

Usporedba učinkovitosti tri vrste klopki za ulov leptira gubara (*Lymantria dispar* L.)

Valenčak, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:151:658572>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**



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 U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marta Valenčak, apsolvant

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Modul Zaštita bilja

**Usporedba učinkovitosti tri vrste klopki za ulov leptira gubara
(*Lymantria dispar* L.)**

Diplomski rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marta Valenčak, apsolvant

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Modul Zaštita bilja

**Usporedba učinkovitosti tri vrste klopki za ulov leptira gubara
(*Lymantria dispar* L.)**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. prof. dr. sc. Ivana Majić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ankica Sarajlić, mentor
3. prof. dr. sc. Mirjana Brmež, član

Osijek, 2024.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	2
2.1. <i>Lymantria dispar</i> L.....	2
2.1.1. Životni ciklus i razmnožavanje	3
2.1.2. Stanište	7
2.1.3. Biljke domaćini	7
2.1.5. Praćenje (monitoring).....	8
2.1.6. Kontrola i suzbijanje	9
2.1.7. Prirodni neprijatelji	10
2.2. Klopke za praćenje kukaca	11
2.2.1. Povijest feromonskih klopki za leptira gubara	11
2.2.2. Feromonski mamci	11
3. MATERIJALI I METODE	13
5. RASPRAVA	23
6. ZAKLJUČAK	33
7. POPIS LITERATURE	34
8. SAŽETAK	40
9. SUMMARY	41
10. POPIS SLIKA	42
11. POPIS GRAFIKONA	43

1. UVOD

Leptir gubar (*Lymantria dispar* L.) bio je glavni štetnik hrastovih šuma u Hrvatskoj do 1960-ih godina. Od tada su njegove populacije u kontinentalnim područjima u stalnom blagom opadanju, s cikličkim gradacijama svakih 10-11 godina. Posljednje dvije gradacije zabilježene su tijekom razdoblja 2003.-2005. i 2013.-2014. (Pernek, 2018.). Gubar je polifagni štetnik, što znači da se hrani različitim biljkama. Na kontinentalnom nizinskom području, uzrokuje štetu na krošnjama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), ali i običnom grabu (*Carpinus betulus* L.), topolama (*Populus* spp.), vrbama (*Salix* spp.), johama (*Alnus* spp.) te voćkama poput šljiva (*Prunus* spp.) i jabuka (*Malus* spp.), što ga svrstava i među poljoprivredne štetnike. Tijekom masovnih pojava, može doći do defolijacije šuma na velikim površinama (Margaletić i sur., 2007.).

Kako bi se suzbijanje leptira gubara započelo na vrijeme, potrebno je pratiti njegovu prisutnost i visinu populacije. Jedan od efikasnih načina koji pomažu u tome jest upotreba feromonskih klopki.

1.1. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je procijeniti učinkovitost tri različite vrste feromonskih klopki za hvatanje leptira gubara, doprinoseći boljem razumijevanju dinamike populacije.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. *Lymantria dispar* L.

Leptir gubar pripada u red leptira (Lepidoptera), porodica Lymantriidae (Inoue i sur., 2019.). Ženke (slika 1.) su nešto veće od mužjaka i uglavnom su bijele boje, s nekoliko tamnih vijugavih linija i točkica na krilima promjera 50-70 mm. Tijela ženki prekrivena su sitnim dlačicama, a njihova ticala su nitasta. Mužjaci gubara su svijetlosmeđi sa sivo-smeđim krilima koja imaju niz crnih pruga, a promjer krila im je 35-50 mm. Ticala su kod mužjaka perasta (slika 2.) (Tomiczek i sur., 2008.).



Slika 1. Imago ženke leptira gubara

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/hrastov-gubar/#hrastov+gubar-4>



Slika 2. Mužjak leptira gubara
(Foto: Sarajlić, A. 2023.)

2.1.1. Životni ciklus i razmnožavanje

Oplođene ženke polažu jaja na debla drveća obično na manje od 1 m od mjesta gdje su izašle iz kukuljice jer su funkcionalno nesposobne za let (Pogue i Schaefer, 2007.). Međutim, ženke koje nisu oplođene polažu jaja koja se ne izlegu i obično su raspršena pojedinačno ili u malim, neorganiziranim skupinama (Georgiev, 2013.). Jaja se polažu u skupinama direktno na koru ili grane biljaka domaćina krajem ljeta (Pogue i Schaefer, 2007.). Osim na biljkama domaćinima, jaja se mogu naći na stijenama ili drugim nepokretnim objektima (npr. drva za ogrjev, rekreacijska vozila, božićna drvca, brodski ili teretni kontejneri) i tamo mogu prezimiti osam do devet mjeseci (Fabel, 2000.) Općenito, ženke polažu jaja u hladnijim ili sjenovitim dijelovima stabla (Pogue i Schaefer, 2007.). Jedna ženka može položiti u prosjeku od 100 do preko 1000 jaja. U optimalnim uvjetima, prosječan broj jaja u jednoj skupini je oko 750, dok na kraju epidemije, kada populacija počne opadati, iznosi oko 300 (Doane i McManus, 1981.). Na primjer, u Španjolskoj prosječan broj jaja po skupini tijekom cijele generacije iznosi 250–500 (Closa i sur., 2008.). Jajna legla (slika 3a i 3b) su prekrivena dlačicama s abdomena ženke kako

bi ih štatile tijekom zime (Žikić i sur., 2017.). Dlačice su duge, ravne i općenito konične na oba kraja (Roonwal, 1954.). Jaja mogu izdržati temperature ispod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (do $-31,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), pod uvjetom da su položena na zaštićeno mjesto ili izolirana snijegom (Fabel, 2000.). Skupine jaja su otprilike 3,8 cm duge i 1,9 cm široke, dok prisutnost manjih skupina jaja ukazuje na opadanje populacije *L. dispar* (Katovich i Haack, 1991.).



Slika 3a. Ženka gubara s jajnim leglom Slika 3b. Jaja *Lymantria dispar*
Izvor: <https://www.monaconatureencyclopedia.com/lymantria-dispar/?lang=en>

Stadij jajeta prva tri tjedna obuhvaća embrionaciju, a zatim dijapauzu, na koju utječu vremenski uvjeti. Mnoge studije su istraživale klimatske čimbenike koji utječu na stadije dijapauze (predijapauza, dijapauza, postdijapauza), otkrivajući složen, nelinearan odnos između temperature i tijeka dijapauze. Povišene temperature ubrzavaju razvoj embrija, pa faza predijapauze traje 16 dana na 25°C , a 48 dana na 15°C . Ovu fazu karakterizira visoka metabolička aktivnost i intenzivan morfološki razvoj. Tijekom dijapauze, diferencirana ličinka ostaje u mirovanju nekoliko mjeseci s niskim ritmom disanja i razvojem, pri čemu niske temperature skraćuju trajanje dijapauze. Nakon dijapauze, povišene temperature ubrzavaju izlazak ličinki, koji traje 11-18 dana na 25°C , a 14-25 dana na 15°C , uz visoku metaboličku

aktivnost. Nema dokaza da fotoperiod utječe na dijapauzu, ali je za završetak dijapauze potrebno izlaganje niskim temperaturama tijekom 60-150 dana (Boukouvala i sur., 2022.).

Izlazak ličinki događa se od ranog proljeća do sredine svibnja. Međutim, temperatura snažno utječe na izlazak i aktivnost novih ličinki (slika 4a. i 4b.). Većina ličinki izađe unutar tjedan dana, dok u hladnijim područjima ili na većim nadmorskim visinama može potrajati i do mjesec dana. Prezimljuju u stadiju jajeta. Ličinke od kojih će se razviti mužjaci obično prolaze kroz pet stadija, dok kod ženki prolaze kroz šest stadija. Međutim, utvrđeno je da ličinke mogu proći kroz čak 11 stadija prije kukuljenja. Ako se novoizlegle ličinke pojave pri temperaturama nižim od 7°C, ostaju na ili blizu skupine jaja. Obilne kiše tijekom izlaska ličinki iz jaja mogu rezultirati utapanjem ličinki. Nadalje, tijekom kišovitog vremena, ličinke prvog stadija mogu odgoditi svoju migraciju i nakupiti se na donjoj strani listova (Boukouvala i sur., 2022.).



Slika 4a. Ličinka *Lymantria dispar* L. Slika 4b. Ličinka u klopci
(Foto: Sarajlić, A. 2023.)

Ličinke se hrane lišćem biljke domaćina tijekom šest do osam tjedana. Prvi stadij ličinke stvara male rupe na površini listova, nakon čega prelaze na rubove listova. Dolazi do promjene u ritmu ishrane kako ličinke sazrijevaju. Ličinke su fototropne i geotropne. Nakon što napuste jaje, kreću se i proizvode svilenu nit. Promjene fototropizma utječu na ponašanje ličinki: u ranim stadijima, ličinke privlači svjetlo, dok kasnije ne reagiraju na svjetlo ili ih čak odbija. Ličinke (obično prvi do treći stadij) hrane se danju na listovima biljaka domaćina i ostaju na donjoj strani lišća noću. Kasniji stadiji ličinke (četvrti do šesti stadij) hrane se na krošnjama noću, a

zatim se spuštaju u potragu za skrovitim mjestima za odmor pri zoru, što im pruža zaštitu od grabežljivaca. Starije ličinke obično napuštaju stablo na kojem su se hranile i prelaze na novo, što im omogućuje da se hrane širim rasponom biljaka u usporedbi s mlađim ličinkama. U velikim populacijama, sve ličinke se hrane danju i noću, pa im nije potrebno sklonište. Peti i šesti stadij ličinke uništava oko 80% lisne mase. U središnjoj Europi, ličinke se počinju hraniti krajem travnja i nastavljaju taj proces do 10 tjedana prije nego što se zakukulje, što obično biva krajem lipnja ili početkom srpnja (Boukouvala i sur., 2022.).

Ličinke prestaju jesti oko dva dana neposredno pred kukuljenje. Tijekom ove faze, ličinke moraju isprazniti crijeva, okružuju se rijetkom svilenom mrežom i počinju se skraćivati u duljini. Kukuljenje se događa na skrivenim mjestima poput donjih strana grana, pukotina kore, pukotina u deblu te ispod kamenja ili palih stabala na tlu. Faza kukuljenja (slika 5.) traje 7–14 dana, ovisno o klimatskim uvjetima i spolu, pri čemu se mužjaci obično pojavljuju nekoliko dana ranije od ženki (Boukouvala i sur., 2022.).



Slika 5. Kukuljica *Lymantria dispar* L.
(Foto: Sarajlić, A. 2023.)

Odrasle jedinke *Lymantria dispar* se ne hrane, iako upijaju vlagu, njihov probavni sustav nije funkcionalan. Ličinke su najdestruktivniji stadij jer se mogu hraniti na širokom rasponu domaćina. Osim toga, neke ličinke se mogu hraniti na stablima domaćina do 10 tjedana. Svaka ličinka u gusto naseljenom području može konzumirati oko 1270 mg lišća (suha težina) i doći do težine od 114 mg. To odgovara otprilike 170 cm² lišća, što je približno tri hrastova lista. Međutim, velika ličink ženke (masa 750 mg), može konzumirati ukupno 1000 cm² lišća. Stoga se ličinke od kojih će nastati ženka šestog stadija razvoja smatraju najvećim konzumentima hrane i često su dvostruko veće od potpuno odraslih ličinki od kojih nastaju mužjaci (Boukouvala i sur., 2022.).

Odrasli gubari žive samo dovoljno dugo kako bi osigurali oplodnju te da ženke uspješno polože jaja na deblima i granama biljaka domaćina. Kada se ličinke izlegu iz jaja, prepuštene su same sebi (McManus i sur., 1989.).

2.1.2. Stanište

Područje rasprostranjenosti gubara obuhvaća teritorije od Sjeverne Afrike, preko cijele Europe i Sibira, sve do sjeverne Kine, Koreje i Japana. Također, nastanjuje i Malu Aziju. U SAD je prenesen iz Europe 1868. godine. U Hrvatskoj se pojavljuje u nizinskim šumama, ali povremeno i u brdskim predjelima. Može ga se pronaći i u primorju te na otocima poput Krka, Cresa, Raba i drugih, te u Dalmaciji (Kovačević, 1956.).

2.1.3. Biljke domaćini

U Europi preferirani domaćini variraju po regijama, ali uključuju vrste iz rodova *Quercus*, *Carpinus*, *Alnus*, *Prunus*, *Populus*, *Gleditsia*, *Tilia*, *Corylus* i *Robinia* (Grijpma, 1989.). Na primjer, u Litvi, koja je na sjevernim granicama rasprostranjenosti gubara, primarni domaćini su vrste breze (*Betula*) i johe (*Alnus*), dok su u Španjolskoj, Portugalu i na Sardiniji dominantni domaćini hrast plutnjak, *Quercus suber* L. (*Fagales: Fagaceae*), te su šume ove vrste često defolirane. Rasprostranjenost *L. dispar* u ostatku Europe povezana je s prisutnošću do sedam vrsta hrastova, međutim preferira austrijski hrast, *Q. cerris* L., lužnjak, *Q. robur* L., i kitnjak, *Q. petraea* (Matt.) Liebl. (*Fagales: Fagaceae*), ali je ova posljednja vrsta manje preferirana među srednjoeuropskim hrastovima. Grabić, *Carpinus betulus* L. (*Fagales: Betulaceae*), obično je izmiješan s hrastovima u srednjoj Europi i smatra se jednako preferiranim domaćinom

zajedno s vrstama iz rodova *Populus*, *Alnus* i *Salix*. U južnoj Francuskoj i na Balkanu, *Q. suber*, *Q. pubescens* i *Q. ilex* služe kao glavni domaćini. Međutim, postoji iznimka u bliskom odnosu između vrsta hrastova i populacija *L. dispar* u delti Dunava u Rumunjskoj, gdje 27.000 ha šuma topole (*Populus*) i vrbe (*Salix*) služe kao preferirani domaćini za ličinke *L. dispar* (McManus i Csóka, 2007.).

Dokazano je da ličinke ranih stadija nisu u stanju završiti svoj razvoj na ne-listopadnim četinjačama (Tobin i Liebhold, 2011.). Međutim, u razdoblju izlaska ličinki iz jajeta, one će konzumirati četinjače, a ta stabla obično su mnogo manje otporna na defolijaciju i mogu uvenuti nakon samo jednog intenzivnog napada velikog broja ličinki.. S druge strane, listopadna stabla koja su u početku u dobrom stanju mogu proizvesti novo lišće nakon napada *L. dispar* (koji se općenito događa u lipnju i početkom srpnja) i često mogu izdržati nekoliko godina defolijacije (Lovett i sur., 2006.). Stoga, u slučaju miješanih sastojina bora i listopadnog drveća kao što su one na istoku Sjeverne Amerike, defolijacija od strane ličinki uglavnom je ograničena na listopadne domaćine te obično nema masovnih pojava ličinki u šumama gdje udio hrasta ili drugih osjetljivih biljnih vrsta iznosi manje od 20% ukupne površine biljnih domaćina. (Davidson i sur., 2001.).

2.1.5. Praćenje (monitoring)

Gubari se javljaju periodično. Brojanjem jajnih skupina može se predvidjeti razina invazije u proljeće, pri čemu 10 ili više skupina po stablu ukazuje na moguću ozbiljnu defolijaciju. Kako bi se osiguralo da se broje samo zdrava jajašca, važno je provjeriti jesu li jajašca čvrsta na dodir i pucaju li kada se stisnu (Hanson i Walker, 2002.).

Feromonski mamci koriste za otkrivanje prisutnosti i praćenje mužjaka leptira gubara. Iako uništavanje odraslih jedinki u klopki može biti zadovoljavajuće, ovo nije učinkovita tehnika kontrole jer samo mužjaci mogu letjeti do klopki, a klopke ne mogu uhvatiti dovoljan broj jedinki da bi utjecale na veličinu populacije (Martineau, 1984.).

2.1.6. Kontrola i suzbijanje

Lymantria dispar smatra se jednim od najrazornijih invazivnih štetnika na svjetskoj razini, zauzimajući treće mjesto među kukcima koji prouzrokuju najveće ekonomske štete (Wu i sur., 2020.). Defolijacija uzrokovana ličinkama *L. dispar* može prouzročiti gubitke biomase stabala do 70%, dok kumulativni učinci mogu proizaći iz uzastopnih defolijacija (Pernek i sur., 2008.). S ekonomske perspektive, *L. dispar* može masovno utjecati na šumska zemljišta i poljoprivredne proizvode, što rezultira visokim godišnjim troškovima zbog karantenskih mjera. Ovaj štetnik utječe na estetiku i vrijednost šuma u urbanim područjima, namećući visoke troškove (dezinsekcija, uklanjanje i zamjena stabala), također može negativno utjecati na turizam. Na primjer, u SAD-u je ekonomski utjecaj ove vrste procijenjen na oko 250 milijuna USD godišnje u 2011. godini (Aukema i sur., 2011.), no s kontinuiranim širenjem *L. dispar* u Sjevernoj Americi, ekonomski utjecaj povećan je na 3,2 milijarde USD godišnje u samo nekoliko godina (Bradshaw i sur., 2016.).

U godinama kada dolazi do gradacije leptira, kožne reakcije kod ljudi mogu doseći epidemijske razmjere u zajednicama koje se nalaze blizu zaraženih stabala, pri čemu je glavni uzrok kontakt s čekinjama koje lebde u zraku. Stoga je od iznimne važnosti kontrolirati i upravljati populacijama *L. dispar* kako bi se smanjili potencijalni negativni ekološki, ekonomski i društveni utjecaji. Zbog negativnog utjecaja *L. dispar* na šume, provedeni su brojni programi za suzbijanje ovog štetnika s ciljem smanjenja populacija i štete (Luciano i Lentini, 2012.) ili usporavanja širenja sa zaraženih na nezaražena područja (Tobin i Blackburn, 2007.). Prvi alati za kontrolu *L. dispar* bili su primitivni. Rane klopke koristile su žive ženke kao mamac, dok su se drugi alati oslanjali na naftne bacače plamena za uništavanje pojedinih stadija razvoja i mikrostanista štetnika, kao i insekticide na bazi arsena (bakarni acetoarsenit i olovni arsenat) (Forbush i Fernald, 1896.). Današnje mjere kontrole uključuju kemijske, mehaničke metode te prirodne neprijatelje. Osim toga, ekonomski prag štete je oko 100 jajašaca na 40 stabala, što je ekvivalent prosječnom broju od 2,5 jajašca po stablu te se koristi za odluku o početku mjera kontrole štetnika (Luciano i Prota, 1981.).

Pored mehaničkog uklanjanja, leptir gubar se može suzbijati i kemijskim sredstvima, što se primjenjuje samo u situacijama visoke populacije i na područjima koja su najviše pogođena.

Primjena se vrši aviotretiranjem, pod uvjetom da je prethodno provedena laboratorijska analiza kako bi se utvrdila potreba za intervencijom (Pleše, 2018.).

2.1.7. Prirodni neprijatelji

Razina zaraze koju *L. dispar* može uzrokovati u Sjevernoj Americi je mnogo veća nego u Europi, zbog pogodnijih biotskih i abiotskih uvjeta. Očigledno, ovaj fenomen je dijelom zbog činjenice da je kompleks prirodnih neprijatelja u Europi mnogo raznolikiji nego u Nearktičkoj regiji, što rezultira učinkovitijom prirodnom regulacijom (tj. prirodnom biološkom kontrolom) populacije *L. dispar* u Europi nego u Sjevernoj Americi. Prirodni neprijatelji uključuju razne predatore, kao što su mali sisavci i ptice. Međutim, mali sisavci i ptice se ne nalaze u dovoljnoj brojnosti da bi mogli kontrolirati velike populacije štetnika. Patogene gljive zahtijevaju specifične uvjete za klijanje i infekciju ličinki *L. dispar* (visoka vlaga), što njihovu učinkovitost u određenoj godini čini ovisnom o lokalnim vremenskim uvjetima (McManus i Csóka, 2007.).

Ptice su među najvažnijim predatorima, uništivši čak 77% jajnih skupina u Slovačkoj. U Sjevernoj Americi, ptice unište između 65% i 89% jajnih skupina (Boukouvala i sur., 2022.).

Calosoma sycophanta je predatorski kukac koji se pojavljuje u velikom broju tijekom pojave *L. dispar*. Odrasle jedinke i ličinke *C. sycophanta* glavni su predatori ličinki i kukuljica *L. dispar*. *Calosoma sycophanta* je raširena po cijeloj Europi, sjeverozapadnoj Africi te zapadnoj i središnjoj Aziji. Uvezena je u SAD iz Europe 1906. godine kao prirodni neprijatelj *L. dispar*. Jedan par odraslih jedinki *C. sycophanta* i njihovo potomstvo može uništiti više od 6000 ličinki i kukuljica *L. dispar* u jednoj sezoni (Boukouvala i sur., 2022.).

U SAD-u su od početka 20. stoljeća poduzimani brojni pokušaji za iskorjenjivanje ili suzbijanje širenja *L. dispar*. Razvijen je biološki program kontrole koji je uključivao uvoz i oslobađanje prirodnih neprijatelja *L. dispar* iz Europe. Unatoč uspostavi najmanje 20 parazitoida i predatora, njihova kontrola populacija nije bila učinkovita. Pojava štetnika i dalje se događa zbog ljudskog prijenosa životnih stadija *L. dispar* s infestiranih na neinfestirana područja (Boukouvala i sur., 2022.).

2.2. Klopke za praćenje kukaca

Klopke za praćenje omogućuju rani uvid u prisutnost štetnika i veličinu njihove populacije, što omogućuje pravovremenu reakciju u određivanju strategije za njihovo suzbijanje. Prednost klopki bazira se na tome što pružaju informacije o broju i vrstama prisutnih štetnika, što olakšava donošenje odluka o primjeni mjera zaštite. Integrirana zaštita, uz korištenje klopki, postaje još učinkovitija jer omogućuje selektivno djelovanje na štetnike, smanjujući pritisak na okoliš i potrebu za širokom primjenom insekticida.

2.2.1. Povijest feromonskih klopki za leptira gubara

Upotreba feromonskih klopki za leptira gubara započela je u 1890-ima, nakon slučajnog oslobađanja leptira gubara u Medfordu, Massachusettsu 1869. godine. Mužjaci su privučeni u eksperimentalne klopke mamcima sa zarobljenim ženka (Forbush i Fernald, 1896.). Zone barijere su stvorene 1922. godine duž doline rijeke Hudson, protežući se od kanadske granice prema jugu, kako bi se spriječilo daljnje širenje leptira gubara izvan Nove Engleske (Burgess, 1940.). Collins i Potts (1932.) su pokazali da se ekstrakti benzena ili ksilen iz abdominalnih žlijezda ženki mogu koristiti umjesto živih ženki kako bi privukli mužjake u klopke. Ovo otkriće omogućilo je kasniju široku upotrebu feromonskih klopki za otkrivanje rastućih populacija izvan zone barijere. Do 1948. godine, tisuće klopki mamaca s ekstraktima iz abdominalnih dijelova ženki bile su postavljene u Novoj Engleskoj i Srednje-Atlantskim državama (Schwalbe, 1980.). Nakon Drugog svjetskog rata, otprilike 30.000 takvih klopki postavljeno je svake godine uz široku primjenu DDT-a u nastojanju da se zaustavi širenje ovog leptira (Holbrook i sur., 1960.). Ekstrakti abdominalnih žlijezda pokazali su kratkotrajnu aktivnost, što je potaknulo potrebu da se ti ekstrakti kemijski stabiliziraju (Haller i sur., 1944.) i da se izdvoje aktivni sastojci (Acree, 1953.).

2.2.2. Feromonski mamci

Sintetski atraktanti, poznati kao feromonski mamci (slika 6.) dijele se na hranidbene, ovipozicijske i seksualne atraktante. Oni služe za privlačenje kukaca radi praćenja njihove prisutnosti i visine populacije. Njihova upotreba je široko prihvaćena jer mirisi koje emitiraju oponašaju prirodne atraktante i privlače kukce (Igrc - Barčić i Maceljki, 2001.).

Poznate su tri metode korištenja sintetičkih seksualnih feromona na globalnoj razini. Jedna od njih je metoda mamaca za masovno hvatanje mužjaka, koja ima za cilj prikupljanje što većeg broja mužjaka radi smanjenja mogućnosti parenja i oplodnje ženki. Druga metoda je difuzija sintetičkih seksualnih mirisa u atmosferu kako bi se zavarali mužjaci i otežalo im pronalaženje partnera suprotnog spola. Treća metoda je korištenje mamaca za praćenje populacije, što omogućuje praćenje i analizu populacije određenog organizma (Cvetković, 2024.).

Za razliku od žutih ljepljivih ploča, koje privlače i druge kukce koji nisu predmet istraživanja, feromonske klopke su se pokazale znatno učinkovitijima (Husnjak i sur., 2014.).

3. MATERIJALI I METODE

Istraživanje je provedeno tijekom 2023. godine u Koški (45°57'42.95"N 18°26'75.90"E) na gospodarskoj jedinici Lacić Gložđe na šumskom kompleksu od 826 ha. Odjel na kojem je postavljen pokus je pod nazivom 17a veličine 26,8 ha, a radi se o sastojini hrasta lužnjaka (*Quercus robur*) starog 121 godinu, srednja sastojinska visina je 33,17m.

Tri vrste klopki su korištene u pokusu: G-trap, eGymer 1, eGymer 2 (SANIDAD AGRÍCOLA ECONEX, S.L.) te se ocjenjivala njihova učinkovitost kod ulova leptira gubara. G-trap sastoji se od tamnosmeđeg plastičnog tijela pravokutnog oblika, jedne elastične trake, jednog spremnika za kukce (plastične vrećice) čiji je gornji dio proziran, a donji crn, te dvije metalne žice na koje se klopka vješa (slika 6.).



Slika 6. eGymer 1 klopka
(Foto: Sarajlić, A., 2023.)

Tipična ljevčasta klopka eGymer 1 je u bijeloj boji (PROBODELT, Amposta, Španjolska), čije su unutarnje stijenke premazane insekticidnim sredstvom na bazi lambda-cihalotrina. U središtu klopke nalazi se jedna rupa (promjera 0,4 cm) u koju ulazi metalna žica koja omogućuje vješanje

klopke. Feromonski mamac se postavlja unutar klopke kroz otvor na tijelu. Leptiri mogu ući u klopku kroz otvor, međutim dolaze u kontakt s insekticidnim sredstvom i uginu unutar posude (slika 7.).



Slika 7. eGymer 1 klopka
(Foto: Sarajlić, A., 2023.)

Klopka eGymer 2 je napravljena od crvene plastike dimenzija: duljina 29 cm, središnji promjer klopke: 14 cm , promjer lijevka na lijevom i desnom kraju klopke: 11,5 cm, promjer ulaznog otvora lijevka: 3 cm. Klopka se sastoji od dva jednaka cilindrična dijela, od kojih svaki ima lijevak na dnu cilindra. Dva su dijela spojena šarkom na gornjem kraju cilindra. Klopka se može otvoriti rasklapanjem dva dijela. Na suprotnoj strani od šarke nalazi se mehanizam za otvaranje i zatvaranje klopke s plastičnom trakom koja se koristi za zaključavanje dva dijela klopke. Na ovom mjestu se umeće i kuka (dimenzije: visina 7,8 cm, širina na najširem mjestu 5 cm) koja služi za pričvršćivanje klopke na stablo. Položaj kuke omogućuje postavljanje klopke u vodoravan položaj, čime se osiguravaju dva dijagonalna ulaza za kukce koji kroz lijevak ulaze u unutrašnjost klopke. Unutrašnjost klopke je također premazana insekticidom na bazi aktivne

tvori lambda-cihalotrin. Jednom kada uđu u klopku, dodiranjem unutarnjih stijenki dodiruju nanoseni insekticid, što dovodi do njihove smrti (slika 8.).



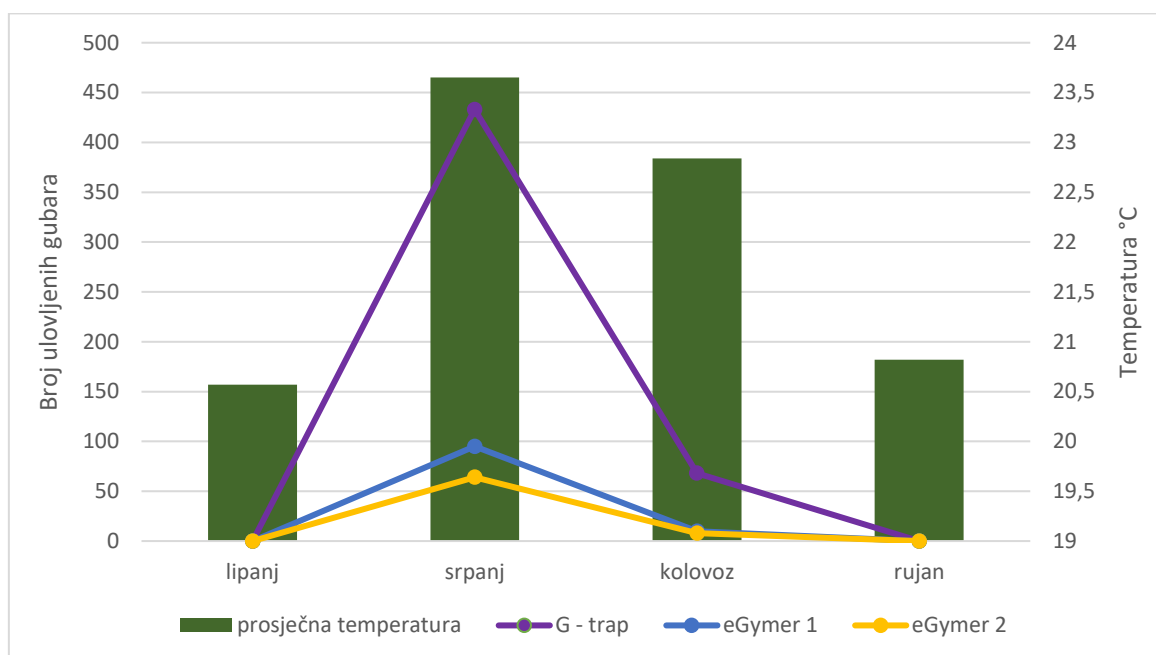
Slika 8. eGymer2 klopka
(Foto: Sarajlić, A., 2023.)

U pokus je bilo uključeno 18 klopki ukupno raspoređenih u tri bloka, po dvije klopke svake vrste u svakom bloku (šest ponavljanja za svaku vrstu klopke). Razmak klopki unutar bloka bio je oko 100 m, a između blokova preko 100 m. Klopke su postavljene početkom lipnja, a skinute su krajem kolovoza nakon prestanka leta leptira (nakon što dva uzastopna puta nije ulovljen nijedan leptir). Sve klopke su pregledane na prisutnost mužjaka svakih sedam dana. Uhvaćeni mužjaci su zabilježeni i izvađeni iz klopki na kraju svakog pregleda. Feromon je mijenjan jednom mjesečno. Bilježila se i druga entomofauna koja je pronađena u klopama. Praćenje je završeno 1. rujna 2023. godine te su tada skinute klopke sa stabala.

Svi prikupljeni podaci su analizirani u programu Statistica 9.4 (2019). Napravljena je analiza varijance (ANOVA), s jednim promjenljivim faktorom, a razlike između srednjih vrijednosti tretmana testirane su post hoc LSD testom.

4. REZULTATI

Ovo istraživanje pruža detaljan uvid u učinkovitost različitih tipova klopki za hvatanje leptira gubara te njihovu primjenu u hrastovim šumama. Pomoću feromonskih klopki uhvaćeni su i ostali kukci, čiji su rezultati također prikazani u grafikonima. Ovo je bitno za bolje razumijevanje ukupne učinkovitosti feromonskih klopki, jer omogućuje uvid u selektivnost i potencijalne smetnje u radu feromonskih klopki. Dodatno, omogućuje usporedbu učinkovitosti feromonskih klopki u različitim uvjetima i različitim vremenskim periodima, što doprinosi razumijevanju dinamike populacije ovog štetnika.



Grafikon 1. Ulov mužjaka leptira gubara na feromonskim klopkama uz prosječne mjesečne temperature

Grafikon 1 prikazuje broj uhvaćenih mužjaka gubara u feromonskim klopkama tijekom vremenskog perioda u kojem se pratio njihov let (od lipnja do rujna). Grafikon uključuje podatke za tri različite vrste feromonski klopki: G-trap, eGymer 1, i eGymer 2. Prema dobivenim podacima let leptira gubara traje od početka srpnja do kraja kolovoza. Prvi leptiri ulovljeni su u prvom tjednu srpnja (od 1.7. do 7.7.) u svim klopkama s tim da je najveća brojnost utvrđena

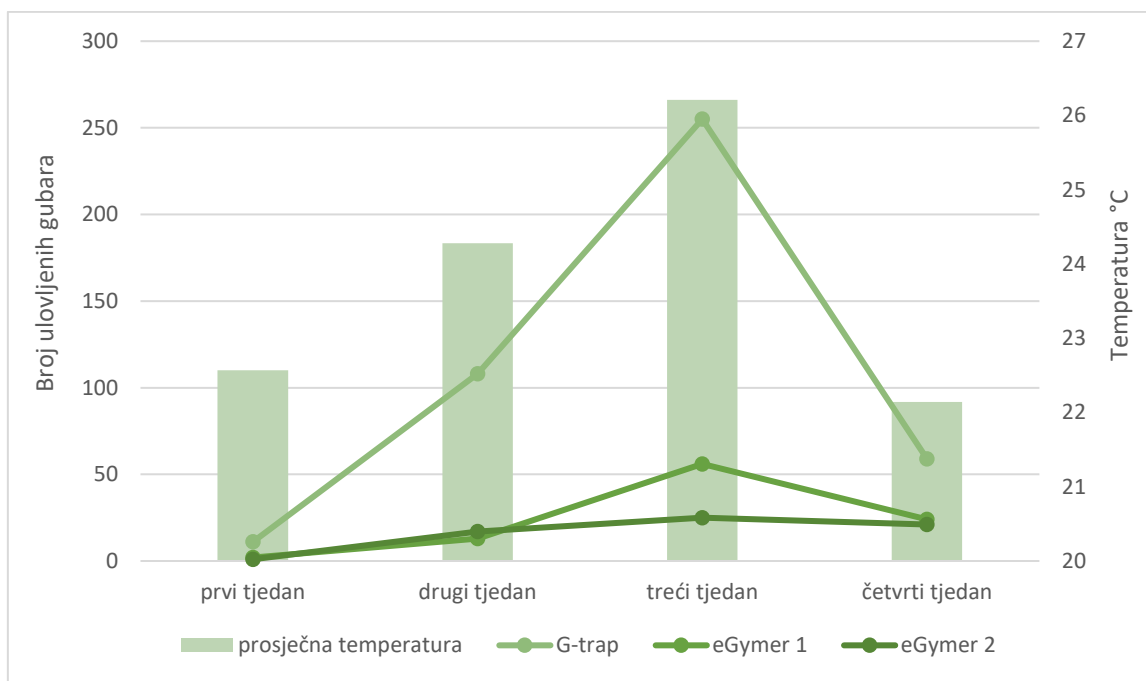
u G-trap klopka (11) dok je u eGymer 1 ulovljeno 2, a u eGymer 2 samo jedan mužjak u istom vremenskom razdoblju.

U srpnju je na G-trap klopka ulovljeno najviše gubara (433), dok su eGymer 1 i eGymer 2 ulovile 95, odnosno 64 gubara. To ukazuje da su gubari bili vrlo aktivni tijekom mjeseca srpnja, što je vjerojatno povezano s visokom prosječnom temperaturom za srpanj (23.65 °C). Gubari obično preferiraju više temperature pri kojima su više aktivni i mobilni za hranjenje i parenje.

U kolovozu se broj uhvaćenih gubara značajno smanjuje u svim klopka. Na G-trap klopka prikupljeno je 68 gubara, dok su eGymer 1 i eGymer 2 uhvatile samo 10 odnosno 8 gubara. Ovaj pad broja uhvaćenih gubara može biti povezan s nižom prosječnom temperaturom za taj mjesec (22.84 °C), što bi moglo rezultirati manjom aktivnošću ili manjim brojem gubara prisutnih u okolini, ukazujući moguće opadanje populacije u tom razdoblju.

U lipnju i rujnu, kada su prosječne temperature niže (lipanj: 20.57 °C, rujna: 20.82 °C), nisu ulovljeni gubari. To ukazuje da su gubari manje aktivni ili manje prisutni u tim mjesecima, što može biti posljedica nižih temperatura.

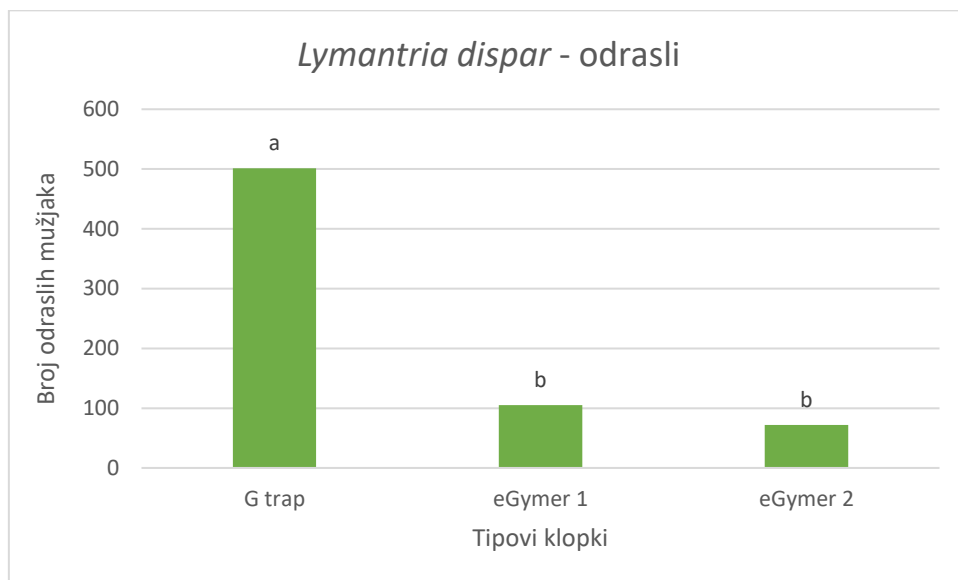
U periodu od 12. kolovoza do 1. rujna ulovljena su samo dva leptira gubara u G-trap klopka, nakon čega je utvrđeno da je let leptira prestao te se završilo s praćenjem.



Grafikon 2. Ulov mužjaka leptira gubara na feromonskim klopka u srpnju

Prema grafikonu 2, može se uočiti kako se broj ulova leptira gubara mijenja s obzirom na promjene u tjednim prosječnim temperaturama tijekom srpnja. Tijekom prvog tjedna srpnja, prosječna temperatura bila je 22,57 °C, a broj ulovljenih leptira gubara bio je relativno nizak. U drugom tjednu, temperatura je porasla na 24,28 °C, a broj ulova značajno se povećao, što ukazuje na mogući pozitivan utjecaj više temperature na aktivnost leptira.

Najveći broj ulova zabilježen je u trećem tjednu, kada je temperatura dostigla svoj vrhunac od 26,21 °C. Ovi podaci ukazuju kako visoke temperature mogu potaknuti veći broj leptira da se aktivno približe klopka. Smanjenje broja ulova u četvrtom tjednu, uz pad temperature na 22,14 °C, dodatno potvrđuje ovu povezanost.

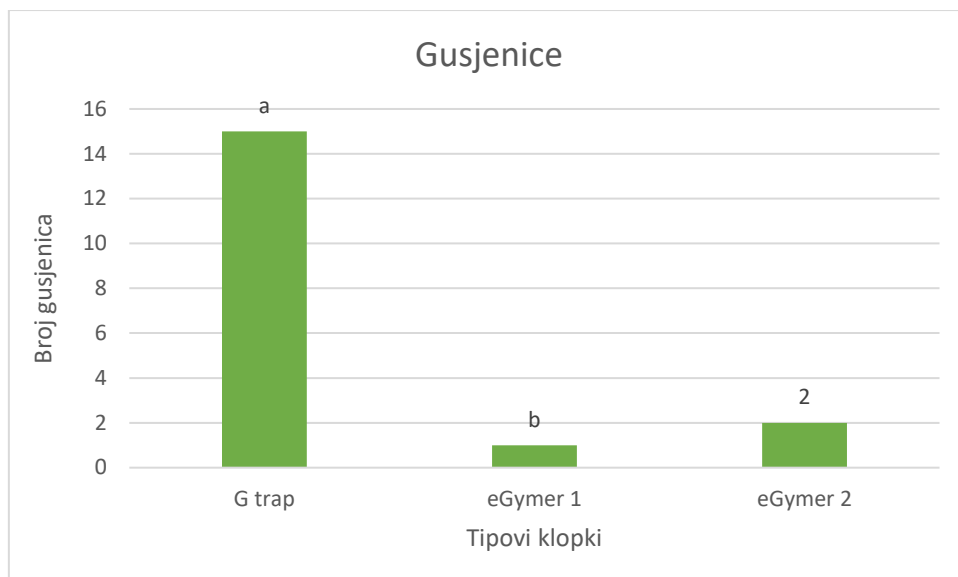


Grafikon 3. Ukupan broj uhvaćenih imaga gubara u feromonskim klopka



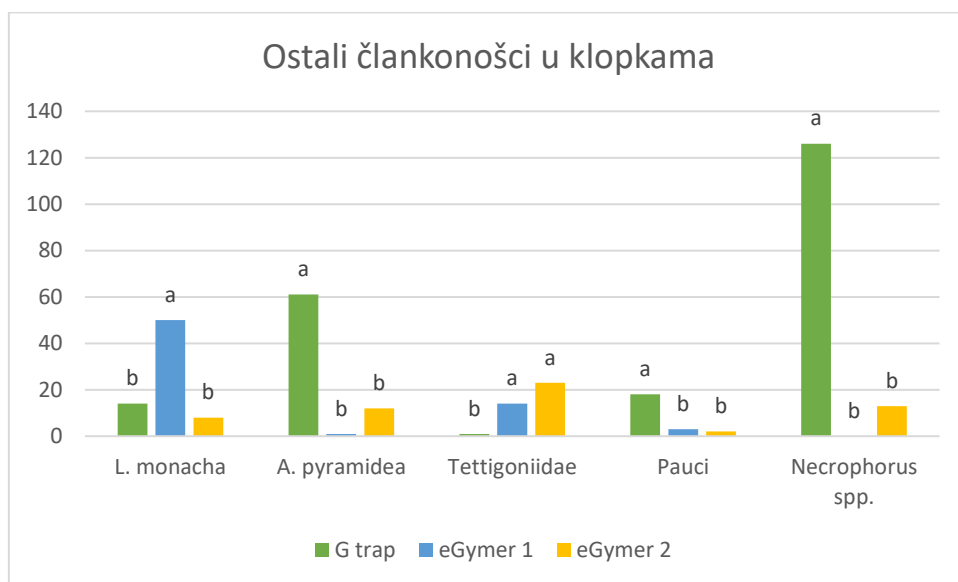
Slika 9. Prikaz ulovljenih mužjaka leptira gubara pomoću G-trap klopke
(Foto: Sarajlić, A., 2023.)

Grafikon 3 pruža uvid u učinkovitost različitih vrsta feromonskih klopki u privlačenju i hvatanju leptira gubara. Feromonska klopka G-trap pokazala je najveću učinkovitost u hvatanju gubara, s ukupno 501 uhvaćenim primjerkom što je i statistički značajno u odnosu na ostala dva tipa klopki. Rezultati ukazuju da je klopka G-trap optimalnija za privlačenje mužjaka leptira gubara u istraživanom području (slika 9.). Na feromonskoj klopki eGymer 1 je ulovljeno je više leptira gubara (105) tijekom ispitivanog razdoblja u odnosu na klopku eGymer 2 (72) međutim razlika nije bila statistički značajna što ukazuje da ove dvije vrste klopki imaju sličnu učinkovitost.



Grafikon 4. Ukupan broj uhvaćenih gusjenica leptira gubara u feromonskim klopkama

Grafikon 4 prikazuje brojnost prikupljenih ličinki gubara na feromonskim klopkama. Na feromonskoj klopki G-trap zabilježen je statistički značajno veći broj uhvaćenih gusjenica (15) u odnosu na eGymer 1 (1) i eGymer 2 (2). Broj uhvaćenih gusjenica je proporcionalan broju uhvaćenih odraslih po određenoj vrsti klopke što je bilo i očekivano. U G-trap klopki pronađena je i jedna kukuljica leptira gubara tijekom praćenja.



Grafikon 5. Ostali člankonošci koji su najčešće pronađeni u feromonskim klopkama

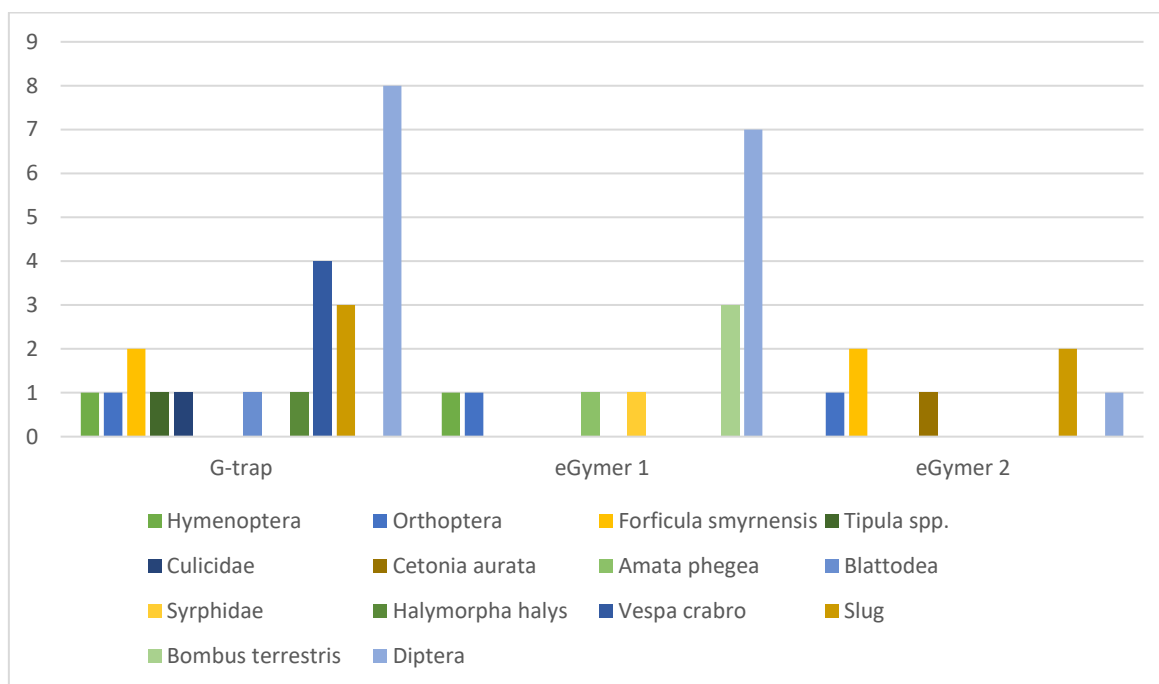
U istraživanju učinkovitosti feromonskih klopki ciljane vrsta je bio gubar, međutim primijećene su i zabilježene druge vrste člankonožaca koje su se uhvatile u feromonskim klopama. Grafikon 5 ukazuje na značajnu prisutnost drugih vrsta člankonožaca, što sugerira da su feromonske klopke pogodne ne samo za leptira gubara već i za druge vrste. Na primjer, G-trap klopka uhvatila je značajan broj različitih vrsta drugih kukaca od kojih je najznačajnije istaknuti, *Necrophorus* spp., *Lymantria monacha* i *Amphipyra pyramidea*. Na G-trapu najviše je ulovljeno *Necrophorus* vrsta (126) i to u periodu od 22. do 28. srpnja, a svi su ulovljeni u periodu od 15. srpnja pa sve do kraja kolovoza (Slika 10.).



Slika 40. Prikaz ulovljenih *Necrophorus* spp. pomoću feromonskih klopki
(Foto: Sarajlić, A., 2023.)

Na svim klopama, konstantno tijekom praćenja, lovljeni su i leptiri *Lymantria monacha* u različitom intenzitetu. Let *L. monacha* je zabilježen od 10. lipnja do 11. srpnja. Važno je istaknuti da se *L. monacha* pojavila prije gubara, a statistički je najviše leptira *L. monacha* ulovljeno u klopama eGymer 1 (50), što je značajno u odnosu na ostale ispitivane klopke. Na G-trap klopama je također ulovljen i velik broj vrste *Amphipyra pyramidea* (61) koja je i

statistički bila značajna u odnosu na ulov u drugim klopka. Klopka eGymer 1 bila je najmanje pogodna za ulov ove vrste. Najveći broj uhvaćenih kukaca iz porodice Tettigonidae bio je u klopki eGymer 2 međutim nije bio statistički značajan u odnosu na ostale ispitivane klopke.



Grafikon 6. Ostali kukci i puževi povremeno hvatani u feromonskim klopka

Grafikon 6 prikazuje najčešće uhvaćene ostale kukce i puževe koji su povremeno uhvaćeni u feromonskim klopka. U G-trap klopka zabilježeno je najviše Diptera, s ukupno 8 ulova, dok su vrijednosti za ostale vrste bile niske. To ukazuje da su ove klopke privlačile i druge neciljane vrste kao što su kukci iz reda Diptera.

S druge strane, eGymer 1 klopke su bile najuspješnije za Diptera s 7 ulova i za *Bombus terrestris* s 3 ulova, dok su eGymer 2 klopke imale najviše ulova puževa (2) i *Cetonia aurata* (1). Ovi rezultati ukazuju na specifične prednosti različitih klopki za različite kukce i puževe, iako su vrijednosti za mnoge bile općenito niske.

5. RASPRAVA

Testirane su tri različite vrste feromonskih klopki G-trap, eGymer 1 i eGymer 2 u svrhu procjene njihove učinkovitosti u hvatanju leptira gubara. Analizirani su rezultati istraživanja kako bi se utvrdila relativna učinkovitost svake feromonske klopke u hvatanju gubara. Prema dobivenim rezultatima (grafikon 7.), G-trap klopka pokazala se najučinkovitijom u hvatanju leptira gubara, na kojoj je zabilježeno čak 74% od ukupnog ulova na svim klopkama, slijedi eGymer 1 klopka, na kojoj je zabilježeno 15% ulova, dok je na eGymer 2 klopki zabilježen najmanji postotak ulova, samo 11%. Rezultati pružaju uvid u relativnu učinkovitost različitih vrsta feromonskih klopki u kontekstu ciljanog istraživanja.

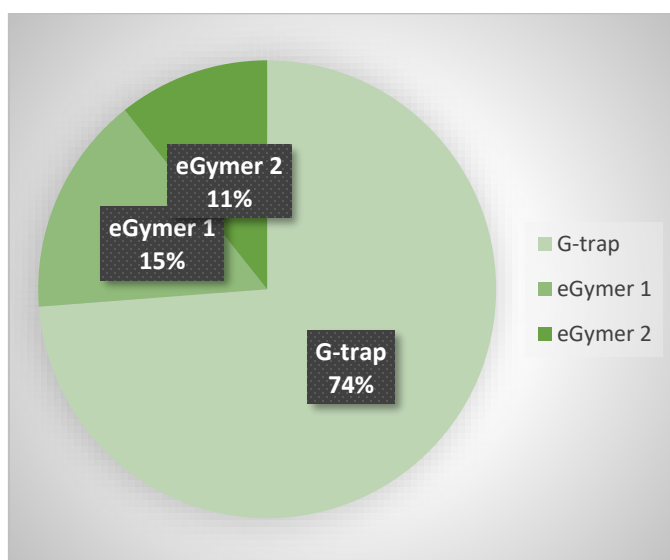
Osim leptira gubara, feromonske klopke su privukle i uhvatile i druge vrste kukaca. Na primjer, klopka G-trap je uhvatila pauke, pripadnike porodice Tettigoniidae te vrste kao što su *Necrophorus* spp. i *L. monacha*. Raznolikost uhvaćenih vrsta označava da feromonske klopke, iako specifično dizajnirane za leptira gubara, također privlače i druge kukce, što ukazuje na potencijalno širu privlačnost ili nespecifičnost feromonskih atraktanata korištenih u klopkama.

Ovo istraživanje pruža dodatni uvid u raznolikost kukaca koji su privučeni ispitivanim feromonskim klopkama, ističući potencijalno širok spektar vrsta koje mogu biti prisutne u istraživanom području. Primjećujemo da su neke vrste, poput Diptera, zabilježene u većem broju u klopkama G-trap u usporedbi s drugim klopkama poput eGymer 1 i eGymer 2. Raznolikost uhvaćenih vrsta ukazuje različite sklonosti ili privlačnosti feromonskih klopki za različite vrste kukaca. Ovi rezultati naglašavaju potrebu za daljnjim istraživanjima kako bi se bolje razumjela interakcija između vrsta klopki i prisutnosti različitih vrsta kukaca.

Iako korištene klopke nisu dizajnirane za ulov gusjenica, prema rezultatima istraživanja, G-trap klopke su uhvatile određeni broj ličinki koje se ponekad i kukulje unutar same klopke, osobito kada su stvoreni povoljni uvjeti za završetak razvoja gusjenice. S druge strane, klopke eGymer 1 i eGymer 2, koje su premazane insekticidom, omogućuju ulov ličinki koje ulaskom unutar klopke ugibaju, sprječavajući tako daljnji razvoj gusjenice. Primijećeno je da G-trap klopke imaju jedan negativan aspekt, a to je nakupljanje oborinske vode unutar klopke u kojoj kukci uginu te se počnu raspadati. Ova pojava se može povezati s ulovom saprofagnih organizama poput *Necrophorus* spp. u klopkama. Saprofagi su organizmi koji se hrane mrtvim

organizmima i organskom tvari. Kada kukci uginu unutar klopke, njihova tijela postaju izvor organske tvari koju saprofagi koriste kao hranu.

Ovi dodatni podaci o uhvaćenim vrstama kukaca važni su za razumijevanje cjelokupne učinkovitosti i selektivnosti feromonskih klopki. Prisutnost različitih kukaca može utjecati na interpretaciju rezultata i zahtijeva daljnju analizu kako bi se poboljšala selektivnost klopki i smanjio ulov neciljanih vrsta. Daljnja istraživanja u ovom području mogla bi pomoći u finom podešavanju sastava feromona i dizajna feromonskih klopki kako bi se povećala specifičnost i učinkovitost u hvatanju ciljane vrste, dok se smanjuje ulov drugih kukaca.



Grafikon 7. Učinkovitost ispitanih klopki

Granett (1974.) navodi kako se učinkovitost klopki za leptira gubara ili drugih feromonskih klopki obično procjenjuje postavljanjem dva ili više tipova klopki te usporedbom broja uhvaćenih mužjaka. Međutim, takva istraživanja obično ne otkrivaju zašto je jedan tip klopke učinkovitiji od drugih. Ponašajne opservacije koje bilježe što leptiri rade kada prilaze feromonskim klopkama i koji postotak leptira koji prilazi klopkama biva uhvaćen (mjera učinkovitosti klopke) izuzetno su korisne u dizajniranju novih klopki s poboljšanom učinkovitošću.

Cardé i sur. (2017.) ispitivali su učinkovitost različitih feromonskih klopki u hvatanju mužjaka leptira gubara koristeći zelene delta klopke (Pherocon IIIC, Trécé Inc., Salinas, CA) i zelene klopke kantice (Universal ili Unitrap, Great Lakes IPM, Vestaburg, MI). Klopke su bile

opremljene s tri različite doze standardnog feromonskog mamca - 1/3, 1 ili 3 doze, gdje je svaki standardni mamac sadržavao $421.8 \mu\text{g} \pm 16.9 \text{ SE}$ (7R,8S)-cis-7,8-epoksi-2-metiloktadekanskog spoja poznatog kao disparlure. Mamci su prethodno bili izloženi tjedan dana vani u hladu kako bi se postigla realnija učinkovitost u terenskim uvjetima. Delta klopke, izrađene od kartona s ljepljivom unutarnjom površinom, pokazale su različitu učinkovitost ovisno o dozi mamca. Najveća doza (3) privukla je značajno više mužjaka u usporedbi s nižim dozama (1 i 1/3). Međutim, učinkovitost hvatanja, tj. omjer privučenih i uhvaćenih mužjaka, bila je najveća kod klopki s manjim dozama mamaca (1/3 i 1). Na taj način, ukupni broj uhvaćenih mužjaka bio je sličan za sve tri doze mamaca jer su veće doze privukle više mužjaka, ali je manji postotak privučenih mužjaka bio uhvaćen. Klopke kantice su bile dizajnirane tako da omogućuje ulazak leptira gubara iz bilo kojeg smjera kroz otvor između poklopca i lijevka koji vodi u kanticu. Iako su klopke kantice privukle sličan broj mužjaka kao i delta klopke, učinkovitost hvatanja bila je značajno niža, s manje od 20% privučenih mužjaka koji su zapravo uhvaćeni. Mužjaci su često ulazili u klopku, ali su se zadržavali na području gdje je bio smješten mamac, umjesto da se spuste u kanticu gdje bi ostali zarobljeni. Gregg i Wilson (1991.) ističu kako su klopke kantice učinkovite u privlačenju mužjaka, vjerojatno jer je njihova struktura feromona stabilna, neovisno o smjeru vjetra. Međutim, učinkovitost hvatanja je izuzetno niska, i jasno je da ove klopke ne bi bile korisne za programe nadzora leptira gubara, iako su korisne za leptire potporodice Heliothinae. Rezultati istraživanja Cardé i sur. (2017.) pokazuju kako su delta klopke s višim dozama mamaca učinkovite u privlačenju većeg broja mužjaka, ali veće doze ne povećavaju nužno učinkovitost ulova. Nasuprot tome, klopke kantice, unatoč svojoj sposobnosti privlačenja mužjaka, imaju značajno nižu učinkovitost ulova, što može biti povezano s njihovim dizajnom koji otežava zadržavanje mužjaka koji su već unutar klopke. Ovi rezultati pružaju dodatne dokaze o važnosti odabira odgovarajuće vrste feromonske klopke i doze feromonskog mamca za učinkovito praćenje populacija štetnika. Istraživanje Cardé i sur. (2017.) naglašava kako veće doze mamaca mogu privući veći broj mužjaka, ali ne nužno povećati učinkovitost ulova, što je važan faktor za razmatranje u daljnjim istraživanjima i primjeni feromonskih klopki u praksi.

Elkinton i Carde (1981.) ističu kako, osim za otkrivanje i ograničavanje populacija leptira gubara, feromonske klopke imaju veliki potencijal kao alat za praćenje populacije i procjenu gustoće populacije. Više istraživača je dokazalo povezanost uhvaćenih leptira gubara u

feromonskim klopka (koristeći manje učinkovitu racemičnu dispartluru) s drugim metodama uzorkovanja populacije. Dispartlura je kiralni spoj, a njegov (+) enantiomer pokazao je da privlači deset puta više kukaca u klopke u usporedbi s racematom. Granett (1974.) je u relativno gustim populacijama otkrio dobru povezanost između uhvaćenih mužjaka u klopka i broja kukuljica prikupljenih ispod platnenih traka postavljenih oko hrastova na istraživačkom terenu.

U istraživanju Bau i Cardé (2016.), koristili su sofisticirane modele za simulaciju ponašanja leptira gubara u pronalaženju ženki. Ovi modeli su složeni računalni sustavi koji koriste napredne matematičke metode i algoritme kako bi vjerno prikazali ponašanje leptira u stvarnim uvjetima. Sofisticirani modeli u istraživanju odnose se na simulacije koje oponašaju stvarno ponašanje leptira, uključujući kako leptiri reagiraju na feromone i pronalaze njihov izvor. U simulacijama su uzeti u obzir različiti uvjeti okoliša, poput brzine vjetrova, intenziteta feromonskog traga i strategija navigacije leptira. Na primjer, simulacije su modelirale kako leptiri koriste različite strategije za pronalaženje izvora feromona, kao što su balističke (direktne) i istraživačke (meandrirajuće) strategije. Rezultati simulacija su pokazali da leptiri koji koriste istraživačke strategije, s većim kutom promjene smjera (circular standard deviation, c.s.d. od 30°), imaju bolje šanse za ponovni kontakt s feromonskim tragom i pronalaženje izvora u usporedbi s leptirima koji koriste balističke strategije (c.s.d. od 5°), koje mogu brzo odvesti leptira daleko od izvora. Ova saznanja upućuju na to da leptiri s većom varijabilnošću u smjeru leta imaju veću mogućnost na ponovni povratak na feromonski trag te imaju bolje rezultate u pronalaženju izvora. Simulacije su također uključivale varijabilnost kako bi se prikazali nasumični faktori u prirodnim uvjetima, poput promjena u brzini i smjeru leta leptira gubara. Ova varijabilnost dodala je realističnost modelima i pokazala kako leptiri gubari mogu izgubiti trag i ponovno ga pronaći zbog promjena u letu i okolnim uvjetima. Ova istraživanja ističe značaj razmatranja ne samo učinkovitosti feromonskih klopki, već i njihove gustoće, u procjeni stvarne učinkovitosti i sposobnosti otkrivanja populacija leptira gubara. Rezultati istraživanja naglašavaju da sama učinkovitost feromonskih klopki ne osigurava potpunu sliku njihovog učinka na populaciju. Gustoća feromonskih klopki igra ključnu ulogu u povećanju vjerojatnosti da će gubari pronaći feromonske klopke, čak i ako pojedinačne feromonske klopke nisu potpuno učinkovite. U konačnici, ovo istraživanje pruža vrijedne smjernice za poboljšanje metoda kontrole štetnika, nudeći strategije za optimizaciju rasporeda klopki i njihove učinkovitosti kako u laboratorijskim simulacijama tako i u stvarnim uvjetima.

U istraživanju Schwalbe (1980.), analizirao je hvatanje mužjaka leptira gubara korištenjem feromonskih klopki na različitim gustoćama, pri čemu su laboratorijski i terenski prikupljeni mužjaci pušteni u središtu klopki. Schwalbe (1980.) je otkrio da je približno 1% označenih mužjaka uhvaćeno, većina uhvaćenih bila je unutar 400 m od mjesta puštanja. Povećanje gustoće klopki rezultiralo je većim udjelom uhvaćenih leptira i smanjenjem prosječne udaljenosti kretanja prije hvatanja.

Različiti čimbenici koji utječu na učinkovitost klopki su izuzetno složeni (Carde, 1979.). Lewis i Macauley (1976.) objašnjavaju kako se feromoni ispuštaju ako su uvjeti vjetra povoljni. Aktivni prostor feromona može biti veći i koncentracija blizu klopke veća, što može povećati učinkovitost klopke u privlačenju kukaca. Oblik i koncentracija feromonskog traga blizu klopke također ovise o obliku klopke. Granett (1974.), Carde i sur. (1977.) ističu ako klopka nije pravilno dizajnirana, učinkovitost klopke može varirati sa smjerom vjetra. Važno je i kako klopka i okolina izgledaju vizualno, koliko su blizu stabala ili niskog raslinja te na kojoj visini je postavljena klopka. Slični zaključci mogu se primijeniti na rezultate našeg istraživanja. Iako su sve tri ispitivane klopke u našem istraživanju koristile identične feromonske mamce, rezultati su pokazali značajnu razliku u učinkovitosti među klopkama. G-trap klopka je pokazala statistički veću učinkovitost u hvatanju leptira gubara u usporedbi s ostalim ispitivanim klopkama. Ovi rezultati potvrđuju tvrdnje prethodnih istraživača o važnosti pravilnog dizajna klopke te o njenom pozicioniranju u odnosu na okolišne faktore, poput visine postavljanja klopke i blizine vegetacije.

U skladu s rezultatima Elkintona i Cardeja (1980.), naše istraživanje također je pokazalo kako porast temperature značajno utječe na povećanje aktivnosti mužjaka leptira gubara. U našem istraživanju, zabilježili smo najveći broj uhvaćenih leptira u mjesecu srpnju, kada su temperature bile najviše. Ovi rezultati potvrđuju da je temperatura ključni čimbenik u aktivaciji leptira. Stoga, bilo koje procjene populacije temeljene na uhvaćenim leptirima u klopkama trebati će prilagoditi trenutnim vremenskim uvjetima.

U istraživanju Tobin i sur. (2009), koji se bave fenologijom leptira gubara, korištene su feromonske klopke za praćenje leta leptira gubara tijekom ljetnih mjeseci. Rezultati istraživanja pokazuju slične fenološke obrasce u trajanju leta kao što su opisani u našem istraživanju. Na primjer, visoka aktivnost leptira gubara, zabilježena tijekom srpnja s najvećim brojem

uhvaćenih jedinki u G-trap klopka, odgovara visokim prosječnim temperaturama za taj mjesec. Ovo ukazuje na važnost temperature u reguliranju aktivnosti leptira gubara te varijacije u učinkovitosti različitih vrsta feromonskih klopki, što je relevantno za razumijevanje dinamike populacija i razvoj strategija upravljanja njihovim populacijama (npr. razvoj klopki koje su optimalne za različite temperature i uvjete okoline). Također u istraživanju Thompson i sur. (2017.), istraživana je termalna osjetljivost različitih populacija gubara na visoke temperature. Njihovi rezultati su prikazali kako su sve populacije gubara preživjele pri temperaturi od 28 °C, dok su sve ličinke uginule pri 34 °C. Također, primijetili su da je preživljavanje pri 31 °C bilo više u populacijama iz južnijih geografskih širina (Quebec=72.5%, New York=87.5%, North Carolina=90%). To znači da su populacije koje dolaze iz južnijih regija imale bolju stopu preživljavanja na toj temperaturi u usporedbi s populacijama iz sjevernijih regija. Usporedba s istraživanjem Thompson i sur. (2017.) naglašava razlike u biološkim i ekološkim aspektima gubara. Dok Thompson i sur. (2017.) istražuju termalnu prilagodbu na visoke temperature, naše istraživanje usmjereno je na utvrđivanju učinkovitosti različitih feromonskih klopki, što doprinosi unapređenju metoda za praćenje i kontrolu populacija leptira gubara.

Ponomarev i sur. (2023.) detaljno su istraživali širenje raspona *Lymantria dispar* u Euroaziji i Sjevernoj Americi, usredotočujući se na sjevernu granicu raspona, fenologiju leta i potreban zbroj efektivnih temperatura za razvoj. Rezultati pokazuju kako se sjeverna granica raspona leptira gubara pomaknula za 5° prema sjeveru u posljednjih 10 godina. Ovo pomicanje pokazuje značajnu prilagodbu vrste na klimatske promjene, uz ubrzanje razvoja ličinki u sjevernim populacijama, što omogućava brže sazrijevanje unatoč kraćim toplim klimatskim uvjetima. Ponomarev i sur. (2023.) ističu kako se ličinke sjevernih populacija leptira gubara mogu brže razvijati zbog prilagodbi, koje omogućuju brži razvoj u kraćim toplijim klimatskim uvjetima. Ova prilagodba je povezana s povećanim zbrojem efektivnih temperatura, koje omogućavaju brži razvoj unatoč kraćem trajanju toplih klimatskih uvjeta. Dok Ponomarev i sur. (2023.) naglašavaju prilagodbu leptira gubara u smislu širenja raspona i ubranog razvoja u odgovoru na klimatske promjene, naše istraživanje doprinosi razumijevanju sezonskih promjena aktivnosti leptira i učinkovitosti metoda praćenja. Kombinirajući ove pristupe, mogu se bolje razumjeti kako klimatske promjene utječu na ponašanje i distribuciju leptira gubara te poboljšati strategije za njihovo praćenje i upravljanje.

Različite studije su koristile ponovno uhvaćene označene mužjake leptira gubara ne radi procjene populacijskih parametara, već radi ispitivanja aspekta ponašanja mužjaka ili učinkovitosti klopki (Richerson i Cameron, 1974., Carde i Webster, 1979.). Naše istraživanje, s druge strane, fokusiralo se isključivo na ispitivanje učinkovitosti feromonskih klopki za leptire gubare bez puštanja i ponovnog hvatanja leptira. Metodologija učinkovitosti feromonskih klopki uključivala je postavljanje feromonskih klopki u prirodnim uvjetima i praćenje broja uhvaćenih mužjaka tijekom određenog vremenskog razdoblja. Iako nisu provedeni pokusi s puštanjem leptira, ovi rezultati pružaju važne informacije o učinkovitosti feromonskih klopki u različitim okolišnim uvjetima. Schwalbe (1980.) je primijetio da su klopke najdjelotvornije u blizini mjesta puštanja, što ukazuje na važnost lokalne strukture vegetacije i rasporeda klopki, ali i blizine izvora feromona. Međutim, istraživanje učinkovitosti feromonskih klopki razlikuje se u smislu da se nije bilježila prosječna udaljenost kretanja prije hvatanja, već je fokus bio na ukupnom broju uhvaćenih leptira u feromonskim klopka. U konačnici, naše istraživanje doprinosi razumijevanju učinkovitosti feromonskih klopki unutar hrastove šume.

Razumijevanje kako struktura krajolika utječe na sposobnost leptira gubara da pronađu partnere ključno je za shvaćanje širenja ovih kukaca. Thompson i sur. (2016.) istraživali su utjecaj različitih dijelova staništa, uključujući rubove šuma, unutrašnjost šuma i otvorena polja. Njihovi rezultati pokazali su da je pronalaženje partnera bilo najuspješnije na rubovima šuma, dok je najmanje uspješno unutar šuma. Eksperiment je proveden s puštanjem mužjaka leptira gubara i korištenjem ženki kao mamaca na rubovima šuma, unutar šuma i otvorenim poljima. Uspjeh pronalaženja partnera bio je značajno viši na rubovima šuma, što ukazuje da umjerena razina fragmentacije šume može povećati sposobnost pronalaženja partnera kod gubara. Karakteristike staništa utjecale su na smjer leta mužjaka, uz feromonski trag, a relativni smjer vjetra nije imao značajan utjecaj na stopu hvatanja osim na otvorenom polju. Ovi rezultati naglašavaju važnost uzimanja u obzir prostorne karakteristike staništa prilikom razvoja strategija za zaštitu i upravljanje invazivnim vrstama. Oba istraživanja ističu važnost uzimanja u obzir specifičnih ekoloških uvjeta i biologije ciljane vrste. Thompson i sur. (2016.) naglašavaju ključnu ulogu područja u uspješnosti pronalaska partnera kod leptira gubara, dok naše istraživanje pridonosi razvoju strategija za učinkovitu kontrolu leptira gubara. Struktura krajolika također je važna za naše istraživanje o učinkovitosti feromonskih klopki, jer pomaže u razumijevanju kako različiti tipovi staništa utječu na populaciju leptira gubara. Rezultati iz oba istraživanja pružaju

sveobuhvatan uvid u kompleksnost interakcija između staništa i bioloških procesa koji oblikuju dinamiku populacija ovih kukaca.

Onufrieva i sur. (2020.) su u svom istraživanju procijenjivali domet feromonskih klopki (mliječnih kartonskih klopki za leptira gubara). Pustili su ukupno 8600 odraslih mužjaka i uhvaćeno je 1289 jedinki (15%). Stopa uhvaćenosti kretala se u rasponu od 2% do 45%. Procijenili su domet feromonskog mirisa klopki u rasponu od 19 do 28 metara, dok je detaljnija analiza rezultirala procjenom od $25,6 \pm 3$ metra. Kada se usporede rezultati našeg istraživanja s istraživanjem Onufrieva i sur. (2020.), može se primijetiti da, iako su njihove procjene dosega feromonskog mirisa i ukupne vjerojatnosti ulova bile ključne za razumijevanje učinkovitosti feromonskih klopki. Podaci našeg istraživanja dodatno naglašavaju razlike u učinkovitosti između različitih vrsta klopki. Dok su Onufrieva i sur. (2020.) procijenili ukupnu vjerojatnost ulova za cijelo istraživano područje, istraživanje učinkovitosti feromonskih klopki pokazuje konkretne postotke ulova za svaku vrstu feromonske klopke. Ovi podaci pružaju praktične informacije za optimizaciju strategija praćenja i kontrole populacije gubara.

deWaard i sur. (2010.) su usporedili DNA barkodiranje s NlaIII-BamHI (NB) sustavom restrikcijske razgradnje, koji se često koristi za praćenje štetnika te su otkrili da DNA barkodiranje pruža veću informacijsku vrijednost, bolju razlučivost vrsta i širu primjenjivost. Prikazali su kako DNA barkodiranje omogućava precizniju identifikaciju vrsta i omogućava bolju detekciju čak i kod vrlo sličnih ili blisko povezanih vrsta. Konkretno, analiza pokazuje da DNA barkodiranje može razlikovati 35 od 36 morfološki definiranih vrsta *Lymantria*, što je visoka uspješnost od 97,2%, dok NB sustav nije uvijek mogao razlikovati sve te vrste s jednakom točnošću. Ovo upućuje na to da bi DNA barkodiranje moglo pružiti precizniju identifikaciju populacija *Lymantria dispar* koje se love u feromonskim klopnama, u odnosu na ograničenja NB sustava. Osim toga, DNA barkodiranje nudi potencijal za nova taksonomska saznanja zahvaljujući svojim visokim standardima vođenja evidencije i trajnom pohranjivanju uzoraka. Ovi rezultati mogu biti korisna za naše istraživanje, posebno u analizi učestalosti haplotipova u različitim populacijama i praćenju porijekla vrsta. Na primjer, deWaard i sur. (2010.) su pokazali da je DNA barkodiranje sposobno otkriti raznolikost haplotipova unutar *L. dispar* i omogućiti praćenje njihove distribucije i potencijalnog uvoza iz različitih geografskih područja. Ova saznanja mogu poboljšati razumijevanje učinkovitosti različitih feromonskih

klopki, budući da omogućava preciznije povezivanje haplotipova s vrstama i njihovim populacijama.

Istraživanje Wu i sur. (2020.) značajno doprinosi razumijevanju genetske strukture populacija *Lymantria dispar* i njegove srodne vrste *Lymantria umbrosa*. Njihova studija, koja je obuhvatila analizu 60 DNA lokusa, uključujući 55 nuklearnih i 5 mitohondrijskih, identificirala je pet glavnih geografskih skupina koje su se dalje mogle podijeliti u ukupno 13 specifičnih genetskih klastera. Ove skupine pokrivaju različite regije: Sjevernu Ameriku, Europu zajedno sa sjevernom Afrikom i Bliskim Istokom, Uralsku regiju uz Središnju Aziju i Rusku Sibiriju, Kontinentalnu Istočnu Aziju, te japanske otoke. Svaka od ovih regija pokazuje jedinstvene genetske karakteristike koje odražavaju lokalne prilagodbe i povijesne migracije. Posebno je zanimljivo što su u Europi i Kontinentalnoj Istočnoj Aziji uočene genetske karakteristike koje potječu iz japanskih populacija. Ovaj fenomen ukazuje na složene obrasce migracije i križanja među populacijama, što može biti rezultat prirodnih migracijskih procesa ili ljudskih aktivnosti koje su omogućile prijenos genetskog materijala između regija. Kroz razumijevanje genetskih varijacija i njihovih regionalnih distribucija, može se bolje ciljati i prilagoditi strategije za kontrolu leptira gubara. Specifične genetske varijante identificirane u različitim regijama mogu omogućiti razvoj feromonskih klopki koje su optimizirane za privlačenje specifičnih populacija leptira. Na primjer, ako se otkrije da su određene genetske varijante otpornije na specifične feromone, možemo prilagoditi sastav feromona kako bismo poboljšali učinkovitost klopki u ciljanim područjima. Također, uvidi u regionalne razlike u genetskoj strukturi leptira mogu pomoći u razumijevanju varijacija u učinkovitosti klopki na različitim lokacijama. Poznavanje genetskih karakteristika populacija može omogućiti razvoj strategija koje su specifične za svaku regiju, što može rezultirati učinkovitijom kontrolom i smanjenjem šteta uzrokovanih *L. dispar*.

Clavijo McCormick i sur. (2017.) istraživali su kako prisutnost biljnih hlapljivih tvari utječe na ponašanje mužjaka leptira gubara u odnosu na feromone te mogu li mužjaci razlikovati optimalne i suboptimalne biljke domaćine. Konkretno, proučavali su ponašanje mužjaka u prisutnosti optimalnih (*Quercus robur*) i suboptimalnih (*Pinus sylvestris*) biljaka domaćina kako bi utvrdili mogu li mužjaci razlikovati ove biljke na temelju hlapljivih tvari koje ispuštaju kroz niz laboratorijskih eksperimenata u zračnom tunelu. Clavijo McCormick i sur. (2017.) su proučavali uspješnost mužjaka u lociranju izvora feromona u prisutnosti i odsutnosti biljnih

hlapljivih tvari. Rezultati su pokazali da prisutnost biljnih hlapljivih tvari smanjuje vrijeme traženja izvora feromona, dok sama učinkovitost u pronalaženju izvora feromona ostaje nepromijenjena. To znači da, iako su mužjaci brže pronalazili izvor feromona u prisutnosti biljnih hlapljivih tvari, sama uspješnost u pronalaženju feromona (tj. koliko ih je uspješno pronašlo izvor) ostala je slična kao i bez njene prisutnosti. Također, mužjaci su pokazali jasnu sklonost za kombinaciju feromona i biljnih hlapljivih tvari u odnosu na samo feromon, no nisu bili u stanju razlikovati optimalne od suboptimalnih biljaka domaćina. Rezultati Clavijo McCormick i sur. (2017.) ukazuju na važnost biljnih hlapljivih tvari u promjeni ponašanja mužjaka, što može imati značajne utjecaje za poboljšanje učinkovitosti feromonskih klopki. Naši rezultati, koji procjenjuju učinkovitost različitih feromonskih klopki, mogu se kombinirati s njihovim saznanjima kako bi se razvile naprednije strategije za kontrolu leptira gubara u prirodnim uvjetima.

Unatoč tome što je G-trap klopka pokazala najveću učinkovitost u našem ispitivanju, važno je uzeti u obzir i druge čimbenike koji mogu utjecati na rezultate, poput specifičnih karakteristika terena ili vremenskih uvjeta tijekom istraživanja. Na primjer, Elkinton i Carde (1980.), Tobin i sur. (2009.) te Thompson i sur. (2017.) su pokazali da temperatura utječe na broj uhvaćenih leptira, što naznačuje da bi daljnja istraživanja trebala uzeti u obzir te čimbenike prilikom analize učinkovitosti klopki.

6. ZAKLJUČAK

Leptiri gubari predstavljaju značajnu prijetnju u poljoprivredi i šumarstvu diljem svijeta. Njihovi štetni učinci na biljne kulture i ekosustave često su ozbiljni, što dovodi do potrebe za učinkovitim metodama kontrole populacija ovih kukaca. U tom kontekstu, klopke s feromonima igraju ključnu ulogu. Analiza učinkovitosti ovih klopki u hvatanju leptira gubara važna je za razvoj strategija kontrole populacija i očuvanje ekosustava.

U provedenom istraživanju utvrđeno je da su G-trap klopke najučinkovitije za hvatanje mužjaka leptira gubara. G-trap klopka postigla je najviši postotak ulova od 74%, dok je klopka eGymer 1 ostvarila 15% ulova, a klopka eGymer 2 najmanjih 11%.

Na temelju prikupljenih podataka, utvrđeno je da let leptira gubara počinje početkom srpnja i traje do kraja kolovoza. Najveća brojnost populacije, odnosno vrhunac aktivnosti, zabilježen je u trećem tjednu srpnja, od 15. do 21. srpnja, kada je prosječna temperatura iznosila 26,21 °C.

U istraživanju učinkovitosti feromonskih klopki, uz primarnu ciljanu vrstu leptira gubara, zabilježen je značajan ulov različitih vrsta člankonožaca. Klopke su privukle i uhvatile različite vrste člankonožaca, uključujući *Necrophorus* spp., *L. monacha*, *A. pyramidea*, paukove te pripadnike obitelji Tettigoniidae. Ovi rezultati naglašavaju široku privlačnost feromonskih klopki za različite vrste člankonožaca.

Rezultati ovog istraživanja pružaju vrijedan uvid u relativnu učinkovitost istraživanih feromonskih klopki. Važno je istaknuti da je upotreba klopki s feromonima jedna od najvažnijih metoda za praćenje i kontinuirano nadziranje populacija. Proučavanje faktora koji utječu na učinkovitost ovih klopki ključno je za razvoj pouzdanih strategija zaštite usjeva i šuma.

Osim toga, važno je istaknuti da su istraživanja u području učinkovitosti klopki važna ne samo za trenutni uvid u rezultate, već i za predviđanje budućih trendova i prilagodbu kontrolnih strategija. Stoga, nastavak istraživanja u ovom području od ključne je važnosti za održavanje stabilnosti ekosustava i zaštitu poljoprivrednih i šumskih resursa.

Ovo istraživanje pridonosi razumijevanju važnosti upotrebe klopki s feromonima u kontroli populacija leptira gubara te potiče daljnje istraživanje koje će produbiti znanje o njihovoj učinkovitosti i potencijalnim ograničenjima.

7. POPIS LITERATURE

1. Acree, F., Jr. (1953.): The isolation of gypto1, the sex attractant of the female gypsy moth. *Journal of Economic Entomology*, 46, 313.
2. Aukema, J.E., Leung, B., Kovacs, K., Chivers, C., Britton, K.O., Englin, J., Frankel, S.J., Haight, R.G., Holmes, T.P., Liebhold, A.M., McCullough, D.G., Von Holle, B. (2011.): Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States. *PLoS ONE*, 6, e24587.
3. Bau, J., Cardé, R. T. (2016.): Simulation modeling to interpret the captures of moths in pheromone-baited traps used for surveillance of invasive species: The gypsy moth as a model case. *Journal of Chemical Ecology*, 42(8), 877–887.
4. Boukouvala, M. C., Kavallieratos, N. G., Skourti, A., Pons, X., López Alonso, C., Eizaguirre, M., Benavent Fernandez, E., Domínguez Solera, E., Fita, S., Bohinc, T., Trdan, S., Agrafioti, P., Athanassiou, C. G. (2022.): *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Erebidae): Current status of biology, ecology, and management in Europe with notes from North America. *Insects*, 13(854).
5. Bradshaw, C.J.A., Leroy, B., Bellard, C., Roiz, D., Albert, C., Fournier, A., Barbet-Massin, M., Salles, J.M., Simard, F., Courchamp, F. (2016.): Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nat. Commun.*, 7, 12986.
6. Burgess, A. F. (1940): The value to uninfested states of gypsy moth control and extermination. *Journal of Economic Entomology*, 33, 558.
7. Cardé, R. T., Bau, J., Elkinton, J. S. (2017.): Comparison of attraction and trapping capabilities of bucket- and delta-style traps with different pheromone emission rates for gypsy moths (Lepidoptera: Erebidae): Implications for understanding range of attraction and utility in surveillance. *Environmental Entomology*, XX(X).
8. Carde, R. T., C. C. Doane, J. Granett, A. S. Hill, J. Kochansky, and W. L. Roelofs (1977.): Attractancy of racemic disparlure and certain analogues to male gypsy moths and the effect of trap placement. *Environmental Entomology*, 6, 765-767.
9. Carde, R. T., and Webster, R. (1979.): Variation in attraction of individual gypsy moths to (+) and (-)-disparlure. *Journal of Chemical Ecology*, 5, 935.

10. Clavijo McCormick, A., Heyer, J., Sims, J. W., Mescher, M. C., and De Moraes, C. M. (2017.): Exploring the effects of plant odors, from tree species of differing host quality, on the response of *Lymantria dispar* males to female sex pheromones. *Journal of Chemical Ecology*, 43(3): 243–253.
11. Closa, S., Núñez, L., Parga, E. (2008.): Eruga Peluda (*Lymantria dispar*), L’Insecte Defoliador de les Alzines. Quadern de Natura, Conselleria de Medi Ambient CAIB, Govern de les Illes Balears: Palma, Spain, p. 26.
12. Collins, C. W., Potts, S. F. (1932.): Attractants for the flying gypsy moth as an aid in locating new infestations. *USDA Technical Bulletin*, 336.
13. Cvetković, G. (2024.): Feromonske klopke manja upotreba pesticida. *AgroinfoNet*. <https://agroinfo.net/vocarstvo/feromonske-klopke/>.
Pristupljeno 29.04.2024.
14. Davidson, C.B., Johnson, J.E., Gottschalk, K.W., Amateis, R.L. (2001.): Prediction of stand susceptibility and gypsy moth defoliation in Coastal Plain mixed pine hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 1914–1921.
15. deWaard, J. R., Mitchell, A., Keena, M. A., Gopurenko, D., Boykin, L. M., Armstrong, K. F., Pogue, M. G., Lima, J., Floyd, R., Hanner, R. H., & Humble, L. M. (2010.): Towards a global barcode library for *Lymantria* (Lepidoptera: Lymantriinae) tussock moths of biosecurity concern. *PLoS ONE*, 5(12): e14280.
16. Doane, C.C., McManus, M.L. (1981.): *The Gypsy Moth: Research toward Integrated Pest Management* (No. 1584), US Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
17. Elkinton, J. S., Carde, R. T. (1980.): Distribution, dispersal and apparent survival of male gypsy moths as determined by capture in pheromone-baited traps. *Environmental Entomology*, 9.
18. Elkinton, J. S., Cardé, R. T. (1981.): The Use of Pheromone Traps to Monitor Distribution and Population Trends of the Gypsy Moth. In: Cardé, R. T., and Minks, A. K. (eds.) *Management of Insect Pests with Semiochemicals*, pp. 41-55.
19. Fabel, S. (2000.): Effects of *Lymantria dispar*, the Gypsy moth, on broadleaved forests in eastern North America. *Restor. Reclam. Rev.*, 6, 1–15.
20. Forbush, E. H., Fernald, C. H. (1896). *The Gypsy Moth*. Wright & Potter Printing Co., Boston.

21. Georgiev, G., Hubenov, Z., Georgieva, M., Mirchev, P., Matova, M., Solter, L.F., Pilarska, D., Pilarski, P. (2013.): Interactions between the introduced fungal pathogen *Entomophaga maimaiga* and indigenous tachinid parasitoids of gypsy moth *Lymantria dispar* in Bulgaria. *Phytoparasitica*, 41, 125–131.
22. Granett, J. (1974.): Estimation of male mating potential of gypsy moths with disparlure-baited traps. *Environmental Entomology*, 3, 383-385.
23. Gregg, P. C. A. G. L. Wilson (1991.): Trapping methods for adults, pp. 30–48. In M. P. Zalucki (ed.), *Heliothis: Research Methods and Prospects*. Springer-Verlag, New York, NY.
24. Grijpma, P. (1989.): Overview of research on lymantrids in eastern and western Europe. U: Proceedings, *Lymantriidae: A Comparison of Features of New and Old World Tussock Moth*, GTR-NE-123, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: Broomall, PA, USA, pp. 21–49.
25. Gschwantner, T., Hoch, G., Schopf, A. (2002.): Impact of predators on artificially augmented populations of *Lymantria dispar* L. pupae (Lep., *Lymantriidae*). *J. Appl. Entomol.*, 126, 66–73.
26. Haller, H. L., Acree, F., Jr., Potts, S. F. (1944.): The nature of the sex attractant of the female gypsy moth. *Journal of the American Chemical Society*, 66, 1659.
27. Hanson, T., E. B. Walker (2002.): *Field Guide to Common Insect Pests of Urban Trees in the Northeast*. Waterbury, VT: Department of Forests, Parks and Recreation.
28. Holbrook, R. F., Beroza, M., Burgess, E. D. (1960.): Gypsy moth (*Porthetria dispar*) detection with the natural female sex lure. *Journal of Economic Entomology*, 53, 751.
29. Husnjak, M., Raspudić, E., Ivezić, M., Brmež, M., Majić, I., Sarajlić, A. (2014.): Usporedba feromonskih mamaca i žutih ploča u monitoringu kukuruzne zlatice (*Diabrotica virgifera virgifera*) u Virovitičko-podravskoj županiji. *Proceedings*, 253-256.
30. Igrc-Barčić, J., Maceljki, M. (2001.): *Ekološki prihvatljiva zaštita bilja od štetnika*. Zrinjski d.d., Čakovec.
31. Inoue, M. N., Suzuki-Ohno, Y., Haga, Y., Aarai, H., Sano, T., Martemyanov, V. V., & Kunimi, Y. (2019.): Population dynamics and geographical distribution of the gypsy moth, *Lymantria dispar*, in Japan. *Forest Ecology and Management*, 434, 154–164.

32. Jones, C.G., Ostfeld, R.S., Richard, M.P., Schaubert, E.M., Wolff, J.O. (1998.): Chain reactions linking acorns to gypsy moth outbreaks and *Lyme disease*. *Science*, 279, 1023–1026.
33. Katovich, S., Haack, R. (1991.): Gypsy moth in the northern hardwood forest. U: Hutchinson, J.G. (ur.) Northern Hardwood Notes, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station: St. Paul, MN, USA, Section 7.10.
34. Kovačević, Ž. (1956.): Primijenjena entomologija. Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb, str. 382–406.
35. Lewis, T., Macaulay, E. D. M. (1976.): Design and evaluation of sex-attractant traps for pea moth (*Cydia nigricana* (Steph.)) and the effect of plume shape on catches. *Ecological Entomology*, 1, 175.
36. Liebhold, A.M., Higashiura, Y., Unno, A. (1998.): Forest type affects predation on gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) pupae in Japan. *Environ. Entomol.*, 27, 858–862.
37. Lovett, G.M., Camja, C.D., Arthur, M.A., Weathers, K.C., Fitzhugh, R.D. (2006.): Forest ecosystem responses to exotic pests and pathogens in Eastern North America. *BioScience*, 56, 395–405.
38. Luciano, P., Lentini, A. (2012.): Ten years of microbiological control program against lepidopterous defoliators in Sardinian cork oak forests. *IOBC/WPRS Bull.*, 76, 175–178.
39. Luciano, P., Prota, R. (1981.): La dinamica di popolazione di *Lymantria dispar* L. in Sardegna. Indicatori della gradazione ricavati dalle ovideposizioni. *Studi Sassar.*, III, 27, 137–160.
40. Margaletić i sur. (2007.): Analiza suzbijanja gubara (*Lymantria dispar* L.) tijekom 2005. godine u državnim šumama Hrvatske. *Šumarski list*, vol. 131 no. 11-12, str. 539-548.
41. Martineau, R. (1984.): *Insects Harmful to Forest Trees*. Agriculture Canada Government Publishing Centre, Supply and Services, Ottawa. p 112-114.
42. McManus, M., Csóka, G. (2007.): History and impact of gypsy moth in north America and comparison to the recent outbreaks in Europe. *Acta Silv. Lignaria Hung.*, 3, 47–64.

43. McManus, M., Schneeberger, N., Reardon, R., Mason, G. (1989.): Forest Insect and Disease: Gypsy Moth. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture Forest Service.
44. Onufrieva, K. S., Onufriev, A. V., Hickman, A. D., & Miller, J. R. (2020). Bounds on absolute gypsy moth (*Lymantria dispar dispar*) (Lepidoptera: Erebidae) population density as derived from counts in single milk carton traps. *Insects*, 11(10), 673.
45. Pernek, M. (2018.): Novi način obračuna kritičnog broja jajnih legala gubara (*Lymantria dispar* L.) u svrhu bolje prognoze populacije. *Šumarski list*, 1–2, 59–65. UDK 630* 453.
46. Pernek, M., Pilaš, I., Vrbek, B., Benko, M., Hrašovec, B., Milković, J. (2008.): Forecasting the impact of the gypsy moth on lowland hardwood forests by analyzing the cyclical pattern of population and climate data series. *For. Ecol. Manag.*, 255, 1740–1748.
47. Pleše, M. (2018.):
<https://www.agroklub.com/sumarstvo/sumski-stetnik-gubar-prijeti-hrastovima-ali-i-drugim-vrstama-listaca-kako-ih-zastititi/45165/> (Pristupljeno: 29.04.2024.)
48. Pogue, M., Schaefer, P.W. (2007.): A Review of Selected Species of *Lymantria Hübner* (1819.) (Lepidoptera: Noctuidae: Lymantriinae) from Subtropical and Temperate Regions of Asia, Including the Descriptions of Three New Species, Some Potentially Invasive to North America. Forest Health Technology Enterprise Team, Washington, DC, USA.
49. Ponomarev, V. I., Klobukov, G. I., Napalkova, V. V., Akhanaev, Y. B., Pavlushin, S. V., Yakimova, M. E., Subbotina, A. O., Picq, S., Cusson, M., Martemyanov, V. V. (2023.): Phenological features of the spongy moth, *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Erebidae), in the northernmost portions of its Eurasian range. *Insects*, 14(3), 276.
50. Roonwal, M.L. (1954.): Structure of the egg-masses and their hairs in some species of *Lymantria* of importance to forestry (*Insecta: Lepidoptera: Lymantriidae*). *India For.*, 8, 265–276.
51. Schwalbe, C. P. (1980.): Disparlure-baited traps for survey and detection, in: "The Gypsy Moth: Research Toward Integrated Pest Management," USDA Tech. Bull. 1584, (In Press).

52. Thompson, L. M., Faske, T. M., Banahene, N., Grim, D., Agosta, S. J., Parry, D., Tobin, P. C., Johnson, D. M., Grayson, K. L. (2017). Variation in growth and developmental responses to supraoptimal temperatures near latitudinal range limits of gypsy moth *Lymantria dispar* (L.), an expanding invasive species. *Physiological Entomology*, 42, 181–190.
53. Thompson, L. M., Grayson, K. L., Johnson, D. M. (2016). Forest edges enhance mate-finding in the invasive European gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(3), 295–303.
54. Tobin, P., Blackburn, L.M. (2007.): *Slow the Spread: A National Program to Manage the Gypsy Moth*, General Technical Reports NRS-6, US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: Newton Square, PA, USA.
55. Tobin, P. C., Klein, K. T., & Leonard, D. S. (2009.): Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) flight behavior and phenology based on field-deployed automated pheromone-baited traps. *Environmental Entomology*, 38(6), 1555-1562. Entomological Society of America.
56. Tobin, P.C., Liebhold, A.M. (2011.): “Gypsy moth”. U: Simberloff, D., Rejmanek, M. (ur.) *Encyclopedia of Biological Invasions*, University of California Press: Berkeley, CA, USA, str. 298–304.
57. Tomiczek, C., Diminić, D., Cech, T., Hrašovec, B., Krehan, H., Pernek, M., Perny, B. (2008.): *Bolesti i štetnici urbanog drveća*. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu ; Šumarski institut Jastrebarsko:198-200.
58. Žikić, V., Stanković, S.S., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C., Georgiou, P., Tschorsnig, H.P., Achterberg, C.V. (2017.): Parasitoids associated with *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae) and *Malacosoma neustria* (Lepidoptera: Lasiocampidae) in Greece and comparative analysis of their parasitoid spectrum in Europe. *Zool. Anz.*, 270, 166–175.
59. Wu, Y., Bogdanowicz, S.M., Andres, J.A., Vieira, K.A., Wang, B., Cossé, A., Pfister, S.E. (2020.): Tracking invasions of a destructive defoliator, the gypsy moth (*Erebidae: Lymantria dispar*): Population structure, origin of intercepted specimens, and Asian introgression into North America. *Evol. Appl.*, 13, 2056–2070.

8. SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinkovitost tri različite vrste feromonskih klopki (G-trap, eGymer 1 i eGymer 2) u hvatanju leptira gubara, štetnika koji predstavlja značajnu prijetnju poljoprivredi i šumarstvu diljem svijeta. Gubari predstavljaju izazov zbog njihove brze reprodukcije i sposobnosti širenja, stoga je razvoj učinkovitih metoda kontrole populacija ovih kukaca od izuzetne važnosti.

U pokusu je bilo uključeno 18 klopki raspoređenih u tri bloka, pri čemu je u svakom bloku bilo po dvije klopke svake vrste, što uključuje šest ponavljanja za svaku vrstu klopke. Klopke su pregledavane jednom tjedno od lipnja do rujna 2023. godine.

Prema dobivenim rezultatima, G-trap klopka pokazala se najučinkovitijom, s 74% ulovljenih mužjaka od ukupnog broja što je bilo i statistički značajno. Slijedi eGymer 1 klopka sa 15%, dok je eGymer 2 klopka zabilježila najmanji postotak ulova, samo 11%.

Ovi rezultati pokazuju kako G-trap klopka ima najbolju učinkovitost u privlačenju i hvatanju leptira gubara, što može značajno unaprijediti strategije za kontrolu populacije ovog štetnika. Ova saznanja mogu biti korisna za usmjeravanje budućih istraživanja i razvoj učinkovitijih metoda za upravljanje i zaštitu poljoprivrednih i šumskih resursa.

Ključne riječi: *Lymantria dispar*, feromonske klopke, učinkovitost, populacija, štetnici

9. SUMMARY

The aim of this study was to assess the effectiveness of three different types of pheromone traps (G-trap, eGymer 1, and eGymer 2) in capturing gypsy moths, a pest that poses a significant threat to agriculture and forestry worldwide. Gypsy moths are challenging due to their rapid reproduction and spreading ability, making the development of effective population control methods crucial.

The experiment included 18 traps arranged in three blocks, with two traps of each type in each block, resulting in six replicates for each type of trap. The traps were checked once a week from June to September 2023.

According to the results, the G-trap proved to be the most effective, capturing 74% of the male moths, which was statistically significant. This was followed by the eGymer 1 trap with 15% of the captures, while the eGymer 2 trap recorded the lowest percentage of captures, only 11%.

These results indicate that the G-trap has the best effectiveness in attracting and capturing gypsy moths, which could significantly enhance strategies for controlling this pest population. This information could be valuable for guiding future research and developing more effective methods for managing and protecting agricultural and forest resources.

Keywords: *Lymantria dispar*, pheromone traps, effectiveness, population, pests

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Imago ženke leptira gubara	2
Slika 2. Mužjak leptira gubara.....	3
Slika 3a. Ženka gubara s jajnim leglom	4
Slika 3b. Jaja <i>Lymantria dispar</i>	4
Slika 4a. Ličinka <i>Lymantria dispar</i> L.....	5
Slika 4b. Ličinka u klopci.....	5
Slika 5. Kukuljica <i>Lymantria dispar</i> L.....	6
Slika 6. eGymer 1 klopka	13
Slika 7. eGymer 1 klopka	14
Slika 8. eGymer2 klopka	15
Slika 9. Prikaz ulovljenih mužjaka leptira gubara pomoću G-trap klopke.....	19
Slika 10. Prikaz ulovljenih <i>Necrophorus</i> spp. pomoću feromonskih klopki.....	21

11. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Ulov mužjaka leptira gubara na feromonskim klopkama uz prosječne mjesečne temperature	16
Grafikon 2. Ulov mužjaka leptira gubara na feromonskim klopkama u srpnju	17
Grafikon 3. Ukupan broj uhvaćenih imaga gubara u feromonskim klopkama	18
Grafikon 4. Ukupan broj uhvaćenih gusjenica leptira gubara u feromonskim klopkama	20
Grafikon 5. Ostali člankonošci koji su najčešće pronađeni u feromonskim klopkama.....	20
Grafikon 6. Ostali kukci i puževi povremeno hvatani u feromonskim klopkama.....	22
Grafikon 7. Učinkovitost ispitanih klopki	24

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, modul Zaštita bilja

Diplomski rad

Usporedba učinkovitosti tri vrste klopki za ulov leptira gubara (*Lymantria dispar* L.)
Marta Valenčak

Sažetak: Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinkovitost tri različite vrste feromonskih klopki (G-trap, eGymer 1 i eGymer 2) u hvatanju leptira gubara, štetnika koji predstavlja značajnu prijetnju poljoprivredi i šumarstvu diljem svijeta. Gubari predstavljaju izazov zbog njihove brze reprodukcije i sposobnosti širenja, stoga je razvoj učinkovitih metoda kontrole populacija ovih kukaca od izuzetne važnosti. U pokusu je bilo uključeno 18 klopki raspoređenih u tri bloka, pri čemu je u svakom bloku bilo po dvije klopke svake vrste, što uključuje šest ponavljanja za svaku vrstu klopke. Klopke su pregledavane jednom tjedno od lipnja do rujna 2023. godine. Prema dobivenim rezultatima, G-trap klopka pokazala se najučinkovitijom, s 74% mužjaka od ukupnog broja što je bilo i statistički značajno. Slijedi eGymer 1 klopka sa 15% ulova, dok je eGymer 2 klopka zabilježila najmanji postotak ulova, samo 11%. Ovi rezultati pokazuju kako G-trap klopka ima najbolju učinkovitost u privlačenju i hvatanju leptira gubara, što može značajno unaprijediti strategije za kontrolu populacije ovog štetnika. Ova saznanja mogu biti korisna za usmjeravanje budućih istraživanja i razvoj učinkovitijih metoda za upravljanje i zaštitu poljoprivrednih i šumskih resursa.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ankica Sarajlić

Broj stranica: 43

Broj grafikona i slika: 17

Broj tablica: 0

Broj literaturnih navoda: 59

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: *Lymantria dispar*, feromonske klopke, učinkovitost, populacija, štetnici

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Ivana Majić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ankica Sarajlić, mentor
3. prof. dr. sc. Mirjana Brmež, član

Rad je pohranjen u: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agricultural Biotechnology Sciences Osijek
University Graduate Studies, Plant production, module Plant protection

Graduate Thesis

A comparison of three trap designs for capturing gypsy moth (*Lymantria dispar* L.)
Marta Valenčak

Abstract: The aim of this study was to assess the effectiveness of three different types of pheromone traps (G-trap, eGymer 1, and eGymer 2) in capturing gypsy moths, a pest that poses a significant threat to agriculture and forestry worldwide. Gypsy moths are challenging due to their rapid reproduction and spreading ability, making the development of effective population control methods crucial. The experiment included 18 traps arranged in three blocks, with two traps of each type in each block, resulting in six replicates for each type of trap. The traps were checked once a week from June to September 2023. According to the results, the G-trap proved to be the most effective, capturing 74% of the male moths, which was statistically significant. This was followed by the eGymer 1 trap with 15% of the captures, while the eGymer 2 trap recorded the lowest percentage of captures, only 11%. These results indicate that the G-trap has the best effectiveness in attracting and capturing gypsy moths, which could significantly enhance strategies for controlling this pest population. This information could be valuable for guiding future research and developing more effective methods for managing and protecting agricultural and forest resources.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: assoc. prof. dr. sc. Ankica Sarajlić

Number of pages: 43

Number of figures: 17

Number of tables: 0

Number of references: 59

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: *Lymantria dispar*, pheromone traps, effectiveness, population, pests

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof. dr. sc. Ivana Majić, president
2. assoc. prof. dr. sc. Ankica Sarajlić, mentor
3. prof. dr. sc. Mirjana Brmež, member

Thesis deposited at: Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek