

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
ZOOLOĢIJAS UN DZĪVNIEKU EKOLOĢIJAS KATEDRA

LATVIJAS SIKSPĀRŅU EHOLOKĀCIJAS SAUCIENU
VARIĒŠANA ATKLĀTĀ AINAVĀ

Bakalaura darbs

Autors: Egita Leikarte
Stud. apl. e110345
Darba vadītājs: Dr. biol. Gunārs Pētersons

RĪGA 2022

KOPSAVILKUMS

Pasaulē ir plaši izplatītas dažādas sikspārņu sugu noteikšanas metodes pēc eholokācijas saucieniem un vairākās valstīs ir izstrādāti noteicēji un vadlīnijas, kas domāti sikspārņu sugas piederības noteikšanai pēc akustiskajiem ierakstiem. Latvijā pagaidām nav izveidots neviens noteicējs un nav arī apkopota informācija par Latvijas sikspārņu sugu eholokācijas saucieniem parametru variēšanu. Pētījuma galvenais mērķis bija iegūt ierakstus veikt ierakstu analīzi Latvijas sikspārņu sugu eholokācijas saucieniem, lai pēc tam sniegtu praktiskus padomus sugu noteikšanā. Sikspārņu saucieniem ieraksti tika veikti atklātā ainavā no rokas palaistiem zināmu sugu indivīdiem, izmantojot ultraskaņas detektoru Pettersson Elektronik D-1000X. Tika iegūti skaits ieraksti un analizēti eholokācijas skaits saucieniem parametri no 12 dažādām sikspārņu sugām. Pētījumā iegūtie rezultāti liecina, ka niktaloīdu sikspārņu grupā *Eptesicus nilssonii* noteikšanā izmantojami saucieniem maksimālās enerģijas frekvences un beigu frekvences mērījumi, savukārt *Nyctalus noctula* un *Vespertilio murinus* atšķiršana pēc šiem parametriem iespējama retos gadījumos. Pipistrelloīdu grupā *Pipistrellus nathusii* un *Pipistrellus pygmaeus* atšķiršana pēc minētajiem parametriem uzskatāma par drošu. Naktssikspārņu sugas pēc saucieniem parametru pētījumiem parasti nav atšķiramas, izņemot *Myotis nattereri* gadījumos, kad tā saucieniem beigu frekvence ir zemāka par 21 kHz. Sikspārņu sugu pēc to eholokācijas saucieniem papildus to frekvenču mērījumiem ieteicams izmantot arī citas pazīmes, kā saucieniem atkārtotības biežumu, saucieniem formu.

Atslēgas vārdi: ultraskaņa, detektors, skaņas analīze, sugu noteikšana, Latvijas fauna.

SUMMARY

There are several bat species determination methods based on echolocation calls spread throughout the world, and several countries have developed guidelines and determinants, which are used for deciding bat species' affiliation based on their acoustic recordings. In Latvia, however, there have not yet been made any guidelines; furthermore, information regarding the Latvian bat species echolocation calls parameters' variety has not been collected. The main goal of the research was to gain recordings, and make an analysis of Latvian bat species echolocation call parameters in order to then apply advice for determining species. Bat call recordings were made in an open landscape from known, hand-freed species' individuals, using the ultrasound detector Pettersson Elektronik D-1000X. 12 different bat species echolocation calls were acquired and analyzed. The results gained through the research show that the maximum energy frequency and end frequency measurements are used for determining *Eptesicus nilssonii* in the nyctaloid bat group; however, the *Nyctalus noctula* and *Vespertilio murinus* differentiation is very rarely possible based on these parameters. It is safe to say that distinguishing the *Pipistrellus nathusii* and *Pipistrellus pygmaeus* in the group of *Pipistrellus* genus is possible based on these parameters. Based on their call parameter research, *Myotis* genus species are usually not distinguishable, with the exception for the *Myotis nattereri*, because their call end frequency is lower than 21 kHz. While bat species analysis were based on their echolocation calls and frequency measurements, it is also recommended to use other signs for analysis such as call repetitivity, and call form.

Keywords: ultrasound, detector, sound analysis, species determination, Latvian fauna.

SATURS

Ievads	5
1. Literatūras apskats	6
1.1. Sikspārņu ehokācijas vispārējs raksturojums.....	6
1.2. Ehokācijas saucienu veidi	7
1.3. Problēmas sikspārņu piederības noteikšanai konkrētai sugai.....	10
1.4. Latvijā sastopamās sikspārņu sugas un to izmantotie saucienu tipi	12
1.4.1. Niktaloīdi.....	12
1.4.2. Pipistrelloīdi.....	13
1.4.3. Naktsikspārņi.....	14
1.4.3. Garausainie un platausainie sikspārņi.	15
2. Materiāli un metodes	17
2.1. Pētījuma vietas raksturojums.....	17
2.2. Sikspārņu ķeršana un sikspārņu saucienu ierakstu veikšana ..	18
2.3. Sikspārņu ehokācijas saucienu analīze	19
2.4. Datu apstrādes metodes	21
3. Rezultāti un diskusija	23
3.1 Niktaloīdi.....	23
3.2. Pipistrelloīdi.....	27
3.3. Naktssikspārņi	30
4. Secinājumi	34
6. Pateicības	35
7. Literatūras saraksts.....	36
Pielikumi	40

IEVADS

Sikspārņi ir viena no vislielākajām zīdītāju grupām. Tie lieto ehokāciju gan barības meklēšanā, gan, lai orientētos apkārtējā vidē (Luo, *et al.* 2019). Sikspārņu ehokācijas saucienus izmanto gan lidojošu sikspārņu konstatēšanai, gan to sugas piederības noteikšanai. Kaut arī ehokācijas saucienu parametri katrai sugai ir specifiski, tie variē plašā diapazonā, kas apgrūtina sugu noteikšanu. Saucienu variēšana ir atkarīga no lidojuma augstuma un attāluma līdz dažādiem objektiem, kā kokiem, citiem sikspārņiem, kukaiņiem. Sugai raksturīgākos ehokācijas signālus sikspārņi izmanto lidojot atklātā telpā, kur tuvumā nav koki, ēkas vai citi šķēršļi (Barataud 2015). Bez tam zināms, ka pastāv arī ģeogrāfiskās atšķirības vienas un tās pašas sugas ehokācijas saucienu parametros. Uzskata, ka sikspārņi pielāgo savu saucienu frekvences citu teritorijā sastopamo sikspārņu sugu frekvencēm tādā veidā, lai izvairītos no to parametru pārklāšanās (Montauban *et al.* 2021).

Latvijā veiktajos sikspārņu inventarizācijas un monitoringa pētījumos, lidojošu sikspārņu sugu reģistrēšanai un noteikšanai bieži tiek izmantoti automātiski ultraskaņas detektori ar saucienu ierakstīšanas iespējām. Nakts laikā ierakstītie sikspārņu saucieni tiek vēlāk analizēti ar datorprogrammu palīdzību. Sugu noteikšanā tiek izmantoti dažādi noteicēji (Skiba 2009, Russ 2012, Barataud 2015), taču tajos norādītās sikspārņu sugu ehokācijas saucienu parametru variēšanas robežas ir atšķirīgas. Noteicēji ir sastādīti galvenokārt balstoties uz sikspārņu ehokācijas saucienu analīzi Eiropas rietumu un centrālajā daļā. Latvijā un tai tuvākajos reģionos līdz šim nav veikti pētījumi par dažādu sikspārņu sugu ehokācijas saucienu parametru variēšanu.

Darba mērķis ir noskaidrot Latvijā sastopamo sikspārņu sugu ehokācijas saucienu parametru variēšanu atklātā ainavā un sniegt ieteikumus to izmantošanai sugu noteikšanā.

Darba uzdevumi:

1. Veikt no rokas palaistu zināmas sugas sikspārņu ehokācijas saucienu ierakstus ultraskaņas detektorā.
2. Veikt sikspārņu ehokācijas saucienu parametru mērījumus un analīzi.
3. Noskaidrot Latvijas sikspārņu sugām raksturīgo ehokācijas saucienu parametru variēšanu un izstrādāt ieteikumus, to sugas piederības noteikšanai pēc akustisko ierakstu analīzes.

1.LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Sikspārņu ehokācijas vispārējs raksturojums

Ehokācija tiek aprakstīta kā aktīva maņu sistēma, kura savieno dzīvnieka signāla veidošanu ar atbalss uztveršanu. Ir vairākas dzīvnieku grupas, kas izmanto ehokāciju kā vienu no saziņas, orientēšanās un arī medīšanas veidiem. Tā ir raksturīga divām putnu klases kārtām - lēļveidīgie *Caprimulgiformes* un svīrveidīgie *Apodiformes* un četrām zīdītāju klases kārtām – vaļi un pārnadži *Cetartiodactyla*, sikspārņi *Chiroptera*, kukaiņēdāji *Eulipotyphla* un afrosoricīdi *Afrosoricida* (Buchler 1976 cit. pēc Fenton et al. 2012).

Šobrīd pasaulē ir zināmas vairāk nekā 1300 dažādu sikspārņu sugu, kas padara šos zīdītājus par otro sugām bagātāko zīdītāju grupu pasaulē (Fenton and Simmons 2014 cit. pēc Ratcliffe and Jakobsen 2018). Evolūcijas gaitā ehokācijas saucieni ir veidojušies tā, lai pielāgotos kādam konkrētam uzdevumam (Holderied *et al.* 2006). Atkarībā no katras sikspārņu sugas morfoloģijas, skaņas uztveres spējām un evolūcijas, ehokācijas saucieni tiek pielāgoti apkārtējai videi un sugas medīšanas metodei (Barataud 2015). Sikspārņiem ehokācija galvenokārt ir nepieciešama, lai tie varētu efektīvi pārvietoties tumsā, baroties un sazināties cits ar citu (Schnitzler and Kalko 2001). Sikspārņu ehokācijas saucieniem parametri gan sugas ietvaros, gan starp vienas sugas īpatņiem, mēdz būt ļoti līdzīgi, tiem var būt gandrīz vienādas, sākuma frekvences, beigu frekvences un citi ehokācijas saucieniem parametri. Sikspārņi ir spējīgi šos parametrus mainīt un parasti to dara, atkarībā no dažādiem ārējiem faktoriem, piemēram, citu sikspārņu klātbūtnes, attāluma no dažādiem šķēršļiem (Surlykke and Moss 2000). Viena no situācijām, kad ir novērojama sikspārņa saucieniem parametru maiņa, ir medījuma ķeršana. Kad sikspārnis tuvojas medījumam, starp saucieniem pakāpeniski tiek samazināts intervāls. Samazinot intervālu starp saucieniem, sikspārnis palielina iegūtās informācijas apjomu un precīzāk nosaka medījuma atrašanās vietu un tā lidojuma trajektoriju – tiek iegūta precīza informācija par vietu kurā atrodas objekts (Barataud 2015). Cits ehokācijas saucieniem parametrs, kas tiek mainīts kukaiņa ķeršanas brīdī, ir sauciena garums – samazinot sauciena garumu tiek uzlabota precizitāte ar kādu sikspārnis spēj atrast kukaini. Ultraskaņas detektorā tā ir novērotājam saklausāma īpatnēja skaņa, ko sikspārņu pētnieki dēvē par “barošanās tarkšķi” (Fukui *et al* 2004).

Dažādu apstākļu, piemēram, laikapstākļu, kā nokrišņi, migla, blakus esošu struktūru dēļ, pastāv vēl lielāka iespēja, ka sikspārņu ehokokācijas saucieni un to parametri starp sugām var pārklāties, kas apgrūtina sugu noteikšanu (Ratcliffe and Jakobsen 2018). Sikspārņu saucieniem biežumu un arī saucieniem struktūru ietekmē dažādās sugu barošanās stratēģijas un sugu dzīvotne (Kalko and Schnitzler 1993). Sikspārņiem ir raksturīga arī savu saucieniem frekvences mainīšana, ja daudzi vienas sugas īpatņi atrodas vienuviet. Šādā gadījumā saucieni tiek izdoti ar salīdzinoši lieliem intervāliem. Bieža sauciena izdošana piesātina gaisa telpu, kas apgrūtina sikspārņiem orientēties apkārtnē (Chiu *et al.* 2008). Biotopos, kuros raksturīgs liels apkārt esošu objektu, piemēram, koku vai māju skaits, sikspārņu ehokokācijas saucieni ir īsi un ar lielu saucieniem atkārtotā ātrumu. Atklātos biotopos saucieni ir gari un ar mazu vai gandrīz neesošu frekvences mainību (Kalko 1995). Blīvā veģetācijā tiek paātrināts arī saucieniem ritms, lai biežāk iegūtu informāciju par apkārtējo vidi un par objektiem, kas ir apkārt (Schnitzler and Kalko 2001). Kukaiņēdāji sikspārņi, atkarībā no sugas, spēj gan izdot, gan dzirdēt skaņas diapazonā no 8kHz līdz 200kHz un to saucieni var būt pat 140 dB skaļi (Jennings 2018).

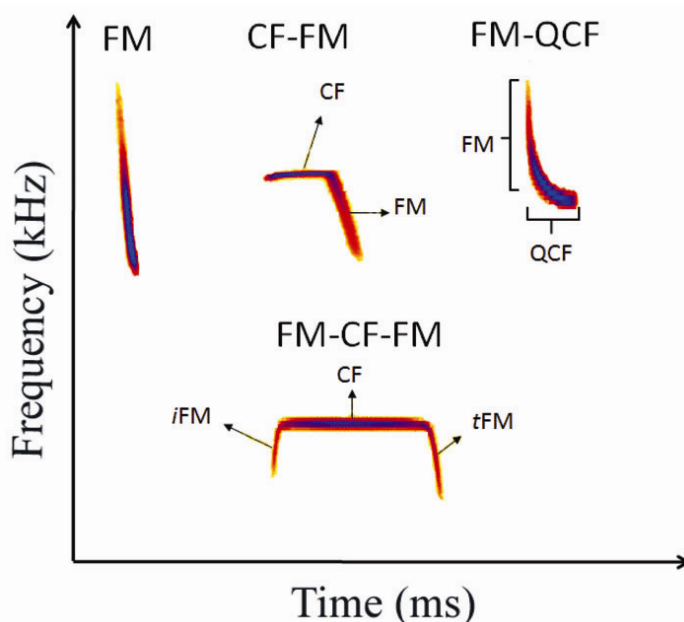
Sikspārņu ehokokācija ir ļoti svarīga, lai pēc iespējas labāk un precīzāk orientētos vidē, atšķirtu dažādus šķēršļus un no tiem izvairītos (Schnitzler *et al.* 2003). Attālumi līdz apkārtējiem objektiem tiek sistemātiski novērtēti vairākas reizes, un izvēlētais signāla dizains, ko izdod sikspārnis, nodrošina tādu lidojumu, kurš precīzi ļauj izvairīties no dažādiem priekšā esošiem objektiem. Šī drošības rezerve palielinās līdz ar objektu attālumu no īpatņa (Holderied *et al.* 2006). Sikspārņi ar ehokokācijas palīdzību spēj noteikt arī objektu virsmas struktūru un konsistenci (Obrist 1995). Ar ehokokācijas palīdzību, skaņas viļņu veidā pie sikspārņa atgriežas informācija par blakusesošajiem šķēršļiem. Laika intervāls, pēc kāda izdotā sauciena atbalss atgriežas sikspārņa ausīs, sikspārņim ļauj saprast, kādā attālumā atrodas objekts un kāds ir objekta novietojums telpā. Sikspārņiem arī piemīt spēja novērtēt objekta lielumu, pēc atpakaļ nākošo viļņu interferences (Faure and Barclay 1994).

Sikspārņu ehokokācijas saucieniem variēšanu ir iespējams raksturot divos dažādos līmeņos. Pirmais no tiem ir ehokokācijas saucieniem strukturālās izmaiņas starp dažādām sikspārņu sugām un otrs – sikspārņu saucieniem strukturālās izmaiņas sugas ietvaros (Russo *et al.* 2018).

1.2. Ehokokācijas saucieniem veidi

Sikspārņu ehokokācijas saucieniem ir divi pamattipi – konstantās frekvences saucieni *narrowband constant frequency calls* (CF) un mainīgās modulētās frekvences saucieni *broadband frequency modulated pulses* (FM). Abi saucieniem veidi var atšķirties pēc to skaļuma un attāluma, no kāda tie atbalss veidā saņem informāciju. Šie saucieniem tipi atšķiras gan pēc to

diapazoniem, gan arī amplitūdām, kādā ir frekvences, kas ļauj sikspārņiem šos saucienus pielāgot un savā starpā arī kombinēt, lai tie būtu piemērotāki videi, kurā sikspārnis atrodas. Ir sikspārņu sugas, kuras spēj izmantot abu veidu eholoģijas saucienus un veido no tiem kombinācijas, izmantojot gan konstantās frekvences saucienus, gan mainīgās modulētās frekvences saucienus (Barataud 2015).



1.attēls. Dažādu sikspārņu eholoģijas saucienu veidu piemēri (attēls no: https://www.researchgate.net/figure/Types-of-echolocation-calls-emitted-by-insectivorous-bats-CF-Constant-frequency-QCF_fig2_265551050). FM-modulētās frekvences sauciens vai sauciņa daļa, iFM-modulētās frekvences sauciņa sākums, tFM-modulētās frekvences sauciņa beigas, CF-konstantās frekvences sauciņa daļa, QCF -gandrīz konstantās frekvences (*quasi constant frequency*) sauciņa daļa

Figure 1. Different types of echolocation calls (image from: https://www.researchgate.net/figure/Types-of-echolocation-calls-emitted-by-insectivorous-bats-CF-Constant-frequency-QCF_fig2_265551050)

CF jeb konstantās frekvences saucieni ir gari, to frekvence ir nemainīga visā sauciņa garumā. Konstantās frekvences saucieni ir piemēroti, lai orientētos atklātā telpā. Šāda tipa saucienu veidošanai nav nepieciešams daudz enerģijas (Ross 2021).

Otrs ehokācijas sauciena pamattips ir FM. FM tipa saucieni, kuriem ir izteikta “stāva” frekvences modulācija, ir labi pielāgoti objektu lokalizācijai lidojuma laikā (Simmons 1973). FM saucieniem ir raksturīgs tas, ka tie parasti sākas ar ļoti augstu frekvenci, kas pakāpeniski, bet ļoti strauji samazinās (1.attēls). Parasti, tie ir tikai dažas milisekundes gari saucieni. Šādu sauciena veidu sikspārņi izmanto, lai iegūtu precīzu un detalizētu informāciju par vidi, kas tiem atrodas apkārt (Neuweiler 2000). FM tipa saucienus sikspārņi izmanto, piemēram, barojoties mežos un citās vietās, kur nav plaša atvērta telpa (Barataud 2015). FM tipa saucieni nodrošina labāku mērķa lokalizāciju (Russo *et al.* 2018). Šie saucieni nodrošina detalizētu informāciju par tuvumā esošiem objektiem, tomēr objektus, kuri atrodas tālu, tie uztvert nespēj. Šī tipa saucieni prasa sikspārņim ievērojami lielāku enerģijas daudzumu nekā CF tipa saucieni (Barataud 2015). No Latvijas sugām izteikti FM tipa saucieni raksturīgi *Myotis* un *Plecotus* ģinšu sikspārņiem.

Gluddeguna *Vespertilionidae* dzimtas sikspārņiem, pie kuriem pieder visas Latvijā sastopamās sugas, nav sastopami “tīri” CF saucieni, bet tie ir jaukta tipa saucieni, kas satur gan CF, gan FM elementus. Šādus jaukta tipa saucienus, apzīmē ar QCF vai FM-QCF saucieniem (1.attēls). QCF ir gandrīz konstantas frekvences ehokācijas sauciens. R. Skiba (2009) un M.Baratauds (2015) QCF saucienus definē kā saucienus, kuriem starpība starp sauciena sākuma frekvenci un beigu frekvenci nav lielāka par 5 kHz neatkarīgi no sauciena garuma. Savukārt Šniclers un Kalko (1998) pie šī tipa saucieniem pieskaita saucienus, kuros vidējais frekvences samazinājums vienas milisekundes (ms) laikā nav lielāks par 0,4 kHz. FM-QCF tipa saucieniem parasti sākumdaļa atbilst FM tipa saucienam, bet turpinājums – QCF tipa saucienam. QCF tipa saucieni raksturīgi sugām, kuras pārsvarā uzturas atklātā ainavā. Sikspārņi, kuri izmanto QCF, spēj konstatēt objektu lielā attālumā. Pielidojot tam tuvāk, sikspārņi maina saucienus QCF struktūru uz FM-QCF vai FM struktūru, lai iegūtu precīzāku informāciju par objektu, tā atrašanās vietu, struktūru, konsistenci un citām raksturīgām tā pazīmēm. Šādu saucienus starpsugu atšķirības kļūst neizteiktākas un tos ir sarežģīti izmantot sugu noteikšanā (Barataud 2015).

Sikspārņu sugas, kurām ir raksturīgi QCF tipa saucieni, izmanto Doplera efektu. Doplera efekts izpaužas kā skaņas viļņu frekvences izmaiņas atkarībā no skaņas avota un priekšmeta, no kura skaņa atbalsojas, savstarpējās relatīvās kustības. Uztvertās skaņas frekvence paaugstinās, kad sikspārnis tuvojas priekšmetam, bet sikspārņim attālinoties no tā uztvertā sauciena atbalss frekvence pazeminās (Kaunitz 2016). QCF tipa ehokācijas saucieni kopā ar Doplera efektu palīdz sikspārņim daudz labāk orientēties un atrast barību pārbļīvētā vidē. Pazeminot frekvenci, sikspārņi kompensē Doplera efekta radītās izmaiņas, ko izraisa paša lidojums. Doplera efekta dēļ ultraskaņas detektors var uztvert signālu, kur oriģinālā frekvence

bijusi mazāka vai lielāka. Tā, piemēram, ātri lidojošam sikspārņu sugām, lidojot detektora mikroфона virzienā, uztvertā frekvence ir 1-2 kHz zemāka nekā tā bijusi oriģināli (Runkel *et al.* 2018).

Sikspārņu ehokācijas saucieni ir salīdzinoši īsi signāli, starp kuriem ir pārtraukumi. Pārtraukuma laikā tiek uztverta iepriekšējā sauciena atbalss un apstrādāta iegūtā informācija. Pārtraukumu garums starp atsevišķiem saucieniem ir sugām specifisks, taču mainās atkarībā no situācijas, piemēram, no attāluma līdz šķēršļiem. FM saucienu tipā lielāko daļu no saucienu sērijas aizņem pauzes starp saucieniem, bet paši izdotie saucieni aizņem aptuveni 20% no visas saucienu sērijas. QCF tipa saucienu sērijā pārtraukumu un izdoto saucienu laiks ir aptuveni vienāda garuma (Barataud 2015).

Vairākas sikspārņu sugas izmanto arī virstoņus. Virstoņi ir saucienu papildfrekvences, kas veidojas kā pamatsauciena “kopijas” ar divas, trīs utt. reizes augstākām frekvencēm. Ja, piemēram sauciena pamatfrekvence ir 20 kHz, tad pirmā virstoņa frekvence būs 40 kHz, otrā virstoņa frekvence 60 kHz utt. Ar virstoņu palīdzību sauciena frekvences diapazons tiek paplašināts un tādējādi palielinās iegūtās informācijas apjoms (Russo *et al.* 2018).

Sikspārņu sugu noteikšanā visbiežāk izmantotie ehokācijas saucienu parametri ir sauciena garums (milisekundes), sauciena sākuma frekvence, beigu frekvence un maksimālās enerģijas frekvence (kiloherci) (Skiba 2009). Šo parametru mērīšana aprakstīta šī darba metodikas nodaļā.

1.3. Problēmas sikspārņu piederības noteikšanai konkrētai sugai

Viena no problēmām, kura rodas identificējot sikspārņus pēc to saucieniem ir tā, ka saucienus ļoti ietekmē sikspārņa attālums no tuvākā objekta, no kura tiek saņemta atbalss (Preatoni *et al.* 2005). Vēl identificēšanas problēmas sagādā tas, ka sikspārņi ehokācijas saucienus izmanto vairākiem mērķiem, piemēram, orientēšanās, barības meklēšana, kas viena sikspārņa saucienu sēriju padara ļoti daudzveidīgu un tās parametri var sakrist ar kādas citas sugas saucienu parametriem (Kalko un Schnitzler 1993). Sugām, kuras uzturas līdzīgos biotopos un saskaras ar līdzīgiem apstākļiem ir lielāka iespēja, ka to saucieni kādā brīdī pārklāsies (Russo *et al.* 2018). Ehokācija pielāgojas dzīvotnēm kurā atrodas sikspārņi un tā ir attīstījusies konverģenti. Dažādas sugas vienā ģintī izmanto līdzīgas sauciena struktūras (Siemers *et al.* 2001). Liela daļa no Eiropā sastopamajām sikspārņu sugām izdod saucienus ar līdzīgiem parametriem. Vienas sugas ietvaros sauciena raksturlielumi parasti ir līdzīgi un uz tiem balstās sugas noteikšana akustiskā līmenī (Parsons and Jones 2000). Mūsdienās plaši

izplatīti sikspārņu sugu noteikšanā, pēc to saucienu ierakstiem, ir automātiskie klasifikatori, bet tiem vēl joprojām ir augsts kļūdu līmenis sugu identificēšanā. Tas, jo īpaši augsts ir tādos reģionos, kur ir simpatriskas sugas ar līdzīgiem ehokācijas saucieniem (Russo and Voigt 2016). Kā vēl vienu no iespējamām problēmām var minēt tehnikas, piemēram, ultraskaņas detektoru un dažādu lietojumu pētījumos – visās pasaules valstīs netiek izmantota viena un tā pati tehnika un saucienu atpazīšanas programmas, kas iespējams rada neprecizitātes arī sugu noteikšanā. Ir pierādīts, ka būtiski samazinās saucienu skaits, ko automātiskie noteicēji var identificēt, ja saucieni neietilps vērtību kopā, kura ir “iemācīta” noteicējam (Barclay and Brigham 2004).

Vēl problēmas noteikšanā var sagādāt sikspārņu ehokācijas saucienu ģeogrāfiskā mainība. Tiek uzskatīts, ka ehokācija ir attīstījusies no akustiskās komunikācijas un ka tā joprojām kalpo šādām funkcijām, un varētu būt elastīga un mainīga (Obrist, 1995). Dažādas dzīvnieku ģeogrāfiskās variācijas rada iespēju saprast, kā veidojušies komunikācijas signāli (Jiang *et al* 2017 cit. pēc Endler 1983). Vienas sikspārņu sugas indivīdu ehokācijas saucieni, kuri ir reģistrēti dažādās vietās pasaulē, var būt atšķirīgi. Šīs atšķirības ir potenciāla problēma sugu noteikšanā, ja sugas ehokācijas saucienu parametrus, kuri raksturīgi kādai konkrētai populācijai, nekritiski tiek lietoti šīs sugas identificēšanai citā ģeogrāfiskā vietā (Law *et al.* 2002).

Ir daži pētījumi, kuri pierāda, ehokācijas saucienu variācijas vienas sugas ietvaros saistītas ar ģeogrāfisko attālumu starp tās populācijām (Chen *et al.* 2009). Vienas sugas saucienu parametru mainība var variēt pat no 5 līdz 10 kHz dažādos ģeogrāfiskos reģionos (Xie *et al.* 2017). Iespējams, ka viens no iemesliem kāpēc notiek ehokācijas saucienu parametru maiņa, piemēram, *Pipistrellus* ģintī, ir, lai atvieglotu savstarpējo komunikāciju, nevis, lai tiktu veidota optimāla resursu sadalīšana (Jones and Barlow 2004). Nav veikti plaši pētījumi par to, vai populācijās, kuras ir ģeogrāfiski atdalītas, ehokācijas sauciena frekvences diapazons dažādiem sauciena parametriem, katrai no šīm populācijām ir vienāds vai arī tas mainās (Jiang *et al.* 2017). Dažos pētījumos ir pierādītas atšķirības “dialektā” dažādās populācijās (Davidson and Wilkinson 2002).

Ģeogrāfiskās atšķirības bieži ir grūti atdalāmas no sugu filoģenētiskās vēstures. Ehokācijas saucienu ģeogrāfiskās atšķirības var arī rasties evolūcijas rezultātā, lai starp sikspārņiem nodrošinātu barības nišu sadalīšanu. (Russo *et al.* 2018). Ir vairāki pierādījumi par sugu ehokācijas variāciju, bet funkcionāls skaidrojums šīm variācijām nav dots (Murray *et al.* 2001).

1.4. Latvijā sastopamās sikspārņu sugas un to izmantotie saucienu tipi

Visas Latvijā esošās sikspārņu sugas pieder pie gluddeguņsikspārņu (*Vespertilionidae*) dzimtas un ietilpst 7 ģintīs. Naktssikspārņu (*Myotis*) ģintī ietilpst 6 sugas, viena no tām ir konstatēta Latvijā tikai vienu reizi. Vakarsikspārņu (*Nyctalus*) un *Eptesicus* ģintī katrā ietilpst divas sugas, ģintī *Vespertilio* viena suga, *Pipistrellus* trīs sugas, *Plecotus* un *Barbastella* viena suga. Sikspārņu sugas, kas sastopamas Latvijā ir - Ūdeņu naktssikspārnis (*Myotis daubentonii*), Bārdainais naktssikspārnis (*Myotis brandtii*), Naterera naktssikspārnis (*Myotis nattereri*), Rūsganais vakarsikspārnis (*Nyctalus noctula*), Mazais vakarsikspārnis (*Nyctalus leisleri*), Platspārņu (vēlais) sikspārnis (*Eptesicus serotinus*), Ziemeļu sikspārnis (*Eptesicus nilssonii*), Divkrāsainais sikspārnis (*Vespertilio murinus*), Pīmejsikspārnis (*Pipistrellus pygmaeus*), Natūza sikspārnis (*Pipistrellus nathusii*), Pundursikspārnis (*Pipistrellus pipistrellus*) Brūnais garusainais (*Plecotus auritus*), Platausainais sikspārnis (*Barbastella barbastellus*, dīķu naktssikspārnis (*Myotis dasycneme*), Lielais naktssikspārnis (*Myotis myotis*), Bārdainais naktssikspārnis *Myotis mystacinus* (Pētersons 1997).

Pēc eholoģijas saucienu raksturojuma un sugu noteikšanas specifikas Latvijas faunas 15 sikspārņu sugas var iedalīt četrās grupās – niktaloīdi (*Nyctalus*, *Vespertilio* un *Eptesicus* ģinšu piecas sugas), pipistrelloīdi (*Pipistrellus* ģints trīs sugas), naktssikspārņi (*Myotis* ģints piecas sugas) un garusainie un platausainie sikspārņi (*Plecotus* un *Barbastella* ģinšu divas sugas). Sugu noteikšanā parasti nav problēmu to attiecināt uz vienu no šīm četrām grupām, bet nereti rodas grūtības noteikt sugu katras grupas ietvaros.

1.4.1. Niktaloīdi

Niktaloīdu grupa ir trīs samērā bieži sastopamas sikspārņu sugas - rūsganais vakarsikspārnis (*Nyctalus noctula*), ziemeļu sikspārnis (*Eptesicus nilssonii*) un divkrāsainais sikspārnis (*Vespertilio murinus*), kā arī divas ļoti retas sugas, kurām Latvija ir izplatības areāla ziemeļu daļa - mazais vakarsikspārnis (*Nyctalus leisleri*) un platspārņu (vēlais) sikspārnis (*Eptesicus serotinus*) (Pētersons un Vintulis 1998). Šīs grupas sikspārņiem lidojot atklātā telpā raksturīgi QCF vai FM-QCF tipa eholoģijas saucieni. Sugu noteikšanā īpaši svarīgi ir saucienu maksimālās enerģijas frekvences un saucienu beigu frekvences mērījumi (Barataud 2015).

Rūsganais vakarsikspārnis *Nyctalus noctula* ir liela izmēra sikspārņa suga. Raksturīgais barošanās biotops ir virs mežiem un lielā augstumā. Lidojums ir ātrs un spēcīgs, bez lielām manevrēšanas spējām (Pētersons 1997). Rūsganā vakarsikspārņa raksturīgā eholoģijas saucienu maksimālā frekvence atklātos biotopos ir no 17 līdz 22 kHz, bet vietās, kur ir vairāk apkārtesošu objektu, piemēram, meži vai mežu nomales tā var būt no 22 līdz 29 kHz. Suga

visbiežāk izmanto QCF signālus, bet mežu tuvumā var izmantot FM signālus. Saucienų ritms rūsganajam vakarsikspārņim var būt neregulārs. Arī rūsganajam vakarsikspārņim, līdzīgi kā citu sugu sikspārņiem, saucienų mainība ir ļoti raksturīga saistībā ar biotopu, kurā sikspārņis atrodas. Saucienam ir raksturīga pamatfrekvences maiņa no augstākas uz zemāku un tad atkal augstāku (Barataud 2015).

Ziemeļu sikspārņis *Eptesicus nilssoni* – vidēja izmēra sikspārņis. Šīs sugas sikspārņi ir ļoti bieži sastopami Latvijā. Medī dažādos biotopos gan mežos, gan virs ūdenstilpēm un citur (Pētersons 1997). Tā raksturīgā frekvence ir no 24 kHz līdz 31 kHz (Skiba 2009). Ziemeļu sikspārņis izmanto FM-QCF saucienų veidu (Barataud 2015). Pēc ehokācijas saucieniem viegli sajaucams ar *E.serotinus*, *V.murinus* un *Nyctalus* ģints sugu sikspārņiem (Russ 2021).

Divkrāsainais sikspārņis *Vespertilio murinus* ir samērā reti sastopams. Medīšana parasti notiek atklātās vietās, ļoti augstu un ir maz saistīta ar meža biotopiem. Raksturīgs ātrs un spēcīgs lidojums bez lielas manevrētspējas (Pētersons 1997). *V. murinus* raksturīgā frekvence ir no 22 līdz 29kHz (Cornes 2008). Ehokācijas saucieniem raksturīgs regulārs ritms, izmanto QCF signālus (Barataud 2015).

Mazais vakarsikspārņis *Nyctalus leisleri* ir vidēja izmēra sikspārņis. Barošanās parasti notiek lielā augstumā, virs mežiem, reizēm virs ūdenskrātuvēm, lidojums ir ātrs (Pētersons 1997). Tā raksturīgā ehokācijas saucienų frekvence ir no 21 kHz līdz 30 kHz. Mazais vakarsikspārņis visbiežāk izmanto QCF ehokācijas saucienus atvērto biotopos. Ja atrodas mežu tuvumā, tad līdzīgi kā Rūsganais vakarsikspārņis maina saucienus un FM tipa saucieniem. Ja tiek izmantoti FM saucieni tad to frekvence ir no 23 kHz līdz 30 kHz (Barataud 2015).

Platspārņu (vēlais) sikspārņis *Eptesicus serotinus* ir lielu izmēru sikspārņu suga. Tam raksturīgs lēns lidojums. Barošanās parasti notiek 6m -10m augstumā, bieži apdzīvotās vietās vai apdzīvotu vietu tuvumā (Pētersons 1997). Raksturīgo ehokācijas saucienų frekvences ir no 22-44 kHz (Crones 2008). Visbiežāk *E.serotinus* izmanto FM -CF signālus un to frekvence ir no 22- 24kHz, bet meža tuvumā to saucienų frekvence var būt līdz pat 44 kHz. Šāda veida signālus izmanto arī vairāki citi sikspārņi, kuriem raksturīgs uzturēties meža biotopos (Barataud 2015).

1.4.2. Pipistrelloīdi

Šai grupai pieder trīs Latvijas faunas sugas - pigmejsikspārņis (*Pipistrellus pygmaeus*), Natūza sikspārņis (*P. nathusii*) un pundursikspārņi (*Pipistrellu. pipistrellus*). Pirmās divas sugas ir bieži vai attiecīgi samērā bieži sastopamas, bet trešā – ļoti reti (Pētersons un Vintulis 1998). Šīs grupas sikspārņiem lidojot atklātā telpā raksturīgi FM-QCF tipa signāli, savukārt QCF tipa signālus tie izmanto reti. Arī *Pipistrellus* ģints sikspārņu noteikšanā svarīgākie

eholokācijas saucienu parametri ir to beigu un maksimālās enerģijas frekvences (Barataud 2015).

Pigmejsikspārnis *Pipistrellus pygmaeus* ir mazākais sikspārnis Latvijā. Tā raksturīgā eholokācijas saucienu frekvence ir no 51 kHz līdz 65kHz (Barataud 2015). Atklātos biotopos pigmejsikspārņi var lietot eholokācijas saucienus, kuru maksimālās enerģijas frekvences ir zemākas nekā tad, ja tie uzturas mežos, vai vietās ar vairākiem šķēršļiem (Bartonička and Reháč 2005).

Natūza sikspārnis *Pipistrellus nathusi* ir viens no mazo izmēru sikspārņiem. Šīs sugas sikspārņi ir bieži sastopami. Sikspārnis medī dažādos biotopos, gan mežu tuvumā, gan arī parkos. *P. nathusii* raksturīgais lidojums ir ātrs (Pētersons 1997). Tā raksturīgā eholokācijas saucienu frekvence ir 38,5- 46 kHz (Cornes 2008). Natūza sikspārņi izmanto FM- QCF sauciena veidu (Barataud 2015).

Pundursikspārnis *Pipistrellus Pipistrellus* ir plaši izplatīta suga Eiropā (Russ 2021), bet Latvijā tas ir sastopams un konstatēts reti. Tā raksturīgā eholokācijas saucienu frekvence ir 45,9 – 68,8 kHz un tiem ir raksturīgi izmantot FM-QCF sauciena veidu. Pundursikspārnis sastopams dažādos biotopos – lauksaimniecības zemēs, ezeru un upju malās, lapkoku mežos uc. (Russ 2021).

1.4.3. Naktssikspārņi

Pie naktssikspārņiem pieder piecas ģints *Myotis* sugas - Ūdeņu naktssikspārnis (*Myotis daubentonii*), Branta naktssikspārnis (*M. brandtii*), Naterera naktssikspārnis (*M. nattereri*), dīķu naktssikspārnis (*M. dasycneme*) un bārdainais naktsiskspārnis (*M. mystacinus*) (Pētersons un Vintulis 1998). Tām raksturīgi FM tipa eholokācijas saucieni Vienīgais izņēmums ir dīķu naktssikspārnis, kurš reizēm izmanto arī jaukta tipa saucienus ar QCF komponenti. Šajos gadījumos šo sugu ir viegli noteikt. Savukārt pārējās naktssikspārņu sugas atšķirt vienu no otras ir sarežģīti un ļoti bieži pētījumos iegūtajos rezultātos tiek norādīta tikai ģints *Myotis* (Russ 2021). Naktssikspārņu eholokācijas saucienos parasti neizmanto maksimālās enerģijas frekvences mērījumus, tās vietā izmantojot sauciena sākuma un beigu frekvenču mērījumus (Barataud 2015).

Ūdeņu naktssikspārnis *Myotis daubentonii* ir viens no naktssikspārņu ģints pārstāvjiem (Pētersons 1997). Šī sikspārņu suga kopumā ir ļoti plaši izplatīta – sākot no britu salām, cauri visai Eiropai un līdz pat Tālajiem rietumiem (Bogdanowicz 1994). Sugai ir raksturīgi atrasties ūdeņu tuvumā un visbiežāk arī to barošanās notiek virs ūdeņiem. Raksturīgais lidojums ir ātrs

un manervējošs (Pētersons 1997). *M. daubentonii* ehokācijas saucienu maksimālā frekvence ir no 35 kHz līdz 50 kHz (Barataud 2015).

Branta naktssikspārnis *Myotis brandti* ir maza izmēra sikspārnis. Samērā reti sastopama suga. Tipiskās barošanās vietas ir skraji meži, parki, mežu stigas un ceļi (Pētersons 1997). Šīs sugas ehokācijas saucienam bieži ir grūti nosakāma maksimālās enerģijas frekvence, var būt arī gadījumi, kad tās ir divas (Barataud 2015). Raksturīgi ir FM tipa saucieni un ehokācijas saucienu frekvences parasti variē no 34 kHz līdz 121,9 kHz,

Naterera naktssikspārnis *Myotis nattereri* ir vidēja izmēra sikspārnis. Latvijā šī sikspārņu suga ir reti sastopama. Galvenās medīšanas vietas ir mežos vai virs ūdeņiem, parasti lidojums nav augsts – viens – četri metri virs zemes. Lidojums parasti ir lēns un vienmērīgs, raksturīgi ir tas, ka sugas īpatņi spēj īsu brīdi brīvi plivināties gaisā (Pētersons 1997). Naterera naktssikspārnis vislabāk dzirdams pie frekvencēm no 45 kHz līdz 55kHz, bet maksimālās enerģijas frekvence parasti ir pie 53 kHz (Barataud 2015).

Dīķu naktssikspārnis *M. dasycneme* ir liela izmēra sikspārnis. Latvijā ir bieži sastopams austrumu un dienvidaustrumu daļā. Dīķu naktssikspārnim parasti uzturas pie stāvošiem vai lēni tekošiem ūdeņiem. Raksturīgi lidot dažus centimetrus virs ūdens virsmas (Pētersons 1997). Dīķu naktssikspārnim raksturīgi izmantot gan QCF, gan FM-QCF ehokācijas saucienus tipus. *M.dasycneme* ehokācijas sauciena frekvences parasti variē no 26 līdz 46 kHz, bet izmantojot FM-QCF līdz pat 85 kHz (Russ 2021).

Bārdainais naktssikspārnis *Myotis mystacinus* ir maza izmēra sikspārnis. Latvijā ir samērā reti sastopams. Tipiski saistīts ar mežu biotopiem, bieži uzturas apdzīvotās vietās (Pētersons 1997). Par *M. mystacinus* ekoloģiju Eiropā ir maz zināms (Buckley *et al.* 2013). Bārdainā naktssikspārņa ehokācijas saucienam ir salīdzinoši zema beigu frekvence (Barataud 2015). Ehokācijas saucienus frekvence var variēt no 25,6 kHz līdz pat 120 kHz (Russ 2021).

1.4.4. Garausainie un platausainie sikspārņi

Latvijā šo grupu pārstāv Brūnais garausainis *Pleotus auritus*, kas ir bieži sastopama suga un Eiropas platausis *Barbastella barbastellus*, kas ir reti sastopams. Brūnais garausainis atšķiras no pārējiem sikspārņiem ar īpaši klusiem ehokācijas saucieniem un šī iemesla dēļ akustiskos pētījumos tiek novērots reti (Pētersons un Vintulis 1998). Tam raksturīgi FM tipa saucieni, kurus var atšķirt no naktssikspārņu saucieniem pēc citām pazīmēm, piemēram, labi izteikta virstoņa. Savukārt Eiropas platauša tipiskie saucieni ir viegli atšķirami no jebkuras citas

sikspārņu sugas pēc īsajiem saucieniem, kuriem pamīšus ir divas dažādas frekvences (Barataud 2015). Šīs grupas abas sugas šajā pētījumā neiekļāvām.

Brūnais garausainais *Plecotus auritus* ir vidēju izmēru sikspārnis. Latvijā šis sugas sikspārņi ir samērā bieži sastopami. Raksturīgās medīšanas vietas ir meži un pļavas. Lidojums ir lēns, spēj plivināties uz vietas (Pētersons 1997). Maksimālā frekvence ir 45-55kHz (Cornes 2008). Eholokācijas saucieni *P. auritus* ir diezgan klusi, kas palīdz medīšanā, jo kukainim ir grūtāk uztvert sikspārņa klātbūtni (Ross 2021). *P. auritus* eholokācijas saucieniem raksturīgi virstoņi, kuri labi redzami eholokācijas saucienų analizēšanas programmās (Barataud 2015).

Platausainais sikspārnis *Barbastella barbastellus* ir vidēja izmēra sikspārnis. Latvijā šī sikspārņu suga ir reti sastopama. Biežas medīšanas vietas ir dārzi, meži, alejas. Lidojums ir ātrs (Pētersons 1997). *B. barbastellus* ir vienīgā Eiropas suga, kurai ir raksturīgas maksimālās frekvences variācijas. Platausainais sikspārnis spēj izmantot vēl citus alternatīvus saucienų, kuros ir gan FM, gan CF signālu elementi. *B. barbastellus* saucienų atkārtotā biežumā, saucienų struktūru neietekmē ne lidojuma vide, ne paša sikspārņa uzvedība, kā tas ir lielākajai daļai sikspārņu (Barataud 2015). Eholokācijas saucienų frekvence parasti ir no 28,9 kHz līdz 49 kHz.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

2.1. Pētījuma vietas raksturojums

Sikspārņu eholoģijas saucienu ierakstīšana tika veikta migrējošo sikspārņu monitoringa laikā no 2019. gada 15.augusta līdz 29.augustam un no 2020. gada 10.augusta līdz 6.septembrim, Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta ornitoloģisko pētījumu centrā (Rucavas novads, Rucavas pagasts, Papes ciems).



2.att.Sikspārņu palaišanai izvēlētās vietas laukums pļavā. (Attēls no Balticmaps.eu, pārveidots).
Figure 2. Selected meadow for releasing bats.(Image from Balticmaps.eu, modified).

Par sikspārņu izlaišanas un saucienu ierakstīšanas vietu, tika izvēlēta atklāta ainava – pļava, jo vairums sikspārņu sugu sev raksturīgos eholoģijas saucienus izdod tieši bezšķēršļu apstākļos. Tika izvēlēta 37 – 43m plata un 100m gara pļavas daļa, bez vertikālām struktūrām (kokiem un ēkām) (2.att.). Pļavas rietumu pusē atrodas kāpa ar priežu audzi, austrumu pusē ar bērziem un kārkliem aizaugušas lauksaimniecības zemes. Citi nozīmīgi apkārt esoši objekti ir jūra, līdz kurai ir aptuveni 100m un sikspārņu un putnu ķeršanai uzceltais murds, līdz kuram ir aptuveni 25m.

Palaišanas precīza vieta pļavā tika izvēlēta atkarībā no laikapstākļiem, vēja virziena un stipruma, citu lidojošu sikspārņu klātbūtnes, kura tika noteikta ar ultraskaņas detektora palīdzību. Sikspārņi tika palaisti brīdī, kad citu sikspārņu klātbūtne netika konstatēta. Tika ņemta vērā arī miglas un nokrišņu klātbūtne. Sikspārņu palaišanas vieta vienas nakts ietvaros

arī mainījās, tas nozīmē, ka visi indivīdi, kas tika ierakstīti vienā naktī netika palaisti vienā vietā un palaišanas apstākļi, piemēram, vēja virziens, temperatūra, varēja mainīties.

Ja sikspārņus to noķeršanas naktī nebija iespējams palaist vaļā un ierakstīt, tie tika turēti kastēs, tumšā telpā. Kastēs sikspārņiem kā paslēptuve tika ievietots audums. Šie sikspārņi tika palaisti vaļā un ierakstīti nākošajā vakarā iestājoties piemērotiem apstākļiem.

2.2. Sikspārņu ķeršana un sikspārņu saucienu ierakstu veikšana

Tika noķerti sikspārņi no 13 dažādām sugām (*Vespertilio murinus* Divkrāsainais sikspārnis, *Pipistrellus pygmaeus* Pīgmejsikspārnis, *Nyctalus noctula* Rūsganais vakarsikspārnis, *Eptesicus nilssonii* Ziemeļu sikspārnis, *Pipistrellus nathusii* Natūza sikspārnis, *Myotis brandtii* Branta natssikspārnis, *Myotis nattereri* Naterera naktssikspārnis, *Myotis daubentonii* Ūdeņu naktssikspārnis, *Plecotus auritus* Brūnais garausainais, *Myotis mystacinus* Bārdainais naktssikspārnis, *Eptesicus serotinus* Platspārņu sikspārnis, *Barbastella barbastellus* Platausianais sikspārnis, *Nyctalus leisleri* Mazais vakarsikspārnis) un šiem sugu sikspārņiem tika veikti eholoģiskās ieraksti.

Sikspārņu ķeršanai tika izmantots Helgolandes tipa murds, kas ir liela izmēra ķeramtiķls, ar kura palīdzību tiek ķerti sikspārņi un putni. Tīklam ir tuneļveida struktūra, kuras galā atrodas gala kaste. Ieejas galā tīkls ir apmēram 29m plats un 10m augsts. Abās murda pusēs ir uzstādīti “spārni”, kas virza lidojošos sikspārņus tālāk murdā. “Spārnu” augstums ir 15m un attālums starp to galiem ir apmēram 65 m (Keišs *et al.* 2021). Noķertajiem sikspārņiem piederība sugai un dzimums tika noteikts pēc morfoloģiskajām pazīmēm.

Sikspārņu saucienu ierakstu veikšanai tika izmantots Pettersson Elektronik D-1000X modeļa ultraskaņas detektors. Ar ultraskaņas detektoru iegūtie sikspārņu saucienu tiek pārveidoti, lai iegūtu cilvēkam dzirdamus ierakstus. Pettersson- D-1000X ir aprīkots ar *time expansion* (TE) skaņas pārveidošanas sistēmu. Sistēma pārveido dažu sekunžu garos ierakstus un tos atskaņo palēnināti. Veiktie ieraksti bija 3 sekunžu garas saucienu sērijas un tām tika izmantots 10-kārtīgs palēninājums. Visi ieraksti tika saglabāti *Compact Flash* (CF) atmiņas kartē “wav” failu veidā, kurus pēc tam var izmantot skaņu analīzei ar programmām - Batsound, MSExcel, Rstudio.

Noķerto sikspārņu palaišana un ierakstīšana notika no pulksten 22:00 līdz pulksten 6:00. Sikspārņi tika palaisti no rokas tos viegli pametot gaisā, vai arī ļaujot lidojumu tiem uzsākt pašiem. Sikspārņu lidojumu izsekošanai tika izmantots lukturītis, ar kura palīdzību tikai apgaismots palaistais sikspārnis tam netieši spīdinot virsū gaismu. Ieraksts tika veikts brīdī, kad ultraskaņas detektorā bija dzirdams vienmērīgs sikspārņa saucienu ritms, kas liecina par to, ka

lidojums notiek atklātā ainavā. Lai ierakstītos saucienus dzirdētu labāk un koncentrētāk, tika izmantotas austiņas. Pirms sikspārņu palaišanas detektora frekvenču skala detektorā tika noregulēta uz attiecīgās sugas labāko dzirdamības frekvenci.

Tika izmantota arī ultraskaņas detektora komentāru ierakstīšanas funkcija, ierakstot informāciju par katru palaisto sikspārni – tā sugu, dzimumu, aptuveno lidošanas augstumu un virzienu, dažos gadījumos arī lidojuma veidu.

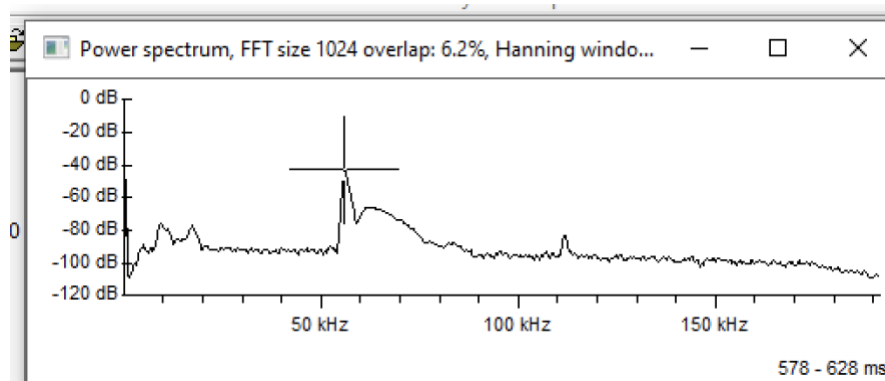
2.3. Sikspārņu ehokācijas saucienu analīze

Pētījumā kopā tika iegūti 534 ieraksti no 13 dažādām sikspārņu sugām. No visiem ierakstiem tika atlasīti 328 ieraksti, kuri atbilda uzstādītajiem kvalitātes noteikumiem. Svarīgi bija tas, lai saucienam būtu labi redzama sākuma un beigu frekvence. Svarīgi arī, lai saucienam nebūtu dažādu blakus trokšņu, piemēram, sienāžu radītās skaņas vai citu sikspārņu saucieni

Sikspārņu saucienu analīzei tika izmantota programma Batsound v.4.4. Ar programmas palīdzību iespējams iegūtos ierakstus apskatīt vizuāli. Programma dod iespēju iegūt un izveidot 3 veida grafikus – spektrogrammu, oscilogrammu un enerģijas sadalījuma spektra grafiku.

Sikspārņu saucienu analizēšanai no viena sikspārņa saucienu sērijas tika izvēlēti 5 atsevišķi saucieni un tiem noteikti nepieciešamie parametri – sākuma frekvence SF, beigu frekvence EF, frekvences diapazons BW, sauciena garums SG un maksimālās enerģijas frekvence FME. Saucieni analīzei tika izvēlēti iespējami kvalitatīvākie saucieni.

Enerģijas spektra grafikā tiek parādīts, kā sauciena intensitāte tiek sadalīta frekvenču diapazonā (3.att.).

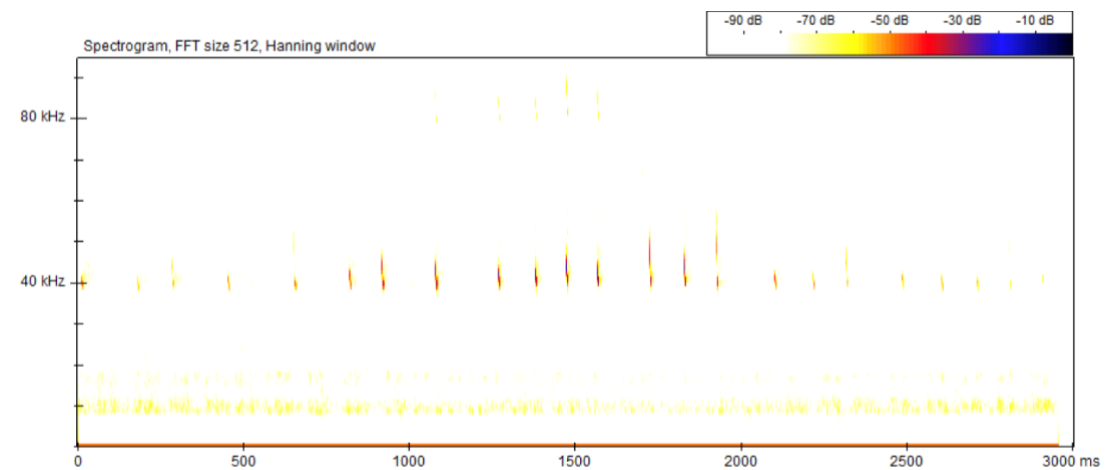


3.attēls. Viena ehokācijas sauciena enerģijas spektra grafiks.

Figure 3. Power spectrum of one echolocation call.

Enerģijas spektra grafiku izmantoju maksimālās enerģijas noteikšanai. Ar kursora palīdzību iezīmēju visu saucienu spektrogrammā, tad izvēlējos iespēju aplūkot enerģijas spektra grafiku. Grafikā redzams viens izteikts “pīķa punkts” kurš parāda maksimālās enerģijas rādītāju. To nolasīju izmantojot kursoru (3.att.)

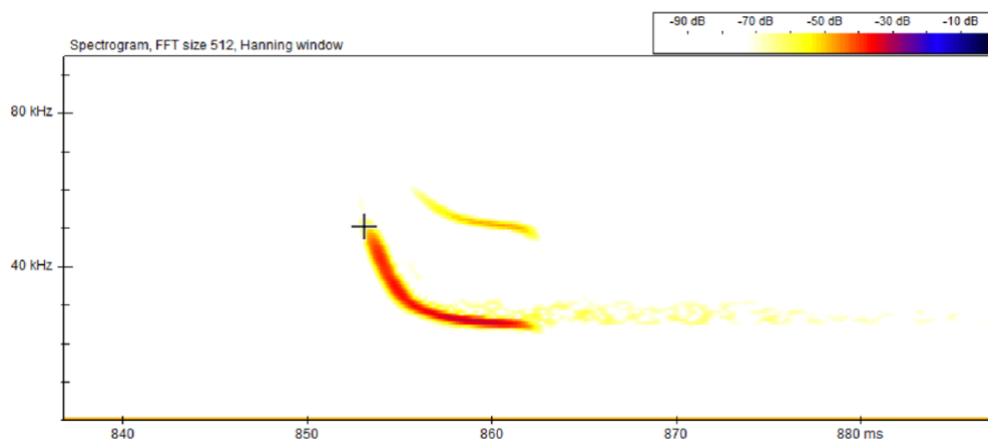
Spektrogrammā tiek attēlots, kā ehokācijas sauciena frekvence mainās laika gaitā. Spektrogramma no visiem grafikiem tiek izmantota visbiežāk (4.att.).



4.att. Spektrogramma ar viena sikspārņu ehokācijas sauciena sērijas ierakstu.

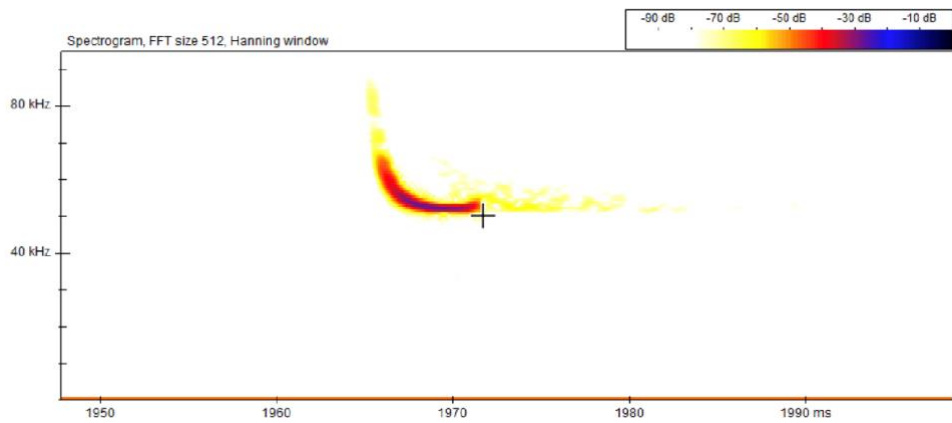
Figure 4. Spectrogram with one full bat echolocation call recording.

Sauciena sākuma un beigu frekvences mērīšanai arī tika izmantota spektrogramma, kurā ar kursoru tiek atzīmēts nepieciešamais sākuma (5.att.) vai beigu punkts (6.att.). Sākuma frekvences noteikšanai jāpievērš liela uzmanība, jo bieži vien tās sākuma punkts nav skaidri saskatāms. Ja nav iespējams precīzi noteikt sākuma frekvenci, konkrēto saucienu neizmanto, lai neradītu kļūdu (Barataud, 2015).



5.attēls. Kursora atrašanās vieta veicot sākuma frekvences mērījumu.

Figure 5. Position of the measurement cursor to measure start frequency.

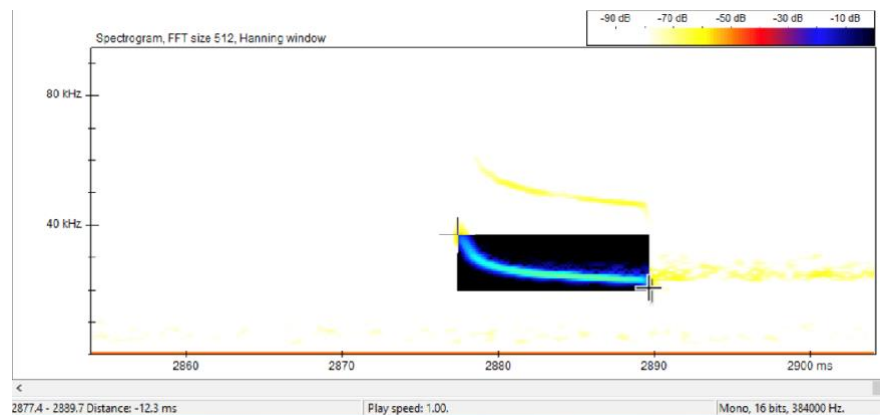


6.attēls. Beigu frekvences nolāsīšanas kursora atrašanās vieta.

Figure 6. Position of the measurement cursor to measure end frequency

Sauciena frekvenču diapazonu (BW) iespējams noteikt vairākos veidos, piemēram, mērot to ar spektrogramu. Šajā gadījumā to noteikšanu veicu atņemot no sākuma frekvences beigu frekvenci.

Arī sauciena garums tiek mērīts ar spektrogrammas palīdzību. Tiek iezīmēts viss sauciens un sauciena garums tiek parādīts milisekundēs (ms) (7.att.).



7.att. Spektrogramma ar sauciena garuma mērījumu.

Figure 7. Spectrogram distance measurements.

2.4. Datu apstrādes metodes

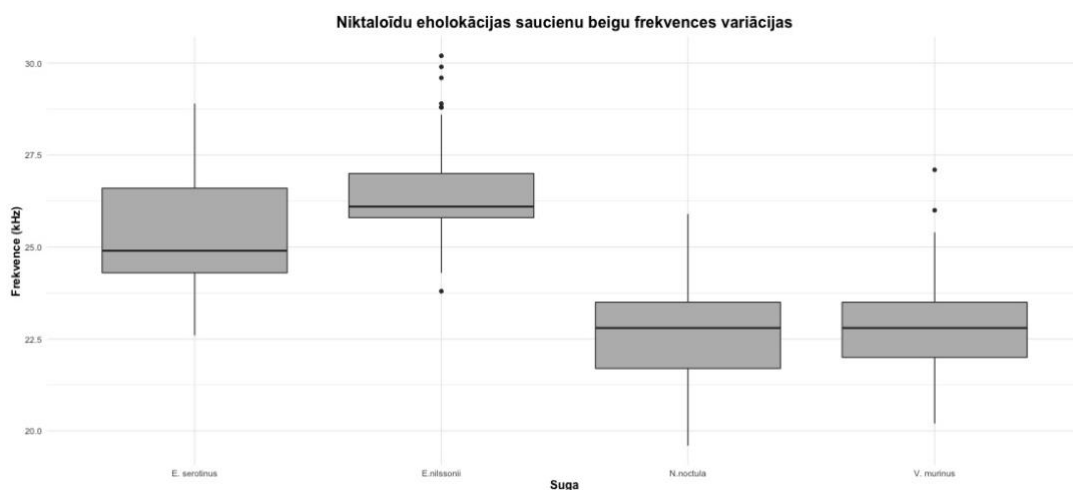
Datu apstrādei tika izmantota programma “Microsoft Excel 2013” un programma R Studio (versija 3.6.2), lai veidotu grafikus. MS Excel tika izmatots, lai apkopotu datus tabulās (1.pielikums), kurās tika ierakstīti visi noteiktie parametri, kā arī tika ierakstīts faila nosaukums, sikspārņa dzimums, lidojuma augstums. Sikspārņu dzimums tabulās tika atzīmēti ar M –

3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1.Niktaloīdi

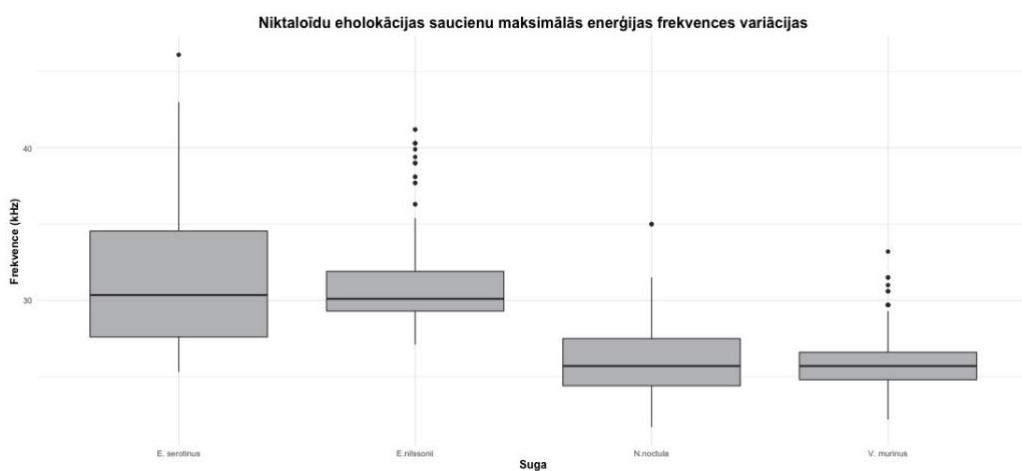
Pētījumā kopā tika iegūti 516 ieraksti no 13 dažādām sikspārņu sugām, visas iegūto ehokācijas saucienu parametru maksimālās, minimālās un vidējās vērtības ar standartnovirzi apkopotas tabulā (1.pielikums).

Niktaloīdu ehokācijas saucienu beigu frekvences un maksimālās enerģijas frekvences variācijas apkopotas grafikos (8.attēls, 9.attēls).



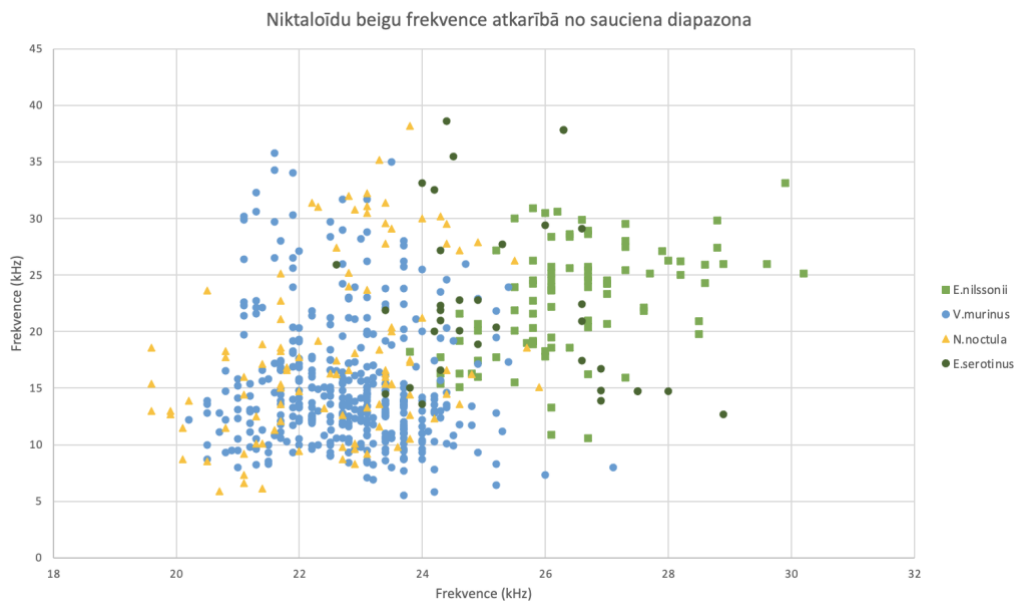
8.attēls Niktaloīdu ehokācijas saucienu beigu frekvences variācijas (no kreisās puses – *E.serotinus*, *E.nilssonii*, *N.noctula*, *V.murinus*).

Figure 8. Nyctaloid echolocation call end frequency variations (from left - *E.serotinus*, *E.nilssonii*, *N.noctula*, *V.murinus*)



9.attēls Niktaloīdu ehokācijas saucienu maksimālās enerģijas frekvences variācijas no kreisās puses – *E.serotinus*, *E.nilssonii*, *N.noctula*, *V.murinus*).

Figure 9. Nyctaloid echolocation call maximum energy frequency variations (from left - *E.serotinus*, *E.nilssonii*, *N.noctula*, *V.murinus*).



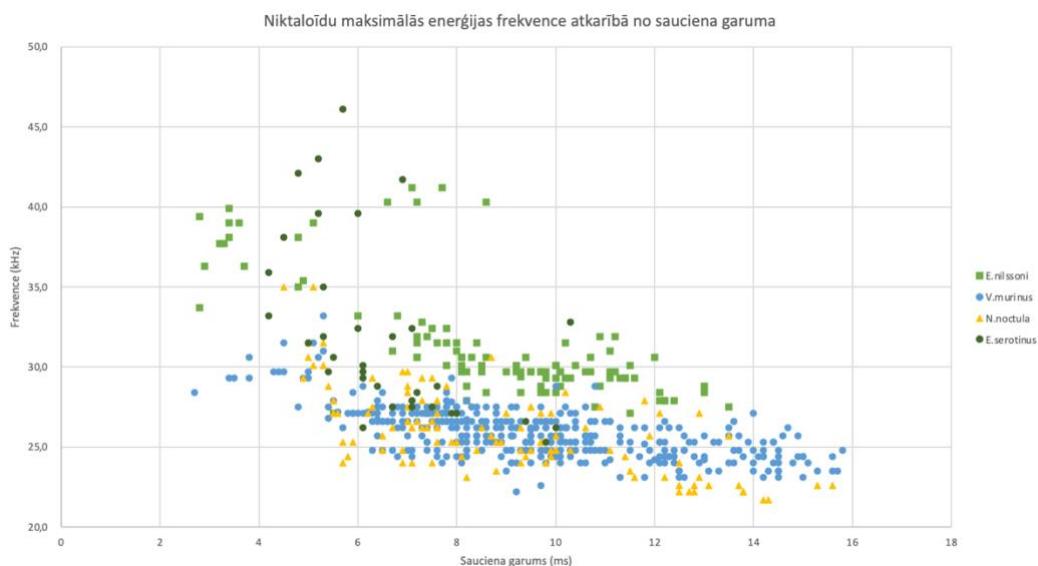
10.attēls. Niktaloīdu beigu frekvence atkarībā no sauciena diapazona.

Figure 10. End frequency of nyctaloid depending of bandwidth.

Niktaloīdiem ir raksturīgi gan QCF, gan FM-QCF tipa saucieni un parasti to ehokācijas parametru vērtības atšķiras. Saucieni kur sauciena diapazons ir zem 5 kHz ir uzskatām par OCF tipa saucieniem (Barataud 2015). Pētījumā neviens no iegūtajām sauciena diapazona vērtībām nebija zem 5 kHz (10.attēls). Viens no iespējamiem iemesliem, kādēļ QCF tipa saucieni netika iegūti, varētu būt tas, ka sikspārņi, kuri tika ierakstīti neatradās pietiekami augstu. M.Baratauds (Barataud 2015) apraksta to, ka QCF tipa saucieni visbiežāk tiek izpildīti lielā augstumā.

Pēc aprēķinātajām ANOVA Tukey testā iegūtajām p vērtībām redzams, ka būtiskas atšķirības starp beigu frekvencēm nav novērojamas tikai starp *V.murinus* un *N.noctula* (p vērtība 0,3098, pie būtiskuma līmeņa 0,05). Pārējām sugām iegūtās p vērtības ir mazākas par 0,05, kas parāda, ka starp sugu beigu frekvencēm pastāv būtiska atšķirība.

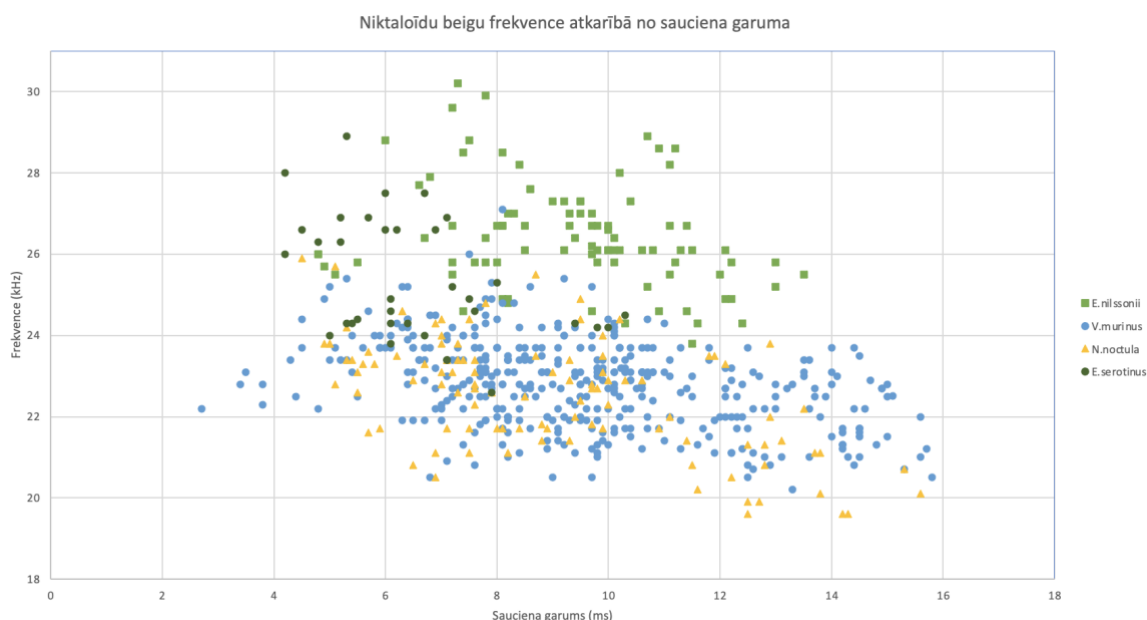
Aprēķinātās ANOVA Tukey testa p vērtības maksimālajai enerģijas frekvencei liecina, ka būtiskas atšķirības nepastāv starp *V.murinus* un *N.noctula* (p vērtība 0,9589, pie būtiskuma līmeņa 0,05). Iegūtās p vērtības maksimālajai enerģijas frekvencei pārējām sugām, liecina, ka starp tām pastāv būtiska atšķirība.



11.attēls. Niktaloīdu maksimālās enerģijas frekvence atkarībā no sauciena garuma.

Figure 11. Frequency of maximum energy of nyctaloid depending of the signal duration.

Grafikā, kurā attēlots maksimālās enerģijas frekvences saistība ar sauciena garumu (11.att), izteikti var redzēt, ka *E.nilssonii* maksimālās enerģijas frekvence ir augstāka nekā pārējām sugām no niktaloīdu grupas. *E.nilssonii* maksimālās enerģijas frekvences zemākā vērtība, kas tika iegūta, ir 27,1 kHz, bet augstākā 41,2 kHz.



12.attēls. Niktaloīdu beigu frekvence atkarībā no sauciena garuma.

Figure 12. End frequency of nyctaloid depending of the signal duration.

Grafikā ievietojot gan niktaloīdu ehokolācijas saucienu beigu frekvences vērtības, gan sauciena garuma iegūtās vērtības, redzams, ka *V.murinus* un *N.noctula* pēc beigu frekvences un sauciena garuma atšķirt ir gandrīz neiespējami. 4,8% no visiem *N.noctula* saucienu beigu frekvencēm ir zem 20 kHz, no pētījumā iegūtajiem saucieniem nevienai citai niktaloīdu grupas sugai nav tik zema ehokolācijas beigu frekvence. Pēc tā var secināt, ka ja sauciens ir garāks par 12 ms un ja ehokolācijas beigu frekvence ir zem 20 kHz, tad pastāv liela iespēja, ka ierakstā dzirdamais sikspārnis ir *N.noctula*.

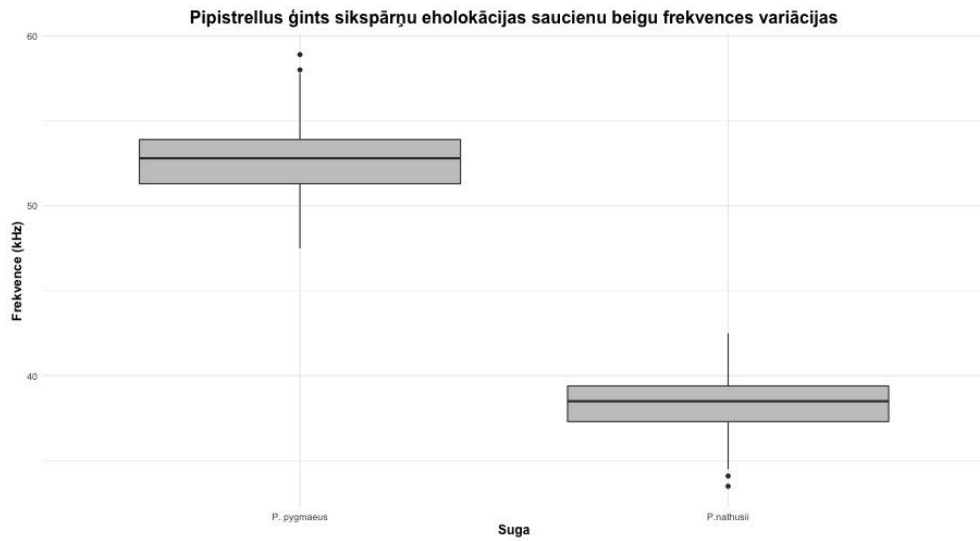
Lielākā daļa no iegūtajiem *E.nilssonii* ehokolācijas saucieni ir ar augstāku beigu frekvenci par *N.noctula* un *V.murinus*. 65% no visām *E.nilssonii* beigu frekvences vērtībām atrodas virs 26 kHz. Virs šīs robežas atrodas tikai viens *V.murinus* sauciena beigu frekvence un neviens no *N.noctula* ierakstītajiem saucieniem. J.Russ (Russ 2021) kā beigu frekvences variāciju *N.noctula* norāda vērtības no 21,4 kHz līdz 32,2 kHz, savukārt R.Skiba (Skiba 2009) noteicējā beigu vērtības norāda no 16 kHz līdz 28 kHz.

Iegūtie grafiki (11.attēls un 12.attēls) vizuāli attēlo ANOVA Tukey un ANOVA TukeyHSD testos iegūtos rezultātus – *E.nilssonii* beigu frekvences un maksimālās enerģijas frekvences būtiski atšķiras no pārējo sugu iegūtajām parametru vērtībām.

Russ (2021) apraksta, ka *E.nilssonii* maksimālās enerģijas frekvence var variēt no 26,0 kHz līdz 36,6 kHz ,beigu frekvence parasti ir robežās no 25,7 kHz līdz 32,1 kHz. Autors arī min to, ka maksimālās enerģijas frekvence, kas raksturīga *E.nilssonii*, nav sajaucama ar nevienu citu no niktaloīdu grupā ietilpstošajām sugām. Pētījumā iegūtie veikto testu rezultāti apstiprina Russ(2021) rakstīto, ka ir iespējams noteikt *E.nilssonii* piederību sugai pēc maksimālās enerģijas frekvences neskatoties uz to, ka ir parametri, kuri var pārklāties ar *E.serotinus*, *N.noctula* un *V.murinus*.

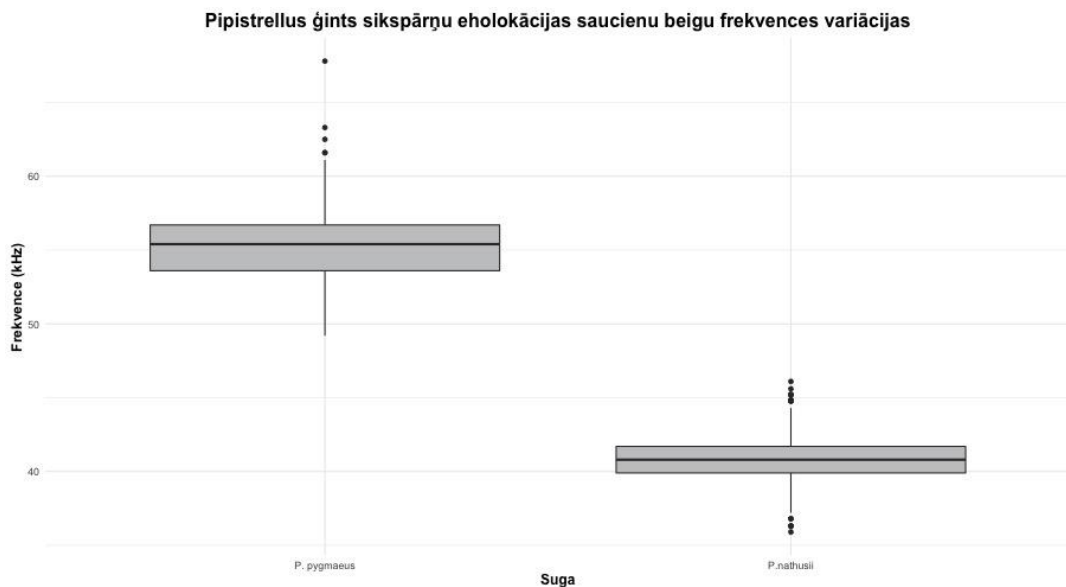
E.serotinus iegūto saucienu skaits ir nepietiekams, lai grafiski būtu iespējams redzēt kādu sakarību, kas atšķirtu to no pārējām niktoloīdu grupas sugām, bet iegūtās p vērtības liecina, ka starp *E.serotinus* un pārējām niktoloīdu grupas sugām tomēr pastāv būtiska atšķirība. R.Skiba (Skiba 2009) noteicējā norāda, ka ehokolācijas saucienu vērtības *E.serotinus* maksimālajai enerģijas frekvencei ir 23 kHz – 29 kHz, bet beigu frekvence var variēt no 22kHz līdz 27 kHz. Russ (2021) kā beigu frekvences vērtības min frekvences no 19 kHz līdz 24,5 kHz, bet maksimālās enerģijas frekvence var variēt no 21 kHz līdz 31 kHz . Lielbritānijā veiktā pētījumā fiksētās beigu frekvences bija robežās no 25 kHz līdz 36,7 kHz un maksimālās enerģijas frekvencēm variācija bija 38,4 kHz – 40 kHz (Goudy – Trainor and Freeman 2002). Pētījumā iegūtā variācija beigu frekvencei *E.serotinus* ir no 22,6 kHz līdz 28,9 kHz, bet maksimālās enerģijas frekvences variācija ir no 25,3 kHz līdz 46,1 kHz.

3.2. Pipistrelloīdi



13.attēls. *P.pygmaeus* un *P.nathusii* sikspārņu ehokācijas saucienu beigu frekvences variācijas (no kreisās – *P.pygmaeus*, *P.nathusii*).

Figure 13. *P.pygmaeus* and *P.nathusii* echolocation call end frequency variations (from left – *P.pygmaeus*, *P.nathusii*).



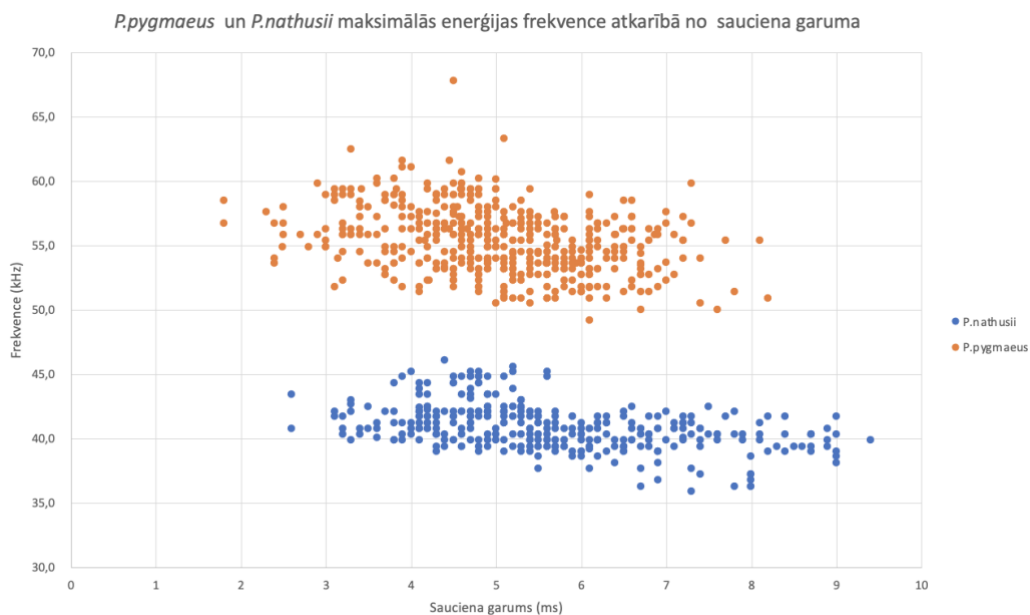
14.attēls. *P.pygmaeus* un *P.nathusii* sikspārņu ehokācijas saucienu maksimālās enerģijas frekvences variācijas (no kreisās – *P.pygmaeus*, *P.nathusii*).

Figure 14. *P.pygmaeus* and *P.nathusii* echolocation call maximum energy frequency variations (from left – *P.pygmaeus*, *P.nathusii*).

Grafikā (13.attēls) vizuāli attēlotas *P.pygmaeus* un *P.nathusii* ehokācijas saucienu beigu frekvenču iegūtās vērtības. Grafikā uzskatāmi var redzēt, ka abu sugu iegūtās beigu frekvenču

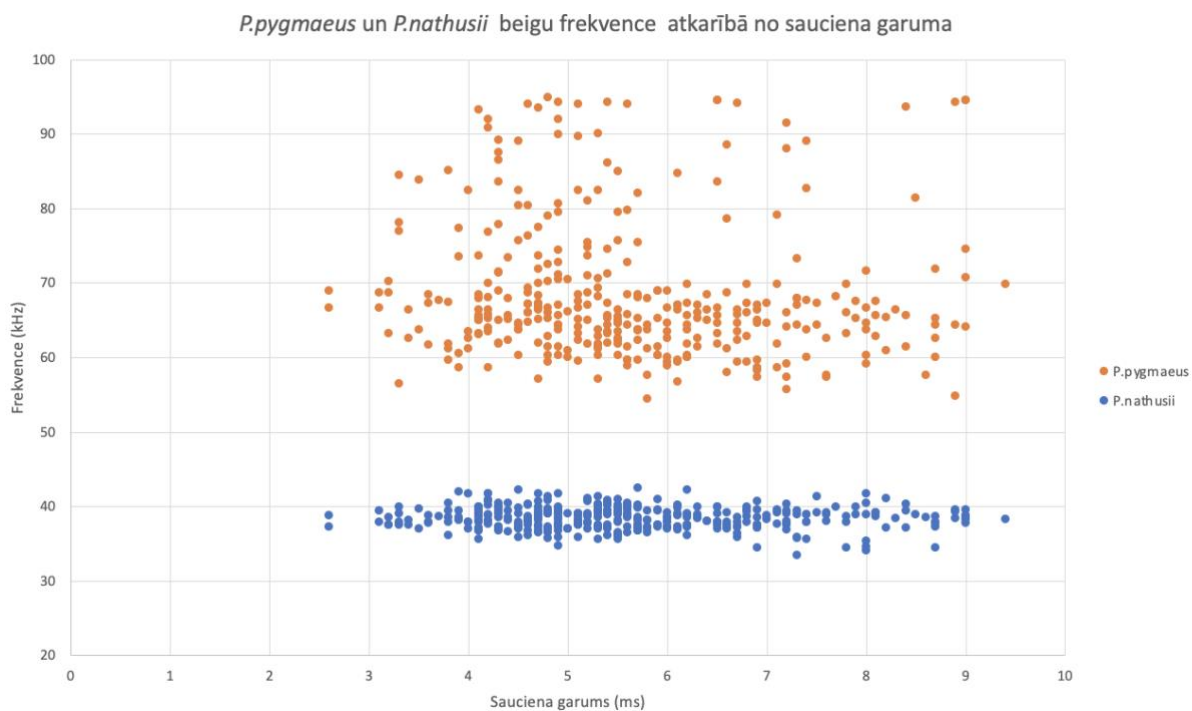
vērtības nepārklājas. Arī starp abu sugu maksimālajām enerģijas frekvencēm grafikā (14.attēls) ir redzams, ka pastāv būtiska atšķirība.

Arī veiktie ANOVA Tukey un ANOVA TukeyHSD testi pierāda, ka starp abām sugām ir būtiska atšķirība.



15.attēls *P.pygmaeus* un *P.nathusii* ehokācijas saucienu maksimālās enerģijas frekvence atkarībā no sauciena garuma.

Figure 15. Frequency of maximum energy of *P.pygmaeus* and *P.nathusii* echolocation depending of the signal duration.



16.attēls *P.pygmaeus* un *P.nathusii* ehokācijas saucienu beigu frekvence atkarībā no sauciena garuma.

Figure 16. End frequency of *P.pygmaeus* and *P.nathusii* echolocation depending of the signal duration.

P.pygmaeus ehokācijas saucienu beigu frekvence ir lielāka par 54 kHz (Russ 2021). Arī pētījumā iegūtie rezultāti atbilst šiem vērtību parametriem, minimālā beigu frekvences vērtība kura tika iegūta ir 54,5 kHz. R.Skiba (Skiba 2009) kā zemāko robežu ehokācijas sauciena beigu frekvencei nosaka 51 kHz, bet pētījumā iegūtajos rezultātos tik zemas vērtības neparādās. *P.pygmaeus* maksimālās enerģijas frekvence pētījumā tika iegūta no 39,4 kHz līdz 67,8.

J.Ross (Ross 2021) *P.nathusii* ehokācijas saucienu beigu frekvences apraksta kā 39 – 40 kHz augstas, R.Skiba (Skiba 2009) savā noteicēja, kā beigu frekvences *P.nathusii* min 35 kHz līdz 41 kHz. Pētījumā iegūtās beigu frekvences vērtības (33,5-42,5 kHz) sakrīt ar literatūras avotos norādītajām vērtībām. *P.nathusii* pētījumā iegūtā maksimālā enerģijas frekvence bija no 35,9 kHz līdz 46,1 kHz.

Pētījumā netika iegūts neviens *P. pipistrellus* ieraksts. Pundursikspārnis ir vismazāk izpētītā suga Latvijā un par to nav veikti pētījumi. Vienīgie šīs sugas īpatņi ir noķerti Papē, migrācijas laikā, bet citās vietās Latvijā, šī suga nav konstatēta (G.Pētersona pers. ziņ.). Vietās, kur ir gan *P.pygmaeus*, gan *P.nathusii*, gan *P. pipistrellus*, bieži ir problēmas ar *P. pipistrellus* atšķiršanu no pārējām *Pipistrellus* ģints sugām, jo to ehokācijas frekvences savā starpā ir ar līdzīgām un vienādām vērtībām (Ross 2021).

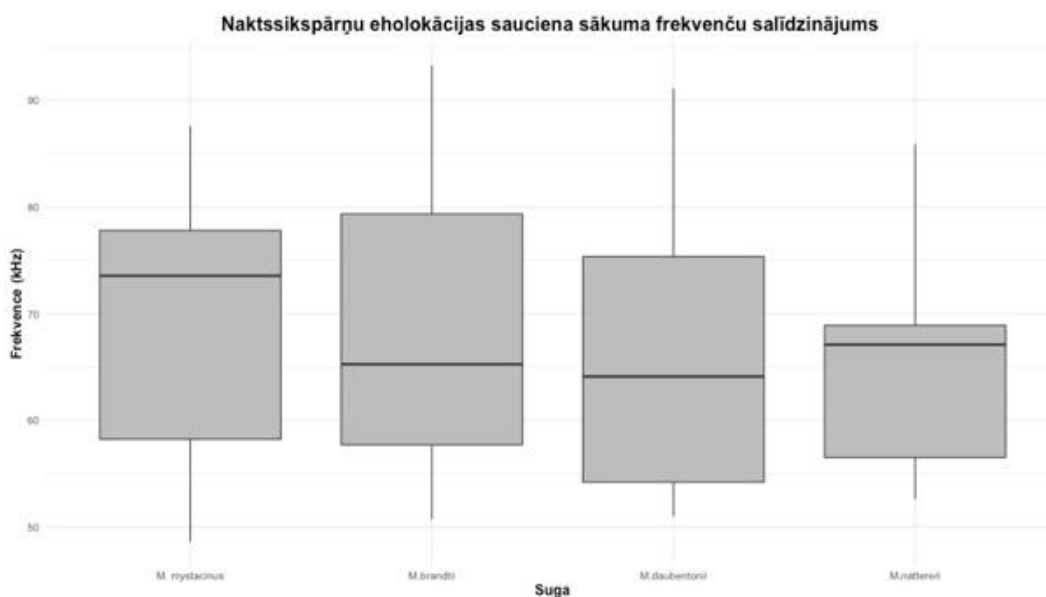
Maksimālās enerģijas frekvences variācijas *P. pipistrellus* ir no 41,6 kHz līdz 50,6 kHz (Ross 2021). R. Skiba (Skiba 2009) noteicēja norādītās *P. pipistrellus* maksimālās enerģijas frekvences ir 41 – 51 kHz.. Salīdzinot šīs vērtības, pieņemot, ka *P. pipistrellus* ehokācijas frekvence būtu tāda, kā literatūras avotos, ar pētījumā iegūtajām vērtībām var apskatīt kāda būtu ehokācijas saucienu maksimālās enerģijas frekvences “pārklāšanās”. *P.pygmaeus* maksimālās enerģijas frekvence pētījumā tika iegūta no 49,2 kHz līdz 67,8 kHz un *P.nathusii* tā bija no 35,9 kHz līdz 46,1 kHz. Šos datus sugu noteikšanā pēc ehokācijas saucieniem var izmantot un pārbaudīt, ja ir kāds īpatnis, par kuru ir aizdomas, ka tas varētu piederēt pie *P. pipistrellus* sugas. *P.pygmaeus* maksimālā enerģijas frekvence sakrīt ar *P. pipistrellus* sākot no 49 kHz līdz 51 kHz (augstākā maksimālās enerģijas robeža *P. pipistrellus* sugas sikspārņiem). Ar *P.nathusii* FME pārklāšanās ir lielāka – 41 kHz, (zemākā maksimālās enerģijas frekvence *P. pipistrellus* sugas sikspārņiem pēc apskatītajiem literatūras avotiem) līdz 46,1 kHz, (augstākā, pētījumā iegūtā maksimālās enerģijas frekvence *P.nathusii* sugas sikspārņiem).

Salīdzinot iegūtās beigu frekvences *P.pygmaeus* un *P.nathusii* sugas īpatņiem ar literatūras avotos minētajām beigu frekvences variācijām *P. pipistrellus*, var secināt, ka

P.nathusii beigu frekvences vērtības sakrīt no 41,2 kHz (zemākā beigu frekvences vērtība *P. pipistrellus* sugai) līdz 42,5 kHz (pētījumā augstākā iegūtā beigu frekvences vērtība *P.nathusii*). *P.pygmaeus* un *P. pipistrellus* beigu frekvences vērtības sakrīt robežā no 47,5 kHz (beigu frekvences vērtība kura iegūta no pētījumā ierakstītajiem pigmejsikspārņiem) līdz 49,9 kHz (apskatītajos literatūras avotos minēta kā augstākā beigu frekvence pundursikspārņiem). Ja analizējot datus tiek iegūtas frekvences sākot no 42,6 kHz līdz 47,4 kHz, pastāv iespēja, ka ierakstītais sikspārnis ir *P. pipistrellus* sugas īpatnis.

3.3. Naktsikspārņi

Naktsikspārņu sākuma frekvences variācija ir ļoti liela un visām sugām šajā ģintī līdzīga. *M.brandtii* sākuma frekvences ir no 50,7kHz līdz 93,3 kHz, arī ūdeņu naktsikspārņim ehokācijas saucienu sākuma frekvence ir no 51 kHz līdz 91,1 kHz. *M.mystacinus* minimālā iegūtā sākuma frekvence ir 48,6 kHz, bet maksimālā 87,6 kHz. Arī *M.nattereri* minimālā sākuma frekvence ir 52,6 kHz un maksimālā 85,9 kHz.

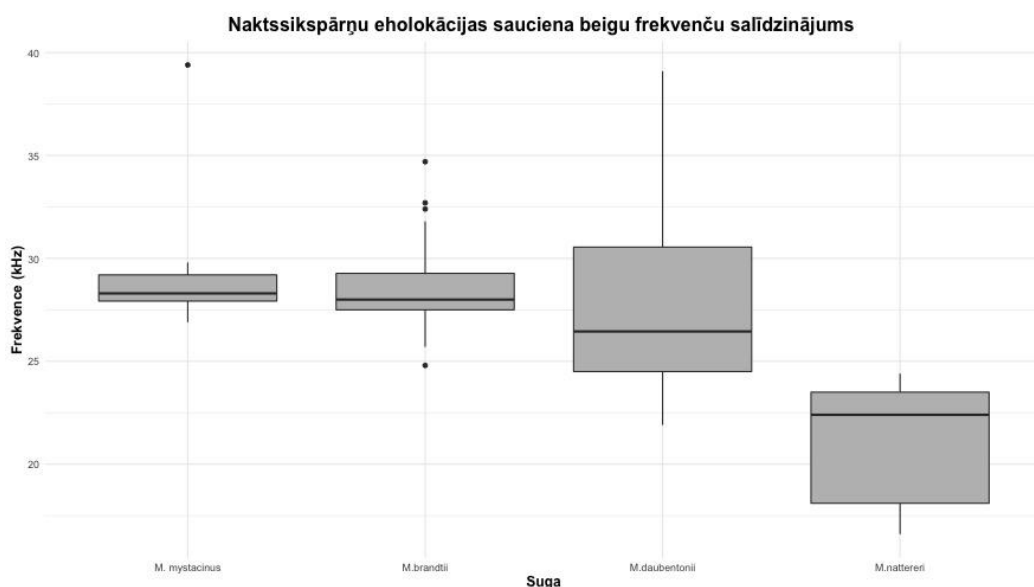


17.attēls. *Myotis* ģints ehokācijas saucienu sākuma frekvenču variācijas (no kreisās – *M.mystacinus*, *M.brandtii*, *M.daubentonii*, *M.nattereri*).

Figure 17. Variations in echolocation call start frequency of *Myotis* genus (from left - *M.mystacinus*, *M.brandtii*, *M.daubentonii*, *M.nattereri*).

Veicot ANOVA Tukey testu, tika iegūta p vērtība, kas parāda ka starp visu naktsikspārņu ehokācijas saucienu sākuma frekvenci nav būtisku atšķirību, kas nozīmē, ka šo parametru nevar izmantot sugas identificēšanā pēc ehokācijas saucieniem. Testā iegūto rezultātus apstiprina arī grafikā (17.attēls). Arī ANOVA TukeyHSD iegūtais sadalījums parāda, ka sugu pēc šiem parametriem noteikt nevar.

ANOVA Tukey tests un ANOVA TukeyHSD tika veikts arī naktssikspārņu ehokācijas saucienu beigu frekvencēm. ANOVA Tukey testā iegūtas p vērtības liecina par to, ka būtiskas atšķirības beigu frekvencē pastāv starp *Myotis nattereri* un visām pārējām *Myotis* ģints sugām. Arī ANOVA TukeyHSD testā iegūtie rezultāti parāda, ka *Myotis nattereri* ir suga, kurai ir atšķirības no pārējām *Myotis* ģints sugām. Grafikā (16. attēls) vizuāli var redzēt, ka beigu frekvences vērtības ir zemākas nekā pārējām sugām *Myotis* ģintī.



18.attēls. *Myotis* ģints ehokācijas saucienu beigu frekvenču variācijas (no kreisās – *M.mystacinus*, *M.brandtii*, *M.daubentonii*, *M.nattereri*).

Figure 18. Variations in echolocation call end frequency of *Myotis* genus (from left - *M.mystacinus*, *M.brandti*, *M.daubentonii*, *M.nattereri*).

Vislielākā variācija beigu frekvencēm ir *M.daubentonii* (21,9 kHz – 39,1 kHz), bet *M.mystacinus* tā ir vismazākā (26,9kHz – 29,4 kHz). *M.brandtii* beigu frekvences variācijas robežas ir no 24,8 kHz līdz 34,7 kHz. Zemākā iegūtā beigu frekvence *M.nattereri* ir 16,6 kHz, bet augstākā 24,4 kHz.

Ehokācijas saucienu sākuma frekvences *M.daubentonii* sugas īpatņiem var variēt no 50,3 kHz līdz 109,7 kHz, beigu frekvences variē no 22,4 kHz līdz 38,6 kHz (Russ 2021). Pēc R.Skibas (Skiba 2009) sastādītā noteicēja *M.daubentonii* sākuma frekvences variācija ir mazāka (55- 95 kHz), bet beigu frekvences augstākā robeža ir augstāka nekā to apraksta Russ (25-40 kHz). Pētījumā iegūtajiem saucienu parametriem beigu frekvences minimālā robeža ir zemāka (21,9 kHz) nekā iepriekš minētajos literatūras avotos.

M.mystacinus ehokācijas saucienų beigu frekvences variācija ir 28 – 40 kHz (Skiba 2009). J.Russ (2021) aprakstā par *M.mystacinus*, kā raksturīgās beigu frekvenču variācijas tiek minētas frekvences no 25,6 kHz līdz 43,3 kHz. Pētījumā ierakstīto īpatņu ehokācijas saucienų beigu frekvences ir robežā no 26,9 kHz līdz 29,4 kHz, kas salīdzinot ar diviem iepriekš minētajiem avotiem, parāda, ka sugas ehokācijas sauciena variācija nav liela. Iespējams, veicot papildus ierakstus, sugas maksimālās un minimālās beigu frekvences robeža palielinātos.

M.brandtii sugas sikspārņu ehokācijas saucienų beigu frekvences aprakstītas robežās no 26 kHz līdz 36 kHz (Skiba 2009), no 23 kHz līdz 41,8 kHz (Russ 2021). Veiktajā pētījumā iegūtās beigu frekvences vērtības ir no 24,8 kHz līdz 34,7 kHz. Iegūtajām vērtībām nav būtiskas atšķirības beigu frekvences variācijā no iepriekšminētajiem literatūras avotiem.

M.nattereri ir vienīgā suga, kurai pēc veiktajiem testiem bija novērojama būtiska atšķirība no pārējām *Myotis* ģints beigu frekvenču variācijām. Atšķirība bija redzama arī vizuāli izveidotajā grafikā (18.attēls). *M.nattereri* ehokācijas saucienų beigu frekvenču variācija ir robežās no 10 kHz līdz 40,0 kHz, bet sākuma frekvence variē no 72 kHz līdz 180 kHz (Russ 2021). Pēc R. Skibas (Skiba 2009) noteicēja beigu frekvenču variācija ir mazākā robežā – 20 – 35 kHz, bet sākuma frekvenču variācija 80 – 120 kHz. Pētījumā iegūtās beigu frekvences bija robežās no 16,6 kHz līdz 24,4 kHz. Pēc iegūtajiem rezultātiem un informācijai apskatītajos literatūras avotos var secināt, ka ja beigu frekvence ir zem 21 kHz, tad visticamāk ierakstā dzirdamais sikspārnis ir *M.nattereri* sugas īpatnis.

Kopumā lielākās problēmas ar saucienų ierakstiem radīja tas, ka daudzos bija dzirdams ne tikai palaistais īpatnis, bet arī citi blakus lidojoši sikspārņi. Šādi blakus esoši sikspārņi var ietekmēt palaistā sikspārņa ehokācijas. No šādām problēmām, kuras radušās ierakstīšanas procesā un ir saistītas ar blakus esošu sikspārņu klātbūtni būs vienmēr, jo vienmēr nav iespējams nodrošināt apstākļus, kuros nebūs blakus esoši sikspārņi, jo īpaši naktīs, kad ir izteikti liela migrācija.

Veicot ierakstus šādai analīzei būtu vērts piefiksēt arī laikapstākļus, un temperatūras, jo arī šādi ārējie faktori varētu ietekmēt sikspārņu ehokācijas variēšanu. Arī sikspārņu palaišana no rokas tiem radīja papildus stress, kas iespējams arī ietekmēja ehokācijas saucienų parametrus. Lai gan veicot ierakstus, tika sagaidīts, kad detektorā dzirdams vienmērīgs sauciens, pastāv iespēja, ka stresa ietekmē, pat ja sauciens šķiet vienmērīgs ir kādas ehokācijas izmaiņas.

Sikspārņiem ir raksturīgi tas, ka tēviņi ir mazāki par mātītēm un tas ietekmē arī eholoģijas saucienus, jo mazākiem un vieglākiem sikspārņiem eholoģijas saucienu frekvences ir augstākas nekā lielākiem un smagākiem sikspārņiem. Pētījuma ietvaros šo faktoru mēs nepārbaudījām, tam vajadzētu veikt sikspārņu svēršanu, kā arī augšdelna mērījumu, kas parādītu sikspārņa izmērus.

SECINĀJUMI

- Pēc sikspārņu ehokācijas saucienu parametru mērījumiem noteikšana iespējama daļai Latvijas sugu.
- Niktaloīdu grupā *Eptesicus nilssonii* var atšķirt no tam līdzīgā *Vespertilio murinus*, ja saucienu beigu frekvence ir virs 24 kHz.
- *Nyctalus noctula* no *Vespertilio murinus* var atšķirt, ja beigu frekvence ir zem 20 kHz.
- Pipistrelloīdu grupā abu sugu (*Pipistrellus pygmaeus* un *Pipistrellus nathusii*) atšķiršana pēc izvēlētajiem parametriem ir droša.
- Gan *Pipistrellus pygmaeus*, gan *Pipistrellus nathusii* pētījumā iegūtās ehokācijas saucienu vērtības pārklājas ar *Pipistrellus pipistrellus* ehokācijas saucienu vērtībām,
- *Myotis* ģints sikspārņiem vairumā gadījumu sugas nav atšķiramas pēc ehokācijas saucienu parametriem, izņēmums ir *Myotis nattereri*, tā beigu frekvence ir zem 21 kHz, pārējām *Myotis* ģints sugām tā ir augstāka (21,9 kHz – 43,3 kHz).
- Sikspārņu sugas noteikšanai vēlams izmantot arī citas pazīmes, piemēram, intervālu starp saucieniem.
- Iegūtie dati jāpapildina ar sikspārņu ehokācijas ierakstiem, kuru sugas iepriekš ir jau zināmas.

PATEICĪBAS

Vislielāko paldies vēlos teikt savam darba vadītājam Gunāram Pētersonam par darba tēmas ierosināšanu, palīdzību un ieguldīto laiku darba izstrādē. Paldies saku arī Oskaram Keišam kā Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta ornitoloģisko pētījumu centra vadītājam Donātam Spalim par visu nepieciešamo apstākļu nodrošināšanu sīkspārņu ķeršanai. Paldies arī visiem, kas piedalījās sīkspārņu ķeršanā un visai Papes 2019. un 2020. gada komandai.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Barataud M. 2015. Acoustic Ecology of European Bats. Species Identification, Study of their Habitats and Foraging Behaviour. Paris, French National Museum Natural History, 352 pp.

Barclay R. M. R. , Brigham M. R., 2004. Geographic variation in the echolocation calls of bats: a compilation for identifying species by their calls. In: Brigham RM, Kalko EKV, Jones G et al (eds) Bat echolocation research: tools, techniques and analysis. Bat Conservation International, Austin, 144–149 pp.

Bartonička, T., & Řehák, Z. 2005. Variability in echolocation calls of *Pipistrellus pygmaeus* (Chiroptera: Vespertilionidae) during search flight in different habitats. *Acta Theriologica*, 50(2), 145–160.

Bogdanowicz W. 1994. — *Myotis daubentonii*. – *Mammal Species*, 475: 1-9.

Buckley, D. J., Lundy, M. G., Boston, E. S. M., Scott, D. D., Gager, Y., Prodöhl, P., Marnell, F., Montgomery, W. I., & Teeling, E. C. 2013. The spatial ecology of the whiskered bat (*Myotis mystacinus*) at the western extreme of its range provides evidence of regional adaptation. *Mammalian Biology*, 78(3), 198–204.

Chen, S. F., Jones, G., & Rossiter, S. J. 2009. Determinants of echolocation call frequency variation in the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1674), 3901–3909.

Chiu, C., Xian, W., & Moss, C. F. 2008. Flying in silence : Echolocating bats cease vocalizing to avoid sonar jamming. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 105(35), 2–7.

Cornes R. G., (2008). *Key to the echolocation calls of British bats*. [https://www.wildlifebcn.org/sites/default/files/2018-06/Key to echolocation calls v2.pdf](https://www.wildlifebcn.org/sites/default/files/2018-06/Key%20to%20echolocation%20calls%20v2.pdf)

Faure, P. A., & Barclay, R. M. R. 1994. Substrate-gleaning versus aerial-hawking: plasticity in the foraging and echolocation behaviour of the long-eared bat, *Myotis evotis*. *Journal of Comparative Physiology A*, 174(5), 651–660.

Fenton, M. B., Faure, P. A., & Ratcliffe, J. M. 2012. Evolution of high duty cycle echolocation in bats. *Journal of Experimental Biology*, 215(17), 2935–2944.

Fukui, A. D., Agetsuma, N., Hill, D. A., Fukui, D., Agetsuma, N., & Hill, D. A. 2004. Acoustic Identification of Eight Species of Bat (Mammalia : Chiroptera) Inhabiting Forests of Southern Hokkaido , Japan : Potential for Conservation Monitoring Acoustic Identification of Eight Species of Bat (Mammalia : Chiroptera) Inhabiting Forests, Zoological Society of Japan, 947–955.

Goudy-Trainor, A., & Freeman, P. W. 2002. Call parameters and facial features in bats: A surprising failure of form following function. *Acta Chiropterologica*, 4(1), 1–16.

Holderied, M. W., Jones, G., & Von Helversen, O. 2006. Flight and echolocation behaviour of whiskered bats commuting along a hedgerow: Range-dependent sonar signal design, Doppler tolerance and evidence for “acoustic focussing.” *Journal of Experimental Biology*, 209(10), 1816–1826.

Jennings N., 2018. Bats. London, Bloomsbury Publishing ,128 pp.

Jiang, T., Liu, R., Metzner, W., You, Y., Li, S., Liu, S., & Feng, J. (2010). Geographical and individual variation in echolocation calls of the intermediate leaf-nosed bat, *Hipposideros larvatus*. *Ethology*, 116(8), 691–703.

Jones, G. & Barlow, K. E. 2004. Cryptic species of echolocating bats. In: *Echolocation in Bats and Dolphins* (Thomas, J., Moss, C. & Vater, M., eds). Chicago University Press, Chicago, pp. 345—349.

Kalko, E. K. V., 1995. Insect pursuit, prey capture and echolocation in pipistrelle bats (Microchiroptera). *Animal Behaviour*, 50(4), 861–880.

Kalko, E. K. V., & Schnitzler, H. U. 1993. Plasticity in echolocation signals of European pipistrelle bats in search flight: implications for habitat use and prey detection. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 33(6), 415–428.

Kaunitz, J. D. (2016). The Doppler Effect: A Century from Red Shift to Red Spot. *Digestive Diseases and Sciences*, 61(2), 340–341.

Keišs, O., Spalis, D., & Pētersons, G. (2021). Funnel trap as a method for capture migrating bats in Pape, Latvia. *Environmental and Experimental Biology*, 19(1), 7–10.

Law, B. S., L. Reinhold, and M. Pennay. 2002. Geographic variation in the echolocation calls of *Vespadelus* spp. (*Vespertilionidae*) from New South Wales and Queensland, Australia. *Acta Chiropterologica*, 4: 201–215.

Luo, B., Leiser-Miller, L., Santana, S. E., Zhang, L., Liu, T., Xiao, Y., Liu, Y., & Feng, J. (2019). Echolocation call divergence in bats: a comparative analysis. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 73(11).

Montauban, C., Mas, M., Tuneu-Corral, C., Wangensteen, O. S., Budinski, I., Martí-Carreras, J., Flaquer, C., Puig-Montserrat, X., & López-Baucells, A. (2021). Bat echolocation plasticity in allopatry: a call for caution in acoustic identification of *Pipistrellus* sp. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 75(4).

Murray, K. L., E. R. Britzke, and L. W. Robbins. 2001. Variation in search-phase calls of bats. *Journal of Mammalogy* 82:728-737.

Neuweiler, G. 1989. Foraging Ecology and Audition in Echoing Bats. *TREE*, 4(6), 160– 166.

Obrist, M. K. (1995). Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics on sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 36(3), 207–219.

Parsons, S., & Jones, G. (2000). Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of Experimental Biology*, 203(17), 2641–2656.

Pētersons, G. and V. Vintulis 1998. Distribution and status of bats in Latvia. *Proc. Latv. Acad. Sci. Section B*, 52/1-2: 37–43.

Pētersons, G., 1997. Latvijas Sikspārņi. Rīga, “Gandrs”, 50 lpp.

Preatoni, D. G., Nodari, M., Chirichella, R., Tosi, G., Wauters, L. A., & Martinoli, A. (2005). Identifying Bats From Time-Expanded Recordings of Search Calls: Comparing Classification Methods. *Journal of Wildlife Management*, 69(4), 1601–1614.

Ratcliffe, J. M., & Jakobsen, L. (2018). Don't believe the mike: Behavioural, directional, and environmental impacts on recorded bat echolocation call measures. *Canadian Journal of Zoology*, 96(4), 283–288.

Runkel, V., G. Gerding & U. Marckmann (2018): Handbuch: Praxis der akustischen Fledermauserfassung. Tredition, Hamburg, 244 .

Russ J., 2021. Bat Calls of Britain and Europe: A Guide to Species Identification, Exter, Pelagic Publishing, 472 pp.

Russo, D., & Voigt, C. C. 2016. The use of automated identification of bat echolocation calls in acoustic monitoring : A cautionary note for a sound analysis. *Ecological Indicators*, 66, 598–602.

Russo, D., Ancillotto, L., & Jones, G. (2018). Bats are still not birds in the digital era: Echolocation call variation and why it matters for bat species identification. *Canadian Journal of Zoology*, 96(2), 63–78.

Schnitzler, H., & Kalko, E. K. V. 2001. Echolocation by Insect-Eating Bats. *BioScienc*, 51(7), 557–569.

Siemers, B. M., Kalko, E. K. & Schnitzler, H. U. Echolocation behavior and signal plasticity in the Neotropical bat *Myotis nigricans* (Schinz, 1821) (Vespertilionidae): a convergent case with European species of *Pipistrellus*?. *Behav Ecol Sociobiol* **50**, 317–328 (2001).

Simmons J.A. (1973) The resolution of target range by echolocating bats. *J Acoust Soc Am* 54(1):157–173.

Surlykke, A., & Moss, C. F. (2000). Echolocation behavior of big brown bats, *Eptesicus fuscus* in the field and the laboratory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(5), 2419–2429.

Susan M. Davidson, Gerald S. Wilkinson, Geographic and Individual Variation in Vocalizations by Male *Saccopteryx Bilineata* (Chiroptera: Emballonuridae), *Journal of Mammalogy*, Volume 83, Issue 2, May 2002, Pages 526–535.

Xie, L., Sun, K., Jiang, T., Liu, S., Lu, G., Jin, L., & Feng, J. (2017). The effects of cultural drift on geographic variation in echolocation calls of the Chinese rufous horseshoe bat (*Rhinolophus sinicus*). *Ethology*, *123*(8), 532–541.

PIELIKUMS

1.pielikums

Visu iegūto sikspārņu ehokācijas saucienu noteikto parametru (sauciena garums, sākuma frekvence, beigu frekvence, sauciena diapazons, maksimālā enerģijas frekvence) minimālās maksimālās un vidējās vērtības ar standartnovirzi.

Minimum, maximum and average values with standard deviation for all parameters of the obtained bat echolocation calls (signal duration, start frequency, end frequency, bandwidth, maximum energy frequency).

Sugas nosaukums <i>Species name</i>	Ierakstu skaits <i>Number of records</i>	Sauciena garums (ms) <i>Signal duration (ms)</i>			Sākuma frekvence (kHz) <i>Start frequency (kHz)</i>			Beigu frekvence (kHz) <i>End frequency (kHz)</i>			Sauciena diapazons (kHz) <i>Bandwidth (kHz)</i>			Maksimālās enerģijas frekvence <i>Frequency at max. energy (kHz)</i>		
		MIN	MAX	VID(SD)	MIN	MAX	VID(SD)	MIN	MAX	VID(SD)	MIN	MAX	VID(SD)	MIN	MAX	VID(SD)
<i>Pipistrellus pygmaeus</i> Pigmejsikspārnis	144	1,8	8,2	5,1 (1,13)	47,5	94,9	67,5 (8,66)	54,5	58,9	52,3 (3,04)	4,9	43,3	15,2 (7,74)	49,2	67,8	54,9 (3,43)
<i>Vespertilio murinus</i> Divkrāsainais sikspārnis	117	2,7	15,8	9,5 (2,62)	29	58,5	38,0 (5,59)	20,2	27,1	22,8 (1,08)	5,5	35,8	15,2 (5,61)	11,2	28,4	25,9 (1,70)
<i>Pipistrellus nathusii</i> Natūza sikspārnis	113	2,6	9,4	5,7 (1,41)	40,7	74,5	51,7 (5,94)	33,5	42,5	38,4 (1,49)	4	37,5	13,3 (6,14)	35,9	46,1	40,9 (1,75)
<i>Nyctalus noctula</i> Rūsganais vakarsikspārnis	70	4,5	15,6	8,9 (2,72)	26,6	62	40,5 (8,10)	19,6	25,9	22,6 (1,41)	5,9	38,2	17,9 (7,48)	21,7	35	26,0 (2,65)
<i>Eptesicus nilssonii</i> Ziemeļu sikspārnis	44	2,8	13,5	8,7 (2,56)	37	67	50,3 (6,03)	20,9	38,5	26,5 (2,90)	10,6	33,1	22,5 (6,39)	27,1	41,2	31,4 (3,62)
<i>Myotis brandtii</i> Branta natssikspārnis	10	3	6,3	4,6 (1,01)	50,7	93,3	67,6 (12,88)	24,8	34,7	28,5 (2,02)	21,8	64,4	39,1 (13,16)	38,6	60,2	45,9 (4,31)

<i>Myotis daubentonii</i> Ūdeņu naktssikspārnis	10	2,2	5,1	3,6 (0,69)	51	91,1	65,9 (11,18)	21,9	39,1	27,5 (4,02)	21	64,2	38,3 (12,59)	16,1	67,3	47,7 (8,88)
<i>Eptesicus serotinus</i> Platspārnu sikspārnis	8	4,2	10, 3	6,5 (1,57)	37,6	64,1	47,9 (7,43)	22,6	28,9	25,3 (1,51)	12,7	38,6	22,6 (7,67)	25,3	46,1	32,1 (7,45)
<i>Myotis nattereri</i> Naterera naktssikspārnis (6)	6	3,2	6,6	4,4 (1,10)	52,6	85,9	65,7 (9,82)	16,6	24,4	21,2 (2,89)	28,6	64,3	44,5 (9,80)	33,2	54	42,6 (6,59)
<i>Plecotus auritus</i> Brūnais garausainais	5	2,8	3,9	3,3 (0,52)	44,2	51,0	45,9 (2,01)	21,1	26,0	23,7 (1,73)	18,5	25,0	22,2 (2,03)	27,5	32,4	30,2 (1,58)
<i>Myotis mystacinus</i> Bārdainais naktssikspārnis (4)	4	2,3	7,7	4,0 (1,07)	48,6	87,6	69,5 (10,92)	26,9	29,4	28,9 (2,60)	9,2	59,3	40,5 (12,13)	37,3	62	49,9 (7,36)
<i>Barbastella barbastellus</i> Platausianais sikspārnis	2	7,0	9,4	8,2(0,65)	42,0	45,8	43,8 (1,24)	36,5	37,9	37,3 (0,45)	4,4	8,2	6,5 (1,18)	39,4	40,8	6,5 (0,36)

Bakalaura darbs „Latvijas sikspārņu ehokācijas saucienų variēšana atklātā ainavā” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Egita Leikarte *paraksts* 30.05.2022.

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. biol. Gunārs Pētersons *paraksts* 30.05.2022.

Recenzents: *paraksts*, Dr. biol. Viesturs Vintulis

Darbs iesniegts LU Bioloģijas fakultātē 30.05.2022.

Lietvede: *paraksts*

Darbs aizstāvēts Bioloģijas bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

prot. Nr. , vērtējums

Komisijas sekretārs/e: