

# MINIJATURNI LETEĆI ROBOTI

## A MINIATURE FLYING ROBOTS

**Prof. dr. sc. Gojko Nikolić**

*Tekstilno tehnološki fakultet*

### SAŽETAK

Minijturni roboti jedan su od pravac vrlo intenzivnog razvoja robota. Među njima leteći roboti, poput kukaca ili malih ptica, zauzimaju značajno mjesto. Namijenjeni su prije svega vojsci za izviđanje kao i vojno djelovanje, službama za spašavanje unesrećenih kod prirodnih katastrofa ili vojnih razaranja. Razvijaju se i kao mogući oprašivači cvjetova za slučaj da to bude potrebno. Znanstvenici očekuju njihovu upotrebu u procesu nadzora i praćenja promjena u okolišu. Ponašanje tzv. društvenih kukaca u prirodi dati će odgovore o kolektivnoj inteligenciji neophodnoj kod rada s velikim brojem minijturnih robota pogotovo mikroskopskih i nanoveličina.

**Ključne riječi:** *minijturni roboti, robot pčela, robot vretenac, robot kolibrić, crni stršljen*

### ABSTRACT

Miniature robots are one of the directions of very intensive robot development. Among them, flying robots, such as insects or small birds, take a significant place. They are intended primarily for the military reconnaissance and military action, or rescue services for the victims of natural disasters or war destruction. Also, they are being developed as possible pollinators of flowers in case it is needed. Scientists expect their use in the process of monitoring and tracking changes in the environment. The behavior of the so-called social insects in nature will give answers on the collective intelligence necessary while working with a large number of miniature robots, especially microscopic and nano-sized ones.

**Keywords:** *miniature robots, robotbee, dragonfly robot, hummingbird robot, black hornet*

### 1. UVOD

#### 1. INTRODUCTION

Jedan pravac razvoj robota usmjeren je prema minijaturizaciji pri čemu najviše inspiracije za rješenja pruža priroda. To područje robotike je u izrazito dinamičnom razvoju, stalno se pojavljuju nova rješenja. Ti roboti se izrađuju dimenzija od nekoliko stotina milimetara pa do onih nano veličina. Od ovih većih izrađuju se zmije, rakovi, vodozemci, kolibrići, vretenci, bumbari, žohari, skakavci, stonoge i niz drugih. Tema ovog članka je samo jedan dio ovih robota koji imitirati letenje malih ptica (kolibrića) ili kukaca. Iako su dronovi već dulje vrijeme prisutni i vrlo uspješni u letačkim mogućnostima kao i upravljanju s njima, zbog čega se traže nova rješenja po uzoru na prirodna?

Vojska kao i određene službe imaju prvenstveno cilj neprimjetno izviđanje, špijuniranje a potom i vojno djelovanje. To jedan od razloga. Računaju da sa tako malim letećim kukcima, daljinski upravljanim, mogu neopaženo izvidati teren pa i neotkriveno uletjeti u sobe pune npr. džihadista i špijunirati ih minijaturnom kamerom. Oni mogu u opasnim područjima otkriti kemijske otrove ili slično kemijsko oružje prije nego što u to područje dođu vojnici. Mogu također djelovati aktiviranjem eksploziva ili nekim od otrova.

Spasilačke ekipe nakon vojnih ili prirodnih katastrofa tragaju za unesrećenima u zatranim objektima. U uske prolaze prilikom tih pretraga mogu ulaziti samo mali mehanički leteći kukci.

Poljoprivrednici imaju želju da u slučaju potrebe, zbog nestanka pčela ili drugih kukaca, pomoću njih oprašuju cvijeće.

Razloga je bilo očito dovoljno da se krenulo u projektiranje tih robota prema biološkim uzorima.

Pri tome su se istraživali pojedini organizmi i njihova rješenja koja je priroda tijekom brojnih milenija odabrala kao uspješna. Roboti nadahnuti insektima mogli bi obavljati razne poslove koji ljudi ne mogu iz različitih razloga.

Insekti u prirodi služe složenom i krhkom ekosustavu planeta. Trenutno ih ima oko 900 tisuća vrsta, a neki znanstvenici procjenjuju da bi taj broj mogao biti i mnogo veći. Tijekom desetljeća znanstvenici su pomno promatrali insekte, učeći od njih i koristeći ta istraživanja i saznanja kako bi napravili značajne korake u robotici. [1]

Kao primjer mogu se navesti neka od tih istraživanja. Više njih je bilo usmjereno na muhe i njihov „Optic flow regulator“ odnosno sposobnost održavanja konstantnim omjera brzine i visine. Promjenom brzine, mijenja se i visina jer je omjer konstantan. Proučavan je i vizualni sustav muhe koji im omogućuje navigaciju s velikom lakoćom i preciznošću. Njihove oči sastavljene su od oko 4000 jedinica *ommatidia*, a svaka sadrži po osam fotoreceptora. Budući da je njihov mozak jednostavan, nije moguća širokokutna vizualna obrada visoke razlučivosti. Muhe zbog malog vizijskog područja svojih zbijenih očiju, okreću glavu kod usmjeravanja pogleda, te zbog toga tamo usmjeravaju i let. [2-2\*] Britanski znanstvenici su proučavali mozak insekata jer su ustanovili da jednostavniji organizmi, poput insekata u velikim zajednicama (društveni insekti), imaju iznenađujuće napredne kolektivne kognitivne sposobnosti.



**Slika 1** Robotski kolibrić [3]

**Figure 1** Robotic hummingbird [3]

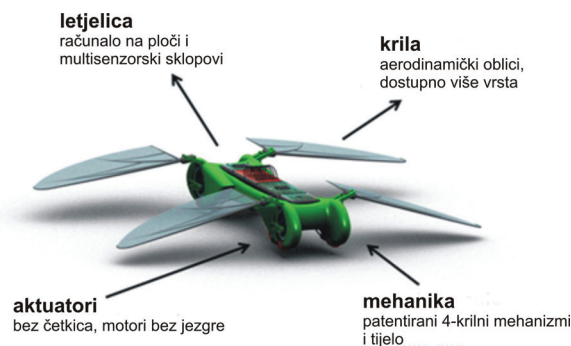
Posebno su interesantni zbog budućeg zajedničkog rada i ponašanja velikog broja minijaturnih robota s malim računalnim kapacitetima.

Razvijena rješenja su vrlo različita i stalno se pojavljuju nova. Ovi obrađeni primjeri u članku najviše se navode u stručnoj literaturi i daju sliku nastojanja znanstvenika da postignu zadovoljavajuća rješenja.

## 2. ROBOTI PTICE I SLIČNA RJEŠENJA

### 2. BIRDROBOTS AND SIMILAR SOLUTIONS

U planu opremanja američke vojske predviđeno je da svaki vojnik ima svoju robotsku pticu ili slični uređaj za izviđanje. Za te namjene Pentagon je financirao izradu robotiziranog kolibrića (špijuna-drona s kamerom). Sposoban je ulaziti kroz prozore unutar zgrada i uspješno manevrirati, slika 1. U časopisu TIME proglašen je jednim od 50 najboljih izuma u 2011. [3]



**Slika 2** Robot vretenac (Dragonfly TechJect), iz Georgia Techa [3]

**Figure 2** Dragonfly TechJect, from Georgia Tech [3]

Istraživači iz Georgia Techa stvorili su robota vretenca (Dragonfly) koji leti poput ptice i lebdi poput insekta, slika 2. Projektiran je za snimanje iz zraka, za istraživanje i nadzor određenog područja. Izrađeno je više prototipova kako bi se smanjila cijena. Uspjelo se postići da proizvodna cijena vretenca iznosi 399 dolara. Namjena Dragonfly TechJect osim za vojsku, je i za snimanja predjela, dobivanje izvrsnih fotografija, sigurnost zgrada i sl. poslove. [3]



Slika 3 a) Vojni mikro-dron Skeeter inspiriran vretencom, b) Crni stršljen [4]

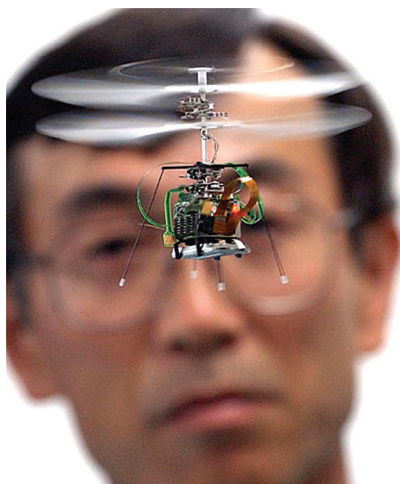
Figure 3 a) Military micro-drone Skeeter inspired by dragonfly, b) Black Hornet [4]

Za vojsku su istraživači Animal Dynamics sa Sveučilišta Oxford razvili mikro-drona Skeetera s lepršavim krilima i s četiri noge. Inspiriran je također vilinskim-konjicom odnosno vretencom, slika 3a. Vreteneci svoju nevjerojatnu okretnost duguju neovisnim mišićima na svakom krilu.

Zahvaljujući rješenjima koja je priroda optimizirala tijekom stotina milijuna godina, oni su sposobni za nevjerojatnu manevarske sposobnosti kod letenja i pristajanja.

Namjena Skeetera je također prikupljanje obavještajnih podataka. To je daljinski pilotirana letjelica dovoljno malena da stane na dlan. Može neotkrivena uletjeti u sobe i nazočne špijunirati minijaturnom kamerom. Konačni uređaj s korisnim opterećenjem ima nešto manje od 30 g. [4]

Britanski oružane snage već koriste minijaturni helikopter Crni stršljen (Black Hornet) koji može letjeti i biti u zraku 25 min, slika 3b.



Slika 4 Mikro-leteći robot FR-II, tvrtke Seiko Epson [5]

Figure 4 Micro-flying robot FR-II, by Seiko Epson [5]

U ovu skupinu, kao prelaz prema letećim robotima kukcima, spada i minijaturni dron, poput helikoptera, slika 4 i 5. Korporacija Seiko Epson razvila je mikro-leteći robot FR-II, koji je tada bio najlakši i najnapredniji. 1993. došao je u Guinnessovu knjigu rekorda kao najmanji mikrorobot na svijetu.



Slika 5 Dijelovi mikro-letećeg robota tvrtke Seiko Epson [5]

Figure 5 Seiko Epson's micro-flying robot parts [5]

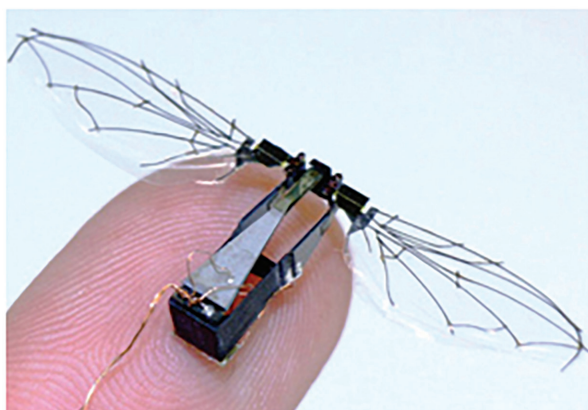
Dolet, kasnije razvijenog mikrorobota FR, bio je ograničen duljinom kabela za napajanje spojenog na vanjsku bateriju. Iako je bio radio-upravljan, morao je biti u blizini operatera tijekom leta zbog duljine kabela. Mikrorobotu je dodana kamera da može snimati i prenositi ih bežično putem Bluetootha na monitor kod osobe koja upravlja. Da bi se omogućio bežični let bilo je potrebno povećati snagu podizanja. [5]

### 3. KONSTRUKCIJA ROBOTA S DVA KRILA

#### 3. TWO WINGS ROBOT CONSTRUCTION

Leteći robot MAV (Micro Air Vehicle) nazvan Robot pčela (Robobee), razvili su prof. Robert Wood i njegov tim s Harvard School of Engineering and Applied Sciences (SEAS) i Instituta Wyss za biološki nadahnuo inženjerstvo, slika 6. To je jedan od najčešće prikazivanih minijaturnih letećih robota kukaca, odnosno Robot pčela. Namjena im je, kako se ističe, pronalazak žrtava prirodnih ili ratnih razaranja. Imaju sposobnost manevriranja u malim prostorima unutar ruševina, pretraživanje kamerama tih prostora te otkrivanje i dojavljivanje mjesta gdje su preživjeli. Za takav posao bio bi potreban veći broj MAV-a.

Prvi let Robota pčele (RoboBee) ostvaren je 2013. u njihovom laboratoriju. Težina mu iznosi 60 mg s rasponom krila od 3 cm. Za pokretanje krila korišteni su piezoelektrični aktuatori (pogoni).



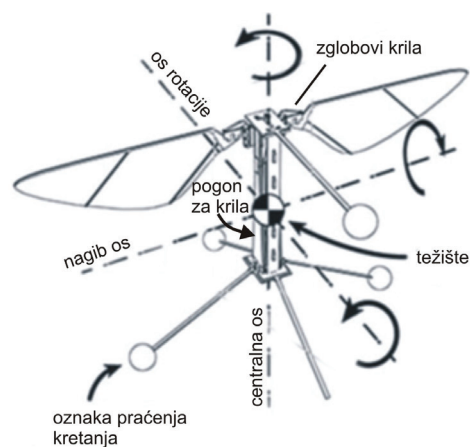
a)

Zglobovi su plastični i ugrađeni u okvir tijela od ugljičnih vlakana. Upravljački sustav upravlja pokretima svakog krilo neovisno u stvarnom vremenu. Pogon je učinkovitiji od mišića kukaca jer mu je izlazna snaga po jedinici mase 5 puta veća od prirodnih mišića. Krila mašu gotovo nevidljivo, 120 puta u sekundi. Još uvijek se napajanje električnom energijom ostvaruje spojnim kabelom što ograničava akcijski radijus kretanja i neovisnost robota. [7]

RoboBees sačinjavaju sljedeće komponente: kućište (egzoskelet), aktuator (pogon ili mišić za letenje), prijenos i krila, slika 6b. Kućište osigurava čvrsti oslonac pogonu (aktuatoru) i prijenosu, uz minimalnu masu. Krila izrađena od folija, moraju ostati kruta i zadržati oblik i pod velikim opterećenjima kod letenja. [7]

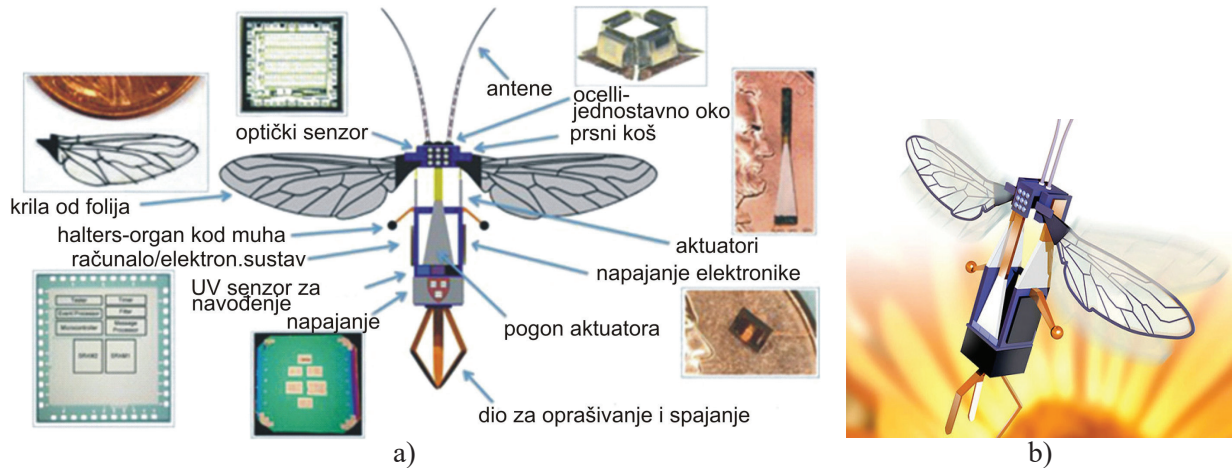
Od kraja prošlog stoljeća zdravlje pčela je ugroženo, najviše zbog uporabe pesticida kao i gubitka genetske bioraznolikosti primjenom genetski modificiranih usjeva. Znanstvenici kao odgovor na moguće probleme oprašivanja vide u pčelama robotima s dodatkom dijela za oprašivanje i spajanje sa cvijetom, slika 7. [8, 9]

Još jednu verziju robota pčele razvili su istraživači s Massachusetts Institute of Technology (MIT) i Sveučilišta Harvard. Taj maleni robot može sletjeti na bilo koju površinu kao svaka pčela. Može sletjeti na razne površine zahvaljujući upotrebi statičkog elektriciteta, slika 8. Taj elektrostatički naboj nazvali su „elektrostatično ljepilo“ kojim se priljubljuju za površinu.



b)

**Slika 6** a) Leteći robot MAV (Micro Air Vehicle) nazvan Robot pčela [6], b) Dijelovi tog robota [7]  
**Figure 6** a) Flying robot MAV (Micro Air Vehicle) called Robobee [6], b) Parts of this robot [7]



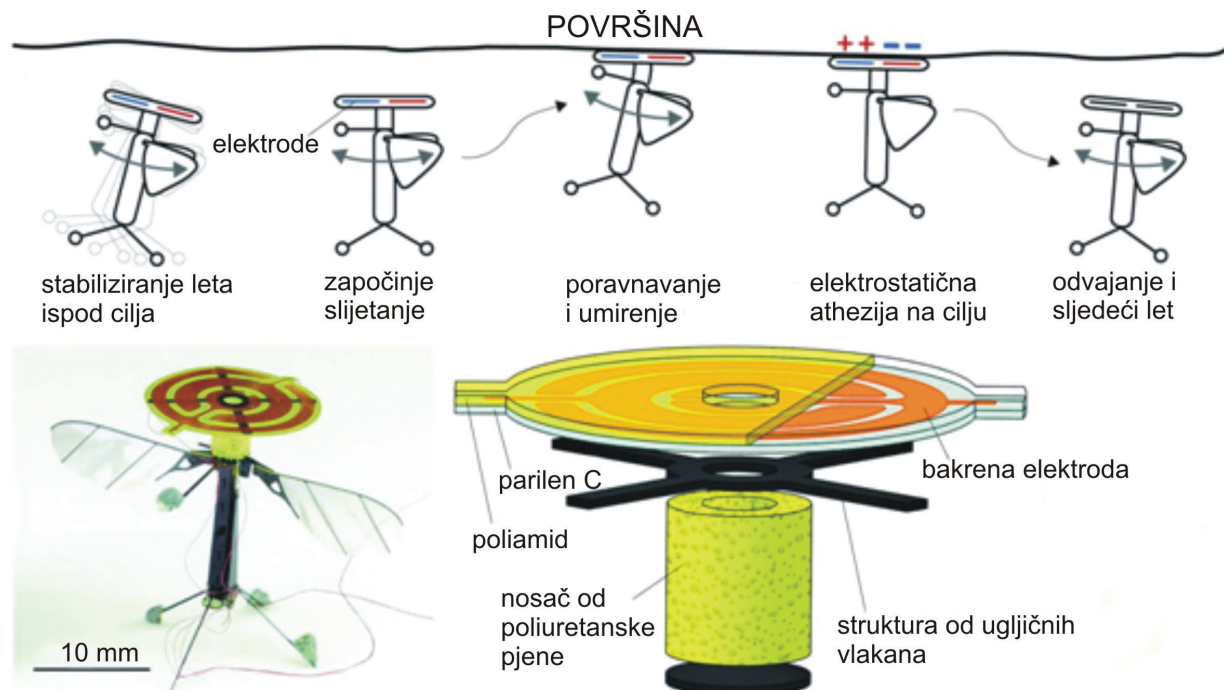
Slika 7 Robotske pčele za oprašivanje, a) Dijelovi [8], b) Izgled [9]  
 Figure 7 Robotbees for pollination, a) Parts [8], b) Appearance [9]

Osim što štedi energiju, dok je pričvršćen na površini, namjena mu je i za nadzor odnosno uhođenje. Robot pčela bi mogla nositi mali mikrofoni ili kameru i postaviti se bilo gdje na prozoru. [9, 10]

Konstrukcija robot pčele doživjela je izmjene kako bi mogla sletjeti na vodu, plivati i veslati. Osim s komorama opremljena je i s „raketnim sustavom“ za podizanja iz vode, slika 9. [1] Tehničke mogućnosti RoboBees nastavljaju se nadograđivati i postaju sve naprednije.

Par sitnih elektrolitskih pločica razgrađuju tekućinu na kisik, vodik tj. eksplozivni plin. Plin zauzima komoru u unutrašnjosti RoboBee te kada se iskrum zapali eksplozijom je podigne s vode. [11] Istraživači misle da će se jednog dana Robobee koristiti za istraživanje i praćenje promjena u okolišu. [12]

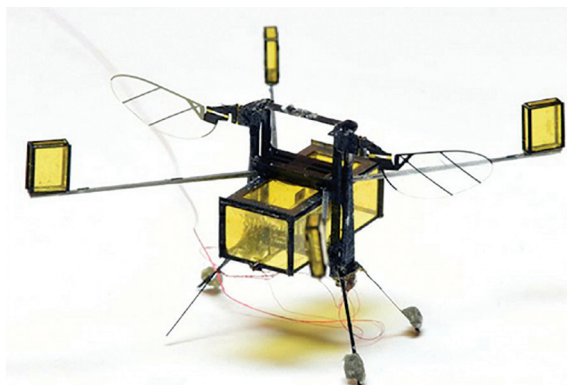
Istraživači sa Sveučilišta u Washingtonu izradili su letećeg robota RoboFly, slika 10. Izrazito je lagan težine 74 mg koji može letjeti, sletjeti na zemlju i vodene površine i kretati se.



Slika 8 Robobee of the Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Sveučilišta Harvard, koja se može „prilijepiti“ za stjenke [10]  
 Figure 8 Robobee of the Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Harvard University, which can be "glued" to the walls [10]

Namjene su mu misije traganja i spašavanja, kao i jednostavne inspekcije infrastrukture. Ove i ostale robote je vrlo teško izraditi, i njihova izrada uključuje sastavljanje nekoliko sitnih komponenata pod mikroskopom.

Činjenica da može letjeti, hodati i lebdjeti čini RoboFly jedinstvenim, što ga izdvaja od ostalih robota veličine insekata. Učinkovitiji je od postojećih u izbjegavanju prepreka, jer se jednostavno može prebaciti na drugačiji način kretanja. [13]



*Slika 9 RoboBee može letjeti, sletjeti u vodu, veslati i ponovo se podignuti u zrak [1]*

*Figure 9 RoboBee can fly, land in water, paddle and rise again in the air [1]*

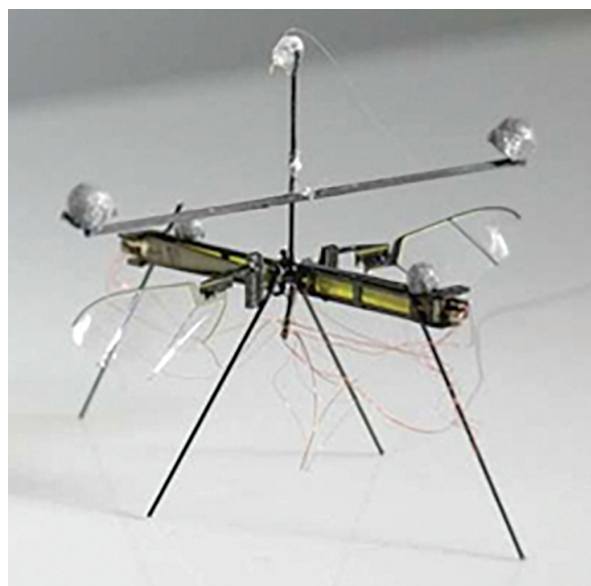
#### 4. KONSTRUKCIJA ROBOTA S 4 KRILA

##### 4. FOUR WINGS ROBOT CONSTRUCTION

Problem s robotima ove veličine je skladištenje dovoljno energije za letenje. Za podizanje sa zemlje i letenje potrebna je velika snaga. To znači potrebu za relativno velikom baterijom, a time se povećava težina, za što je potrebno opet više energije za podizanje.

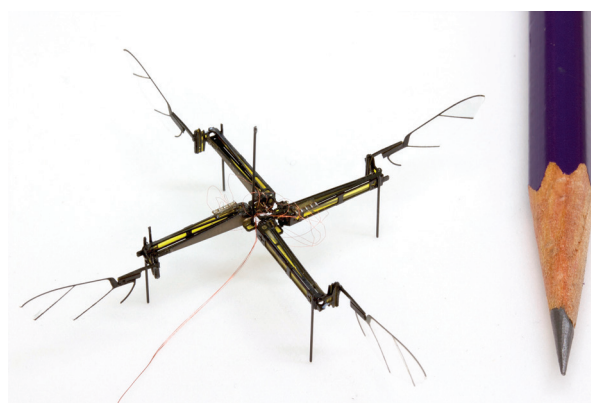
Jedno od mogućih rješenja je i novi mikrorobot s 4 krila koji bi mogao biti autonoman, kojeg je prikazao IEEE Robotics and Automation.

Ovaj robot koristi istu vrstu piezoelektričnih aktuatora kao i Harvardov RoboBee, samo je rotiranje bočno, slika 11. Težak je otprilike koliko i prva Robobee (143 mg), ali može podići dodatnih 260 mg, što je dovoljno za uređaje i senzore poput žiroskopa, optičkog senzora i malog laserskog daljinomjera.



*Slika 10 RoboFly, robot veličine insekata [13]*

*Figure 10 RoboFly, an insect-sized robot [13]*



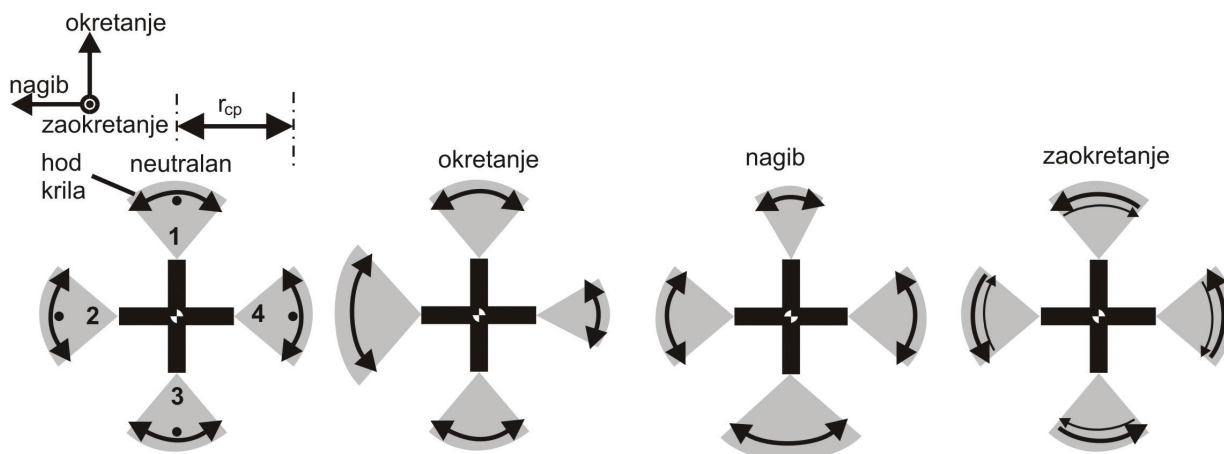
*Slika 11 Novi robot Robobee s 4 krila [14]*

*Figure 11 New Robobee robot with 4 wings [14]*

*Dodatna dva krila na ovoj novoj konstrukciji robot pčeli daju dovoljno snage za podizanje i nošenje ovih senzora i nešto veće baterije. Dodatna snaga dolazi od još dva nova krila.*

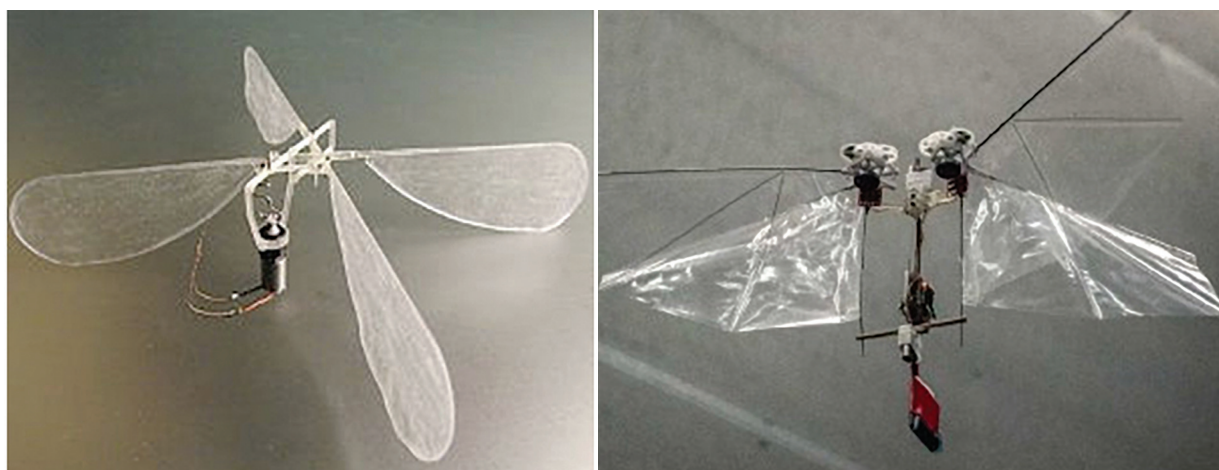
Drugo velika prednost je upravljanje letom. S dvokrilcem je teško upravljati kretanjem. Kod robot pčele s četiri krila ostvarena je izravna kontrola nad tri osi kretanja. Kombiniranjem raznih brzina i amplituda mahanja krila može se mijenjati brzina kretanja i smjer, slika 12. [14]

Osim već prikazanih postoje i druga konstrukcijska rješenja, kao i njihova namjena, slika 13. Neka se već izrađuju većim dijelom pomoću 3D pisača (Sveučilište Cornell). [15]



*Slika 12 Mijenjanjem nagiba krila i brzine mahanja moguće je upravljanje kretanjem robota [14]*

*Figure 12 By changing the wing inclination and the swing speed, it is possible to control the movement of the robot [14]*



*Slika 13 Razna druga rješenja izrade letećih robota kukaca [1, 15]*

*Figure 13 Various solutions for making flying insect robots [1, 15]*

## 5. ZAKLJUČAK

### 5. CONCLUSION

Razvoj minijaturnih letećih robota je dosta uznapredovao i našao svoju primjenu u vojsci, sigurnosnim službama, te službama za traganje i spašavanje. Nade se polažu i u moguće rješenje opravišavanja u poljoprivredi u slučaju potrebe. Jednako tako istraživači očekuju mogućnost u korištenju promatranja eko sustava u prirodi. Način izrade se stalno poboljšava pri čemu se najviše koriste iste metode proizvodnju kao i za MEMS-ove (Mikroelektromehaničke sustave).

## 6. REFERENCE

### 6. REFERENCES

- [1.] Alexander D.: Bug Life: These 5 Robots Were Inspired by Insects, dostupno na <https://interestingengineering.com/bug-life-these-5-robots-were-inspired-by-insects>, objavljeno 18.11.2018.
- [2.] Comparative functional anatomy of nervous system in invertebrates, dostupno na <http://jscienceclass.blogspot.com/2011/04/comparative-functional-anatomy-of.html>, objavljeno 3.5.2011.
- [3.] Falle R.: Robotic Spies: Hummingbirds, Dragonflies & Co., dostupno na <http://bsix12.com/robotic-spies/>, pristup 25.10.2020.

- [4.] Excell J.: Insect inspiration: UK defence drone mimics dragonfly flight, dostupno na <https://www.theengineer.co.uk/insect-inspiration-uk-defence-drone-mimics-dragonfly-flight/>, objavljeno 16.11.2016.
- [5.] Worlds Smallest Bluetooth flying robot, dostupno na <https://www.esato.com/news/worlds-smallest-bluetooth-flying-robot-264?mob=on>, objavljeno 18.8.2004.
- [6.] Honey Bee Colony Collapse, Robot Bees and Obama's Betrayal, dostupno na <https://www.truthandaction.org/honey-bee-colony-collapse-robot-bees-obamas-betrayal/>, pristup 27.10.2020.
- [7.] Perry C.: Robotic insects make first controlled flight, dostupno na <https://www.seas.harvard.edu/news/2013/05/robotic-insects-make-first-controlled-flight>, objavljeno 2.5.2013.
- [8.] Dujmušić I.: Pčele roboti za oprašivanje – dopuštamo li gubitak živih pčela?, dostupno na <https://matrixworldhr.com/2013/07/29/pcele-roboti-za-oprasivanje-dopustamo-li-gubitak-zivih-pcela/>, objavljeno 29.7.2013.
- [9.] Flying Insect like robot - RoboBee by Harvard University, dostupno na <http://blog.infizeal.com/2016/05/flying-insect-like-robot-robobee-by.html>, objavljeno 30.5.2016.
- [10.] David E.: RoboBee is a bug-sized drone capable of landing on any wall, dostupno na <https://siliconangle.com/2016/05/20/robobee-is-a-bug-sized-drone-capable-of-landing-on-any-wall/>, objavljeno 20.5.2016.
- [11.] K.K.: Robot bees can now plunge in and out of water using teeny combustible rockets!, dostupno na <http://www.thedigitalpick.com/2017/10/robot-bees-can-now-plunge-in-and-out-of.html>, objavljeno 26.10.2017.
- [12.] Foley E.K: Scientists made robotic bees to one day study the ocean, dostupno na <https://qz.com/1112673/robots-inspired-by-bees-will-one-day-help-scientists-study-the-oceans/>, objavljeno 26.10.2017.
- [13.] Fadelli I.: RoboFly: An insect-sized robot that can fly, walk and drift on water surfaces, dostupno na <https://techxplore.com/news/2020-01-robofly-insect-sized-robot-drift-surfaces.html>, objavljeno 21.1.2020.
- [14.] Ackerman E.: For Micro Robot Insects, Four Wings May Be Better Than Two, dostupno na [https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/formicro-robot-insects-four-wings-may-be-better-than-two?utm\\_source=robots.ieee.org](https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/formicro-robot-insects-four-wings-may-be-better-than-two?utm_source=robots.ieee.org), objavljeno 14.2.2019.
- [15.] Solon O.: Tiny 3-D-Printed Insect Robots Take Flight, dostupno na [https://www.wired.com/2011/03/flying-robot-insects/?utm\\_campaign=Feed%3A+wireid%2Findex+%28Wired%3A+Index+3+%28Top+Stories+2%29%29&utm\\_content=Google+Feedfetcher&utm\\_medium=feed&utm\\_source=feedburner](https://www.wired.com/2011/03/flying-robot-insects/?utm_campaign=Feed%3A+wireid%2Findex+%28Wired%3A+Index+3+%28Top+Stories+2%29%29&utm_content=Google+Feedfetcher&utm_medium=feed&utm_source=feedburner), objavljen 23.3.2011.

#### AUTOR · AUTHOR

• **Gojko Nikolić** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3, No. 2, 2015.

**Korespondencija · Correspondence**  
[gojko.nikolic@ttf.hr](mailto:gojko.nikolic@ttf.hr)