

ČMRLJI: PAŠNA DEJAVNOST IN ZVOK BRENČANJA

Janez GRAD¹, Anton GRADIŠEK², Matjaž GAMS³

Izvleček

V prispevku sta obravnavani in analizirani dve izmed mnogih značilnosti čmrljev, ki opredeljujejo razlike med vrstami, to sta (1) pogostost in način letanja na pašo preko dneva (pašna dejavnost) ter (2) zvok njihovega brenčanja.

V prvem delu prispevka opišemo frekvenco dnevnega izletavanja čmrljev *B. haematurus* ter frekvenco dnevnega izletavanja in jutranjega skupinskega izletavanja čmrljev *B. lapidarius*. Dnevno izletavanje je bilo merjeno od ranega jutra do poznega večera, z enournimi presledki med posameznimi enournimi merjenji. V ta namen sta bila izbrana topla, pretežno sončna dneva, vsakič je bila obravnavana po ena družina. Meritve potrjujejo opažanja, da se izletavanja čmrljev različnih vrst med seboj razlikujejo – delavke *B. haematurus* raje izletavajo v jutranjih in večernih urah, *B. lapidarius* pa sredi dneva. Pri opazovanju vzorcev izletavanja smo opazili, da v sončnih dneh delavke *B. lapidarius* izletavajo v skupinah v nekajminutnih časovnih intervalih, ob deževnem vremenu pa se po dve delavki v paru odpravita na izvidnico.

V drugem delu govorimo o analizi zvoka brenčanja različnih vrst čmrljev z algoritmi, ki temeljijo na metodah strojnega učenja. Predstavimo mobilno in spletno aplikacijo za določitev vrste in tipa čmrlja na temelju njegovega zvoka brenčanja. V podatkovni bazi programa so trenutno shranjeni zvočni posnetki brenčanja 13 pri nas živečih vrst čmrljev, bazo pa je možno enostavno dopolnjevati s posnetki še drugih vrst.

Ključne besede: čmrlji, *Bombus haematurus*, *B. lapidarius*, pašna dejavnost, zvok brenčanja, frekvenca zvoka brenčanja, strojno učenje, klasifikacija zvoka.

BUMBLEBEES: DAILY FORAGING BEHAVIOR AND BUZZING SOUNDS

Abstract

We present two characteristic features of bumblebees, namely daily foraging frequency distribution (1) and the analysis of flight buzzing sounds as a mean to classify bumblebee species and types (2).

In the first part of the paper, we focus on daily foraging frequency distribution of *B. haematurus* and *B. lapidarius*, and the early morning foraging behaviour of *B. lapidarius*. The daily foraging was observed during sunny days whereas the early morning foraging was observed both in sunny and rainy weather. We found that the number of flights of *B. haematurus* was the highest in morning hours, decreasing towards afternoon and again increasing towards evening hours, quite opposite to the case of *B. lapidarius*. In dry weather, in the nests with larger number of workers foraging in morning hours frequently occurs in groups of two to six workers within a few minutes, with standstill of several minutes in between. When raining, the workers carry out reconnaissance flights in pairs of two workers simultaneously.

In the second part, we discuss the analysis of bumblebee buzzing sounds using machine-learning algorithms. We present a mobile and internet application that classifies bumblebees based on the flight buzzing sound. Currently, the database contains recordings for 13 bumblebee species, and it is easy to expand to include even more.

Key words: Bumblebees, *Bombus haematurus*, *B. lapidarius*, foraging behaviour, foraging frequency distribution, buzzing sounds, buzzing sound frequency, machine learning, sound classification.

¹ Prof. dr., Fakulteta za upravo Univerze v Ljubljani, Gosarjeva 5, Ljubljana,

² Dr., Odsek za inteligentne sisteme, Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, Ljubljana

³ Prof. dr., Odsek za inteligentne sisteme, Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, Ljubljana

UVOD

Čmrlji so žuželke iz družine čebel (Apidae), okviru katere tvorijo samostojen rod *Bombus*, in so pomembni opraševalci žužkocvetnih rastlin. Zaradi sodobnih metod v sadjarstvu (raba insekticidov) in kmetijstvu (pogosta strojna košnja travnikov, uporaba umetnih gnojil in pesticidov, intenzivna paša, monokulturni plantažni posevki, itd.) ter krčenja z drevjem in grmičevjem poraslih predelov med obdelovalnimi površinami, so zelo ogroženi.

Na Zemlji živi več sto vrst čmrljev, v Sloveniji pa jih je bilo do sedaj najdenih 35. Vrste se med seboj razlikujejo v več značilnostih, kot so morfološke lastnosti, vrste cvetja, ki ga obiskujejo, čas in dolžina življenjskega obdobja, število delavk v družini, habitat in ne nazadnje tudi pogostost in način letanja na pašo preko dneva ter zvok njihovega brenčanja. In ravno obravnavi teh zadnjih dveh zanimivih in pomembnih značilnosti je posvečen naš prispevek.

Izletavanje na pašo preko dneva

Izletavanje čmrljih delavk na pašo lahko obravnavamo z različnih vidikov, na primer dnevno izletavanje v času od jutra do večera, izletavanje v sončnem ali deževnem vremenu, kumulativno izletavanje preko celotnega letalnega obdobja od pomladi do jeseni in podobno. Izletavanje je pogojeno predvsem z vremenskimi pogoji in z medenjem rastlin, ki jih posamezna vrsta čmrljev najraje obiskuje (Heinrich, 1979). V skladu s tem se intenziteta izletavanja v določenem času pri različnih vrstah lahko močno razlikuje: lahko na primer narašča od jutra proti poldnevu in nato upada proti večeru, ali pa poteka ravno obratno. Dve takšni »nasprotni« vrsti, *B. haematurus* (Grad et al., 2016) in *B. lapidarius* (Grad et al., 2010) sta obravnavani v nadaljevanju prispevka. Primer je zanimiv, ker so bili čmrlji *B. haematurus* opaženi pri nas šele v zadnjem desetletju (Grad, 2008). V preteklosti je že več raziskovalcev raziskovalo to problematiko (Bevk, 2007; Božič, 2008; Goulson, 2003; Grad, 2013; Heinrich, 1979; Jenič, 2003).

Avtomatsko prepoznavanje vrst in tipov čmrljev na podlagi zvoka brenčanja

Spremljanje razširjenosti posameznih vrst čmrljev je pomembno s stališča ohranjanja biodiverzitete, saj so čmrlji eni ključnih opraševalcev. Klasične metode evidentiranja temeljijo na lovljenju in štetju posameznih osebkov, kar je načeloma zamudno, poleg tega pa je za čmrlje moteče. Čmrlje lahko med seboj najenostavneje ločimo po barvnih vzorcih dlačic, s katerimi so poraščeni. Večina vrst ima tri različne tipe osebkov – matice, delavke in samčke (tro-

te), nekatere pa samo dva tipa – matice in samčke (to so zajedavski ali kukavičji čmrlji). Tudi tipi osebkov se med seboj razlikujejo, na primer po velikosti telesa, dolžini rilčka, dolžini tipalnic in barvi. Čmrlje lahko prepoznamo z uporabo posebnih ključev za določanje, vendar pa se za določitev nekaterih značilnosti ne moremo izogniti temu, da čmrlja ujamemo.

Možen način avtomatskega prepoznavanja bi bil prepoznavanje na podlagi fotografij. Tu hitro naletimo na težave, kot so neenakomerna osvetlitev, različne orientacije, ozadje in druge motnje, kot je denimo neostra slika. Kot bolj obetaven avtomatiziran pristop se je izkazalo prepoznavanje čmrljev na podlagi zvoka (brenčanja), saj se izkaže, da različne vrste čmrljev brenčijo na precej različne načine. Ta pristop nam bi denimo omogočil kontinuirano spremljanje čmrljev z mikrofoni, postavljenimi na travniku.

Posamezen čmrlj lahko brenči vsaj na tri različne načine. Brenčanje med letom, ko krila utripajo brez posebnih omejitev, imenujemo normalen način. Poleg tega lahko čmrlj proizvaja še dve vrsti brenčanja z višjo frekvenco, tako da utripa z letalnimi mišicami, ne da bi pri tem premikal krila. En način se imenuje sonikacija, gre za vibracije telesa, s katerimi čmrlj iz prašnikov stresa cvetni prah – tega medonosna čebela ne zmore. Drugi način je sikanje, ki je obrambni mehanizem, ko se čmrlj v gnezdu počuti ogroženega.

Za avtomatsko prepoznavanje vrste čmrlja na temelju zvoka njegovega brenčanja je bil na Institutu »Jožef Stefan« razvit algoritem (Gradišek et al., 2016), ki je dosegljiv kot spletna ali mobilna aplikacija, namenjena širšemu krogu zainteresiranih uporabnikov. V aplikaciji je zajetih več kot deset najpogostejših slovenskih vrst čmrljev, pri večini tako matice kot tudi delavke.

MATERIAL IN METODE

Merjenje in štetje izletavanja delavk *B. haematurus* je bilo opravljeno z osebnim štetjem njihovih vletov v gnezdo (panj) v okviru enournih intervalov. Zaradi izredno hitrih (hipnih) posameznih izletov frekvenčne porazdelitve le-teh ne podajamo, ker verjetno nismo uspeli registrirati vseh; že če si samo pomežiknil ali poskusil kaj označiti v zvezku pri štetju, je medtem marsikatera delavka »ušla«. Pri vseh treh družinah *B. lapidarius* pa so bili prešteti tako izleti iz panja kot vleti v panj. Za štetje so bili izbrani datumi, ko so obravnavane družine že imele veliko število delavk in se je njihov razvoj bližal svojemu vrhu, ko so se pričele izlegati mlade matice in samčke, število delavk pa upadati.

Algoritem za prepoznavanje čmrljev na podlagi zvoka brenčanja temelji na metodi strojnega učenja, najuspešnejšem področju umetne inteligence (Russel, Norvig, 2010),

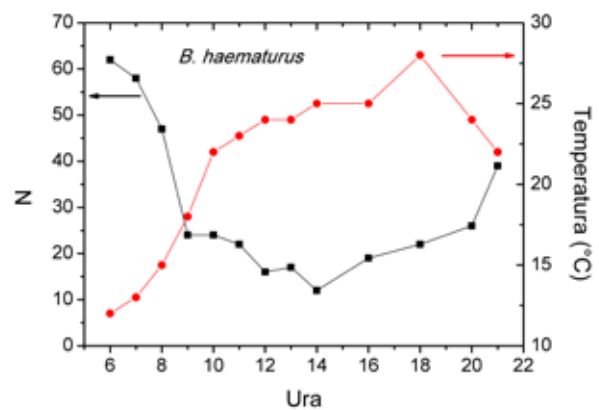
kjer se računalniški program na podlagi posnetkov znanih vrst čmrljev nauči prepoznavati vrsto na novem posnetku, ki ga vnese uporabnik. V prvem koraku smo ročno obdelali posnetke čmrljev ter izbrali le kvalitetne odseke – izločili smo dele brez brenčanja in tiste, kjer je bil opazno prisoten šum iz drugih virov. Osredotočili smo se le na zvok brenčanja med letom, ker je to najbolj značilen tip brenčanja za posameznega čmrlja.

V drugem koraku smo za vsak posnetek izračunali vrsto značilnik (atributov), ki predstavljajo določene značilnosti tega posnetka (gre za matematične operacije, rezultat katerih so številske vrednosti). Primer takih značilnik so koeficienti MFCC, ki temeljijo na Fourierjevi transformaciji signala. Klasifikacijski algoritem nato pregleda, na podlagi katerih značilnik se posamezne vrste in tipi čmrljev najbolj razlikujejo, in na podlagi teh podatkov zgradi model za prepoznavanje čmrljev. Testirali smo več različnih algoritmov strojnega učenja. Za najboljši klasifikacijski algoritem se je izkazal Random Forest (naključni gozd). Ta algoritem na naključno izbranih podmnožicah učne množice zgradi več odločitvenih dreves in z vsakim od njih poskuša klasificirati nov posnetek. Končni rezultat je tisti, ki ga izbere največ dreves.

REZULTATI Z RAZPRAVO

Rezultati štetja celodnevnega vletavanja čmrljev *B. haematurus* so podani v tabeli 1 in na sliki 1, izletavanja in vletavanja čmrljev *B. lapidarius* pa v tabeli 2 ter na sliki 2. Frekvenčna porazdelitev v tabeli 1 kaže, da so ti »mediteranski« čmrlji izredno delavni v zgodnjih jutranjih urah, nekoliko manj v večernih, medtem ko se v vročem delu dneva njihova aktivnost zmanjša. Podobno obnašanje je bilo zapaženo tudi pri čmrljih *B. hypnorum* (Grad,

2013); analiza nabranega cvetnega prahu, ki so jo tedaj opravili na Čebelarški zvezi Slovenije, je pokazala, da je bil nabran na javorju. Ker sta bili obe štetji opravljene v zadnji tretjini maja, je velika verjetnost, da so *B. haematurus*, ki so prinašali mnogo obnožine, tudi obiskovali javor. Pri čmrljih *B. lapidarius* pa se je število letov povečevalo proti bolj vročem opoldanskem času, kar potrjuje naše pretekle ugotovitve (Grad, 2013). Je pa pojav v nasprotju z rezultati opazovanj dr. D. Bevka (Bevk, 2007). Njegova in naša opazovanja so bila opravljena v različnih pašnih okoljih; pri nas so to bili sončni in precej veliki ravninski travniki in cvetoči listavci, na primer lipa, pravi kostanj, na nadmorski višini okrog 250 m, pri Bevku pa osojne lege na nadmorski višini okrog 650 m. Verjetno je bila pašna dejavnost v obeh primerih pogojena z medenjem cvetnic na opazovanih območjih. Ta spoznanja so lahko izziv za prihodnja opazovanja pašne aktivnosti čmrljev.



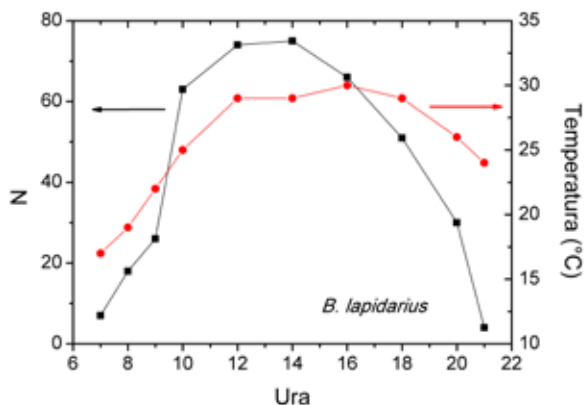
Slika 1. Pogostost vletavanja čmrljev *B. haematurus* ter zunanja temperatura v odvisnosti od ure v dnevu.

Tabela 1: Pogostnost vletavanja čmrljev *B. haematurus*.

Kraj: Petelinje 16, 1262 Dol pri Ljubljani, Datum: 28. 5. 2016	
Čas (ura)	
od - do	05 - 06 06 - 07 07 - 08 08 - 09 09 - 10 10 - 11 11 - 12 12 - 13 13 - 14 15 - 16 17 - 18 19 - 20 20 - 21 21 -
Temp.(st.)	12 13 15 18 22 23 24 24 25 25 28 24 22 -
Vletelo	62 58 47 24 24 22 16 17 12 19 22 26 39 0

Tabela 2: Pogostnost izletavanja in vletavanja čmrljev *B. lapidarius*.

Kraj: Petelinje 16, 1262 Dol pri Ljubljani, Datum: 1. 7. 2016	
Čas (ura)	
od - do	06 - 07 07 - 08 08 - 09 09 - 10 11 - 12 13 - 14 15 - 16 17 - 18 19 - 20 20 - 21 21 -
Temp.(st.)	17 19 22 25 29 29 30 29 26 24 23
Izletelo	7 18 26 63 74 75 66 51 30 4 0
Vletelo	1 4 24 63 95 83 65 53 53 28 0
Skupaj	8 22 50 126 169 158 131 104 83 32 0



Slika 2. Pogostost vletavanja čmrljev *B. lapidarius* ter zunanja temperatura v odvisnosti od ure v dnevu.

Rezultati merjenja skupinskega izletavanja so prikazani v tabeli 3. Štetje je potekalo na treh družinah čmrljev *B. lapidarius*. Štetji na dveh družinah, 1. in 2. julija, sta bili opravljeni ob pretežno sončnem vremenu, pri temperaturah med 17 in 21 stopinjami. Rezultati potrjujejo prejšnja

opazanja (Grad, 2013), da izletavanje v jutranjem času poteka organizirano, večinoma v skupinah. Domnevamo lahko, da je to način, kako zmanjšati žrtve zaradi plenilcev, na primer srakoperja.

Še mnogo zanimivejše pa je bilo dogajanje v okviru tretje družine pri deževnem vremenu in temperaturi 19 stopinj, dne 3. julija. Iz panja je najprej odletelo nekaj čmrljev, ki se do konca opazovanja niso vrnili, za njimi pa sta v enakih časovnih intervalih hkrati izleteli, obleteli panj in se takoj vrnili po 2 (verjetno isti?) delavki. Končno sta zopet hkrati izleteli in se do konca opazovanja nista več vrnili. Očitno še marsikaj ne vemo o medsebojnem komuniciranju v čmrljih družinah. Zanimivo je namreč, da se skupinsko izletavanje lahko, sicer manj opazno, dogaja tudi kasneje v teku dneva. Tako je pri celodnevem šteju izletavanja čmrljev *B. lapidarius* iz tabele 2 večkrat hkrati izletelo po več delavk, 3 do 4, enkrat pa celo 7 (med 15. in 16. uro).

Klasifikacijski algoritem smo testirali na sledeč način. Najprej smo zbrane posnetke ločili na dve množici – 80 %

Tabela 3: Skupinsko izletavanje delavk *B. lapidarius* v jutranjih urah, med 6. in 8. uro, leto 2016.

Dat.	Vreme	Izletavanje
1. 7.	obl.	19-(1)-20-1(3)-8-3(2)-6-(1)-6-2(2)-2-(1)-5-3(2)-3-7(6)-10-(1)-7-3(4)-7-3(2)-4-...
2. 7.	sončno	4-(1)-5-(1)-9-2(2)-40-(1)-3-2(3)-7-2(2)-4-2(3)-5-1(2)-2-3(3)-2-3(4)-2-2(3)-3-4(5)-1-2(4)-4-1(2)-2-...
3. 7.	dež	28-(1)-2-3(2)-7-(1)-5-(1)-10-3(3)-17-1(2)*-4-1(2)*-4-1(2)*-23-1(2)*-4-1(2)**-...

Legenda:

(1) ... izletel 1 čmrlj; **m(n)** ... v **m** minutah je izletelo **n** čmrljev; **m** ... število minut, ko ni izletel noben čmrlj;

* ... hkrati izleteli delavki sta se takoj vrnili;

** ... hkrati izleteli delavki sta odleteli na pašo in se do 8.10 ure, ko je bilo opazovanje prekinjeno, še nista vrnili.

Opomnik: zvočni posnetek mora biti v .wav formatu

NOV POSNETEK...

1. najbolj verjeten rezultat je:

Sylvarum-delavka (90.0%)



2. najbolj verjeten rezultat je:

Pratorum-delavka (3.00%)



3. najbolj verjeten rezultat je:

Pascuorum-delavka (2.00%)



Slika 3. Primer rezultata klasifikacije novega posnetka. Algoritem je pravilno določil, da gre za delavko vrste *B. sylvarum*.

posnetkov smo uporabili za gradnjo klasifikacijskih modelov (učna množica), na preostalih 20 % pa smo te modele testirali. Pri tem smo pazili, da se delci posnetkov, ki so pripadali istemu osebk, nikoli niso hkrati znašli v učni in testni množici. Z metodo prečnega preverjanja modelov na učni množici smo pridobili tudi informacijo, katere vrste in tipe čmrljev algoritem najpogosteje zamenjuje. Tako kot končni rezultat klasifikacije lahko poleg najbolj verjetne možnosti uporabniku ponudimo še eno ali dve najverje-

tnejši alternativni, kar prikazuje posnetek zaslona spletne različice aplikacije na sliki 3. Preizkus na testni množici je pokazal, da algoritem pravilno klasificira 86 % vseh posnetkov. Pri tem je potrebno poudariti, da algoritem bolje deluje pri tistih vrstah in tipih čmrljev, kjer smo imeli na voljo več posnetkov za učenje. Testiranje pri čmrljih, kjer je bilo posnetkov 5 ali manj, namreč ni posebej reprezentativno.

ZAKLJUČKI

Dnevno letanje čmrljih delavk na pašo

Vsa dosedanja opazovanja izletavanja delavk na pašo in vračanja s paše, opisana v tem prispevku in v (Grad, 2013), dovoljujejo naslednje zaključke:

- Vsaj pri 3 vrstah čmrljev, *B. lapidarius*, *B. humilis* in *B. pascuorum*, poteka jutranje skupinsko izletavanje delavk na pašo, kar je, menimo, možno le z medsebojno komunikacijo med njimi. Kako se uskladijo za tak način izletavanja, ne vemo. Prav tako ne vemo, kaj je vzrok za ta pojav, vendar lahko domnevamo, da je cilj zmanjšanje števila žrtev zaradi plenilcev. Ta vprašanja so gotovo zanimiva tudi za prihodnje raziskave.
- Celodnevno izletavanje delavk na pašo ni enakomerno porazdeljeno in porazdelitev variira od vrste do vrste. Pri določenih vrstah čmrljev število letov doseže svoj maksimum v jutranjih urah, minimum v opoldanskih urah, proti večeru pa zopet narašča; takšni vrsti sta na primer *B. hypnorum* in *B. haematurus*. Pri nekaterih drugih vrstah frekvenca letov narašča od jutra proti poldnevu, nato pa zopet pada, na primer pri *B. humilis*. Pri nekaterih vrstah, na primer *B. lapidarius* in *B. pascuorum*, pa lahko nastopata oba omenjena primera (Bevk, 2007; Grad, 2013). So pa tudi vrste, pri katerih je frekvenca letov bolj enakomerno porazdeljena, na primer pri *B. hortorum*.

Takšno obnašanje je verjetno pogojeno z intenzivnostjo medenja rastlin, ki jih določena vrsta obiskuje.

Spletna in mobilna aplikacija

Aplikacija za prepoznavanje čmrljev je prosto na voljo širokemu krogu uporabnikov na spletni strani animal-sounds.ijs.si ali kot Animal App na Googlovi tržnici Play Store. Aplikacija deluje v slovenščini, angleščini in kitajščini. Mobilna različica aplikacije omogoča uporabniku, da z mikrofonom na telefonu posname čmrlja, ta posnetek potem pošlje na strežnik, ki se nahaja na Institutu »Jožef Stefan« in kjer teče klasifikacijski program, strežnik pa nato vrne klasifikacijske rezultate uporabniku. Spletna aplikacija deluje na enak način, le da mora uporabnik naložiti zvočni posnetek iz drugega vira.

S pomočjo spletne aplikacije lahko eksperti uporabniki nalagajo tudi svoje posnetke, kar omogoča enostavno dodajanje novih vrst in tipov čmrljev v bazo, pa tudi za večanje števila posnetkov pri že vnesenih vrstah. Za uporabo ekspertnega načina je potrebna registracija. Dodatni posnetki nam omogočajo, da občasno zgradimo izboljšane klasifikacijske modele in tako povečamo natančnost prepoznavanja.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se dr. Mitji Luštreku, Gašperju Slapničarju in Juretu Šornu za pomoč pri razvoju klasifikacijskega algoritma ter izdelavi aplikacije, ter akad. prof. dr. Mitji Gogali za koristne diskusije.

LITERATURA

- Bevk, D., 2007: Dejavnost čmrljev preko dneva in sezone. *Acta Entomologica Slovenica*, Ljubljana, 15 (2): 113 – 120. ISSN 1318-1998.
- Božič, J., 2008: Čebelja paša. V: Slovensko čebelarstvo v tretje tisočletje 1. Ur.: Pavel Zdešar. Čebelarska zveza Slovenije, Brdo pri Lukovici. ISBN 978-961-6516-23-5.
- Goulson, D., 2003: *Bumblebees: Their Behaviour and Ecology*. Oxford University Press, Oxford. ISBN 0 19 852607 5.
- Grad, J., 2008: Vesele in žalostne dogodivščine s čmrlji. *Slovenski čebelar*, 10/2008 letnik CX, str. 277-279. ISSN 0350-4697.
- Grad, J., 2013: Dnevno izletavanje čmrljev na pašo. *Acta Entomologica Slovenica*, Ljubljana, 21 (1): 17 – 28. ISSN 1318-1998.
- Grad, J., Gogala, A., Kozmus, P., Jenič, A., Bevk, D., 2010: Pomembni in ogroženi oprasovalci – Čmrlji v Sloveniji. Čebelarska zveza Slovenije, Lukovica. ISBN 978-961-6516-30-3.
- Grad, J., Oštir, T., Jenič, A., 2016: Redkejše vrste čmrljev v Sloveniji – Značilnosti čmrljev in zanimivosti. Celjska Mohorjeva družba. ISBN 978-961-278-226-9.
- 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, The International Journal of Animal Sound and its Recording*. ISSN 0952-4622 (Print) 2165-0586 (Online), Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tbio20>
- Heinrich, B., 1979: *Bumblebee Economics*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts and London, England. ISBN 0-674-08581-7.
- Jenič, A., 2003: Biogeografska analiza čmrljev (rod *Bombus*) v Sloveniji (Hymenoptera: Apidae). Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana.
- Russel, S., Norvig, P., 2010: *Artificial intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall. ISBN 0-136-04259-7.