

Morfološka varijabilnost smeđe mramoraste stjenice

Mulamehmedović, Jasmina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:264328>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**MORFOLOŠKA VARIJABILNOST SMEĐE
MRAMORASTE STJENICE**

DIPLOMSKI RAD

Jasmina Mulamehmedović

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Fitomedicina

**MORFOLOŠKA VARIJABILNOST SMEĐE
MRAMORASTE STJENICE**

DIPLOMSKI RAD

Jasmina Mulamehmedović

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Ivana Pajač Živković

Zagreb, rujan, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Jasmina Mulamehmedović, JMBAG 0178083456, rođena 01.12.1991. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

MORFOLOŠKA VARIJABILNOST SMEĐE MRAMORASTE STJENICE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studentice

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice Jasmine Mulamehmedović, JMBAG 0178083456, naslova

MORFOLOŠKA VARIJABILNOST SMEĐE MRAMORASTE STJENICE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|---|--------|-------|
| 1. | izv. prof. dr. sc. Ivana Pajač Živković | mentor | _____ |
| 2. | izv. prof. dr. sc. Darija Lemić | član | _____ |
| 3. | doc. dr. sc. Maja Čačija | član | _____ |

Zahvala

Ovime zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ivani Pajač Živković zbog velike susretljivosti, srdačnosti i uložene energije tijekom izrade eksperimentalnog dijela, te oblikovanja moga diplomskog rada. Također joj zahvaljujem na velikom povjerenju koje mi je ukazala kroz dugi period mog školovanja.

Veliko hvala mojim roditeljima na podršci, žrtvi i velikoj vjeri kako bi ostvarila svoj san o diplomi.

Također veliko hvala mojim prijateljicama Mirni i Valentini uz koje su ove godine bile čista radost.

Mom Marku najveće hvala jer ništa bez njega ne bi bilo moguće. Hvala mu što je uvijek bio moj oslonac da postanem sve što sam htjela.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Cilj rada	2
2. Pregled literature	3
2.1. Smeđa mramorasta stjenica <i>Halyomorpha halys</i> (Stål, 1855)	3
2.1.1. Sistematska pripadnost	3
2.1.2. Područje rasprostranjenosti	3
2.1.3. Morfološka obilježja	5
2.1.4. Biologija i ekologija	5
2.1.5. Biljke domaćini i štetnost	7
2.1.6. Mjere suzbijanja	7
2.1.7. Invazivni karakter	8
2.2. Geometrijska morfometrija u entomologiji	10
3. Materijali i metode	11
3.1. Prikupljanje uzoraka	11
3.2. Postupak prepariranja krila	12
3.3. Označavanje točaka (markera)	13
3.4. Obrada podataka	14
4. Rezultati	15
5. Rasprava	18
6. Zaključak	20
7. Popis literature	21
Životopis	26

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Jasmina Mulamehmedović**, naslova

MORFOLOŠKA VARIJABILNOST SMEĐE MRAMORASTE STJENICE

Smeđa mramorasta stjenica nova je invazivna vrsta iz porodice smrdljivih stjenica (Pentatomidae) u Europi. Polifagni je štetnik koji napada više od 200 biljnih vrsta, a ekonomske štete zabilježene su u uzgoju voćarskih, povrtlarskih i ratarskih kultura. S obzirom da je vrsta kratko prisutna na području Hrvatske, malo se zna o njezinoj biologiji i ekologiji ali i o morfološkoj varijabilnosti. Cilj rada je istražiti morfološku varijabilnost populacija ovog štetnika primjerom metoda geometrijske morfometrije, te usporediti varijabilnost populacije iz Hrvatske u odnosu na varijabilnost populacija štetnika iz Slovenije i Srbije. Uzorci smeđe mramoraste stjenice prikupljeni su u razdoblju od 2018. do 2021. godine u agroekološkim sustavima Hrvatske, Slovenije i Srbije. Ukupno je prikupljeno 545 jedinki stjenice, kojima su uklonjeni gornji i donji par krila, te preparirani prema standardom postupku. U svrhu utvrđivanja morfološke varijabilnosti na krilima su postavljene specifične točke (ukupno 12 točaka postavljeno je na gornja krila i 16 točaka na donja krila), a u analizi oblika i veličine krila korištene su analize multivarijatne statistike (Analiza glavnih komponenti (PCA) i Kanonijska diskriminantna analiza (CVA)). Rezultatima istraživanja utvrđene su značajne razlike u obliku krila između populacija štetnika iz Hrvatske, Slovenije i Srbije što je dokaz postupnog prilagođavanja tj. aklimatizacije vrste novom području na koje je nedavno prispjela. Spolni dimorfizam vrste nije dokazan, no utvrđene su minimalne razlike u obliku prednjih i stražnjih krila između mužjaka i ženki smeđe mramoraste stjenice iz različitih država.

Ključne riječi: *Halyomorpha halys* Stål, 1855, geometrijska morfometrija, varijabilnost populacije

Summary

Of the master's thesis – student **Jamina Mulamehmedović**, entitled

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF THE BROWN MARMORATED STINK BUG

The brown marmorated stink bug is a new invasive species of the stink bug family (Pentatomidae) in Europe. It is a polyphagous pest that attacks more than 200 plant species, and economic damage to the cultivation of fruits, vegetables, and field crops has been observed. Since the species has been present in Croatia only for a short time, little is known about its biology and ecology, but also about its morphological variability. The aim of the work is to determine the morphological variability of the population of this pest using the methods of geometric morphometrics and to compare the variability of the population from Croatia with the variability of the population of the pest from Slovenia and Serbia. Samples of brown marmorated stink bug were collected in agroecological systems of Croatia, Slovenia and Serbia in the period from 2018 to 2021. A total of 545 stink bugs were collected, from which the upper and lower wing pairs were removed and prepared according to the standard procedure. To determine morphological variability, specific points were placed on the wings (a total of 12 points on the upper wings and 16 points on the lower wings), and multivariate statistical analysis was used in the analysis of the shape and size of the wings (principal component analysis (PCA) and canonical discriminant analysis (CVA)). The results of the study showed significant differences in the shape of the wings between the pest populations from Croatia, Slovenia and Serbia, suggesting a gradual adaptation, i.e. acclimation of the species to the new area to which it has recently migrated. Sexual dimorphism of the species was not detected, but minimal differences in forewing and hindwing shape were found between males and females of the brown marmorated stink bug from different countries.

Keywords: *Halyomorpha halys* Stål, 1855, geometric morphometrics, population variability

1. Uvod

Smeđa mramorasta stjenica (*Halyomorpha halys* Stål, 1855) je invazivna vrsta azijskog podrijetla (Hoebeke i Carter, 2003.; Nielsen i Hamilton, 2009.). Prva pojava u Europi je zabilježena na području Švicarske 2004. godine (Wermelinger i sur., 2008.). Stjenica je u Republici Hrvatskoj otkrivena 2017. godine u Rijeci (Šapina i Šerić Jelaska, 2018.), a prva masovna pojava zabilježena je u usjevu soje 2019. godine u Zagrebu (Pajač Živković i sur., 2021.). Vrsta je izrazito polifagna, a njezina je štetnost zabilježena u uzgoju ratarskih, voćarskih i povrtlarskih kultura (Pajač Živković i sur., 2022.). Hrani se na gotovo 200 biljaka domaćina od kojih su neke ekonomski značajne (rajčica, soja, pšenica, jabuka, kruška, trešnja, šljiva itd.) (Leskey i Nielsen, 2018.). Također, znanstvenim istraživanjima dokazano je da se stjenica hrani i na mnogim vrstama ukrasnog bilja kao što su javor, vrba, čempres, jorgovan itd. (Wermelinger i sur., 2008.).

Štete uzrokuju i odrasli i nimfe sisanjem na plodovima, cvjetnim pupovima ili stabljikama. Štetnik sisanjem unosi enzim u biljno tkivo što dovodi do pojave klorotičnih mrlja i nekroza napadnutih organa te deformacija biljaka. Za jačeg napada, narušena su organoleptička svojstva i smanjena tržišna vrijednost gotovih proizvoda (Leskey i Nielsen, 2018.; Pajač Živković i sur., 2021.). Prema Bariselli i sur., 2016., stjenica razvija jednu do dvije generacije godišnje. Osim u Hrvatskoj, ekonomski značajne štete zabilježene su i u susjednim zemljama; Sloveniji, Italiji i Mađarskoj.

Klimatske promjene i genetska varijabilnost važni su elementi u proučavanju potencijalnog porasta brojnosti vrste te prilagodbe na nova staništa. Kako bi se ustanovila genetska varijabilnost štetnika, uz genetičke, koriste se i morfometrijski markeri (Mikac i sur., 2016.). Morfometrija je grana morfologije koja uz upotrebu statistike opisuje i analizira promjene u veličini i obliku morfoloških cjelina dobivenih mjerenjem (Mitteroecker i Gunz, 2009.). Morfometrijska metoda koja se koristi u entomologiji je geometrijska morfometrija, a bazira se na korištenju specifičnih točaka tzv. markera na određenim dijelovima tijela kukca. Morfometrijski markeri su biomarkeri koji detektiraju promjene u genetskoj strukturi populacija na temelju promjene fenotipa. U svrhu detekcije promjena najčešće se koriste krila zbog svoje stabilnosti i transparentnosti, a i ustanovljeno je kako su ona prvi faktor koji je podložan promjenama (Dujardin, 2008.).

Genetske analize populacija *H. halys* (npr. primjenom mikrosatelitskih markera) mogu doprinijeti određivanju puteva ulaska i kretanja ili širenja štetnika u novo napadnutim područjima (Haye i sur. 2015.). No, rezultati takvih analiza često nisu dovoljno informativni, stoga se uspješno mogu dopuniti ili čak zamijeniti analizama geometrijske morfometrije (Lemic i sur., 2016.; Pajač Živković i sur., 2018.).

S obzirom da je vrsta *H. halys* relativno kratko prisutna na području Europe, te na području Republike Hrvatske, malo je dostupnih podataka o njezinoj morfološkoj varijabilnosti. Istraživanje fenotipskih karakteristika u svrhu utvrđivanja spolnog dimorfizma kod populacije vrste *H. halys* iz Hrvatske proveli su Pajač Živković i sur. (2022.), te utvrdili značajne razlike između mužjaka i ženki. Kod ženki je utvrđena veća i snažnija građa tijela i krila što ih čini pogodnijim spolom za širenja na nova područja.

Primjenom sofisticiranijih morfometrijskih metoda, kao što je geometrijska morfometrija moguće je detaljnije istražiti fenotipske varijacije ovog novog i važnog štetnika, što bi doprinijelo boljem razumjevanju načina njegova širenja na području Europe, te poduzimanju adekvatnih mjera suzbijanja.

1.1. Cilj rada

Cilj rada je istražiti morfološku varijabilnost populacije ovog štetnika, te usporediti varijabilnost hrvatske populacije u odnosu na varijabilnost populacija štetnika iz zemalja u okruženju (Slovenije i Srbije).

2. Pregled literature

2.1. Smeđa mramorasta stjenica *Halyomorpha halys* (Stål, 1855)

2.1.1. Sistematska pripadnost

CARSTVO: Animalia – životinje

KOLJENO: Arthropoda – člankonošci

POTKOLJENO: Hexapoda – šesteronošci

RAZRED: Insecta – kukci

PODRAZRED: Pterygota – krilaši

RED: Hemiptera Linnaeus, 1758 – rilčari

PODRED: Heteroptera Latreille, 1810 – stjenice

PORODICA: Pentatomidae Leach, 1815 – ploštice

POTPORODICA: Pentatominae Leach, 1815

ROD: *Halyomorpha* Mayr, 1864

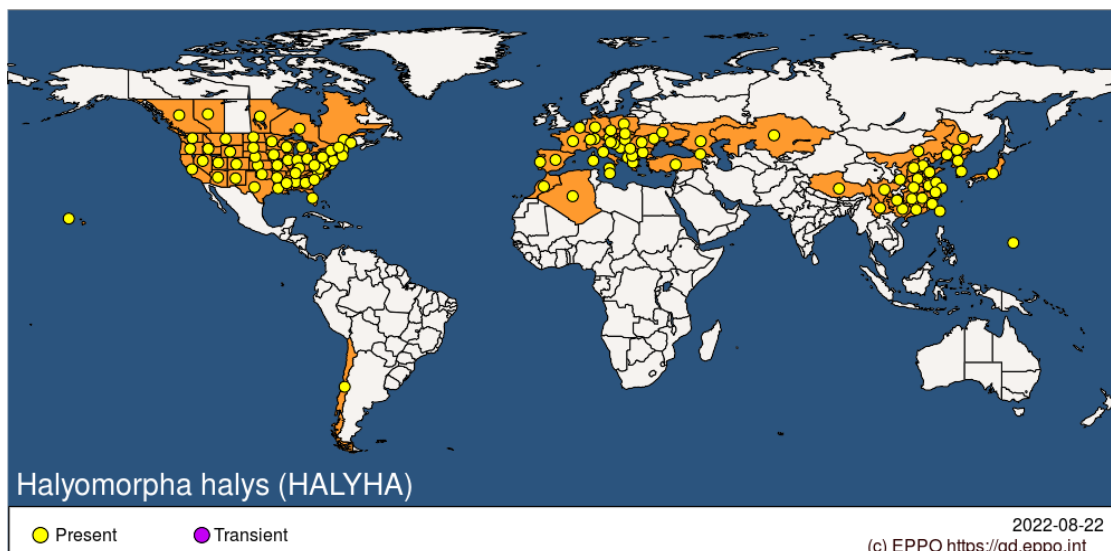
VRSTA: *Halyomorpha halys* (Stål, 1855)

Izvor: Integrated Taxonomic Information System (2022.)

2.1.2. Područje rasprostranjenosti

Rasprostranjenost vrsta određuje složeno međudjelovanje abiotičkih i biotičkih čimbenika te faktori koji utječu na širenje mogu zajedno odrediti distribucijske granice (Zhu i sur., 2012.). Vrsta *H. halys* izuzetno se dobro prilagođava različitim abiotičkim faktorima, a zbog širokog kruga biljaka domaćina na kojima se može hraniti i razmnožavati, može uzrokovati ozbiljne ekološke i ekonomske posljedice u različitim ekološkim sustavima (Haye i sur., 2015. cit. Hess i sur. 2022.). Rasprostranjenost vrste u svijetu prikazana je slikom 2.1.2.1. (EPPO, 2022.). Prema navedenoj slici vidljivo je da je vrsta osim na području prirodne rasprostranjenosti (Kina, Japan, Tajvan i Koreja), prisutna i u većini europskih zemalja, te na području Sjeverne i Južne Amerike.

U Hrvatskoj je ustanovljena 2017. godine (Šapina i Šerić Jelaska, 2018.) u gradu Rijeci, u Srbiji 2015. godine u gradu Vršcu (Šeat, 2015.), a u Sloveniji u gradu Šempeter pri Gorici 2017. godine (Rot i sur., 2018.).



Slika 2.1.2.1. Rasprostranjenost vrste *H. halys* u svijetu

Izvor: <https://gd.eppo.int/taxon/HALYHA/distribution>

Porastom temperaturnih vrijednosti, uslijed klimatskih promjena, abiotski uvjeti pogodovali bi razvoju vrste, što bi moglo rezultirati većim brojem generacija godišnje. Prema Hess i sur. (2022.), u Njemačkoj je primijećeno kako se *H. halys* širi iz južnih, toplijih krajeva prema hladnijem sjeveru. Također, može se pretpostaviti kako niske temperature tijekom zime nemaju tako snažan učinak na *H. halys* kao što obično imaju na druge kukce zbog blizine čovjeka i ljudskih naselja (npr. prezimljavanje u stambenim naseljima) (Cira i sur., 2016). Dodatno, prema Lee (2015.) terenskim istraživanjem utvrđeno je da odrasle jedinke mogu prezimiti u prirodi uglavnom koristeći suhe pukotine u mrtvim stablima hrasta (*Quercus* spp.) i bagrema (*Robinia* spp.) kao skloništa.

Na temelju podataka bioklimatskog modeliranja o distribuciji vrste u Aziji, Kriticos i sur. 2012. (prema Hays i sur. 2015.) utvrdili su da najpovoljniji uvjeti za udomaćivanje vrste vladaju u mediteranskim zemljama od Europe i Bliskog istoka, sjevernim dijelovima Alžira, dijelovima zapadne Afrike, zapadnoj obali Sjedinjenih Američkih Država i istočnom dijelu Sjeverne Amerike, središnjem Čileu, sjeveroistočnoj Argentini, Urugvaju i južnom Brazilu. Dodatno, kao pogodni areal širenja štetnika izdvojene su regije koje uključuju važna područja za proizvodnju voća kao što su južni dijelovi Novog Zelanda i južna Afrika (Zhu i sur. 2012. prema Hays i sur. 2015.).

S porastom globalne trgovine, prijevoza, klimatskih promjena, turizma, kretanja robe između zemalja i načina prezimljenja, postoji mogućnost za daljnje širenje i potencijalno udomaćivanje ove vrste i izvan trenutno poznatih područja (Hays i sur., 2015.).

2.1.3. Morfološka obilježja

Duljina tijela smeđe mramoraste stjenice iznosi između 12 i 17 mm, a širina između 7 i 10 mm (Lee i sur., 2013). Ima dorzoventralno spljošteno i široko tijelo čvrste građe u obliku štita te luči neugodne mirise iz žlijezda smještenih na trbušnoj strani prsa. Ticala su joj građena od pet članaka. Usni organ joj je građen za bodenje i sisanje. Donji dio prednjeg para krila (semielytrae ili polupokrilja) je hitiniziran, mramorne smeđe boje po kojoj je i dobila ime, dok je vršni dio prednjeg para krila opnast. Stražnji opnasti par krila smješten je ispod pokrilja i za vrijeme mirovanja krila su složena jedna preko drugih (Slika 2.1.3.1.) (Gotlin Čuljak i Juran, 2016.). Jaja i ličinke prvog stadija bjelkaste su boje eliptičnog oblika. Veličina ličinke prvog stadija približno je 2,4 mm, ličinke drugog stadija 3,7 mm, ličinke trećeg stadija 5,5 mm, ličinke četvrtog stadija 8,5 mm te ličinke petog stadija oko 12 mm (Hoebeke i Carter, 2003.; Oštrec i Gotlin Čuljak, 2005.; Lee i sur., 2013.).



Slika 2.1.3.1. Odrasli oblik vrste *Halyomorpha halys*

Izvor: <https://entomologytoday.org/brown-marmorated-stink-bug-halyomorpha-halys-ellis/>

2.1.4. Biologija i ekologija

Postembrionalni razvoj stjenice je paurometabolija što znači da ličinke prolaze kroz pet razvojnih stadija (jaje, ličinka 1. stadija, ličinka 2. stadija, ličinka 3. stadija, ličinka 4. stadija, ličinka 5. stadija i odrasli oblik) gdje sa svakim sljedećim presvlačenjem sve više sliče odrasloj jedinki (Slika 2.1.4.1.) (Hoebeke i Carter, 2003.; Oštrec i Gotlin Čuljak, 2005.).

Razvoj jajeta traje između 5 i 6 dana, a razvoj od jaja do odraslog oblika traje od 33 do 55 dana (Hoebeke i Carter, 2003.; Oštrec i Gotlin Čuljak, 2005.; Lee i sur., 2013.). U proljeće, krajem travnja do lipnja, kada su sve hranjive tvari iz njihova tijela iscrpljene, te su temperature zraka oko 10 °C, odrasli oblici izlaze van iz skloništa kako

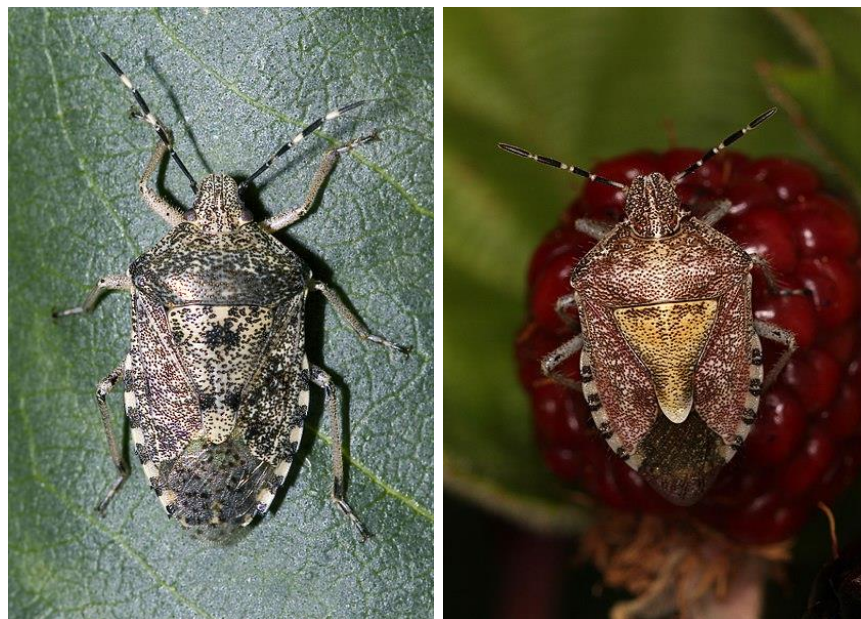
bi se hranili. Visoke temperature u ožujku i travnju mogu uzrokovati i njihovu raniju aktivnost (Lee i sur., 2013.). Razmnožavaju se u svibnju i lipnju, sele na poljoprivredne usjeve, a ženke odlažu jaja u nakupinama na naličju listova biljaka domaćina (Hoebeke i Carter, 2003.; Wermelinger i sur., 2008; Ogburn i sur., 2016.). Štetnik razvija 1-2 generacije godišnje, a prezimljuje kao spolno nezreli odrasli oblik u zatvorenim prostorima (najčešće ljudskim nastambama). Tijekom mjeseca rujna stjenice odlaze na prezimljenje (Hoebeke i Carter, 2003.; Wermelinger i sur., 2008.). Prema Lee i sur. (2013.) većina jedinki *H. halys* postaje neaktivna ispod 9 °C. Također, prosječna životna dob smeđe mramoraste stjenice procjenjuje se na 301 dan.



Slika 2.1.4.1. Životni ciklus vrste *H. halys*

Izvor: <https://www.stopbmsb.org/stink-bug-basics/life-stages/>

Vrsta *H. halys* vrlo je slična drugim europskim vrstama iz porodice Pentatomidae, naročito smrdljivoj greti (*Dolycoris baccarum* L.) ili smrdljivom martinu (*Rhaphigaster nebulosa* Poda) stoga može doći do pogrešaka u identifikaciji vrste (Slika 2.1.4.2.) (Wermelinger i sur., 2008.).



Slika 2.1.4.2. Odrasle jedinke vrste *Rhaphigaster nebulosa* (lijevo) i *Dolycoris baccarum* (desno)

Izvor: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>

2.1.5. Biljke domaćini i štetnost

Smeđa mramorasta stjenice vrlo je pokretna u svim razvojnim stadijima među biljkama domaćinima. Hrani se na različitim mjestima i na različitim domaćinima. Ličinke se najčešće hrane na listovima, stabljikama i plodovima dok se odrasli najviše hrane na plodovima. Poznato je da se ova invazivna stjenica hrani na oko 200 biljaka domaćina uključujući voćke (npr. jabuke, breskve, kruške, grožđe), žitarice (npr. pšenica, soja, sirak), povrtno kulture (npr. patlidžan, rajčica, paprika) i mnoga ukrasna stabla (breza, javor, vrba) i grmlje (Nielsen i Hamilton, 2009.; Caron i sur., 2021.). Prema Nielsen i Hamilton (2009.) na vrsti *Paulownia tomentosa* Thunb., jaja *H. halys* su uočena već u 6. mjesecu, a vrsta *Fraxinus americana* L. idealno je stanište za odrasle sredinom i krajem ljeta. Na vrstama *Viburnum prunifolium* L. i *Rosa rugosa* Thunb. Zabilježena je najveća gustoća ličinki po jedinci površine tijekom kasnog ljeta, a smatra se da je veći broj ličinki snažno povezan sa sazrijevanjem plodova ili mahuna. Većina vrsta iz porodice Pentatomidae fitofagne su i pomoću rila usisavaju hranu ubrizgavajući enzim za razgradnju biljnog tkiva. Štete nastaju u vidu bjeličastih točkica koje kasnije nekrotiziraju, klorotičnih mrlja i deformacija na biljnim organima koje napada (Pajač Živković i sur., 2021.; Gres i Pajač Živković, 2018.).

Osim direktnih šteta vrsta radi i indirektno štete jer može biti i vektor biljnih patogena. Od biljnih patogena posebno se ističe gljiva *Eremothecium coryli* Kurtzman, 1995 koja uzrokuje trulež plodova (Kuhar i sur., 2012.). Stjenica ne napada ljude, ali se smatra ozbiljnim molestantom jer ulazi u ljudska staništa. Također, provedena istraživanja navode da kemijski obrambeni spojevi tridekan, 5-etil-2(5H)-furanon i (E)-2-decenal koji odrasli oblici oslobađaju kada osjete opasnost iz mirisnih žlijezdi može uzrokovati alergijske reakcije kod ljudi (Haye i sur., 2015.).

2.1.6. Mjere suzbijanja

U suzbijanju smeđe mramoraste stjenice u svijetu, najviše se koriste insekticidni tretmani, ali kao posljedica njihove česte uporabe postoji opasnost od razvoja rezistentnosti. Kuhar i Kamminga (2017.) navode da su najučinkovitiji insekticidi u suzbijanju piretroidi (beta-ciflutrin, bifentrin, permetrin, fenpropatrin, lambda-cihalotrin, zetacipermetrin) i neonikotinoidi (dinotefuran, klotianidin i tiametoksam) te karbamati (metomil i oksamil, organofosfati i organoklor endosulfan). Većina njih su insekticidi širokog spektra djelovanja koji također mogu štetiti prirodnim neprijateljima i/ili oprašivačima, stoga se preporučuje ciljana primjena insekticida u metodi „privuci i ubij“ i metodi rubnog prskanja uzgojne površine.

Shodno navedenom, kemijsko suzbijanje može se smatrati samo privremenim rješenjem. Kratka učinkovitost insekticida, polifagnost i sposobnost brzog oporavka štetnika te velika pokretljivost jedinki ključ su čestih neuspjelih pokušaja u smanjivanju brojnosti populacije. Zato se biološko suzbijanje upotrebom prirodnih neprijatelja, pogotovo parazitoida, smatra dugoročnom metodom suzbijanja *H. halys* (Sabbatini-Peverieri i sur., 2020.).

Iako su svi razvojni stadiji stjenice osjetljivi na napad prirodnih neprijatelja, stadij jajeta smatra se najosjetljivijim. Nekoliko vrsta jajnih parazitoida iz roda *Trissolcus* (Hymenoptera: Scelionidae) parazitiraju jaja u cijelom prirodnom području rasprostranjenosti vrste *H. halys*. U Kini, *T. japonicus* (Ashmead, 1904) navodi se kao dominantna vrsta parazitoida *H. halys* u prirodnim i poljoprivrednim staništima sa stopama parazitizma do 80 %. Drugi parazitoid po dominantnosti, *Trissolcus mitsukurii* (Ashmead, 1904) (Hymenoptera, Scelionidae), zabilježen je u Japanu kao uobičajeni antagonist *H. halys*, iako je dugo bio povezan sa stjenicama iz roda *Nezara*.

Ooencyrtus nezarae (Ishii, 1928) (Hymenoptera: Encyrtidae), *Anastatus gastropachae* (Ashmead, 1904) (Hymenoptera: Eupelmidae) i *Acroclisoides* sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) također su poznati parazitoidi vrste, ali njihova stopa parazitizma uglavnom ne prelazi 10 %. Još neki od predatora jaja smeđe mramoraste stjenice su i *Orius* sp. (Hemiptera: Anthocoridae), *Arma chinensis* (Fallou, 1881) (Hemiptera: Pentatomidae) i *Misumenops tricuspidatus* (Fabricius, 1775) (Araneae: Thomisidae). Prirodni neprijatelji ličinačkog stadija i odraslih oblika uključuju i određene pauke te muhe *Bogusia* sp. (Tachinidae) (Dieckhoff i sur., 2017.).

U literaturi se predlaže primjena mehaničkih mjera suzbijanja stjenice sakupljanjem jaja i ličinki svih stadija iz usjeva. Također, uništavanje potencijalnih biljaka domaćina u blizini usjeva, te pakiranje voća u zaštitne vreće predložene su kao potencijalne mjere suzbijanja. Predlaže se i upotreba lovnih biljaka, tzv. „*trap crop*“ metoda. Metoda je korištena u usjevu soje kao zamka za zaštitu srednje i kasno zrelih sorti. Veća brojnost *H. halys* primijećena je na ranoj soji nego na kasnijim sortama, a populacije se nisu povećale u kasnijim sortama nakon žetve ranog usjeva (Lee i sur., 2013.).

2.1.7. Invazivni karakter

Invazivne vrste velika su prijetnja ekosustavima i uzrokuju ogromne ekološke i ekonomske gubitke. Invazivnom vrstom smatra se svaka vrsta koja je namjernim ili slučajnim djelovanjem čovjeka unesena u područja u kojima prirodno ne obitava te svojim rastom i razmnožavanjem negativno utječe na bioraznolikost, gospodarstvo i zdravlje ljudi (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2022.). Teško je procijeniti puni opseg štete od egzotičnih vrsta i troškova suzbijanja, međutim, procjenjuje se da invazivne vrste uzrokuju gubitke od 120 milijardi dolara godišnje samo u Sjedinjenim Državama (Lee, 2015.). S obzirom da su Sjedinjene Države i Kina potvrđena središta u međunarodnoj poljoprivredno-prehrambenoj trgovačkoj mreži, također su najveći potencijalni izvori invazivnih vrsta za ostatak svijeta. Suprotno tome, zemlje u razvoju, posebice zemlje podsaharske Afrike, smatraju se relativno najranjivije (Paini i sur., 2016.). Iako je većina biljaka i kralješnjaka namjerno uvedena, većina beskralješnjaka, uključujući kukce, uvedena su slučajno (Lee, 2015.).

Na razini Europske unije na snazi je Uredba br. 1143/2014 (EUR-Lex, 2022.) o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta. Uredba se primjenjuje u svim državama članicama Europske Unije te se njena provedba u

Republici Hrvatskoj osigurava Zakonom o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima (Narodne novine, br. 15/2018) te njegovim izmjenama i dopunama (Narodne novine 14/2019). Navedenim zakonom zabranjeno je unošenje stranih vrsta kako bi se spriječio ili ublažio njihov štetni utjecaj na bioraznolikost, gospodarstvo i potencijalno zdravlje ljudi.

Pojedini autori navode da čak i u zemljama koje provode biosigurnosne mjere i strogi nadzor, mnogi uvezeni proizvodi ostaju neprovjereni zbog povećanog radnog opterećenja zaposlenika. S obzirom na to, opasnost od unošenja invazivnih vrsta nije u potpunosti isključena, a sam početak invazije često se događa mnogo godina ranije u odnosu kad ista bude otkrivena (Stanaway i sur. 2001. prema Mikac i sur., 2016.)

Vrsta *H. halys* postala je jedan od nedavnih primjera ozbiljne biološke invazije. Kako navode Hays i sur. (2015.), prvi primjerci *H. halys* stigli su u na nove kontinente pošiljkama podrijetlom iz Kine, Hong Konga, Japana, Koreje i Indije. Nadalje, širenje ove vrste uključuje prijenos jedinki na neživim predmetima. Primijećeni su kao slijepi putnici u teretu, sanducima za pakiranje, zrakoplovima, strojevima, vozilima i osobnoj prtljazi (Hoebeke i Carter 2003. prema Hays i sur. 2015.).

S obzirom da se smeđa mramorasta stjenica udomaćila na teritoriju Republike Hrvatske, došlo je do uspostavljanja njezinih samoodrživih populacija. Široko rasprostranjene vrste poput *H. halys* zahtijevaju stalni nadzor i redovito suzbijanje kako bi se smanjio njihov negativan utjecaj u ekološkim i agroekološkim sustavima.

2.2. Geometrijska morfometrija u entomologiji

Geometrijska morfometrija u entomologiji koristi se u svrhu provođenja fenotipskih analiza (Dujardin, 2008.). Kod kukaca se upotrebljava u istraživanjima razlika u veličini tijela, veličini i obliku krila između populacija, te utvrđivanju spolnog dimorfizma unutar populacija (Mitrovski-Bogdanović, 2012). Tatsuta i sur. (2018.) navode da su primjenom geometrijske morfometrije najviše istraživane vrste kukaca iz redova Diptera, Coleoptera i Hymenoptera. Kod vrsta reda Diptera i Hymenoptera morfometrijske analize najčešće su provođene na krilima, a kod Coleoptera na krilima, spolnim organima, glavi, prsima, tijelu, pokrildu i mandibulama. Kod drugih redova kukaca (Lepidoptera, Hemiptera, Odonata i Orthoptera) najviše su istraživana krila.

Za razliku od krila kralježnjaka, krila kukaca imaju mišiće koncentrirane na svojim bazama, tako da se krila pasivno deformiraju letenjem. Prema tome, svojstva i struktura krila glavni su čimbenici za određivanje karakteristika leta kukaca (Wootton, 1992 cit. Tatsuta i sur., 2018.). U krilima kukaca, glavna potporna struktura su hitinske trake ili tzv. žile. Raspored i obrasci grananja tih žila razlikuju se među različitim taksonomskim grupama kukaca i često se koriste za klasifikaciju, posebno na razini reda i porodice (Tatsuta i sur. 2018). Nadalje, raspored žila na krilu utječe na njegovu fleksibilnost u širokom broju skupina kukaca, a moguće i na letačku sposobnost (Ennos, 1988. i Combes & Daniel, 2003. cit. Tatsuta, 2018.).

Za obradu podataka u geometrijskoj morfometriji provode se standardne analize multivarijatne statistike poput Prokrustove superimpozicije (GPA), analize glavnih komponenti (PCA), diskriminantne analize i kanonijske diskriminantne analize (CVA) (Mitteroecker i Gunz, 2009.; Slice, 2007.) u dostupnim programskim paketima, a jedan od najčešće korištenih je MorfoJ v1. 05d (Klingenberg, 2011).

Prokrustova superimpozicija (GPA) je najraširenija metoda koja se koristi za morfometrijske analize. Njome se dobivaju podatci o veličini, položaju i orijentaciji krila, te veličini centroida (CS). CS predstavlja udaljenost specifične točke postavljene na krilo kukca od središta koje se dobiva iz specifičnih točaka (Ivanović i Kalezić, 2009. prema Ninčević, 2021.). Analiza glavnih komponenti (PCA) pripada u jednostavnije analize multivarijatne statistike kojom se uklanja dimenzionalnost (Orlić i Marinović, 2012. prema Ninčević, 2021.). Kanonijska diskriminantna analiza (CVA) je analiza koja se koristi za izdvajanje karakteristika koje najviše doprinose razlikovanju populacije (Ninčević, 2021.).

3. Materijali i metode

3.1. Prikupljanje uzoraka

Uzorci smeđe mramoraste stjenice prikupljeni su u razdoblju od 2018. do 2021. godine u agroekološkim sustavima Hrvatske, Slovenije i Srbije (Slika 3.1.). U Hrvatskoj su stjenice prikupljene ručnim skupljanjem jedinki na lokalitetu Drenčec (Zagreb). U Sloveniji su stjenice prikupljene pomoću specijaliziranih piramidalnih lovki sa agregacijskim atraktantom na lokalitetu Šempeter pri Gorici, a na isti način prikupljeni su i uzorci u Srbiji na lokalitetima Bački Petrovac, Novi Sad i Vršac. Svi uzorci dopremljeni su u laboratorij Zavoda za poljoprivrednu zoologiju Agronomskog fakulteta u Zagrebu, te su do provođenja analiza geometrijske morfometrije čuvani u 96 % etilnom alkoholu.



Slika 3.1. Geografski prikaz lokacija prikupljanja uzoraka (označeno crvenom bojom)

Izvor: <https://www.google.com/maps/@44.4467472,16.4064761,7z>

Tijekom tri vegetacijske sezone ukupno je prikupljeno 545 jedinki stjenice s pet različitih lokacija u tri države (Tablica 3.1.). Na lokaciji Drenčec (Zagreb) u Hrvatskoj uzorci su prikupljeni tijekom 2019. godine, a ukupno je prikupljeno 145 jedinki (70 mužjaka i 75 ženki). Na lokaciji Šempeter pri Gorici u Sloveniji uzorci su prikupljeni tijekom 2021. godine, te je ukupno prikupljeno 100 jedinki (50 mužjaka i 50 ženki). Na lokacijama Vršac, Bački Petrovac i Novi Sad u Srbiji prikupljen je najveći broj jedinki (ukupno 300 jedinki u razdoblju od tri godine). U Vršcu je tijekom 2018. godine ukupno prikupljeno 111 jedinki (55 mužjaka i 56 ženki). Na lokaciji Bački Petrovac je tijekom 2019. godine ukupno prikupljeno 100 jedinki (49 mužjaka i 51 ženka), dok je u Novom Sadu tijekom 2020. godine ukupno prikupljeno 89 primjeraka stjenice (44 mužjaka i 45 ženki) (Tablica 3.1.).

Tablica 3.1. Prikaz država i lokacija prikupljanja uzoraka, vegetacijske sezone uzorkovanja, te brojnosti prikupljenih jedinki smeđe mramoraste stjenice po spolu

Država i lokalitet		Vegetacijska sezona uzorkovanja	Broj jedinki po spolu
Hrvatska	Drenčec (Zagreb)	2019.	70 mužjaka
			75 ženki
Slovenija	Šempeter pri Gorici	2021.	50 ženki
			50 mužjaka
Srbija	Vršac	2018.	42 mužjaka
	Vršac	2018.	31 ženka
	Vršac	2018.	15 ženki
	Vršac	2018.	13 mužjaka
			10 ženki
	Bački Petrovac	2019.	42 mužjaka
	Bački Petrovac	2019.	30 ženki
	Bački Petrovac	2019.	14 ženki
	Bački Petrovac	2019.	7 mužjaka
			7 ženki
	Novi Sad	2020.	45 ženki
			44 mužjaka

3.2. Postupak prepariranja krila

Pomoću Stereo mikroskopa Carl Zeiss V8 jedinke smeđe mramoraste stjenice su prema morfološkim razlikama na genitalnom aparatu razdvojene po spolu. Mužjaci imaju kopče na terminalnom abdominalnom segmentu koje kod ženki izostaju (Rice i sur., 2014.). Nakon determinacije spola, jedinkama su uklonjena sva krila (polupokrilja i opnasta) pomoću pincete te je proveden proces prepariranja. Proces prepariranja je proveden prema standardnoj metodi gdje se uz korištenje pincete, iglice i specijalnog ljepila za mikroskopske uzorke Euparal, (Australian Entomological Supplies, Melbourne, Vic., Australia) svako krilo ljepilo na predmetno stakalce te pokrivalo pokrovnim stakalcem. Svako stakalce je obilježeno jedinstvenom oznakom uzorka markerom te stavljeno na sušenje. Preparirana krila su se sušila na zraku na sobnoj temperaturi tjedan dana nakon čega su bila spremjena u označene kutije za stakalca na trajnu pohranu (3.2.).

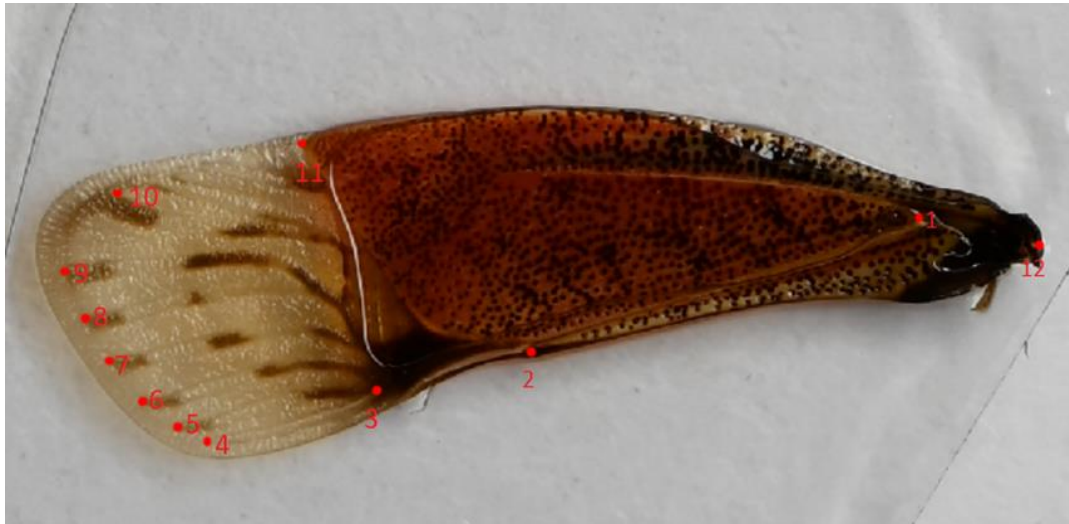


Slika 3.2. Prikaz preparata u označenim kutijama za trajnu pohranu uzoraka (Snimila: Mulamehmedović J., 2022.)

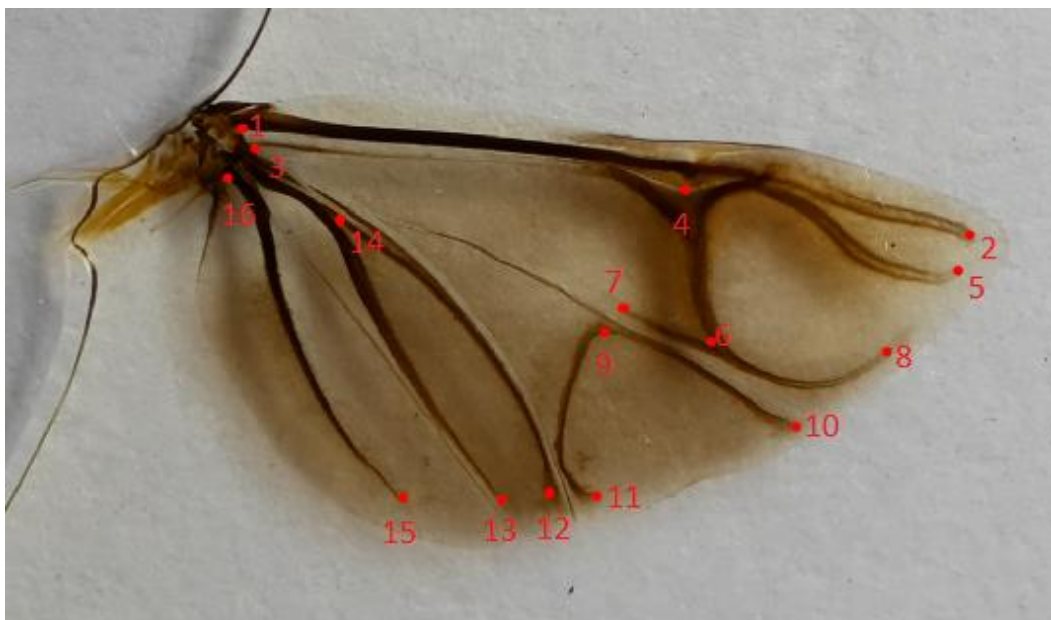
Nakon sušenja svako krilo je fotografirano pomoću digitalnog fotoaparata Nikon D780 (24.5 MP) postavljenom na tronošću te spremljeno u JPEG format pomoću softvera CameraRC Deluxe (J-Pro Software, LLC). Sve fotografije krila su posebno imenovane i označene po lokaciji.

3.3. Označavanje točaka (markera)

Na svaku fotografiju polupokrila smeđe mramoraste stjenice postavljeno je 12 specifičnih točaka (Slika 3.3.1.), a na čvorištima ili završetcima žila svakog opnastog krila 16 specifičnih točaka (Slika 3.3.2.). Točke su postavljani na gornja i donja krila po točno definiranome rasporedu. Sve slike su digitalizirane korištenjem softvera tpsDig2 V2.32 (Rohlf, 2021.). Iz daljnjih analiza izbačeni su uzorci na kojima se nisu mogle odrediti sve točke uslijed preklapanja tkiva ili oštećenja.



Slika 3.3.1. Prikaz rasporeda postavljanja specifičnih točaka na polupokrilju smeđe mramoraste stjenice
(Izvor: Mulamehmedović, 2022.)



Slika 3.3.2. Prikaz rasporeda postavljanja specifičnih točaka na opnastom krilu smeđe mramoraste stjenice
(Izvor: Mulamehmedović, 2022.)

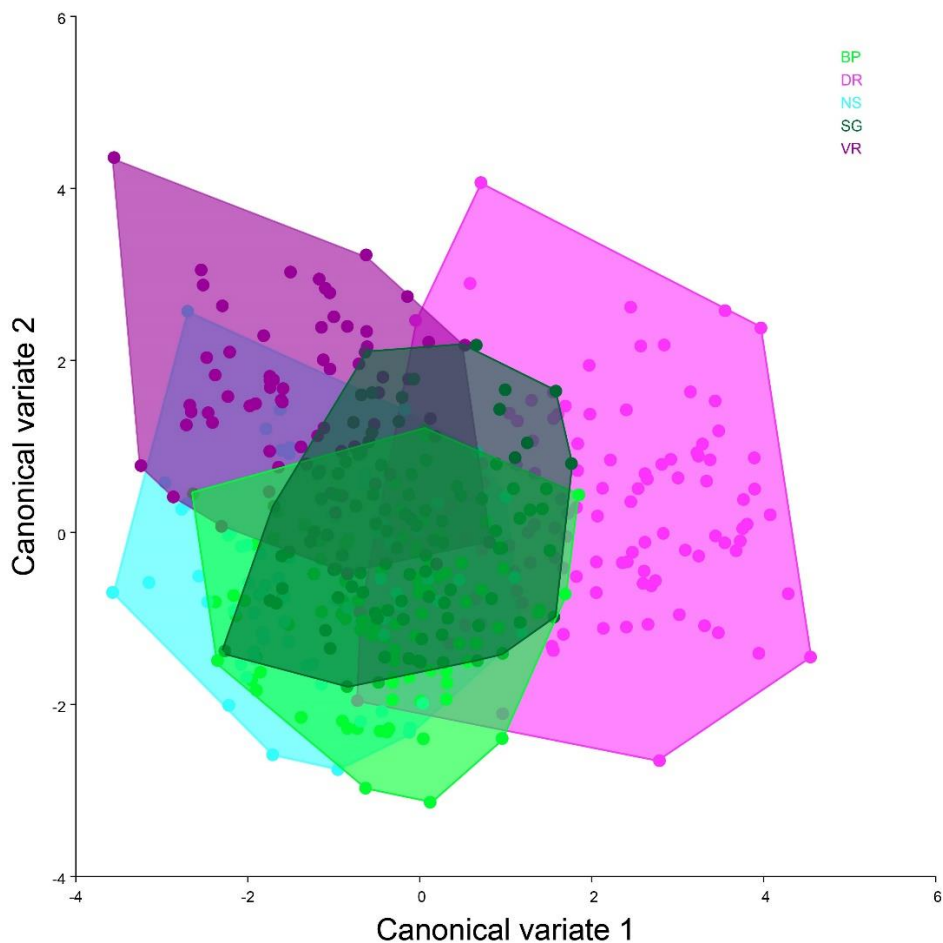
3.4. Obrada podataka

U svrhu geometrijsko morfometrijske analize oblika i veličine krila korištene su standardne analize multivarijatne statistike: Analiza glavnih komponenti (PCA) i Kanonijska diskriminantna analiza (CVA), a statistička obrada podataka obavljena je u programu MorfoJ v1. 05d (Klingenberg, 2011.).

4. Rezultati

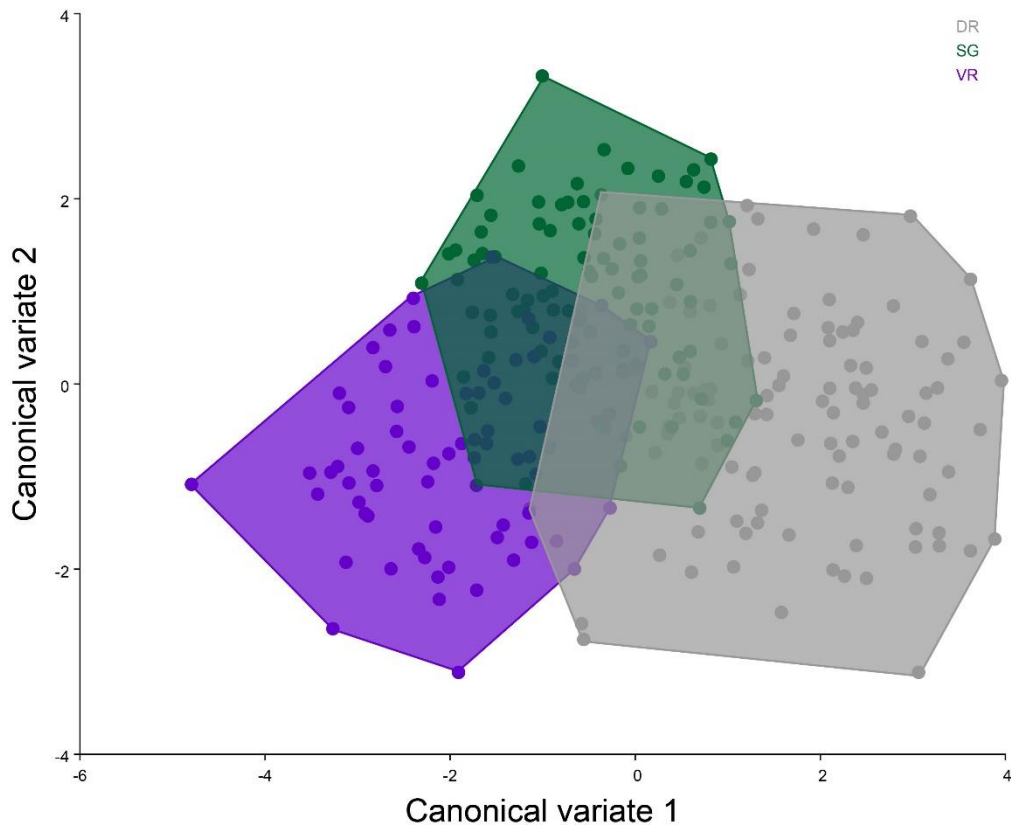
Rezultatima istraživanja morfološke varijabilnosti smeđe mramoraste stjenice utvrđene su statistički značajne razlike u obliku krila između istraživanih populacija.

Slikom 4.1. prikazana je varijabilnost analiziranih populacija smeđe mramoraste stjenice s obzirom na različite lokacije u Hrvatskoj, Sloveniji i Srbiji nakon provedene kanonijske diskriminantne analize (CVA). Prema navedenoj slici vidljivo je da postoje značajne razlike u obliku krila između svih analiziranih populacija. Populacija iz Hrvatske pokazala je veliku varijabilnost u obliku krila u odnosu na populacije iz Slovenije i Srbije koje imaju sličnija krila, a između tri analizirane populacije iz Srbije dodatno se po obliku krila izdvojila populacija Vršac.



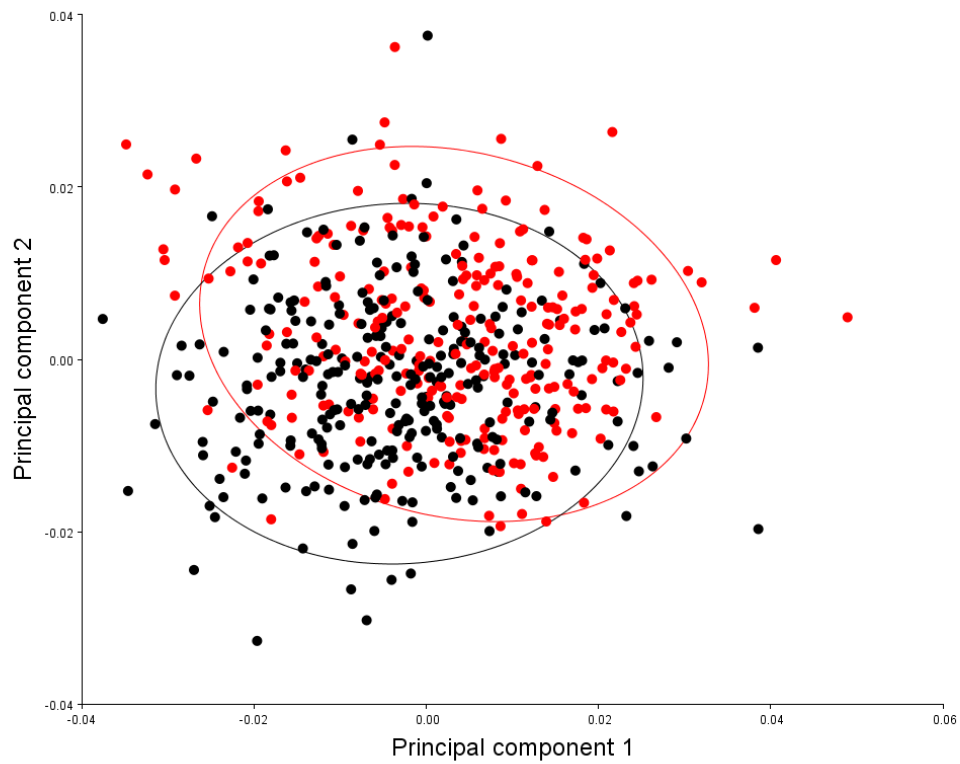
Slika 4.1. Prikaz varijabilnosti populacija smeđe mramoraste stjenice između različitih lokacija Hrvatske, Slovenije i Srbije (**Drenčec** (Hrvatska); **Bački Petrovac**, **Novi Sad**, **Vršac** (Srbija), **Šempetar pri Gorici** (Slovenija))

Kanonijском diskriminantnom analizom (CVA) također je utvrđeno da se populacije s područja Hrvatske, Slovenije i Srbije međusobno razlikuju u obliku prednjih krila (Slika 4.2.). Prema navedenoj slici vidljiva je velika varijabilnost u obliku prednjih krila populacija iz Slovenije i Srbije u odnosu na populaciju iz Hrvatske, a populacije iz Slovenije i Srbije imaju međusobno sličnija krila.



Slika 4.2. Prikaz varijabilnosti populacija smeđe mramoraste stjenice u prednjim krilima između različitih država (Hrvatska (lokalitet Drenčec), Slovenija lokalitet Šempetar pri Gorici), Srbija (lokalitet Vršac))

Slikom 4.3. prikazana je varijabilnosti u obliku prednjih i stražnjih krila između mužjaka i ženki analiziranih populacija smeđe mramoraste stjenice iz Hrvatske, Slovenije i Srbije nakon provedene analize glavnih komponenti (PCA). Prema navedenoj slici vidljivo je da su utvrđene minimalne razlike u obliku prednjih i stražnjih krila između mužjaka i ženki smeđe mramoraste stjenice iz različitih država, stoga spolni dimorfizam nije utvrđen.



Slika 4.3. Prikaz varijabilnosti u obliku prednjih i stražnjih krila između mužjaka (crna) i ženki (crvena) analiziranih populacija smeđe mramoraste stjenice iz različitih država (Hrvatska, Slovenija i Srbija)

5. Rasprava

Smeđa mramorasta stjenica relativno je novi član entomofaune Hrvatske, Slovenije i Srbije. U Srbiji je prvi puta zabilježena 2015. (Šeat, 2015.), a u Hrvatskoj i Sloveniji 2017. godine (Šapina i Šerić Jelaska, 2018.; Rot i sur., 2018.), te se malo zna o njezinoj biologiji i ekologiji ali i o morfološkoj varijabilnosti.

Pajač Živković i sur. (2022.) istraživali su morfološku varijabilnost populacije smeđe mramoraste stjenice prikupljene na području Zagreba s ciljem utvrđivanja spolnog dimorfizma i procjene varijabilnosti populacije. Rezultati istraživanja pokazali su značajne razlike između mužjaka i ženki u svim mjerenim parametrima na dorzalnoj i ventralnoj strani tijela (duljini tijela, širini pronotuma, površini tijela i površini oba para krila, te u pigmentaciji sternuma). Ženke su bile krupnije građe i imale su veća krila, a kod mužjaka je primijećena jača pigmentacija sternuma, čime je spolni dimorfizam dokazan. Rezultati navedenog istraživanja pokazali su da su ženke zbog svojih morfoloških karakteristika prilagođenije za migratorne letove u odnosu na mužjake, a samim time su vjerojatno i odgovorne za širenje vrste na nova područja (Pajač Živković i sur., 2022.).

Rezultatima ovog istraživanja nisu utvrđene značajne razlike u obliku prednjeg i stražnjeg para krila mužjaka i ženki štetnika, no i male utvrđene razlike u obliku krila dokaz su prilagođavanja vrste novim okolišnim uvjetima.

Smeđa mramorasta stjenica izuzetno je prilagodljiva različitim klimatskim uvjetima, stoga je vrlo važno pratiti njezinu populaciju, te pokušati predvidjeti obrasce širenja (Reznik i sur., 2022). U ovom istraživanju primjenom geometrijske morfometrije utvrđena je značajna varijabilnost u obliku krila između istraživanih populacija štetnika iz Hrvatske, Slovenije i Srbije, što također upućuje na prilagođavanje štetnika novim agroekološkim uvjetima na području Istočne Europe koja se klimatski razlikuje u odnosu na područje prirodne rasprostranjenost štetnika tj. područje Azije.

Populacija štetnika iz Hrvatske značajno se razlikovala u obliku krila u odnosu na populacije štetnika iz Slovenije i Srbije koje su imale sličnija krila, što je dokaz velike varijabilnost populacije štetnika i relativno kratkog obitavanja vrste na području Hrvatske, Slovenije i Srbije.

U literaturi je ovaj fenomen poznat je pod pojmom fenotipske plastičnosti tj. sposobnost genotipa da pod utjecajem okoliša proizvede različite fenotipe (Schlichting i Pigliucci, 1998.). Visoka fenotipska plastičnost upućuje na nisku varijabilnost između populacija pod utjecajem okoliša, dok velika varijabilnost populacija štetnika utvrđena ovim istraživanjem upućuje na nisku fenotipsku plastičnost koja je dokaz postupnog prilagođavanja tj. aklimatizacije vrste novom području na koje je nedavno prispjela. Također, navedeno potvrđuje i invazivni karakter vrste koja se u relativno kratkom vremenskom razdoblju počela razmnožavati i širiti na području Europe, te negativno utjecati na agroekološke sustave tj. uzrokovati ekonomske gubitke u poljoprivrednoj proizvodnji (Haye i sur. 2015.; Pajač Živković i sur., 2021.).

Primjenom geometrijske morfometrije dokazane su mnogobrojne fenotipske varijacije kod invazivnih vrsta štetnika (Lemić i sur., 2014. i 2020.; Lemić i sur., 2016.)

koje nije bilo moguće utvrditi primjenom genetičkih markera, stoga je i ovo istraživanje dokaz primjenjivosti ove ekonomski prihvatljive te pouzdane metode u dokazivanju promjena u genetskoj strukturi populacija na temelju promjene fenotipa.

S obzirom da je ova vrsta tek nedavno ustanovljena na području Hrvatske, Slovenije i Srbije nužno je provoditi ovakva istraživanja kako bi se na vrijeme detektirale populacije štetnika odgovorne za njegovo proširenje na nova područja, te poduzele adekvatne mjere njegovog suzbijanja (Lemic i sur., 2016.). Suzbijanje se većinom provodi primjenom insekticidnih tretmana iz kemijskih skupina piretroida i neonikotinoida (Kuhar i Kamminga, 2017.), no njihovom učestalom primjenom štetnik razvija rezistentnost, te se okoliš opterećuje agrokemikalijama. U svrhu suzbijanja ovog štetnika u Hrvatskoj, za sada nije registriran niti jedan kemijski pripravak. Pajač Živković i sur. (2020.) istraživali su utjecaj polifenolnih spojeva iz vodenih ekstrakata stevije i aronije u suzbijanju smeđe mramoraste stjenice inkapsuliranih u mikročestice kalcijevog alginata metodom ionske gelacije, te utvrdili insekticidni učinak prilikom kontaktne primjene mikročestica na bazi aronije na nimfe i odrasle oblike stjenice. Primjenom mikročestica na bazi stevije utvrđeno je produljeno insekticidno djelovanje na smeđu mramorastu stjenicu. Od ekološki povoljnijih metoda zaštite od ovog štetnika primjenjuje se tzv. „*attract-and-kill*“ metoda, tj. metoda privlačenja štetnika na određeno područje korištenjem lovki na bazi agregacijskih atraktanata, gdje se potom ciljano suzbijaju primjenom insekticidnog tretmana (Morrison III i sur., 2018.). Primjenom mehaničkog tipa zaštite postavljanjem tzv. „*insect-proof*“ mreža postignuti su vrlo dobri rezultati u zaštiti višegodišnjih nasada, a štete u uzgoju jabuke i breskve smanjene su za 20 % do 45 % (Candian i sur., 2018.).

6. Zaključak

Primjenom metoda geometrijske morfometrije utvrđena je velika varijabilnost istraživanih populacija štetnika iz Hrvatske, Slovenije i Srbije u obliku krila. Populacija štetnika iz Hrvatske značajno se razlikovala u obliku krila u odnosu na populacije štetnika iz Slovenije i Srbije koje su imale sličnija krila, što upućuje na prilagođavanje štetnika novim agroekološkim uvjetima na području Istočne Europe, a dokaz je niske fenotipske plastičnosti štetnika. Rezultatima istraživanja nije utvrđen spolni dimorfizam, no utvrđene su minimalne razlike u obliku prednjih i stražnjih krila između mužjaka i ženki smeđe mramoraste stjenice iz različitih država. S obzirom na invazivni karakter vrste, koji se prvenstveno ogleda u vrlo dobroj prilagodbi različitim klimatskim prilikama, te polifagnosti, u budućnosti se očekuje potpuna aklimatizacija vrste na području istraživanja.

7. Popis literature

1. Bariselli M., Bugiani R., Maistrello L. (2016). Distribution and damage caused by *Halyomorpha halys* in Italy. *Eppo Bulletin*, 46(2), 332-334.
2. Candian, V., Pansa, M.G., Briano, R., Peano, C., Tedeschi, R., Tavella, L. (2018). Exclusion nets: a promising tool to prevent *Halyomorpha halys* from damaging nectarines and apples in NW Italy. *Bulletin of Insectology*, 71 (1), 21-30.
3. Caron V., Yonow T., Paull, C., Talamas E. J., Avila G. A., Hoelmer K. A. (2021). Preempting the arrival of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*: Biological control options for Australia. *Insects*, 12(7), 581.
4. Cira T. M., Venette R. C., Aigner J., Kuhar T., Mullins D. E., Gabbert S. E., Hutchison W. D. (2016). Cold tolerance of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) across geographic and temporal scales. *Environmental Entomology*, 45(2), 484-491.
5. Dieckhoff C., Tatman K. M., & Hoelmer, K. A. (2017). Natural biological control of *Halyomorpha halys* by native egg parasitoids: a multi-year survey in northern Delaware. *Journal of Pest Science*, 90(4), 1143-1158.
6. Dujardin, J. P. (2008). Morphometrics applied to medical entomology. *Infection, Genetics and Evolution*, 8(6), 875-890.
7. Gotlin Čuljak T., Juran I. (2016). *Poljoprivredna entomologija – sistematika kukaca*. Radin, Zagreb.
8. Gres V., Pajač Živković, I. (2018). Strana vrsta stjenice *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) - novi štetnik u proizvodnji bilja. *Fragmenta phytomedica*, 32(2), 31-42.
9. Haye, T., Garipey, T., Hoelmer, K., Rossi, J. P., Streito, J. C., Tassus, X., Desneux, N. (2015). Range expansion of the invasive brown marmorated stinkbug, *Halyomorpha halys*: an increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide. *Journal of Pest Science*, 88(4):665-673.
10. Hess, B., Zimmermann, O., Baufeld, P., Reißig, A., Lutsch, B., Schrader, G. (2022). Current distribution and spatial spread patterns of *Halyomorpha halys* in Germany. *EPPO Bulletin*, 52(1), 164-174.
11. Hoebeke E. R., Carter M. E. (2003). *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): a polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 105(1), 225-237.
12. Klingenberg C.P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11, 353-357.
13. Kuhar T., Kamminga K., Whalen J., Dively G. P., Brust G., Hooks C. R. R., Hamilton G., Herbert D. (2012). The pest potential of brown marmorated stink bug on vegetable crops. *Plant Health Progress*, 13(1), 1-4.
14. Kuhar T. P., Kamminga K. (2017). Review of the chemical control research on *Halyomorpha halys* in the USA. *Journal of Pest Science*, 90(4), 1021-1031.
15. Lee D. H., Short B. D., Joseph S. V., Bergh J. C., Leskey T. C. (2013). Review of the biology, ecology, and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera:

- Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea. *Environmental entomology*, 42(4), 627-641.
16. Lee, D. H. (2015). Current status of research progress on the biology and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) as an invasive species. *Applied Entomology and Zoology*, 50(3), 277-290.
 17. Lemić, D., Benitez, H. A., Bažok, R. (2014). Intercontinental effect on sexual shape dimorphism and allometric relationships in the beetle pest *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte (Coleoptera: Chrysomelidae). *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, 253(3): 203-206.
 18. Lemic, D., Benítez, H. A., Püschel, T., Virić Gašparić, H., Šatvar, M., Bažok, R. (2016). Ecological morphology of the sugar beet weevil Croatian populations: evaluating the role of environmental conditions on body shape. *Zoologischer Anzeiger*, 260, 25-32.
 19. Lemić, D., Benitez, H. A., Bjeliš, M., Ordenes-Claveria, R., Ninčević, P., Mikac, K., Pajač Živković, I. (2020). Agroecological effect and sexual shape dimorphism in medfly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) an example in Croatian populations. *Zoologischer anzeiger*, 288, 118-124.
 20. Leskey T. C., Nielsen A. L. (2018). Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: History, biology, ecology, and management. *Annual Review of Entomology*, 63, 599-618.
 21. Mikac, K. M., Lemic, D., Bažok, R., Benítez, H. A. (2016). Wing shape changes: A morphological view of the *Diabrotica virgifera virgifera* European invasion. *Biological invasions*, 18(12), 3401-3407.
 22. Mitrovski-Bogdanović A. S. (2012). Molecular and morphological characterization in *Praon dorsale-yomenae* species complex (Hymenoptera, Braconidae). Faculty of Biology. Belgrade, 15-35.
 23. Mitteroecker, P., Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), 235-247.
 24. Morrison III, W. R., Blaauw, B. R., Short, B. D., Nielsen, A. L., Bergh, J. C., Krawczyk, G., Park, Y.-L., Butler, B. Khimiani, A., Leskey, T. C. (2018). Successful management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in commercial apple orchards with an attract-and-kill strategy. *Pest. Manag. Sci.*, 75(1), 104-114.
 25. Nielsen A. L., Hamilton G. C., Matadha D. (2008). Developmental rate estimation and life table analysis for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Environmental Entomology*, 37(2), 348-355.
 26. Nielsen, A. L., Hamilton, G. C. (2009). Life history of the invasive species *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 102(4): 608-616.
 27. Ninčević P. (2021). Fenotipska plastičnost mediteranske voćne muhe (*Ceratitis capitata*) preduvjet je invazivnosti i prilagodbe različitim agroekološkim uvjetima. *Agronomski fakultet. Zagreb*, 24-25.
 28. Ogburn E.C., Bessin R., Dieckhoff C., Dobson R., Grieshop M., Hoelmer K.A., Mathews C., Moore J., Nielsen A.L., Poley K., Pote J.M., Rogers M., Welty C.,

- Walgenbach J.F. (2016). Natural enemy impact on eggs of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), in organic agroecosystems: a regional assessment. *Biological Control*, 101: 39-51.
29. Oštrec, Lj., Gotlin Čuljak, T. (2005). Opća entomologija. Zrinski d. d., Čakovec
 30. Paini, D. R., Sheppard, A. W., Cook, D. C., De Barro, P. J., Worner, S. P., Thomas, M. B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(27), 7575-7579.
 31. Pajač Živković, I., Lemić, D., Mešić, A., Barić, B., Órdenes, R., Benítez, H. A. (2018). Effect of fruit host on wing morphology in *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): A first view using geometric morphometrics. *Entomological research*, 48(4), 262-268.
 32. Pajač Živković, I., Jurić, S., Vinceković, M., Galešić, M. A., Marijan, M., Vlahovićek-Kahlina, K., Mikac, K. M., Lemic, D. (2020). Polyphenol-Based Microencapsulated Extracts as Novel Green Insecticides for Sustainable Management of Polyphagous Brown Marmorated Stink Bug (*Halyomorpha halys* Stål, 1855). *Sustainability*, 12, 10079.
 33. Pajač Živković, I., Skendžić, S., Lemić, D. (2021). Rapid spread and first massive occurrence of *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) in agricultural production in Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, 22 (3), 531-538.
 34. Pajač Živković, I., Mulamehmedović, J., Gödel, B., Lemić, D. (2022). Sexual dimorphism of brown marmorated stink bug. *Journal of Central European Agriculture*, 23(1), 62-68.
 35. Reznik, S. Y., Karpun, N. N., Zakharchenko, V. Y., Shoshina, Y. I., Dolgovskaya, M., Y., Saulich, A. K., Musolin, D. L. (2022). To Every Thing There Is a Season: Phenology and Photoperiodic Control of Seasonal Development in the Invasive Caucasian Population of the Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae). *Insects*, 13, 580.
 36. Rice, K. B., Bergh, C. J., Bergmann, E. J., Biddinger, D. J., Dieckhoff, C., Dively, G., Fraser, H., Garipey, T., Hamilton, G., Haye, T., Herbert, A., Hoelmer, K., Hooks, C. R., Jones, A., Krawczyk, G., Kuhar, T., Martinson, H., Mitchell, W., Nielsen, A. L., Pfeiffer, D. G., Raupp, M. J., Rodriguez-Saona, C., Shearer, P., Shrewsbury, P., Venugopal, P. D., Whalen, J., Wiman, N. G., Leskey, T. C., Tooke, J. F. (2014). Biology, ecology and management of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae). *J. Integr. Pest Manag.*, 5, A1-A13.
 37. Rot, M., Devetak, M., Carlevaris, B., Žežlina, J., Žežlina, I. (2018). First record of brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys* Stål, 1855) (Hemiptera: Pentatomidae) in Slovenia. *Acta entomologica slovenica*, 26(1), 5-12.
 38. Rohlf, F. J. (2021). Morphometric software tpsDig. Dostupno na: <https://life2.bio.sunysb.edu/ee/rohlf/software.html> (pristup 10.08.2022.).
 39. Sabbatini-Peverieri G., Dieckhoff C., Giovannini L., Marianelli L., Roversi P. F., Hoelmer K. (2020). Rearing *Trissolcus japonicus* and *Trissolcus mitsukurii* for biological control of *Halyomorpha halys*. *Insects*, 11(11), 787.
 40. Schlichting, C. D. i Pigliucci, M. (1998). Phenotypic evolution: a reaction norm perspective. Sinauer, Massachusetts, United States.

41. Šapina I., Šerić Jelaska, L. (2018). First report of invasive brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) in Croatia. Bulletin OEPP/EPPO, 48(1), 1-6.
42. Šeat, J. (2015). *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) a new invasive species in Serbia. Acta entomologica serbica, 20, 167-171.
43. Slice, D. E. (2007). Geometric morphometrics. Annual Review of Anthropology, 36, 261-281.
44. Tatsuta, H., Takahashi, K. H., Sakamaki, Y. (2018). Geometric morphometrics in entomology: Basics and applications. Entomological Science, 21(2): 164-184.
45. Wermelinger B., Wyniger D., Forster B. (2008). First records of an invasive bug in Europe: *Halyomorpha halys* Stål (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees. Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, 81, 1-8.
46. Zhu G., Bu W., Gao Y., Liu G. (2012). Potential geographic distribution of brown marmorated stink bug invasion (*Halyomorpha halys*). PLoS One, 7(2), e31246.

Popis korištenih poveznica:

1. CABI (2022). *Halyomorpha halys* (brown marmorated stink bug). Dostupno na: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27377> / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).
2. EPPO (2022). *Halyomorpha halys*. Dostupno na: <https://gd.eppo.int/taxon/HALYHA> / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).
3. EURLex (2022). Uredba (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća od 22. listopada 2014. o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32014R1143> / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).
4. Ministarstvo gospodarstva I održivog razvoja (2022). Strane i invazivne strane vrste. Dostupno na: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-zastitu-prirode-1180/strane-i-invazivne-strane-vrste/5477> / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).
5. Narodne novine (2022). Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_02_15_310.html / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).
6. Narodne novine (2022). Zakon o izmjenama i dopuni Zakona o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_02_14_275.html / (pristupljeno: 14. rujna 2022.).

Životopis

Jasmina Mulamehmedović rođena je 1. prosinca 1991. godine u Zagrebu. Osnovnu školu Dobriše Cesarića završila je u Zagrebu. Od 2006. do 2010. je pohađala Prehrambeno-tehnološku školu u Zagrebu. Maturirala je 2010. godine kao Tehničar nutricionist. Preddiplomski studij Zaštite bilja upisuje 2017., a diplomski studij Fitomedicine 2020. na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Osim hrvatskog jezika tečno govori i engleski jezik. Osposobljena je za rad u Microsoft Office programskom paketu (Excel, Word, PowerPoint). Poznaje osnove softverskih programa Adobe Illustrator i Adobe Photoshop.