

pini (druga v državi) s samo enim nepravilnim odgovorom. Največje presenečenje pa sta nam pripravila Jan Skrinjar in Gregor Gračner, saj sta na državnem prvenstvu že štirikrat zapored prejela zlato priznanje. Lani sta obiskovala sedmi razred osnovne šole, na državnem prvenstvu v Novi Gorici pa sta že drugič tekmovala v višji skupini (kategorija srednješolcev) in dosegla daleč najboljši rezultat. Zlato priznanje sta namreč osvojila brez izgubljene točke. Lahko trdimo, da sta najboljša mlada čebelarja v Republiki Sloveniji. Ponosni pa smo tudi na to, da je strokovna komisija krožku na mednarodnem ocenjevanju medu v Semiču že drugič podelila zlato plaketo za cvetlični med.

To so vsekakor veliki dosežki. Kljub temu pa se pogosto sprašujem, ali so vsa ta zlata priznanja res tisto, po čemer hrepenimo. Že petindvajset let sem mentor mla-

dim čebelarjem in vedno pogosteje premišlujem, v čem je smisel, da deset let staremu otroku dopovedujem, kaj so feronomi in inhibini ter ga prisiljujem, naj si zapomni, da ima trot v polni semenski mošnji osem milijonov spermijev. Saj je vendar pomembneje, da bo znal skrbeti za čebele, predvsem pa, da bo imel rad naravo, da jo bo varoval in se naučil živeti z njo. Upam, da bom nekega dne zbral dovolj poguma in vrgel v peč tisto skladovnico testov in vprašalnikov, ki nas vse bolj oddaljujejo od čebel in narave. Nekoč bom popeljal svoje varovance k (ne)staremu čebelnjaku. Brez skrbi bomo posedli v mehko travo ter opazovali naše prijateljice na pisanih cvetovih in uživali v omamnem vonju bogate spomladanske paše. Morda bomo tako lažje našli pot k naravi, predvsem pa k človeku, od katerega se iz dneva v dan vse bolj oddaljujemo.



Biologija čebele

Čudeži čebeljega voska in skrivnost satovja

Carl J. Wenning

American bee journal, april 2004

Prevedel in povzel: **Peter Kozmus**, univ. dipl. inž. zoot.

Čebelarji se pogosto čudijo dejstvu, povezanim s čebelami in njihovo proizvodnjo medu, vendar pogosto prezrejo edinstvenost izdelave čebeljega voska in satovja. Vosek je kemično zelo kompleksna spojina, satovje pa je strukturno čudo. Za vsakogar, ki se v to nekoliko poglobi, sta vosek in satovje čudoviti stvaritvi.

Čebelji vosek je sestavljen iz več kot 300 različnih kemičnih spojin. Je kompleksna mešanica maščob in ogljikovodikov. Nov vosek ima nekoliko manjšo gostoto od vode (0,95 do 0,96 g/cm³) in je v vodi netopen. Na začetku je bele barve, vendar se z uporabo spreminja. Najprej se spremeni v rumeno, potem v rjavo in na koncu v rjavocrno barvo. Barva voska se spreminja zaradi vsebnosti cvetnega prahu in zaradi ostankov, ki ob vsaki izvalitvi čebele ostanejo v celicah. Čisti vosek ima tališče pri 62 do 65 °C in z višanjem temperature postane še bolj tekoč. Novo satovje se pri višji temperaturi in pri večjih pritiskih lahko ukrivi, kljub temu pa zdrži 20-krat večjo težo od lastne. Zaradi tega je vosek eden od čudežev v panju.

Satovje je zgrajeno iz voska, ki ga izločajo 12 do 18 dni stare čebele. Največ ga izločajo, kadar je v naravi ve-

liko nektarja, najverjetneje nenamerno. Energijsko je produkcija voska zelo intenziven postopek, saj iz osmih enot medu nastane le ena enota voska. Po nekaterih študijah čebele presnavljajo cvetni prah zato, da bi proizvedle vosek. Ko se čebele primerne starosti najedo nektarja in cvetnega prahu, se obesijo ena na drugo in naredijo nekakšen venec v bližini na novo nastajajočega sata, graditi pa ga začnejo, ko se jim začne izločati vosek, to je po približno 24 urah. Vosek se v obliki majhnih lusk, ki tehtajo približno 1,1 miligrama, izloča iz voskovnih žlez, ki so na spodnji strani zadka čebel delavk. Voščeno luskico čebele s spodnjega dela zadka z zadnjimi nogami premestijo naprej, jo preprimejo s prednjima nogama in usmerijo k sprednji čeljusti (mandibula). Vosek potem prežvečijo in vsako luskico posebej pritrdijo na novo nastajajoči sat. Celoten postopek premikanja, žvečenja in pritrdjevanja na sat traja povprečno štiri minute. Po navadi eno celico izdeluje več čebel. Posamezna čebela verjetno gradi celico manj kot eno minuto.

Satovje je zgrajeno neverjetno natančno. Pri *Apis mellifera* je premer celice čebel delavk 5,1 milimetra. Celice so pravilne šesterokotne oblike. Stene celic so postav-



Čebela na deviškem satu.

ljene ena proti drugi pod kotom 120° , njihovo dno ali baza pa je postavljena čez središče nasprotne celice, kjer se tri stene na drugi strani sata celic združijo v eno točko. Celice nimajo ravnega dna, ampak je to sestavljeno iz treh romboidnih sten, ki se združijo v eno točko in sestavljajo navznoter obrnjeno piramido. Vsaka od treh osnovnih ploskev ene celice sestavlja tretjino osnovne ploskve druge celice, zgrajene na nasprotni strani. Ta način omogoča celicam na nasprotni strani izjemno natančno spajanje. V skladu z gravitacijo čebele gradijo satovje od zgoraj proti tlom. Vsaka celica je za 9 do 14° obrnjena navzgor. Ta nagib je verjetno potreben zato, da ličinka in hrana za zalego ne zdrsne iz satovja.

En gram voska čebele oblikujejo v 20 cm^2 obojestranskega satovja. Tipični čebelji sat ima na površini 100 cm^2 857 celic, če le-te preštejemo na obeh straneh. Tako ima tipični 10-satni nakladni sistem v eni nakladi $2,5 \text{ m}^2$ satovja, ki tehta približno $1,4 \text{ kg}$ in ima približno 100.000 celic. Povprečen sat zalege ima iz 100 g voska zgrajenih 7.100 čebeljih celic, ki lahko sprejmejo 2.000 g medu, cvetnega prahu, čebelje zalege ali čebel. Za izdelavo sata, ki sprejme 1.000 g pokritega medu, je potrebnega samo 55 g voska.

Za izdelavo 1 g voska čebele potrebujejo 17 do 20 g sladkorja ali 8 g medu. Ker je izdelava voska energetsko tako potraten proces, ga čebele izdelujejo kar najbolj ekonomično. Izdelajo ga le toliko, kot ga potrebujejo za shranjevanje nektarja, medu ali za povečevanje gnezda. Pogosto ga tudi predelujejo in premeščajo znotraj panja. Čebele poleg osnovnega sata gradijo tudi povezovalno satovje, ki razpira navpične ulice, in podporno satovje, ki razpira horizontalne ulice, tako da ostane prostor za prehod čebel.

Minimalno in maksimalno načelo

Čebelji sat je »matematično optimalna oblika« nara-ve. Šesterokotni vzorec satovja je svojevrstno čudo. Veliko naravnih pojavov, med njimi tudi čebelji sat, so znanstveniki in matematiki poimenovali minimalno in maksimalno načelo. Minimalno načelo lahko vidimo na različnih mestih. Vesolje, na primer teži k temu, da se stvari pomikajo od večje energije proti manjši (voda in kamenje se pomikata navzdol, baterije se praznijo ...), dejanje se zgodi v najkrajšem možnem času.

Prav tako lahko tudi maksimalno načelo najdemo pri različnih stvareh, npr. primer drugega zakona o termodinamiki, po katerem neurejenost v vesolju (entropija) teži k maksimumu. Kombinacije minimalnega in maksimalnega principa pa lahko najdemo tudi pri istem primeru. Tako ima npr. krog maksimalno površino znotraj minimalnega obsega, kroglja ima maksimalen volumen znotraj minimalne površine in tako naprej. Z graditvijo satovja tudi čebele predstavljajo minimalno in maksimalno načelo.

Znanstveniki so dolgo slutili tisto, kar, kot je videti, čebele vedo že dlje časa. To je, da so za shranjevanje medu najprimernejše ponavljajoče se šesterokotne celice. To zmogljivost lahko razlagamo z več dejstvi. Za zgraditev šesterokotnih celic za skladiščenje medu je potrebna najmanjša količina voska. Šesterokotna oblika ima glede na površino, ki jo zapolnjuje, najmanjši obseg, sestavljajo pa jo tri pravilna telesa (kvadrat, pravilni trikotnik in pravilni šesterokotnik). Pravilna telesa so tista, ki lahko popolnoma pokrijejo površino. Če bi čebele uporabljale namesto šesterokotne oblike celic petkotno, osemkotno ali okroglo, se celice ne bi stikale med seboj, tako kot se pri šestkotni obliki, zato bi za zgraditev celic porabile več voska. Za primerjavo s šesterokotnimi celicami: pri graditvi celic v obliki kvadratov bi za enako površino porabili $7,5 \%$ več sten, pri celicah v obliki trikotnika pa kar $22,5 \%$ več sten. Šesterokotne celice se med seboj lepo stikajo in imajo tako najmanjši skupni obseg na površino. Krog ima v primerjavi s šesterokotnikom za $4,8 \%$ manjši obseg glede na površino, ki jo pokriva, vendar se celice v obliki kroga ne bi mogle tako lepo stikati med seboj, zato bi čebele za zgraditev takšnega satovja porabile več voska.

Pred več kot 2.000 leti so grški znanstveniki prepoznali neverjeten način čebeljega načina shranjevanja njihovih proizvodov in se mu čudili. Spraševali so se celo, ali so čebele zmožne določenega razmisleka, da so razvile tako popoln sistem shranjevanja. V $19.$ stoletju je biolog Charles Darwin (1859) opisal čebelji sat kot »absolutno najbolj ekonomičen izdelek iz voska«, vendar je bila njegova izjava le domneva. Šele leta 1999 so matematiki na Univerzi v Michiganu končno dokazali, da je



čebelji sat po svoji strukturi res najučinkovitejši način za shranjevanje medu v panju. Thomas Hales je v svoji 40 strani obsegajoči študiji (Hales, 1999) razložil, da je pravilni šestkotnik zares najučinkovitejša konstrukcija. V nadaljevanju opisuje, da je kot med stenami na dnu celice 109,5 in 70,5 stopinj, matematiki pa so že v 18. stoletju dokazali, da pri tristrani obliki prav takšna kota omogočata največji volumen. Leta 1964 je Fejes Toth dokazal, da dve šestkotni celici in dva kvadrata omogočata še boljšo strukturo glede na porabo voska za zgraditev maksimalnega prostora, vendar bi bila učinkovitost le za 0,35 % večja.

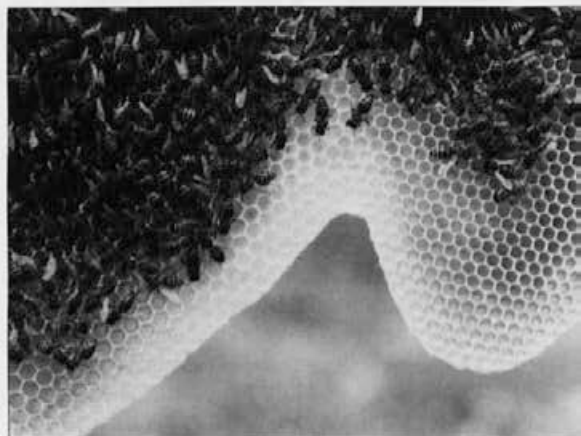
Naslednja osupljiva stvar pri vosku je, da pri visokih temperaturah in tresljajih neverjetno dobro ohranja svojo prvotno obliko, tudi če je otežen z medom, cvetnim prahom, zalego ali čebelami in kljub temu, da je zelo upogljiv (in zaradi tega pripraven za zvijanje). Zakaj takrat ne popusti, čeprav so temperature v panju včasih več kot 37 °C, in zakaj lahko nosi 20-krat večjo težo od lastne? Nekateri avtorji domnevajo, da se morda celice v obliki pravilnega šestkotnika najbolje upirajo zvitju.

Kako čebele zgradijo sat?

Ostaja še veliko nejasnosti, na katere moramo najprej najti odgovor, da bomo lahko bolje razumeli postopek graditve sata. Po več tednih opazovanj so se avtorju zastavila številna vprašanja:

Kako čebele zgradijo dve sosednji steni celice pod točno določenim kotom (120 °), da lahko zgradijo šestkotnik? To je popolna uganka. Nekateri razmišljajo in trdijo, da čebele najprej naredijo okrogle celice in jih naknadno preoblikujejo v šestkotne, vendar so študije različne strukture pokazale, da so celice že od začetka grajene v šestkotni obliki (Root, 1940).

Kako čebele določijo, kako debele naj bodo stene? Mogoče se orientirajo na »polje udobnosti« za čeljusti čebele delavke.



Pogled na novo zgrajen sat.

Kako čebele določijo pravilen premer čebeljih in trotojskih celic? Mogoče obstaja povezava z razmikom prednjih nog.

Kako čebele naredijo osnovni vzorec za sat?

Odgovori na ta vprašanja so samo razmišljanja, ki bodo morda postala hipoteze prihodnjih raziskovalcev, ki se bodo zanimali za skrivnost čudovitega voska.

Viri:

- Darwin, C. (1859): *Origin of species by Means of natural selection* (Accessed 18. februar 2004: <http://www.literaturepage.com/read/darwin-origin-of-species-266.html>).
- Gary, N. E. (1992): *Activities and behavior of honeybees in Joe M. Graham (ed.): The hive and the honey bee*, Hamilton, IL: Dadant and Sons.
- Hales, T. (1999): *The hexagonal honeycomb conjecture* (Accessed 18. februar 2004: <http://www.math.pitt.edu/thales/kepler98/honey/>).
- Root, A. I. & Root, E. R. (1940): *The ABC and XYZ of bee culture*. Medina, OH: The A. I. Root Company.
- Schmidt, J. O. & Buchmann, S. L. (1992): *Other products of the hive in Joe M. Graham (ed.), The hive and the honey bee*, Hamilton, IL: Dadant and Sons.

Predstavitve računalniškega programa »Čebelar«

Čebelarstva zveza Slovenije vas vabi, da se **v petek, 11. februarja 2005, ob 17. uri**, v prostorih Čebelarstva zveze Slovenije na Brdu pri Lukovici udeležite predstavitve računalniškega programa »Čebelar«.

Računalniški program je namenjen spremljanju vsakodnevnih čebelarjevih opravil, omogoča pa celovit, hiter in preprost zapis in vpogled v vse dogodke, povezane s čebelarjenjem. Tako omogoča vodenje podatkov o čebelarjenju na posameznih lokacijah, o vremenu, pregledih čebel, zamenjavi matic, zdravstvenem varstvu čebel, oskrbi čebel in o pridelavi čebeljih pridelkov. Omogoča tudi spremljanje prihodkov in stroškov ter načrtovanje pomembnih čebelarjevih opravil.

Program vam bo predstavil njegov avtor g. Valter Bratkovič.

Prosimo, da svojo udeležbo na predstavitvi sporočite do 5. februarja 2005 v tajništvo ČZS – tel. 01 7296 100.