

# Biomehanička analiza sviranja puhačkih instrumenata

---

**Filić, Bartol**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:273515>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Bartol Filić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić, dipl. ing.

Student:

Bartol Filić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Tanji Jurčević Lulić na usmjerivanju, pomoći i razumijevanju.

Naročito zahvaljujem svojoj obitelji na podršci i razumijevanju tokom studija.

Posebnu zahvalu zaslužuju kolegice i kolege uz koje je atmosfera međusobne potpore i zajedničkog učenja omogućila svima nama lakše studiranje i stvorila kvalitetna prijateljstva.

Bartol Filić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1                                 |        |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -                                    |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Bartol Filić** JMBAG: **0035214754**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Biomehanička analiza sviranja puhačkih instrumenata**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Biomechanical analysis of playing wind instruments**

Opis zadatka:

Sviranje puhačkih instrumenata zahtijeva preciznu koordinaciju disanja te pokreta usta i prstiju. Disanje uključuje stvaranje tlaka u ustima i ostalom dišnom putu te kontrolu strujanja zraka kroz instrument. Kinetički aspekt sviranja obuhvaća tlak, volumen i protok u plućima. Najprije je potrebno naučiti kako točno upravljati strujanjem izdahnutog zraka, a također kako stvoriti i održavati odgovarajući tlak i protok zraka koji je potreban za pojedini puhački instrument. Položaj tijela kod sviranja ima utjecaj na aktivnost abdominalnih mišića koji kontroliraju izdahnuti zrak. Dišni putevi se granaju 23 puta od dušnika do alveola u bronhalno stablo.

U radu je potrebno:

- na temelju podataka iz literature o protoku zraka kod sviranja određenih tonova, odrediti je li strujanje u dušniku i različitim nivoima grananja laminarno;
- provesti biomehaničku analizu položaja tijela kod sviranja.

Pretpostaviti kružni poprečni presjek dušnika i jednaku raspodjelu strujanja kroz svaki bronh. Potrebne parametre dogovoriti s mentorom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| SADRŽAJ .....  | I   |
| POPIS SLIKA .....  | II  |
| POPIS OZNAKA .....   | III |
| POPIS KRATICA .....  | IV  |
| SAŽETAK.....   | V   |
| SUMMARY .....  | VI  |
| 1. UVOD.....   | 1   |
| 2. FIZIČKI I MEHANIČKI ASPEKT GLAZBE .....                     | 2   |
| 2.1. Svojstva i nastanak zvuka .....                           | 2   |
| 2.2. Princip rada puhačkih instrumenata .....                  | 3   |
| 2.2.1. Stojni val .....  | 3   |
| 2.2.2. Harmonijski niz.....                                    | 4   |
| 2.2.3. Rezonancija u cijevima .....                            | 5   |
| 2.2.3.1. Otvorene cijevi.....                                  | 5   |
| 2.2.3.2. Poluotvorene cijevi .....                             | 6   |
| 2.2.4. Opseg drvenih instrumenata .....                        | 7   |
| 2.2.5. Mehanizam za mijenjanje tonova .....                    | 8   |
| 2.3. Boja tona .....   | 10  |
| 3. PROTOK ZRAKA I NJEGOVO STRUJANJE .....                      | 12  |
| 3.1. Dobivanje protoka zraka .....                             | 12  |
| 3.1.1. Cirkularno disanje .....                                | 13  |
| 3.2. Karakterizacija strujanja zraka u plućima .....           | 13  |
| 3.3. Zaključak i prostor za detaljna ispitivanja .....         | 14  |
| 4. POLOŽAJ TIJELA PRI SVIRANJU .....                           | 16  |
| 4.1. Sjedeći i stajaći položaj .....                           | 16  |
| 4.1.1. Parametri provedenog ispitivanja .....                  | 16  |
| 4.1.2. Rezultati istraživanja.....                             | 17  |
| 4.1.3. Tumačenje dobivenih rezultata .....                     | 18  |
| 4.2. Biomehanička analiza sviranja.....                        | 19  |
| 4.2.1. Položaj glave.....                                      | 20  |
| 4.2.2. Kralježnica .....                                       | 20  |
| 4.2.3. Položaj tijela pri sviranju pojedinog instrumenta ..... | 21  |
| 4.2.3.1. Truba .....   | 21  |
| 4.2.3.2. Rog.....  | 22  |
| 4.2.3.3. Saksofon i fagot .....                                | 23  |
| 4.2.3.4. Klarinet i oboa.....                                  | 23  |
| 4.2.3.5. Flauta.....   | 24  |
| 4.3. Zaključak o položaju tijela .....                         | 25  |
| 5. ZAKLJUČAK.....  | 27  |
| LITERATURA.....  | 28  |

## POPIS SLIKA

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Slika 1  | Žica između dva fiksna čvora [1] .....                                     | 2  |
| Slika 2  | Svojstva sinusnog vala [3] .....   | 2  |
| Slika 3  | Stojni val u otvorenoj cijevi [1] .....                                    | 4  |
| Slika 4  | Stojni val u poluotvorenoj cijevi [1] .....                                | 4  |
| Slika 5  | Prvi harmonik u odnosu na sliku 1 [1] .....                                | 5  |
| Slika 6  | Mogući harmonici na poluotvorenoj cijevi [5] .....                         | 6  |
| Slika 7  | Razlika između cilindričnih i konusnih cijevi [5] .....                    | 7  |
| Slika 8  | Položaj provrta za registar i promjena tona na klarinetu [3] .....         | 8  |
| Slika 9  | Mijenjanje tonova na limenim puhačkim instrumentima [5] .....              | 9  |
| Slika 10 | Prikaz kompleksnog vala [1] .....  | 10 |
| Slika 11 | Spektar frekvencija tona $e$ na klarinetu [3] .....                        | 11 |
| Slika 12 | Zvučni spektar roga pri različitim glasnoćama [7] .....                    | 11 |
| Slika 13 | Proces udisanja i izdisanja [8] .....                                      | 12 |
| Slika 14 | Različiti položaji tijela korišteni pri istraživanju [11] .....            | 17 |
| Slika 15 | Smanjenje opterećenja u zglobovima [13] .....                              | 19 |
| Slika 16 | Primjer pogrešne posture pri sviranju klarineta [12] .....                 | 21 |
| Slika 17 | Položaj ruku pri sviranju trube [14] .....                                 | 22 |
| Slika 18 | Asimetrični položaj ruku i opterećenje na lijevoj ruci [14] .....          | 22 |
| Slika 19 | Remen za držanje tereta i asimetrični položaj tijela ispitanika [14] ..... | 23 |
| Slika 20 | Opterećeni palac desne ruke [14] .....                                     | 24 |
| Slika 21 | Rotacije tijela pri sviranju flaute [15] .....                             | 25 |

---

**POPIS OZNAKA**

| <b>Oznaka</b> | <b>Jedinica</b>   | <b>Opis</b>                      |
|---------------|-------------------|----------------------------------|
| Re            | -                 | Reynoldsov broj                  |
| $v$           | m/s               | Brzina zraka                     |
| $d$           | m                 | Promjer grane bronhalnog stabla  |
| $\rho$        | kg/m <sup>3</sup> | Gustoća zraka                    |
| $\eta$        | kg/ms             | Dinamička viskoznost             |
| $A$           | m <sup>2</sup>    | Površina grane bronhalnog stabla |
| $q_v$         | l/s               | Volumenski protok zraka          |



---

**POPIS KRATICA**

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| EMG      | Elektromiografija                    |
| FVC      | Forsirani vitalni kapacitet          |
| PEF      | Vršni protok zraka                   |
| FEV1     | Forsirani kapacitet u jednoj sekundi |
| FEV1/FVC | Tiffeneau indeks                     |

**SAŽETAK**

Sviranje puhačkih instrumenata jedan je od najzahtjevnijih zadataka respiratornog sustava. Pored toga, zahtijeva preciznu koordinaciju između kontrole zraka i motorike prstiju kako bi se precizno mijenjali tonovi. Vrlo često se pri edukaciji glazbenika zanemaruje važnost osnovnih principa nastanka glazbe, rada instrumenta i povezanosti tijela s instrumentom. S ciljem približavanja simbioze tijela i instrumenta, ovim radom povezuje se fizika, strojarstvo i biomehanika.

Definicijom osnovnih pojmova i načina nastanka glazbe u prvome dijelu postavlja se temelj za daljnje razumijevanje kompleksne interakcije glazbenika i instrumenta. U drugome dijelu rada je opisano strujanje zraka u plućima te njegov dovod do instrumenta kao i važnost precizne kontrole toga zraka. U završnom, trećem dijelu rada, najprije su prikazani i tumačeni rezultati istraživanja o položajima tijela koje je provedeno na sveučilištu u Sydneyju, a potom je dan detaljan opis položaja tijela kod sviranja pojedinih instrumenata ujedno iznoseći potencijale opasnosti od povreda zbog pogrešnog držanja tijela i instrumenta.

Zaključeno je da je za kvalitetu muziciranja na puhačkim instrumentima važno ne samo uvježbati tu sposobnost već i dublje shvatiti pojedine aspekte sustava glazbenika i instrumenta.

Ključne riječi: biomehanika sviranja, puhački instrumenti, strujanje zraka u plućima

---

**SUMMARY**

Playing wind instruments is one of the most demanding tasks of the respiratory system. In addition, it requires precise coordination between air control and finger mobility in order to precisely change tones. The importance of the basic principles of the origin of music, the way an instrument works and the connection of the person with the instrument is often neglected in the education of musicians. With the aim of approaching the symbiosis of person and instrument, this paper connects physics, mechanical engineering and biomechanics.

By defining the basic concepts and methods of music in the first part, we lay the foundation for further understanding of the complex interaction of musicians and instruments. The second part of the paper describes the airflow in the lungs and its supply to the instrument as well as the importance of precise control of that air. In the final, third part of the paper, we first present and interpret the results of research on body position conducted at the University of Sydney, and then focus on a detailed description of body position when playing certain instruments while outlining the risk of injury due to incorrect posture.

In conclusion, we can say that for the quality of playing wind instruments it is important not only to practice this ability but also to better understand certain aspects of the musician and instrument system.

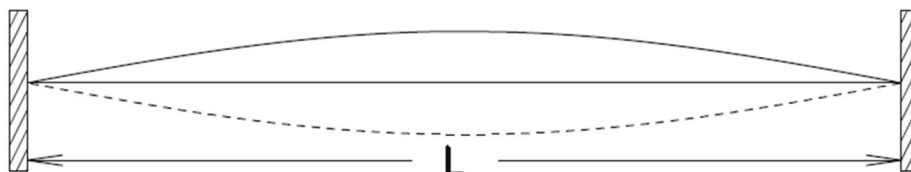
Key words: biomechanics of playing an instrument, wind instruments, airflow in lungs

## **1. UVOD**

Kako bismo bolje razumjeli biomehaničku analizu sviranja, potrebno je prije svega prikazati koliko elemenata precizne mehanike, koordinacije i znanja uključuje upravljanje instrumentom. Princip rada puhačkih instrumenata i njihova mehanika često se zanemaruje u glazbenom obrazovanju, kao i važnost kvalitetne biomehaničke analize uz naglasak na potencijalne probleme zbog loše posture. S ciljem ukazivanja upravo na te probleme i manjak poznavanja srži glazbe, ovaj rad obuhvatit će i povezati fiziku i biomehaniku, dvije neizostavne, odnosno temeljne komponente stvaranja glazbe. Prvi dio rada usredotočen je, većinski deskriptivnom metodom, na samu osnovu zvuka i glazbe, te pomoću njih objašnjeno je kako zapravo instrumenti proizvode zvuk. Kvalitetna i precizna interakcija glazbenika i instrumenta uvelike ovisi o njihovom poznavanju instrumenta kao pomoćnog izražajnog sredstva. Nakon obrade koncepta zvuka i instrumenta istražiti će se ljudski aspekt muziciranja, to jest biomehaniku. Koristit će se, osim dostupnog istraživanja provedenog na temu položaja tijela, i metoda intervjua glazbenika, svirača pojedinih instrumenata. Premda su intervjui više privatnog negoli strogo znanstvenog karaktera, dobiveni odgovori predstavljaju vrijedan doprinos ovom istraživanju. Cilj ovoga završnog rada jest približavanje toga opsežnog i kompleksnog područja, kako glazbenicima, tako i široj populaciji uz stvaranje prostora za dublja i detaljnija istraživanja.

## 2. FIZIČKI I MEHANIČKI ASPEKT GLAZBE

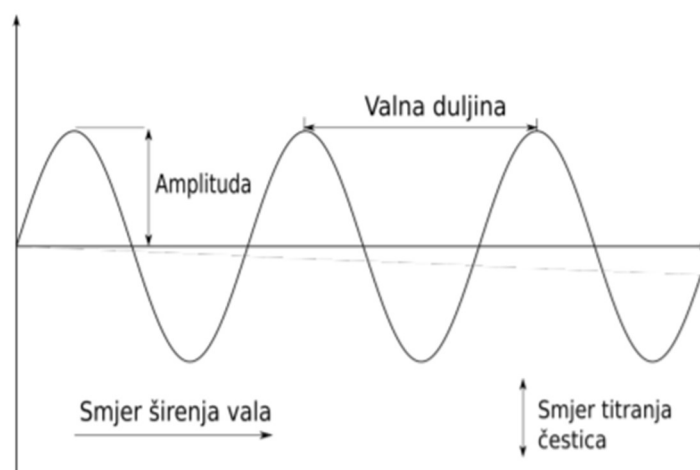
Da bi se moglo govoriti o principu rada puhačkih instrumenata, potrebno je prije svega objasniti osnovne fizičke principe stvaranja zvuka, a posljedično i tonova određenih frekvencija. Iako se rad prvenstveno bavi principom rada puhačkih instrumenata, upotrijebit će se i analogija žice napete između dva fiksna čvora kako prikazuje slika 1. Takav model vrlo je primjenjiv za opis nastanka valova i njegovih varijanti.



Slika 1 Žica između dva fiksna čvora [1]

### 2.1. Svojstva i nastanak zvuka

Zvuk se u prirodi javlja kao longitudinalni val. Čestice medija titraju u smjeru širenja vala uslijed promjene tlaka u mediju. Put koji čestice prijeđu od ravnotežnog položaja nazivamo elongacijom, dok se maksimalna elongacija naziva amplitudom što opisuje slika 2. Kako se titranje čestica odvija u nekom vremenskom periodu, ukoliko se radi o zvuku određene frekvencije, frekvencija je broj kojim se opisuje koliko punih titraja čestica napravi u jednoj sekundi. Upravo taj broj ukazuje o kojem se tonu radi, dok amplituda određuje glasnoću [2].



Slika 2 Svojstva sinusnog vala [3]

Ljudsko uho može registrirati zvukove od 20 Hz do 20 kHz, ili, ovisno o osobi, taj raspon može biti i manji. Koncertni klavir koristi raspon od 27.5 do 4186 Hz. Pri višim frekvencijama ljudima postaje sve teže razlikovati pojedine tonove [1].

Pri proizvodnji zvuka kod instrumenata, uvijek je potreban neki kontrolirani izvor energije koji će uzrokovati promjene tlaka zraka i posljedično širiti longitudinalne valove do slušateljevih ušiju. Najbolji primjer proizvodnje zvuka su žičana glazbala. Takvi se instrumenti oslanjaju na titranje napete žice. One će titrati transverzalnim valovima koji ciklički mijenjaju tlak zraka i šire zvuk longitudinalnim valovima. Na sličan način zvuk proizvode i puhačka glazbala. Kod njih medij koji izaziva promjenu tlaka mogu biti usnice, što je slučaj kod limenih puhačkih instrumenata, ili trska, kao kod drvenih puhačkih instrumenata. Izvor energije tih instrumenata jest konstantni dovod zraka koji održava stabilno i ujednačeno titranje usnica, odnosno trske. [4].

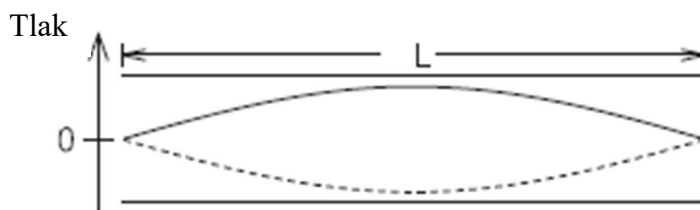
## 2.2. Princip rada puhačkih instrumenata

Puhački instrumenti građeni su kao otvorene ili poluotvorene cijevi u kojima dolazi do vibracije stupca zraka, što na koncu stvara zvuk. Takav oblik vibracije zraka u cijevi naziva se stojnim valom.

### 2.2.1. Stojni val

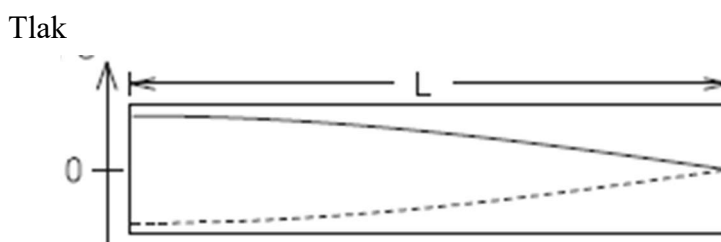
Stojni val imaće područja koja ne titraju ni u kojem smjeru, zvana čvorovima, i područja koja će imati vertikalni pomak. To se događa zbog refleksije stvorenog vala između dva područja. Primjer je napeta žica gdje bi refleksija bila između dva kraja žice koji su fiksno učvršćeni, odnosno posjeduju rubne uvjete gdje pomak nije dopušten. Zbog takvog rubnog uvjeta ostatak žice može titrati samo u određenoj valnoj duljini koja odgovara duljini napete žice, odnosno polovici te valne duljine što se vidi na slici 1. Rubni se uvjeti mijenjaju kada se radi o titranju zraka u cijevi.

Ukoliko se radi o otvorenoj cijevi, na oba kraja rubni će uvjeti odrediti da tlak iznosi upravo onoliko koliki je i atmosferski tlak. Na tim mjestima nema podtlaka, odnosno pretlaka pa će ta mjesta služiti kao i mjesta na kojima je žica vezana, neće titrati. Ponašat će se kao čvorovi stojnog vala kako prikazuje slika 3 [1].



Slika 3 Stojni val u otvorenoj cijevi [1]

U slučaju poluotvorene cijevi, to jest cijevi koja je na jednome kraju zatvorena, rubni su uvjeti drugačiji [5]. Na zatvorenom kraju uvjet je da tlak na tome mjestu mora biti maksimalnog iznosa zbog ulaska zraka u cijev koji se sudara s dnom cijevi. Zbog toga će na tom mjestu biti amplituda kako prikazuje slika 4 [1]. Taj će rubni uvjet zahtijevati posebna konstrukcijska rješenja kako bi se puhački instrumenti mogli svirati u pravoj intonaciji i kako bi se mogli dobiti svi tonovi na ljestvici.

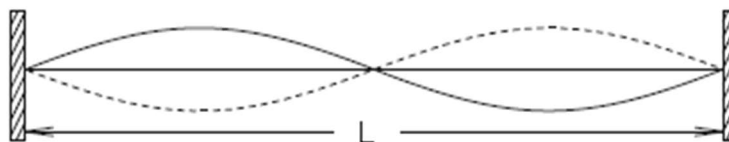


Slika 4 Stojni val u poluotvorenoj cijevi [1]

### 2.2.2. Harmonijski niz

Kako bi se bolje shvatilo kakav utjecaj ima razlika između otvorenih i poluotvorenih cijevi, uvedimo novi pojam harmonika. Harmonici su kombinacije frekvencija koje imaju mogućnost titranja pri istoj ukupnoj duljini medija koji rezonira. Ovaj princip bit će pojašnjen još jednom na primjeru žice.

Ukoliko dovodom energije takvoj žici postigne se titranje pola valne duljine između dva čvora, dobit će se takozvani osnovni ili temeljni ton u harmonijskom nizu. Na istoj toj žici postavljanjem rubnog uvjeta, odnosno ograničavanjem vertikalnog pomaka na sredini žice, dobit će se čvor na tom mjestu kao na slici 5 [1].



Slika 5 Prvi harmonik u odnosu na sliku 1 [1]

Ta tehnika kod žičanih glazbala naziva se flažolet (eng. *flageolet*). Postiže se laganim oslanjanjem prsta na točno određeno mjesto, čime ograničavamo vertikalni pomak žice, odnosno stvaramo čvor stojnog vala. Valna duljina upola će se smanjiti, što znači da će se na istoj žici dobiti jedna cijela valna duljina, za razliku od prijašnje polovice. Rezultat će biti ton dvostruko veće frekvencije od osnovnog tona i taj će ton biti prvi ton u harmonijskom nizu, odnosno prvi harmonik. Ukoliko se na isti način postavi takav rubni uvjet na jednoj trećini žice, dobit će se drugi harmonik trostruko veće frekvencije u odnosu na temeljni ton [6]. Harmonici će se odnositi prema temeljnom tonu u pravilnom omjeru 1:2:3:4:5... U glazbi općenito ovaj niz određuje boju tona pojedinih instrumenata i glasova što će biti objašnjeno kasnije, ali za puhačka glazbala ovaj niz ima posebni značaj.

Ranije je spomenuta tehnika flažoleta kod žičanih instrumenata kojom se mogu svirati tonovi harmonijskog niza, no puhački instrumenti imaju drugačiji način izvođenja takve tehnike. Takozvanim prepuhivanjem preskače se na idući alikvotni ton harmonijskog niza. Alikvotni ton je naziv za određene tonove koje možemo odsvirati na harmonijskom nizu. Ova tehnika zahtijeva ubrzavanje protoka zraka i određene korekcije na ambažuri sviračevih usnica kako bi se dobilo sljedeći ton harmonijskog niza, odnosno alikvotni ton. Upravo je prepuhivanje pravi pokazatelj izvrsne interakcije instrumenta i svirača, to jest povezanosti fizike i biomehanike te predstavlja sami temelj sviranja limenih puhačkih glazbala.

### 2.2.3. Rezonancija u cijevima

Nakon upoznavanja s pojmom harmonijskog niza može se pobliže objasniti razlika između otvorenih i poluotvorenih cijevi imajući na umu ranije postavljene rubne uvjete za takve vrste cijevi. Najprije će biti opisane otvorene cijevi i njihov harmonijski niz.

#### 2.2.3.1. Otvorene cijevi

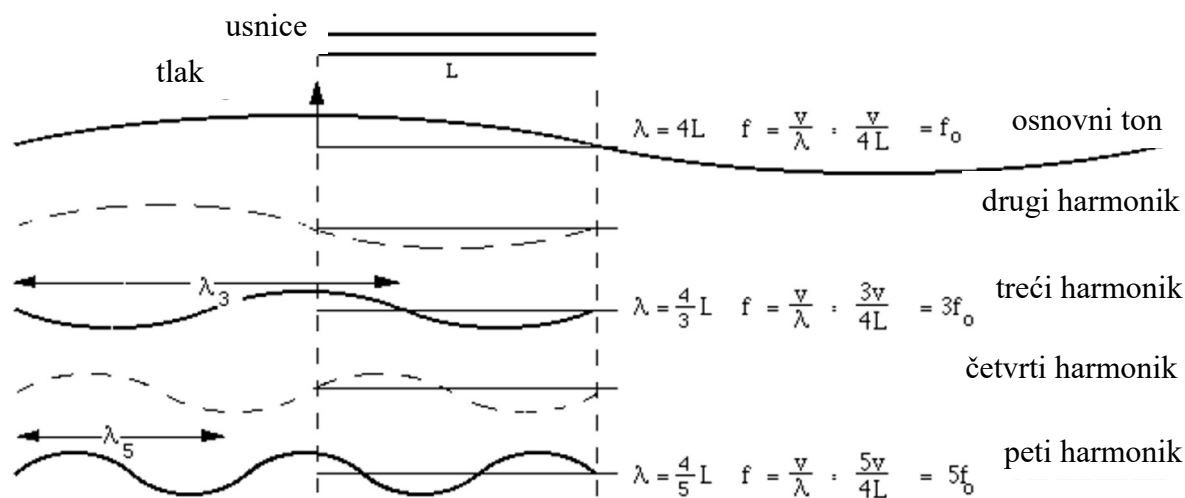
Kako se prema rubnim uvjetima otvorenih cijevi na njihovim krajevima javljaju čvorovi stojnih valova, za njih u potpunosti vrijedi analogija s napetom žicom koja titra. U cijevi titra stupac



zraka koji je određen duljinom te cijevi. Na područjima amplituda javljat će se konstantni tlak koji iznosi jednako koliko i atmosferski, dok su u čvorovima cikličke promjene tlakova. U otvorenim cijevima harmonijski niz odgovara ranije spomenutom omjeru 1:2:3:4... Iz tog razloga na flauti, kao primjeru instrumenta kojem odgovara model otvorene cijevi, mogu se prepuhivanjem dobiti i parni harmonici. Prvi će biti duplo više frekvencije od temeljnog tona, odnosno takozvana oktava.

### 2.2.3.2. Poluotvorene cijevi

Ako se radi o poluotvorenim cijevima, nailazi se na problem pri prepuhivanju. Već je ranije istaknuto da rubni uvjeti na zatvorenom kraju zahtijevaju maksimalni tlak i nepostojeći vertikalni pomak, dok je na otvorenom kraju sasvim suprotno. Tamo vertikalni pomak ima vrijednost amplitude dok je tlak jednak atmosferskom. Zbog takve pojave prepuhivanjem mogu se dobiti samo neparni harmonici u nizu što prikazuje slika 6. Prvi mogući alikvotni ton jest treći harmonik, a idući je peti itd [6]. Takav niz dobilo bi se na primjer kada bi se tehnikom sviranja trube pokušalo svirati u običnu cijev.



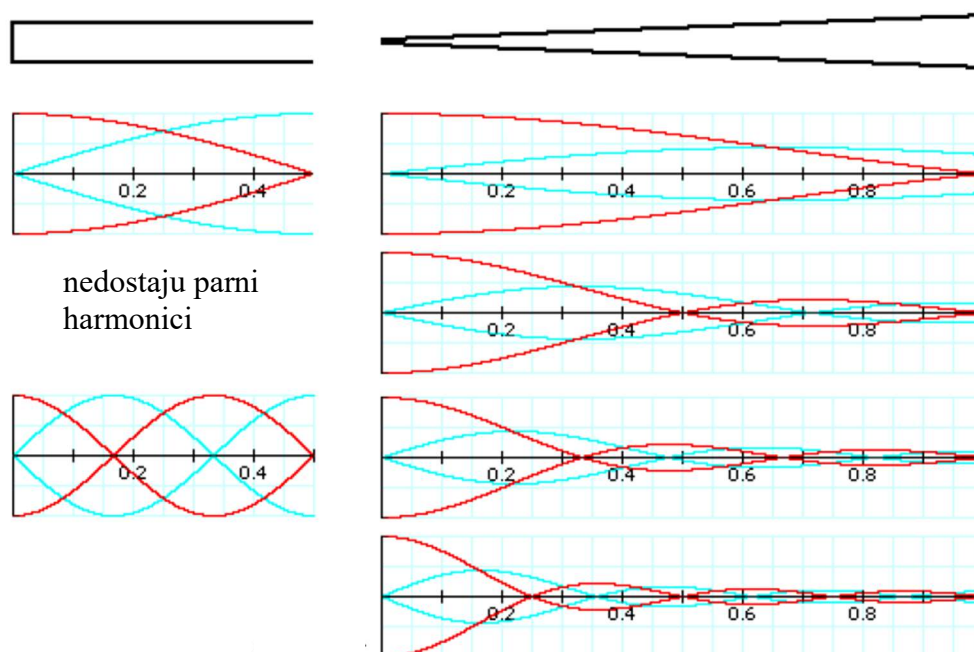
Slika 6 Mogući harmonici na poluotvorenoj cijevi [5]

Ovakva pojava u praksi nije naročito upotrebljiva jer nedostaje previše tonova, odnosno svi parni harmonici. Upravo je to glavni razlog zašto su cijevi limenih puhačkih instrumenata konusnog oblika, barem na završnom dijelu instrumenta, i zašto se na početak instrumenta postavlja usnik.

Postavljanjem usnika na početak instrumenta, dobiva se takozvani efekt usnika. Prostor unutar usnika služi kao rezonantna kutija. Kako se frekvencija sviranja približava rezonantnoj

frekvenciji usnika, efektivna duljina stupca zraka se produljuje. Na taj način se viši harmonici snižavaju i popunjavaju mjesta parnih harmonika. Prednost toga je više dostupnih alikvotnih tonova koje možemo odsvirati [4].

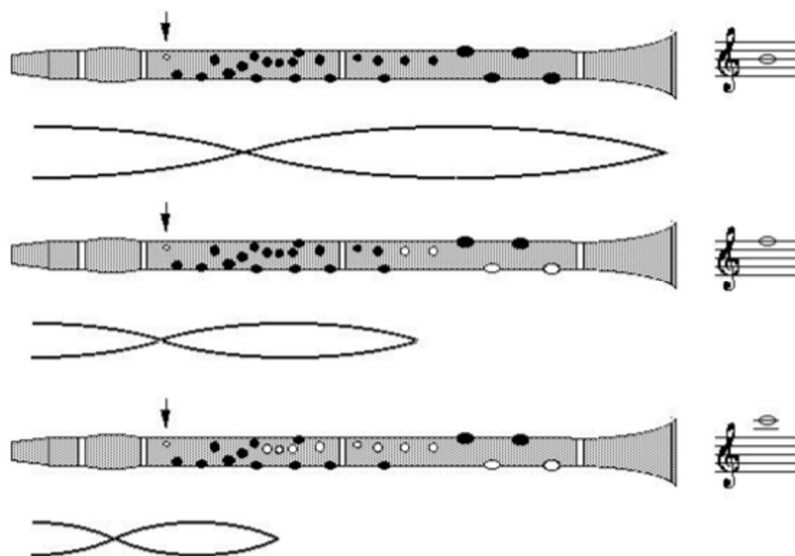
Pomoću konusnih cijevi niske frekvencije harmonijskog niza povisuju se, odnosno približava se modelu otvorene cijevi. Prema slici 7. vidi se da je dobiven puni spektar harmonijskog niza [5].



Slika 7 Razlika između cilindričnih i konusnih cijevi [5]

#### 2.2.4. Opseg drvenih instrumenata

Drveni puhački instrumenti, kao na primjer flauta, klarinet i oboa, koriste posebnu tipku koja se nalazi blizu samog usnika i postavlja novi rubni uvjet na tom mjestu. Otvara se mali provrt koji stvara na tom mjestu područje gdje je atmosferski tlak, odnosno postavlja čvor stojnog vala. S obzirom da je taj provrt vrlo malen, on ima utjecaj samo na osnovne tonove koji su većih valnih duljina. Prednost toga je što se pozicija takvog provrta ne treba pomicati kako bi se točno poklopila s mjestom gdje je potreban čvor stojnog vala kako bi se odsvirao određeni ton kako se vidi prema slici 8 [4].



Slika 8 Položaj provrta za registar i promjena tona na klarinetu [3]

Uz pomoć takvog mehanizma postiže se mnogo veći opseg tonova koje instrument može odsvirati uz smanjivanje broja potrebnih tipki. U suprotnom, trebalo bi imati dulji instrument na kojem bi bilo moguće svirati samo onoliko tonova koliko imamo tipki koje postavljaju isključivo konačni čvor stojnog vala. Gornji registar gotovo pa i ne bi bio dostupan na ovakvom instrumentu. Osim tim mehanizmom, odnosno tipkom, moguće je i prepuhati na idući ton harmonijskog niza promjenom načina puhanja kao kod limenih puhačkih glazbala. No, ova se tehnika ne koristi pri muziciranju na drvenim puhačkim instrumentima jer nije toliko jednostavno kontrolirati dobiveni ton. Osim toga, ne postoji stvarna potreba za time s obzirom da je glazbenicima na raspolaganju prethodno opisani mehanizam. Prilikom vježbanja često se vježba ovakvo prepuhivanje jer na taj se način stječe bolji osjećaj za kontrolom protoka zraka i bolja interakcija s instrumentom.

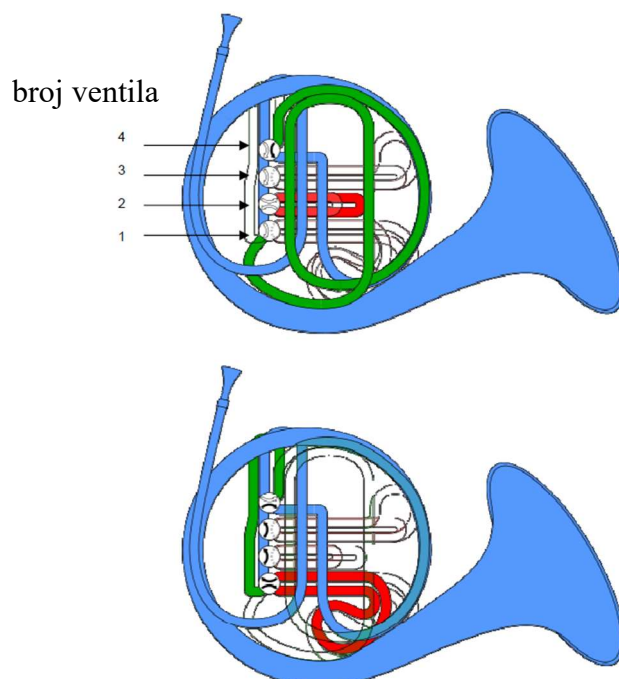
### 2.2.5. *Mehanizam za mijenjanje tonova*

Nakon upoznavanja s harmonijskim nizom i načinom na koji se osigurava puni spektar takvog niza na pojedinom instrumentu, opisat će se mehanizam rada limenih puhačkih instrumenata. Već je spomenut pojam prepuhivanja, odnosno sviranje raznih tonova harmonijskog niza na istoj duljini cijevi. Na tom principu počivaju takozvana prirodna truba i prirodni rog. To su bile početne faze tih modernih instrumenata koji nisu imali danas poznate tipke. Ti instrumenti nisu mogli svirati sve tonove kromatske ljestvice, odnosno polustepene. Zbog takvog ograničenja na jednome se instrumentu sviralo isključivo u određenoj ljestvici koja sadrži upravo one

tonove harmonijskog niza koje se na njima moglo odsvirati. Iz tog se razloga osmislio mehanizam za mijenjanje tonova na razini polustepena.

Rezonantna frekvencija zraka u poluotvorenim cijevima, osim o prije opisanom harmonijskom nizu, ovisi i o duljini cijevi. Uvjet duljine cijevi razlog je iz kojega limeni puhački instrumenti zahtijevaju neki od načina mijenjanja duljine cijevi kojom zrak prolazi za vrijeme sviranja. U primjeru roga i trube to su ventili koji preusmjeravaju zrak u dodatne cijevi koje će na taj način produljiti rezonantni stupac zraka što prikazuje slika 9. Kod trombona taj je problem riješen uz pomoć klizača koji se sastoji od dvije duple cijevi. Cijevi se nalaze jedna unutar druge tako da se njihovim pomicanjem može produljiti stupac zraka koji rezonira. Tako je moguće mijenjati duljinu cijevi i harmonijske nizove po kojima se svira [4].

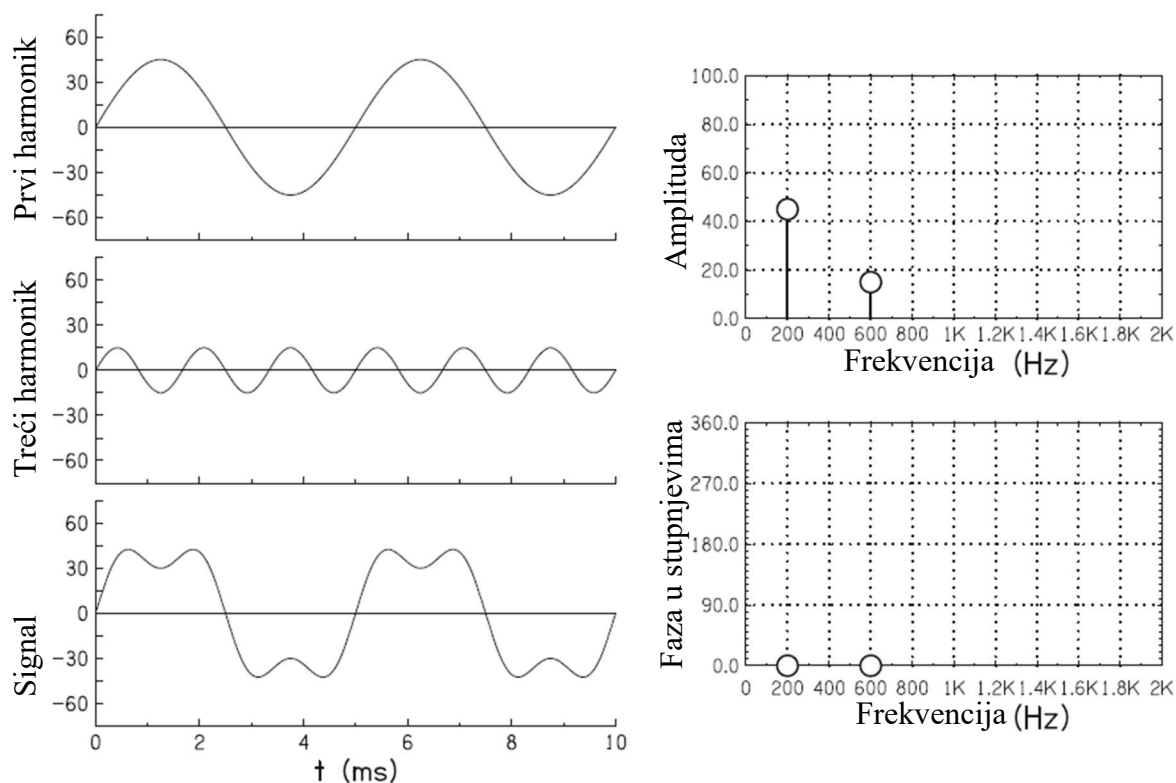
Slučaj flaute, saksofona i klarineta čini se nešto kompliciranijim, no počiva na vrlo jednostavnom principu mijenjanja rubnih uvjeta. Otvaranjem pojedinih klapni stvara se mjesto na kojem se rubni uvjet mijenja. Na tom će mjestu rubni uvjet odrediti točku koja će imati jednaki tlak kao i atmosferski kako je prikazano na slici 8. Posljedično se određuje i duljina stupca zraka koji rezonira te mijenja ton [4].



Slika 9 Mijenjanje tonova na limenim puhačkim instrumentima [5]

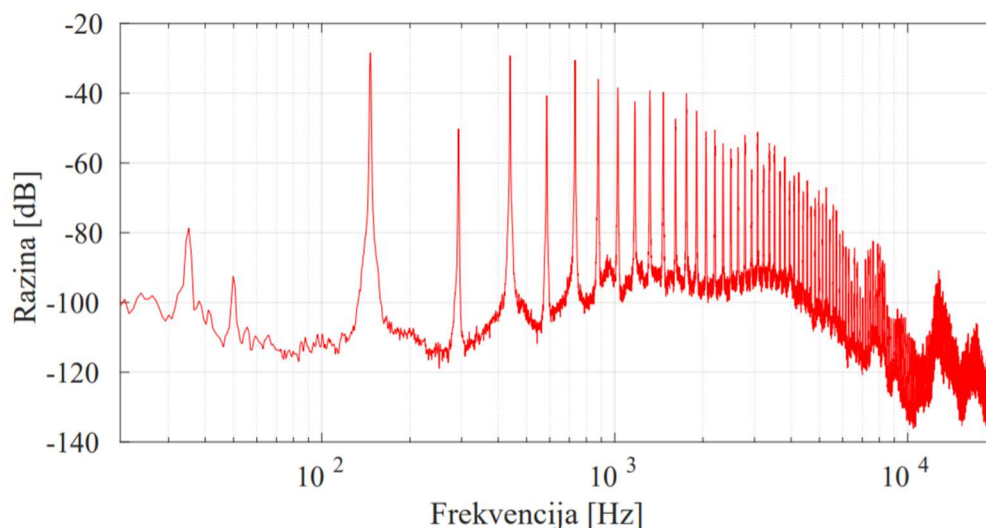
### 2.3. Boja tona

Poznavanjem harmonijskog niza, dolazi se do njegova utjecaja na boju tona. To se ne odnosi samo na instrumente već i na ljudske glasove. Za početak će se definirati pojam kompleksnog vala. Na slici 10. vide se dva sinusna vala osnovnih frekvencija 200 Hz, te njegov treći harmonik frekvencije 600 Hz. Spajanjem tih dvaju valova dobiva se kompleksni val čiji će oblik izgledati kao na slici 10 [1].



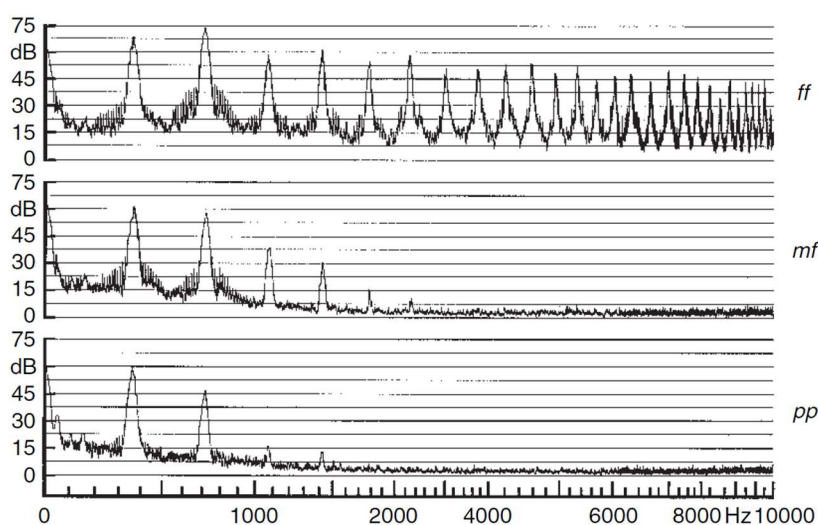
Slika 10 Prikaz kompleksnog vala [1]

Prikazan je jednostavan primjer kompleksnog vala, no u prirodi se javljaju puno složeniji oblici. Svaki takav kompleksni val možemo opisati kao zbroj osnovnog vala i njegovih harmonika. Različiti instrumenti, ovisno o načinu proizvodnje zvuka, konstrukciji i mnogim drugim parametrima, imat će drugačiji spektar rezonantnih tonova. Raspodjela tih tonova obilježiti će boju pojedinog instrumenta. Kao primjer može se uzeti zvučni spektar klarineta na kojem će se još jednom potvrditi model poluotvorene cilindrične cijevi uz prikaz posebnoga zvučnog spektra [3]. Prema spektru na slici 11 je vidljivo da su treći i peti harmonik jači od drugog i četvrtog. Ovdje osnovni ton predstavlja prvi vršak razine zvuka nakon  $10^2$  Hz [3].



Slika 11 Spektar frekvencija tona *e* na klarinetu [3]

U slučaju da neki instrument pri proizvodnji zvuka rezonira s velikim brojem viših harmonika, sama boja i ton doimat će se prodornijim i svjetlijim. S druge strane, ako se ne čuje toliko viših tonova nad osnovnim tonom, boja će se doimati tamnijom i mekšom. Svaki glas i svaki instrument imat će stoga posebnu boju tona. Prema tom principu se prepoznaju zvukovi instrumenata i glasovi ljudi. Takav spektar ne ovisi samo o ranije spomenutim faktorima već i o glasnoći izvođenja, odnosno dinamici. Takav slučaj je prikazan na primjeru roga na slici 12 [7]. Sviranjem istog tona u tri različite dinamike te snimanjem zvučnog spektra mjeri se koliko će harmonika zvučati uz osnovni ton i koji će biti njihov intenzitet. Vidljivo je da će pri glasnijem izvođenju spektar prikazati mnogo više harmonika u odnosu na tišu reprodukciju.



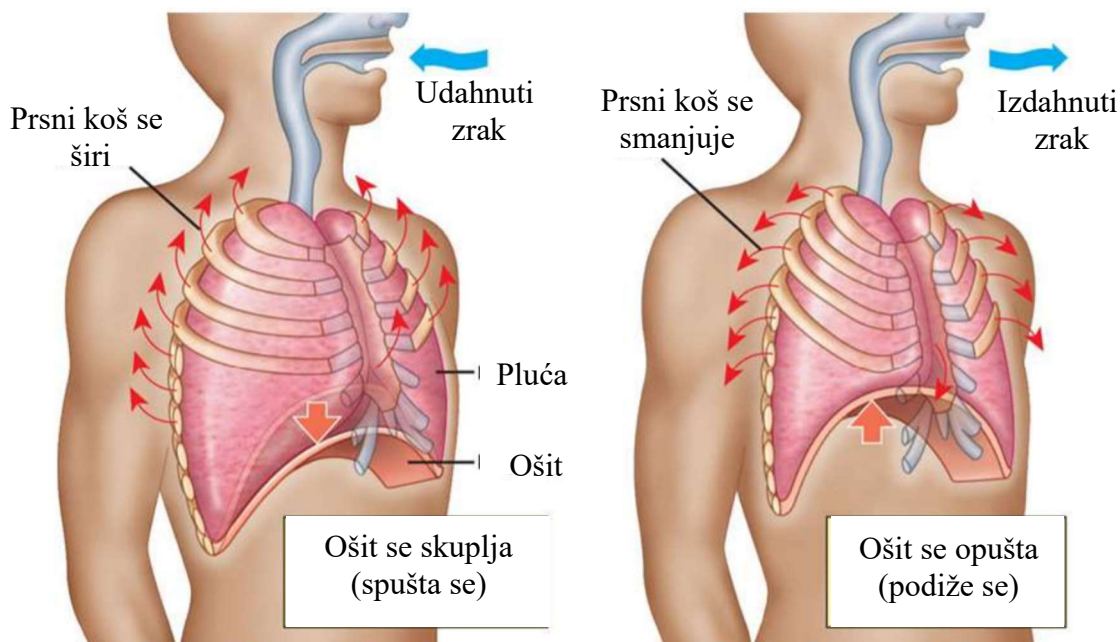
Slika 12 Zvučni spektar roga pri različitim glasnoćama [7]

### 3. PROTOK ZRAKA I NJEGOVO STRUJANJE

Dovod zraka najbitniji je segment pri sviranju puhačkih instrumenata. On osigurava konstantnu vibraciju medija koji uzrokuje promjene u tlaku (usnice kod limenih puhačkih instrumenata, a trska kod drvenih). Kako bi se održavala kvaliteta tona kao i glasnoća, potrebno je moći vrlo detaljno upravljati protokom zraka. Mnogo je faktora koji utječu na kvalitetu izvedenog tona, no dovod konstantne struje zraka temeljni je zahtjev.

#### 3.1. Dobivanje protoka zraka

Najvažniju ulogu u stvaranju protoka zraka ima ošit, tanko mišićno-vezivno tkivo, čijim se pomicanjem ostvaruje razliku tlaka u plućima u odnosu na vanjski tlak. Spuštanjem ošita volumen pluća se povećava te se uslijed toga tlak smanjuje. Zrak će izvana ulaziti u pluća kroz dušnik, dušnice i bronchiole sve do alveola gdje dolazi do izmjene plinova između udahnutog zraka i krvi. Obrnutim procesom, odnosno podizanjem ošita, volumen pluća se smanjuje, tlak se povećava i stoga ranije udahnuti zrak nakon izmjene plinova istim putem izlazi iz respiratornog sustava kao što se vidi na slici 13 [8]. Pored ošita veliku ulogu imaju jezik i usnice kojima se može precizno prilagoditi dobiveni protok. Kontrola tog procesa dobiva se isključivo vježbom i iskustvom. Taj je proces vrlo teško potanje opisati, jer uvelike ovisi o različitoj konstituciji respiratornog sustava, zubi, usnica i jezika kod pojedinih izvođača.



Slika 13 Proces udisanja i izdisanja [8]

### 3.1.1. Cirkularno disanje

Pri višim stadijima obrazovanja muziciranja uči se tehnika cirkularnog disanja. Ona uključuje istovremeno kontroliranje izdahnutog zraka i udisanje. Ranije udahnutim zrakom ispunjava se usna šupljina uz pomoć širenja obraza. U tom se trenutku podiže korijen jezika koji odvaja usnu šupljinu od dušnika. Zrak kojim je glazbenik ranije napunio usta potiskuje se jezikom i obrazima prema instrumentu uz izrazito pažljivu kontrolu protoka dok se za to vrijeme udiše zrak na nos. Pažljivom vježbom postiže se ujednačeni ton bez prekida što olakšava sviranje duljih dijelova bez čujnog uzimanja zraka. Tu tehniku nije preporučljivo koristiti dulje vrijeme, jer je na ovaj način moguće udahnuti tek određenu količinu zraka kroz nos te može doći do vrtoglavice uslijed manjka kisika. U praksi se inače teži disanju na usta zbog prednosti većeg protoka. Relativno brzim udisajem na usta može se udahnuti veliki volumen zraka. Pored toga, prije udisaja vrlo je lako isprazniti višak zraka ukoliko je ostao od prošlog udisaja i nije bio iskorišten pri sviranju. Ovaj proces vrlo je čest jer nije moguće toliko točno odrediti unaprijed količinu potrebnog zraka za sviranje pojedinih dijelova.

### 3.2. Vrste strujanja zraka u plućima

Strujanje zraka u cilindričnoj cijevi može teći laminarno ili turbulentno. Laminarno strujanje znači da struja zraka putuje mirno bez međusobnog miješanja među paralelnim slojevima, odnosno bez turbulencija. U ovisnosti o brzini zraka te promjeru cijevi, odnosno dušnika i bronha, može se izračunati Reynoldsov broj uz poznate vrijednosti iz literature [8] gustoće zraka  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  i dinamičke viskoznosti  $\eta = 1.78 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ .

Reynoldsov broj računamo pomoću izraza:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

gdje  $v$  predstavlja brzinu strujanja zraka.

Promjer dušnika je u rasponu od 20 do 25 mm kod ljudi. Za izračun će se koristiti donja vrijednost promjera od 20 mm jer je pri njoj najveća brzina strujanja zraka te najveća mogućnost pojave turbulentnog toka. Granična vrijednost Reynoldsovog broja iznosi 3000 što znači da ukoliko je vrijednost viša pojaviti će se turbulentno strujanje zraka u dušniku.

Prema literaturi [9] najveći izmjereni protok pri sviranju trube iznosi 625 ml/s. On je izmjerena pri sviranju Bb3 tona pri izrazito glasnoj dinamici. Najveću količinu zraka potrebno je



upotrebljavati pri sviranju dubljih tonova i pri povećanoj glasnoći izvođenja. Za tu će se vrijednost izračunati brzina strujanja, a zatim i Reynoldsov broj.

$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{0.625 \cdot 10^{-3}}{\frac{0.02^2 \cdot \pi}{4}} = 1.9894 \text{ m/s.}$$

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{1.9894 \cdot 0.02 \cdot 1.2}{1.78 \cdot 10^{-5}} = 2682.34.$$

Potrebno je provjeriti vrijednost Reynoldsovog broja i na trećoj razini grananja gdje se nalazi 8 bronha s prosječnim promjerom od 7.5 mm. S obzirom da se na toj razini događa grananje na 8 bronha, potrebno je volumenski protok raspodijeliti na svih 8.

$$q_{v_1} = \frac{q_v}{8} = \frac{625}{8} = 78.125 \text{ mL/s.}$$

Uz ovaj protok  $q_{v_1}$  po jednome bronhu na trećem nivou grananja  $v_3$  iznosi:

$$v_3 = \frac{q_{v_1}}{A} = \frac{0.078125 \cdot 10^{-3}}{\frac{0.0075^2 \cdot \pi}{4}} = 1.7684 \text{ m/s.}$$

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{1.7684 \cdot 0.0075 \cdot 1.2}{1.78 \cdot 10^{-5}} = 894.13.$$

Prema ovom izračunu i uvrštenim podacima vidljivo je da je strujanje zraka u plućima isključivo laminarno. Na nižim razinama grananja, gdje se smanjuje promjer, ali i volumenski protok zbog raspoređivanja prema svim granama, još je manja vjerojatnost za turbulentno strujanje zraka kao što se vidi prema izračunu na trećoj razini grananja. Potrebno je uzeti u obzir da je maksimalni protok od 625 mL/s granični slučaj do kojeg vrlo rijetko dolazi u samoj praksi sviranja.

### 3.3. Zaključak i prostor za detaljna ispitivanja

Protok zraka nakon dušnika prolazi kroz mnoge zapreke, odnosno grkljan, jezik, zube i usnice te nastavlja prema usniku trube koji ima ulogu Venturijeve cijevi. Pri cijelom tom procesu svojstva zraka se izrazito mijenjaju i ovise o brojnim faktorima. Tehnika prepuhivanja, već poznata iz prvog dijela, određuje izvedeni ton. Kako bi usnice vibrirale većom brzinom, odnosno kako bi se dobila viša frekvencija prepuhanog tona, potrebno je zrak ubrzati na velike

brzine i držati relativno konstantnim pri visokom tlaku. Opis struje zraka pri tim procesima bio bi izrazito kompleksan i podložan mnogim subjektivnim faktorima.

Postavlja se pitanje postoji li značajna razlika u kvaliteti tona ili lakoći izvođenja pri kontroliranju načina na koji struja zraka prolazi preko raznih zapreka na putu do instrumenta. Odgovor na to pitanje zahtijevalo bi ispitivanje velikog uzorka svirača raznih konstitucija, mjerenje dimenzija njihovih dušnika i dušnica, grkljana, položaja jezika i konstitucije zubi i usnica. Pored toga trebalo bi uvrstiti i mjere usnika s obzirom da se one znatno razlikuju kao i mjerenje parametara brzine struje zraka i tlaka na raznim područjima tijela i instrumenta. Također, vrlo je teško objektivno uspoređivati kvalitetu dobivenog tona jer sama kvaliteta već ovisi uvelike o izvođaču. Svatko će imati ponešto drugačiji zvuk zbog bioloških razlika, kao što svatko ima drugačiji glas. Na takve mjere ne može se utjecati. Kakvi bi god bili rezultati takva opsežnog ispitivanja, koje bi svakako bilo vrijedno provesti, i bez tih rezultata razvidno je da su vježbom i pažljivim uočavanjem promjene kvalitete tona pri regulaciji pojedinih procesa svirači sposobni utjecati na struju zraka prema osjećaju i zvuku.

## 4. POLOŽAJ TIJELA PRI SVIRANJU

Sviranje instrumenata uglavnom se odvija u dvije moguće pozicije, stajaćoj i sjedećoj. Dovodi se u pitanje utjecaj položaja tijela pri sviranju puhačkih instrumenata na iskorištenje cjelokupnog volumena pluća te mogućnost regulacije protoka. Istraživači u Sydneyju prikazali su kako će utjecati položaj tijela na određene parametre.

### 4.1. Sjedeći i stajaći položaj

Puhački instrumenti zahtijevaju mogućnost regulacije protoka pri vrlo visokim tlakovima, čak i do 25 kPa [10]. Iz tog je razloga potrebno provjeriti može li položaj tijela ograničiti sposobnosti reprodukcije zvuka na optimalan način s gledišta kvalitete i subjektivnog dojma lakoće izvođenja.

#### 4.1.1. Parametri provedenog ispitivanja

Kako bi se dobili valjani rezultati koji su primjenjivi u praksi izvođača, potrebno je uzeti u obzir dovoljno velik uzorak, ispitati parametre kojima mjerimo aktivnost kontrakcije mišića pri disanju (EMG), izmjeriti parametre kojima opisujemo rad pluća (FVC, PEF, FEV1 i FEV1/FVC) [11].

Provedeno ispitivanje u Sydneyju bavilo se upravo tim problemom. Uzorak je činilo 113 svirača limenih i drvenih puhačkih instrumenata. Ženskih je instrumentalista bilo 45, a muških 68. Također je uzeta u obzir i razina obrazovanja. Ispitano je 74 profesionalnih svirača dok je studenata bilo 39. Bitno je, zbog vjerodostojnosti rezultata, napomenuti da je ispitivanje provedeno u skladu s Etičkim povjerenstvom Sveučilišta u Sydney-u.

S obzirom da se instrumentalisti u svojim karijerama susreću s velikim brojem različitih dvorana i uvjeta sviranja, a posljedično i različitim sjedalima, bilo je potrebno ispitati utječe li nagib sjedišta na ranije spomenute parametre. Iz tog su se razloga pri istraživanju koristila sjedišta koja su nagnuta za  $10^\circ$  prema natrag, potom ravno, tj. horizontalno sjedište te sjedište s nagibom od  $10^\circ$  prema naprijed. Takvi su položaji vrlo česti u glazbenim učionicama i na pozornicama. Stajaći položaj najčešće se koristi pri samostalnom izvođenju zbog lakoće kretanja što znatno pridonosi dojmu izražavanja kao osnovnog cilja glazbe. Različiti položaji sjedenja prikazani su na slici 14.



Ravno sjedište

Sjedište nagnuto  
prema naprijedSjedište nagnuto  
prema nazad

Stajanje

**Slika 14** Različiti položaji tijela korišteni pri istraživanju [11]

Izvođači su svirali 5 orkestralnih ulomaka u sva četiri položaja tijela. Nasumično je bio određen redoslijed položaja kako bi se uklonio utjecaj redoslijeda iz konačnih rezultata. Orkestralni su ulomci bili ranije uvježbani te su bila jasno naznačena mjesta za udah. Na taj je način bilo osigurano jednoliko izvođenje pri svakom položaju. Također je pri izvođenju korišten i metronom koji je davao uvijek jednaku brzinu izvođenja. Vrlo je teško osigurati potpuno jednako izvođenje određenog ulomka jer nisu svi parametri lako ponovljivi, naročito parametri ugrijanosti mišića, vlažnosti izdahnutog zraka, motorike prstiju itd. To su faktori koji uglavnom mijenjaju subjektivni dojam kvalitete izvođenja i iz kojih može proizaći i objektivna razlika. Uz pomoć metronoma, prethodno pripremljenih ulomaka i udisaja uklonjeni su oni faktori koji bi najviše utjecali na točnost rezultata dok su subjektivni faktori prepušteni izvođačima kako bi osigurali što vjerodostojnije podatke.

#### **4.1.2. Rezultati istraživanja**

Istraživanje je pokazalo promjenu u kontrakcijama abdominalnih mišića pri stajanju, odnosno pojačanu aktivnost abdominalnih mišića, dok nije bilo značajnih promjena pri sjedenju na različitim sjedištima. Širenje prsnog koša nije pokazalo značajne promjene pri različitim položajima tijela. Abdominalno širenje pokazalo je smanjenje od 9% pri početnom udahu za vrijeme stajanja dok kod ostalih položaja nije bila zabilježena promjena [11].

Izvođači su odabrali stajanje kao preferirani položaj tijela, dok redom slijede sjedenje na horizontalnom sjedištu, sjedenje s nagibom prema naprijed i na kraju sjedište nagnuto prema nazad [11].

### 4.1.3. Tumačenje dobivenih rezultata

Ovaj je odabir vrlo logičan uzme li se u obzir lakoća kretanja pri izvođenju. Pri stajanju tijelo je slobodnije za kretanje pa je iz tog razloga i aktivnost abdominalnih mišića povećana. Kako je sloboda kretanja veliki faktor subjektivnog dojma povećane slobode muziciranja i samog izražavanja, jasno je da stajanje ostavlja dojam ugodnijeg položaja tijela. Pri sviranju nekih zahtjevnijih dijelova, potrebe za naglim povećanjem glasnoće ili održavanjem brzine izvođenja, tj. praćenja brzine ostalih izvođača, najčešće se i nesvjesno koristi pokret tijela. Pokretom se daje znakove ostalim izvođačima, pospješuje vlastita ekspresija, olakšava prohod brzog niza uzastopnih tonova itd. Izuzmemo li nervozu od nastupa, koja može ostaviti dojam nestabilnosti pri stajanju, sasvim je očekivani rezultat preferencije stajanja. Iz tog je razloga sjedište koje je nagnuto prema nazad odabrano kao najmanje preferirani položaj za sviranje. U toj poziciji izvođač je ulegnut u sjedište te ga gravitacija dodatno povlači prema naslonu koji znatno ograničava mogućnost kretanja.

Smanjenje širenja abdominalnog volumena pri stajanju može se pripisati povećanoj aktivnosti tih mišića. S obzirom da su mišići abdominalne regije aktivniji, odnosno zategnutiji, taj predio ima manje prostora za širenje.

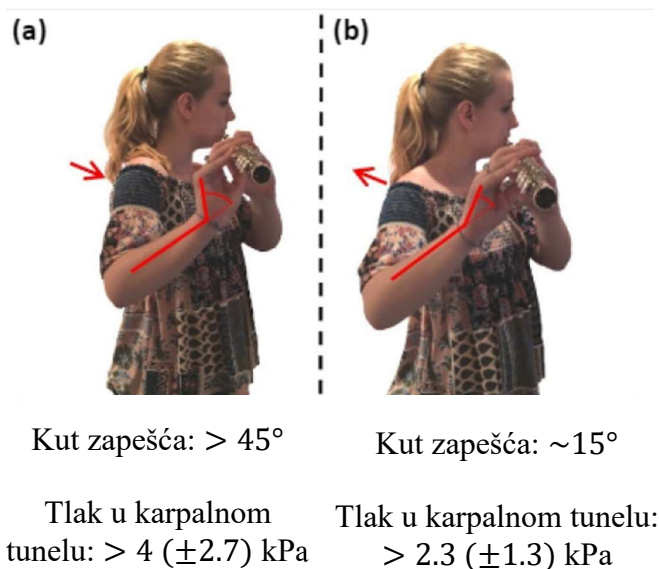
S obzirom da je i tih 9% smanjenja abdominalne ekspanzije vrlo mala promjena, a prsna ekspanzija nije pokazala nikakvu promjenu, nije neobičan rezultat da parametri funkcije pluća ne pokazuju utjecaj s obzirom na položaj tijela. Širenje pluća, odnosno ovdje izmjereni parametri širenja prsnog koša i abdominalnog područja, odvija se u tri dimenzije. Ekspanzija pluća pri sviranju ne događa se svjesno i vrlo se rijetko obraća pozornost na obavljanje te radnje što znači da je ona prepuštena automatiziranim tjelesnim radnjama. Iz tog razloga tijelo se vrlo lako prilagodi potrebama, na primjer, proširi se u nekom drugom smjeru ako je potrebno zahvatiti još mali udio zraka.

Imajući u vidu rezultate navedenog istraživanja, mora se dodatno naglasiti da granične i maksimalne vrijednosti udahnutog, odnosno izdahnutog volumena vrlo rijetko budu korištene u praksi. Izvođenje glazbenog djela zahtijeva pažljivu koordinaciju nekoliko tjelesnih aktivnosti, raniju pripremu i mnogo iskustva. Iz tog se iskustva razvija osjećaj za kontrolu dostupnog i potrebnog volumena za sviranje pojedine fraze te planiranje trenutka za ponovni udisaj. Kada bi se izvođači vrlo često koristili graničnim situacijama, vrlo bi brzo došlo do raznih komplikacija kao što su vrtoglavice i zadihanost. S obzirom da je sviranje aktivnost koja traje neko dulje vrijeme, potrebno je vježbom i planiranjem dovesti proces upotrebe zraka kao

medija proizvodnje zvuka, a ujedno i izmjene kisika, do razine što sličnije uobičajenim plućnim funkcijama. Iako je zrak temelj proizvodnje tona, njegova se upotreba s vremenom i iskustvom nauči koristiti učinkovito i ekonomično ne samo zbog smanjenja mogućnosti komplikacija već i zbog osobnog dojma lakoće izvođenja.

#### 4.2. Biomehanička analiza sviranja

Pored utjecaja položaja tijela pri sviranju na aktivnost respiratornog sustava, vrlo je bitno naglasiti i važnost što opuštenijeg položaja tijela s obzirom na biomehaničku analizu pokreta [12]. Sindrom karpalnog tunela izrazito je česta ozljeda kod svirača svih instrumenata do koje lako dolazi neprirodnim držanjem instrumenta kao na slici 15. Tu i slične takve povrede moguće je prevenirati pravilnim držanjem i pridavanjem pozornosti načinu interakcije s instrumentom. Sviranje uglavnom obuhvaća repetitivne, vrlo brze i precizne pokrete te svako odstupanje od toga može uzrokovati smanjenju kvalitete reprodukcije. Iz tog je razloga izrazito važno smanjiti mogućnost svih uzroka boli i nelagode pri sviranju. Pored same nemogućnosti trenutnog izvođenja, vrijeme oporavka tijekom kojega glazbenik nije u mogućnosti vježbati predstavlja još jedan rizik koji se mogao vrlo lako izbjeći prethodnom pažljivom pripremom.



**Slika 15 Smanjenje opterećenja u zglobovima [13]**

Temeljni princip postavljanja položaja tijela polazi od smanjenja opterećenja u karpalnom tunelu i ostalim zglobovima. Na taj način ne prevenira se samo ozljede već i rasterećuje zglobove, odnosno tetive koje su potrebne za preciznu motoriku. Velika je razlika već i među samim instrumentima, to jest načinima na koji se drže, ali osnovni je zahtjev sloboda prstiju

kako bi bili u mogućnosti kretati se velikom brzinom i preciznom koordinacijom. Ovakav pristup primjenjiv za i ostale skupine instrumenata [12].

#### **4.2.1. Položaj glave**

Kako bi protok zraka nailazio na što manje prepreka bitno je da glava bude u prirodnom položaju s obzirom na frontalnu ravninu. Zamak glave prema naprijed kako prikazuje slika 16., odnosno prema nazad, može uzrokovati smanjenje promjera grkljana te smanjiti opuštenost jezika koji igra veliku ulogu u formiranju tona svih puhačkih instrumenata. Jezikom glazbenik čini konačne korekcije na protoku zraka koji dolazi iz pluća, prilagođavam intonaciju te odvaja tonove jedne od drugih, poznatije kao ataka. Laganim dodiranjem jezika na gornje nepce, odnosno trsku kod drvenih puhačkih instrumenata, nakratko prekida protok zraka što uzrokuje i kratki prekid tona. Određene skladbe zahtijevaju vrlo brza takva odvajanja što nije izvedivo ovom tehnikom. Tada je potrebno kombinirano prekidanje struje zraka vrškom i korijenom jezika. Kombinacijom izgovora slova *t* i *k* moguće je vrlo brzo odvajati tonove. Bilo kakva nepotrebna ukočenost grla i vrata uzrokuje probleme u korištenju ove tehnike.

#### **4.2.2. Kralježnica**

S obzirom na izrazitu povezanost lokomotornog sustava, rasterećenje kralježnice vrlo je poželjno kako bi se izbjegla ukočenost ostalih dijelova tijela. Kao i kod sporta, teži se općem dojmu opuštenosti, suprotno od prikaza na slici 16. Nepravilno držanje, iskrivljivanje ili rotacija kralježnice može također uzrokovati ukočenost ruku i nogu. Uz probleme ograničene slobode kretanja s gledišta motorike u obzir treba uzeti i ranije spomenutu ekspresivnu komponentu pokreta. Pretjerana ukočenost dovodi do nemogućnosti praćenja glazbe pokretom. Zbog toga subjekt doživljava smanjenje sveukupne kvalitete izvođenja. Taj je problem vrlo čest pri nastupima zbog nervoze, a ako je takav položaj tijela ustaljen, to može dovesti do većih zdravstvenih problema [12].



Glava pomaknuta prema naprijed uz iskrivljenu kralježnicu

Podignuto lijevo rame i iskrivljen vrat uz skoliozu

**Slika 16** Primjer pogrešne posture pri sviranju klarineta [12]

#### 4.2.3. Položaj tijela pri sviranju pojedinog instrumenta

Potrebno je osvrnuti se na posebne slučajeve sviranja različitih instrumenata. Svaki od njih drži se na poseban način, zahtjeva zahvat na drugome mjestu i drugačiji položaj tijela. Kako ne postoji opći slučaj potrebno je ukazati na neke od mogućih komplikacija pri nepovoljnom položaju tijela za vrijeme sviranja instrumenata.

##### 4.2.3.1. Truba

Kod trube lijeva ruka drži blok s ventilima dok je desna ruka lagano oslonjena na gumbe ventila. Poželjno je da dlan nije pod kutom u odnosu na podlakticu kako bi zapešće i karpalni tunel bili što opušteniji. Pravilan i pogrešan način držanja prikazuje slika 17. Prsti su pritom blago zaobljeni u položaju neopterećenog dlana. Mali prst desne ruke ima posebno mjesto, odnosno kuku kojom je moguće instrument pridržati samo desnom rukom ako je potrebno. Ovaj način sviranja nije preporučeni niti moguć u duljem vremenskom periodu jer glavninu tereta ukupne mase od otprilike 1 kg tada nosi mali prst, no ovom mogućnošću dobiva se prednost lakšeg manevriranja ostatkom opreme pri sviranju. Ponekad je potrebno brzo okrenuti note ili umetnuti posebni prigušivač u zvono instrumenta za vrijeme sviranja. Nagibi laktova u odnosu na sagitalnu ravninu ne bi trebali biti preveliki kako bi se smanjilo opterećenje na rame i kako



zapešća ne bi bila u neprirodnom položaju. Kako je položaj tijela pri sviranju trube relativno simetričan, nastoji se i noge držati u istoj ravnini, lagano razmaknute zbog stabilnosti.



Pravilni položaj:  
rasterećen karpalni tunel

Nepravilni položaj:  
opterećen karpalni tunel i povećano  
opterećenje ramena

**Slika 17** Položaj ruku pri sviranju trube [14]

#### 4.2.3.2. Rog

Sviranje roga oslanja se na desnu ruku čiji dlan, skvrčen u zvonu instrumenta, nosi teret mase od otprilike 3 kg. Ova tehnika ne služi samo za nošenje tereta već i za manipulacije zvuka. Pozicioniranjem desne ruke u zvonu instrumenta možemo prilagoditi intonaciju i toplinu dobivenog tona. Lijeva ruka pridržava instrument i oslanja se na gumbe ventila kojima se mijenja ton. Kao i kod trube položaj je ruku asimetričan te postoji opasnost od iskrivljenja kralježnice uslijed većeg opterećenja na jednom ramenu što prikazuje slika 18.



**Slika 18** Asimetrični položaj ruku i opterećenje na lijevoj ruci [14]

#### 4.2.3.3. Saksofon i fagot

Pri sviranju saksofona i fagota uvelike pomaže remen koji se postavlja oko vrata te nosi gotovo sav teret instrumenta. Obje ruke, odnosno svi prsti, služe za mijenjanje tonova i zato je bitno da su svi slobodni za brze pokrete. Rukama se samo pridržava instrument i usmjerava ga se prema preferiranom položaju. Ovdje je vrlo bitno naglasiti opasnost od neprimjerenog položaja glave ukoliko se remen ne prilagodi konstituciji svirača. Ako se remen ne povuče dovoljno visoko ili je instrument postavljen previsoko može doći do neprirodnog zakreta glave. Zbog velike mase instrumenta (saksofon ima masu otprilike 3 kilograma, a fagot 3.5 kilograma) bol u vratu i leđima vrlo je česta. Ti se instrumenti ne drže simetrično već su naslonjeni na desni bok svirača kao na slici 19. Desna je ruka iz tog razloga usko pripijena uz tijelo te pomaknuta unazad dok je lijeva ruka visoko i pomaknuta prema naprijed. Takav način držanja instrumenta dovodi do osjećaja neugode i boli nakon duljeg vježbanja. U razgovoru sa sviračima otkriveno je da i nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja imaju problema na lijevoj strani leđa uslijed ovakvog položaja tijela.



**Slika 19 Remen za držanje tereta i asimetrični položaj tijela ispitanika [14]**

#### 4.2.3.4. Klarinet i oboa

Najveću iznimku imaju klarinet i oboa. Držanje tih instrumenata uključuje slobodu gibanja svih prstiju bez dodatnog pomagala za nošenje tereta. Palac desne ruke, što vidimo na slici 20., nosi glavninu tereta instrumenta u slučaju klarineta i oboe koji imaju masu otprilike od 0.6 do 0.8 kilograma. Tada veliko opterećenje nosi metakarpofalangealni zglob palca. U tome pomaže

tehnika sviranja jer pri sviranju većine tonova instrument pridrđavaju s druge strane palca i ostali prsti. Pri početnim fazama učenja ovih instrumenata djeca najčešće koriste remen oko vrata, kao i saksofonisti, koji pomaže u pridrđavanju instrumenta. Kasnije, nakon što zglob palca malo ojača oslanjaju se na njega. Pri duljem sviranju česta je pojava boli u palčanom zglobu i iritacija kože na mjestu dodira. Pored toga, ostali prsti pomalo gube precizne motoričke sposobnosti zbog ukočenosti zglobova šake uslijed tereta instrumenta. Također postoji rizik od ukočenosti vrata kao i kod drugih puhačkih instrumenata. Poznati su slučajevi pri kojima su bolovi u vratu uzrokovali prevelike probleme za nastavak karijere. Neki od proizvođača instrumenata, u želji za optimizacijom kvalitete i projekcije tona, izrađuju instrumente s nešto težim donjim dijelom. Zbog toga dolazi do dodatnog zakretanja instrumenta uslijed momenta uzrokovanog gravitacijom koji će preuzeti zubi gornje čeljusti. U kompenzaciji tog momenta uvelike sudjeluju vratni mišići koji se zbog duljeg sviranja ukoče uslijed neprirodnog načina opterećenja.

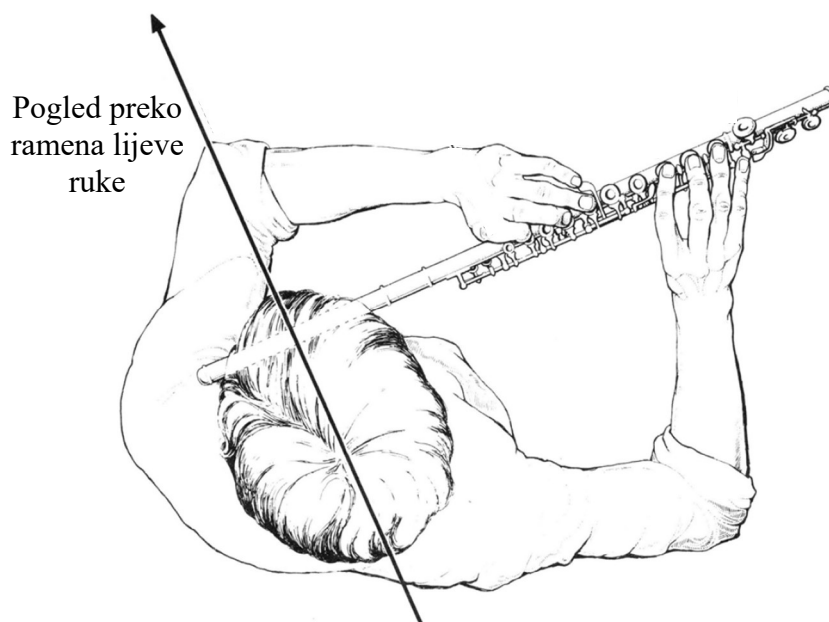


**Slika 20** Opterećeni palac desne ruke [14]

#### 4.2.3.5. Flauta

U slučaju flaute, problem nije masa instrumenta i ukočenost zglobova koji ga nose već asimetričnost posture. Kako se flauta drži na desnoj strani, lijeva je ruka bliže licu, a desna dalje. Uslijed toga dolazi i do rotacije ramena, glave i kralježnice kao što upućuje slika 21.

Ukoliko te rotacije nisu usklađene, odnosno ukoliko je neka od njih prenaglašena, vrlo lako dolazi do osjećaja nelagode i mogućnosti ozljede. Postoji nekoliko načina kako flautisti stoje prilikom sviranja što znatno utječe na rizik od povreda. Prvi način je simetrično stajanje s razmaknutim nogama i usmjereno prema naprijed. U ovom slučaju desno je rame pomaknuto prema nazad i prema gore. Zbog toga dolazi do boli u ramenu i vratu, a posljedično je karpalni tunel dodatno opterećen zbog potrebne kompenzacije u zglobu kako bi prihvatili instrument na pravi način. Drugi je način da se svirač zakrene za otprilike  $45^\circ$  u odnosu na gornji dio tijela [13]. Tako se uklanja nelagoda iz područja ramena i vrata, ali takav stav ujedno uzrokuje neprirodnu rotaciju kralježnice. Način na koji se uklanjaju ti problemi jest asimetrično stajanje. Desna noga blago je zakrenuta prema van i pomaknuta unazad, dok je lijeva pomaknuta naprijed i zakrenuta prema lijevo. Tako je masa subjekta ravnomjerno raspoređena, kralježnica je ugodno poravnana, a ramena opuštena.



Slika 21 Rotacije tijela pri sviranju flaute [15]

### 4.3. Zaključak o položaju tijela

Sviranje svih instrumenata zahtijeva vrlo neprirodne položaje tijela koji se odvijaju u duljem vremenskom periodu. Promjena instrumenta, odnosno dimenzija i mase, prekomjerno vježbanje, ukočenost uslijed nervoze od nastupa, nedovoljno zagrijavanje, pogrešna priprema i način držanja instrumenta samo su neki od slučajeva koji mogu znatno povećati rizik od ozljede. Takve ozljede nisu usporedive po ozbiljnosti s onima koje se događaju u sportu, no vrlo često rezultiraju preuranjenim završetkom glazbene karijere. Pri edukaciji bilo bi poželjno više se

---

baviti tematikom položaja tijela, opterećenjima na zglobove i općom opuštenošću kako bi se izbjegle moguće komplikacije. Nakon naučenog i već ustaljenog načina sviranja vrlo je teško promijeniti nepoželjne navike. Stoga se smatra da je vrlo važno već u samim početnim stadijima učenja obraćati pozornost na pravilno držanje tijela.

---

## **5. ZAKLJUČAK**

Poznavanje srži nastanka tona, interakcije s instrumentom, ali iznad svega i vlastitog tijela izrazito je ključan korak u savladavanju vještine sviranja, no nažalost često i zanemaren. U ovom radu je pokazan tek mali dio širine ove tematike, predstavljaju se osnovni principi i potaknuti su glazbenici na daljnje istraživanje ove teme.

S obzirom na opseg teorije stvaranja glazbe, odnosno principa rada instrumenata, potrebno je naglasiti koliko je ključna kvalitetna interakcija glazbenika i instrumenta, to jest shvaćanje svih tih osnovnih znanja.

Sa stajališta biomehanike postoji mogućnost specijaliziranog istraživanja mogućih povreda. Postavlja se i pitanje može li smanjiti učestalost pojave povreda nekom općom edukacijom profesora glazbe i njihovih učenika ili možda nekim ergonomskim napravama i spravama za vježbanje. Za sada su glazbenici uglavnom prepušteni vlastitom osjećaju po tom pitanju, no vrlo često takav osjećaj prevari i dovede do neželjenih komplikacija, naročito ako je korijen u ranim stadijima učenja.

---

**LITERATURA**

- [1] Hartmann, William M., *Principles of Musical Acoustics*. New York: Springer, 2013.
- [2] Dušić, V., *Fizika glazbe*, Završni rad, 2018.  
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/fizos%3A73/datastream/PDF/view, 29.1.2022.>
- [3] Kir Hromatko, J., *Akustičke osobine klarineta*, Diplomski rad, 2018.  
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/muza%3A1579/datastream/PDF/view, 29.1.2022.>
- [4] Fletcher, Neville H.; Rossing, Thomas D., *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer, 1998.
- [5] Thompson, A., *A Study of French Horn Harmonics*. Institute of Acoustics, 2010.
- [6] Olson, Harry F. *Music, Physics and Engineering*, New York: Dover Publications, Inc. 1967.
- [7] Meyer, Jürgen. *Acoustics and the Performance of Music*. New York: Springer, 2009.
- [8] Jurčević Lulić, T., *Predavanja iz Biomehanike*, 2021.
- [9] Fréour, V.; Caussé, R.; Cossette, I., *Simultaneous Measurements of Pressure, Flow and Sound During Trumpet Playing*. HAL 2010.
- [10] Fletcher, N. H.; Tarnopolsky, A., *Blowing pressure, power and spectrum in trumpet playing*. Canberra 1998.
- [11] Ackermann, Bronwen J.; O'Dwyer, N.; Halaki, M., *The difference between standing and sitting in 3 different seat inclinations on abdominal muscle activity and chest and abdominal expansion in woodwind and brass musicians*. Australia: NSW, 2014.
- [12] Tubiana, R.; Amadio, P.C., *Medical Problems of the Instrumentalist Musician*. New York: Taylor & Francis Group, 2000.
- [13] Bellisle, R. F.; Decker, J., *The Biomechanics of Music Performance*. University of Rhode Island, 2017.
- [14] Fotografije iz osobne arhive
- [15] Harrison, H., *How to Play the Flute*. London: EMI Publishing, 1982.