Orijentacija i načini komunikacije među pčelama

Preininger, Tamara

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:770027

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

Orijentacija i načini komunikacije među pčelama

Orientation and types of communication among bees

SEMINARSKI RAD

Tamara Preininger

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor : prof. dr. sc. Biserka Primc

Zagreb, 2015.

SADRŽAJ:

1. UVOD....2
2. SISTEMATIKA....3
3. ŽIVČANI SUSTAV I OSJETNI ORGANI PČELA....4
   3.1. Živčani sustav pčela....4
   3.2. Osjetilni sustav pčela…….…….5
      3.2.1. Optička osjetila....5
      3.2.2. Kemijska osjetila....6
      3.2.3. Mehanoreceptori....7
4. KOMUNIKACIJA MEĐU PČELAMA....8
   4.1. Kemijska komunikacija – komunikacija feromonima....8
      4.1.1. Proizvodnja feromona....9
         4.1.1.1. Mandibularna žlijezda....9
         4.1.1.2. Tergitne žlijezde....10
         4.1.1.3. Tarzalne žlijezde....10
         4.1.1.4. Nasanovljeva žlijezda....10
         4.1.1.5. Feromoni Koschewnikove žlijezde....11
         4.1.1.6. Feromoni rectuma matice 11
         4.1.1.7. Feromoni legla....11
         4.1.1.8. Feromoni iz voska....12
         4.1.1.9. Feromoni trutova....12
   4.2. KOMUNIKACIJA HRANJENJEM....12
   4.3. KOMUNIKACIJA PLESOM....13
      4.3.1. Kružni ples....13
      4.3.2. Ples zatkom....14
      4.3.3. Značaj pčelinjeg plesa....16
5. ORIJENTACIJA PČELA....16
   5.1. Prepoznavanje objekata....16
   5.2. Pozicija Sunca....17
   5.3. Polarizirano svjetlo....18
   5.4. Elektromagnetska polja....18
6. ZAKLJUČAK....19
7. LITERATURA....20
8. SAŽETAK....21
9. SUMMARY 22

1. UVOD

Jedan od najfascinantnijih životinjskih svjetova je svijet kukaca, a unutar njega zasigurno jedno od najznačajnijih mjesta, kako općenito, tako i za čovjeka, zauzimaju pčele. Još je Albert Einstein svojevremeno izrekao da nakon što izumru pčele, čovječanstvu ostaje još samo 4 godine života. Ta rečenica je razumljiva, iako na prvi pogled zvuči prilično grubo, uzmemo li u obzir da pčele oprašuju 80% svih biljaka, a od 100 vrsta koje ljudi koriste za prehranu, pčele oprašuju čak 70%. Pridodamo li tome i činjenicu da su pčele na Zemlji, prema istraživanjima fosilnih ostataka, prisutne već oko 140 milijuna godina, to ih čini još interesantnijima. Entomolozi su dosada opisali više od 5700 različitih vrsta unutar porodice pčela (Apidae), rasprostranjenih na svim kontinentima, osim Antarktike, što ih čini jednom od najuspješnijih, najdugovječnijih i najrasprostranjenijih životinjskih skupina.

Postavlja se pitanje što je zaslužno za njihovu nevjerojatnu moć preživljavanja i adaptacije klimatskim i drugim životnim uvjetima. Promatranjem pčela, njihove strogo uređene društvene organizacije i podjele rada u društvu, dolazimo do odgovora na to pitanje. Naime, visoko razvijene i u nekim oblicima jedinstvene sposobnosti komunikacije i orijentacije su te koje su im omogućile adaptaciju svakojakim uvjetima i opstanak milijunima godina.

Ovim ću seminarskim radom pokušati pobliže objasniti načine komunikacije i orijentacije pčela, počevši s biološkim preduvjetima u vidu građe živčanog i osjetilnog sustava, preko raznih oblika komunikacije i orijentacije (pčelinji ples, feromoni, orijentacija pomoću polariziranog svjetla i sl.), do njihove svrhe.

2. SISTEMATIKA

Pčele pripadaju redu kukaca koje nazivamo Hymenoptera ili opnokrilci. Opnokrilci su mali do srednje veliki kukci koje karakteriziraju dva para opnastih krila, usni organi za grizenje ili za lizanje i sisanje i potpuna preobrazba. Opnokrilci se dijele na dva nejednako velika podreda: Symphyta (širokozačani opnokrilci) s oko 8000 opisanih vrsta i Apocrita (utegnutozačani opnokrilci) s preko 140000 vrsta. Vrste podreda Apocrita razdijeljene su u velik broj porodica među kojima su najpoznatije: Formicidae (mravi), Vespidae (ose) i Apidae (pčele). Pčele (Apidae) se dijele na potporodice: bumbari (Bombinae), prave pčele (Apinae) i tropske pčele bez žalca (Meliponidae). Pčele iz potporodice Apinae brinu se za leglo, žive u dobro organiziranim zajednicama s podjelom rada i grade visoko organizirano saće. Svaka zajednica pčela sastoji se od matice, radilica i trutova. Matica je jedina spolno zrela ženka u košnici i njezina primarna funkcija jest reprodukcija. Nju oplođuju trutovi, najveće pčele u zajednici. Radilice su najmanje jedinke specijalizirane za pojedine poslove: brigu o leglu, za njegu matice, pronalaženju i donošenju hrane, zidanju saća itd.

Tema ovog rada proučava načine komunikacije i orijentacije kod potporodice Apinae, roda *Apis*. Unutar roda *Apis* razlikuje se više vrsta (species), podvrsta (subspecies) i varijeteta (varietates). Prema podacima iz Resh i Cardé (2003) rod *Apis* L. obuhvaća 11 vrsta među kojima su najpoznatije: *Apis mellifera* (pčela medarica, sl. 1.), *A. dorsata* (divovska indijska pčela), *A. florea* (sitna indijska pčela) i *A.cerana* (indijska pčela).



Slika 1. Najpoznatija vrsta roda *Apis*: *Apis mellifera*.

(http://www.discoverlife.org)

3. ŽIVČANI SUSTAV I OSJETNI ORGANI PČELA

Da bismo mogli detaljnije ući u temu ovog rada, moramo najprije razjasniti građu živčanog i osjetilnog sustava pravih pčela (Apinae) jer su oni preduvjet svakog oblika komunikacije i orijentacije. Bez ispunjenja tog preduvjeta ne bi moglo doći do sabiranja podražaja iz okoline i ponašajnog odgovora na te podražaje. Samim time, jedinka ne bi mogla ući u međuodnos s okolnim svijetom, a kolektiv, kao nadgradnja jedinke, ne bi mogao nastati ni opstati. Iako je kod pčela živčani sustav malen, omogućava im, suprotno nekadašnjim vjerovanjima, vrlo napredne i kompleksne reakcije (Resh i Cardé 2009).

3.1. ŽIVČANI SUSTAV PČELA

Živčani sustav pčele, kao i kod svih člankonožaca ima ljestvičavi raspored, a može se podijeliti na središnji, simpatički i periferni. Simpatički živčani sustav inervira unutrašnje organe dok periferni živčani sustav čine živci koji polaze od središnjeg živčanog sustava do površine tijela. Središnji živčani sustav čine mozak (*cerebrum*) i trbušna živčana vrpca. Prva tri para živčanih ganglija (akron, 1. i 2. kolutić u glavi) stopila su se u nadždrijelni ganglij („mozak“), a druga tri (3., 4. i 5. kolutić) u podždrijelni ganglij. Oni su međusobno povezani okoždrijelnom komisurom.

Mozak pčele zapravo je vrlo velik u odnosu na njenu veličinu. Sadrži 960 000 neurona i veličine je $1mm^3$ dok se veličina pčele kreće od 2 mm do najviše 4 cm (Menzel i Giurfa 2001). Sastoji se od tri dijela: protocerebruma, deuterocerebruma i tritocerebruma. Protocerebrum je najsloženiji. U njemu se nalaze vidni režnjevi (*lobi optici*) koji tvore živčani vidni centar i gljivasta tijela (*corpora pedunculata*) za koja se smatra da su asocijativni centri odgovorni za učenje i pamćenje pčele. Avargues-Weber i Giurfa (2013) smatraju da pčele, a posebice medonosne pčele (*Apis mellifera*), mogu razumjeti konceptualne odnose kao što su isto/drugačije, gore/dolje, lijevo/desno upravo zahvaljujući neuralnoj aktivnosti u gljivastim tijelima. Dakle, pčele razlikuju i odnose između objekata, a ne samo fizička obilježja objekta. Ta se sposobnost kod primata pripisuje prefrontalnom korteksu mozga, koji pčele nemaju, niti imaju mozak takve kompleksne strukture, što čini sve još zanimljivijim. Deuterocerebrum, kao i protocerebrum, ima razvijene osjetne režnjeve – mirisne režnjeve (*lobi olfactorii*). Iz ovih režnjeva izlaze živci i idu prema ticalima. Iako malen, deuterocerebrum pčela veći je od

onog kod većine kukaca. Tritocerebrum je najmanji te iz njega izlaze simpatički živci. Povezan je s podždrijelnim ganglijem koji inevrira usne organe.

3.1.1. OSJETILNI SUSTAV PČELA

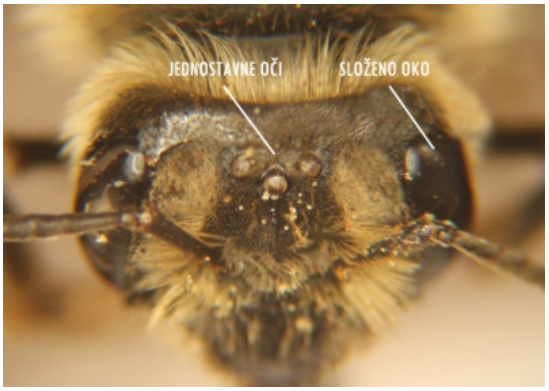
Osjetni sustav čini receptorni dio tj. osjetni organ koji prima podražaje iz okoline, zatim osjetni živac koji prenosi podražaj do mozga te središnji dio, mozak tj. specijalizirani dio mozga za pojedini osjet.

Osjetni organi primaju podražaje koji su nastali unutar ili izvan tijela. Osjeti koji nastaju djelovanjem podražaja na osjetne organe nastaju podraživanjem osjetnih receptora i prijenosom osjetnih informacija u središnji živčani sustav. Primanjem tih podražaja pčele se mogu prilagoditi novonastalim promjenama. Prema funkciji osjetne organe dijelimo u tri grupe: optička osjetila ili fotoreceptori (osjetilo vida), kemijska osjetila ili kemoreceptori (osjetila mirisa i okusa) i mehanička osjetila ili mehanoreceptori (osjetila za opip, sluh, kretanje i ravnotežu).

3.1.2. Optička osjetila

Pčele imaju jedan par složenih očiju i tri jednostavna točkasta oka (sl. 2.). Jednostavne oči (ocele) posve su malene i leže trokutasto raspoređene na prednjoj strani gornjeg dijela glave. Ocele detektiraju svjetlost, ali pomoću njih pčele ne mogu vidjeti sliku kao pomoću složenih očiju. Složene oči su znatno veće, smještene postrano na glavi, duguljaste su i nepomične. Građene su od nekoliko tisuća okašaca, faseta ili omatidija. One su šesterokutnog oblika, a njihov broj varira. Kod matice broj omatidija iznosi oko 4000, radilice 5000, a trutova oko 8000. Svako okašce izgrađeno je od tri osnovna strukturalna elementa: od dioptrijskog aparata koji se sastoji od rožnice i kristalnih stanica, od vidnih stanica koje izgrađuju mrežnicu i od pigmentnih stanica koje optički izoliraju okašca. Uloga dioptrijskog aparata je da sve zrake koje padaju pod različitim kutevima na površinu rožnice usmjerava u središnju optičku os okašca. Što se tiče raspoznavanja boja, pčele dobro razlikuju boje, ali ne sve. Dobro vide žutu,

ultraljubičastu, modru i modrozelenu, dok crvenu ne vide tj. vide je kao tamnosivu do crnu. Za pčele je važno da vide ultraljubičasti dio spektra jer gotovo jedna četvrtina cvjetova reflektira ultraljubičaste zrake (detaljnije u poglavlju 5. Orijentacija pčela). Također, dobro razlikuju oblike pojedinih predmeta i pojedinih cvjetova.



Slika 2. Optička osjetila pčele – izgled i položaj jednostavnih i složenih očiju.

(http://www.blog.dnevnik.hr/apikultura/osjetni sustav.html)

3.1.3. Kemijska osjetila

U kemijska osjetila ubrajamo osjetila mirisa i okusa. Pčele imaju izvanredno osjetilo njuha. Osjetila za mirise kod pčela nalaze se na vrhu ticala smještenih na prednjoj strani glave ispred složenih očiju. Ticala su im građena od većeg broja članaka (matica i radilica imaju 12, a trut 13 članaka). Prvi članak se naziva stručak ili *scapus*, drugi pokretač ili *pedicellus*, a ostali članci čine zastavicu ili *flagellum* (sl. 3.). Osjetne stanice njuha se nalaze na površini zastavice u udubljenjima koja su prekrivena tankom membranom. Matica ima oko 2000, radilica oko 6000, a trut oko 30 000 osjetnih stanica. Snaga njihovog njuha je iznimna, preko 100 puta bolja od njuha čovjeka. Pčele zahvaljujući tome, dobro razlikuju pojedine mirise koji im služe u prirodi za snalaženje na manje udaljenosti.



Slika 3. Građa ticala

(http://www.blog.dnevnik.hr/apikultura/osjetni sustav.html)

Kemijskim osjetilima pripadaju i osjetila za okus koja se kod pčela nalaze oko usta i usnih organa te na ticalima i prednjim nogama. Osjet okusa kod pčela nije naročito izražen, na način na koji su možda izražena ostala osjetila, no to nipošto ne znači da nije dobro razvijen i da ga pčele ne koriste. To samo znači da će pčela prednost dati drugim osjetilima, pa tek kasnije uključiti i osjet okusa kada i ako zatreba.

3.1.4. Mehanoreceptori

Opip je kod pčela, kao i u kukaca uopće, izrazito dobro razvijen. Od mehaničkih osjetila poznati su hordotonalni organi za dobivanje informacija o položaju pojedinih dijelova tijela, osjetila za dodir (tigmoreceptori), osjetila za ravnotežu i primanje zvučnih podražaja (timpanalni organi). Osjetila za dodir kod pčela su osjetne dlačice razmještene po njihovom cijelom tijelu. Najviše su koncentrirana na ticalima i nogama. Također, posjeduju i toplinsko osjetilo.

4. KOMUNIKACIJA MEĐU PČELAMA

Prema Klaićevom riječniku (1985) komunikacija (lat. communicare – učiniti općim) je proces razmjene znanja i informacija sa drugim jedinkama koristeći bilo auditorni (glas), vizualni (znakovni jezik), fizikalni (dodir) ili kemijski (feromoni) jezik. Takav sustav znakova za komuniciranje specifičan je za svaku pojedinačnu zajednicu. Edward O. Wilson, američki biolog i teoretičar, definira biološku komunikaciju kao djelovanje jednog organizma ili stanice koje uzrokuje promjenu ponašanja drugog organizma ili stanice na način prilagodljiv jednom ili oba sudionika. Pod time se misli da su signali ili odgovor ili oboje bili genetički programirani na neki način prirodnim odabirom. Dakle, komunikacija je odnos između onog organizma koji šalje signal i organizma koji ga prima, tj. odgovara na primljeni signal - informaciju određenim ponašanjem. Kad govorimo o komunikaciji najprije pomislimo na verbalnu komunikaciju, no kod životinja razlikujemo još nekoliko načina komunikacije od kojih su npr. kemijska, komunikaciju površinskim valom, opipna, vizualna i električna. Kod pčela najvažniji načini komunikacije su kemijska komunikacija, komunikacija hranjenjem i komunikacija pokretima tj. poznatim pčelinjim plesom. Komunikacija među pčelama jedan je od najsavršenijih komunikacijskih sustava životinja.

4.1.1. Kemijska komunikacija (komunikacija feromonima)

Kemijska je komunikacija, za pčele, jedan od najvažnijih oblika komunikacije. Ova socijalna bića moraju komunicirati prilikom prikupljanja hrane, održavanja zajednice i u obrani zajednice. Većina specifičnih reakcija pčela kao što su seksualno privlačenje, agregacija, raspršivanje, agresivnost i signaliziranje opasnosti, regulirane su kemijskim tvarima, feromonima. Ove se kemijske komponente izlučuju iz organizma i djeluju na druge jedinke iste vrste. Kako feromoni izazivaju fiziološke promjene ili odgovore u ponašanju drugih jedinki iste vrste, djeluju kao kemijska poruka. Ovakav model komunikacije se sastoji od tri dijela (Dražić i Kezić 2000):

1. mehanizma koji emitira poruku - žljezdanog organa koji je specijalizirane strukture za oslobađanje feromona,

2. medija kroz koji se kemijska poruka odašilja - zrak, voda ili direktni kontakt,

3. mehanizma za primanje kemijske poruke - mirisni ili okusni organ organizma koji sadrži kemoreceptore.

Feromon može izazvati više različitih reakcija. Razlikujemo alarmne, agregacijske i disperzijske feromone te seksualne atraktante. Što se tiče efekta koji feromon može izazvati, razlikujemo dva glavna tipa: trenutni (engl. *releaser effect*) i dugotrajni efekt (engl. *primer effect*). Kod trenutnog efekta, reakcija u ponašanju recipijenta odmah je vidljiva, kao što je to npr. bijeg od opasnosti. U slučaju dugotrajnog efekta, rezultat nije direktna reakcija u ponašanju već niz fizioloških promjena kao npr. kod feromona kojeg izlučuje pčelinje leglo koji sprečava razvoj jajnika u pčela radilica.

Zbog ekonomske važnosti, kao i zbog zanimanja za organizaciju socijalnog života, feromoni pčela su među najčešće istraživanima. Najčešće su istraživane pčele vrste *Apis mellifera* L., a daleko manje istraživanja je provedeno na vrstama *A. dorsata*, *A. florea i A. cerana*.

4.1.2. Proizvodnja feromona

Proizvodnja feromona ovisi o spolu i ulozi jedinke u pčelinjoj zajednici, odnosno o žlijezdama koje posjeduje. Trutovi neke žlijezde uopće nemaju, a neke su slabije razvijene nego kod radilica ili kod matice. Neke žlijezde su kod matice jako razvijene, a kod radilica zakržljale i suprotno. Aktivnost pojedinih žlijezda vezana je za aktivnost jedinke i posao koji obavljaju (Dražić i Kezić 2000). Utvrđeno je da feromone proizvode mandibularna (gornjočeljusna), Nasanovljeva, Koschewnikova, tergitne, tarzalne i voštane žlijezde (Free 1987). Značajan izvor feromona je i pčelinje leglo, rektum matice i membrana na bazi žalca.

4.1.2.1. Mandibularna žlijezda

Mandibularna žlijezda leži na bazi gornjih čeljusti. Dobro je razvijena i kod radilica i kod matice, a kod matica je naročito velika. Njena uloga se očituje u svim bitnim aktivnostima u zajednici, kao što su atraktivnost za parenje, inhibicija uzgoja matičnjaka, okupljanje radilica za vrijeme rojenja i zadržavanje radilica u blizini legla (Tomašec 1990).

Zadržavanje radilica u blizini legla omogućeno je stalnim boravkom pratilja oko matice koje maticu dodiruju ticalima, prednjim nogama ili ustima. Za vrijeme socijalne izmjene hrane (vidi poglavlje 4.2. Komunikacija hranjenjem) radilice prenose međusobno i feromone od matice. Sekret mandibularne žlijezde ima veliku ulogu i u koheziji i stabilnosti roja. Također, vrlo je jak seksualni atraktant.

4.1.2.2. Tergitne žlijezde

Tergitne žlijezde su smještene od četvrtog do šestog abdominalnog tergita. Vrlo su dobro razvijene u mladih matica, a radilice ih nemaju. Proizvode feromone koji služe radilicama kao sredstvo za prepoznavanje matica, inhibiraju gradnju matičnjaka i razvoj jajnika u radilica. Prenose se direktnim kontaktom radilica s maticom. Sekret ovih žlijezda u interakciji sa sekretom mandibularne žlijezde privlači trutove i inducira parenje (Dražić i Kezić 2000).

4.1.2.3. Tarzalne (stopalne žlijezde)

Tarzalne žlijezde se nalaze na stopalu matice i radilica. Matica kad hoda po saću ostavlja pomoću jastučića na stopalu uljasti sekret tarzalnih žlijezda – „footprint pheromon“. Ovaj feromon u interakciji sa feromonom mandibularne žlijezde sprečava gradnju matičnjaka i u prenapučenim košnicama. Također, ima i ulogu u nalaženju hrane jer se smatra da radilice njime „markiraju“ izvore hrane i time povećavaju privlačnost za ostale sabiračice (Free 1987).

4.1.2.4. Nasanovljeva žlijezda

Nasanovljeva žlijezda prisutna je jedino kod radilica (Free 1987). Nalazi se na dorzalnoj površini sedmog abdominalnog tergita, a njezin sekret se nakuplja u mirisnom kanalu. Proizvodi jak i karakterističan miris pa je neki nazivaju i mirisnom žlijezdom. Kad pčela počne izlučivati miris, posebnim mišićima povuče zadnji kolutić prema dolje, pokrovni tergit prema gore, a sama žlijezda se izboči prema van. Disperziju mirisa tada pojačavaju lepetanjem krila. Glavne mirisne komponente su monoterpeni, među kojima je najzastupljeniji alkohol geraniol – jedan od sastojaka ružinog ulja. Geraniol pčele proizvode

kad prestanu biti kućne, a najviše ga proizvode sabiračice. Sekret te žlijezde služi kao signal za orijentaciju koji može vrlo brzo privući sabiračice na izvor hrane (Dražić i Kezić 2000).

4.1.2.5. Feromoni Koschewnikove žlijezde

Koschewnikova žlijezda se nalazi u komori žalca. Sastavljena je od malih nakupina stanica. Prisutna je kod matice i radilica, ali u radilica nije tako dobro razvijena kao kod matice. Koschewnikowe žlijezde u radilica su izvor jakih alarmnih feromona koji se oslobađaju kad je žalac ispružen (Breed i sur. 2004). Feromon se nakuplja u naboranoj membrani na bazi žalca i nastavlja funkcionirati kad je žalac otrgnut iz tijela radilice, što objašnjava zašto pčele napadaju mjesto prethodnog uboda. Utvrđeno je i da opna žalca izlučuje feromone koji dopunjuju djelovanje feromona Koschewnikove žlijezde i osnovna im je namjena alarmiranje.

4.1.2.6. Feromoni rektuma matice

Prirodna proizvodnja matica u pčelinjoj zajednici rezultira razvojem nekoliko neoplođenih matica od kojih će samo jedna ostati matica u matičnoj zajednici. Kako su neoplođene matice često izložene agresivnosti radilica, razvile su specifičan način obrane. Prilikom sukoba, one izlučuju veliku količinu mirisnog analnog sekreta koji smanjuje agresivnost radilica. Radilice prestaju napadati maticu kada se oplodi, pa tada prestaje i sekrecija ovog feromona (Dražić i Kezić 2000).

4.1.2.7. Feromoni legla

Feromon legla stimulira razvoj ždrijelnih žlijezda pčela hraniteljica te inhibira razvoj jajnika kod radilica i polaganje jaja. No, te kemijske signale koje proizvodi pčelinje leglo u stanju je detektirati i grinja *Varroa jacobsoni,* nametnik koji napada azijsku medonosnu pčelu (*Apis indica*). Ako se preventivno ne liječi, izaziva bolest varoozu, bolest poklopljenog legla, te s vremenom dovodi do ugibanja pčela u košnici (Le Conte i sur. 1989).

4.1.2.8. Feromoni iz voska

Voštane žlijezde posjeduju radilice, a nalaze se kao parne tvorbe od četvrtog do sedmog abdominalnog kolutića. Najbolje su razvijene kod mladih pčela u dobi od 10 do 18 dana. Utvrđeno je da ljuščice voska i mlada voština djeluju kao feromoni (Blum 1989). Uloga ovih feromona je da stimuliraju i pojačavaju nagon za skupljanjem hrane kod radilica.

4.1.2.9. Feromoni trutova

Ako matica u stanice saća položi samo neoplođena jaja iz kojih će se razviti trutovi, takvo leglo nazivamo trutovskim. Smatra se da trutovsko leglo proizvodi inhibirajuće feromone koji sprečavaju daljnje zalijeganje trutovskog legla kad populacija dosegne određeni broj trutova - u korelaciji s brojem radilica (Free 1987). No, sami trutovi u svojim mandibularnim žlijezdama proizvode feromone koji uvjetuju okupljanje trutova na mjestima pogodnim za parenje.

4.2. Komunikacija hranjenjem – „trophallaxis“

Komunikacija hranjenjem je direktni transfer hrane ili tekućine jedne jedinke drugoj („usta na usta“) i važan je dio komunikacije kolonije. Ima više primjera ovog načina komunikacije kod pčela od kojih su najuočljivija dva:

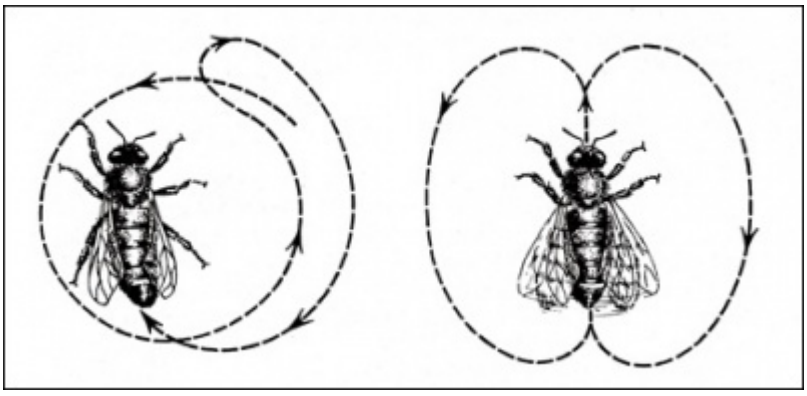
1. kada radilica koja je „polizala“ maticu (i preuzela je njene feromone) predaje hranu drugoj radilici - na taj način prenosi feromone matice drugoj radilici, bez da je ta druga imala direktan kontakt s maticom, čime se unosi mir u zajednicu (jako bi dugo trajalo da svaka pčela ide dodirnuti maticu) i prenosi informacija o zdravlju matice;

2. kada distribuiraju informaciju o novim izvorima nektara ili o uvjetima hranjenja u leglu.

4.3. Komunikacija plesom

Osim što komuniciraju pomoću feromona i hrane, pčele se sporazumijevaju i posebnim pokretima – pčelinjim plesom. Još od Aristotela i njegovih opažanja da se pčele sa paše nikad ne vraćaju same već u skupinama, postoji zanimanje za način kojim pčele prenose informacije o izvorima hrane. Johann Earnest Spitzner vjerojatno je bio prvi koji je još 1788. godine ukazao na način sporazumijevanja medonosne pčele. On je opisao pčelinji ples kao sredstvo pomoću kojeg pčele izvještavaju o paši i lokaciji nektara. Međutim, otkriće načina sporazumijevanja među pčelama pčelinjim plesom pripisuje se nobelovcu Karl von Frischu. Ovaj austrijski etolog najpoznatiji je po dva otkrića o pčelama, prvo, da pčele vide u boji i drugo, da koriste ples (engl. *dance language*) za komunikaciju.

Poznata su dva tipa komuniciranja plesom: kružni ples (engl. *round dance*) i ples zatkom (engl. *waggle dance*) kao što je prikazano na slici 4. Kada pčela sakupljačica pronađe dobar izvor hrane, odletjet će natrag u svoju košnicu i opisat će ostalim pčelama sakupljačicama udaljenost do izvora hrane i u kojem smjeru pčele moraju letjeti u odnosu na sunce. S obzirom na udaljenost izvora hrane, pčela sakupljačica će koristiti jedan od ova dva tipa plesa.



Slika 4. Shematski prikaz kružnog plesa (prvi prikaz) i plesa zatkom (drugi prikaz). (http://blog.dnevnik.hr/apikultura)

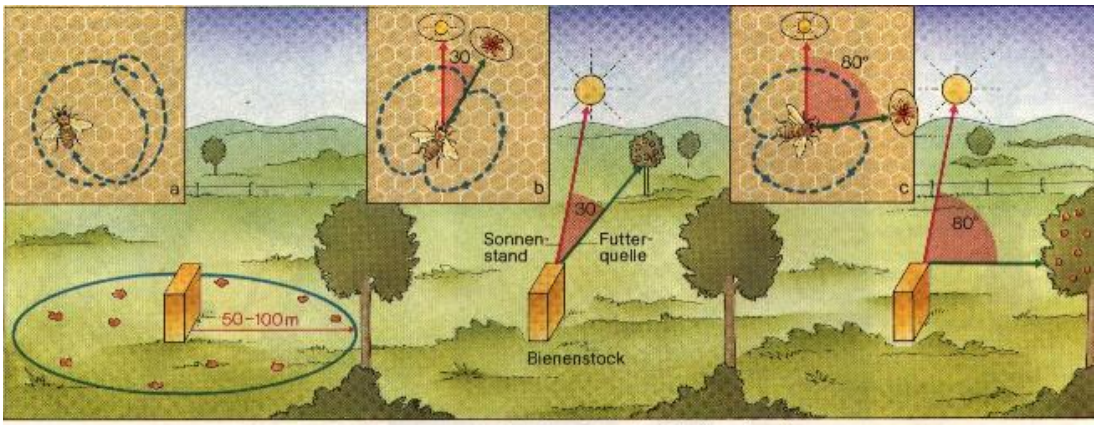
4.3.1. Kružni ples

Prvi i jednostavniji način sporazumijevanja pčela „plesom“, kojim će pčela sakupljačica, ako pronađe izvor hrane u blizini košnice (10 metara ili manje u krugu košnice) obavijestiti druge pčele o lokaciji, udaljenosti, kvaliteti i vrsti hrane koju je pronašla je kružni

ples. Ovaj oblik plesa pčela izvodi na način da se kreće u malom krugu mijenjajući orijentaciju nakon svakog ili svakog drugog kruga kao što je vidljivo na slici 3. s lijeve strane. Kružni ples može trajati nekoliko sekundi, a nekad i nekoliko minuta. Ovdje se zapravo radi o „pojednostavljenom“ plesu zatkom jer pčela mora prenijeti drugima manje složene informacije vezane za izvor hrane (sl. 3. usporedba kružnog i plesa zatkom). Mnogo značajniji i složeniji je ples zatkom koji u sebi obuhvaća i sam kružni ples.

4.3.2. Ples zatkom

Ukoliko je izvor nektara udaljeniji od košnice (100 metara ili više), pčela drugim sakupljačicama mora pružiti više informacija tj. više određenih smjernica nego kada je izvor hrane blizu košnice. To će učiniti izvodeći ples zatkom (sl. 4., desno; sl. 5b,c). U tipičnom plesu zatkom, pčela se penje okomito na saće i izvodi „figuru osmice“ na način da se nakratko kreće prema naprijed, zatim se vraća u polukrugu do ishodišne točke. Nakon toga se ponovno kreće naprijed, opisuje polukrug u suprotnom smjeru i ponavlja cijeli slijed. Kut između ravnog poteza u odnosu na vrh košnice odgovara kutu pod kojim pčele moraju letjeti u odnosu na položaj sunca, odnosno smjer izvora hrane potvrđuje se smjerom plesa u odnosu na položaj sunca. Tijekom ravnog kretanja pčela plesačica vrti zatkom ili trese tijelom. Prelazi li pčela ravnu crtu (središnju crtu osmice) odozgo prema dolje, izvor hrane se nalazi u suprotnom pravcu od sunca. Suprotno, trči li odozdo prema gore, izvor hrane je u smjeru sunca. Ako pčele pri izvođenju plesa pomaknu središnju crtu nalijevo ili nadesno od okomite, to ukazuje pčelama da se paša nalazi pod naznačenim kutom lijevo ili desno od smjera prema suncu. Okomita os koja pokazuje smjer prema Suncu prilikom plesa ne pokazuje realnu os gdje je Sunce u tom trenu, već pčele prilikom plesa zamišljaju da je Sunce uvijek ravno gore (vertikalna os). Tek kad pčela koja je primila informaciju izađe, ona mora pronaći Sunce i protumačiti kut plesa u odnosu na vertikalnu os tj. Sunce da nađe hranu. Pritom pčele pretvaraju kut pod kojem su letjele u odnosu na Sunce u kut plesa u odnosu na gravitaciju. Važno je napomenuti da ukoliko se pčela vraćala s paše, a Sunce joj se nalazilo 70° s lijeve strane pčela će svojim plesom pokazati drugima da se prema izvoru hrane Sunce nalazi s desne strane. U plesu će pokazati smjer 70° udesno (u smjeru kazaljke na satu). Dakle, ona zna da mora okrenuti kut plesa.



1 Schema des Bienentanzes (a Rundtanz, b und c Schwänzeltanz)

Slika 5. a) Kružni ples pčela, b) ples zatkom ako se izvor hrane nalazi pod kutem od 30 stupnjeva od sunca, c) ples zatkom ako se izvor hrane nalazi pod kutem od 80 stupnjeva od sunca.

(http://www.pčelinjak.com/tomljanovic9.htm)

Kada je izvor hrane oko 100 metara od košnice, okretaji u obliku osmice su brzi i ponavljaju se oko 10 puta unutar 15 sekundi. Međutim, u potrazi za hranom, pčele mogu letjeti i nekoliko kilometara, pa će njihov ples u povratku u košnicu biti sporiji i duži te sastavljen od manjeg broja okreta. Pčele promatračice specifičnim zvukom daju do znanja plesačici da se zaustavi i preda im uzorak nektara. Zatim izlaze van i nakratko izviđaju dok ne identificiraju izvor hrane po mirisu koji im je predan. Ples zatkom nije precizan, ali je od velike pomoći da pčele dođu u blizinu novog izvora hrane. Naravno, postoje i prijelazni oblici plesa između kruga i osmice ako se paša nalazi na udaljenosti između 10 i 100 metara.

Postoje i moderna razmišljanja o pčelinjem plesu zatkom. Jadno od takvih mišljenja dala je i znanstvenica Barbara Shipman sa sveučilišta u Rochesteru koja je, svoja istraživanja kvantne matematike spojila s ljubavlju prema pčelama, došla do zaključka da pčele percipiraju šest dimenzija koristeći zemljina magnetna polja. Ta „mala osmica“, prema njenim istraživanjima, sadrži mnogo više informacija nego što mi možemo percipirati gledajući dvodimenzionalni ili čak trodimenzionalni put. To objašnjava time da postoje različiti „mikrouzorci“ unutar tog istog plesa na međusobno različitim područjima gdje su i drugačija magnetska zračenja.

4.3.3. Značajnost pčelinjeg plesa

Prije samog otkrića pčelinjeg plesa smatralo se da pčele i ostali kukci općenito funkcioniraju samo na bazi instinkta i refleksa. Otkriće pčelinjeg plesa je dovelo do potpuno novog pogleda na ponašanje kukaca. Pčelinji ples je pomno proučen, te je postao slavan zbog mnogo razloga. Smatra se najboljim primjerom simboličke komunikacije, ne računajući ljudski govor. Iz svega što sam prije navela, vidljivo je da pčele prilagođavaju ono što vide sebi, primjerice, pri „pčelinjem plesu“ vertikalna os uvijek predstavlja Sunce neovisno gdje se ono zapravo nalazi na nebu. Dakle, pčele ne „prepisuju“ trenutno stanje prirode, već ga tumače na sebi svojstven način. Otkriće da pčele imaju takvo kompleksno ponašanje omogućilo je dublje istraživanje opažajnog svijeta kod kukaca te poboljšalo razumijevanje njihovog vida i drugih osjetila, memorije, orijentacije, učenja i socijalne organizacije. Samim time, ono je model za razumijevanje tih područja i kod drugih kukaca.

5. ORIJENTACIJA PČELA

Pčele se moraju znati dobro orijentirati u prirodi kako bi se nakon dugog puta koji prelaze u potrazi za hranom mogle vratiti u košnicu. Posjeduju zadivljujuću moć orijentacije u prostoru te za orijentaciju koriste razne, dobro uočljive orijentire: objekte (šume, drvorede, puteve, zgrade i slično), položaj Sunca, polariziranu svjetlost i magnetna polja Zemlje.

5.1. Prepoznavanje objekata

Pčele dobro pamte mjesto svoje košnice, pri čemu se orijentiraju prema raznim objektima u okolini. To možemo lako uočiti kod medonosnih pčela, primjerice kada bi pčelar samo koji metar pomaknuo košnicu sa njenog mjesta, pčele bi, vraćajući se s paše dolijetale baš na ono mjesto gdje je košnica prije stajala. To su eksperimentalnim putem i dokazali Dittmar i sur. (2014) s odjela neurobiologije CITEC na Sveučilištu u Bielfeldu. Pčelama se dala mogućnost pronalaska hrane u „letačkoj areni“ oblikovanoj kao kutija sa višestrukim i raznovrsnim potencijalnim orijentirima. Eksperimentalno je dokazano da nisu koristile magnetska polja (jer su ih zbunjivali dijametralno suprotni isto označeni kutevi, jedan s

hranom, jedan bez) već vizualne podražaje koji su ih doveli do hrane tako da su koristile vizualnu memoriju. Vizualna radna memorija je oblik kratkoročne memorije u trajanju od 5 sekundi između markera tj. objekata koji služe kao orijentiri, što je ekvivalent kratkoročnom pamćenju ptica. Dodavanjem specifičnih lokalnih oznaka lakše su našle kut s hranom (nagradom), što je samo potvrdilo teoriju da se oslanjaju na vizualnu memoriju. Otkriće da pčele koriste memoriju u orijentaciji prilikom prepoznavanja objekata značajno je jer im je ona uvijek dostupna za razliku od ostalih izvora informacija (primjerice Sunca). Za snalaženje vizualnom memorijom od velike koristi im je i raspoznavanje boja (više u poglavlju o optičkim osjetilima).

Pčelama za snalaženje služi i miris njene zajednice. Kod medonosnih pčela, na ulazu u košnicu često se vide pčele koje, okrenute glavom prema ulazu, lepetaju krilima, s uzdignutim zatkom, uz ispupčenu i otvorenu mirisnu žlijezdu (poglavlje 4.1.1.4. Nasanovljeva žlijezda) kako bi olakšale drugim jedinkama svoje zajednice pronalaženje košnice. To čine u velikom broju kad je potrebno da posebno označe svoju košnicu, primjerice kod rojenja.

5.2. Pozicija Sunca

Osim što koriste Sunce prilikom traženja i prenošenja informacija o izvoru hrane (vidi poglavlje 4.2.2. Ples zatkom), koriste se Suncem u određivanju sezonskih aktivnosti. Krenuvši od početka kalendarske godine, produljivanjem dana u odnosu na noć, pčelama je to znak za polagano aktiviranje. Kako vrijeme odmiče, znaju da će uslijediti topliji dani pa obavljaju pročisne letove, spremaju se početak pašnog razdoblja itd. U obrnutom slučaju, kada dani postaju sve kraći (nakon 21. lipnja), kreću s pripremama za prezimljavanje. Primjerice, solitarne pčele zatvaraju leglo i više ne liježu nova jajašca. Time vidimo, da duljina trajanja dana, odnosno položaj Zemlje u odnosu na Sunce (revolucija Zemlje) diktira pčelama sezonske poslove.

5.3. Polarizirano svjetlo

Polarizirano svjetlo je vrsta svjetlosti kod koje elektromagnetski valovi titraju samo u jednoj ravnini. Prirodna svjetlost nije polarizirana, polarizirana svjetlost nastaje tek kao rezultat loma svjetlosti tj. refleksije. Pčele, zahvaljujući polariziranom svjetlu na plavom nebu, određuju svoju poziciju kada im je Sunce nevidljivo (primjerice skriveno planinom ili u sumrak). Ova njihova sposobnost dolazi od izuzetne osjetljivosti pčelinjih očiju na polarizirano svjetlo. Dovoljno je da pčela registrira polarizirano svjetlo s 3 do 7 omatidija oka i time odredi smjer upada polariziranog svjetla. Naime, trebaju samo 7 do 10 % stupnja polarizacije da se orijentiraju. Evangelista i sur. (2014) eksperimentom su pokazali da kako se miče polarizacijski filter na plavom nebu (sa skrivenim Suncem) sinkronizirano se pomiče i ples pčela. Također, koriste i ultraljubičasto zračenje koje prodire kroz oblake tijekom oblačnog vremena.

5.4. Elektromagnetska polja

U prvoj trećini abdomena kukuljica i odraslih pčela pronađeni su kristali magnetita. Smatra se da im oni služe za registriranje magnetnih polja Zemlje. Znanstveno je dokazano da one te kristale mogu koristiti za orijentaciju, no bihevioralni eksperimenti tu tezu još moraju definitivno potvrditi. Gould i sur. (1978) eksperimentalno su utvrdili da pčele imaju remanentni magnetizam (trajni magnetizam koji preostaje nakon djelovanja magnetskog polja, u ovom slučaju Zemlje), na način da su pčele uzete iz pravokutne košnice u kojoj su imale izgrađeno saće u smjeru sjever - jug, prebacivši ih u cilindričnu košnicu bez ikakvih oznaka, i dalje gradile saće u smjeru sjever - jug. Isto je potvrđeno i smjerom gradnje saća u originalnoj košnici i cilindričnoj u smjeru istok - zapad. Također, jedan od eksperimenata je dokazao istu tezu na način da se pčelama saće postavilo iz vertikalnog položaja – prirodnog (plesom translatiraju sunčev kut u gravitacijski) u horizontalni položaj, čime pčele više nisu mogle koristiti gravitacijski kut, te su nakon nekoliko tjedana počele koristiti 4 glavne točke magnetnog kompasa (sjever, jug, istok, zapad).

6. ZAKLJUČAK

Svu kompleksnost pčelinje sposobnosti komuniciranja i orijentacije teško je opisati u cijelosti, no u svakom slučaju lako je shvatiti njenu značajnost i ulogu u opstanku zajednice. Prolazeći kroz građu pčelinjeg organizma, uočavamo da iako nema tako složeno građen živčani i osjetilni sustav, sposobna je za kompleksne procese komunikacije i orijentacije od kojih su neki jedinstveni u životinjskom svijetu. Postoje razni oblici komunikacije od kojih svaki doprinosi, kako pčeli individualno, tako i čitavoj pčelinjoj zajednici, na posredan ili neposredan način. Komunikacija feromonima, kao primjer neposredne komunikacije, omogućava brzu ponašajnu reakciju kompletne zajednice. Ujedno, olakšava komuniciranje neovisno o vanjskim uvjetima, a može se odvijati i u potpunom mraku te joj ne smeta buka ni prenapučenost zajednice. S druge strane imamo primjer direktne komunikacije, komunikacije hranjenjem, gdje je potreban fizički kontakt manjeg broja jedinki kako bi se informacija mogla prenijeti. To nipošto ne umanjuje značaj tog oblika komunikacije u odnosu na komunikaciju feromonima jer uvelike doprinosi miru unutar zajednice. Za razliku od ovih oblika komunikacije, komunikacija pčelinjim plesom jedinstvena je pojava u životinjskom svijetu i otkriva svu kompleksnost njihove sposobnosti komuniciranja. Govoreći o sposobnosti orijentacije pčela, nedvojbeno zaključujemo da im je time osiguran opstanak, neovisno o uvjetima u kojima su se našle, bili oni povoljni, prilikom čega se orijentiraju po Suncu, ili nepovoljni, kad se oslanjaju na orijentaciju polariziranim svjetlom ili magnetskim poljima Zemlje. Uzevši u obzir sve nabrojeno, dobivamo jasniju sliku o tome kako su pčele uspjele tako dugo preživjeti, prilagoditi se svim uvjetima i područjima. Pritom moramo imati na umu da mnoga pitanja vezana uz komunikaciju i orijentaciju pčela ostaju otvorena i zasigurno će biti predmetom istraživanja znanstvenika još mnogi niz godina što će rezultirati i novim spoznajama. U svakom slučaju i dosadašnje spoznaje iz tog područja i dalje fasciniraju.

7. LITERATURA

- Avargues-Weber A., Giurfa M. Conceptual learning by miniature brains. Proceedings of the Royal Society B, 2013.
- Belčić J., Katalinić J., Loc D., Lončarević S., Peradin L., Sulimanović Đ., Šimić F., Tomašec I. Pčelarstvo. Nakladni zavod znanje, Zagreb, 1990.
- Blum M.S. Honey Bee Pheromones. The Hive and Honeybee. Graham J.M. ed. Dadant and Sons, Hamilton, Ilinois, 1993.
- Breed M.D., Stiller T.M., Blum M.S., Page R.E. Honey Bee Nestmate Recognition: Effects of Queen Fecal Pheromones. Journal of Chemical Ecology, 1992.
- Dittmar L., Stürzel W., Jetzschte S., Mertes M., Boeddecker N. Out the box: how bees orient in an ambigous environment. Animal behavior. 2014.; http://pub.uni-bielefeld.de/publication/2651324
- Dražić M., Kezić N. Feromoni pčela. Journal of Central European Agriculture, 2000.
- Evangelista C., Kraft P., Dacke M., Labhart T., Srinivasan MV. Honeybee navigation : critically examining the role of polarization compass. Phil. Trans. R. Soc. B., 2014.; http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0037
- Free J.B. Pheromones of Social Bees. Chapman and Hall, London, 1987.
- Gould J.L., Kirschvink J.L., Deffeyes K.S. Bees Have Magnetic Remanence. Science 201: 1026-1028, 1978.
- http://blog.dnevnik.hr/apikultura
- https://en.m.wikipedia.org/wiki/Bee_learning_and_communication
- http://www.discoverlife.org
- http://www.pčelinjak.com/tomljanovic9.htm
- Klaić B. Rječnik stranih riječi. Nakladni zavod MH, Zagreb, 1985.
- Le Conte, Y., Arnold G., Trouiller J., Mason C., Chappe B. Identification of a Brood Pheromone in Honeybees. Naturwissenschaften, 1990.
- Matoničkin I., Habdija I., Primc B. Beskralješnjaci. Biologija viših avertebrata. Školska knjiga, Zagreb, 1999.
- Menzel R., Giurfa M., Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee. 2001.; https://faculty.washington.edu/chudler/facts.html
- Resh V. H., Carde R.T. Encyclopedia of Insects. Academic press, 2003.
- Shipman B., Shipman's quantum honeybees. University of Rochester, UR Math newsletter, 1998.
- Umeljić V. Pčelarstvo. Kolor Press, Kragujevac, 2006.

8. SAŽETAK

Jedan od najfascinantnijih životinjskih svjetova je svijet kukaca, a unutar njega posebno mjesto zauzimaju pčele. Ovaj rad prikazuje i objašnjava načine komunikacije i orijentacije pčela, počevši s biološkim preduvjetima u vidu građe živčanog i osjetilnog sustava, preko raznih oblika komunikacije i orijentacije, do njihove svrhe. Pčele se orijentiraju u prostoru raspoznavanjem raznih orijentira kao što su: stalni objekti (drveća, putevi, zgrade), pozicija Sunca, polarizirano svjetlo i magnetska polja Zemlje. Govoreći o sposobnosti orijentacije pčela, nedvojbeno zaključujemo da im je time osiguran opstanak, neovisno o uvjetima u kojima su se našle. Osim orijentirati se u prirodi, pčele moraju znati prenijeti informacije drugim pčelama u košnici. To čine raznim načinima od kojih su najvažniji: kemijska komunikacija (komunikacija feromonima), komunikacija hranjenjem i komunikacija pokretima tj. poznatim pčelinjim plesom. Razlikujemo dva tipa pčelinjeg plesa: kružni i ples zatkom. Otkriće da pčele imaju takvo kompleksno ponašanje kao što je pčelinji ples je omogućilo dublje istraživanje opažajnog svijeta kod kukaca te poboljšalo razumijevanje njihovog vida i drugih osjetila, osjeta, memorije, orijentacije, učenja i socijalne organizacije. Samim time, ono je model za razumijevanje tih područja i kod drugih kukaca.

9. SUMMARY

Bees are one of the most fascinating animals. This paper presents and explains the ways of communication and orientation among bees, starting with the biological requirements in the form of nervous and sensory systems, through various forms of communication and orientation. Bees orient themselves in space in relation with various landmarks such as permanent objects (trees, roads, buildings), the position of the sun, polarized light and magnetic fields of the Earth. Speaking about the ability of orientation of bees, we can conclude that their survival is strongly connected to their ability to orient themselves regardless of the conditions, they might find themselves in. In addition to orient in nature, bees need to know to transfer information to other bees in the hive which consists of various ways of which the most important are: chemical communication (communication using pheromones), communication by feeding (trophallaxis), and communication using movements e.g. dance language (used only by bees). There are two types of dances: round and waggle dance. These dances are used by the bees which found food to tell their nest mates where the source of food is. The importance of the dance language is that it's considered to be the first example of symbolic communication and the best example of such a type of communication (with the exception of human communication). The discovery that the bees can perform such a complex behavior has enabled a deeper study of perceptual world of insects and enhanced the understanding of their vision and other senses, memory, orientation, learning and social organizations. Therefore, it represents a model for understanding these areas among other insects also.