

Objektivna analiza akustičkih svojstava kavala

Marija Tupanjanin, Tatjana Miljković i Dragana Šumarac Pavlović

Apstrakt—Kaval je drevni drveni narodni duvački instrument zastupljen na području jugoistočnog dijela Balkanskog poluostrva. Postojeći primjerci instrumenta djelo su isključivo narodnih zanatlija, tj. ne postoji industrijska proizvodnja ovog instrumenta. Tema ovoga rada tiče se objektivne akustičke karakterizacije kavala sa ciljem da se zabilježe njegove karakteristike, kako bi budući majstori mogli praviti autentične kavale. Kao i kod svih primitivnih duvačkih instrumenata, karakteristike zvuka u određenoj mjeri variraju u zavisnosti od načina sviranja. U radu je obuhvaćena analiza sedam kavala od kojih su neki stariji instrumenti izrađeni na području današnje Sjeverne Makedonije, a neki primjerci su novijeg datuma. U radu je prikazan princip generisanja tonova, ukupan spektralni opseg instrumenta, intonacija i njena varijabilnost za razne tehnike sviranja, te promjena boje zvuka instrumenta u različitim registrima.

Ključne riječi—kaval, akustičke karakteristike instrumenta, intonacija, frekvencijski opseg, boja zvuka

I. UVOD

Kaval je drveni narodni duvački instrument koji se najčešće svira u paru, ili služi kao pratnja glasu, a vrlo rijetko kao pratnja igri [1]. Ovaj izvorno pastirski instrument se javlja na prostoru jugoistočne Srbije, Kosova i Metohije, Sjeverne Makedonije, Bugarske, Grčke, Turske i Albanije. Kavali mogu biti napravljeni iz jednog ili više dijelova [2]. U ovom radu analizirana su samo jednodijelna svirala.

Drveni duvački instrumenti se na osnovu usnenog dijela mogu podijeliti u dvije grupe, na instrumente sa i bez piska. Svaki duvački instrument može se posmatrati kao cjelina (sistem) koju čine tri osnovna elementa: usneni dio, tj. vazdušna pobuda na vrhu cijevi koja ima ulogu vazdušnog ventila, zatim šuplja cijev, te sistem rupica kojim se mijenja efektivna dužina rezonantnog vazdušnog stuba [3]. Zvuk se dobija duvanjem vazduha u cijev instrumenta prilikom čega se uspostavlja stojeći longitudinalni talas čije rezonantne frekvencije određuju visinu tona.

Kod instrumenata sa piskom (klarinet, oboa, saksofon itd.), uloga ventila se postiže oscilovanjem jednostruke ili dvostruke trske u ustima svirača kojim se naizmjenično presijeca put vazduhu koji ulazi u cijev, i ton se dobija kao posljedica maksimalne varijanse pritiska koji se formira na vrhu cijevi [4]. Time je uticaj načina duvanja u odnosu na

manipulisanje rupicama i dužinu cijevi na visinu tona vrlo mali.

Drugu grupu drvenih duvača, u koje spada i kaval, čine instrumenti iz porodice flauta. Kod njih se instrument naslanja na usne, pa usnik prilikom sviranja ostaje jednim dijelom otvoren. Instrument se pobuđuje vazdušnim mlazom koji presijeca ivicu instrumenta, dok akustička impedansa varira preko 70dB [5].

U drugom slučaju način vibriranja vazduha u cijevi nije dominantno uslovljen varijacijom u pritisku, već varijacijom brzine kretanja vazdušnog mlaza [4]. Zbog ove osobine uticaj načina sviranja na formiranje visine tona postaje nezanemarljiv i uporediv sa uticajem veličine i rasporeda rupica na cijevi. Ovo u praksi znači da svirač može i jačinom duvanja i uglom pod kojim drži instrument u odnosu na usne, da učestvuje u korigovanju visine tona. Nepostojanje pak jasne intonativne predodređenosti čini da kaval nazovemo netemperovanim instrumentom. Ukoliko se jedan ton svira u više navrata, od strane jednog ili više različitih muzičara, njegova osnovna frekvencija će blago varirati.

Kaval je dugačka polupoprečna flauta [2], a čini ga jedna cilindrična cijev poprečnog presjeka od 16-17mm duga od 70-90cm. Izrađuje se obično od drveta jasena, a može biti od javora, lipe, jorgovana, a u rijetkim prilikama i od metala. Na kraju cijevi koja je u dodiru sa usnama prilikom sviranja, nalazi se zaobljena ivica (oštar brid), dok na donjem kraju ima blago konusno proširenje. Na zadnjoj strani cijevi se nalazi jedna, a ispod nje, na prednjoj strani, 7 rupica koje se prilikom sviranja zatvaraju i otvaraju prstima kako bi se mijenjala dužina vazdušnog stuba u cijevi i time postizale različite visine tona [6]. Na donjem dijelu instrumenta, nalaze se četiri rupice koje se zovu „glasnice” i utiču na oblikovanje arhaične i tople kavalske boje tona. Kavali se izrađuju u sedam dužina – u sedam različitih štimova. Najniži ton na instrumentu određuje njegov naziv, pa tako postoje: A, B, H, C, CIS, D i ES kavali. Činjenica da se kavali izrađuju najčešće od drveta, koje reaguje na promjenu temperature i vlažnosti vazduha, doprinosi tonalnoj neuglađenosti kavala. Na slici 1 prikazani su kavali koje smo analizirale u radu. Kavale sa štimovima H, CIS i ES je napravio majstor Stojanče Kostovski iz sela Viniče kod Skoplja (Skopska Crna Gora) i stari su oko 25-30 godina. Izgrađeni su od grane jasena, pa je drvo sklono pucanju zbog postojanja mnoštva čvorova. Kavali sa štimovima A, B, C i D su „Pastir” kavali novijeg datuma i napravljeni su u radionici majstora Nenada Miletića iz Starčeva kod Pančeva. O muzičkim funkcionalnostima „Pastir” kavala brine kavalista Miloš Nikolić. Oni su izgrađeni od mladnog stabla jasena i drvo je mnogo čvršće i postojanije, pa je manje sklono pucanju.

Marija Tupanjanin – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: tm223184m@student.etf.bg.ac.rs),

Tatjana Miljković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: tm@etf.rs),

Dragana Šumarac Pavlović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: dsumarac@etf.rs).



Sl. 1. Kaval korišteni za snimanja. Odozgo naniže: ES, D, CIS, C, H, B, A kaval.

A. Tonalni opseg kavala

Kaval proizvodi tonove u 4 registra, u osnovnom i 3 registra sa preduvavanjem. On je jedini instrument u srpskoj sviračkoj praksi sa tonskim nizom koji samo u osnovnom registru ima hromatsku ljestvicu u opsegu velike sekste [4].

TABELA I
NOMINALNI TONALNI OPSEG KAVALA

Kaval	Registar	Najniži ton	Najviši ton
A	1	A3	FIS4
	2	A4	FIS5
	3	E5	CIS6
	4	A6	FIS6
B	1	B3	G4
	2	B4	G5
	3	F5	D6
	4	B5	G6
H	1	H3	GIS4
	2	H4	GIS5
	3	FIS5	DIS6
	4	H5	GIS6
C	1	C4	A4
	2	C5	A5
	3	G5	E6
	4	C6	A6
CIS	1	CIS4	B4
	2	CIS5	B5
	3	GIS5	F6
	4	CIS6	B6
D	1	D4	H4
	2	D5	H5
	3	A5	FIS6
	4	D6	H6
DIS	1	DIS4	C5
	2	DIS5	C6
	3	B5	G6
	4	DIS6	C7

Kada je svih osam rupica za sviranje zatvoreno, kaval proizvodi najniži ton sa frekvencijom f_0 . Podizanjem malog prsta desne ruke dobija se ton za stepen viši od osnovnog. Daljim otvaranjem rupica, redom od najniže do rupice koja je najbliža ustima, dobijaju se tonovi sa susjednim razmakom od jednog polustepena. Opseg tonova kod kavala u jednom registru je onda velika seksta, a postoji mogućnost da se malo jačim duvanjem dobije i alternativni ton za polustepen više, pa

opseg registra može biti mala septima. Viši tonovi se dobijaju preduvavanjima. Preduvavanje je proces prilikom kog se jačim duvanjem pojačavaju naredni harmonici tonova iz osnovnog registra. Tonovi koji se dobijaju u prvom preduvavanju su za oktavu iznad osnovnih ($2 \cdot f_0$), u drugom preduvavanju za duodecimu ($3 \cdot f_0$), a u trećem preduvavanju za kvintdecimu ($4 \cdot f_0$) iznad tonova u osnovnom registru.

U Tabeli I, korištenjem američkog sistema notacije, dat je prikaz nominalnog tonalnog opsega za svaki od kavalskih štimova. Treba naglasiti da se najviši četvrti registar rijetko koristi, kao i to da je pojedine tonove trećeg i četvrtog registra teško dobiti. Funkcionalnost gornjih registara, između ostalog, zavisi od kvaliteta kavala i spretnosti onoga ko na njemu muzicira.

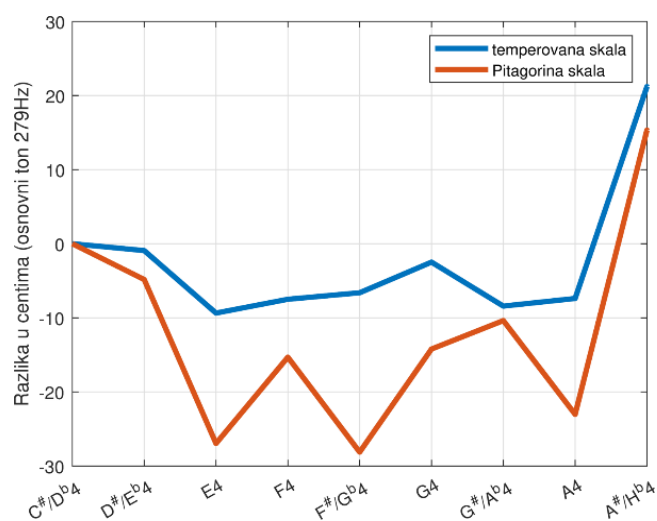
II. KARAKTERIZACIJA AKUSTIČKIH SVOJSTAVA

B. Intonacija u različitim registrima

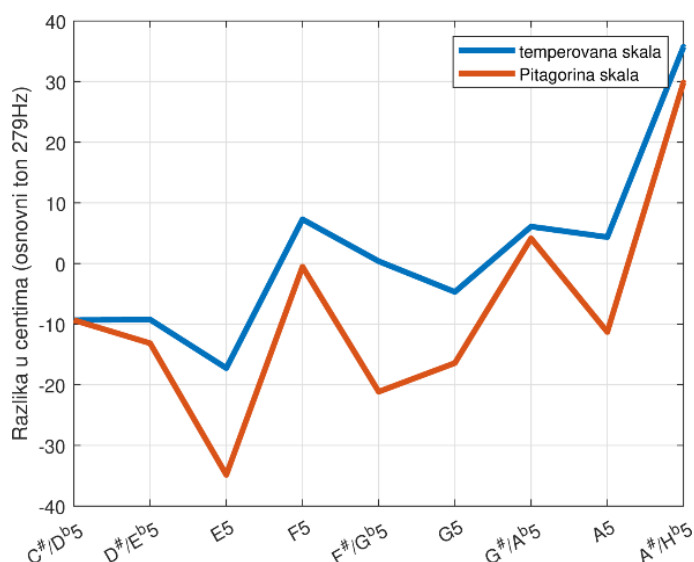
Jedna od osnovnih akustičkih karakteristika bilo kog instrumenta jeste njegova intonacija. Kavalski štim je moguće porediti sa temperovanom ljestvicom u kojoj su tonovi unutar jedne oktave frekvenijski ekvidistantni, tj. polustepen je jedna dvanaestina oktave, ili sa prirodnom skalom. Za prirodnu (Pitagorinu) skalu važi da je oktava od nekog tona na duplo većoj frekvenciji, a da je čista kvinta na frekvenciji $3/2$ puta većoj od frekvencije osnovnog tona. Sve ostale intervale moguće izračunati kombinovanjem odnosa kvinte i oktave.

Detaljna analiza intonacije izvršena je za CIS kaval. Kao referentna vrijednost usvojen je osnovni ton frekvencije f_0 i svi ostali odsvirani tonovi u četiri registra izraženi su u centima u odnosu tonove koji su proračunom dobijeni od f_0 .

Na slikama 2, 3, 4 i 5 prikazani su dijagrami odstupanja intonacije u kompletnom tonalnom opsegu CIS kavala. Na osnovu tih odstupanja može se steći utisak o melodijskoj prirodi instrumenta. Za sve registre važi da su najviši tonovi iznad temperovanih vrijednosti i da ta razlika sa rednim brojem preduvavanja raste. Generalno su tonski nizovi nestabilniji što su viši. Tonovi nisu sasvim naštimani ni po temperovanoj, ni po prirodnoj skali.



Sl. 2. Odstupanja snimljenih tonova na CIS kavalu od temperovane i Pitagorine skale u centima za osnovni registar.

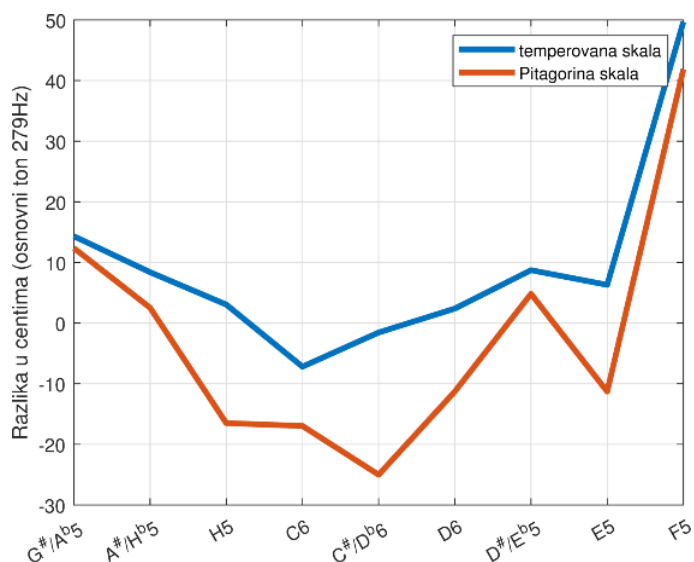


Sl. 3. Odstupanja snimljenih tonova na CIS kavalu od temperovane i Pitagorine skale u centima za I preduvani registar.

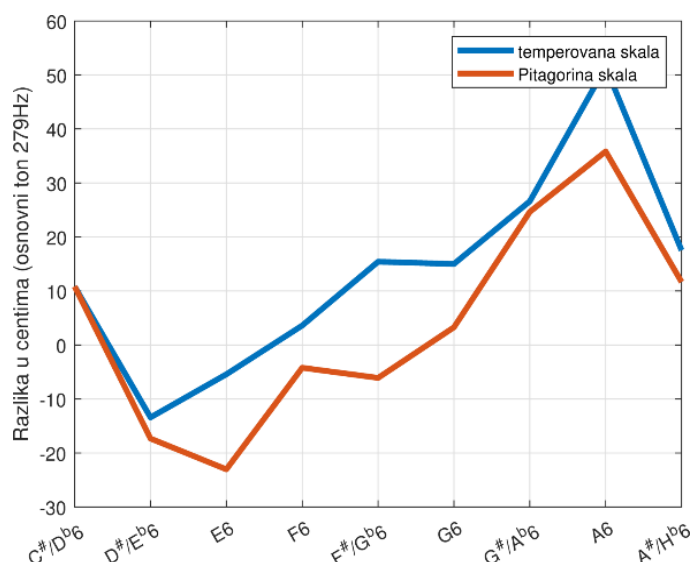
C. Varijabilnost intonacije pri sviranju

Kod drvenih duvačkih instrumenata bez piska visina tona se može mijenjati promjenom položaja instrumenta, odnosno položaja usana u odnosu na usnik.

Opseg mogućih varijacija intonacije je analiziran na CIS kavalu. Analiza je sprovedena na taj način što je svirač kontinualno mijenjao visinu tona načinom sviranja od minimalne do maksimalne visine, a da pritom ne dođe do promjene registra. Posmatrale smo odstupanja svih pojedinačnih tonova odsviranih u osnovnom registru i prvom preduvavanju od temperovanih visina datih tonova. Kontinualne promjene intonacije analizirane su prozorovanjem u 20 vremenskih segmenata.



Sl. 4. Odstupanja snimljenih tonova na CIS kavalu od temperovane i Pitagorine skale u centima za II preduvani registar.



Sl. 5. Odstupanja snimljenih tonova na CIS kavalu od temperovane i Pitagorine skale u centima za III preduvani registar.

TABELA II Odstupanja intonacije na CIS kavalu u osnovnom i prvom preduvanom registru dobijeni različitim načinom sviranja

Ton	CIS	DIS	E	F	FIS	G
Max	31.5	49.4	43.8	45.2	75.3	51.6
Min	-37.1	-49.4	-45.3	-54.9	-38.2	-58.6
Δ	68.6	98.8	89.1	100.2	113.5	110.2
Ton	GIS	A	B	CIS-I	DIS-I	E-I
Max	41.2	27.8	-4.6	31.54	41.55	65.59
Min	-82.5	-91.0	-122.8	-58.38	-50.74	-52.4
Δ	123.6	118.9	118.2	89.91	92.29	117.99
Ton	F-I	FIS-I	G-I	GIS-I	A-I	B-I
Max	59.9	64.9	50.4	23.6	15.8	109.9
Min	-59.7	-54.1	-71.9	-87.8	-92.9	-20.5
Δ	119.7	119.1	122.3	111.4	108.7	130.3

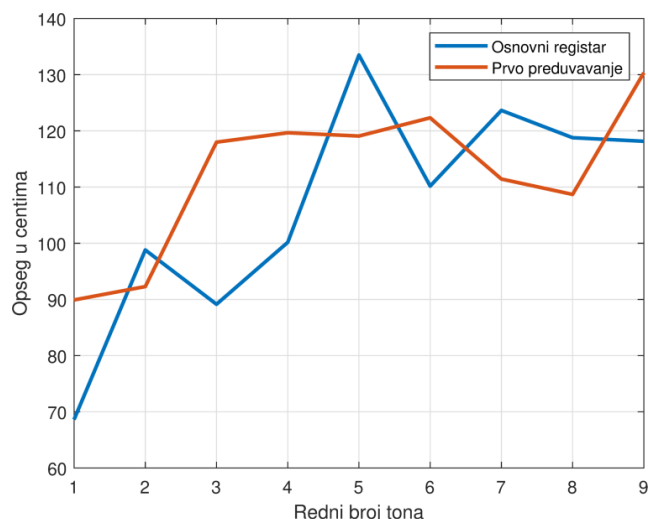
Promjene u intonaciji su kvantifikovane u odnosu na poziciju tona u temperovanoj skali (440Hz) i izražene u centima. U Tabeli II su date minimalne, maksimalne razlike u centima, kao i širina opsega odstupanja za svaki ton na CIS kavalu.

Na slici 7 prikazana su maksimalna odstupanja u intonaciji koja su postignuta za svih 9 tonova u osnovnom i prvom preduvanom registru. Interesantno je uočiti da je kod prvog preduvavanja za čak 7 od devet tonova raspon veći od 100 centi (polustepen), kao i da je tonove sa višom osnovnom frekvencijom moguće više varirati usnenim dijelom. Za najniže tonove, kada su sve rupice za sviranje zapušene, opseg je minimalan.

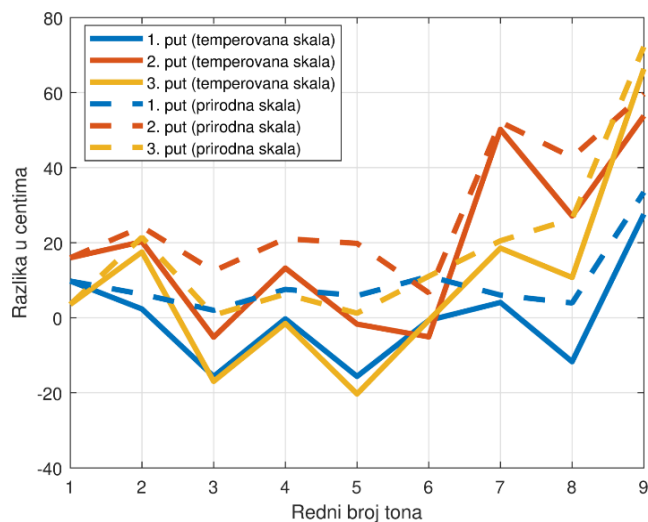
Sa jedne strane, intonativna varijabilnost kavala predstavlja izazov za svirača jer ispravan prstored nije sam po sebi garant za dobijanje tačnog tona, dok sa druge strane, ona muzičaru daje šansu da brzo i lako usnenim dijelom koriguje visinu tona čak i ako raspored rupica na njemu nije idealno izveden.

Imajući u vidu ovu osobinu kavala, postavlja se pitanje koliki se raspon odstupanja u centima može tolerisati i uzeti za mjeru tačno odsviranog tona. U svrhu nalaženja odgovora

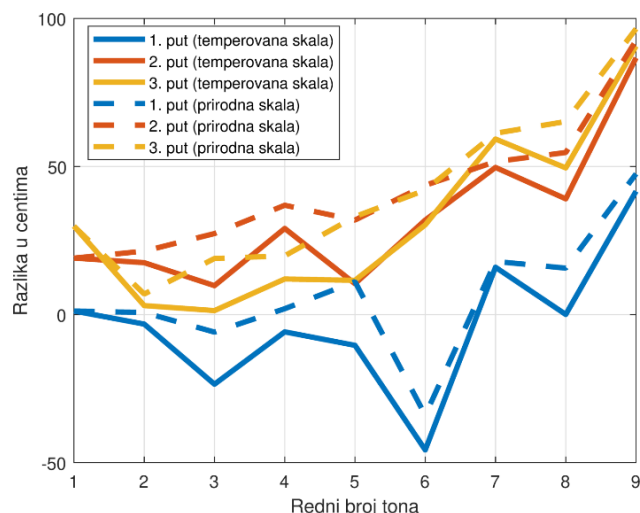
na to pitanje, poredile smo tonove odsvirane u tri navrata, a koji su od strane svirača percipirani kao intonativno tačni. Vrijednosti kodovane plavom, crvenom i žutom bojom (slike 8, 9, 10 i 11) predstavljaju odstupanja pri različitim sviranjima (pune linije označavaju odstupanja u odnosu na temperovanu, a isprekidane linije u odnosu na prirodnu ljestvicu). Najčešća odstupanja kreću se u rasponu do 20 centi, pa smo zaključile da se ono može usvojiti kao dozvoljeno odstupanje. Takođe se može primijetiti da na svim graficima (slike 8, 9, 10 i 11) sa porastom rednog broja tona, tj. sa porastom tonske visine, i međusobna i globalna odstupanja u odnosu na referentni ton postaju dramatičnija.



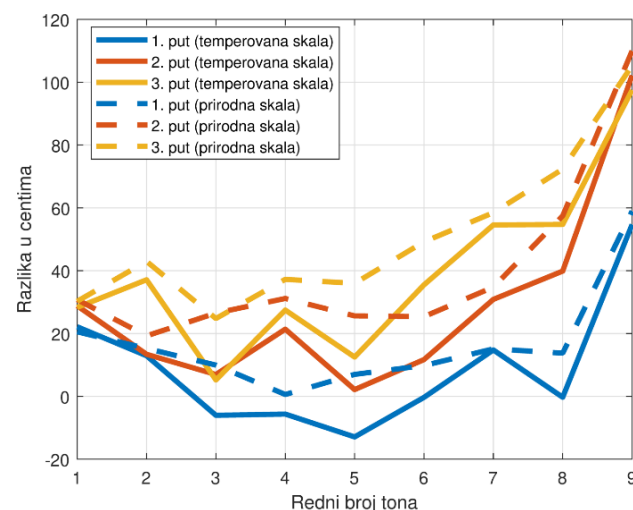
Sl. 7. Maskimalne varijacije u intonaciji postignute različitim položajem usnika za sve tonove iz osnovnog registra i prvog preduvanog, izražene u centima u odnosu na temperovanu skalu (440 Hz).



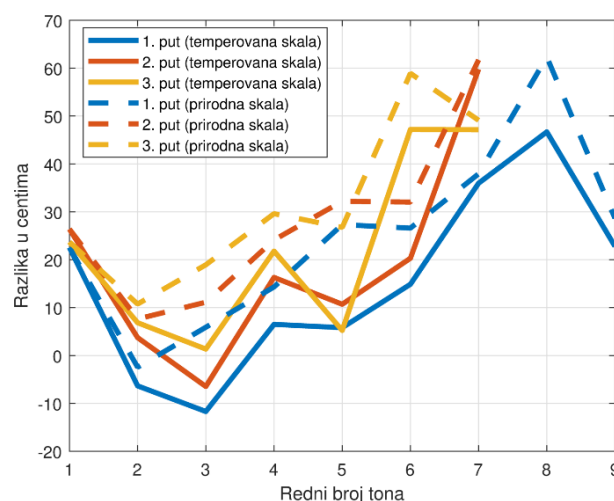
Sl. 8. Odstupanja u intonaciji prilikom sviranja u tri navrata u osnovnom registru CIS kavalu.



Sl. 9. Odstupanja u intonaciji prilikom sviranja u tri navrata u prvom preduvanom registru na CIS kavalu.



Sl. 10. Odstupanja u intonaciji prilikom sviranja u tri navrata u osnovnom registru CIS kavalu.



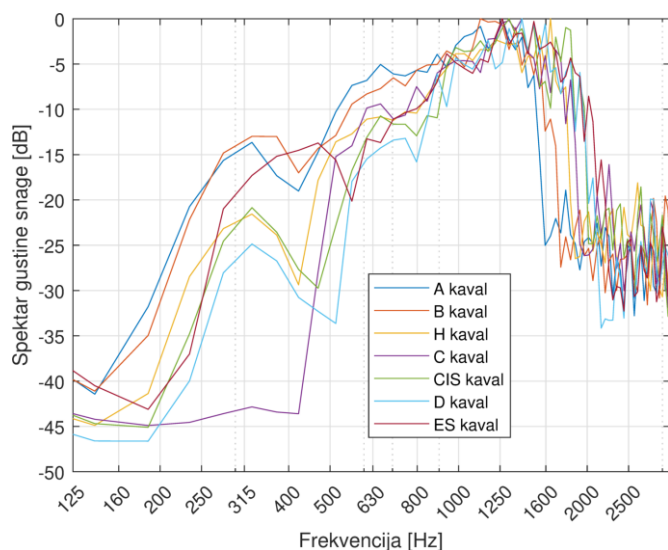
Sl. 11. Odstupanja u intonaciji prilikom sviranja u tri navrata u drugom preduvanom registru na CIS kavalu.

D. Frekvencijski opseg instrumenta

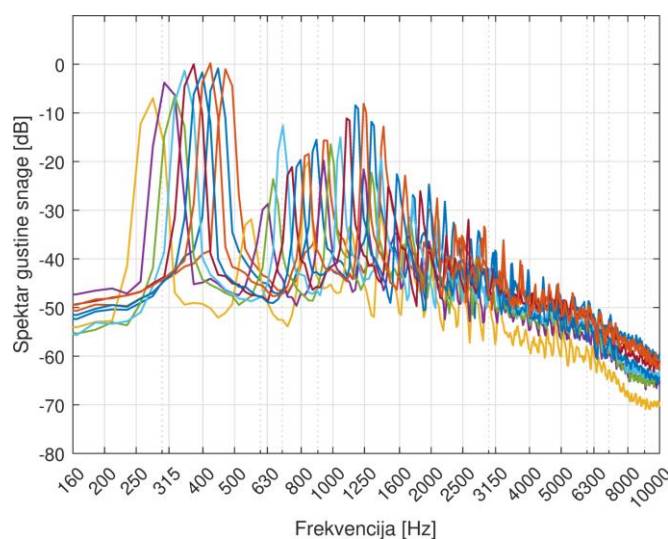
Na slici 9 prikazani su usrednjeni globalni spektri analiziranih kaval. Širina korisnog opsega za svaki od njih iznosi približno 1500Hz, što odgovara i rasponu osnovnih frekvencija tonova koji se mogu odsvirati.

Interesantno je posmatrati grafike sa slike 13, 14 i 15 na kojima su prikazani spektri gustine snage svih pojedinačnih tonova na CIS kavalu. Tu se jasno vidi da nijedan od kaval nema značajne spektralne komponente iznad 2000Hz.

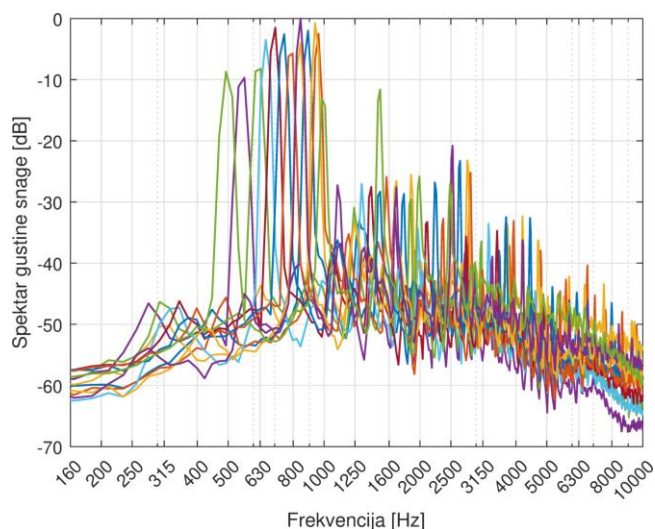
Za tonove čija je osnovna frekvencija manja od 500Hz (slika 13) važi da su harmonici do 500Hz za 10dB jači od viših harmonika koji formiraju formantnu oblast oko 1000Hz. Kod tonova sa osnovnom frekvencijom od 500 do 1000Hz (slika 14) razlika između harmonika do 1000Hz i viših harmonika je približno 25dB, dok je kod tonova sa osnovnom frekvencijom iznad 1000Hz (slika 15) razlika između harmonika do 1000Hz i viših harmonika skoro 30dB. Što je ton viši, to je procenat ukupne energije na prvim nekoliko harmonika veći.



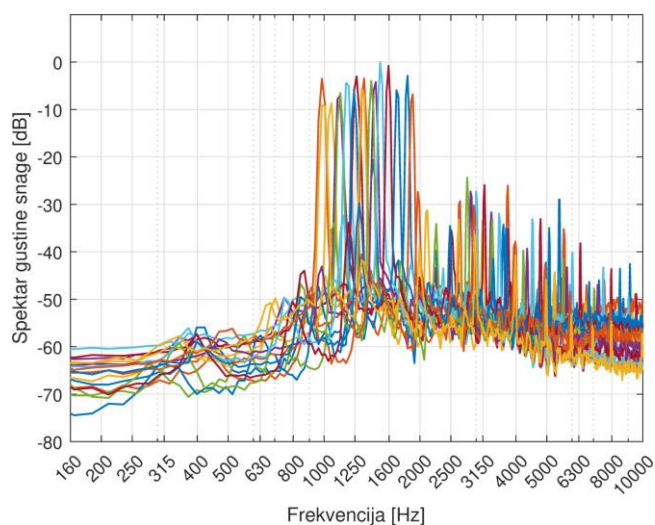
Sl. 12. Globalni spektri gustine snage za sve analizirane kaval.



Sl. 13. Globalni spektri gustine snage za sve analizirane kaval.

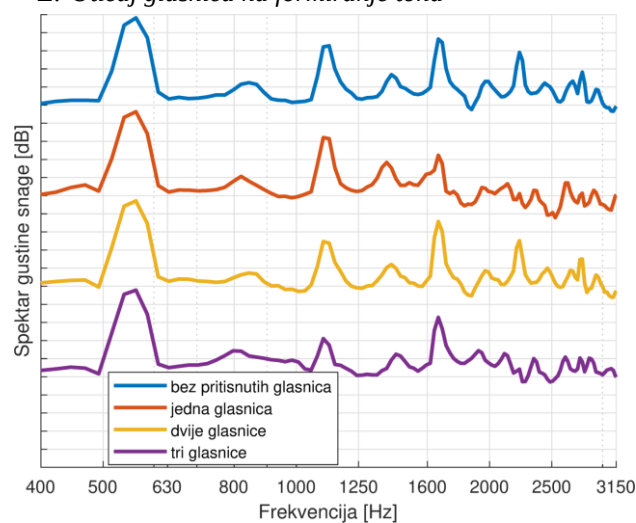


Sl. 14. Globalni spektri gustine snage za sve analizirane kaval.



Sl. 15. Globalni spektri gustine snage za sve analizirane kaval.

E. Uticaj glasnica na formiranje tona



Sl. 16. Spektri gustine snage za ton CIS5 na CIS kavalu kada su zapušene jedna, dvije ili tri glasnice i kada su sve tri otpušene.

Glasnice su četiri najniže rupice koje su uvijek otpuštene, pa ne utiču na tonsku visinu. Njihova uloga ogleda se u tome da mijenjaju spektralni sadržaj tona. Najveći uticaj rupice se ispoljava u slučaju kada ona predstavlja izlaz za najkraći put kojim vazduh može izaći iz cijevi [4]. Glasnice je stoga najmjerodavnije ispitivati u trenutku kada se na kavalu svira najniži ton.

Na slici 16 prikazani su spektri gustine snage kada je na CIS kavalu sviran ton CIS5 koji se dobija prvim preduvavanjem kada su svi prsti spuštteni, a tri donje glasnice su zapušavane. U sva četiri slučaja jasno se izdvajaju osnovni harmonik i tri naredna, međutim odnos njihovih amplituda se mijenja. Visina tona sve vrijeme ostaje ista. Kada su sve tri glasnice pritisnute, istaknuti su prvi i treći harmonik, drugi je nešto manje izražen, dok se četvrti, na $4f_0$, uopšte ne formira. Kada se priguše dvije bočne glasnice, formiraju se harmonici, s tim da je najmanje izdrazhen drugi. Kada je pritisnuta samo gornja glasnica, svaki naredni harmonik je slabiji, dok se četvrti uopšte ne formira. Ovim se dokazuje pretpostavka da glasnice učestvuju u oblikovanju boje tona, ali takođe možemo reći da njihov položaj direktno utiče na kvalitet i mogućnost dobijanja preduvanih tonova.

ZAKLJUČAK

Analizirale smo sedam kavala, sa posebnim osvrtom na tonove snimljene na onom u CIS kaval. Nominalni tonalni opseg instrumenta je velika seksta i on proizvodi tonove u četiri registra. Nije naštiman ni po temperovanoj (440Hz) ni po prirodnoj ljestvici, pa ga iz tog razloga smatramo netemperovanim instrumentom. Kavalska intonacija zavisi od dužine cijevi, rasporeda rupica, ali i načina duvanja. Samo promjenom načina duvanja moguće je mijenjati visinu tona za preko 100 centi, a opseg mogućeg variranja je veći kod viših tonova.

Pokazale smo da se promjene osnovne frekvencije do 20 centi u odnosu na ton iz temperovane skale (440Hz) mogu smatrati zanemarljivim. Frekvencijski opseg kavala je oko 1500Hz, što približno odgovara i njegovom tonskom rasponu. U zavisnosti od osnovne frekvencije tona, odnosno raspodjele energije u spektru, tonovi se mogu podijeliti u 3 grupe. Prilikom ispitivanja glasnica na CIS kavalu, zaključile smo da one ne utiču na visinu tona, dok sa druge strane utiču na boju tona i preduvavanje.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujemo kavalisti Milošu Nikoliću koji nas je inspirisao da krenemo u istraživanje zvuka kavala monivisani potrebom da se ovaj tradicionalni instrument bolje upozna i uz čiju pomoć smo snimili potrebne zvučne uzorke za analizu.

LITERATURA

- [1] M. Zakić, J. Jovanović, "Ethnomusicological Sources about the Instrument Kaval in Serbia and Macedonia", *Matica Srpska Journal of Stage Arts and Music*, 50, 1, 9-24, Novi Sad, 2014
- [2] M. Zakić, J. Jovanović, "Sources in medieval paintings, ethnographic and literary sources about the instrument kaval in Serbia and Macedonia", *Matica Srpska Journal of Stage Arts and Music*, 49, 1, 9-24, Novi Sad, 2013.
- [3] N. H. Fletcher, "Recent Progress in the Acoustics of Wind Instruments", *Acoust. Sci. & Tech*, 22, 3, 169-167, 2001.
- [4] A. H. Benade, "The Physics of Wood Winds", in *The Physics of Music*, 4, 35-43, San Francisco, USA: WH Freeman & Co, 1978.
- [5] J. Wolfe, J. Smith, "Acoustics of the Air-Jet Family of Instruments", *WESTPRAC VII*, Kumamoto, Japan, 3-5 October, 2000.
- [6] F. G. Leppington, "On the Theory of Woodwind Finger Holes", *Journal of Sound and Vibration*, 83, 4, 521-532, 1982.

ABSTRACT

Kaval (Caval) is an old wooden folk wind instrument found in the southeastern part of the Balkan Peninsula. The existing examples of the instrument are handmade (factory-made do not exist). This paper deals with the objective acoustic characterization of kavals to record their characteristics, in order to help future craftsmen make them authentically. As with all primitive wind instruments, the characteristics of the sound vary to some extent depending on the way it is played. The paper includes an analysis of 7 kavals, some of which are old instruments made in Macedonia, and some of which are more recent. The paper presents the principle of tone generation, the total spectral range of the instrument, intonation and its variability for various playing techniques, and the change of color of the instrument in different registers.

An Objective Analysis of the Acoustic Properties of the Kaval (Caval)

Marija Tupanjanin, Tatjana Miljković, Dragana Šumarac Pavlović