton je v nizkem frekvenčnem področju, ki ga slabše dojemamo),

želimo nasprotno dobiti svetlejši ton, ki okrepi alikvote v frekvenčnem področju, ki ga bolje zaznavamo. Podoben vpliv na zaznavo tonov imajo tudi specifične karakteristike (resonančna krivulja) posameznega inštrumenta.

5. Francoski in nemški lok pri kontrabasu

Zaradi specifične lege inštrumenta se je pri kontrabasu poleg francoske (torej violinske) oblike loka obdržala tudi nemška oblika loka, ki izhaja neposredno iz loka, uporabljanega v družini gamb. Večina lokovanj je izvedljiva na obeh lokih, francoski lok ima določene prednosti pri *cantabile* igranju (Berlioz & Strauss, 1948) oziroma lahkotnem igranju, nemški lok pa omogoča večji pritisk, vendar je z njim težje izvesti *ricochet* lokovanja, slednja pa v vsakem primeru zaradi debeline strun pri kontrabasih niso priporočljiva. Izbira loka je stvar izvajalčevega okolja, tradicije in šolskega sistema ter večinoma ni vezana na prednosti ali slabosti določenega tipa loka, saj – kot že rečeno – oba omogočata izvedbo večine lokovanj.

Povzemimo ugotovitve te raziskave:

- Na oblikovanje tona pri godalih vplivajo tri spremenljivke: pritisk loka na struno, hitrost loka in oddaljenost loka od kobilice. Za spremembo jakosti tona je potrebno sočasno ustrezno spremeniti dve spremenljivki, z ustrezno spremembo le ene spremenljivke lahko vplivamo na barvo tona.
- Z jakostjo zvoka narašča tudi delež alikvotov.
- Vsaka skupina inštrumentov ima svojo značilno barvo tona, ki je s spremembami načina potezanja v večji meri ne moremo spremeniti.
- Na značilno barvo skupine inštrumentov vpliva tudi naš slušni sistem, predvsem na različno stopnjo šuma, ki je zaradi tega sestavni del pravilno ustvarjenega tona.
- Jakost tona upada s kvadratom razdalje, kar vpliva na slabšo zaznavnost alikvotov in šuma pri poslušanju na večji oddaljenosti.
- Ob razlogih iz tretje, četrte in pete alineje tudi razlike v igralni tehniki onemogočajo neposreden prenos treh spremenljivk (pritiska loka, hitrosti loka in oddaljenosti loka od kobilice) med skupinami inštrumentov.

Vsaka skupina godalnih inštrumentov ima torej specifične značilnosti glede produkcije tona in njegovega zaznavanja, zato je lokovanja potrebno prilagoditi tem specifikam in jih ni priporočljivo neposredno prenašati med sekcijami.

Dognanja z znanstvenega področja je vsekakor dobro poznati, njihova uporaba pa ne sme biti nadrejena umetniški plati izvedbe, temveč lahko služi le kot pomoč pri odpravljanju napak.

Literatura:

- Adey, C. (1998). *Orchestral Performance - A Guide for Conductors and Players*. London: Faber and Faber Limited.
- Adlešič, M. (1964). *Svet zvoka in glasbe*. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- Beament, J. (1997). *The Violin Explained – Components, Mechanism and Sound*. Oxford: Clarendon Press.
- Benade, A. H. (1976). *Fundamentals of Musical Acoustics* (2. izd.). New York: Dover Publications, Inc.
- Berlioz, H., & Strauss, R. (1948). *Treatise on instrumentation*. New York: Dover Publications, Inc.
- Del Mar, N. (1983). *Anatomy of the Orchestra*. Berkeley, Los Angeles: University of California Press.
- Gigante, C. (1953). *Manual of Orchestral Bowing*. Bloomington: American String Teachers Association, 1986.
- Helmholtz, H. (1885). *On the Sensations of Tone*. New York: Dover Publications, Inc., 1954.
- Jansson, E. (2002). *Acoustics for violin and guitar makers*. Kungl Tekniska Högskolan - Dept. of Speech, Music and Hearing (<http://www.speech.kth.se/music/acviguit4/index.html>, 12. 12. 2010)
- Kjelland, J. (2003). *Orchestral Bowing: Style and Function*. Alfred Publishing Co., Inc.
- Mantel, G. (1995). *Cello & Technique - Principles & Forms of Movement*. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press.
- Schelleng, J. C. (1973). The bowed string and the player. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 26-41.
- Schelleng, J. C. (1974). The Physics of the Bowed String. *Scientific American*.
- Shepard, R. (1999). Cognitive Psychology and Music. V P. R. Cook, *Music, Cognition and Computerized Sound - An Introduction to Psychoacoustics* (str. 21-37). The MIT Press.
- Woodhouse, J., & Galluzzo, P. M. (2004). The Bowed String As We Know It Today. *Acta Acustica united with Acustica*, 579-589.