

SPREMLJANJE DNEVNE AKTIVNOSTI ČMRLJEV Z UPORABO MIKROFONA

Anton GRADIŠEK¹, Nicolas CHERON², David HEISE³, Candace GALEN⁴, Janez GRAD⁵

Izveček

V prispevku predstavimo prve rezultate študije, pri kateri smo s pomočjo mikrofонов, postavljenih pred čmrljak, spremljali dnevno aktivnost, natančneje pašno dejavnost čmrljev. Zvočne posnetke smo obdelali s posebej prilagojenim računalniškim algoritmom, ki prepozna posamezne dogodke (ko čmrlj odleti iz panja ali se vanj vrne). Prav tako algoritem lahko ločuje med prihodi in odhodi. Prikažemo podatke za tri vrste čmrljev (*B. pascuorum*, *B. humilis* in *B. hypnorum*), vsako družino smo spremljali en dan. Prispevek predstavlja prvo fazo sistematične študije aktivnosti čmrljev v odvisnosti od različnih parametrov.

Ključne besede: čmrlji, pašna dejavnost, analiza zvoka

MONITORING DAILY FORAGING ACTIVITY OF BUMBLEBEES USING A MICROPHONE

Abstract

We present initial results of the study where we used microphones, placed in front of nest boxes, to monitor the daily foraging activity of bumblebees. Sound recordings were analyzed using a custom-made computer algorithm which detects flight buzzing sounds coming from arrivals or departures of individual bees. In addition, the algorithm distinguishes between arrivals and departures. We show examples of daily activities for three species (*B. pascuorum*, *B. humilis* and *B. hypnorum*), each was monitored for one day. This paper presents initial results of a longer study where we plan to systematically investigate the activities of bumblebees in various circumstances.

Key words: bumblebees, foraging activity, sound analysis

¹ Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana, Slovenija,

² Polytech Paris Sorbonne, Francija,

³ Lincoln University, ZDA,

⁴ University of Missouri, ZDA,

⁵ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za upravo, Ljubljana, Slovenija



UVOD

Čmrlji (rod *Bombus* iz družine čebel Apidae) so pomembna skupina divjih oprasovalcev. Zaradi drugačne morfološke in življenjskega sloga so pri oprasovanju rastlin pogosto učinkovitejši od medonosnih čebel – na pašo izletavajo tudi ob deževnem in hladnem vremenu, poleg tega pa s posebno tehniko tresenja lahko spravijo cvetni prah tudi iz cvetov, kjer so čebele neuspešne. Tak primer denimo je paradižnik, zato so čmrlji postali pomemben člen pri gojenju nekaterih vrst zelenjave v rastlinjakih.

Spremljanje aktivnosti oprasovalcev je tako zanimivo za širok krog znanstvenikov, tako za agronome, ekologe, kot za strokovnjake, ki se ukvarjajo z ohranjanjem okolja. Čmrlje se lahko preučuje na različne načine. Na terenu sta tipična pristopa opazovanje in lovljenje. Slednje je problematično, saj vključuje odvzem posameznih osebkov iz narave. V literaturi zasledimo tudi študije čmrljev v povsem laboratorijskem okolju, kar se tipično izvaja s komercialno pridobljenimi čmrljimi družinami. V tem primeru je pričakovati nekoliko drugačno obnašanje čmrljev kot povsem v naravnem okolju. Boljši pristop h kontroliranemu opazovanju je namestitev čmrljev v gneznilnice, ki so nameščene na kontroliranih lokacijah. Namesto v travniški ruši, gozdnem podrastju, opuščeni gnezdi glodavcev ali v drevesnih duplinah se čmrlji lahko naselijo tudi v posebej prilagojene kartonske škatle ali lesene gneznilnice (panje), kar omogoča opazovanje v skoraj naravnem okolju. V pričujočem prispevku predstavimo prve rezultate študije, pri kateri obnašanje čmrljev, natančneje pašno dejavnost, spremljamo z mikrofonom. Uporaba mikrofona ima vrsto prednosti pred opazovalcem, ki beleži izhode čmrljev ročno (kot denimo v Grad s sod., 2016). Mikrofon lahko snema neprekinjeno, poleg tega pa lahko z uporabo serije mikrofona spremljamo vrsto lokacij hkrati. Posnetke kasneje obdelamo z uporabo računalniškega algoritma. Pristop spremljanja čmrljev z uporabo zvoka sicer ni nov. V eni od prejšnjih študij smo zvoke brenčanja med letom uporabili kot način identifikacije posamezne vrste ter tipa čmrlja (delavka ali matica), s pomočjo algoritmov strojnega učenja (Gradišek s sod., 2017). Heise s sod. (2017) so razvili algoritem, ki je namenjen zaznavanju letečih čmrljev v posnetkih mikrofona, postavljenih v naravi. V pri-

čujoči študiji smo spremljali več družin čmrljev različnih vrst z mikrofoni, postavljenimi pred vhodom v panj. Ko čmrlj odleti iz panja ali pa se vanj vrne, mikrofon posname zvok brenčanja, kar nam da direktno informacijo o izletavanju čmrljev na pašo. V nadaljevanju predstavimo način zbiranja in obdelave posnetkov ter prve rezultate študije pašne dejavnosti v izbranih dneh.

MATERIAL IN METODE

Snemanje dnevne aktivnosti

Za snemanje zvokov smo uporabili USB mikrofone dB9PRO VR1.0. Posamezen mikrofon ima okrog 8 GB pomnilnika, kar zadostuje za več kot 90 ur posnetkov. Ob posameznem polnjenju mikrofon po specifikacijah lahko zajema podatke do 18 ur (v praksi se je pokazalo, da je ta čas bližje desetim uram). Frekvenca zajemanja signala je 48 kHz, s 192 Kbps. V analizi predstavimo tri čmrlje družine, ki smo jih snemali čez dan (Tabela 1). V vsakem primeru je bil napolnjen mikrofon postavljen nekaj centimetrov od vhoda v panj. Vsak večer so bili mikrofoni ponovno napolnjeni.

Analiza signalov

Za osnovno analizo signalov je bil uporabljen program Audacity, ki omogoča hitro pregledovanje in urejanje posnetkov ter izdelavo spektrogramov.

Podrobnejša analiza je potekala v programskem okolju Matlab, s pomočjo lastne programske kode in obstoječih programskih paketov. Ker je naš problem bolj specifičen kot splošni problem, ki so se ga lotili Heise s sod. (2017), mikrofon je v našem primeru namreč vedno postavljen pred panj in najmočnejši signali praktično vedno ustrezajo čmrljem, smo uporabili nekoliko poenostavljen algoritem. Kljub temu se moramo zavedati, da mikrofon poleg brenčanja zajame tudi šume iz okolice, denimo promet, ki so lahko veliko bolj glasni od čmrljev. Algoritem tako prepozna možne dogodke (ko čmrlj leti mimo mikrofona), potem pa za vsakega določi, če gre zares za čmrlja. Meje za detekcijo smo za vsak posnetek predhodno določili ročno, na podlagi nekaj ročno označenih posnetkov. Osnovna

Tabela 1: Podatki o treh družinah čmrljev, ki smo jih spremljali dva izbrana dneva.

Družina	Datum	Velikost družine	Vreme
B. pascuorum	28. maj 2018	10 delavk	14-28 °C, jutranja megla, čez dan sončno, zvečer krajevne nevihte
B. humilis	29. maj 2018	20 delavk	16-26 °C, dopoldne rahlo oblačno, popoldne oblačno, po 16. uri rahel dež, po 18. uri močan dež
B. hypnorum		30 delavk	

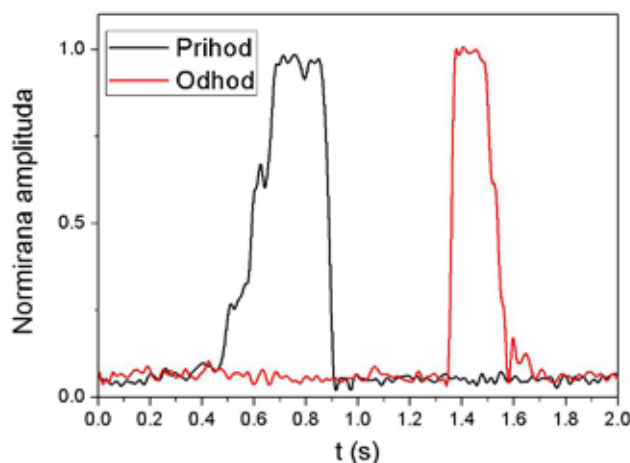
frekvenca, ki jo navajamo v protokolu, velja za *B. pascuorum* (za vrste, ki imajo drugačne osnovne frekvence, glej tudi Gradišek s sod. (2017), se vrednosti nekoliko prilagodijo). Postopek za zaznavanje posameznih dogodkov je sledeč:

1. Celoten posnetek razrežemo na segmente, ki so dolgi 5 sekund. Segment te dolžine je načeloma dovolj dolg, da pokrije celoten dogodek, hkrati pa dovolj kratek, da vsebuje samo enega.
2. Za vsak segment izračunamo Fourierovo transformacijo signala, ki nam signal iz časovne domene pretvori v frekvenčno (spekter).
3. Za vsak segment izračunamo sedem značilnk, na podlagi katerih se odločimo, če segment vsebuje brenčanje ali ne. Vsaka značilnka ima dva možna izhoda (da ali ne).
 - a. Izračunamo povprečno amplitudo v segmentu. Če je amplituda večja od določene meje (=da), gre lahko za možen dogodek.
 - b. Osnovna frekvenca brenčanja je okrog 180 Hz. Poiščemo število vrhov v območju med 160 in 200 Hz (prisotnost vrha pri ustrezni frekvenci, število mora biti manjše od določene vrednosti, v nasprotnem primeru gre za šum).
 - c. Poračunamo razmerje povprečnih amplitud na intervalih okrog vrha (160-200 Hz) ter izven območja vrha (60-120 Hz), razmerje mora biti večje od določene vrednosti. S tem preverimo, da gre dejansko za vrh na pravem mestu in ne za šum v signalu.
 - d. Ponovimo zgornje še za interval nad pričakovanim vrhom, v območju 220-280 Hz.
 - e. Podobno kot v koraku b, pogledamo, če imamo prisoten vrh pri dvakratniku osnovne frekvence f (višja harmonska frekvenca), gledamo na intervalu ($2*f-20$ Hz, $2*f+20$ Hz).
 - f,g. Ponovimo koraka c in d, le da pri frekvenci višjega harmonika (in ustrezno višjih vrednostih intervalov).

Če pet ali več značilnk ustreza kriterijem, se odločimo, da segment vsebuje zvok brenčanja med letom. Tudi meja pet ali več značilnk je bila določena na podlagi serije ročno označenih posnetkov, tako da je bila natančnost detekcije najvišja.

Ko zaznamo let čmrlja mimo mikrofona, lahko ugotovimo tudi, če je čmrlj odletel iz panja ali se je vanj vrnil. Slika 1 (v časovni domeni) prikazuje oba dogodka. Vidimo lahko, da sta navidezno simetrična, kar odslikava dinamiko procesa. Ko čmrlj odleti iz panja, je najprej blizu mikrofona, nato pa se oddalji od njega. Amplituda signala je tako najprej visoka, potem pa pade. Pri vračanju v panj je čmrlj

najprej oddaljen od mikrofona, potem pa se mu približa. Med samim sprehajanjem okrog vhoda čmrlj ne brenči. Za ločevanje prihodov in odhodov moramo tako z algoritmom ugotoviti le, na kateri strani od maksimuma signal pade hitro in na kateri strani počasi.

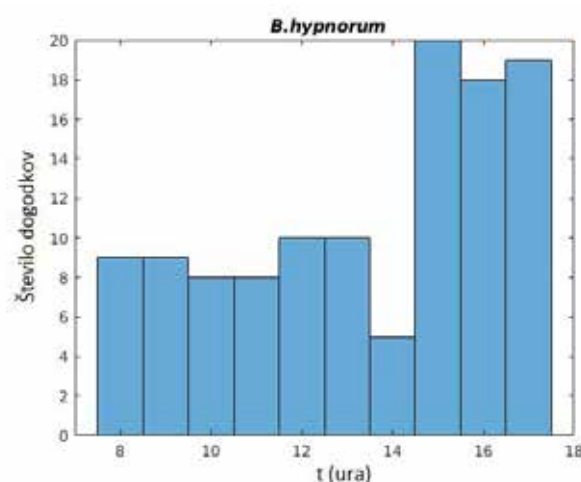
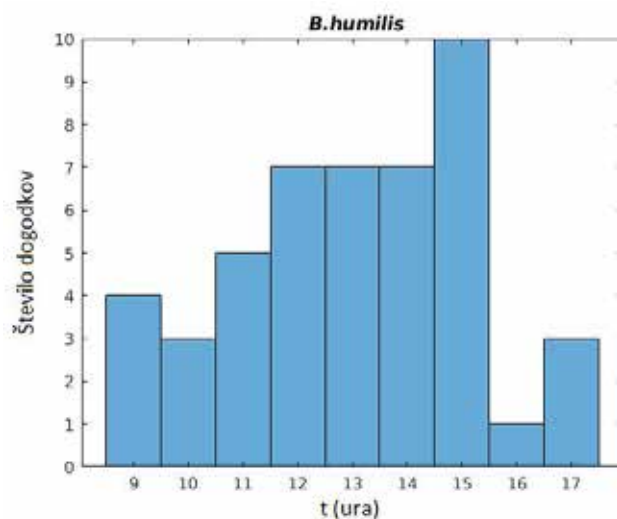
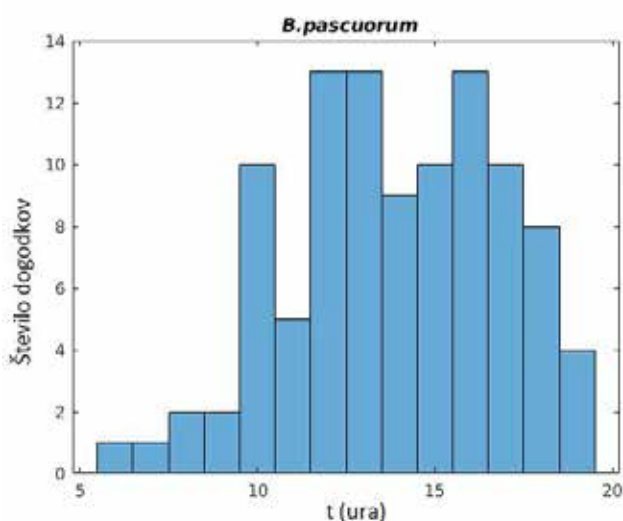


Slika 1: Ovojnica zvočnega signala pri prihodu čmrlja v panj (levo, črna) in pri odhodu (desno, rdeča).

REZULTATI IN DISKUSIJA

Na Sliki 2 so prikazani histogrami odhodov čmrljev na pašo tekom izbranega dneva, po urah.

Na posnetkih *B. pascuorum* smo dogodke prešteli še ročno (podrobno smo pregledali vsak segment, ki je imel dovolj veliko amplitudo in s poslušanjem določili, ali je šlo za dogodek ali za šum), da smo dobili oceno o natančnosti algoritma. Od 180 dejanskih dogodkov (prihodov in odhodov skupaj, P) smo jih z algoritmom zaznali 171 (true positive, TP), pri 9 zaznanih dogodkih v resnici ni šlo za brenčanje (false positive, FP), 9 dogodkov pa algoritem ni zaznal (false negative, FN). Tako lahko določimo občutljivost (sensitivity), $TP/P = TP/(TP+FN) = 0,95$. Preciznost je v našem primeru $TP/(TP+FP) = 0,95$. Seveda gre tu za oceno na enem dnevu posnetkov, občutljivost in preciznost sta pri različnih vrstah in pogojih (zunanji šumi itd.) lahko drugačna.



Slika 2: Histogrami dnevne aktivnosti ob izbranem dnevu za družine čmrljev *B. pascuorum*, *B. humilis* in *B. hypnorum* (prikazani so odhodi, histogrami za prihode so zelo podobni).

Dobljeni histogrami kažejo, da nam analiza posnetkov lahko da primerljivo dober vpogled v dnevno dinamiko čmrlje družine kot ročno štetje (Grad s sod., 2016). Posamezne vrste imajo glede na histograme različne dnevne navade. Delavke *B. pascuorum* so bile na izbrani dan bolj aktivne v osrednjem delu dneva, prav tako *B. humilis*, delavke *B. hypnorum* pa so raje izletavale v popoldanskem času. Izpostaviti velja, da je 29. maja 2018 po šesti popoldne začelo močno deževati, zato so bili mikrofoni prej pospravljeni. Rahel dež okrog četrte ure popoldne je povzročil, da je pri *B. humilis* izletela le ena delavka, pri *B. hypnorum* pa dež, kot kaže, ni znatno vplival na obnašanje. Zanimivo je tudi primerjati maksimalno število dnevnih izhodov v primerjavi z velikostjo družine. Pri *B. pascuorum* z okrog 10 delavkami imamo ob vrhuncu do 13 izhodov na uro, kar pomeni, da so nekatere delavke izletele več kot enkrat. Pri drugih dveh vrstah je maksimalno število izletov manjše kot je bilo v družini delavk. Morda je vzrok za manj izhodov slabše vreme kot dan pred tem.

V nadaljnjih raziskavah bo zanimivo primerjati tudi posamezne dogodke znotraj iste družine čmrljev. Ob različnih vremenskih pogojih in tudi znotraj posameznega dneva

zunanja temperatura lahko znatno niha. Ko se čmrlj vrne v gnezdo, ima letalne mišice predvidoma ogrete na optimalno temperaturo za letenje, ob izhodu pa verjetno potrebuje nekaj časa, da se ogreje. Ta pojav bo zanimivo preučiti tudi s stališča zvoka.

ZAKLJUČEK

V prispevku smo pokazali, da lahko z analizo zvočnih posnetkov s posebnim algoritmom spremljamo dnevno dinamiko pašne dejavnosti čmrljev brez ročnega štetja prihodov in odhodov. Predstavili smo dinamiko za tri različne vrste, vsako družino smo spremljali en dan. V nadaljevanju bo zanimivo opazovati dnevno dinamiko za posame-

zne vrste v odvisnosti od različnih parametrov, kot so vremenski pogoji, obdobja cvetenja posameznih medonosnih rastlin, ter seveda razvojne faze, v kateri se družina nahaja v danem trenutku. Študija odpira tudi vrsto zanimivih raziskovalnih vprašanj povezanih s strukturo zvoka brenčanja ob vzletanju in pristajanju.

ZAHVALA

Raziskava poteka tudi v okviru projekta National Geographic, Grant #NGS-282T-18.

LITERATURA

- Grad, J., Gradišek, A., Gams, M., Čmrlji: pašna dejavnost in zvok brenčanja, Poklukarjevi dnevi 2016, zbornik prispevkov.
- Gradišek, A., Slapničar, G., Šorn, J., Luštrek, M., Gams, M. and Grad, J. 2016: Predicting species identity of bumblebees through analysis of flight buzzing sounds. *Bioacoustics*, 26 (1), 63-76
- Heise, D., Miller-Struttmann, N., Galen, C., Schul, J. 2017: Acoustic Detection of Bees in the Field Using CASA with Focal Templates, 2017 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), Glassboro, NJ, pp. 1-5.

