

Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

ASTROBIOLOGIJA I IZLOŽENOST KUKACA STRATOSFERNIM UVJETIMA– MISIJE HISTRION

Helena VIRIĆ GAŠPARIĆ¹, Renata BAŽOK¹, Darija LEMIĆ¹, Maja ČAČIJA¹, Marino TUMPIĆ², Ivica LAĐAREVIĆ², Gabrijel ERMAN³, Martina KADOIĆ BALAŠKO¹

¹Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb

²Astronomska udruga *Vidulini*, Vidulini 14 B, 52 341 Žminj

³E4 Technology, Matkići 22, 52 341 Žminj

mbalasko@agr.hr

Prihvaćeno: 08-04-2021

SAŽETAK

Astrobiologija (nekoć exobiologija) interdisciplinarno je područje proučavanja živog svemira. Astrobiologija predstavlja potragu za izvanzemaljskim životom, istraživanjem *in situ*, spektroskopijom sunčeve i izvansolarne planetarne atmosfere i potragu za vanzemaljskom inteligencijom. NASA-in svemirski program „Habitable Worlds“ organiziran između različitih odjela bavi se istraživanjem kojim se znanje o povijesti Zemlje i života na njoj nastoji upotrijebiti kao vodič za određivanje nastanjivosti okruženja izvan Zemlje. U 21. stoljeću sve je više astrobioloških misija, uglavnom na Mars, čiji je glavni cilj pronaći postojeći ili izumrli biološki materijal na temelju kojeg se proučavaju karakteristike izvanzemaljskog života. Sastavni je dio astrobiologije i svemirska poljoprivreda koja predstavlja koncept bioregenerativne podrške životu za istraživanje svemira s posadom s ciljem da posade same uzgoje hranu za svoje potrebe. Osim uzgoja hrane, svemirska poljoprivreda istražuje i kako živi organizmi reagiraju na uvjete u svemiru. Cilj je ovog istraživanja bio pomoću autonomnih bespilotnih letjelica (ABPL) istražiti stupanj preživljavanja kukaca u stratosferi te utjecaj stratosfernih čimbenika na biološke procese kukaca. Prvi su rezultati pokazali značajne promjene u biologiji odrasle ženke *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824), no za konkretne zaključke potrebno je provesti dodatna istraživanja.

Ključne riječi: autonomne bespilotne letjelice, HISTRION, krumpirova zlatica, svemirska poljoprivreda

ASTROBIOLOGY AND INSECTS EXPOSURE TO STRATOSPHERE CONDITIONS - HISTRION MISSIONS

SUMMARY

Astrobiology (formerly exobiology) is an interdisciplinary field of research that deals with the living universe. Astrobiology represents the search for extraterrestrial life through *in situ* research, spectroscopy of solar and extrasolar planetary atmospheres, and the search for extraterrestrial intelligence. NASA's Habitable Worlds program is involved in research that seeks to use knowledge of Earth history and life as a guide for determining the habitability of extraterrestrial environments. In the 21st century, there are an increasing number of astrobiology missions, especially to Mars, whose main goal is to find existing or extinct biological material that can be used to study the properties of extraterrestrial life and the universal principle of biology. An integral part of astrobiology is also space agriculture, which is the concept of bioregenerative life support for human spaceflight, with the goal of having the crew grow food for itself. In addition to growing food, space agriculture is studying how living organisms would respond to space conditions. The purpose of this study was to use small unmanned aerial vehicle to investigate whether insects can survive in the stratosphere and how stratospheric factors affect insect biological processes. The initial results showed significant changes in the biology of adult female *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824), but further studies are needed to draw better conclusions.

Key words: unmanned aerial vehicle, HISTRION, space agriculture, Colorado potato beetle

UVOD

Istarski svemirski program prvi je hrvatski svemirski program kojeg je osmislila i provodi Astronomska udruga *Vidulini*. Dio programa provodi se u Centru za svemirska istraživanja *Pula* (CSI *Pula*). Jedan od ključnih zadataka im je istraživanje bliskog svemira lansiranjem autonomnih bespilotnih letjelica (ABPL) u područje koje obuhvaća stratosferu i donji dio mezosfere na visinama od 20.000 m (Armstrongova granica) do 100.000 m (Karmanova granica) iznad razine mora. ABPL jesu letjelice bez posade ili pilota sposobne izvršiti kontinuirani let s unaprijed programiranim planom leta ili preko daljinskog upravljanja (Bento, 2008). Ekonomične su i mogu prenositi razne terete. Veličina im varira. Mogu biti male poput kukca pa sve do veličine komercijalnih zrakoplova (Cindrić, 2017). Naziv *Armstrongova granica* označava mjeru nadmorske visine iznad koje je atmosferski tlak od 6,25 kPa dovoljno nizak da uzrokuje ključanje vode pri temperaturi od 36 °C, što je normalna temperatura ljudskog tijela. Izlaganje pritisku ispod ove granice rezultira brzim gubitkom

svijesti, nakon čega slijedi niz promjena u kardiovaskularnim i neurološkim funkcijama i na kraju smrt, osim ako se tlak ne obnovi u roku od 60 – 90 sekundi (Shayler, 2000). Naziv *Armstrongova granica* potekao je od generala zrakoplovstva Sjedinjenih američkih Država Harryja Georgea Armstronga koji je prvi opisao fenomen (Tarver i sur., 2017).

U Istarski svemirski program se 2017. uključio i Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju. Lansiranjem druge generacije bespilotnih letjelica ABPL HISTRION 5 i HISTRION 6 BIO započelo je proučavanje izloženosti živih organizama (kukaca) stratosfernim čimbenicima. Cilj im je bio prikupljanje podataka o utjecaju stratosfernih čimbenika na biologiju kukaca. Kukci se u svemiru mogu javiti kao potencijalni štetnici (kontaminanti) u zalihama hrane na svemirskim misijama (Katayama i Yamashita, 2018). Prema nekim procjenama do 2050. godine svjetska će populacija dosegnuti 9,6 milijardi ljudi (Tilman i sur., 2011). Nestašica hrane bit će neizbježna pojava ne samo zbog broja ljudi već i zbog sve prisutnijih klimatskih promjena, stoga je važno istražiti utjecaje ekstremnih okolišnih uvjeta, poput onih koji vladaju u stratosferi, na preživljavanje i biologiju kukaca. Osim toga postoje predviđanja da će kukci u bliskoj budućnosti (10-ak godina) predstavljati jedan od osnovnih elemenata ljudske ishrane (Lemić, 2019).

U zadnjem desetljeću proučavan je utjecaj stratosfernih čimbenika na inaktivaciju endospora bakterija *Bacillus pumilus* SAFR-032 (Khodadad i sur., 2017), *Bacillus subtilis* (Smith i sur., 2011), *Bacillus simplex*, *Bacillus endophyticus*, *Bacillus luciferensis* i *Bacillus (Lysinibacillus) sphaericus* (DasSarma i sur., 2020). Navedena istraživanja pokazala su da je 99,99 % endospora inaktivirano nakon izlaganja UV radijaciji. Istraživanja o utjecaju stratosfernih čimbenika na kukce nisu provedena niti su do danas zabilježeni podatci o lansiranju kukaca u svemir.

Područje istraživanja – stratosfera

Sloj atmosfere koji se prostire između mezofere i troposfere naziva se stratosfera. Stratosfera je dinamički stabilan sloj koji je od troposfere odvojen tropopauzom (visina oko 10 do 17 km), a od mezofere stratopauzom (visina oko 50 km) (DasSarma i sur., 2020). Stratosfera se proteže od 10 km (na polovima od oko 8 km) do visine od oko 55 km. Temperatura je u stratosferi promjenjiva i neprestano se povisuje od -85 °C (na ekvatoru), odnosno -55 °C (na srednjim širinama i na polovima) te doseže 0 °C. Sloj je stabilan zbog temperaturne inverzije. Razlog leži u raspadanju molekularnog kisika (O₂) u ozon (O₃) pod utjecajem Sunčevih kratkovalnih (200 nm) ultraljubičastih zraka (UV) (Smith, 2013). Za čovjeka štetne ultraljubičaste zrake apsorbira kisik i pri tome se dijeli i veže u troatomski oblik kisika – ozon. Udio solarnih UV zraka, pa time i udio ozona, raste što je veća udaljenost od Zemlje. Na visini od 120 km kisik se pojavljuje gotovo isključivo kao ozon. Stratosfera sadrži 90 % atmosferskog ozona. Najveća koncentracija ozona pojavljuje se na visinama od

20 do 50 km zbog opadanja atmosferskog tlaka i porasta solarnog zračenja (Smith i sur., 2011).

Uvjeti u stratosferi među najekstremnijim su zabilježenim uvjetima. Istraživanja lansiranja mikroorganizama u stratosferu pokazala su da putovanje u stratosferu nije smrtonosno za metabolički neaktivne spore, liofilizirane kulture bakterija i gljivica te aktivne kulture halofilnih arheja (DasSarma i DasSarma, 2018). Daljnja su istraživanja pokazala da je u stratosferi atmosferski tlak između 0,1 do 10 kPa, temperatura je oko -50 °C, izuzetno je suho (relativna vlaga ~ 23 %) s povišenom razinom ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja (Adams i sur., 2007, Dachev, 2013). Prema DasSarma i DasSarma (2018) i Smith (2011) postoje brojna izvješća o bakterijama i gljivicama koje su pronađene u području stratosfere te laboratorijski uzgojenim organizmima koji su izloženi uvjetima u stratosferi. Smith (2013) je ustanovio da su uvjeti u stratosferi usporedivi s uvjetima koji vladaju na površini Marsa. Navedeni rezultati važni su za astrobiologe kojima je područje stratosfere od velikog interesa za brojna istraživanja. Oni se koriste ovim prirodnim okruženjem kao laboratorijem za proučavanje kako uvjeti na Marsu utječu na klijavost i plodnost organizama te također kako bi ustanovili ponašanje određenog biljnog i životinjskog materijala u uvjetima koji vladaju u stratosferi (Griffin i sur., 2017).

Pregled dosadašnjih misija HISTRION

U posljednjih 10-ak godina izrađeno je i testirano 13 autonomnih bespilotnih letjelica (ABPL) od kojih je osam (H ESP-2, H1A, H2, H3, H4, H6BIO, H7 i H104) poletjelo u bliski svemir i vratilo se s velikom količinom prikupljenih podataka. Preostale letjelice bile su kontrolne i služile su za testiranja na Zemlji ili praćenje meteoroloških uvjeta pri lansiranju. Većina odrađenih misija klasificirana je kao potpuno uspješna s ocjenom 10/10, dok je manji broj bio slabijeg uspjeha. Detaljan prikaz svih misija i njihovih karakteristika prikazan je tablicom 1. Misija HISTRION 6 BIO, lansirana 2017., bila je prva ABPL s astrobiološkim modulom koji je nosio uzorke kukaca u svemir (usmena komunikacija). Detaljan prikaz astrobiološkog materijala, odnosno popis vrsta kukaca i razvojnih stadija koji su lansirani u svemir tijekom triju istraživanih godina prikazan je tablicom 2.

Tablica 1. Pregled svih dosadašnjih misija HISTRION

Table 1. Overview of all previous HISTRION missions

Naziv ABPL	Datum lansiranja	Glavna oprema	Teret	Lokacija lansiranja	Visina leta	Uspjeh misije
HISTRION ESP-2 (kontrolna letjelica)	22.08.2009.	Kućište sonde	X	Vidulini, 52341 Žminj	50 m	100 %
HISTRION 1A	11.07.2010.	Optika, kamere	Probni test objekt (igračka)	Vidulini, 52341 Žminj	< 20.000 m	100 %

HISTRION 2	11.07.2010.	Optika, kamere, GPS	X	Vidulini, 52341 Žminj	< 20.000 m	100 %
HISTRION 3 (kontrolna letjelica)	11.06.2011.	Optika, kamere	X	Vidulini, 52341 Žminj	50 m	100 %
HISTRION 4	11.06.2011.	Elektronika i senzorika: GPS + kamera	X	Zagreb, poligon DHMZ u Maksimiru	> 20.000 m	100 %
HISTRION 5	08.07.2017.	Dodatna elektronika (GPS + kamera + senzorika)	X	Pula, Vidikovac	≥ 27.000 m	0 %
HISTRION 6 BIO	08.07.2017.	Standardna oprema	Astrobiološki modul	Pula, Vidikovac	≥ 23.000 m	100 %
HISTRION 7. (kontrolna letjelica)	08.07.2017.	Oprema za potporu praćenje lansiranja	X	Pula, Vidikovac	50 m	100 %
HISTRION 104 (kontrolna letjelica)	2017.	Oprema za potporu praćenje lansiranja	X	Testiranje u laboratorij, na zemlji, na moru i u zraku, više različitih lokacija	X	100 %
HISTRION 107	23.08.2019.	Zajednički veliki balon: GPS + kamera + senzorika + online praćenje lokacije i visine	Astrobiološki modul	Pula, Poligon A Svemirske luke Herman Potočnik	35.948,90 m	80 %
HISTRION 109						
HISTRION 108	12.10.2020.	Zajednički veliki balon: GPS + kamera + senzorika + online praćenje lokacije i visine	Astrobiološki modul	Pula, Poligon B Svemirske luke Herman Potočnik	42.585,10 m	60 %
HISTRION 110						

*Zeleno označene misije nosile su astrobiološki modul s uzorcima kukaca

MATERIJALI I METODE RADA

Astrobiološki modul – kukci kao testni subjekti

ABPL s astrobiološkim modulima (slika 1.) imaju optoelektroničku, računalnu, komunikacijsku i senzorsku opremu, sustave za globalno pozicioniranje te energetske jedinice. Teretni prostor modula veličine je 100 x 100 x 150 mm. Astrobiološki modul izrađen je pomoću 3D printera uz dodatak posebnih komora za prijenos uzoraka. Svrha je astrobiološkog modula ispitivanje utjecaja stratosferskih uvjeta na biljni i životinjski svijet te na samu elektroniku. Sklop elektronike sastoji se od modula za napajanje, modula za komunikaciju, modula za optoelektroniku i modula za pohranu parametara sa senzora. Modul

za komunikaciju šalje poziciju i visinu sonde, dok modul za pohranu parametara sa senzora sprema podatke na memoriju. Budući da podatci sa senzora i optoelektronike nisu dostupni preko radiokomunikacije, ABPL je potrebno pronaći nakon povratka na Zemlju.



Slika 1. Unutarnji prikaz astrobiološkog modula s pripremljenim uzorcima kukaca tijekom misije HISTRION 108 i 110 (snimio: Ivica Lađarević)

Figure 1. Internal display of the astrobiological module with prepared insect samples during the HISTRION 108 and 110 missions (photo: Ivica Lađarević)

Tablica 2. Popis vrsta i broj pojedinih stadija kukaca korištenih u istraživanju

Table 2. List of species, development stages and number of insects used in the research

ABPL /godina	Naziv kukca	odrasli	ličinke	kukuljice	jaja
HISTRION 110 / 2020.	<i>Blaptica dubia</i> (Serville, 1838)	10	10		
	<i>Tenebrio molitor</i> L.	10	10	10	
	<i>Acanthoscelides obtectus</i> Say, 1831	100			
	<i>Bruchus pisorum</i> (Linnaeus, 1758)	100			
HISTRION 109 / 2019.	<i>Tenebrio molitor</i> L.	10	10	10	
	<i>Acanthoscelides obtectus</i> Say, 1831	100			
	<i>Bruchus pisorum</i> (Linnaeus, 1758)	100			
	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	10			
HISTRION 6 BIO / 2017.	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> (Say, 1824)	10	10	10	100
	<i>Tenebrio molitor</i> L.		10	10	
	<i>Diabrotica virgifera virgifera</i> LeConte, 1858				100

Blaptica dubia (Serville, 1838) tropska je vrsta žohara koja živi u Guyani, Brazilu i Argentini. Veličina je odrasle jedinice maksimalno oko 5 cm, a mogu živjeti do 18 mjeseci. Spolnu zrelost postižu za 3-5 mjeseci. Kod ove vrste javlja se spolni dimorfizam. Spolno zreli mužjak dobije krila s kojima ne može letjeti, a ženka nema krila, već na leđima možemo primijetiti formu nalik zakržljanim krilima. Oplođena ženka nosi mlade oko mjesec dana i leže žive mlade. Istraživanja su pokazala da ličinke ove vrste žohara mogu podnijeti nagle

promjene temperature (Goode, 2013) te preživjeti čak do 48 sati na temperaturi od 0 °C, što je za ovu tropsku vrstu iznenađujuće (Beebe i sur., 2019)

Tenebrio molitor L., 1758, veliki brašnar, štetni je kornjaš u skladištima. Tijelo mu je dugo 12 – 17 mm i crne je boje. Ličinka ima valjkasto tijelo žute boje, dugo 28 mm. Hrani se brašnom i njegovim proizvodima, ali se može naći i u žitaricama, mesu, mliječnom prahu te na drugim proizvodima. Veće štete čini na raznim drvenim dijelovima i na ambalaži koje ličinka može pregristi. Ima jednu generaciju godišnje (Maceljski, 2002). Odrasli stadiji i ličinke vrlo su otporni na niske temperature, mogu preživjeti nekoliko dana na temperaturi od 4 °C (Sönmez i Koç, 2019).

Žišci mahunarki napadaju zrno biljaka iz porodice mahunarki. Dvije najvažnije vrste jesu grahov (*Acanthoscelides obtectus* Say, 1831) i graškov žižak (*Bruchus pisorum* (Linnaeus, 1758)). Grahov žižak vrlo je opasan štetnik graha, a napada grah cijele godine (na polju i u skladištu). Jaja odlaže u poluzrele mahune graha na polju. Koliko će jaja odložiti na uskladištenom grahu uvelike ovisi o temperaturi, vlazi, ishrani ličinka i drugim čimbenicima. Zarazu je najlakše uočiti po ovalnim ili okruglastim mrljama na sjemenu graha. Temperatura od 27 do 28 °C povoljna je za razvoj štetnika te razvoj traje oko mjesec dana. U jednom zrnu može se razviti i veći broj ličinka, najviše 20 – 30 (Maceljski, 2002). Maceljski (2002) također navodi da grahov žižak u zamrzivaču pri -18 °C ugiba za 3 sata dok na temperaturi oko 65 °C ugiba za 4 sata. Graškov žižak ima jednu generaciju godišnje. Prezimljuje odrasli oblik u zrnima graška, u smočnicama i skladištima, ali može prezimiti i u prirodi pod korom drveća ili u polju na otpalom zrnju. Odrasli kornjaši ne hrane se za vrijeme prezimljenja. Razvoj od jaja do odraslog oblika traje oko dva mjeseca. Zaražena zrna lako se prepoznaju po okruglim prozorčićima (Maceljski, 2002). Istraživanje Stoyanova (1984) o djelovanju niskih temperatura na graškovog žiška pokazalo je da je ovaj kukac izuzetno otporan na niske temperature. Smrtnost od 99,9 % zabilježena je nakon 16 dana izlaganja temperaturi od -16 °C.

Harmonia axyridis (Pallas, 1773), azijska božja ovčica, podrijetlom je iz Azije. Proširila se čitavim svijetom te se nalazi na listi 100 najvažnijih invazivnih vrsta u svijetu. U Sjevernu Ameriku i Europu unesena je kao biološko sredstvo za suzbijanje lisnih uši. Sredinom 1990-ih u Europi se prodavala kao biološko sredstvo te je na taj način unesena u mnoge zemlje. Odrasle jedinke mogu preživjeti 2 do 3 godine i imaju dvije generacije godišnje. Aktivnost im započinje pri porastu temperature na 10 °C (Roy i sur., 2016). Jedinke su iznimno prilagodljive, a u Japanu se ova vrsta prilagodila na zimu te u stanju dijapauze može preživjeti temperature između -16 °C do -19 °C (Watanabe, 2002).

Leptinotarsa decemlineata (Say, 1824), krumpirova zlatica, prezimi u tlu te iz tla počinje izlaziti kad temperatura na dubini od 10 cm dosegne oko 14,5 °C. Više temperature pogoduju razmnožavanju zlatice, a jedna ženka odloži od 300 do 1000 jaja. Prema Maceljski (2002), razvoj jaja najkraći je pri 25 °C i traje 5 – 16 dana. Razvoj prvog stadija ličinke traje 3 – 4 dana, drugoga stadija 3 – 7

dana, trećeg 4 – 8 dana, a četvrtog 5 – 11 dana. Nakon razvoja ličinke odlaze u tlo na kukuljenje. Kukuljici je potrebno da zbroj efektivnih temperatura viših od 11,5 °C bude 180 °C (Maceljski, 2002). Krumpirova zlatica izuzetno je prilagodljiv kukac na razne vanjske utjecaje (Alyokhin, 2009). Tome svjedoči i činjenica da je razvila rezistentnost na čak 56 različitih djelatnih tvari i na razne strategije suzbijanja (Alyokhin i sur., 2008). U dijapauzi tijekom prezimljenja može izdržati temperature tla do -12 °C (Boiteau i Coleman, 1996).

Diabrotica virgifera virgifera LeConte, 1858, kukuruzna zlatica, vrlo je opasan štetnik kukuruza u SAD-u i Europi. Invazivna je vrsta, podrijetlom iz SAD-a (Miller i sur., 2005). Glavne ekonomske štete čine ličinke kukuruzne zlatice koje se hrane na korijenu, a kao posljedica ishrane javlja se znatno oštećenje korijena zbog kojeg biljka gubi uporište u tlu, može u potpunosti polegnuti i osušiti se (Bažok, 2007.) Kukuruzna je zlatica u kratkom vremenu postala rezistentna na brojne insekticide (Meinke i sur., 1998.). Osim na insekticide, razvila je rezistentnost i na plodored, kao i na *Bt* toksine u genetski modificiranom kukuruзу (Mikac i sur., 2019). Jaja kukuruzne zlatice dobro podnose hladnoću. Ellsbury i Lee (2004) ustanovili su da je stopa izlaska iz jaja nakon izlaganja temperaturi od -12 °C bila 40 %, dok tek pri temperaturi od -17.5 °C nije bilo izlijevanja.

Za sve navedene kukce postoji tek nekoliko istraživanja s podacima o ekstremnim uvjetima koje mogu podnijeti (Allen i sur., 2012; Beebe i sur., 2019; Ellsbury i Lee, 2004; Goode, 2013; Patterson i Duman, 1978). Postoji potreba za dodatnim istraživanjima o utjecaju niskih temperatura, vlage i ostalih čimbenika na različite razvojne stadije ovih kukaca. Dobivene spoznaje bile bi od velike važnosti za buduća istraživanja ovog tipa jer bismo saznali kako kukci reagiraju na ekstremne uvjete i postoji li mogućnost da prežive u svemiru.

Metodologija lansiranja kukaca u svemir

Lansiranje ABPL-a u bliski svemir provodi se pomoću specijalnih meteoroloških balona za mjerenje atmosferskoga tlaka, temperature, vlažnosti te brzine i smjera vjetra. Njihovo gibanje i rad uređaja prati se radarom. Promjenom visine i tlaka zraka balon se širi, a volumen mu se poveća i do nekoliko puta. Najizdržljiviji baloni mogu dosegnuti nadmorsku visinu do 40 km te u konačnici pucaju, nakon čega započinje povratak na Zemlju. Baloni korišteni u misijama HISTRION napravljeni su od gume otporne na niske temperature i ultraljubičasto zračenje te napunjeni helijem, što odgovara standardnim karakteristikama meteoroloških balona (Ravlić, 2019). Neposredno prije lansiranja obavlja se predlansirno testiranje postavljanjem kontrolne letjelice iznad lansirne lokacije na visinu od 30 – 600 m. Kontrolne letjelice snimaju događanje iz zraka te bilježe meteorološka mjerenja.

Tablica 3. Datum i vrijeme lansiranja ABPL-a
Table 3. UAV launch date and time

ABPL	Datum lansiranja	Vrijeme lansiranja
HISTRION 6 BIO (H 6 BIO)	08.07.2017.	12:00:00
HISTRION 5 (H 5)	08.07.2017.	12:15:00
HISTRION 107 (H 107) HISTRION 109 (H 109)	23.08.2019.	14:13:20
HISTRION 108 (H 108) HISTRION 110 (H 110)	12.10.2020.	16:03:11

Za sve bespilotne letjelice zabilježen je točan datum i vrijeme lansiranja koji su prikazani tablicom 3. Nakon lansiranja ABPL putuje uvis brzinom od 8 - 17 m/s, ovisno o uzgonu, no brzina leta varira ovisno i o vremenskim prilikama. Potrebno je oko 30 minuta da ABPL prijeđe područje troposfere i uđe u područje tropopauze. Nakon 45 minuta od polijetanja ABPL ulazi u stratosferu, prelazi *Armstrongovu granicu* (20.000 m + 1 m) te ulazi u područje bliskog svemira. U trenutku kada ABPL postigne maksimalnu visinu leta, specijalni baloni pucaju te započinje faza povratka. Prije svakog slijetanja *Kontrola leta* priprema simulacije sletne putanje uz uporabu sustava za usporenje slobodnog pada kako bi spasilački timovi mogli prikupiti letjelice na zadanim koordinatama. Preuzete letjelice sa svim prikupljenim podacima i astrobiološkim materijalima u najkraćem se vremenu dopremaju u radionice i laboratorije na obradu podataka.

ANALIZA I REZULTATI MISIJA HISTRION 2017. – 2021.

HISTRION 5 i HISTRION 6 BIO

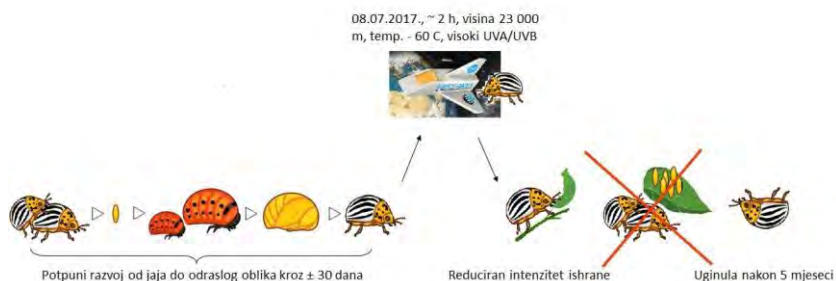
ABPL HISTRION 6 BIO (H 6 BIO) i ABPL HISTRION 5 (H 5) nakon lansiranja dosegli su maksimalnu visinu u stratosferi od 23.000 m za H 6 BIO (slika 2.), odnosno 27.000 m za H 5.



Slika 2. Pogled iz ABPL-a HISTRION 6 BIO 08. srpnja 2017. godine
Figure 2. View from ABPL HISTRION 6 BIO on on July 8, 2017.

ABPL H6 BIO u cijelosti je obavio planiranu misiju te je naposljetku sletio u vodu. Koordinate su locirane pomoću GSM-GPS uređaja za praćenje pozicije te je letjelica pokupljena s lokacije pada i dostavljena u laboratorij na daljnju analizu letnih parametara te astrobioloških medicinskih materijala. Radiokontakt s H5 izgubljen je u ranoj fazi leta te se let smatra neuspjelim.

Astrobiološki materijal koji je sadržavao kukce analiziran je na Zavodu za poljoprivrednu zoologiju. Primjerci ličinki i kukuljica *T. molitor* nisu preživjeli let u svemir. Materijal se vratio u dehidriranom stanju kao i jaja *D. virgifera virgifera*. Procijenjeno je da se uzorak smrznuo zbog niskih temperatura koje vladaju u stratosferi ili je dehidracija uslijedila usred povišenog UVA/UVB zračenja. Ista procjena primijenjena je na ličinke *L. decemlineata*. Jaja *L. decemlineata* vratila su se u vizualno optimalnom stanju. Izlazak ličinki očekivao se unutar 5 dana. Nakon 10 dana izlijevanje je izostalo, a jaja su propala, odnosno poprimila smeđecrnu boju. Odrasli *L. decemlineata* jedini su preživjeli let u svemir. Od 10 poslanih primjeraka prve generacije 5 se vratilo živo. Četiri su primjerka uginula tijekom iduća tri dana, a jedna je ženka preživjela te biologijom značajno odskočila od standardnih procesa (slika 3.). Ženka *L. decemlineata* nastavila je s ishranom na biljkama krumpira, no ishrana je bila slabijeg intenziteta. Kretanje je bilo uobičajeno. Krila nisu bila oštećena i funkcija mogućnosti leta ostala je nepromijenjena. Svaki pokušaj kopulacije ocijenjen je kao neuspješan, odnosno ženka nije pokazivala interes za kopulaciju s mužjacima koji su dodavani u uzgojni kavez. Životni vijek ženke bio je značajno produžen. Nadživjela je drugu generaciju iste populacije te nastavila živjeti do sredine prosinca 2017. Procijenjeno je da je jedinka živjela 5,5 mjeseci. Životni ciklus krumpirove zlatice od jaja do odraslog oblika traje od 14 do 56 dana ovisno o temperaturi (Ferro i sur., 1985), a odrasla jedinka živi oko 25 dana (Alyokhin, 2009). Khodadad i sur. (2017) pomoću polimorfizma pojedinačnog nukleotida ustanovili su razlike u sporama bakterija koje su se vratile iz stratosfere žive i spora bakterija koje nisu bile izložene stratosfernim uvjetima, što znači da je došlo do genetskih promjena. Za donošenje zaključaka o konkretnom utjecaju stratosfernih čimbenika na odraslu jedinku *L. decemlineata* pokus je potrebno ponoviti i eventualno istražiti na genetskoj razini.



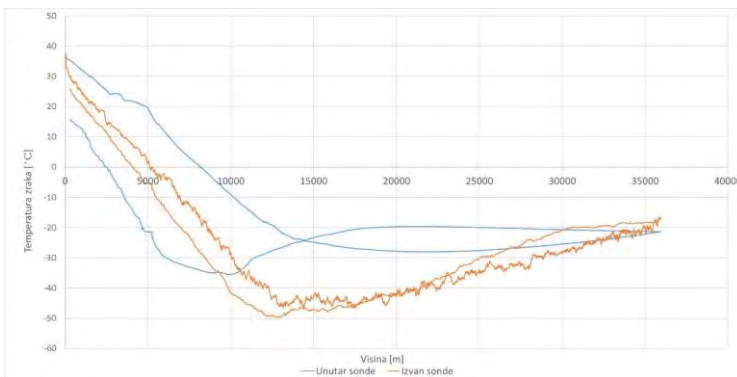
Slika 3. Prikaz biologije *L. decemlineata* prije i poslije leta u svemir

Figure 3. Life cycle of *L. decemlineata* before and after space flight

HISTRION 107 i HISTRION 109

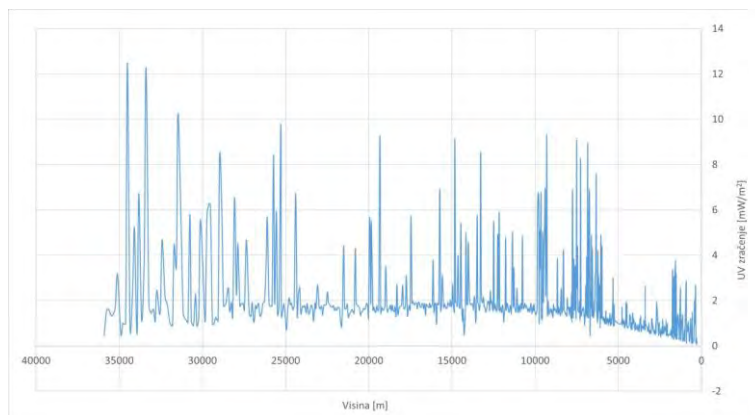
ABPL H107 i H 109 maksimalnu visinu od 35.948,90 metara dosegnule su u 15:51:22 sati. U penjanju su provele 1 h 38 min 2 s, a pri slijetanju 32 min. Letjelice su praćene u realnom vremenu putem radiokomunikacije. Maksimalna temperatura u sondi iznosila je 36,98 °C na visini od 40,60 m, a izvan sonde 37,44 °C na visini od 32,60 m. Minimalna izmjerena temperatura u sondi iznosila je -31,41 °C na visini od 8.428,00 m, dok je izvan sonde zabilježeno -49,63 °C na visini 12.815,00 m (slika 4.). UVA i UVB zračenje povećava se s povećanjem visine. Povećanje je zabilježeno već kod 3500 m. Zabilježen je 4 puta veći UV indeks, u iznosu od 12,48 mW/m², u odnosu na onaj zabilježen na Zemlji (3 mW/m²), (slika 5.). G-sila prikazana je kao vektorski zbroj akceleracije u x/y/z koordinatama u odnosu na ubrzanje sile teže (9,81 m/s²). G-sila u penjanju ABPL-a bila je konstantna (oko 1 G) zato što je zrak rjeđi, manji je utjecaj gravitacije pa se i ABPL jednolično kretao prema gore. U poniranju (slika 6.) G-sile su većih raspona zbog aerodinamike sonde koja u slobodnom padu ide prema Zemlji te ubrzano mijenja brzinu ovisno o otporu zraka. Najviša postignuta G-sila u ABPL letjelicama iznosila je 3,201 na visini od 18,148 m, što je ekvivalent osjetu „High-g vlaklu smrti“ (Khodadad i sur., 2017). Minimalni tlak zraka od 770 Pa izmjeren je na visini od 35.910,40 m.

Slijetanje ABPL-a dogodilo se u 16:23:22 h nedaleko od naselja Mihelići na području Poreča. Ukupno je let trajao 2 h 10 m 2 s. Neposredno prije slijetanja s letjelicama se izgubio svaki kontakt preko radiokomunikacije. Četrnaest mjeseci i sedamnaest dana kasnije, 9. 11. 2020., djelomično oštećene letjelice pronađene su na naknadno računalno modeliranoj lokaciji. Zadržale su hermetičnost pa je kompletna elektronika ostala očuvana, osim komunikacijske antene i senzora UVA/UVB koji su ispali iz konektora. Letjelice su prebačene u laboratorij E4 Technology u Žminju gdje su članovi i suradnici Istarskog svemirskog programa obradili podatke s memorijskih kartica. Veći dio astrobiološkog tereta zbog protoka vremena postao je neuporabljiv.

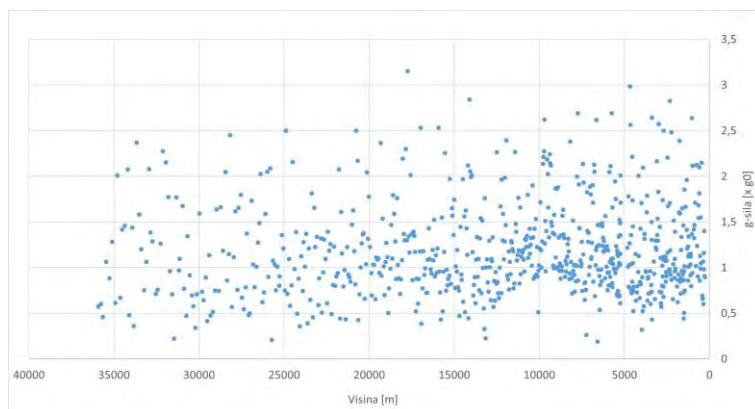


Slika 4. Prikaz temperature zraka izmjerene u sondi i izvan nje tijekom cijelog leta ovisno o visini

Figure 4. Display of air temperature measured in and out of the probe throughout the flight depending on altitude



Slika 5. Prikaz UVA i UVB zračenja tijekom vertikalnog leta (slijetanje) ovisno o visini
Figure 5. Plot of UVA and UVB radiation during vertical flight (descending) depending on altitude



Slika 6. Prikaz raspona G-sila u poniranju ABPL-a
Figure 6. Range of G-forces during ABPL descending

Obje letjelice uspješno su odradile svoju misiju te su konzervirane i spremljene da tijekom 2021. postanu izložbeni artefakti iz bliskog svemira u sklopu Centra za istraživanje svemira u Puli.

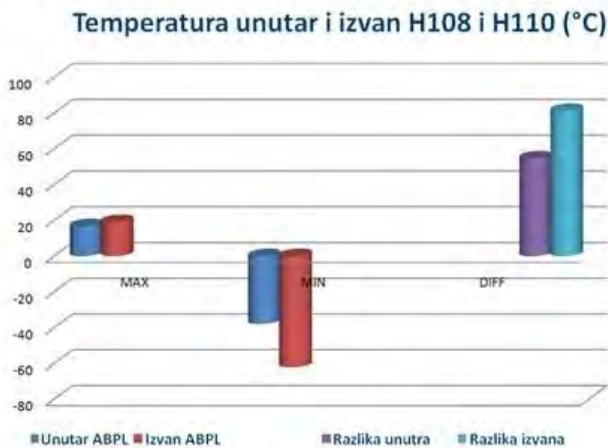
HISTRION 108 i HISTRION 110

H108 i H110 maksimalnu visinu od 42.585,10 m (5000 m više od maksimalne planirane točke) dosegnule su u 18:00:12 sati. Plan slijetanja bio je širi lokalitet Čepić Polja. Trajanje misija bilo je predviđeno na šest do osam sati s rezervom za još jedan dan (+ 24 h). Najviša brzina uspona ABPL-a zabilježena je pri brzini od 57,49 km/h. Najveća horizontalna brzina iznosila je 107,12 km/h. Brzina spuštanja H108 i H110 pri povratku na Zemlju, u trenutku kada su se letjelice nalazile na polovici puta prema mezosferi, iznosila je 402,09 km/h (slika 7.).



Slika 7. Prikaz maksimalnih dostignutih brzina leta misija H108 i H110
Figure 7. Display of maximum attained airspeeds of missions H108 and H110

Izolacija letjelica i rad elektronike omogućavaju da temperature unutar letjelica budu za 24,18 °C više od vanjskog okruženja pa je minimalna zabilježena temperatura unutar letjelica iznosila -37,92 °C, a izvan letjelica - 62,10 °C (slika 8.).



Slika 8. Prikaz raspona minimalnih i maksimalnih temperatura u ABPL-u i izvan ABPL-a
Figure 8. Range of minimum and maximum temperatures in ABPL and outside ABPL

Ukupno vrijeme leta iznosilo je 154 minute i 3 sekunde, od toga u penjanju 117 minuta 1 sekunda, u slijetanju 37 minuta i 2 sekunde. Kašnjenje pri lansiranju od najmanje 1h i 3 m, dostizanje značajno veće maksimalne visine, prebrza promjena intencije smjera visinskih vjetrova doveli su do slijetanja u

more na područje Kvarnerskog zaljeva u 18:37:14 sati. Sonde nisu bile hermetički izolirane pa im se nakon 37 minuta plutanja na olujnom moru izgubio radiosignal zbog prodora vode u elektroničke komponente. Nakon 15 dana, u 18 sati i 28 minuta, dijelovi ABPL-a pronađeni su na jugu Istre, nedaleko od Ližnjana. Nažalost, ABPL-ovi su pronađeni u devastiranom stanju, a sav videomaterijal, fotomaterijal i astrobiološki materijal pokraden je. S tehničke strane, prikupljeni su i dekodirani podatci o svim parametrima koji su s letjelica u realnom vremenu odašiljani prema trima prijemnim zemaljskim postajama. Letjelice ABPL HISTRION 108 i HISTRION 110 uspješno su odradili svoje misije. Na njima je od početka do kraja sudjelovalo gotovo stotinu i pedeset ljudi iz nekoliko desetaka institucija iz Hrvatske i inozemstva.

U 2021. godini planira se nastavak istraživanja, odnosno razvoj i lansiranje četvrte generacije HISTRION-a (tip H201) u seriji od najmanje tri letjelice. Zadaća će im biti ispitati nove tehnologije pasivnog i aktivnog upravljanim letjelicama kako bi se postigla modularnost široke primjene, sigurnost misija te veća učestalost lansiranja tijekom godine uz mogućnost hitnog lansiranja.

ZAKLJUČAK

Autonomne bespilotne letjelice H6 BIO, H109 i H110 s astrobiološkim modulima testirale su stupanj preživljavanja kukaca u stratosferi te utjecaj stratosfernih čimbenika poput ekstremnih temperatura, UV zračenja i G-sile na biološke procese kukaca. Od tri misije u kojima su kukci lansirani u svemir, samo jedna se vratila s uzorcima pogodnima za analizu. Astrobiološki materijal misije H110 izgubljen je, dok je materijal misije H109 bio neupotrebljiv zbog predugog protoka vremena. Jedini analizirani materijal bio je s H6 BIO. Rezultati analize pokazali su značajne promjene u biologiji odrasle ženke *L. decemlineata*, no za konkretne zaključke potrebno je provesti dodatna istraživanja. Rezultati ovog tipa istraživanja doprinijet će razumijevanju okolišnih ograničenja života u svemiru.

LITERATURA

ADAMS J. H., ADCOCK L., APPLE J., CHRISTL M., CLEVEAND W., COX M., ... WATTS J. (2007). Deep space test bed for radiation studies. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 579, 1: 522-525.

ALLEN J. L., CLUSELLA-TRULLAS S., CHOWN S. L. (2012). The effects of acclimation and rates of temperature change on critical thermal limits in *Tenebrio molitor* (Tenebrionidae) and *Cyrtobagous salviniae* (Curculionidae). J. Insect Physiol., Vol 58, 5: 669-678.

ALYOKHIN A. (2009). Colorado potato beetle management on potatoes: current challenges and future prospects. Fruit, Veg. Cereal Sci. Biotech., Vol. 3, 1: 10-19.

- ALYOKHIN A., BAKER M., MOTA-SANCHEZ D., DIVELY G., GRAFIUS, E. (2008). Colorado potato beetle resistance to insecticides. *Am. J. Potato Res.*, Vol. 85, 6: 395-413.
- BAŽOK R. (2007). Kukuruzna zlatica. *Glasilo biljne zaštite*, Vol. 5: 316-321.
- BEEBE R. M., LINDSAY L. M., OWENS J. K. (2019). Testing the Cold Exposure Response and Recovery Rate of *Blaptica dubia* Nymphs at 0°C. https://www.researchgate.net/profile/Jay_Owens3/publication/336835087_Testing_the_Cold_Exposure_Response_and_Recovery_Rate_of_Blaptica_dubia_Nymphs_at_0_Thermal_Tolerance_of_Blaptica_dubia/links/5db523a7a6fdccc99da3f5b4/Testing-the-Cold-Exposure-Response-and-Recovery-Rate-of-Blaptica-dubia-Nymphs-at-0-Thermal-Tolerance-of-Blaptica-dubia.pdf (pristupljeno: 15. 2. 2021.)
- BENTO M. F. (2008) Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. <http://www.insidegnss.com/auto/janfeb08-wp.pdf> (pristupljeno: 11. 2. 2021.)
- BOITEAU G., COLEMAN W. (1996). Cold tolerance in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *The Canadian Entomologist*, Vol. 128, 6: 1087-1099.
- CINDRIĆ M. (2017). Programiranje bespilotnih letjelica. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu Fakultet organizacije i informatike Varaždin.
- DACHEV T. P. (2013). Profile of the ionizing radiation exposure between the Earth surface and free space. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, Vol. 102: 148-156.
- DASSARMA P., ANTUNES A., SIMÕES M. F., DASSARMA S. (2020). Earth's Stratosphere and Microbial Life. *Curr. Issues Mol. Biol*, Vol. 38: 197-244.
- DASSARMA P., DASSARMA S. (2018). Survival of microbes in Earth's stratosphere. *Curr. Opin. Microbiol.*, Vol. 43: 24-30.
- ELLSBURY M. M., LEE JR R. E. (2004). Supercooling and cold-hardiness in eggs of western and northern corn rootworms. *Entomol. Exp. Appl.*, Vol. 111, 3: 159-163.
- FERRO D. N., LOGAN J. A., VOSS R. H., ELKINTON J. S. (1985). Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) temperature-dependent growth and feeding rates. *Environ. Entomol.*, Vol. 14, 3: 343-348.
- GOODE L. M. (2013). Effects Of Thermal Acclimation On The Critical Thermal Maxima Of The Tropical Cockroaches: *Blaptica Dubia*, *Eublaberus Posticus* And *Blaberus Discoidalis* (blaberidae). Diplomski rad. Eastern Kentucky University.
- GRIFFIN D. W., GONZALEZ-MARTIN C., HOOSE C., SMITH D. J. (2017). Microbiology of aerosols: Global-scale atmospheric dispersion of microorganisms, Hoboken, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- KATAYAMA N., YAMASHITA M. (2018). Space Agriculture for Manned Exploration of Astrobiology on Mars. 42nd COSPAR Scientific Assembly, 42, PEX-2. Katayama, Naomi; Yamashita, Masamichi. Space Agriculture for Manned Exploration of Astrobiology on Mars. 42nd COSPAR Scientific Assembly, Pasadena, California, USA, 14.-22. 7. 2018.
- KHODADAD C. L., WONG G. M., JAMES L. M., THAKRAR P. J., LANE M. A., CATECHIS J. A., SMITH D. J. (2017). Stratosphere conditions inactivate bacterial endospores from a Mars spacecraft assembly facility. *Astrobiology*, Vol. 17, 4: 337-350.
- LEMIĆ D. (2019). Kukci u prehrani ljudi. *Glasilo biljne zaštite*, Vol. 19, 5: 598-603.
- MACELJSKI M. (2002). Poljoprivredna entomologija, Čakovec, Zrinski.
- MEINKE L. J., SIEGFRIED B. D., WRIGHT R. J., CHANDLER L. D. (1998). Adult susceptibility of Nebraska western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) populations to selected insecticides. *J. Econ. Entomol.*, Vol. 91, 3: 594-600.

MIKAC K. M., LEMIC D., BENÍTEZ H. A., BAŽOK R. (2019). Changes in corn rootworm wing morphology are related to resistance development. *J. Pest Sci.*, Vol. 92, 2: 443-451.

MILLER N., ESTOUP A., TOEPFER S., BOURGUET D., LAPCHIN L., DERRIDJ S., KIM K.S., REYNAUD P., FURLAN L., GUILLEMAUD T. (2005). Multiple transatlantic introductions of the western corn rootworm. *Science*, Vol. 310, 5750: 992-992.

PATTERSON J. L., DUMAN J. G. (1978). The role of the thermal hysteresis factor in *Tenebrio molitor* larvae. *J. Exp. Biol.*, Vol. 74, 1: 37-45.

RAVLIC S. (2019). Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=71074> (pristupljeno: 22. 2. 2021.)

ROY H. E., BROWN P. M., ADRIAENS T., BERKVEN S., BORGES I., CLUSELLA-TRULLAS S., ZHAO Z. (2016). The harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*: global perspectives on invasion history and ecology. *Biol. Invasions*, Vol. 18, 4: 997-1044.

SHAYLER, D. (2000). *Disasters and accidents in manned spaceflight*. Springer Science & Business Media.

SMITH D. J. (2013). Microbes in the upper atmosphere and unique opportunities for astrobiology research. *Astrobiology*, Vol. 13, 10: 981-990.

SMITH D. J., GRIFFIN D. W., MCPETERS R. D., WARD P. D., SCHUERGER A. C. (2011). Microbial survival in the stratosphere and implications for global dispersal. *Aerobiologia*, Vol. 27, 4: 319-332.

SÖNMEZ E., KOÇ Y. (2019). Effects of cold exposure on *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupal period, proportion of adult emergence, weight and deformation percentage. *Entomol. Fenn.*, Vol. 30, 1: 43-48.

STOYANOVA S. (1984). Disinfestation of seeds by the use of low temperatures. *Rasteniev'dni Nauki*, Vol. 21, 39: 91-96.

TARVER W. J., VOLNER K., COOPER J. S. (2017). Aerospace Pressure Effects. In *StatPearls*. StatPearls Publishing (online). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262037/> (pristupljeno: 08.04.2021.)

TILMAN D., BALZER C., HILL J., BEFORT B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol. 108: 20260-20264.

WATANABE M. (2002). Cold tolerance and myo-inositol accumulation in overwintering adults of a lady beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, Vol. 99: 5-9.