



Srednja šola Slovenska Bistrica

Ulica dr. Jožeta Pučnika 21

2310 Slovenska Bistrica

**VPLIV TEMPERATURE IN ZRAČNE VLAGE NA
PREOBRAZBO BUB VELIKEGA MOKARJA
(*Tenebrio molitor*)**

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND AIR MOISTURE ON THE DEVELOPMENT OF MEALWORMS

(TENEBRIO MOLITOR)

RAZISKOVALNA NALOGA

BIOLOGIJA

Mentorica:

Vera Cunk Manić, univ. dipl. biol., prof.

Avtor:

Svit Stramšak

Jezikovni pregled:

Lidija Ličen, prof. slov. in teol.

Slovenska Bistrica, februar 2023



Srednja šola Slovenska Bistrica

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja
(*Tenebrio molitor*).

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici Veri Cunk Manić, profesorici biologije, za vztrajno pomoč, spodbujanje in usmerjanje pri reševanju problemov ter pisanju raziskovalne naloge.

Zahvaljujem se tudi Lidiji Ličen, profesorici slovenščine, za jezikovni pregled naloge.

Zahvaljujem se Evi Veler, študentki biologije, za dodatno pomoč pri oblikovanju raziskovalnega vprašanja.

Zahvaljujemo se Sendi Ferk, profesorici angleščine, za jezikovni pregled angleškega povzetka.



Srednja šola Slovenska Bistrica

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja
(*Tenebrio molitor*).

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	2
KAZALO VSEBINE	3
KAZALO SLIK	4
KAZALO GRAFOV	4
POVZETEK	5
ABSTRACT	6
1 UVOD	7
1.1 Opredelitev problema in raziskovalno vprašanje	7
1.2 Namen naloge	8
1.3 Hipoteze	8
2 TEORETIČNI DEL	9
2.1 Razvoj osebkov po oploditvi in notranja oploditev	9
2.2 Anatomija žuželk in hroščev ter njihova preobrazba	11
2.3 Sistematika in stadiji velikega mokařja ter vpliv temperature in vlage na njihov razvoj	12
3 EKSPERIMENTALNI DEL	16
3.1 Metode dela	16
3.2 Preiskovalni vzorec	19
3.3 Material in pripomočki	19
4 REZULTATI	21
Izračun stopinj dni in podatki o temperaturi	25
5 RAZPRAVA	28
6 ZAKLJUČEK	29
7 LITERATURA IN VIRI	31
7.1 Literatura	31
7.2 Spletni viri	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Popolna preobrazba hrošča mokařja [Vidmar, 2022]	9
Slika 2: Hormonski nadzor pri preobrazbi žuželke [prirejeno po Belušiĉ, 2019]	10
Slika 3: Preobrazba žuželk [Igliĉ – H5p, 2011]	12
Slika 4: Liĉinka velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) [Lasten vir]	13
Slika 5: Buba velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) [Lasten vir]	13
Slika 6: Odrasel osebek velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) [Lasten vir]	14
Slika 7: Gojišĉe z mokařji [Lasten vir]	16
Slika 8: Petrijevka pri sobni temperaturi in petrijevka v škatli, pod katero sta grelni kabel in dlanĉnik, ki zapisuje podatke o temperaturi [Lasten vir]	17
Slika 9: Petrijevka z bubami v hladilniku [Lasten vir]	17
Slika 10: Gojišĉe mokařjev [Lasten vir]	19
Slika 11: Liĉinka velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) [Lasten vir]	20
Slika 12: Slika uporabljenih pripomoĉkov (tri petrijevke, higrometer, dlanĉnik Vernier LabQuest 1 data logger s polnilcem, dva termometra z moŹnostjo prikljuĉitve v dlanĉnik in namizni raĉunalnik) [Lasten vir]	20

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Temperature eksperimenta pri sobni, niŹji in viŹji temperaturi pri doloĉeni vlagi	21
Graf 2: Razvoj bub v odrasle osebke velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) pri sobni temperaturi	22
Graf 3: Razvoj bub v odrasle osebke velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) pri viŹji temperaturi	23
Graf 4: Razvoj bub v odrasle osebke velikega mokařja (<i>Tenebrio molitor</i>) pri niŹji temperaturi	24
Graf 5: Prikaz izmerjene povpreĉne dnevne temperature in izraĉunane koliĉine stopinj dni pri sobni temperaturi	25
Graf 6: Prikaz izmerjene povpreĉne dnevne temperature in izraĉunane koliĉine stopinj dni pri viŹji temperaturi	26
Graf 7: Prikaz izmerjene povpreĉne dnevne temperature in izraĉunane koliĉine stopinj dni pri niŹji temperaturi	27

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*).

POVZETEK

V raziskovalnem delu bomo ugotavljali, kako različna temperatura vpliva na razvojni krog hrošča veliki mokaar (*Tenebrio molitor*). Natančno ta vrsta je bila izbrana, ker spada v družino Tenebrionidae; osebkje je mogoče pridobiti kar v trgovini; ima sorazmerno veliko telesno velikost, kar omogoča lažje opazovanje; ima popolno (holometabolno) metamorfozo, kar pomeni, da so si različne faze osebkovega življenjskega cikla med seboj na videz popolnoma različne, zato je spremembe mogoče lažje opaziti in jih zabeležiti.

Uporabili smo bube vrste *Tenebrio molitor*, ki so se sčasoma razvile v odrasle hrošče. Bube smo pridobili iz gojišča, v katerem je že bila vzpostavljena populacija hroščev. Naša glavna hipoteza je bila, da bo proces razvoja hroščev velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) potekal hitreje pri višji temperaturi v umetnem okolju in obratno, saj bodo hrošči pridobili več toplote oziroma manj, potrebne za metabolne procese, ki potekajo med preobrazbo bube.

Glavna raziskovalna metoda, ki smo jo pri raziskovalnem delu uporabili, je bil eksperiment, ki je temeljil na izpostavljanju treh skupin po trideset bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) v petrijevkah pri treh različnih temperaturah in pri dveh različnih vlagah. Prva skupina je bila izpostavljena sobni temperaturi (19–23 °C) in 36-odstotni vlagi, druga skupina višji temperaturi (24–29 °C) in 36-odstotni vlagi, tretja skupina nizki temperaturi (6 °C) in 75-odstotni vlagi. Med eksperimentom smo si spremembe v zunanjem izgledu bub in število uspešno preobraženih osebkov iz bub v odrasli osebek sproti zabeleževali v preglednico.

Bube velikega mokaarja, ki so bile izpostavljene višjim temperaturah, so se hitreje preobrazile v odrasle osebkje, medtem ko se osebkje velikega mokaarja, ki so bili izpostavljeni nižji temperaturi (blizu bazalne temperature, ki znaša 6 °C) [podatek, pridobljen po Koo in drugih, 2013], med eksperimentom sploh niso preobrazili v odrasle osebkje.

KLJUČNE BESEDE:

veliki mokaar (*Tenebrio monitor*), temperatura, vlaga, preobrazba

ABSTRACT

In this research work, our team tried to find the effect of different temperature levels on the developmental cycle of the mealworm (*Tenebrio molitor*). This species was chosen because it belongs to the family *Tenebrionidae*, specimens are commercially available, specimens have relatively a large body size, which makes observing easier, and undergo holometabolic metamorphosis, which means that different instars of an individual's life cycle have a completely different appearance, which in turn makes changes easier to observe and mark down.

In the experiment, larvae of *Tenebrio molitor* were used, which metamorphosed into adults. Larvae were obtained from a premade breeding ground, in which a stable population of beetles was already present. Our main hypothesis was that the developmental process of the mealworms will transpire faster in heightened temperatures and slower in an environment with lowered temperature, since the specimens will be able to acquire the heat needed for metabolic processes that result in eclosion from their surroundings.

The main scientific method used was an experiment, which mainly consisted of exposing three groups of thirty mealworm pupae in petri dishes to differing temperatures and moisture levels. The first group, was exposed to room temperatures (19- 23 °C) and a moisture level of 36 %, the second group was exposed to heightened temperatures (24- 29 °C) and a moisture level of 36 %, while the third group was exposed to lower temperatures, nearing the basal temperature for the species *Tenebrio molitor*, which is 6 °C [data acquired from Koo et al, 2013] and a moisture level of 75 %. Throughout the duration of the experiment, we noted down any changes in the outward appearance of the pupae and the number of successfully eclosed individuals into a table.

The pupae exposed to heightened temperatures eclosed faster than those exposed to room temperatures, meanwhile the pupae in temperatures close to the basal temperature did not eclose at all throughout the duration of the experiment.

KEY WORDS:

Mealworm (*Tenebrio molitor*), temperature, moisture, metamorphosis

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema in raziskovalno vprašanje

Raziskave v entomologiji od leta 1940 do leta 2011 kažejo [Kamm, 1970; Schroder, 1976; Legaspi, 2011 in drugi], da je temperatura ključni faktor pri razvoju žuželk (*Insecta*), ki potrebujejo določeno količino toplote, da preidejo iz ene faze življenjskega cikla v drugo [Kamm, 1970]. Populacije hroščev zaradi tega nihajo [Rutledge, 2015].

Veliki mokař (*Tenebrio molitor*) je bil za delo izbran, ker je komercialno lahko dostopen kot hrana za domače živali in ima popolno (holometabolna) preobrazbo, pri kateri osebek popolnoma spremeni izgled med stadiji preobrazbe, zato je mogoče razlike med njimi opazovati s prostim očesom [Stearns Howard, 1955].

Že poznani podatki o dinamiki populacije drugih vrst hroščev nam sicer prikazujejo določena izhodišča o rezultatih izvedenih eksperimentov v različnih temperaturnih razmerah [Lui, 1995]. Zato smo si postavili naslednje raziskovalno vprašanje ...

– Ali lahko dokažemo povezavo med časom preobrazbe izbrane populacije žuželk hroščev velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) v izbranih temperaturnih pogojih?

1.2 Namen naloge

Z nalogo smo predvsem zaradi poskusov uvedbe ekonomičnega vidika poskusili dokazati, ali obstaja povezava med časom, potrebnim za preobrazbo izbrane populacije hroščev iz bube v odrasli osebek velikega molarja (*Tenebrio molitor*), in vplivom različnih temperatur, v katerih smo gojili izbrano vrsto v umetnem okolju. Iz tega bi bilo mogoče posledično sklepati, v kateri temperaturi okolja bi gojili populacije hroščev, kdaj bo populacija velikega molarja največja oziroma najštevilčnejša.

1.3 Hipoteze

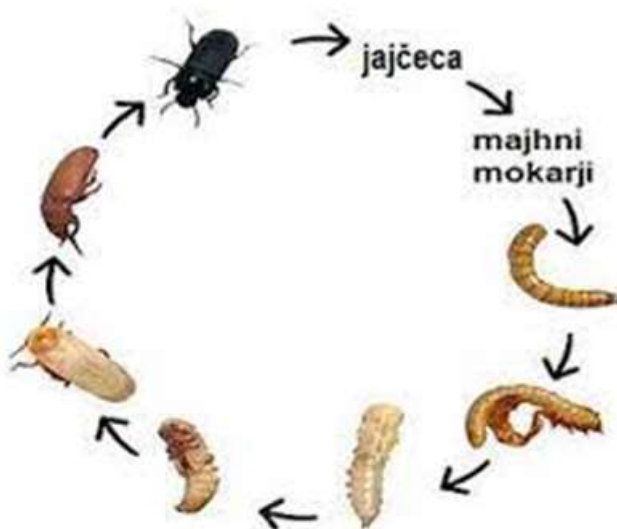
Zastavili smo si naslednje hipoteze.

- Preobrazba hrošča velikega molarja (*Tenebrio molitor*) iz stadija bub v odrasle osebke bo vidna s prostim očesom, med preobrazbo pa bodo vidne spremembe v izgledu osebkov.
- Preobrazba hrošča velikega molarja (*Tenebrio molitor*) iz stadija bub v odrasle osebke ne bo potekala enako hitro pri izbranih temperaturah (6 °C, 19–23 °C in 24–29 °C).
- Čas preobrazbe bub v odrasle osebke se bo ustavil ali podaljšal, če temperatura ne bo presegla bazalne temperature.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Razvoj osebkov po oploditvi in notranja oploditev

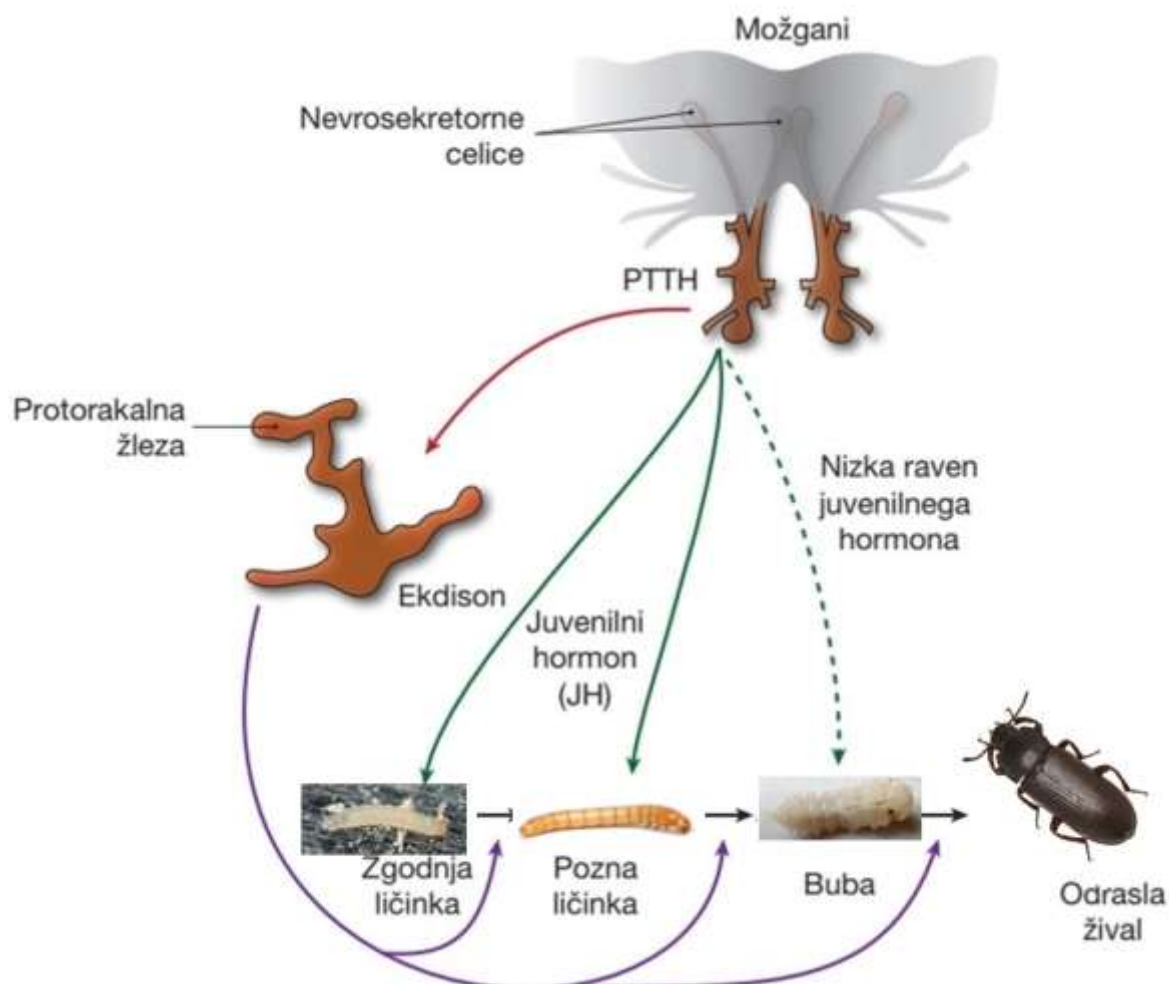
Osebki, ki nastanejo (slika 1) s spolnim načinom razmnoževanja, imajo od začetka do konca življenja značilen način razvoja, ki ga imenujemo življenjski krog. Ta krog se začne z oploditvijo, pri kateri nastane ena diploidna celica, ki se začne deliti tako, da začnejo nastajati različna mnogocelična stanja. Vsako izmed teh stanj ima značilno ime. Po oploditvi nastane **spojek** (zigota), ki se razdeli na dve celici **blastomeri**, nato poteka razvoj v mnogocelično strukturo **morulo**, iz nje nastane **blastula**, nato **gastrula**. Proces imenujemo **organogeneza** (razvoj in oblikovanje prave oblike, po kateri je moč prepoznati vrsto organizma). V začetku organogeneze nastane večina organov, zaradi katerih se gastrula počasi preoblikuje v ličinko (larvo), iz katere nastane mlad osebek, ki se ni sposoben razmnoževati [Stušek, Škornik, Vodnik, 2011].



Slika 1: Popolna preobrazba hrošča mokařja [Vidmar, 2022]

Žuželke, med katere spadajo tudi hrošči, imajo notranjo oploditev, zato poteka razvoj novih osebkov pri njih v notranjosti organizma, in sicer v **spolnih organih (gonadah)**, ki nastanejo med embrionalnim razvojem. V gonadah so tkiva, ki izdelujejo **spolne celice (gamete)**; pri njihovem nastajanju sodelujejo tudi telesne celice, ki se začnejo pospešeno diferencirati. Proces nastajanja spolnih celice se imenuje **gametogeneza**. Pred paritvijo je značilno paritveno vedenje, ki je pogosto odvisno od razmer v okolju. Takoj za tem, ko je največja verjetnost za uspešno oploditev, samci sprostijo spolne celice v telo samice. Po oploditvi nastane zarodek (embrio), na katerega vplivajo **endokrini hormoni**, ki so odgovorni za usklajevanje teh procesov [Stušek, Škornik, Vodnik, 2011].

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokarja (*Tenebrio molitor*).



Slika 2: Hormonski nadzor pri preobrazbi žuželke [prirejeno po Belušič, 2019]

Nevrohormonalne živčne celice v možganih izločajo neurohormone, ki pospešujejo delovanje ustreznih žlez. Te izločajo **levitveni hormon (ekdison)**, iz drugih žlez pa se izloča **mladostniški (juvenilni) hormon**, ki določa levitveno razvojno stopnjo žuželke. Če je tega hormona veliko, se iz stare levi nova, večja ličinka; če ga je manj, se iz ličinke izlevi buba. Iz bube se izlevi odrasla žival, ko tega hormona ni več v krvi. Čeprav sta za levitev in preobrazbo odgovorna dva različna hormona, se njuno delovanje močno prepleta [Stušek, Gogala, 1997]. Preobrazbo iz ličinke prek bube v odraslo žival uravnavajo trije hormoni. Med njimi je najbolj znan **juvenilni hormon**, ki zavira preobrazbo in podaljšuje stadij ličinke. Preobrazbo poleg juvenilnega hormona vodita še **hormon PTTH** in **ekdison**, ki nastaja pod vplivom PTTH [Belušič in drugi, 2019].

2.2 Anatomija ųuželk in hroščev ter njihova preobrazba

ųuželke, med katere spadajo hrošči, imajo telo razdeljeno v tri regije; to so glava, oprsje in zadek. Na glavi imajo par tipalnic, obustni aparat ter sestavljene in pikčaste oči. Oprsje je sestavljeno iz treh členov, na vsakem je par členkastih nog, na koncu vsake noge so krempljci. Prvi člen je brez kril, iz drugega in tretjega izraščata po en par kril. Za **hrošče** (*Coleoptera*) je značilno, da je prvi par kril, imenovan pokrovki, močnejši in bolj otrdel, pokrovki sta obarvani in običajno prekrivata nežnejši, zadnji krili in hrbtno stran zadka. Hrošče najdemo skoraj povsod na kopnem in v sladkih vodah. Mnogi so škodljivci na rastlinah, živilih in v lesu [Podobnik, Devetak, 1997].

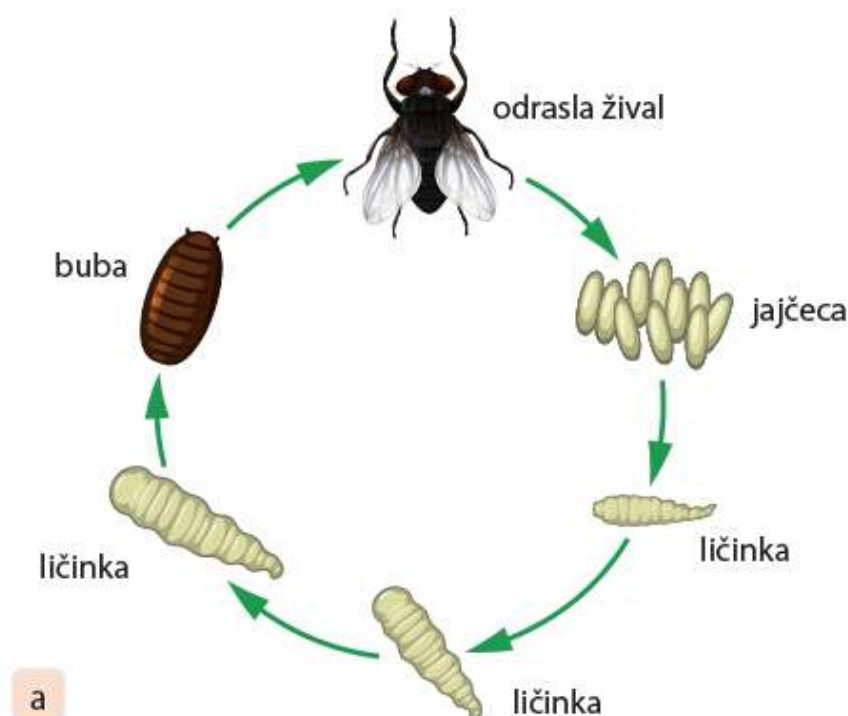
Hrošči se torej od jajčeca do odraslega osebka razvijajo tako, da prehajajo iz ene različne stopnje v drugo. Tako iz spojka (zigote) nastane morula, iz nje blastula, iz blastule gastrula, iz te pa ličinka (larva). Ličinka se preobraža v odraslo ųival na različne načine. Ker poteka preobrazba ličinke iz ene razvojne stopnje v drugo postopoma, se ta razvoj imenuje **preobrazba (metamorfoza)**. Pri prehodu iz enega stadija ličinke v druge se ličinke levijo. Takrat odvrijejo zunanje ogrodje, ki jih ovira pri nadaljnji rasti telesa, kmalu zatem pa izločijo večje. Pri hroščih se ličinke razlikujejo od odraslih osebkov, saj so zgrajene popolnoma drugače; drugačen je tudi njihov način prehranjevanja [Stušek, Škornik, Vodnik, 2011].

Mokar (*Tenebrio molitor*) ima kot vsi ostali pripadniki skupine hroščev (*Coleoptera*) popolno oziroma holometabolno preobrazbo. Poleg hroščev imajo to preobrazbo še metulji, koųekrilci, dvokrilci, mladoletnice, mreųekrilci in še nekatere ųuželke [Podobnik, Devetak, 1997]. Za popolno preobrazbo so značilne štiri različne faze ali štirje stadiji prehoda med razvojem.

- Prvi stadij je **jajčece**, ki ga odloųi oplojena samica na različna mesta, tipično v bliųini hrane [Hook, 2008].
- Drugi stadij je **ličinka (larva)**, ki se razlikuje od odraslih osebkov, saj nima sestavljenih oči in nima zasnov za krila; nekaterim manjkajo tudi členkaste noge. Pogosto se prehranjuje drugače kot odrasla ųuželka in ųivi v drugih bivališčih [Podobnik, Devetak, 1997]. Nima spolnih organov in je po navadi, takoj potem ko se izleųe, veliko manjša od odraslega osebka. Edina naloga ličinke je prehranjevanje, pri čemer je zelo učinkovita, saj lahko v nekaj tednih poveča svojo teųo za par stokrat. Mnoge ličinke ųuželk so rastlinojede ali mrhovinarske, deleų pa jih je tudi plenilskih ali zajedavskih. Ko ličinka doseųe polno velikost, nastopi tretji stadij [Hook, 2008].

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

- **Buba (pupa)**, pri kateri se ličinka obda z debelo, to je s čvrsto kutikulo, ki jo ščiti pred mehanskimi vplivi in izsušitvijo [Podobnik, Devetak, 1997], ali poišče čim varnejše mesto, da se spremeni v buba. V tej obliki je osebek popolnoma ali vsaj večinsko nepremičen. Znotraj bube potekajo različni procesi, potrebni za nastanek četrte faze [Hook, 2008].
- **Odrasla žival (imago)** ima pri mnogih žuželkah sposobnost leta, saj je glavna naloga odraslih, da se pari in proizvedejo spolne celice (gamete), s čimer se začne proces razvoja v novi generaciji znova [Hook, 2008].



Slika 3: Preobrazba žuželk [Iglič – H5p, 2011]

2.3 Sistematika in stadiji velikega mokařja ter vpliv temperature in vlage na njihov razvoj

Za raziskovalno nalogo smo izbrali in uporabili vrsto hrošča, imenovano veliki mokař, lat. *Tenebrio molitor*.

Ličinke velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) so vitke in dolge približno 2,5 cm in več; na videz so podobne črvom. So svetlejše od odraslih osebkov, njihova povrhnjica vsebuje manj sklerotina, zato so tudi manj čvrste. Ličinka velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) se ob primernih pogojih zabubi, s čimer se začne proces razvoja v odrasli osebek.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*).



Slika 4: Ličinka velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) [Lasten vir]

Buba je na začetku mehka in svetla, čez čas pa otrdi in potemni [Stearns Howard, 1955].



Slika 5: Buba velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) [Lasten vir]

Ko pridobi dovolj toplote za preobrazbo, se izbubi. Proces, ki traja približno pol ure, je razdeljen na več stopenj:

1. ritmično krčenje tarzusov, tj. spodnjih delov nog,
2. krčevito raztezanje zadka,
3. pomikanje stopal,
4. izmenjujoče raztezanje in krčenje zadka,
5. osvoboditev glave in sprednjega para nog skupaj s premikanjem tipalk in ustnega aparata,
6. osvoboditev srednjega dela nog,
7. osvoboditev zadnjega para nog in zadka,
8. osebek se dokončno osvobodi iz bube, se poravna in si spočije,
9. osebek je končal izbubitev in začne hoditi [Stearns Howard, 1955].

Ob tem lahko pride do različnih težav in zapletov, saj je proces preobrazbe precej zahteven, kar dokazujejo propadle bube. Bubo pogosto napadejo različne plesni, zaradi česar osebek pogine.

Za odrasli osebek oziroma imago velikega mokaarja so značilni črna ali temnejša obarvanost, moniliformne tipalke in nekoliko manjši ustni aparat. V tem stadiju je osebek zmožen spolnega razmnoževanja.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*).



Slika 6: Odrasel osebek velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) [Lasten vir]

Večina pripadnikov rodu *Tenebrio* se prehranjuje z glivami, *Tenebrio molitor* pa se prehranjuje z zalogami žitaric in zrnja ter v njih tudi živi. Odrasli osebki in ličinke ne škodujejo živečim rastlinam [Stearns Howard, 1955]. Ker se veliki mokaar (*Tenebrio molitor*) v glavnem prehranjuje z žiti, v katerih tudi živi, ga uvrščamo med sekundarne skladiščne škodljivce žit, kar pomeni, da se lahko prehranjuje zgolj na že načetem, poškodovanem in nalomljenem zrnju [Kmetijski inštitut Slovenije]. Gojiti velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) je dokaj preprost proces, saj potrebuje le hrano in substrat. Gojišče je po navadi plastična posoda, katere dno je pokrito z mešanico ovsenih kosmičev in moke, na katero je nadrobljen kruh [Park in sod., 2014].

Temperatura je eden izmed najpomembnejših dejavnikov, ki vpliva na posamezne stadije osebkov kot tudi na celotno populacijo. Temperatura žuželk je odvisna od temperature okolja, saj so eksotermne ali ektotermne živali [Hook, 2008]. Njihovo telo podnevi sprejema toploto; ponoči, ko se ohladi, se ohladi tudi telo žuželk. Ker žuželke živijo povsod po svetu, živijo v območjih minimalnih, optimalnih in maksimalnih temperatur, ki jih imenujemo kardinalne točke, torej se le-te razlikujejo pri različnih vrstah žuželk. Pri vsaki vrsti žuželke posebej ločimo zgornjo in spodnjo temperaturo, pri kateri osebek še lahko preživi in njegova presnova še poteka. Prav tako temperatura vpliva na sam razvoj žuželk: na zorenje spolnih organov, izleganje jajčec, levitev in preobrazbo v odrasli osebek. Med zgornjo in spodnjo temperaturno mejo je vitalno območje ali območje učinkovitih razmer. Pod spodnjo temperaturno mejo nastopi smrt zaradi mraza, nad zgornjo temperaturno mejo pa smrt zaradi vročine [Milevoj, 2007].

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Poleg temperature vpliva na razvoj žuželk tudi **vlaga**, ki vpliva predvsem na razvoj njihovih jajčec in bub. Če je vlaga prenizka, začne iz jajčeca v okolje uhajati voda, kar privede do dehidracije osebka in povišane smrtnosti. Poleg tega se začne zunanja ovojnica izsuševati, kar oteži preobrazbo. Pri previsoki vlagi prav tako pride do povišane smrtnosti zaradi prekomerne količine vode v osebku [Norisham, 2013]. Za naše raziskovalno delo je pomemben podatek, da je optimalna vlaga za razvoj velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) 50–75 odstotkov [Tonkli, 2022]. Pri vlagi nad 75 odstotki in pod 50 odstotki se smrtnost zaradi prej omenjenih dejavnikov poveča znatno [Bokavšek, 2012].

Žuželke potrebujejo za razvoj različnih stadijev življenja določeno količino toplote. Količina akumulirane toplote se imenuje **fiziološki čas** ali **termalna konstanta** in se meri v **enotah stopinj dni (°D)**. Vsaka vrsta žuželk ima določeno količino stopinj dni, ki jih potrebuje, da dokonča fazo v svojem razvojnem ciklu. Žuželke lahko bodisi hitro (v krajšem obdobju toplih dni) ali počasi (v daljšem obdobju hladnih dni) pridobijo zadostno toploto za razvoj v naslednjo fazo razvojnega kroga. Posledično se s povečevanjem temperature znižuje čas, ki je potreben, da organizem sklene svoj razvojni krog [Campolo, 2014].

Za nas je za vrsto veliki mokař (*Tenebrio molitor*) pomemben podatek, katera je najnižja temperatura, pod katero razvoj ne poteka več. Ta temperatura znaša 6,0 °C in je tudi bazalna temperatura za to vrsto [Koo in drugi, 2013].

Žuželke se začnejo razvijati, ko temperatura presega spodnji razvojni prag ali bazalno temperaturo. Bazalni metabolizem je najmanjša hitrost metabolizma, ki je nujna, da se organizem med mirovanjem še ohranjuje pri življenju [Stušek, Podobnik, Gogala, 1999]. Hitrost metabolizma in razvoja žuželke se torej povečata, ko temperatura presega bazalno temperaturo, in se ponovno znižata, ko temperatura pade. Tako se razvoj celotne populacije žuželk pospešuje v toplejših letih in zamuja med hladnejšimi leti. Zgornji razvojni pragovi, torej temperature, nad katerimi se rast upočasni ali preneha, se redko uporabljajo za žuželke, saj ti pragovi niso znani, ali žuželke živijo v habitatih, v katerih se zgornji prag redko presega. Metoda termalne konstante upošteva povprečno dnevno temperaturo z izračunom števila prejetih toplotnih enot [Rutledge, 2015]. Tako je ta sistem lahko natančnejši kot koledarska metoda za ocenjevanje strategij razvoja insektov in časovnega upravljanja. Najlažja metoda za izračun stopinj dni je izračun povprečja dnevne najvišje in najnižje temperature, dobljeni količini pa odštejemo bazalno temperaturo [Rutledge, 2015].

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Metode dela

V raziskovalni nalogi smo uporabili **eksperimentalno metodo**, s katero raziskovalci namerno vnašamo en eksperimentalni faktor ali več v vzgojno-izobraževalno prakso. Izvedli smo eksperiment, s katerim bi ovrgli ali potrdili zastavljene hipoteze. Pri raziskovalnem delu smo uporabili naslednje postopke zbiranja podatkov:

- opazovanje,
- ocenjevanje in opisovanje stadijev ličink,
- merjenje in beleženje temperature in časa z dlančnikom, povezanim s programom LoggerPro,
- merjenje in beleženje vlage s higrometrom,
- izračunavanje povprečnih temperatur s programoma LoggerPro in Excel,
- risanje grafov v programu Excel.

Na gojišču smo najprej izbrali 90 ličink velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*). Izbrali smo ličinke večjih velikosti, ki so bile skoraj negibne in tik pred tem, da se zabubijo. Preselili smo jih v manjše gojišče z moko, ovsenimi kosmiči in s kruhom.



Slika 7: Gojišče z mokaarji [Lasten vir]

Med poskusom smo v gojišču vsak dan preverili čas, kdaj se bodo ličinke zabubile, bube pa smo nato s pinceto preselili v prazne petrijevke z dostopom zraka, pri čemer smo na pokrov petrijevke napisali datum, kdaj so se ličinke zabubile, število osebkov v petrijevki ter

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokarja (*Tenebrio molitor*).

temperaturo in vlago, ki so jima bile bube izpostavljene.

V vsako petrijevko smo dali 30 bub in jih izpostavili trem različnim temperaturam in dvema različnima vlagama, in sicer smo to storili pri:

- sobni temperaturi (19–23 °C) in 36-odstotni vlagi,
- višji temperaturi (24–29 °C) in 36-odstotni vlagi,



Slika 8: Petrijevka pri sobni temperaturi in petrijevka v škatli, pod katero sta grelni kabel in dlančnik, ki zapisuje podatke o temperaturi [Lasten vir]

- nizki temperaturi v hladilniku (6 °C) in 75-odstotni vlagi.



Slika 9: Petrijevka z bubami v hladilniku [Lasten vir]

Pri tem smo spremljali čas, ki so ga bube v petrijevkah pri različnih temperaturah in vlagi potrebovale za razvoj v odrasle osebk.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokarja (*Tenebrio molitor*).

Temperaturo smo merili z digitalnim termometrom z možnostjo zapisovanja v dlančnik (Vernier LabQuest 1 data logger). Za merjenje podatkov smo nastavili časovni interval na vsakih 30 minut. Podatke o temperaturi smo zbirali in jih zapisovali; program je na podlagi pridobljenih podatkov narisal tudi graf. Na koncu vsakega dneva smo iz grafa razbrali najvišjo in najnižjo temperaturo ter izračunali povprečno temperaturo z naslednjo formulo [Vir: <https://hort.extension.wisc.edu/articles/degree-day-calculation/>].

$$\text{Povprečna dnevna temperatura} = \frac{(\text{maksimalna temperatura} + \text{minimalna temperatura})}{2}$$

Vsak dan smo preverjali stanje bub v vsaki petrijevki ter si v graf sproti označevali število dni in vidne spremembe oziroma preobražene bube v odrasle. Število dni, potrebnih za razvoj, smo zapisali, na koncu izračunali povprečne temperature celotnega procesa in stopinje dni za vsak posamezni dan. Stopinje dni smo izračunali po formuli [Vir: <https://hort.extension.wisc.edu/articles/degree-day-calculation/>].

$$\text{Stopinja dan} = \text{povprečna dnevna temperatura} - \text{bazalna temperatura}$$

Obe formuli lahko združimo v eno, s čimer pridobimo naslednjo enačbo:

$$^{\circ}\text{D} = (\text{maksimalna temperatura} + \text{minimalna temperatura}) \div 2 - \text{bazalna temperatura}$$

Da bi poenostavili računanje, smo za model stopinj dni, potrebnih za celoten proces, uporabili naslednjo formulo, v kateri seštevamo izmerjeno količino stopinj dni skozi celoten proces preobrazbe posamezne bube v odrasli osebek [Rutledge, 2015]:

$$^{\circ}\text{D} = \sum (\text{povprečna dnevna temperatura} - \text{bazalna temperatura})$$

Model stopinj dni je način predvidevanja razvoja žuželk, deluje pa na podlagi tega, da določeni metaboli procesi za potek potrebujejo natančno število enot toplote. Ker so žuželke ektotermne živali, potrebujejo za te procese toploto iz okolja. To toploto lahko žuželka pridobi hitro v toplejšem okolju ali počasi v hladnejšem okolju, v vsakem primeru pa potrebuje enako količino toplote, ki jo lahko izračunamo z zgornjo enačbo [Jones, 1993]. Z dobljenimi podatki lahko sklepamo, da bo vsota stopinj dni enaka pri vseh skupinah, v katerih so se bube uspešno preobrazile.

3.2 Preiskovalni vzorec

Z raziskovalnim delom smo skušali dokazati, da sta temperatura in vlaga ključna pri preobrazbi velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) iz stadija bub v odrasli osebek, hkrati pa tudi ugotoviti, ali se čas te preobrazbe spreminja v odvisnosti od spremenjene temperature in vlage. Namen raziskave je bil dobljene podatke povezati z že znanimi podatki o dinamiki populacije hroščev in ugotoviti, ali so opazne spremembe te preobrazbe vidne s prostim očesom.

Odločili smo se, da bomo za raziskovalno delo uporabili eksperiment, ki temelji na izpostavljanju treh v večini enakih skupin bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) različnim temperaturam in različni vlagi. Med eksperimentom smo pridobljene podatke beležili s programom LoggerPro in jih vnašali v preglednico programa Excel, ki nam je omogočal najlažji pregled in preverjanje informacij. Poleg tega je mogoče podatke iz preglednic umestiti v graf, s katerim je dostopna vizualizacija podatkov.

3.3 Material in pripomočki

Pri eksperimentu smo uporabili naslednje pripomočke:

- začasno gojišče za mokaarje z moko, ovsenimi kosmiči in s kruhom,



Slika 10: Gojišče mokaarjev [Lasten vir]

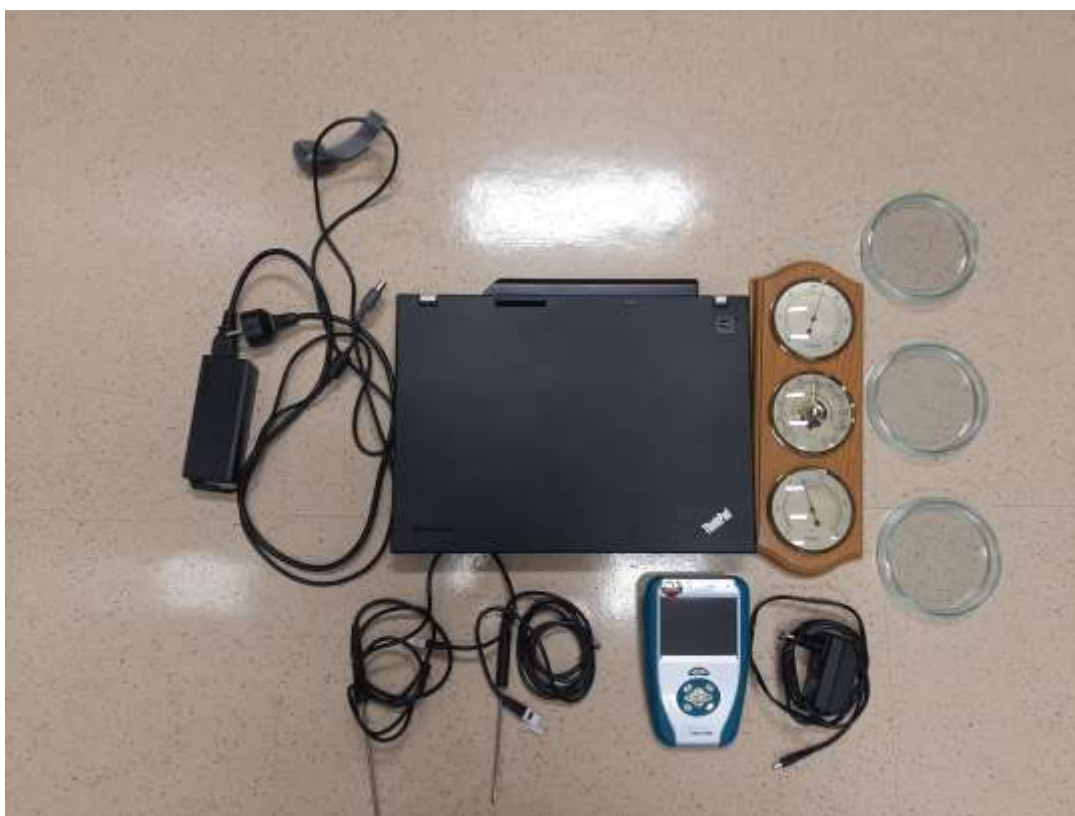
- približno devetdeset večjih ličink mokaarjev (*Tenebrio molitor*), ki so bile blizu zabubitve,

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).



Slika 11: Ličina velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) [Lasten vir]

- tri petrijevke s pokrovom (premer 11 centimetrov, višina 1,7 centimetra),
- liste papirja in pisalo za označevanje petrijevk,
- dva digitalna termometra z možnostjo priključitve v dlančnik,
- dlančnik s kabli za zapisovanje temperature (model: Vernier LabQuest 1 data logger),
- namizni računalnik s kabli,
- hladilnik,
- grelni kabel,
- pinceto za premikanje osebkov.

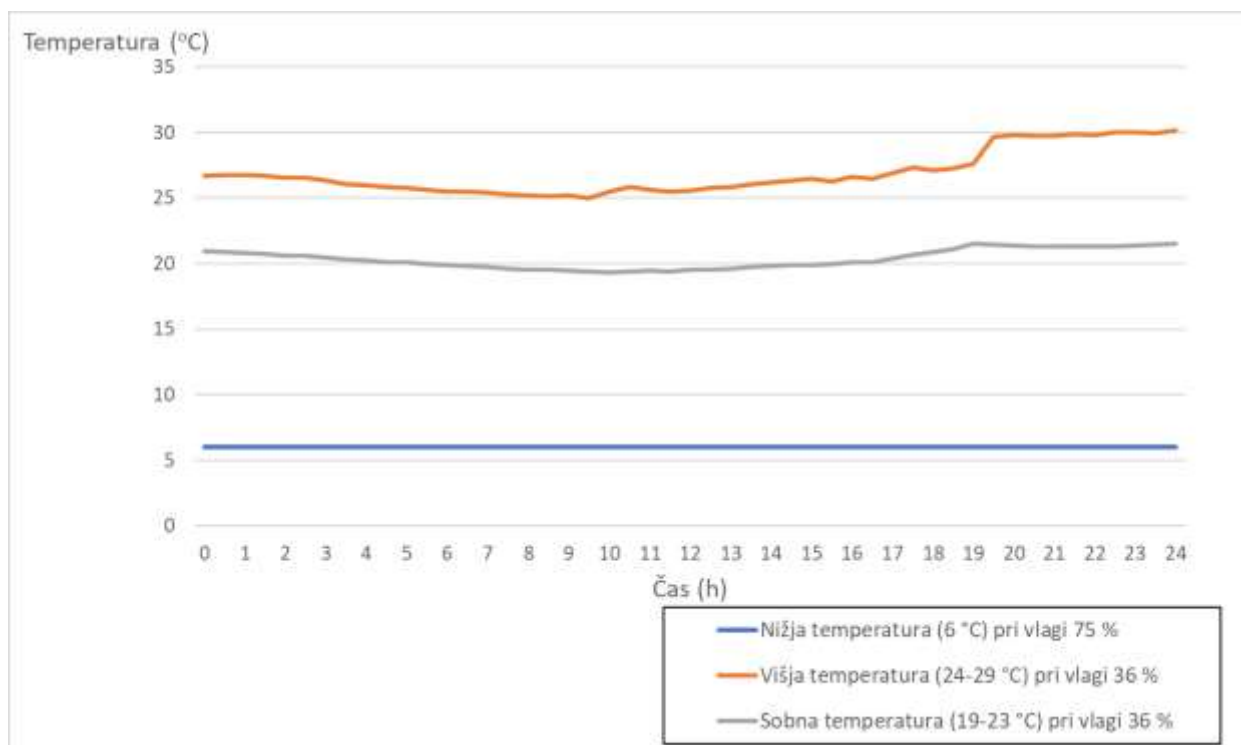


Slika 12: Slika uporabljenih pripomočkov (tri petrijevke, higrometer, dlančnik Vernier LabQuest 1 data logger s polnilcem, dva termometra z možnostjo priključitve v dlančnik in namizni računalnik) [Lasten vir]

4 REZULTATI

Z dlančnikom smo za vsak dan pridobili podatke in graf, ki prikazuje temperature eksperimenta. Iz njega je mogoče razbrati najvišjo in najnižjo temperaturo, s higrometrom pa smo izmerili vlago, ki je bila za vsako skupino bolj ali manj konstantna.

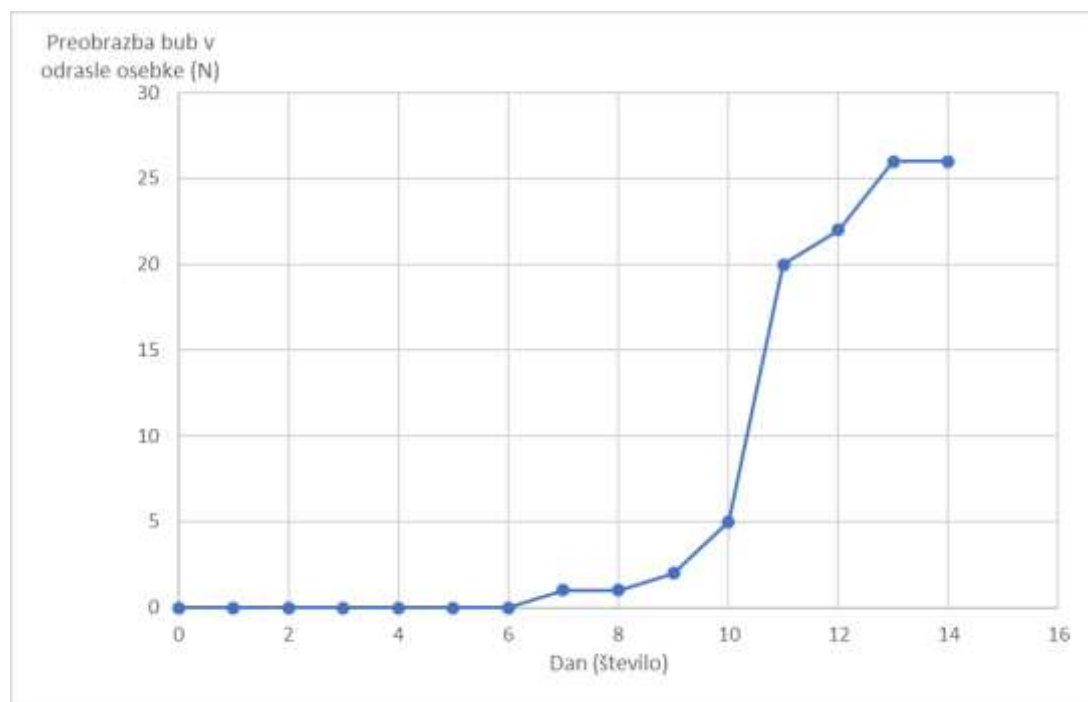
Graf 1 prikazuje temperature, ki jih je zabeležil dlančnik pri treh izbranih različnih temperaturah, in vlago, ki smo jo izmerili s higrometrom, v enem dnevu. Nihanje temperature je najverjetneje posledica zračenja sobe, v kateri so se nahajale bube, kakor tudi nihanja zunanje temperature čez dan.



Graf 1: Temperature eksperimenta pri sobni, nižji in višji temperaturi pri določeni vlagi

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Graf 2 prikazuje čas, potreben za preobrazbo bub v odrasle osebkke pri sobni temperaturi 19–23 °C in 36-odstotni vlagi, ki smo jo izmerili s higrometrom.



Graf 2: Razvoj bub v odrasle osebkke velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) pri sobni temperaturi

Iz dobljenih podatkov lahko sklepamo, da se je večina osebkov velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) iz stadija bub preobrazila v odrasle osebkke v obdobju med desetim in dvanajstim dnevom od začetka eksperimenta, ki je bil nastavljen v mesecu novembru 2022.

Med razvojem bub smo opazili (in jih zabeležili) spremembe v izgledu bub – v prvih štirih dnevih so vse rahlo potemnele in se spremenile iz blede rumene v temno rumeno barvo, kar je posledica otrdevanja zunanje lupine bube. Tako so tudi izgubile nekaj gibljivosti, saj so ob dotiku trzale manj. Poleg tega so se na površini glav bub med četrtem in petim dnevom izrisale črne očesne pege, kar nakazuje na razvoj oči v osebkku znotraj bube. Na bubah, ki so bile blizu preobrazbe, so bile skozi zunanji ovoj bub vidne tudi noge, tipalnice in ustni aparat.

Ugotovili smo, da se je pri sobni temperaturi (19–23 °C) in 36-odstotni vlagi iz stadija bub v odrasle osebkke velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) preobrazilo od 26 od 30 (87 %) osebkov. Med eksperimentom so poginile oziroma propadle štiri bube. Smrtnost bub je mogoče izračunati po formuli [Tarman, 2002]:

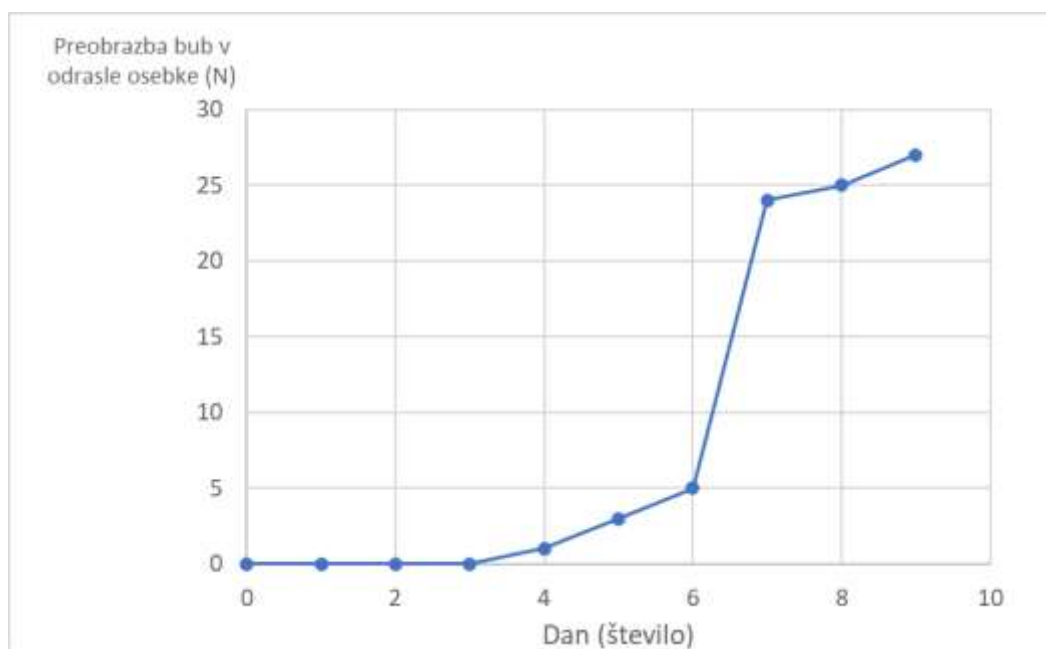
STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

število propadlih bub

$$\text{Smrtnost} = \frac{\text{število vseh bub} \times \text{časovno obdobje}}{\text{število vseh bub} \times \text{časovno obdobje}} \times 100 \%$$

Smrtnost bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) pri sobni temperaturi (19–23 °C) in 36-odstotni vlagi je tako znašala 13 odstotkov.

Graf 3 prikazuje čas, potreben za preobrazbo bub v odrasle osebkke pri višji temperaturi 24–29 °C in 36-odstotni vlagi, ki smo jo izmerili s higrometrom.



Graf 3: Razvoj bub v odrasle osebkke velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) pri višji temperaturi

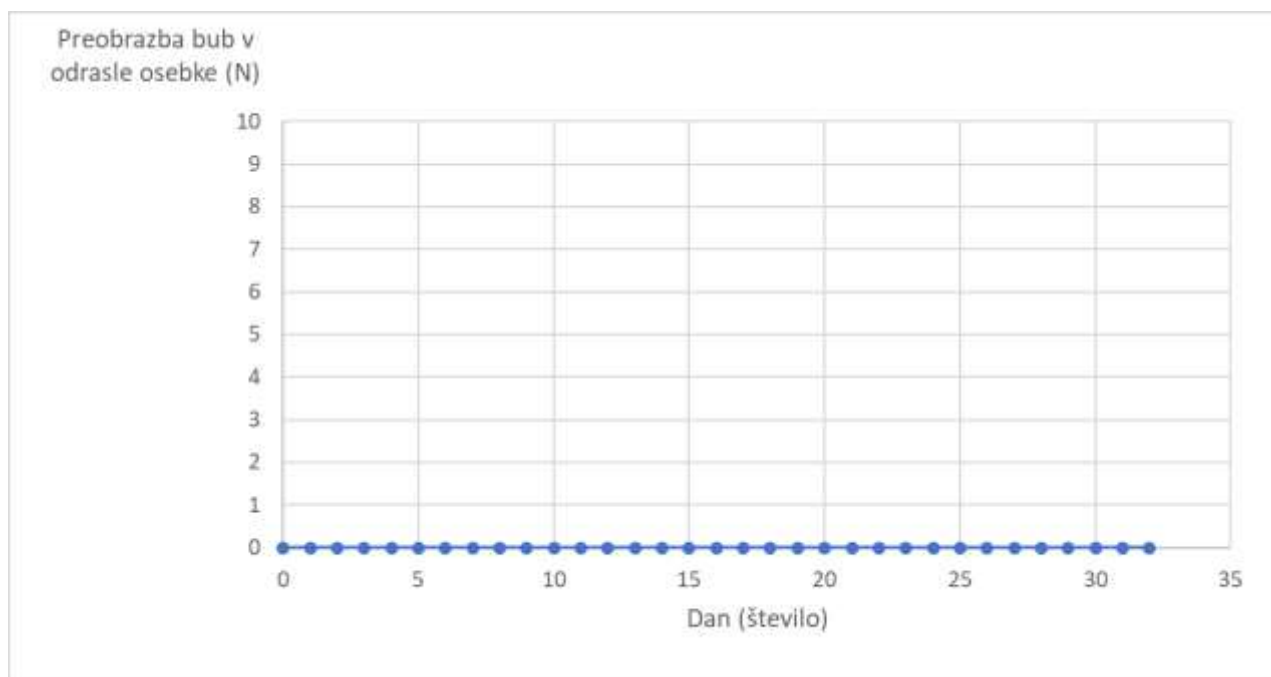
Preobrazba bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) v odrasle osebkke pri eksperimentalni skupini, izpostavljeni višji temperaturi (24–29 °C) in 36-odstotni vlagi, je potekla v krajšem času kot pri sobni temperaturi (19–23 °C). Večina bub se je namreč preobrazila med šestim in osmim dnem po začetku eksperimenta, ki je bil nastavljen v mesecu novembru 2022.

Pri tej skupini so bile vidne enake spremembe v zunanosti bub kot v skupini pri sobni temperaturi, le da so se spremembe pojavile en dan prej ali dva dni prej. Zunanja povrhnjica bub je otrdela že po dveh dnevih, očesne pege so se izoblikovale po treh dnevih. Tudi v tej skupini so bile na bubah blizu preobrazbe vidne zasnove nog, tipalnic in ustnega aparata.

Iz stadija bub se je preobrazilo od 27 do 30 (90 %) osebkov, sama smrtnost je bila nižja (10 %) v skupini, ki je bila izpostavljena višji temperaturi.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Graf 4 prikazuje čas, potreben za preobrazbo bub v odrasle osebkke pri nižji temperaturi 6 °C in 36-odstotni vlagi, ki smo jo izmerili s higrometrom.



Graf 4: Razvoj bub v odrasle osebkke velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) pri nižji temperaturi

Pri nižji temperaturi (6 °C) in 75-odstotni vlagi se iz stadija bube v odrasli osebek ni preobrazil niti en osebek, zato je interval, v katerem se je preobrazilo največ osebkov, nemogoče določiti.

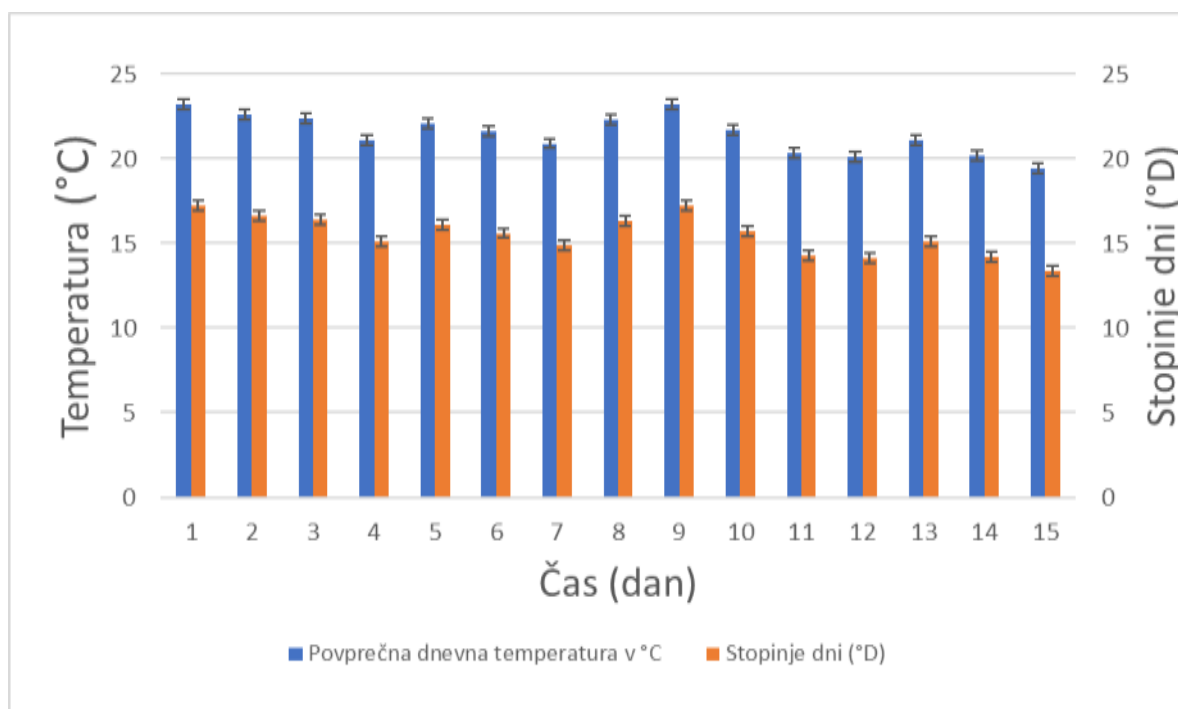
Bube so še kazale znake življenja (rahlo trzanje ob dotiku), zato je mogoče sklepati, da niso poginile zaradi izpostavitve nizki temperaturi in določeni vlagi. Poleg tega so bile na zunanosti bub vidne določene spremembe, kot je potemnitev zunanjega skeleta bube in vidno izoblikovanje očesnih peg, ki prej še niso bile prisotne.

Ker v tej eksperimentalni skupini ni propadla nobena buba, ni mogoče določiti ne deleža preobraženih bub kakor tudi ne smrtnosti bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Izraun stopinj dni in podatki o temperaturi Pridobljene podatke smo nato vstavili v formulo za stopinje dni, s čimer smo dobili izračune, ki so prikazani v grafih 5, 6 in 7.

Graf 5 nam prikazuje izmerjeno povprečno dnevno temperaturo in izračunano količino stopinj dni za vsak posamezni dan med potekom eksperimenta v skupini, izpostavljeni sobni temperaturi.

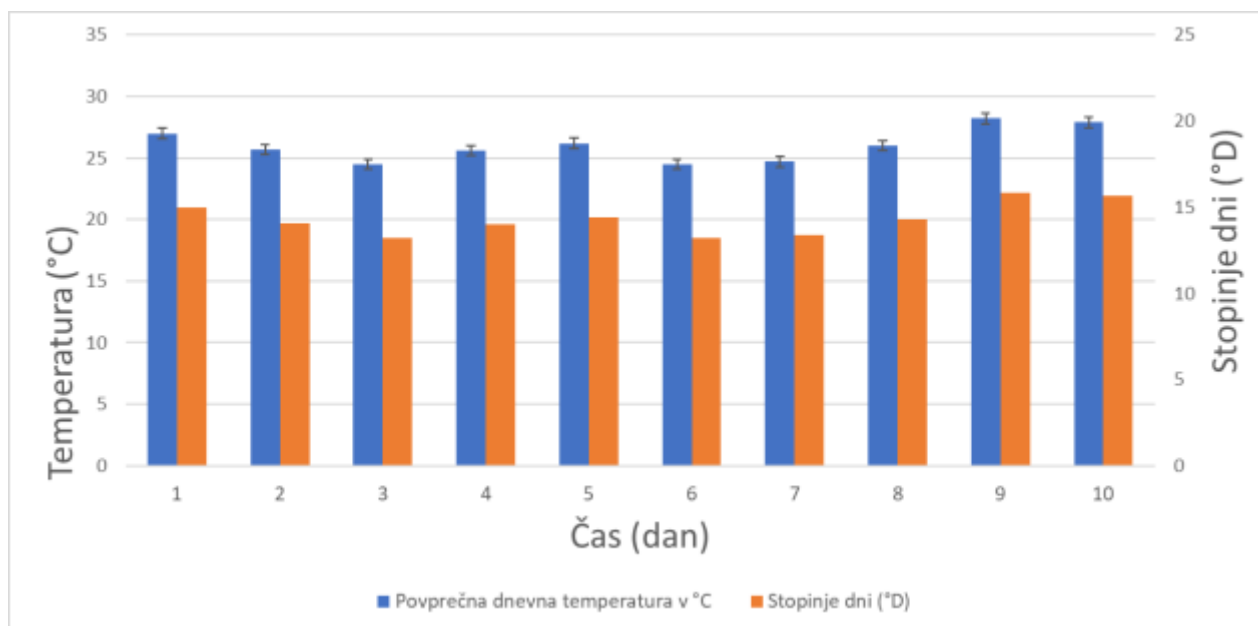


Graf 5: Prikaz izmerjene povprečne dnevne temperature in izračunane količine stopinj dni pri sobni temperaturi

Z uporabo enačbe za model stopinj dni smo ugotovili, da znaša 218,8 °D, kar nam pove, da je to skupna količina stopinj dni, ki jo potrebuje buba za preobrazbo v odrasli osebek. Temperaturna nihanja so posledica zračenja sobe in nihanja zunanje temperature čez dan. Kljub tem dejavnikom ostaja povprečna dnevna temperatura in s tem tudi povprečna dnevna količina stopinj dni dokaj konstantna.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Graf 6 nam prikazuje izmerjeno povprečno dnevno temperaturo in izračunano količino stopinj dni za vsak posamezni dan med potekom eksperimenta v skupini bub, izpostavljeni višji temperaturi.

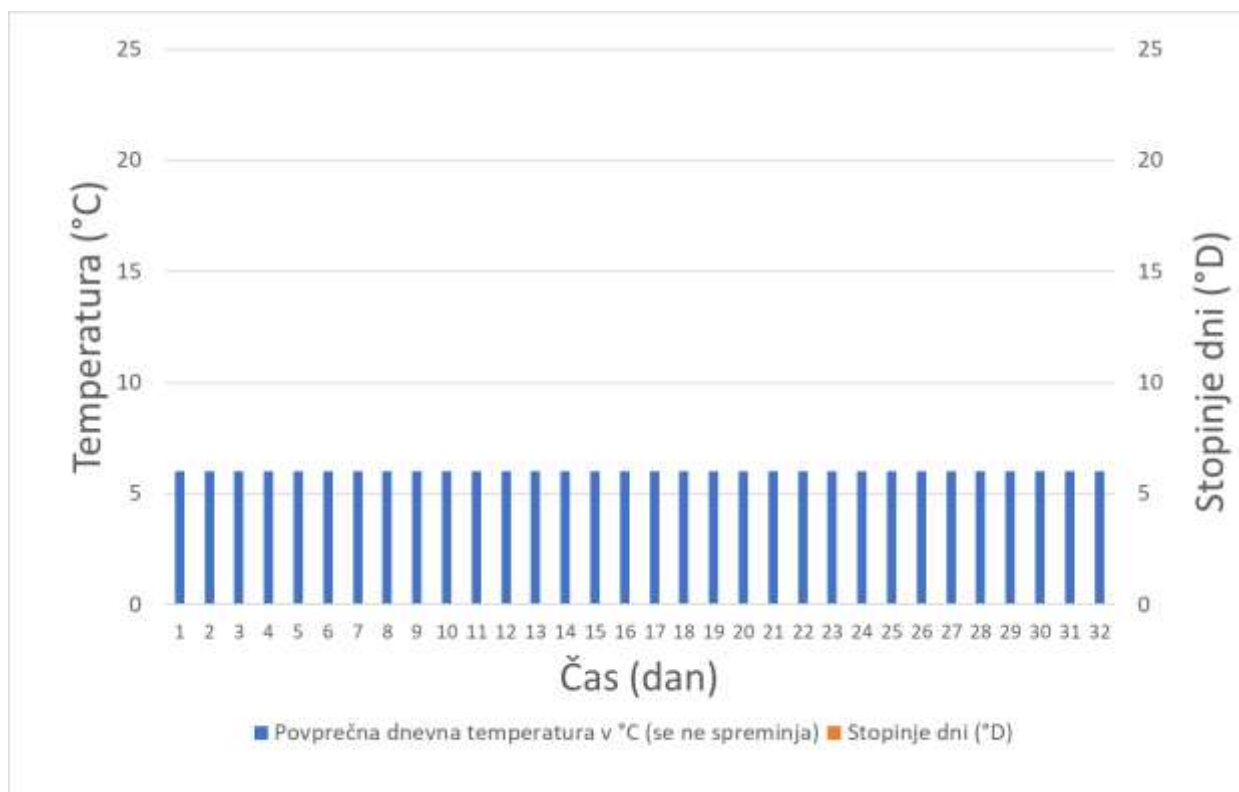


Graf 6: Prikaz izmerjene povprečne dnevne temperature in izračunane količine stopinj dni pri višji temperaturi

Seštevek vseh stopinj dni znaša 200,3 °D. Ta vrednost je zelo podobna kot v skupini pri sobni temperaturi, razlika namreč znaša zgolj 18,5 °D. Vrednosti sta skoraj enaki, kot bi naj sicer tudi bili, saj je za proces preobrazbe potrebna točno določena količina stopinj dni, ki se je v tej skupini akumulirala hitreje, pri sobni temperaturi pa počasneje [Jones, 1993]. Tudi v tej skupini so vidna temperaturna nihanja, ki pa niso dovolj visoka, da bi resno vplivala na rezultat eksperimenta.

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Graf 7 nam prikazuje izmerjeno povprečno dnevno temperaturo in izračunano količino stopinj dni za vsak posamezni dan med potekom eksperimenta pri skupini, izpostavljeni bazalni temperaturi.



Graf 7: Prikaz izmerjene povprečne dnevne temperature in izračunane količine stopinj dni pri nižji temperaturi

Seštevek stopinj dni znaša 0 °D, kar pomeni, da preobrazba bub v odrasle osebke ni potekala. Iz tega lahko sklepamo, da je mogoče ohraniti bube velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) v trenutnem stanju na primerni temperaturi za zelo dolgo obdobje.

5 RAZPRAVA

Eksperiment je bil po našem mnenju dokaj uspešen, saj je potrdil vse zastavljene hipoteze.

Prvo hipotezo smo z eksperimentom potrdili, saj smo med potekom eksperimenta opazili znatne spremembe v izgledu osebkov, predvsem otrdevanje zunanje membrane bub, izoblikovanje očesnih peg in vidna formacija tipalk, nog in ustnega aparata pod zunanjo ovojnico.

Druga hipoteza, ki se glasi, da bo preobrazba hrošča velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) iz stadija bub v odrasle osebkke vidna s prostim očesom in ne bo potekala enako hitro pri izbranih temperaturah (6 °C, 19–23 °C in 24–29 °C), je bila potrjena. Res so se osebki pri povišani višji temperaturi preobrazili pet dni pred osebki pri sobni temperaturi, osebki pri nižji temperaturi pa se sploh niso preobrazili. Tako smo dokazali, da temperatura pospeši proces preobrazbe bub v odrasle osebkke.

Potrjena je tudi tretja hipoteza, ki pravi, da se bo čas preobrazbe bub v odrasle osebkke ustavil ali podaljšal, če temperatura ne bo preseгла bazalne temperature. Osebki v hladilniku niso bili izpostavljeni temperaturi nad bazalno temperaturo, torej notranji metabolični procesi bub niso pridobili zadostne temperature za preobrazbo bub.

Iz grafa 2 je razvidno, da se je največji delež osebkov, izpostavljenih temperaturi 19–23 °C in 36-odstotni vlagi, izbubil v intervalu med desetim in trinajstim dnevom; iz grafa 3 je razvidno, da se je največji delež osebkov, izpostavljenih temperaturi 24–29 °C in 36-odstotni vlagi, izbubil med šestim in osmim dnevom. Obstajajo izjeme, in sicer v obliki osebkov, ki so se izbubili nekaj dni pred ostalimi. To je verjetno posledica različnih faktorjev, kot so velikost bub, neenakomerna porazdelitev temperature po petrijevki in vlaga. Kljub navedenim dejavnikom menimo, da je druga hipoteza potrjena.

Pri eksperimentu so možne številne izboljšave. Potekal bi bolj gladko in bi podal jasnejše rezultate, če bi skupine sestavljale več osebkov, kot smo jih uporabili mi. Poleg tega bi eksperiment lahko razširili, da bi bili osebki izpostavljeni še drugim dejavnikom, kot so različne pH-vrednosti, drugačne vrste hrane, več eksperimentalnih skupin pri različni vlagi in temperaturi.

6 ZAKLJUČEK

Namen raziskovalne naloge je bil z izvedenim eksperimentom dosežen, saj smo z njim odgovorili na zastavljeno raziskovalno vprašanje, ali lahko dokažemo povezavo med časom preobrazbe izbrane populacije žuželk hroščev velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) v izbranih temperaturnih pogojih. Povezavo smo z eksperimentom dokazali, saj je preobrazba bub v odrasle osebkke potekala hitreje, če so bili izpostavljeni višji temperaturi, in sicer temperaturi 24–29 °C, kot preobrazba bub, ki so bile izpostavljene sobni temperaturi (19–23 °C). Bube, ki smo jih izpostavili 6 °C, kar je njihova bazalna temperatura, se niso preobrazile. Bazalna temperatura oziroma spodnji razvojni prag je točno določena temperatura, nad katero še potekajo metabolni procesi v žuželki [Rutledge, 2015]. Bazalna temperatura za vrsto veliki mokař (*Tenebrio molitor*) znaša 6 °C [Koo in drugi, 2014]. Tako so se vse hipoteze izkazale za pravilne.

Poleg tega smo ugotovili, da potrebuje posamezna buba velikega mokařja (*Tenebrio molitor*) za preobrazbo v odrasli osebek približno 210 °D. Model stopinj dni je način predvidevanja razvoja žuželk, deluje pa na podlagi tega, da določeni metabolni procesi za potek potrebujejo natančno število enot toplote. Ker so žuželke ektotermne živali, potrebujejo za te procese toploto iz okolja, ki jo lahko žuželka pridobi hitro v toplejšem okolju ali počasi v hladnejšem okolju. V vsakem primeru potrebuje enako količino toplote, ki jo lahko izračunamo z zgornjo enačbo [Jones, 1993]. Na podlagi dobljenih podatkov smo sklepali, da bo vsota stopinj dni enaka pri vseh skupinah, v katerih so se bube uspešno preobrazile. Ta rezultat smo tudi potrdili, in sicer z manjšim, to je 8,5-odstotnim odstopanjem.

Z modelom stopinj dni smo ugotovili, da je količina stopinj dni, ki jih na dan pridobi posamezni osebek, ključnega pomena za hitrost razvoja *Tenebrio molitor*, saj njihovi metabolni procesi potekajo hitreje ob višji temperaturi in se upočasnijo pri nižji [Campolo, 2014]. Dodatno smo odkrili, da se lahko proces preobrazbe bub znatno podaljša ali celo popolnoma zaustavi, če so izpostavljene temperaturam, ki se približujejo bazalni temperaturi. Odkritje je v skladu s podobnimi raziskavami z drugimi vrstami žuželk, v katerih so prišli do enakih ali vsaj podobnih ugotovitev [Kamm, 1970; Schroder, 1976; Legaspi in sod., 2011; druge raziskave].

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*).

Sklepamo lahko, da se bodo populacije mokaarjev v naravi ravnale na podoben način, kar pomeni, da bo število populacije naraslo, ko so osebkovi izpostavljeni višjim temperaturam, saj bo preobrazba osebkov v odrasle osebkove (imago) potekala hitreje. Predvidevamo lahko, da bo čez leto populacija velikega mokaarja (*Tenebrio molitor*) najštevilčnejša v toplejših mesecih, upadla pa bo v hladnejših, kar predlagamo kot možnost za nadaljnje raziskave.

Naslednji korak raziskave je kreacija popolnega modela stopinj dni za vrsto veliki mokaar (*Tenebrio molitor*), ki ne vključuje le stadija med bubo in odraslim osebkom, temveč celoten razvoj od jajčeca do odraslega osebka. Poleg tega predlagamo nadaljnje raziskave, s katerimi bi se lahko raziskoval vpliv drugih spremenljivk. Pri tem bi priporočali tudi uporabo večje populacije te vrste, kot smo jo uporabili mi, da bi preprečili morebitne pomanjkljivosti v rezultatih zaradi izjem.

7 LITERATURA IN VIRI

7.1 Literatura

1. BELUŠIČ, G., DOLENC KOCE, J., TURK, M., VITTORI, M., ZALAR, P. 2019. Biologija 2, O zgradbi in delovanju organizmov. Ljubljana: Mladinska knjiga.
2. DEVETAK, D., PODOBNIK, A. 1997. Biologija. Raznolikost živih bitij 1 in 2. Ljubljana: DZS.
3. GOGALA, N., STUŠEK, P. 1997. Biologija. Funkcionalna anatomija s fiziologijo. Ljubljana: DZS.
4. HOOK, P. 2008. A concise guide to insects. Parragon Incorporated. Str. 24–29.
5. MILEVOJ, L. 2007. Kmetijska entomologija. Str. 36–41.
6. STUŠEK, P., ŠKORNIK, S., VODNIK, D. 2012. Zgradba in delovanje organizmov. Učbenik za gimnazijski program izobraževanja. Ljubljana: DZS.
7. TARMAN, K. 2002. Biologija. Ekologija. Ljubljana: DZS. Str. 40.

7.2 Spletni viri

1. ALI, Y. A. 2020. Damage caused by *Cerambyx dux* (Faldermann, 1837) (Coleoptera, Cerambycidae) in apple orchards in northwestern Syria. ePublishing. Pridobljeno 9. februarja 2023 s: <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.12681%2Feh.24751>
2. BOKAVŠEK, G. 2012. Temperatura in zračna vlaga kot dejavnika smrtnosti riževega žužka (*Sitophilus oryzae* [L.], Coleoptera, Curculionidae) v laboratorijskih razmerah. Diplomsko delo. Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo. Ljubljana. Pridobljeno 7. novembra 2022 s: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dv1_bokavsek_gasper.pdf.
3. COTTON, R. T. 1927. Notes on the Biology of the Meal Worms, *Tenebrio Molitor* Linne and *T. Obscurus* Fab. *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 30. decembra 2022 s: <https://doi.org/10.1093/aesa/20.1.81>.
4. IGLIČ, DEČMAN IGLIČ, M. Preobrazba žuželk Iglič – H5p. Pridobljeno 26. decembra 2022 s: <https://h5p.splet.arnes.si/2020/12/04/preobrazba-zuzelk/>.
5. JONES, V., BRUNNER, J. 1993. Degree-Day Models. Washington state university. Pridobljeno 8. februarja 2023 s: <http://treefruit.wsu.edu/crop-protection/opm/dd-models/>.
6. KOO, H. Y., KIM, S. G., OH, K. H., KIM, J. E., CHOI, D. S., KIM, D. I., KIM, I. 2014. Temperature-dependent Development Model of Larvae of Mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *KOREAN JOURNAL OF APPLIED ENTOMOLOGY*. Pridobljeno 25. novembra 2022 s: [Temperature-dependent](#)

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

Development Model of Larvae of Mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) - Korean journal of applied entomology | Korea Science.

7. KAMM, J. A. 1970. Effects of Photoperiod and Temperature on *Crambus trisectus* and *C. leachellus cypridalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 1. januarja 2023 s: <https://doi.org/10.1093/aesa/79.6.925>.
8. Kmetijski inštitut Slovenije. Oddelek za varstvo rastlin. Pridobljeno 9. januarja 2023 s: <https://www.ivr.si/wp-content/uploads/2017/11/Mokarji.pdf>.
9. LEGASPI, J. C., in sodelavci. 2011. Life Table Analysis and Development of *Singhiella simplex* (Hemiptera: Aleyrodidae) Under Different Constant Temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 1. januarja 2023 s: <https://doi.org/10.1603/AN10148>.
10. LUI, SS. 1995. Influence of Temperature Variations on Rate of Development in Insects: Analysis of Case Studies from Entomological Literature. *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 29. januarja 2023 s: <https://doi.org/10.1093/aesa/88.2.107>.
11. NORISHAM, A. R., ABOOD, F., RITA, M., HAKEEM, K. R. 2013. Effect of humidity on egg hatchability and reproductive biology of the bamboo borer (*Dinoderus minutus* Fabricius). Springerplus. Pridobljeno 19. februarja 2023 s: [10.1186/2193-1801-2-9](https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-9).
12. PARK, C. G., PARK, H. H., UHM, K. B., LEE, J. H., 2010. Temperature dependent development model of *Paromius exiguus* (Distant) (Heteroptera: Lygaeidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 49, 305-312.
13. PARK, J., CHOI, W., KIM, S., JIN, H., HAN, Y., LEE, Y., KIM, N. 2014. Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*. Pridobljeno 27. decembra 2022 s: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO201412837595316.pdf>.
14. PIRES, E. M., SUOZA, Q. E., NOGUEIRA, R., SOARES, M. A. 2017. Damage Caused by *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Stored Brazil nut. *Scientific Electronic Archives*. Pridobljeno 9. februarja 2023 s: <https://doi.org/10.36560/1012017418>.
15. RUTLEDGE, C. E. 2015. Degree-Day Model for Emergence of *Cerceris fumipennis* (Hymenoptera: Crabronidae) in Northeastern America Based on Field Observations. *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 31. decembra 2022 s: <https://doi.org/10.1093/aesa/sav082>.
16. SCHRODER, R. F. W. 1976. Effects of Photoperiod and Temperature Regimens on the Biology of European and United States Alfalfa Weevil Populations. *Annals of the Entomological Society of America*. Pridobljeno 1. januarja 2023 s: <https://doi.org/10.1093/aesa/69.4.701>.
17. SOLTANI, R., IKBEL, C., HAMOUDA, M. H. B. 2008. Descriptive study of damage caused by the rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon*, and its influence on date palm oases

STRAMŠAK, Svit. 2023. Vpliv temperature in zračne vlage na preobrazbo bub velikega mokařja (*Tenebrio molitor*).

of Rjim Maatoug, Tunisia. Journal of Insect Science. Pridobljeno 9. februarja 2023 s: <https://doi.org/10.1673/031.008.5701>.

18. TONKLI, D. 2022. Bi zabořnik z ličinkami »na ključ«? Pridobljeno 7. novembra 2022 s: <https://agrobiznis.finance.si/8998268>.
19. TRAUGOTT, M., in sodelavci. 2015. Biology, Ecology, and Control of Elaterid Beetles in Agricultural Land. Annual Review of Entomology. Pridobljeno 29. decembra 2022 s: https://www.uibk.ac.at/zoology/research/appliedanimalecology/projects/projects_applied_trophic_ecology/pdfs/traugott-et-al.-2015.pdf.
20. University of California agriculture@ natural resources. Degree-Days: About Degree-Days--UC IPM. Pridobljeno 26. novembra 2022 s: <http://ipm.ucanr.edu/WEATHER/ddconcepts.html>.
21. VIDMAR, A., 2022. Izdelovanje beljakovinskega kruha iz ličink *Tenebrio molitor*. Biologija. Raziskovalna naloga. BIC Ljubljana. Živilska šola. Pridobljeno 27. decembra 2022 s: https://zbirke.zotks.si/2022/resources/SS_biolo_1145.pdf.