

# Insekticidno djelovanje nanoformulacije na bazi eteričnog ulja i inertnog prašiva na žitnom kukuljičaru *Rhizopertha dominica* Fab.

---

Rončević, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:492365>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-15**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Sara Rončević

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Zaštita bilja

**INSEKTICIDNO DJELOVANJE NANOFORMULACIJE NA BAZI ETERIČNOG  
ULJA I INERTNOG PRAŠIVA NA ŽITNOM KUKULJIČARU *RHYZOPERTHA*  
*DOMINICA FAB.***

**Diplomski rad**

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Sara Rončević

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Zaštita bilja

**INSEKTICIDNO DJELOVANJE NANOFORMULACIJE NA BAZI ETERIČNOG  
ULJA I INERTNOG PRAŠIVA NA ŽITNOM KUKULJIČARU *RHYZOPERTHA*  
*DOMINICA FAB.***

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. dr. sc. Pavo Lucić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Anita Liška, mentor
3. prof. dr. sc. Vlatka Rozman, član

Osijek, 2022.

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Najznačajniji skladišni štetnici</b> .....	1
1.1.1. Primarne vrste:.....	1
1.1.2. Sekundarne vrste:.....	4
1.1.3. Mikofagne vrste:.....	6
<b>1.3. Cilj rada</b> .....	7
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	8
<b>2.1. Metode zaštite žitarica</b> .....	8
2.2. Metode integrirane zaštite žitarica.....	8
2.2.1. Higijenske, fizikalne i ostale metode suzbijanja .....	9
<b>2.3. Eterična ulja</b> .....	9
2.3.1. Sastav eteričnih ulja .....	13
2.3.2. Esencijalna ulja kao biopesticidi za insekte/štetočine .....	13
2.3.3. Pozitivni učinci botaničkih insekticida u zaštiti od štetnika.....	13
2.3.3.1. Neškodljivost za okoliš.....	13
2.3.3.2. Neškodljivost za toplokrvne organizme.....	13
2.3.3.3. Brzo djelovanje na štetnike.....	13
2.3.3.4. Manja štetnost za biljke.....	13
2.3.3.5. Sinergističko djelovanje .....	14
2.3.3.6. Veća biološka raznolikost.....	14
<b>2.4. Nanočestice u kontroli štetnika</b> .....	16
<b>3. Materijal i metode rada</b> .....	19
<b>3.1. Priprema formulacije na bazi eteričnog ulja lavandina i silika gela</b> .....	19
<b>3.2. Testni kukci</b> .....	20
<b>3.3. Procjena insekticidne djelotvornosti i utjecaja na potomstvo</b> .....	20
<b>3.4. Procjena oštećenja zrna pšenice</b> .....	22

3.5. Statistička obrada podataka .....	22
4. REZULTATI .....	23
4.1. Rezultati insekticidne djelotvornosti formulacije Nanosilika i utjecaj na potomstvo žitnog kukuljičara .....	23
4.2. Rezultati procjene oštećenja zrna pšenice.....	25
5. RASPRAVA .....	26
7. POPIS LITERATURE.....	28
9. SUMMARY.....	34
10. PRILOZI .....	35
10.1 Popis tablica .....	35
12. Popis slika.....	35

## 1. UVOD

Za pravovremeno i uspješno suzbijanje štetnika, važno je pravilno uzorkovanje uskladištenih proizvoda, čime se utvrđuju kretanje štetnika, razvojni oblici i njihova brojnost.

Štetni insekti i grinje predstavljaju konstantnu prijetnju tijekom čuvanja proizvoda u skladištima i silosima. Otkrivanje njihovih populacija u masi proizvoda nije uvijek jednostavno, jer se najčešće radi o vrlo sitnim organizmima, čije prisustvo uočimo tek kada se masovno razmnože, a štete na uskladištenim proizvodima su već napravljene. Stoga je nužno na vrijeme prepoznati pojavu skladišnih štetnika kako bi se zaustavio njihov razvoj i smanjile moguće štete. Procjenjuje se da štete uzrokovane skladišnim štetnicima na žitaricama iznose od 5-10% u umjerenj klimi, dok u tropskoj klimi mogu doseći i 20-30%.

### 1.1. Najznačajniji skladišni štetnici

Podjela prema štetama koje čine na uskladištenim proizvodima štetnike dijelimo na :

#### 1.1.1. Primarne vrste:

- vrše primarnu zarazu uskladištenog proizvoda
- napadaju zdrava i neoštećena zrna,
- ekonomski najznačajniji štetnici,
- mogu u potpunosti uništiti proizvod izjedajući sadržaj i razvijajući se u unutrašnjosti zrna
- posebno opasni za sjemenski materijal (izjedanje klice)
- svojim metabolizmom zagrijavaju zrnatu masu i iniciraju proces samozagrijavanja
- najčešći predstavnici (pšenični, kukuruzni i rižin žižak, grahov, graškov, bobov i kavin žižak, žitni kukuljičar, trogoderma žita, duhanar, brašnena i sirna grinja, bakrenasti, žitni i hambarski moljac i dr.) (Rozman V., Lucić P., Liška A. 2019. ).

### Žitni žižak (*Sitophilus granarius* L.)

Najčešća je vrsta u velikim skladištima. Ovaj žižak učestala je štetočina diljem svijeta i poznat je po nanošenju štete pohranjenim žitaricama, pa tako i poljoprivredi generalno jer polaže jajašca u jezgru zrna. Tamnosmeđe je boje, bez pjega na pokrildu (slika 1.). Nema drugi par opnastih krila pa ne može letjeti. Ženka izbuši rupu u cijelom neoštećenom zrnju i u nju odloži jaje, a zatim otvor zatvori sluzastom tvari koja se stvrdne. Ženke polažu oko 150 jaja u jednom ciklusu (prema nekim entomolozima ovisno od uvjeta to može biti od 40 do 250 komada) i to tako da svako jaje bude smješteno u posebno zrno. Ličinke koje se izlegu unutar zrna svoj kompletan razvoj završavaju u tom zrnju.



Slika 1. Žitni žižak (*Sitophilus granarius* L.) (Izvor: <https://bit.ly/3h0tppm>)

### Rižin žižak (*Sitophilus oryzae* L.)

Također je česta vrsta u silosima i drugim velikim skladištima. Ima veće potrebe za toplinom, pa se bolje razvija u velikoj gomili zrnja. Hrani se sličnom hranom kao i žitni žižak, ali i zrnjem uljarica, te većim brojem drugih prehrambenih proizvoda. Iako ne predstavlja nekakvu prijetnju za ljudsko zdravlje, ovaj žižak može uzrokovati ogromne gubitke hrane jer ga nalazimo u velikim količinama u uskladištenim proizvodima poput riže, pšenice, zobi, ječma i slično (slika 2.)



Slika 2. Rižin žižak (*Sitophilus oryzae* L.) (Izvor: <https://bit.ly/3bB3jIr>)

### Žitni kukuljičar (*Rhyzopertha dominica* Fab.)

Tijelo mu je dugo 2,3-3 mm, tamnosmeđe je boje (slika 3). Vratni štiti potpuno prekriva glavu okrenutu prema dolje. Pokrilje je hrapavo i točkasto udubljeno. Ticala su karakteristične građe; 3 zadnja segmenta tvore kijaču. Ženka odloži 100-500 jaja na razne proizvode. Ličinke oštećuju različite proizvode, a mogu se ubušiti u zrnje žitarica u kojem izgrizaju endosperm. Ličinke žućkaste, povijene, živi unutar zrna.



Slika 3. Žitni kukuljičar (*Rhyzopertha dominica* Fab.)

(Izvor: <https://bit.ly/3hhEfY1>)

### Žitni moljac (*Sitotroga cerealella* Oliv.)

Jedna od najčešćih vrsta štetnih leptira u skladištima poljoprivrednih proizvoda (slika 4.). Ima raspon krila 15-18 mm. Odlaze jaja na zrnje žitarica ili u njegovoj blizini, gusjenice se ubušuju u zrno, te se hrane njegovim sadržajem.



Slika 4. Žitni moljac (*Sitotroga cerealella* Oliv.) (Izvor: <https://bit.ly/3jZC9xN>)



### 1.1.2. Sekundarne vrste:

- vrše sekundarnu zarazu uskladištenog proizvoda
- napadaju lomljena i oštećena zrna, brašnene prerađevine i smjese
- razvijaju se u međuzrnatom prostoru uskladištene mase
- ekonomski manje značajni štetnici od primarnih vrsta
- javljaju se u masovnom broju
- zagađuju proizvod svojim ekskrementima i fragmentima tijela
- najčešći predstavnici (kestenjasti brašnar, mali brašnar, surinamski brašnar, hrđasti brašnar, veliki brašnar, brašneni moljac, duhanov moljac) (Rozman V., Lucić P. i Liška A. 2019. ).

Veliki brašnar (*Tenebrio molitor* L.)

Najveći je štetni kornjaš u našim skladištima (slika 5.). Tijelo mu je crne boje dužine 12-17 mm. Hrani se brašnom i brašnеним proizvodima, no nalazi se i u žitu, mliječnim proizvodima i mesu. Čini veće štete i na ambalaži i raznim drvenim dijelovima koje ličinke mogu pregristi. Ličinke su duže od odraslih. Odrasli žive 10-20 mjeseci i oni prezimljuju. Razvoj duže traje na nižim temperaturama. Zimi se razvoj prekida. Postoji jedna generacija tijekom godine.



Slika 5. Veliki brašnar (*Tenebrio molitor* L.) (Izvor: <https://bit.ly/35hzStO>)

Mali i kestenjasti brašnar (*Tribolium confusum* Jacq. du Val, *Tribolium castaneum* Herbst)

Mali i kestenjasti brašnar (slika 6.) spadaju među najčešće štetnike žitarica. Tijelo im je dugo 3-4 mm smeđe ili crvenkaste boje. Ako je zrno vlažno, mogu oštećivati i neoštećeno zrno.

Najradije napadaju klicu zrna, no napadaju i najrazličitije druge proizvode.



Slika 6. Kestenjasti brašnar (*Tribolium castaneum* Herbst) (Izvor: <https://bit.ly/3heK3lg>)

Brašneni moljac (*Anagasta kuehniella* Zell.)

Leptir ima sivkasta krila s crvenim prugama raspona 22-25 mm (slika 7.). Gusjenice se hrane prvenstveno brašnom i sličnim proizvodima, a zapredaju ih u veće hrpe. Tijekom jednog dana može tridesetak gusjenica zapresti 1 kg brašna. Zapredene hrpice brašna mogu začepiti cijevi i strojeve u mlinovima.



Slika 7. Brašneni moljac (*Anagasta kuehniella* Zell.) (Izvor: <https://bit.ly/2Rbfu Cp>)

### 1.1.3. Mikofagne vrste:

- indirektni štetnici uskladištenih proizvoda
- ne napadaju direktno proizvod
- hrane se sporama skladišnih gljivica
- indikatori su vlažne i zagađene robe mikroorganizmima
- šire zarazu gljivicama unutar uskladištenog proizvoda
- zagađuju proizvod svojim metabolizmom, ekskrementima i fragmentima
- razvijaju se u međuzrnatom prostoru uskladištene mase
- ekonomski manje značajni štetnici od primarnih i sekundarnih vrsta
- najčešći predstavnici (prašne uši, te razne vrste gljivara)

#### Prašne uši (Psocoptera)

To su sitni, nježne građe kukci, a najveći broj vrsta zabilježen je u prirodi, gdje žive na biljnom materijalu, ispod kore drveća, na otpadu lišća, u gnijezdima ptica i na stočnim otpacima (slika 8.). Prisutne su u povoljnim ekološkim uvjetima životne sredine (visoka relativna vlaga zraka, preko 70%; vlažnost zrnatih proizvoda veća od skladišne - 14-18%, povišena temperatura proizvoda 22-33<sup>0</sup> C i viša). U ovakvim uvjetima dolazi do razvoja mikroorganizama (epifitna mikroflora zrna), raznih vrsta gljivica, plijesni i bakterija, kojima se prašne uši hrane.



Slika 8. Prašne uši (Psocoptera) (Izvor: <https://is.gd/zPskKe>)

### **1.3. Cilj rada**

Ispitati insekticidno djelovanje pripravljene nanoformulacije na bazi eteričnog ulja lavandina i inertnog prašiva siliga gela na žitnom kukuljičaru u tretmanu sa zrnom pšenice, te utvrditi utjecaj nanoformulacije na potomstvo F1 generacije, te procijeniti oštećenja zrna pšenice.

## **2. PREGLED LITERATURE**

### **2.1. Metode zaštite žitarica**

Za zaštitu uskladištenih poljoprivrednih proizvoda postoje dvije skupine mjera. Prve su preventivne i uključuju one kod kojih je onemogućen ili barem otežan prodor štetnika, primjerice postavljanje mreže na prozorima i otvorima. Zidovi objekta moraju biti glatki i bez pukotina, da bi se što manje prašine i štetnika zadržavalo na njima te se trebaju redovito čistiti. Druga skupina mjera su kurativne mjere koje podrazumijevaju različite mjere koje se provode nakon što se utvrdi postojanje štetnika i to iznad dozvoljenog praga. Ova skupina mjera uključuje različite mjere objedinjene kao integrirane mjere zaštite žitarica.

### **2.2. Metode integrirane zaštite žitarica**

U cilju sprječavanja napada skladišnih štetnika na žitarice uvode se određene mjere koje su se do sada pokazale kao izuzetno uspješne i djelotvorne. Metode zaštite su integrirane upravo zbog dobivanja maksimalne zaštite uskladištenih proizvoda uz što je moguće niže troškove, gdje je vrlo važno izbjeći negativne posljedice po čovjeka. U spomenute mjere se ubrajaju sljedeće: (Korunić, 1990)

- Sanitarne mjere
- Sistemi hlađenja na niskim temperaturama
- Sistem za grijanje mlinova na visokim temperaturama
- Sprječavanje moguće zaraze koje mogu prouzrokovati štetnici
- Kontroliranje vlažnosti (sušenje zrna),
- Prozračivanje radi hlađenja, sušenja te eliminacije kritičnih temperatura,
- Atmosferski plinovi (ugljičkov dioksid, dušik),
- Sredstva za zaštitu bilja ( kemijski spojevi, prirodni spojevi, inertna prašiva),
- Gama zračenje, mikrovalovi, radio i sonarni valovi, infracrvene zrake,
- Rezistentne sorte biljaka,

- Način pakiranja nepropustan za kukce.

Danas se ulažu veliki naponi kako bi se našle mjere zaštite od skladišnih štetnika, ali prije svega adekvatne i djelotvorne mjere, a sve to kako bi se izbjegla primjena pesticidima.

Što su štetnici otporniji na pesticide javlja se i veća potreba za primjenom alternativnih metoda zaštite.

### **2.2.1. Higijenske, fizikalne i ostale metode suzbijanja**

Higijenske mjere (čišćenje skladišnog objekta i robe od primjesa), fizikalne i mehaničke mjere (primjena niske i visoke temperature, hermetičko čuvanje proizvoda, primjena modificirane atmosfere, inertna prašiva – dijatomejska zemlja).

Biološke mjere (primjena predatora i parazita – bakterija, gljivica, drugih insekata). Kemijske mjere (primjena insekticida koji imaju dozvolu za tretiranje uskladištenih proizvoda i fumigacija (s fosfinom kao aktivnom tvari).

### **2.3. Eterična ulja**

Eterična ulja i njihove sastavne komponente predstavljaju jednu od obećavajućih alternativa sintetičkim insekticidima u zaštiti uskladištenih poljoprivrednih proizvoda. Eterična ulja se sastoje iz hlapivih i poluhlapivih komponenti, općenito prepoznatljivih po snažnom mirisu, a kao sekundarni metaboliti sastavni su dio mnogih biljnih vrsta (Giunti i sur., 2019.).

Utjecaj eteričnih ulja na veliki broj vrsta skladišnih kukaca široko je proučen te su dokazani njihovi različiti načini djelovanja kao što su toksično, repelentno i fumigantno djelovanje. Značajan aspekt i prednost eteričnih ulja u odnosu na sintetičke insekticide ogleda se u širokom spektru djelovanja, niskoj toksičnosti za sisavce te minimalnom

utjecaju na okoliš (Rajashekar i sur., 2012.). Međutim upravo njihove karakteristike koje im osiguravaju ovu prednost istovremeno predstavljaju glavni nedostatak koji sprječava širu primjenu eteričnih ulja u realnim uvjetima. Uslijed molekularnih i fizikalnih karakteristika (netopljivost u vodi, kemijska nestabilnost, visoka isparljivost, kratka rezidualna aktivnost) većina komponenata se razgradi u nekoliko dana ili sati radi čega se moraju češće aplicirati (Daglish, 2006.). Češća aplikacija, uz veću cijenu proizvodnje, primjenu botaničkih insekticida uglavnom čini značajno skupljom od sintetičkih. Kako bi primjena botaničkih insekticida bila što učinkovitija nužne su nove strategije koje obuhvaćaju primjenu inovativnih tehnologija u managementu suzbijanja štetnika. Upravo nanotehnologija nudi nove metode dizajniranja aktivnih komponenti u nano dimenzijama, kao i razvoj njihovih formulacija koje se skupno označavaju kao nanopesticidi. Cjelokupno istraživanje u području nanopesticida temelji se na razvoju formulacija koje bi imale značajne prednosti u odnosu na postojeće kontrolne strategije suzbijanja štetnika, a imale bi sljedeće karakteristike (Benelly i Lukehart, 2017.):

- stabilnost i aktivnost u ciljanom okolišu (ne suviše osjetljive na sunčevu svjetlost, temperaturu i vlagu)
- sposobnost prodiranja u ciljani organizam
- neškodljivost za biljke i sisavce
- optimalnost troškova proizvodnje izvor novih načina djelovanja na štetnike.

Prirodni proizvodi dobiveni iz biljaka predstavljaju snažnu bioracionalnu alternativu sintetičkim insekticidima za integrirano upravljanje skladišnim kukcima nakon žetve. Biljake uključujući njihove ekstrakte, esencijalna ulja, njihove izolirane čiste spojeve koriste se u svrhu pripreme botaničkih pesticida. Pregledani su pripravci na biljnoj bazi i njihov način djelovanja protiv skladišnih kukaca s posebnim osvrtom na kukuruz. Otkriveno je da insekticidi na biljnoj osnovi najviše obećavaju u suzbijanju štetnika uskladištenih kukuruza na ekološki prihvatljiv i održiv način. Evidentirano je oko 17500 aromatičnih biljnih vrsta koje rastu širom svijeta u tropskom području i identificirano je više od 3000 sastojaka. Osim za pesticide, komercijalno se koristi i u proizvodnji lijekova, kozmetičkih proizvoda i u industriji parfema. Međutim, najviše biljne vrste koje se koriste za dobivanje eteričnih ulja su: Apiaceae, Asteraceae, Combretaceae, Geraniaceae, Gramineae i Lamiaceae. Pored Myrtaceae, Meliaceae, Piperaceae, Rutaceae, Verbenaceae i Zingiberaceae. Biljke iz porodica kritosjemenjača i golosjemenjača posjeduju u svom sastavu eterična ulja. Međutim, većina

izvora eteričnih ulja povezani su s kritosjemenjačama (cvjetnice). U posljednjih nekoliko desetljeća provedena su razna istraživanja u području insekticidnog djelovanja eteričnih ulja i njihove potencijalne uporabe, čiji rezultate upućuju na to kako bio-insekticidi mogu imati značajnu ulogu protiv važnih kukaca. Ovdje predstavljena studija usredotočena je na perspektive eteričnih ulja kao bio-insekticidi za suzbijanje štetočina kukaca. (Abdel-Tawab H. Mossa i sur. 2016.).

Utjecaj eteričnih ulja na veliki broj vrsta skladišnih kukaca široko je proučen te su dokazani njihovi različiti načini djelovanja kao što su toksično, repelentno i fumigantno djelovanje. Značajan aspekt i prednost eteričnih ulja u odnosu na sintetičke insekticide ogleda se u širokom spektru djelovanja, niskoj toksičnosti za sisavce te minimalnom utjecaju na okoliš (Rajashekar i sur., 2012.).

Biljni sekundarni prirodni proizvodi su prirodne kemikalije ekstrahirane iz biljaka i koriste se kao jako dobra alternativa sintetskim ili kemijskim pesticidima (Regnault-Roger i Philogène, 2008; Sithisut i sur., 2011.). Uz to, korištenje sintetskih pesticida za suzbijanje štetočina dovelo je do značajnih gubitaka hrane koji su nastali uslijed djelovanja kemikalija na štetočine te je navedeno godišnje prouzročilo ekonomske gubitke od nekoliko milijardi dolara širom svijeta (Elzen i Hardee, 2003; Shelton i sur., 2002.), Američka uprava za hranu i lijekove (FDA) prepoznala je botaničke pesticide (eterična ulja) kao sigurnije u odnosu na sintetske pesticide koji su doveli do povećanja rizika od oštećenja ozonskog omotača, neurotoksičnih, karcinogenih, teratogenih i mutagenih učinaka na ne ciljane kukce (Regnault-Roger, i sur., 2012.). Eterična ulja ekstrahirana iz aromatičnih biljaka sve više se koriste kao insekticidi zahvaljujući svojoj popularnosti među organskim uzgajivačima i potrošačima koji su ekološki osviješteni. Imaju repelentne, insekticidne, antifidanti, inhibitore rasta, inhibitore jajašca, ovicide i učinke na smanjenje kukaca kod brojnih vrsta kukaca (Sithisut i sur., 2011.). Eterična ulja imaju značajne larvicidne učinke na ličinke *Limantria dispar* (L.) (ciganski moljac), insekticidnu aktivnost, odbijajuća svojstva protiv mravi, žohara, stjenica, letećih ušiju i moljaca te su otrovna za termite. 15 Ulje *Mentha piperita* (L.) odbija mrave, muhe, uši, moljce i učinkovito je protiv *C. maculatus* i *T. castanum*. *Trachyspermum* sp. ulje ima larvicidno djelovanje protiv *Aedes aegypti* (L.) i komaraca *Culex quinquefasciatus* (Say) (Tripathi i sur., 2000.). *Nepetalakton*, aktivni sastojak eteričnog ulja *Nepeta cataria* (L.), vrlo je učinkovit u suzbijanju komaraca, pčela i drugih letećih kukaca. Odbija komarce više od DEET-a. Naročito je učinkovit protiv *A. aegypti*, prenosioca virusa žute groznice. Ulja rizoma đumbira (*Zingiber officinale* R.) i bobičastog voća kumbebe (*Piper cubeba* L.) korištena



su u insekticidnim i antihranjenim aktivnostima za suzbijanje *T. castaneum* i *S. oryzae*. Ulje kadife ima djelovanje protiv kukaca sredozemne voćne muhe (*Ceratitis capitata* (Wiedemann) i *Triatoma infestans* Klug. Eterično ulje čajevca (*Melaleuca alternifolia* Maiden i Betche ) posjeduje fumigantnu toksičnost protiv *S. zeamais* (Min i sur., 2016.). Ulja ruzmarina, origana, jagoda, eukaliptusa i mente se koriste kao sigurni spojevi za površinsku obradu ili fumigaciju u kontroli žohara. Ulje origana koristi se kao potencijalni repelent protiv smeđe prugastog žohara (*Supella longipalpa* Fabricius). Kanat, Hakk i Alma (2003.) utvrdili su da eterična ulja mnogih biljaka djeluju insekticidno na ličinke borovog četnjaka, (*Thaumetopoea pityocampa* Michael Denis i Ignaz Schiffermüller) Također, eterično ulje lovora, *Laurus nobilis* (L.) djeluje otrovno na *R. dominica* i *T. castaneum*. Ulja lavandina (*Lavandula hybrida* Rev.), ružmarina (*Rosmarinus officinalis* L.) i eukaliptusa (*Eucalyptus globulus* spp.) djeluju insekticidno na odrasle grahove žiške (*Acanthoscelides obtectus* Say) Eterično ulje *Tagetes minuta* (L.) toksično je za *Cochliomyia macellaria* (Fabricius) i djeluje akaricidno, odnosno odbijajući (Chaaban i sur., 2017.). Eugenol, koji je osnovna tvar eteričnih ulja bosiljka, ima snažan odbijajući učinak na komarce. Također, linalool iz ulja bosiljka, ima toksičan učinak na štetnike *Bruchid zabrotes sub fasciatus*, ali i druge štetočine. Eterično ulje *Zingiber zerumbet* (L.) ima repelentno djelovanje na cigaraša (*Lasioderma serricornis* F.) Eterično ulje *Juniperus procera* sp. pokazalo se značajnim repelentom protiv malarijskog kukca *Anopheles arabiensis* (Patton). Terpinen-4-ol; 1,8-cineol , verbenon i kamforinsko ulje eukaliptusa aktivno djeluju na odrasle *A. obtectus*, zaustavljaju ili inhibiraju hranjenje štetnika pogotovo kukaca, te sprječavaju ubode komaraca (Fradin i Day, 2002.). Lucia i sur. (2007.) otkrili su da je eterično ulje iz Eukaliptusa otrovno za ličinke *A. aegypti*. Seyoum i sur. (2003.) dokazali su da se sagorijevanje lišća limunskog eukaliptusa (*Eucalyptus citriodora* Hook) može koristiti kao zaštita od komaraca u Africi. Također, CDC (Centar za kontrolu i prevenciju bolesti, SAD) preporučio je upotrebu ulja limunskog 16 eukaliptusa (s p-mentan-3 ,8-diolom, PMD, kao aktivnim sastojkom) za zaštitu od Virusna Zapadnog Nila koji uzrokuje neurološke bolesti ili čak smrt, a šire ga komarci (CDC, 2005.). Toloza i sur. (2006.) utvrdili su fumigantnu toksičnost te odbijajuće djelovanje eteričnog ulja iz *Eucalyptus cinerea* (F. Mueller ex Bentham), *Eucalyptus viminalis* (Labillardière) i *Eucalyptus saligna* (James Edward Smith), na uši otporne na permetrin. Pesticidno i protuizjedajuće djelovanje ulja eukaliptusa je posljedica 1,8-cineola, citronelala, citronelola, citronelil acetata, p-cimena, eukamalola, limonena, linaloola,  $\alpha$ -pinena,  $\gamma$ -terpinena,  $\alpha$ -terpineola, alookimena i aromadendrenske komponente. Ulja eukaliptusa bogata cineolom djeluju na grinje *Varroa destructor* (Anderson i Trueman), koji je važan parazit medonosne pčele. Eterično ulje eukaliptusa značajno je

smanjilo broj uboda krpelja u ljudi te je utvrđeno da se može koristiti i za smanjenje infekcija koje prenose krpelji. Pujiarti i Fentiyanti (2017.) dokazali su da eterična ulja *Eucalyptus deglupta* (Blume), imaju odbijajuće djelovanje na *C. quinquefasciatus*. Eugenol, izoeugenol, metileugenol, metil izoeugenol, kumarin, koniferil aldehid, dinikonazol, etil cinamat i ružmarinske kiseline imaju protuizjedajuće djelovanje na odraslog crvenog palminog žižka (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier) (Shukla i sur., 2012.).

### **2.3.1. Sastav eteričnih ulja**

Eterična ulja prirodno se nalaze u biljkama kao sekundarni metaboliti. Oni igraju važnu ulogu u obrani biljaka protiv mikroorganizama, insekata, biljojeda i alelopatske interakcije. Hlapljivi spojevi eteričnih ulja mogu klasificirati u četiri skupine: (a) terpeni, (b) derivati benzena, (c) ugljikovodici i (d) ostali razni spojevi. Na temelju broja izoprenskih jedinica u kemikaliji strukture terpena. Eterična ulja se klasificiraju u (a) hemiterpene (1 jedinica, C<sub>5</sub>), (b) monoterpeni (2 jedinice, C<sub>10</sub>), (c) seskviterpeni (3 jedinice, C<sub>15</sub>), (d) diterpeni (4 jedinice, C<sub>20</sub>). Utvrđeno je da je većina terpena u EO monoterpeni (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>) i seskviterpeni (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>). Međutim, monoterpeni predstavljaju 90% esencijalnih ulja. Monoterpeni su ugljikovodici biološkoga podrijetla čiji ugljikov skelet sadržava dvije izoprenske jedinice s 10 ugljikovih atoma. Kemijske strukture podijeljene su u (1) acikličke alkohole kao što je linalool, geraniol i citronelol, (2) ciklički alkoholi poput mentola, izopulegol i terpeniol, (3) Biciklički alkoholi kao što je borneol i verbenol, (4) fenolni spojevi poput timola, karvacrol, (5) ketoni poput karvona, mentona i tujona, (6) Aldehidi poput citronelala, citrala, (7) kiseline kao što su krizantemska kiselina i (8) oksidi poput cineola. (Abdel-Tawab H. Mossa., 2016.)

### **2.3.2. Esencijalna ulja kao biopesticidi za insekte/štetočine**

Dugotrajna primjena sintetičkih insekticida rezultirala je nakupljanjem ostataka u različitim dijelovima okoliša. Oni imaju štetne učinke na neciljne organizme, ekosustave i zdravlje ljudi. Stoga su predloženi bio-insekticidi „zeleni pesticidi“ kao alternativa sintetskim insekticidima u poljoprivredi i javnom zdravstvu. U stvari, mnoga eterična

ulja imaju insekticidno, fumigantno, protuizjedajuće, atraktivno i repelentno djelovanje protiv širokog spektra kukaca. Eterična ulja su kompleks kemijskih spojeva s višestrukim načinom djelovanja koji pojačavaju njihovu aktivnost zahvaljujući sinergističkom djelovanju pojedinih sastojaka. Eterična ulja se koriste kao sredstvo protiv štetnika uskladištenih sirovina i gotovih proizvoda.

Suprotno tome, zabilježeni su neki problemi (npr. isparljivost, topljivost i oksidacija) insekticida. Rješenje mogu ponuditi nove formulacije pripremljene uz pomoć nanotehnologije, a istovremeno nude i brojne prednosti. Dakle, eterična ulja ima značajnu perspektivu kao komercijalni insekticidni proizvod. Insekticidi na bazi eteričnih ulja su slabo otrovni, postojani za okoliš i ekološki prihvatljivi. Smatraju se sigurnim i ekološki kompatibilni s biološkim programom suzbijanja i imaju nisku toksičnost za sisavce. Kompatibilni su s biološkim programima kontrole i autohtonim prirodnim neprijatelji štetočina.

Eterična ulja i drugi biopesticidi postaju novi trend upravljanja štetočinama u suvremenom uzgoju i organskoj poljoprivredi. Tijekom dva desetljeća eterična ulja se koriste kao insekticidi za suzbijanje kukaca, međutim, nisu dostigli svoj puni potencijal jer su brzo hlapljive i niske rezidualne aktivnosti. Eterična ulja dostupna su širom svijeta po svojoj niskoj do umjerenoj cijeni. Eterična ulja se mogu primijeniti kao pesticidi kakvi jesu ili kao njihovi aktivne komponente ili kao pomoćni dodatci u formulacije pesticida. (Abdel-Tawab H. Mossa i sur., 2016.).

### **2.3.3. Pozitivni učinci botaničkih insekticida u zaštiti od štetnika**

#### **2.3.3.1. Neškodljivost za okoliš**

Insekticidi na bazi biljnih eteričnih ulja su u procesu ulaska na tržište pesticida (Isman, 2006.). Obećavajući rezultati za suzbijanje poljoprivrednih štetnika dobiveni su upotrebom spojeva dobivenih iz aromatičnih biljaka. Takvi spojevi botaničkog podrijetla mogu biti vrlo učinkoviti, s više mehanizama djelovanja, a istodobno imaju nisku toksičnost prema neciljanim organizmima. Obzirom da su aktivne tvari prirodni sekundarni metaboliti biljaka, ostaci botaničkih insekticida se razgrađuju lako i brzo kroz prirodne mehanizme razgradnje (Campos et al., 2019.). Komponente eteričnih ulja, među kojima i eugenol, su neperzistentni u

vodi i tlu (u aerobnim uvjetima pri 23 °C potpuno se raspada za 50 sati). Općenito, eterična ulja se vrlo brzo razgrađuju pod utjecajem sunčevog svjetla, vlage i djelovanjem oborina. Primjerice, komponenta timol se razgradi za 28 sati pod utjecajem sunčevog svjetla te za oko 8 dana u tlu (Liu et al., 2017.) dok je vrijeme poluraspada azadiraktina 1 do 2 dana u usjevu, odnosno tlu (Yang et al., 2017.).

#### **2.3.3.2. Neškodljivost za toplokrvne organizme**

Prednosti se ogledaju u njihovoj brznoj razgradnji, brzom djelovanju, niskoj toksičnosti za toplokrvne organizme, selektivnosti i minimalnom učinku na biljku. Botanički insekticidi brzo se razgrađuju pod utjecajem dnevne i sunčeve svjetlosti, vlage i kiše. Većina botaničkih insekticida ima nisku toksičnost kada se unose u tijelo kroz usta (oralna 14 toksičnost), a uglavnom nisu ili su blago otrovni za toplokrvne organizme i pčele. Možda jedan od najatraktivnijih aspekata primjene botaničkih insekticida u zaštiti uskladištenih poljoprivrednih proizvoda i hrane je povoljna toksičnost za toplokrvne organizme. Neke od komponenata eteričnih ulja su blago toksične s oralnim vrijednostima LD50 od 2-3 g kg<sup>-1</sup> (karvakrol, pulegon), a za cjelokupnu smjesu eteričnog ulja vrijednost LD50 ne prelazi 2 g kg<sup>-1</sup> što je gornja granica potrebna za testove akutne toksičnosti (Isman, 2000.).

#### **2.3.3.3. Brzo djelovanje na štetnike**

Manje su stabilni i stoga imaju manji negativni utjecaj na korisne i neciljane organizme. Oni obično suzbijaju kukce brzo ili sprječavaju njihovo hranjenje odmah nakon primjene. Imaju uglavnom brzo letalno djelovanje djelujući na živčani sustav kukca ili pak odmah nakon aplikacije sprječavaju prehranu štetnika.

#### **2.3.3.4. Manja štetnost za biljke**

Zbog njihove relativno kratkoročne učinkovitosti, većina je mnogo manje štetna za korisne organizme u usporedbi s većinom sintetskih insekticida. Mnogi botanički insekticidi nisu štetni za tretirane biljke ako se primjenjuju prema uputama (Prakash, 1997.). Mnogim istraživanjima nije utvrđen jači utjecaj eteričnih ulja i njihovih komponenti na prehranenu

vrijednost tretirane robe kao niti na kvalitetu brašna nakon meljave tretirane pšenice kamforom, 1,8-cineolom i karvakrolom (Rozman et al., 2006.).

#### **2.3.3.5. Sinergističko djelovanje**

Primjena eteričnih ulja je u odnosu na sintetičke insekticide učinkovitija gledano dugoročno, obzirom da je 6 veliki broj najznačajnijih skladišnih štetnika razvio rezistentnost na sintetičke pesticide. Naime, eterična ulja su kompleksne mješavine nekoliko različitih komponenata, u usporedbi sa sintetičkim pesticidima baziranim na jednoj aktivnoj tvari. Nadalje, svaka komponenta eteričnih ulja može imati svoj način djelovanja te zajedno često djeluju sinergistički. Stoga, ovo svojstvo eteričnih ulja osigurava i dugovječniju obrambenu strategiju prema razvoju rezistentnosti štetnika.

#### **2.3.3.6. Veća biološka raznolikost**

Njihova brza razgradnja sa stajališta zaštite okoliša i zdravlja ljudi povoljna je zahvaljujući njihovoj često upotrebi. Novije spoznaje ukazuju na još jednu značajnu činjenicu da je u usjevima koji su tretirani biljnim metabolitima primijećena značajno veća biološka raznolikost, kao što je veća frekvencija oprašivača i prirodnih neprijatelja u odnosu na usjeve koji su tretirani sintetičkim insekticidima (Mikenda et al., 2015.).

### **2.4. Nanočestice u kontroli štetnika**

Nanočestice se mogu formulirati kao emulzije, suspenzije, polimerne ploče i gelovi (Kah i Hofmann, 2014.) ili djeluju kao kapsule na bazi silika gela, kitozana, natrijeva alginata ili polietilen glikola (Shahzad i Manzoor, 2018.).

Nanoemulzija je mješavina uljne i vodene tekućine. Nanoemulzija se sastoji od mnoštva sitnih raspršenih kapljica čime se povećava njena površina. Kako formiranje nanoemulzije nije spontana pojava, za njeno formiranje je potrebna visoka energija, koju osiguravaju različiti uređaji (visokotlačni homogenizator, mikrofluidizer, ultrazvučni homogenizator) (Maali i Hamed Mosavian, 2013.). Pomoću ovih uređaja primjenjuje se snažna razorna sila za razbijanje dispergirane faze u vrlo sitne kapljice svojstvene nanoemulzijama. Raspon veličina kapljica nanoemulzija kreće se od 20 do 200 nm. Značajne karakteristike nanoemulzija su

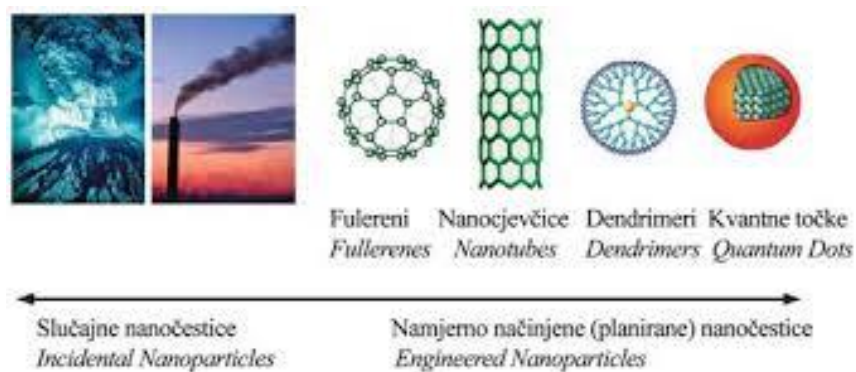
viša učinkovitost (Anjali i sur., 2010.), smanjena hidroliza i isparenje aktivne tvari (Yang i sur., 2009.). Nadalje, niska površinska napetost nanoemulzije omogućava poboljšano prekrivanje površine prilikom prskanja i raspršenja, kao i bolju penetraciju (Tadros i sur., 2004.). Kako taloženje čestica može utjecati na bioraspoloživost aktivnih tvari emulzija, ova pojava nije slučaj kod nanoemulzija što omogućuje sniženje učestalosti njihove aplikacija (Wang i sur., 2007.). Pojačan unos aktivne tvari primjenom nanoemulzija znanstveno je i dokazan. Tako je u testu s nanoemulzijom na bazi nim ulja utvrđeno kako smanjenje veličine kapljica uvjetuje sniženje  $LC_{50}$  vrijednosti što se može interpretirati kao povećanje unosa sitnijih kapljica (Anjali i sur., 2012.). Također, povećanje unosa aktivne tvari uočeno je kod nanoemulzije na bazi permetrina u odnosu na unos čiste aktivne tvari (Kumar i sur., 2013.).

Kod aktivnosti eteričnih ulja protiv mnogih kukaca, registrirani su neki problemi. Na primjer, hlapljivost, topljivost u vodi i oksidacija, koja igra važna uloga u aktivnosti eteričnih ulja. Stoga bi se ovi nedostaci trebali riješiti kako bi se osigurala optimalna djelotvornost za suzbijanje štetočina. Nove formulacije pripremljene uz pomoć nanotehnologije bi mogli osigurati optimalniju aplikaciju eteričnih ulja. Novi trend korištenja nanoformulacija omogućuje smanjenje isparljivosti eteričnih ulja čime se povećava njihovo produženo djelovanje i na taj način osigurana duža zaštita uskladištenih proizvoda. Mogu postići kontrolirano oslobađanje eteričnih ulja i jednostavnost primjene i rukovanje. Nanoformulacije mogu pojačavati aktivnost eterična ulja zbog male veličine čestica koje suviše raspršene u prostori, te na taj način povećavaju površinu prekrivanja prilikom nanošenja.

Prema podrijetlu, odnosno nastanku, nanočestice se mogu podijeliti u dvije skupine:

<sup>TM</sup>Namjerno načinjene (tehničke, planirane, krojene) nanočestice

<sup>TM</sup>Slučajne (nenamjerno načinjene) nanočestice (slika 9).



Slika 9. Slučajne i namjerno načinjene nanočestice (Izvor: <https://tinyurl.com/f333xayy>)

Međutim, polimerne nanočestice koje su najperspektivnije za nanoformulacije na bazi eteričnih ulja, pored poželjnih i jedinstvenih svojstava, mogu biti i štetna. Istovremeno izazivaju veliko zanimanje u industrijskoj i biomedicinskoj primjeni i zabrinutost glede sigurnosti.

### 3. Materijal i metode rada

#### 3.1. Priprema formulacije na bazi eteričnog ulja lavandina i silika gela

Nanosilika (oznake NanoS) (slika 10.) je pripremljena u Laboratoriju za zaštitu uskladištenih proizvoda, Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek. Nanosilika je sadržavala eterično ulje lavandina (13%), emulgator polisorbitat Tween<sup>®</sup>80 (5%), silika gel Sipernat<sup>®</sup> 50 S (10%) i destiliranu vodu (72%). U postupku pripreme najprije je odmjerena određena količina emulgatora kap po kap u staklenu posudu i miješan magnetskom miješalicom IKA<sup>®</sup> u trajanju od 10 min. Nakon toga dodana je aktivna komponenta, eterično ulje lavandina te je mješavina (emulgatora i eteričnog ulja) dalje homogenizirana magnetskim miješanjem u trajanju od 20 min. Nakon toga dodana je destilirana voda te je sve zajedno izmiješano do potpune homogenizacije (oko 5 min). Nadalje je dodan silika gel, mješavina je ručno izmiješana te je nastavljeno magnetsko miješanje još dodatnih 5 min. Tako pripremljena formulacija je dalje homogenizirana uz pomoć ultrazvučnog homogenizatora (T18 basic Ultra Turrax, IKA<sup>®</sup>) (jačina 4/5, u trajanju od 10 min).

Pripremljena formulacija NanoS čuvana je u staklenki obojanog stakla i držana u tami na sobnoj temperaturi do trenutka primjene.



Slika 10. Pripremljena formulacija NanoS (Izvor: A. Liška)



### 3.2. Testni kukci

Korištena je vrsta žitni kukuljičar (*Rhyzopertha dominica* Fab.), koja po načinu ishrane pripada primarnim vrstama skladišnih kukaca. Kukci su uzgajani u kontroliranim uvjetima na temperaturi od 24-27 °C i rvz 70±5%, na uzgojnoj podlozi od zrna meke pšenice. Za testiranje i utvrđivanje insekticidne djelotvornosti testirane formulacije NanoS korištene su odrasle jedinke kukaca starosti 2-4 tjedna (slika 11.).



Slika 11. Brojanje odraslih jedinki *R. dominica* (izvor: A. Liška)

### 3.3. Procjena insekticidne djelotvornosti i utjecaja na potomstvo

Test je obavljen na zrnu meke pšenice (63,4 kg Hl<sup>-1</sup>; 11,8%; 22,3°C) koja je prethodno sterilizirana visokom temperaturom (60°C u trajanju od 60 min). Pripremljena pšenica, odvage od 100 g stavljene se u staklene posude volumena 200 mL (slika 12.). Formulacija NanoS je aplicirana na zrno pšenice pomoću Kartell mikropipetom u četiri doze: 300, 500, 700 i 800 ppm (0,03; 0,05; 0,07 i 0,08 ml 100 g<sup>-1</sup>). Nakon aplikacije emulzija, staklenke s tretiranim zrnom su snažno protresene u vremenu od 60-ak sec. Nakon toga u svaku staklenku je stavljeno po 20 odraslih jedinki kukaca. Posude su hermetički zatvorene poklopcima i čuvane u kontroliranim uvjetima pri 24-27°C i rvz 70±5%. Mortalitet odraslih kukaca bilježen

je očitanjem broja uginulih jedinki kukuljičara iz svake staklenke nakon 7 i 14 dana od postavljanja tretmana (slika 13.). Nakon očitavanja 14. dana, iz staklenki su izdvojene sve žive i uginule jedinke, a preostali sadržaj staklenki je vraćen i držan u kontroliranim uvjetima do razvoja potomstva F1 generacije (ukupno 63 dana) koje je tada prebrojano. Inhibicija potomstva (IP) je utvrđena prema formuli:

$IP (\%) = 100 - \% P$ ; gdje je: IP - inhibicija potomstva

P – potomstvo F1 generacije (%)

$P = (Pt * 100) / Pk$ ; gdje je: P – potomstvo F1 generacije (%)

Pt – broj potomstva tretmana

Pk – broj potomstva kontrole

Kontrolni tretman je postavljen na isti način, ali bez aplikacije formulacije. Svi tretmani su postavljeni u 4 ponavljanja.



Slika 12. Priprema pšenice i stavljanje u staklene posudice (Izvor: A. Liška)



Slika 13. Procjena mortaliteta odraslih jedinki *R. dominica* (Izvor: A. Liška)

### 3.4. Procjena oštećenja zrna pšenice

Kako bi se utvrdilo smanjenje mase zrna pšenice uzrokovano ishranom kukuljičarima tijekom cijelog pokusnog razdoblja u trajanju od 63 dana, pšenica je nakon procjene potomstva F1 generacije prosijana i odvagana. Procjena oštećenja zrna je izražena u % a izračunata formulom:

$$O (\%) = (t_1 - t_2) * 100 / t_1, \text{ gdje je: } O - \text{oštećenje zrna pšenice (\%)} \\ t_1 - \text{početna masa pšenice (100 g)} \\ t_2 - \text{konačna masa pšenice (g)}$$

### 3.5. Statistička obrada podataka

Dobiveni rezultati mortaliteta (%) *R. dominica* i broja potomstva F1 generacije obrađeni su programom SAS Enterprise Guide 7.1 (copyright © 2017 SAS Institut Inc., Cary, NC, USA). Jednosmjerna analiza varijance svih ispitivanih varijabli napravljena je u modulu SAS Analyst i korištena je procedura ANOVA. Utvrđene značajne razlike između tretmana su ispitane Tukey's Studentized Range (HSD) testom na razini vjerojatnosti 0,05. Letalne doze LD<sub>50</sub> i LD<sub>90</sub> su procijenjene pomoću modela Probit analysis koristeći program IBM SPSS Statistics (IBM Corp. Released, 2013.).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Rezultati insekticidne djelotvornosti formulacije Nanosilika i utjecaj na potomstvo žitnog kukuljičara

Nakon provedenog testa insekticidnosti (tablica 1.), vidljivo je da je već pri najnižoj (300 ppm) apliciranoj dozi formulacije Nanosilika zabilježena statistički značajna razlika u broju uginulih jedinki *R. dominica* u odnosu na kontrolni tretman. Sa svakim daljnjim povišenjem doze zabilježen je trend rasta mortaliteta a statistički značajan porast je zabilježen pri dozi od 700 ppm. Nakon 7 dana ekspozicije, mortalitet odraslih jedinki *R. dominica* se kretao od 38,75% do 93,75%. Produženjem ekspozicije na 14 dana, zabilježen je porast mortaliteta, koji se kretao u rasponu od 42,5% do 97,5%. Između doza zabilježen je statistički značajan porast vrijednosti mortaliteta.

Procijenjene letalne ( $LD_{50}$  i  $LD_{90}$ ) vrijednosti formulacije su iznosile 361,26ppm, odnosno 669,72ppm.

Tablica 1. Mortalitet imaga *Rhyzopertha dominica* (Fab.) nakon 7 i 14 dana ekspozicije u tretiranom zrnju pšenice s formulacijom Nanosilika (Tukey's test,  $\alpha=0,05$ )

Doza (ppm)	Mortalitet (%) odraslih jedinki <i>R. dominica</i>	
	$\bar{X} \pm SD^*$	
	7 dana	14 dana
0	3,75 ± 4,78 c	5,00 ± 5,77 d
300	38,75 ± 4,78 b	42,50 ± 6,45 c
500	55,00 ± 13,54 b	67,5 ± 15,00 b
700	90,00 ± 12,24 a	92,5 ± 9,57 a
800	93,75 ± 4,78 a	97,5 ± 2,88 a
F	69,75	73,06
P	<0,0001	<0,0001
**LD <sub>50</sub>	361,26 (95% CL*** 301,24-405,57)	
**LD <sub>90</sub>	669,72 (95% CL*** 619,13-740,63)	

\* srednje vrijednosti s istim slovom nemaju statistički značajne razlike na nivo  $P<0,05$ ; usporedba je po koloni

\*\*LD<sub>50</sub>/LD<sub>90</sub> letalne doze (izražene u ppm) formulacije NanoS potrebne za suzbijanje 50% odnosno 90% tretirane populacije štetnika

\*\*CL Confidence Limit 95%; s nižom i višom graničnom vrijednošću

Nakon provedenog testa utjecaja na potomstvo *R. dominica* (tablica 2.), uočeno je kako je već najniža doza značajno smanjila broj potomstva u odnosu na kontrolu, s inhibicijom od 71,95%. Sa svakom daljnjim povišenjem doze uočen je daljnji trend smanjenja broja potomstva, a inhibicija se kretala u rasponu od 71,95% do 98,26%. Između doza nije zabilježena statistički značajna razlika u broju potomstva.

Tablica 2. Potomstvo F1 generacije *Rhyzopertha dominica* (Fab.) nakon izlaganja roditelja tretiranoj pšenici s formulacijom Nanosilika (Tukey's test,  $\alpha=0,05$ )

<b>Doza (ppm)</b>	<b>Broj odraslih jedinki <i>R. dominica</i> F1 generacije</b> $\bar{X} \pm SD$	<b>IP (inhibicija potomstva) (%)</b>
0	257,5 ± 57,09 a	-
300	72,25 ± 41,16 b	71,95
500	60,75 ± 36,37 b	76,41
700	23,50 ± 30,85 b	90,88
800	4,5 ± 4,12 b	98,26
F	28,12	
P	<0,0001	

\* srednje vrijednosti s istim slovom nemaju statistički značajne razlike na nivo  $P<0,05$ ; usporedba je po koloni

#### 4.2. Rezultati procjene oštećenja zrna pšenice

Nakon tretiranja zrna pšenice formulacijom Nanosilika došlo je do promjena u masi pšenice (tablica 3.). U odnosu na početnu masu zrna pšenice, najveće oštećenje (3,5%) uočeno je u kontrolnim uzorcima što je i očekivano obzirom da je u kontrolnim uzorcima bila najveća populacija kukaca koji su svojom aktivnošću (metabolizmom i izjedanjem zrna) direktno utjecali na nastanak oštećenja. Dodatkom formulacije, smanjena je brojnost kukaca u pšenici što je i utjecalo na smanjenje oštećenja pšenice. Pri dozama od 700 i 800 ppm, zrno je bilo potpuno neoštećeno što ukazuje da ove doze osiguravaju sigurne uvjete za čuvanje pšenice od *R. dominica* tijekom 60-ak dana.

Tablica 3. Promjena u masi pšenice, u kontrolnim uzorcima i u tretiranoj pšenici u odnosu na početnu masu pšenice

Doza (ppm)	Pšenica tretirana formulacijom Nanosilika	
	Masa pšenice (g)	Oštećenje pšenice (%)*
Početna masa	100,00	-
Kontrola	96,50	3,5
300	99,75	0,25
500	99,75	0,25
700	100,00	0,0
800	100,00	0,0

\*Udio smanjenja mase pšenice izračunata je u odnosu na početnu masu pšenice (100 g) odvagana i korištena za postavljanja pokusa

## 5. RASPRAVA

Već se duži niz godina za suzbijanje štetnika uskladištenih proizvoda najčešće koriste sintetički pesticidi, međutim uslijed niza negativnih posljedica njihove učestale primjene, sve se više nastoji smanjiti njihova primjena, te zamijeniti manje štetnim tvarima za ljude i okoliš. Dobrom alternativom pokazali su se biološki pesticidi od kojih su najistaknutija eterična ulja sa širokim spektrom djelovanja na najvažnije skladišne kukce. Eterična ulja sa svojim sastavnicama imaju određene prednosti koje uključuju: nisku toksičnost za ljude i životinje kod primjene u preporučenoj dozi, brzu razgradnju pod utjecajem okolišnih uvjeta, široki spektar djelovanja i selektivnost. S druge strane, učestalija primjena čini njihovu uporabu značajno skupljom u odnosu na sintetičke insekticide, što je jedan od nedostataka njihove uporabe. Potrebna je i velika količina biljnog materijala kako bi proizveli dovoljnu količinu eteričnog ulja za komercijalne svrhe (Malešević, 2015.). Na temelju ovoga rada dobiveni su rezultati koji potvrđuju kako je formulacija Nanosilika razvila zadovoljavajući insekticidni učinak na odrasli stadij žitnog kukuljičara *R. dominica*. Mortalitet se kretao u rasponu od 38,7% do 97,5 % ovisno o dozi i ekspoziciji. Autori Liška i sur. (2020.) testirajući insekticidnost nanoemulzije na bazi lavandina također su dokazali visoku djelotvornost razvijene formulacije protiv kestenjastog brašnara i rižinog žiška. Autori ukazuju kako je učinkovitost nanoemulzije pokazala superiornost u odnosu na formulaciju s istom aktivnom tvari ali bez primjene nanotehnologije i to najviše u tretmanu sa pšenicom gdje je nanoemulzija rezultirala 100% mortalitetom kod obje vrste kukaca i to s bržim djelovanjem nego formulacija. Kako bi se postigla još veća djelotvornost eteričnih ulja i njihovih komponenti dodaju se različita inertna prašiva, kao što je silika gel. Naime, iako je po prirodi inertno, u formulaciji s botaničkim komponentama, silika gel povećava površinu djelovanja eteričnih ulja kao i postojanost aktivne tvari regulirajući njihovu razgradnju (Madhusudhanamurthya i sur., 2013.). Istraživanja dokazuju kako silika gel oštećuje voštanu barijeru kutikule i kukci ugibaju od isušivanja (El-Helaly i sur., 2016.).

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji čestice amorfnog silika gela nisu štetne za ljude (Rahman i sur., 2009.), stoga bi formulacije koje sadržavaju ovo inertno prašivo trebale biti sigurne, bez štetnog utjecaja za ljude i okoliš.

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata dobivenih istraživanjem insekticidnog djelovanja nanoformulacije na bazi eteričnog ulja i inertnog prašiva na žitnom kukuljičaru *R. dominica* može se zaključiti slijedeće:

- Razvijena nano formulacija Nanosilika pokazala je zadovoljavajuću insekticidnu učinkovitost na odrasle jedinke žitnog kukuljičara *R. dominica*.
- Najviši mortalitet od 93,7%, odnosno 97,5% postignut je pri dozi od 800 ppm nakon 7, odnosno 14 dana ekspozicije. Također povećanje doze rezultiralo je i značajnim povišenjem stope mortaliteta odraslih jedinki.
- Prosječne letalne doze formulacije Nanosilika iznosile su  $LD_{50}=361,3$  ppm i  $LD_{90}=619,1$  ppm.
- Što se potomstva tiče dobiveni rezultati pokazuju kako je već najniža doza (300 ppm) značajno smanjila broj potomstva, s inhibicijom od 71,95%. Povećanjem doze povećala se i inhibicija potomstva do 98,26%, ali bez značajnih razlika između doza
- Prema rezultatima procjene oštećenja zrna pšenice vidljivo je kako je formulacija Nanosilika osigurala potpunu zaštitu zrna od napada štetnika, naročito pri višim dozama (700 i 800 ppm).
- Razvijena formulacija Nanosilika na bazi eteričnog ulja lanavdina i inertnog prašila silika gela posjeduje zadovoljavajuće insekticidno djelovanje za odrasle jedinke žitnog kukuljičara kao i utjecaj na inhibiciju njihovog potomstva.
- Kako je nakon dva mjeseca čuvanja, tretirana pšenica ostala potpuno neoštećena od napada kukuljičara, ova formulacija bi se mogla primijeniti kao jedna od mogućih mjera za zaštitu uskladištenih žitarica.



## 7. POPIS LITERATURE

1. Abdel-Tawab H. Mossa, A.S., El-Sheikh, M.A.K., Elnagar, S. (2016.): The silica-nano particles treatment of squash foliage and survival and development of *Spodoptera littoralis* (Bosid.) larvae. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1): 175-180
2. Anjali, C.H., Sharma, Y., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N. (2012.): Neem oil (*Azadirachta indica*) nanoemulsions as potent larvicidal agent against *Culex quinquefasciatus*. *Pest. Mang. Sci.*, 68(2): 158-163.
3. Benelly, G., Lukehart, C.M. (2017.): Special issue: application of green-synthesized nanoparticles in pharmacology, parasitology and entomology. *Journal of Cluster Science*, 28(1): 1-2.
4. Campos, E. V. R. i sur. (2019.) Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives, *Ecological Indicators*, 105(1), str. 483-495.
5. CDC (Center for Disease Control and Prevention, USA). (2005.). CDC adopts new repellent guidance for upcoming mosquito season
6. Chaaban, A., de Souza, A. L. F., Martins, C. E. N., Bertoldi, F. C., & Molento, M. B. (2017.): Chemical composition of the essential oil of *Tagetes minuta* and its activity against *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae). *European Journal of Medicinal Plants*, 18(1), 1–10
7. Daghish, G. J. (2006.): Opportunities and barriers to the adoption of new grain protectants and fumigants. *Proceedings 9 th International Working Conference on Stored Product Protection*, Sao Paulo, Brazil, pp: 209-216.
8. El-Helaly, A. A., El-Bendary, H.M., Abdel-Wahab, A.S., El-Sheikh, M.A.K., Elnagar, S. (2016.): The silica-nano particles treatment of squash foliage and survival and development of *Spodoptera littoralis* (Bosid.) larvae. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1): 175-180
9. Elzen, G. W., Hardee, D. D. (2003.): United state department of agricultural-agricultural research on managing insect resistance to insecticides. *Pest Management Science*, 59, 770–776.
10. Fradin, M. S., Day, J. F. (2002.): Comparative efficacy of insect repellents against mosquito bites. *The New England Journal of Medicine*, 347, 13–18.
11. Giunti, G., Palermo, D, Laudani, F., Algeri, G.M., Campolo, O. (2019.): Repellence and acute toxicity of nano-emulsion of sweet orange essential oil toward two major

- grain insect pest. *Industrial Crop & Products*, 142: 111869.  
DOI:10.1016/j.indcrop.2019.111869
12. Isman M.B., 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Prot* 19, 603-608.
  13. Isman M. B. (2006.). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 45-66.
  14. Kah, M., Hofmann, T. (2014.): Nanopesticides research: current trends and future priorities. *Environment International*, 63, 224-235
  15. Kanat, M., Hakk, M., Alma, M. (2003.). Insecticidal effects of essential oils from various plants against larvae of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Pest Management Science*, 60, 173–177.
  16. Korunić, Z. (1990). Štetnici uskladištenih poljoprivrednih proizvoda: biologija, ekologija i suzbijanje. *Gospodarski list*.
  17. Kumar, R.S.S., Shiny, P.J., Anjali, C.H., Jerobin, J., Goshen, K.M., Magdassi, S. (2013.): Distinctive effects of nano-sized permethrin in the environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 20(4): 2593-2602.
  18. Liška, A., Cecelja, N., Lucić, P., Rozman, V. (2020.): Nanoformulacije - novo oružje u borbi protiv skladišnih štetnika. *Zbornik radova 32. Znanstveno-stručno-edukativnog seminara s međunarodnim sudjelovanjem DDD i ZUPP 2020, Novi Vinodolski, 31. ožujka do 03. travnja 2020., Korunić d.o.o., Zagreb*, 119-127.
  19. Liu B., Chen B., Zhang J., Wang P., Feng G., 2017. The environmental fate of thymol, a novel botanical pesticide, in tropical agricultural soil and water *Toxicol. Environ. Chem.*, 99 (2), 223-232.
  20. Lucia, A., Audino, P.G., Seccacini, E., Licastro, S., Zerba, E., Masuh, H. (2007.). Larvicidal effect of *Eucalyptus grandis* essential oil and turpentine and their major components on *Aedes aegypti* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23, 299–303.
  21. Malešević i sur. (2015.) Uporaba eteričnih ulja u zaštiti uskladištenog sjemena, Utilization of essential oils in protection of stored grains. *AGRONOMSKI GLASNIK* 1-2/2015
  22. Maali, A., Hamed Mosavian, M.T: (2013.): Preparation and application of nanoemulsions in the last decade (2000-2010). *Journal of Dispersion Science and Technology*, 34: 92-105. Doi: 10.1080/01932691.2011.648498.

23. Madhusudhanamurthya, J., Rani, P.U., Rao, K.R.S. (2013.): Organic-inorganic Hybrids of Nano Silica and Certain Botanical Compounds for their Improved Bioactivity Against Agricultural Pests. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 7 (2): 615-624.
24. Mikenda P., Mwanauta R., Stevenson P. C., Ndakidemi P., Mtei K., Balmain S. R., 2015. Extracts from field margin weeds provide economically viable and environmentally benign pest control compared to synthetic pesticides. *PLoS ONE*, 10:e0143530. doi:10.1371/journal.pone.0143530.
25. Min, L., Jin-Jing, X., Li-Jun, Z., Liu, Y., Xiang-Wei, W., Ri-Mao, H., HaiQun, C. (2016.). Insecticidal activity of *Melaleuca alternifolia* essential oil and RNAseq analysis of *Sitophilus zeamais* transcriptome in response to oil fumigation. *PLoS One*, 11(12), e0167748.
26. Mossa, A. T. H. (2016.): Green pesticides : Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(5), 354.
27. Prakash, A. Rao, J. 1997: *Botanical Pesticides in Agriculture*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
28. Pujiarti, R., Fentiyanti, P. K. (2017.). Chemical compositions and repellent activity of *Eucalyptus tereticornis* and *Eucalyptus deglupta* essential oils against *Culex quinquefasciatus* mosquito. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 41(1), 19–24.
29. Rahman, A., Seth, D., Mukhopadhyaya, S.K., Brahmachary, R.L. Ulrichs, C., Goswami, A. (2009.): Surface functionalized amorphous nanosilica and microsilica with nanopores as promising tools in biomedicine. *Naturwissenschaften*. 96: 31– 38.
30. Rajashekar, Y., Bakthavatsalam, N., Shivanandappa, T. (2012.): Botanicals as grain protectants. *Psyche*, volume 2012, 13 pages. Doi: 10.1155/2012646740.
31. Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, J. T. (2012.). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
32. Rozman V., Kalinović I., Liška A., 2006. Bioactivity of 1,8-cineole, camphor and carvacrol against rusty grain beetle (*Cryptolestes ferrugineus* Steph.) on stored wheat. *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection*, Campinas, Brazil, 2006: 687-694.
33. Rozman V., Lucić P. i Liška A. (2019.) : Noviji pristupi u detekciji i monitoringu skladišnih kukaca. *Glasnik zaštite bilja*

34. Shelton, A. M., Zhao, J. Z., Roush, R. T. (2002.). Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of B-transgenic plants. *Annual Review of Entomology*, 47, 845–881.
35. Sithisut, D., Fields, P. G., Chandrapathya, A. (2011.). Contact toxicity, feeding reduction and repellency of essential oils from three plants from the ginger family (Zingiberaceae) and their major components against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *The Journal of Stored Products*, 104, 1445–1454.
36. Shahzad, K., Manzoor, F. (2018.): Nanoformulations and their mode of action in insects: a review of biological interactions. *Drug and Chemical Toxicology*.
37. Shukla, P., Vidyasgar, P. S. P. V., Aldosari, S. A., Abdel-Azim, M. (2012.). Antifeedant activity of three essential oils against the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Bulletin of Insectology*, 65(1), 71–76
38. Tadros, T., Izquierdo, R., Esquena, J., Solans, C. (2004.): Formation and stability of nanoemulsions. *Adv. Coll. Interf. Sci.*, 108: 303-318.
39. Toloza, A. C., Zygadlo, J., Cueto, G. M., Biurrun, F., Zerba, E., Piccolo, M. S. (2006.). Fumigant and repellent properties of essential oils and component compounds against permethrin-resistant *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: Pediculidae) from Argentina. *Journal of Medical Entomology*, 43(5), 889–895.
40. Tripathi, A. K., Prajapati, V., Aggarwal, K. K., Kumar, S., Kukreja, A. K., Dwivedi, S., Singh, A. K. (2000.). Effects of volatile oil constituents of *Mentha* species against stored grain pests, *Callosobrunchus maculatus* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 22, 549–556.
41. Wang, L., Li, X., Zhang, G., Dong, J., Eastoe, J. (2017.): Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations. *J. Colloid Interface Sci.*, 314: 230-235.
42. Yang, F.L., Li, X.G., Zhu, F., Lei, C.L. (2009.): Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Agric. Food Chem.*, 57: 10156-10162.
43. Yang X., Huang Q., Jiang T., Xu H. 2017. Degradation dynamics of Azadirachtin in cabbage and soil. *J. South China Agric. Univ.*, 38 (4), 37- 40.

**Internet stranice:**

1. <https://bit.ly/3bB3jIr>
2. <https://bit.ly/3hhEfY1>
3. <https://bit.ly/35hzStO>
4. <https://bit.ly/3heK3lg>
5. <https://bit.ly/3jZC9xN>
6. <https://tinyurl.com/f333xayy>
7. <https://bit.ly/2RbfuCp>
8. <https://is.gd/zPskKe>

## 8. SAŽETAK

U svijetu se koriste biljni pesticidi u tradicionalnim kulturama kao sredstva za zaštitu uskladištenih žitarica od raznih nametnika. Eterična ulja danas predstavljaju jednu od opcija zaštite usjeva i alternativu u programima suzbijanja različitih štetočinja uskladištenog sjemena, stoga u novije vrijeme dobivaju sve veću važnost. U ovom radu ispitana je učinkovitost nanoformulacije na bazi eteričnog ulja lavandina i silika gela u suzbijanju žitnog kukuljičara *Rhizopertha dominica* (Fab.). U pokusu je pripremljena Nanosilika koja je sadržavala eterično ulje lavandina (13%), emulgator polisorbit Tween<sup>®</sup>80 (5%), silika gel Sipernat<sup>®</sup> 50 S (10%) i destiliranu vodu (72%). Nanoformulacija je aplicirana u četiri doze: 300, 500, 700, 800 ppm. Maksimalni mortalitet iznosio je 93,75%, odnosno 97,5% nakon 7, odnosno 14 dana ekspozicije. Prosječne letalne doze su iznosile LD<sub>50</sub>=361,3 ppm i LD<sub>90</sub>=669,7 ppm. Postignuta je značajna inhibicija potomstva u odnosu na potomstvo u kontrolnim uzorcima i to u rasponu od 71,95% do 98,26% ovisno o dozi. Nakon dva mjeseca čuvanja, tretirana pšenica ostala je potpuno neoštećena od napada kukuljičara. Prema dobivenim rezultatima, ova formulacija bi se mogla primijeniti kao jedna od mogućih mjera za zaštitu uskladištenih žitarica.

**Ključne riječi:** eterična ulja, lavandin, silika gel, nanotehnologija, *Rhizopertha dominica*, uskladištena pšenica

## 9. SUMMARY

In the world, within the traditional cultures, plant pesticides are used as a means of protecting stored cereals from various pests. Essential oils today represent one of the option methods for crop protection and an alternative within the programs for control of various stored cereal pests, thus in recent times they are gaining in importance. In this paper, the effectiveness of nanoformulations based on lavender essential oil and silica gel in the control of *Rhizopertha dominica* (Fab.) was investigated. In the experiment, Nanosilica containing lavender essential oil (13%), Tween®80 emulsifier polysorbate (5%), Sipernat® 50 S silica gel (10%) and distilled water (72%) was prepared. The nanoformulation was applied in four doses: 300, 500, 700, 800 ppm. Maximum mortality was 93.75% and 97.5% after 7 and 14 days of exposure, respectively. An average lethal doses were  $LD_{50} = 361.3$  ppm and  $LD_{90} = 669.7$  ppm. In relation to control treatment, a significant progeny inhibition was achieved ranging from 71.95% to 98.26% depending on the dose. After two months of storing, the treated wheat remained completely undamaged from the attack of *R. dominica*. According to the obtained results, this formulation could be applied as one possible measures for protection of stored cereals.

**Key words:** essential oils, lavender, silica gel, nanotechnology, *Rhizopertha dominica*, stored wheat

## 10. PRILOZI

### 10.1 Popis tablica

Tablica 1. Mortalitet imaga <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fab.) nakon 7 i 14 dana ekspozicije u tretiranom zrnju pšenice s formulacijom Nanosilika (Tukey's test, $\alpha=0,05$ ).....	20
Tablica 2: Potomstvo F1 generacije <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fab.) nakon izlaganja roditelja tretiranoj pšenici s formulacijom Nanosilika (Tukey's test, $\alpha=0,05$ ).....	21
Tablica 3. Promjena u masi pšenice, u kontrolnim uzorcima i u tretiranoj pšenici u odnosu na početnu masu pšenice .....	22

### 12. Popis slika

Slika 1. Žitni žižak ( <i>Sitophilus granarius</i> L.) .....	5
Slika 2. Rižin žižak ( <i>Sitophilus oryzae</i> L.).....	6
Slika 3. Žitni kukuljičar ( <i>Rhyzopertha dominica</i> Fab.).....	6
Slika 4. Veliki brašnar ( <i>Tenebrio molitor</i> L.).....	7
Slika 5. Kestenjasti brašnar ( <i>Tribolium castaneum</i> Herbst).....	7
Slika 6. Žitni moljac ( <i>Sitotroga cerealella</i> Oliv.).....	8
Slika 7. Brašnjeni moljac ( <i>Anagasta kuehniella</i> Zell.).....	8
Slika 8. Prašne uši ( <i>Psocoptera</i> ) .....	9
Slika 9. Slučajne i namjerne Nanočestice.....	17



## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer Zaštita bilja

Insekticidno djelovanje nanoformulacije na bazi eteričnog ulja i inertnog prašiva na žitnom kukuljičaru *Rhyzopertha dominica* Fab.

Sara Rončević

### Sažetak

U svijetu se koriste biljni pesticidi u tradicionalnim kulturama kao sredstva za zaštitu uskladištenih žitarica od raznih nametnika. Eterična ulja danas predstavljaju jednu od opcija zaštite usjeva i alternativu u programima suzbijanja različitih štetočinja uskladištenog sjemena, stoga u novije vrijeme dobivaju sve veću važnost. U ovom radu ispitana je učinkovitost nanoformulacije na bazi eteričnog ulja lavandina i silika gela u suzbijanju žitnog kukuljičara *Rhyzopertha dominica* (Fab.). U pokusu je pripravljena Nanosilika koja je sadržavala eterično ulje lavandina (13%), emulgator polisorbitat Tween®80 (5%), silika gel Sipernat® 50 S (10%) i destiliranu vodu (72%). Nanoformulacija je aplicirana u četiri doze: 300, 500, 700, 800 ppm. Maksimalni mortalitet iznosio je 93,75%, odnosno 97,5% nakon 7, odnosno 14 dana ekspozicije. Prosječne letalne doze su iznosile  $LD_{50}=361,3$  ppm i  $LD_{90}=669,7$  ppm. Postignuta je značajna inhibicija potomstva u odnosu na potomstvo u kontrolnim uzorcima i to u rasponu od 71,95% do 98,26% ovisno o dozi. Nakon dva mjeseca čuvanja, tretirana pšenica ostala je potpuno neoštećena od napada kukuljičara. Prema dobivenim rezultatima, ova formulacija bi se mogla primijeniti kao jedna od mogućih mjera za zaštitu uskladištenih žitarica.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Anita Liška

**Broj stranica:** 37

**Broj grafikona i slika:** 9

**Broj tablica:** 3

**Broj literaturnih navoda:** 44

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** eterična ulja, lavandin, silika gel, nanotehnologija, *Rhyzopertha dominica*, uskladištena pšenica

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. dr. sc. Pavo Lucić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Anita Liška, mentor
3. prof. dr. sc. Vlatka Rozman, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate thesis**

**Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**

**University Graduate Studies, Plant protection**

### **Insecticidal activity of nanoromulation based on essential oil and inert dust against lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* Fab.**

Sara Rončević

#### **Abstract:**

In the world, within the traditional cultures, plant pesticides are used as a means of protecting stored cereals from various pests. Essential oils today represent one of the option methods for crop protection and an alternative within the programs for control of various stored cereal pests, thus in recent times they are gaining in importance. In this paper, the effectiveness of nanoformulations based on lavender essential oil and silica gel in the control of *Rhyzopertha dominica* (Fab.) was investigated. In the experiment, Nanosilica containing lavender essential oil (13%), Tween®80 emulsifier polysorbate (5%), Sipernat® 50 S silica gel (10%) and distilled water (72%) was prepared. The nanoformulation was applied in four doses: 300, 500, 700, 800 ppm. Maximum mortality was 93.75% and 97.5% after 7 and 14 days of exposure, respectively. An average lethal doses were  $LD_{50} = 361.3$  ppm and  $LD_{90} = 669.7$  ppm. In relation to control treatment, a significant progeny inhibition was achieved ranging from 71.95% to 98.26% depending on the dose. After two months of storing, the treated wheat remained completely undamaged from the attack of *R. dominica*. According to the obtained results, this formulation could be applied as one possible measures for protection of stored cereals.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** Associate professor Anita Liška

**Number of pages:** 37

**Number of figures:** 9

**Number of tables:** 3

**Number of references:** 44

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** essential oils, lavender, silica gel, nanotechnology, *Rhyzopertha dominica*, stored wheat

**Thesis defended on date:**

#### **Reviewers:**

1. PhD Pavo Lucić, chair
2. PhD Anita Liška, associate professor, mentor
3. PhD Vlatka Rozman, full professor, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1