

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek  
Zavod za animalnu fiziologiju

SEMINARSKI RAD

# FIZIOLOGIJA EHOLOKACIJE U ŠIŠMIŠA

*Physiology of Echolocation in Bats*

Mentor: Doc. dr. sc. Zoran Tadić

Vida Zrnčić  
Preddiplomski studij biologije  
Rujan 2009.

## SAŽETAK

Svi šišmiši skupine *Microchiroptera* i samo jedan rod skupine *Megachiroptera* evolucijom su razvili složeni sustav eholokacije koji im služi pri hvatanju plijena, pri snalaženju u prostoru te za komunikaciju i navigaciju.

Šišmiši skupine *Microchiroptera* proizvode zvuk za eholokaciju u vrlo kratkim pulsevima visoke frekvencije na glasnicama u grkljanu, a ispuštaju ga kroz usta ili nos prilagođenih za tu svrhu. Šišmiši skupine *Megachiroptera* zvuk za eholokaciju proizvode pucketanjem jezika.

Jeku, u pravilu vrlo malog intenziteta zvuka, svi šišmiši registriraju osjetljivim sluhom. Da ne bi oštetili organe osjetljivog sluha glasnim zvukovima visokih frekvencija koje moraju proizvoditi, šišmiši su razvili zaštitni sustav. Taj se sustav temelji na isključivanju stremena iz slušnog sustava za vrijeme proizvodnje eholokacijskih pulseva zvuka i na uključivanju stremena u slušni sustav u vrijeme između eholokacijskih pulseva kada se i registriraju jeke.

Jeke se pretvaraju u električne impulse koji putuju slušnim živcem do srednjeg mozga na predobradu i na kraju do slušne regije kore velikog mozga na završnu analizu.

## SUMMARY

All bats in subclass *Microchiroptera* and only one genera in subclass *Megachiroptera* have developed complex system for echolocation through the evolution. Echolocation is used for catching their prey, for and for communication and navigation.

Bats in subclass *Microchiroptera* generate echolocation calls in very short pulses with high frequency. Calls generated in glottis in larynx are then emitted through their mouths or through nose which are modulated especially for that purpose.

Low intensity echoes are registered by all bats with very sensitive auricular system. In their auricular system bats have developed special way of protecting auditory organs from high frequency calls they emit. At the time of generating echolocation calls stapes is removed away from oval window in auditory system. After generating calls it is returned back on its original place and the bat can hear echoes between echolocation pulses.

The echo is converted into electrical impulses which than travel along auricular nerve all the way to the middle brain. After being preprocessed, impulses continue to travel into the auditory cortex for the final analysis.

# SADRŽAJ

<b>1 UVOD</b> .....	2
ŠTO JE EHOLOKACIJA? .....	2
EHOLOKACIJA U RANIJIH ŠIŠMIŠA .....	2
KRATKI POVIJESNI PREGLED ISTRAŽIVANJA EHOLOKACIJE.....	2
<b>2 EHOLOKACIJA</b> .....	4
PROIZVODNJA ZVUKA I PERCEPCIJA U MICROCHIROPTERA .....	4
PROIZVODNJA ZVUKA I PERCEPCIJA U MEGACHIROPTERA .....	6
EHOLOKACJSKI ZVUKOVI .....	6
Eholokacija zvukovima niske učestalosti .....	6
Eholokacija zvukovima visoke učestalosti .....	7
KAKO SE ŠIŠMIŠI NE ZBUNE EHOLOKACIJSKIM ZVUKOVIM DRUGIH ŠIŠMIŠA?.....	8
EHOLOKACIJA KAO KOMUNIKACIJA .....	8
EHOLOKACIJA I NAVIGACIJA .....	8
BAT DETEKTORI.....	9
<i>Heteridyne bat</i> detektori .....	9
Frequency division bat detektori.....	10
Time expansion bat detektori.....	10
SONOGRAMI I OBRADA PODATAKA .....	11
<b>3 ZAKLJUČAK</b> .....	14
<b>4 POPIS LITERATURE</b> .....	15

# 1 UVOD

## ŠTO JE EHOLOKACIJA?

Najjednostavnija definicija eholokacije je da je to analiza jeke vlastitog produciranog zvuka pomoću koje životinja dobiva zvučnu sliku prostora u kojem se kreće.

Osim šišmiša njime se koriste životinje reda *Cetacea* i *Insectivora*, ali i neke ptice. Životinje redova *Rodentia* i *Marsupialia* se također koriste ultrazvukom, ali nije sigurno, koriste li je za eholokaciju ili samo za komunikaciju.

Zvuk visoke frekvencije nije esencijalan za eholokaciju, ali ipak ima puno više prednosti od nižih zvukova. Ljudi čuju zvukove u rasponu od 40 Hz do 20 kHz, dok se šišmiši glasaju u rasponu od 20kHz do 120 kHz, poneki čak i do 215 kHz.

Insekti i mali člankonošci su najčešća hrana šišmiša. Otprilike 70% od svih šišmiša na svijetu je insektivorno i oni spadaju u skupinu *Microchiroptera*. Ponekad se i neki šišmiši skupine *Megachiroptera* hrane kukcima no koriste se time više kao izvor proteina.

## EHOLOKACIJA U RANIJIH ŠIŠMIŠA

Najraniji ostaci šišmiša, za kojeg se zna da je eholocirao, pronađeni su u sedimentu iz srednjeg eocena, prije oko 50 milijuna godina, početak tercijara, blizu Wyominga u Sjedinjenim Američkim Državama i u južnoj Njemačkoj blizu Messela. Pronađeni ostatci šišmiša dvaju rodova *Palaeochiropteyx* i *Hassianycteris* imali su u svojim želucima fosilizirane ostatke malih noćnih leptira (*Microlepidoptera*), kukaca reda *Trichoptera* i pravih muha (*Diptera*).

Nešto povećana pužnica (kohlea) u vrste *Icaronycteris index*, jedini šišmiš pronađen u formaciji *Green River*, otkriva nam da su šišmiši iz doba eocena eholocirali, ali ne pretjerano sofisticiranim načinom što možemo isto reći i za šišmiše pronađene na jugu Njemačke.

Pretpostavlja se da su u doba pojave prvih šišmiša bili također prisutne i dnevne ptice grabljivice kao što su jastrebovi i sokolovi, te da su ih oni ograničili na noćni život još u ranim počecima.

Vid im je ograničen i ne koriste ga pretjerano u hvatanju malih i pomičnih pljenova u mraku s nepredvidljivim svjetlom.

## KRATKI POVIJESNI PREGLED ISTRAŽIVANJA EHOLOKACIJE

Tijekom povijesti ljudi su se pitali na koji način se šišmiši snalaze u mraku. Lazzaro Spallazani radio je razne pokuse na šišmišima. Uz pomoć Luisa Jurinea, švicarskog biologa, došao je do zaključka da se šišmiši koriste sluhom za snalaženje u prostoru. No nisu znali dokučiti kao ni pretpostaviti da se koriste visokim frekvencijama koje ljudsko uho ne može detektirati.

Kroz slijedećih 150 godina, znanstvenici su pokušavali osmisliti i dokazati na koji se način snalaze u prostoru pri navigaciji. Bilo je različitih pretpostavki, od toga da su im krila osjetljiva na pokrete, da koriste svih pet osjetila istovremeno, da posjeduju šesto osjetilo koje mi nemamo i koje ne možemo ni shvatiti.

1920. Donald R. Griffin, s Harvarda, je saznao da je profesor fizike G.W. Pierce izumio uređaj koji konvertira ultrazvukove u frekvencije koje čovjek može čuti. Pošto se intenzivno bavio šišmišima i do tada objavio nekoliko znanstvenih radova o njihovoj migraciji, zanimalo ga je može li taj uređaj biti primjenjiv na šišmiše.

Profesor G.W. Pierce je godina slušao kukce kako se glasaju. Počelo ga je zanimati proizvode li oni možda i "supersonične" zvukove. Tube ispunjene vakuumom je stavio u dvije kutije, jedna kutija je trebala skupljati ultrazvukove dok je druga trebala konvertirati te zvukove u čujne zvukove. Tim se uređajem koristio u svojem laboratoriju. Griffin je konačno 1937. prišao prof. Percu i predložio da s tim uređajem testiraju šišmiša.

Pustili su šišmiša da slobodno leti u prostoriji s uređajem. No nisu ništa čuli. Rezultate tog eksperimenta su 1938. objavili (Mammology, vol.19.). Griffin je kasnije tvrdio da je bio problem u mikrofону. Nekoliko godina kasnije isprobali su ponovno oslušivati šišmiše na istom principu i uspjeli su čuti glasanje šišmiša. Od tada su se znanstvenici intenzivno bavili ehlokacijom dorađujući tehnike obrade podataka i snimanja zvukova glasanja šišmiša.

## 2 EHOLOKACIJA

### PROIZVODNJA ZVUKA I PERCEPCIJA U MICROCHIROPTERA

Kod svih sisavaca, zvuk se proizvodi u području grkljana. Kod *Microchiroptera* grkljan je nešto veći nego kod letipasa (*Megachiroptera*) i većine drugih sisavaca. Mehanizam proizvodnje zvuka se nije promijenio: zrak prolazi preko glasnica, zbog čega one vibriraju, dok se mišićima u grlu namješta tenzija glasnica i mijenja se frekvencija zvuka. Šišmiši ispuštaju zvuk kroz usta ili kroz nos. Oni koji ispuštaju zvukove kroz nos često imaju složene nosne listove, nabore kože i hrskavice različite složenosti, koje ponekad mogu prekrivati veći dio lica. Kod mnogih vrsta, nosni nabori služe kao akustične leće fokusirajući zvuk u usku zraku ispred šišmiša.

*Microchiroptera* moraju dobro čuti, pa u pravilu imaju velike uši ili tragus. Tragus je hrskavična tvorevina na bazi uha unutar uške. Uši i tragus mogu biti različitih veličina i oblika, ovisno o vrsti.

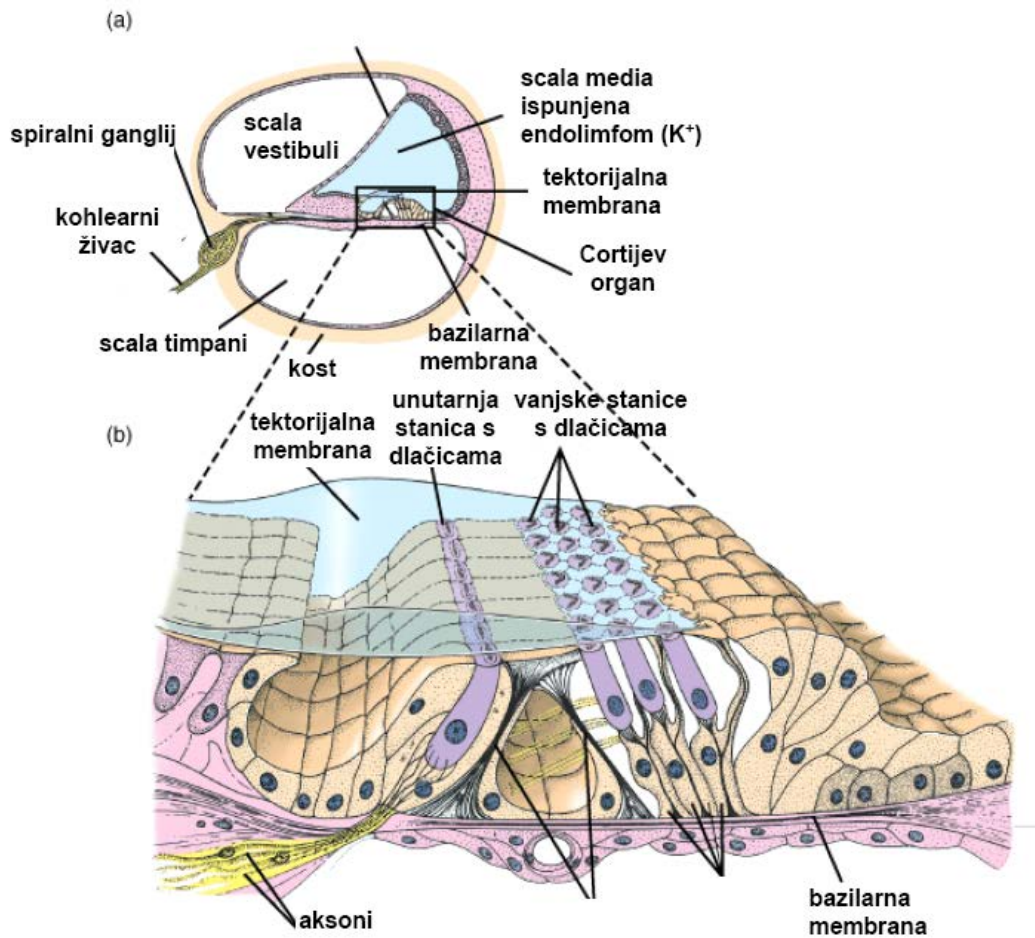


Primjeri tragusa i uha kod nekih hrvatskih vrsta

Zvuk prolazi kroz kanal vanjskog uha sve do bubnjića ili *membrana tympani*, koji je kod šišmiša deo između 2 i 11  $\mu\text{m}$ . Vibracije su potom prenesene preko čekića (*malleus*), nakovnja (*incus*) i stremena (*stapes*), tri slušne koščiće, do ovalnog prozorčića (*fenestra ovalis*). Vibracije ovalnog prozorčića prenose se preko spiralnog kanala pužnice (*cochlea*). Pužnica ima zadatak prosijati i kategorizirati zvuk prema frekvenciji prije nego ga mozak interpretira. Pužnica se sastoji od tri spiralno paralelna kanalića između kojih se nalazi Cortijev organ. Stanice Cortijevog organa reagiraju na zvuk smanjene frekvencije. *Microchiroptera* ima 2.5 do 3.5 cijela okreta u pužnici, dok za usporedbu, *Megachiroptera* i primati imaju 1.75 okreta. Zvučni valovi zavibriraju tektorijsku membranu koja potom aktivira osjetne stanice s dlačicama gdje se vibracije zvučnih valova pretvaraju u električni impuls. Električni impuls iz ovih stanica putuje slušnim živcem do srednjeg mozga gdje se prvo obrađuje, a tek potom putuje na završnu obradu u slušni regije kore velikog mozga.

Što se višim frekvencijama šišmiš služi, to je manja površina bubnjića, a slušne koščiće su manje i lakše da bi mogle što brže vibrirati. Šupljine vanjskog i srednjeg uha su ispunjene zrakom dok je šupljina unutarnjeg uha ispunjena tekućinom. Pomicanjem samo tragusa i/ili cijelog uha šišmiši mogu poboljšati osjetljivost za dolazeće jeke.

Jačina visoko frekventnih zvukova slabi za vrijeme njihovog putovanja kroz zrak što im predstavlja veliki problem. Trebaju iznimno osjetljiv sluh kako bi registrirali vrlo slabe jeke koje su odbijene od njihovog plijena. Pošto im je sluh jako precizan postavlja se pitanje na koji su se način šišmiši prilagodili da ne ogluše prilikom emitiranja zvukova visokih i glasnih frekvencija.



Detaljan prikaz pužnice i Cortijevog organa

Za vrijeme ehlokacije, šišmiši ne ispuštaju zvukove kontinuirano već u kratkim navalama pulseva. Za vrijeme tih navala pulseva, neke vrste postanu privremeno gluhe, dok im sluh postaje najosjetljiviji između tih navala. Postižu to tako što pomiču mišiće koji se nalaze u uhu. Trenutak prije nego što počne proizvoditi ehlokacijske pulseve, šišmiš kontrahira mišić koji je vezan na stremen, *musculus stapedius*. Kada se stremeni mišić kontrahira, povlači stremen od ovalnog prozorčića.

Sada zvuk ne može biti prenesen na pužnicu koju glasni zvukovi mogu oštetiti. Nakon što je emitirao zvukove, šišmiš opušta stremeni mišić koji se vraća na mjesto i zvuk se dalje može prenositi. Za vrijeme posljednjih trenutaka prije nego uhvati svoj

plijen, šišmiš može proizvoditi pulseve u periodu ponavljanja od 200 Hz. Njegov stremeni mišić također pritom radi na istoj frekvenciji, što je jedna od najvećih mogućih frekvencija u mišića kod kralješnjaka. Postoje još neki od načina prigušivanja visokih zvukova, primjerice kod nekih šišmiša pužnica nije toliko srasla za lubanju kao kod ostalih sisavaca. Opuštena je i okružena krvnim sinusima i masnim naslagama.

## PROIZVODNJA ZVUKA I PERCEPCIJA U *MEGACHIROPTERA*

Šišmiši skupine *Megachiroptera* ne koriste se eholokacijom, pošto je je njihova prehrana bazirana uglavnom na voću i cvijeću. Za pronalazak hrane koriste se vidom pomoću jako izraženih očiju i dobrim njuhom.

Kod *Megachiroptere* pronađeno je da se jedino šišmiši roda *Rousettus* ipak koriste eholokacijom. Oni je koriste u špiljama u kojima obitavaju, proizvodeći zvukove tako da klikću jezikom. Pulsevi su kratki, svega milisekunda do dvije, ali visokih frekvencija, od 10 do 60 kHz, s brzinom ponavljanja od 7 Hz.

Mehanizmi percepcije su identični kao u *Microchiroptera*.

## EHOLOKACJSKI ZVUKOVI

Šišmiši ispuštaju eholokacijske zvukove kao pulseve u navalama. Slušajući jeku emitiranog zvuka detektiraju objekte u svojoj okolini. Za razliku od vida, eholokacija je prilično korisna za to, iako šišmiši moraju proizvoditi intenzivne ultrazvučne pulseve da bi primili jeku odbijenu od tako malih žrtava. Šišmiši u letu koreliraju proizvodnju zvuka s pokretanjem krila i koriste letne mišiće kako bi povećali tlak zraka za grkljana.

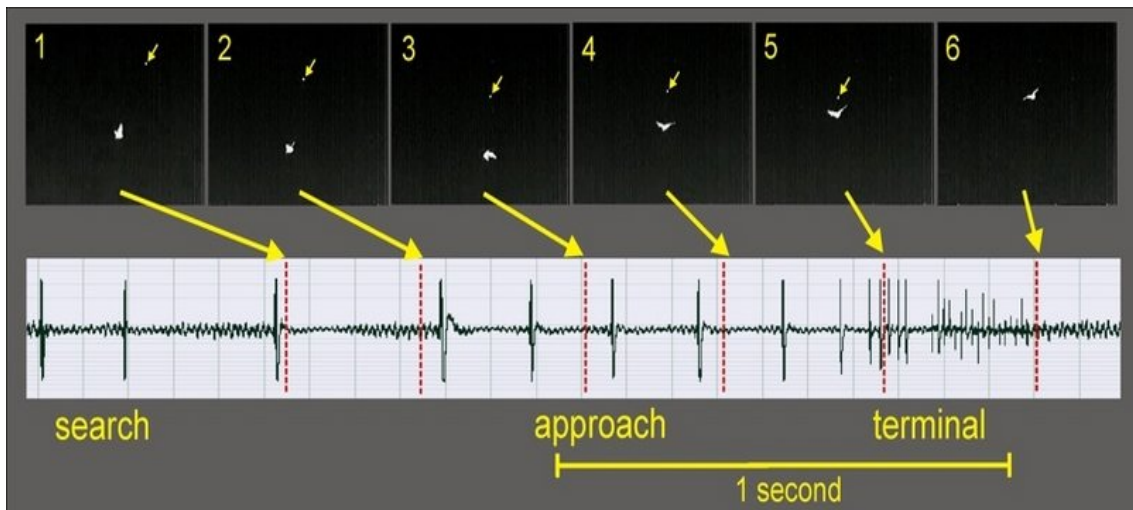
Eholokacija zvukovima niske učestalosti

Zvuk putuje  $340 \text{ ms}^{-1}$ , zvuk koji dolazi od objekta udaljenog 1 m, vraća se nakon 5.9 ms nakon emitiranja. Ako bi emitirani zvuk bio duži od 5.9 ms, šišmiš bi počeo slušati jeku prije nego je završio s emitiranjem zvuka. No kod mnogih šišmiša mehanizmi živaca za interpretaciju eholokacijskih zvukova zahtijevaju da se zvukovi i jeke ne preklapaju.

Pošto zvuk putuje uvijek jednakom brzinom kroz zrak, šišmiš može zaključiti koliko je udaljen plijen na temelju vremenske razlike između emitiranog zvuka i njegove jeke. Za vrijeme traženja plijena, šišmiš ispušta pulseve pri frekvenciji od 10 Hz što je frekvencija udaranja krila i disanja. Kada detektira plijen, ulazi u fazu približavanja te počinje sve češće ispuštati pulseve. Kako se udaljenost između šišmiša i plijena smanjuje, tako se smanjuje i vrijeme za izmjenu pulseva i jeke kako ne bi došlo do preklapanja. U završnoj fazi pulsevi mogu biti emitirani pri frekvenciji od 200 Hz u trajanju od svega nekoliko mili sekundi.

Razlikujemo pulseve koji su modulirane frekvencije (FM) i stalne frekvencije (CF). Mnogi se šišmiši koriste kombinacijom jednih i drugih pulseva (CF-FM, FM-CF-FM). Kod šišmiša koji se koriste samo FM signalima govorimo o pulsevima širokog opsega (*broadband*), a kod šišmiša koji koriste CF pulsevima, o pulsevima uskog opsega (*narrowband*). Pulsevi moduliranih frekvencija su zvukovi nižih oktava s kratkim trajanjem između 0.5 do 5 ms.





Prikaz ehlokacijskih zvukova na sonogramu za vrijeme traženja, približavanja i, konačno, hvatanja plijena

FM pulsevi daju točne podatke o udaljenosti i kutu gdje se nalazi plijen te se zato često koriste za pronalaženje plijena. Također su korisni pri klasifikaciji plijena prema teksturi.

Šišmiši koji love svoj plijen među vegetacijom, često koriste široko opsežne FM zvukove dok oni koji love na otvorenom ili primjerice na rubu šume, FM zvukovima pridodaju i nešto duže CF zvukove u trajanju između 5 do 10 ms. Usko opsežni CF zvukovi često se dodaju na kraju glasanja kada su zvukovi niže frekvencije. Takvi šišmiši su netolerantni na preklapanje emitiranog zvuka. Poneke porodice koriste ipak usko opsežne CF zvukove na početku glasanja.

#### Eholokacija zvukovima visoke učestalosti

Neki šišmiši poput onih iz porodica *Rhinolophidae* i *Hipposideridae* koriste se dugim CF ehlokacijskim zvukovima. Porodica *Hipposideridae* koristi se zvukovima u trajanju do 20 ms dok se porodica *Rhinolophidae* koristi zvukovima dužim od 50 ms. Zvukovi visoke učestalosti povećavaju vjerojatnost detektiranja zvukova udaranja krila kukaca.

Razlika između ehlokacije zvukovima niske učestalosti i ehlokacija zvukovima visoke učestalosti je ta što u ehlokaciji visoke učestalosti emitirani zvukovi i njihove jeke su razdvojene frekvencijom, a ne vremenski kao ehlokacija zvukovima niske učestalosti. Da bi to uspjeli koriste se mehanizmom Dopplerovog efekta.

Snižavanjem ispuštenih zvukova nadoknađuje se promjena zbog Dopplerovog efekta uzrokovane brzinom kretanja samog šišmiša. Jeke se tako vraćaju u suženi frekvencijski prozor povišene osjetljivosti. Jeke su nešto više frekvencije od emitiranih zvukova pa se tako emitirani zvukovi izbacuju iz interpretacije zvukova. Ovakav sofisticiran način je omogućen prilagođenim unutarnjim uhom i obradom podataka u mozgu.

## KAKO SE ŠIŠMIŠI NE ZBUNE EHOLOKACIJSKIM ZVUKOVIM DRUGIH ŠIŠMIŠA?

Dugo se postavljalo pitanje kako više šišmiša, koji koriste iste frekvencije za ehologaciju, love u isto vrijeme. Različitim eksperimentima se otkrila i ta tajna. Naime, svaki šišmiš, kao i svi ostali sisavci, ima svoju jedinstvenu frekvenciju ehologacije. Svojem zvuku pridodaje svoj potpis kako bi ga među drugim zvukovima iste frekvencije uspio prepoznati. Prvi ton u ehologaciji služi kao okidač za živčane putove da počnu primati i interpretirati jeku svojeg emitiranog zvuka.

Brkati šišmiš *Pteronotus parnellii* savladava smetnje uzrokovane ehologacijom drugih na taj način da prvi ton u svojem zvuku smanji za oko 1% od ukupne jačine zvuka. Zvuk tako smanjene jačine drugi šišmiši ni ne registriraju. Neki prvom tonu povećaju raspon kako bi nadglasali smetnje uzrokovane drugim zvukovima.

## EHOLOKACIJA KAO KOMUNIKACIJA

Zvukovi koje emitiraju šišmiši za ehologaciju ne moraju imati samo funkciju u hvatanju plijena ili za snalaženje u prostoru. Mogu ga koristiti i za međusobnu komunikaciju. Tako neke vrste šišmiša love u formaciji te prilikom toga ispuštaju određene kombinacije zvukova za sporazumijevanje. Neki šišmiši poput vrste *Tadarida teniotis* pak stalno mijenjaju svoje ehologacijske zvukove ukoliko na tom području leti više od jednog šišmiša. Neke su vrste dosta teritorijalne pa ispuštaju upozoravajuće kombinacije zvukova. Ukoliko se više šišmiša iste vrste nalazi u blizini, komunikacija im je potrebna kako se ne bi zalijetali jedni u druge.

Zvukovi za komunikaciju se koriste kako bi se privukli šišmiši iste vrste na hranjenje i na mjesto gdje se će se zadržati neko vrijeme radi razmnožavanja i okupljanja. Vrsta *Phyllostomus hastatus* koristi takve zvukove kako bi se oformila skupina ženki često za cijeli život koje će zajedno tvoriti materinju koloniju. Ako jedinke odlaze primjerice na hranjenje javljaju posebnim zvukovima da odlaze i da se ostale jedinke prestroje u koloniji. Posebni zvukovi su glasni i širokog opsega, između 4 i 18 kHz.

Ukoliko se nalaze u stresnoj ili alarmantnoj situaciji šišmiši, kao i drugi sisavci, koriste upozoravajuće i bolne zvukove kako bi upozorili ostale koji lete. Primijećeno je da se koriste različitim upozoravajućim zvukovima ovisno o vrsti situacije u kojoj su se našli.

## EHOLOKACIJA I NAVIGACIJA

Zna se da insektivorni šišmiši imaju slabiji vid za razliku od letipasa, da se ehologacijom služe za snalaženje u prostoru i za hvatanje plijena. Ehologacija je efikasna na malim udaljenostima, pa se ipak čini da se koriste vidom za navigaciju na veće udaljenosti, primjerice prilikom migracija.

Neka istraživanja su pokazala da se šišmiši, koji su bili pušteni nešto dalje od mjesta gdje obitavaju i pritom su im oči bile vezane, vraćaju natrag do mjesta obitavanja. Nisu toliko dobri poput šišmiša koji vide, ali se iz tih eksperimenata vidi da se služe i ehologacijom i vidom. Smatra se da se koriste vidom za prepoznavanje oblika u prostoru za vrijeme migracije, no ukoliko naiđu na nepoznate oblike počnu se koristiti ehologacijom i to promijenjene frekvencije s obzirom na onu koju bi inače koristio na tom području.

## BAT DETEKTORI

Šišmiši se oslanjaju na zvukove u pronalasku hrane, navigaciji i međusobnoj komunikaciji. Te zvukove je moguće čuti uz pomoć posebnih uređaja, *bat* detektora. *Bat* detektori konvertiraju ultrazvukove koje proizvode šišmiši u zvukove čujnih frekvencija, do 20 kHz. Zvukove koji su konvertirani mogu se tada čuti preko zvučnika ili preko slušalica na *bat* detektoru.

Svaka vrsta šišmiša se koristi za eholokaciju zvukovima određenog raspona frekvencija. Ti zvukovi su različiti. Mogu zvučati kapljično, suho, kliktajuće itd.

Na temelju specifičnosti zvukova kojima se koriste moguće je odrediti vrste uz pomoć *bat* detektora i obrade podataka uz pomoć posebnih softvera.

Postoje tri glavne vrste *bat* detektora. To su:

- 1) *HETERODYNE BAT* DETEKTORI
- 2) *FREQUENCY DIVISION BAT* DETEKTORI – *bat* detektori s podjelom frekvencije
- 3) *TIME EXPANSION BAT* DETEKTORI – *bat* detektori s vremenskim produljenjem

### 1) *Heterodyne bat* detektori

To su *bat* detektori s najmanjim vremenskim produljenjem. Dobri su za početnike i za brzu determinaciju na terenu.



*Batbox heterodyne bat* detektor

Na njima se ručno namješta frekvencija koju želimo čuti. Frekvencije su u rasponu najčešće od 18 do 125 (160) kHz. Mijenjanjem frekvencija pretražujemo na kojim sve frekvencijama se glasaju šišmiši koji lete iznad *bat* detektora.

*Heterodyne bat* detektori miješaju ultrazvuke šišmiša s ultrazvukom koji sam *bat* detektor proizvede. Potom filtrira proizveden zvuk kako bi se dobila razlika frekvencije zvuka šišmiša i zvuka *bat* detektora. Taj zvuk, ta razlika je čujna jer je malih frekvencija i to je taj zvuk koji mi čujemo preko zvučnika detektora.

Zvukovi se mogu snimati pomoću različitih digitalnih pomagala, ali se ne mogu obrađivati pomoću softvera.

## 2) Frequency division bat detektori

Pomoću ove vrste detektora se čuje cijeli ultrazvučni spektar te nije potrebno ručno namještati željene frekvencije. Idealan je za istraživanja.



Pettersson *frequency division bat* detektori

Frequency division bat detektori rade na principu dijeljenja dolazne frekvencije, najčešće s deset, kako bi se dobio čujni zvuk. Tako će, primjerice, frekvenciju od 50 kHz podijeliti i ispustiti zvuk frekvencije 5 kHz.

Svaki se zvuk može snimiti i kasnije obrađivati pomoću posebnih softvera za analizu podataka.

## 3) Time expansion bat detektori

Time expansion bat detektori digitalno snimaju zvukove. Potom ih reproduciraju, ali puno sporije tako da se mogu čuti detalji koji obično nisu dobro ili uopće čujni pri normalnom slušanju tih zvukova. Takvi detektori obično usporavaju zvuk deset, dvadeset i trideset i dva puta.

Zvukovi se mogu snimati i poslije obrađivati pomoću posebnih softvera. Zvukovi snimljenih time expansion bat detektorom najbolje su kvalitete.



Primjer *time expansion* bat detektora

Neki detektori mogu koristiti više načina odjednom. Primjerice, neki frequency division bat detektori imaju heterodyne način pa se frekvencije mogu ručno tražiti. Najsofisticiraniji bat detektori u sebi imaju sva tri načina snimanja i konvertiranja ultrazvukova.

## SONOGRAMI I OBRADA PODATAKA

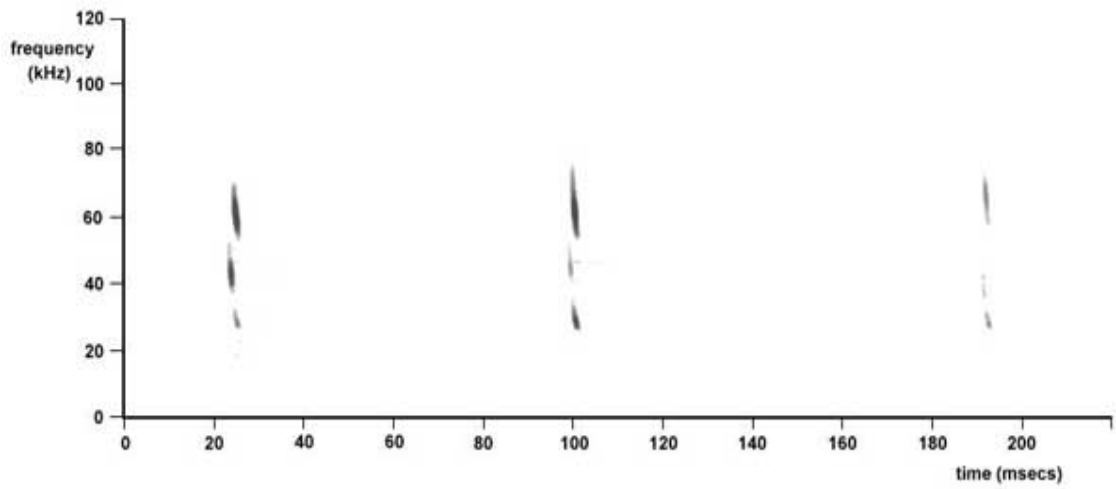
Zvukovi snimljeni nekim od bat detektora mogu se analizirati. Postoje različiti softveri za analizu ultrazvukova šišmiša. Oni nam služe da snimljene zvukove možemo vidjeti u obliku zvučnih valova koje potom možemo interpretirati.

Najkorisniji prikaz je sonogram (spektrogram) koji nam pokazuje korelaciju između vremena i frekvencija. Također, mogu prikazivati i jačinu zvuka u obliku boja, nijanse sive ili više različitih boja. Oscilogrami prikazuju korelaciju između varijacija amplituda i vremena.

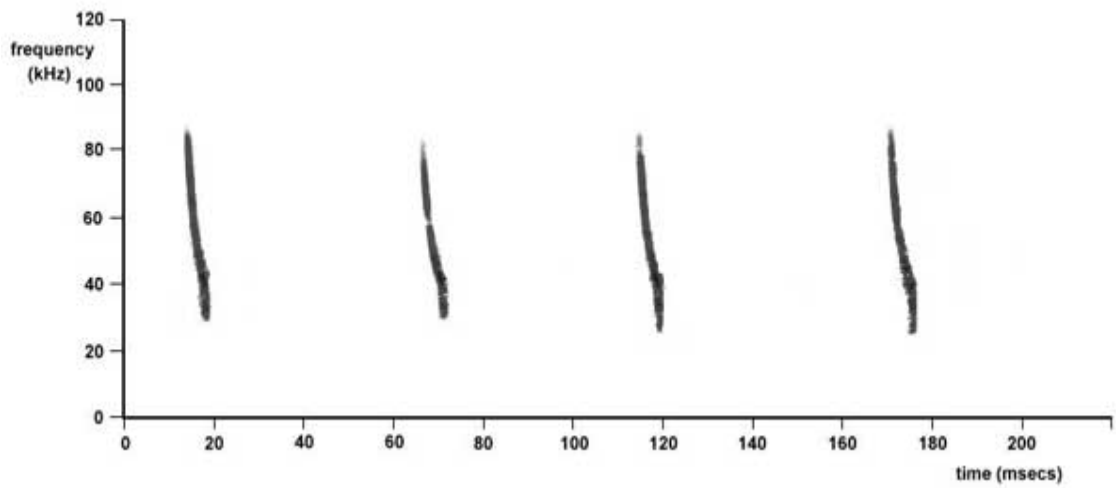
Iz sonograma mogu se izvući mnogi podaci. Na primjer, koja je najviša, a koja najniža frekvencija kojom se neki šišmiš služi, koliko taj zvuk traje, kolika je frekvencija kada je zvuk najvećeg intenziteta, koliki su intervali između pulseva i td.

Sonogrami ovdje prikazani su sonogrami nekih hrvatskih vrsta. Prva tri sonograma pokazuju nam korelaciju frekvencije i vremena, dok zadnja dva sonograma prikazuju korelaciju vremena, frekvencija i intenziteta signala.

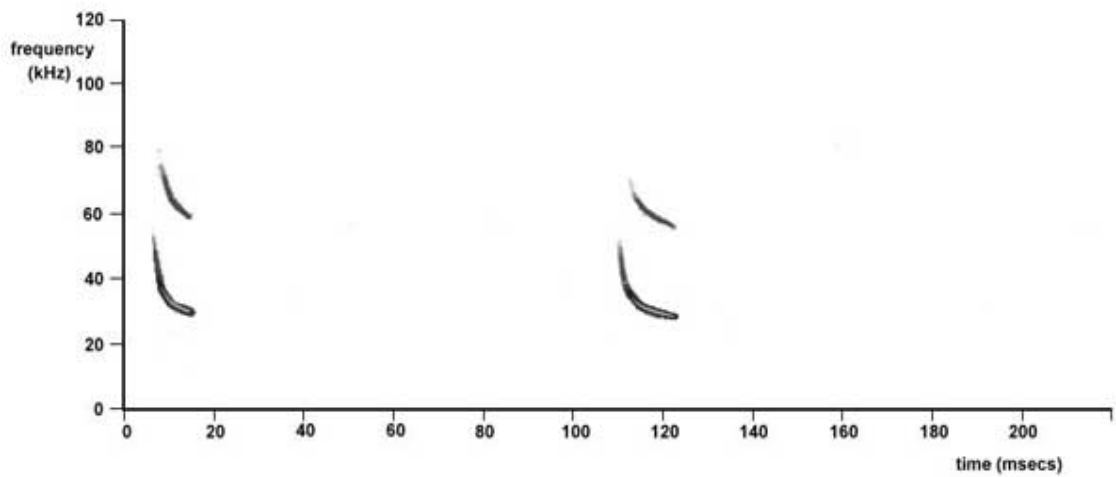
Sonogram vrste *Plecotus auritus*



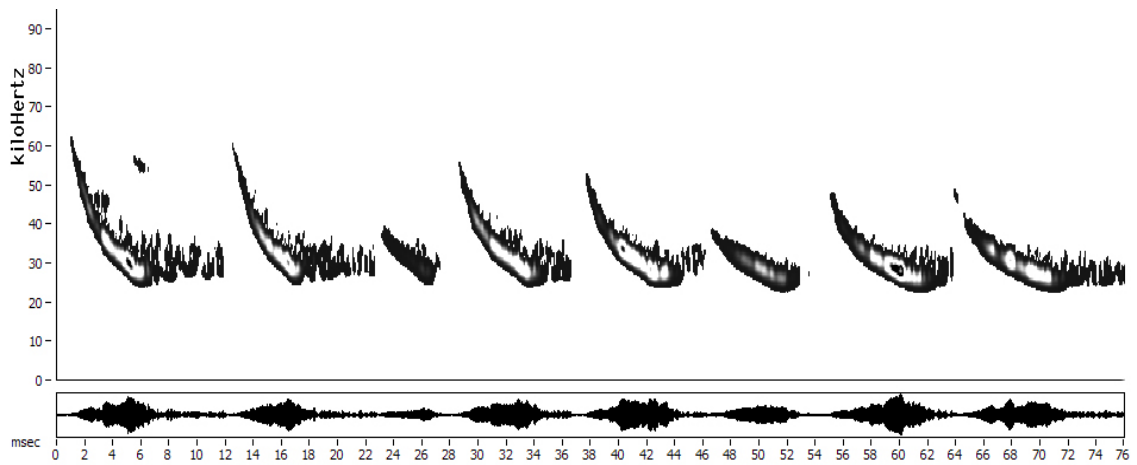
Sonogram vrste *Myotis daubentoni*



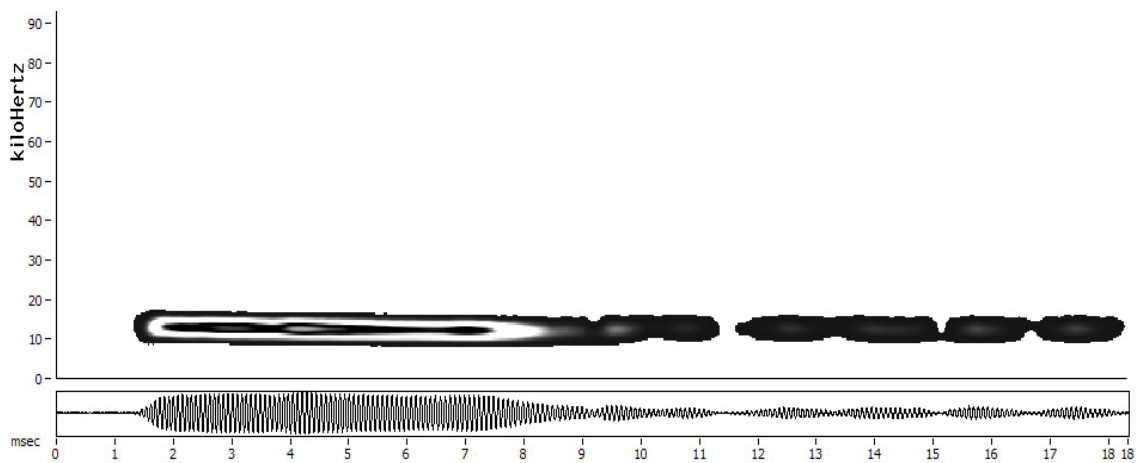
Sonogram vrste *Nyctalus leisleri*



Sonogram vrste *Eptesicus serotinus*



Sonogram vrste *Tadarida teniotis*



### 3 ZAKLJUČAK

Eholokacija je složen i visoko evoluiran proces koji šišmišima omogućuje iskorištavanje ekološke niše zatvorene za većinu životinjskih skupina. Eholokacija, kao takva, nije razvijena samo kod šišmiša, ali možemo slobodno reći da je najrazvijenija baš kod ovih sisavaca.

Šišmiši ispuštaju eholokacijske zvukove kao pulseve u navalama. Slušajući jeku emitiranog zvuka detektiraju objekte u svojoj okolini. Za razliku od vida, eholokacija je korisnija za tu namjenu iako šišmiši moraju proizvoditi intenzivne ultrazvučne pulseve da bi primili jeku odbijenu od tako malih žrtava. Šišmiši u letu koreliraju proizvodnju zvuka s pokretanjem krila i koriste letne mišiće kako bi povećali tlak zraka iza grkljana. Zvukovi za komunikaciju se koriste kako bi se privukli šišmiši iste vrste na hranjenje i na mjesto gdje se će se zadržati neko vrijeme radi okupljanja i razmnožavanja.



## **4 POPIS LITERATURE**

1. Bat Ecology, Editors Thomas H. Kunz and M. Brock Fenton, The university of Chicago Press, Chicago and London, 2003.
2. John D. Altringham, Bats – Biology and Behaviour, Oxford University Press, Oxford, 2001.
3. Phil Richardson, Bats, The Natural History Museum, London, 2002.
4. J. Z. Young, The Life of Vertebrates, Calderon Press, Oxford, 1995.
5. [www.batline.com](http://www.batline.com)