



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ



**Александра Д. Трајковић**

**Интерактивна идентификација европских  
врста егзофитофагних гусеница кроз  
управљање дескриптивним подацима**

Докторска дисертација

Текст ове докторске дисертације ставља се на увид јавности,  
у складу са чланом 30., став 8. Закона о високом образовању  
("Сл. гласник РС", бр. 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 44/2010, 93/2012,  
89/2013 и 99/2014)

**НАПОМЕНА О АУТОРСКИМ ПРАВИМА:**

Овај текст сматра се рукописом и само се саопштава јавности (члан 7. Закона о ауторским  
и сродним правима, "Сл. гласник РС", бр. 104/2009, 99/2011 и 119/2012).

**Ниједан део ове докторске дисертације не сме се користити ни у какве сврхе,  
осим за упознавање са њеним садржајем пре одбране дисертације.**

Ниш, 2024.



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ



**Александра Д. Трајковић**

**Интерактивна идентификација европских  
врста егзофитофагних гусеница кроз  
управљање дескриптивним подацима**

Докторска дисертација

Ниш, 2024.



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF SCIENCES AND MATHEMATICS



**Aleksandra D. Trajković**

**Interactive identification of European  
exophytophagous caterpillars through descriptive  
data management**

Doctoral dissertation

Niš, 2024.

## Подаци о докторској дисертацији

Ментор:

Др Владимир Жикић, редовни професор на Департману за биологију и екологију, Природно-математичког факултета у Нишу, Универзитета у Нишу

Наслов:

Интерактивна идентификација европских врста егзофитофагних гусеница кроз управљање дескриптивним подацима

Резиме:

Популаризација идентификације врста уз помоћ компјутерског вида и дубоког учења значајно је убрзала прикупљање података о биодиверзитету на глобалном нивоу, укључујући и морфолошки и еколошки разноврсну групу егзофитофагних гусеница. Иако мобилне апликације замењују обимну концептуалну литературу и користе се како у научним и стручним круговима, тако и широј јавности, оне често занемарују важну компоненту целокупног разумевања таксона: биологију и екологију врсте као ентитета који функционише унутар сложене система биотичких и абиотичких фактора. Ова дисертација разматра донекле супротстављене идеје: да ли нове технологије заиста компромитују, или допуњују традиционалне третмане врста на нивоу особина?

У оквиру дисертације, идентификација је сагледана као вишедимензионални концепт, који поред биолошких обележја, почива на њиховој интерпретацији кроз когнитивне процесе. Формиране су три матрице података о особинама које садрже стандардизоване морфолошке, еколошке и бихејвиоралне дескрипторе за одабране врсте. Сваки сет врста, и свака матрица, демонстрирају, адекватно квантификују и припремају податке за статистичку обраду: било да се ради о полиморфизмима и полифенизмима у оквиру реда *Lepidoptera*, релацији хабитат-хабитус, или експертским системима у идентификацији врста, респективно.

Циљ дисертације је да прикаже да се визуелни сигнали и контекстуалне информације којима се приступа у процесу идентификације могу да искористе за даљу елаборацију уоченог обрасца, кроз комбиновање мануелних и полуаутоматских приступа у прикупљању и обради дескриптивних података, *crisp* и *fuzzy* кодирање дескриптора, третирање варијабилности на више нивоа и одабиром одговарајућих категоричких пандана предиктивних модела. Финално, униформисани и пречишћени подаци

искоришћени су за израду интерактивне веб апликације која, кроз систем филтера, омогућава идентификацију врста и повезивање таксона са његовом улогом у екосистему.

Научна област:

Биологија

Научна  
дисциплина:

Ентомологија

Кључне речи:

гусенице, идентификација у биологији, *Lepidoptera*, матрице особина, полиморфизам, полифенизам, предиктивни модели, *fuzzy* и *crisp* кодирање

УДК:

595.78 : 001.103

CERIF  
класификација:

B250 Ентомологија, паразитологија биљака;

B320 Систематска зоологија, таксономија, зоогеографија

Тип лиценце  
Креативне  
заједнице:

**CC BY-NC-ND**

## Data on Doctoral Dissertation

Doctoral  
Supervisor:

PhD Vladimir Žikić, full professor, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš

Title:

Interactive identification of European exophytophagous caterpillars through descriptive data management

Abstract:

The growing use of computer vision and deep learning for species identification has significantly sped up the collection of biodiversity data worldwide, including data on the diverse morphological and ecological group of exophytophagous caterpillars. While mobile apps are increasingly replacing extensive conceptual literature and are widely used in both scientific and professional circles, as well as by the public, they often miss a crucial aspect of fully understanding a taxon: the biology and ecology of a species as an entity functioning within a complex system of biotic and abiotic factors. This dissertation explores a somewhat opposing question: do new technologies compromise, or do they enhance, traditional species treatments at the trait level?

In this work, species identification is approached as a multidimensional concept that relies not only on biological traits but also on how these traits are interpreted through cognitive processes. Three trait data matrices were developed, containing standardized morphological, ecological, and behavioral descriptors for selected species. Each species set, and each matrix, serves to demonstrate, accurately quantify, and prepare data for statistical analysis—whether addressing polymorphisms and polyphenisms within the Lepidoptera order, the relationship between habitat and habitus, or the use of expert systems in species identification.

The goal of the dissertation is to show that visual signals and contextual information used in the identification process can be further refined through a combination of manual and semi-automatic approaches to gathering and processing descriptive data, the use of crisp and fuzzy coding for descriptors, managing variability at multiple levels, and selecting appropriate categorical counterparts for predictive models. Ultimately, the standardized and refined data were used to create an interactive web application that, through a filtering system, enables species identification and links each taxon to its role within the ecosystem.

---

|                                |                                                                                                                                            |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scientific Field:              | Biology                                                                                                                                    |
| Scientific Discipline:         | Entomology                                                                                                                                 |
| Key Words:                     | caterpillars, fuzzy and crisp coding, identification in biology, Lepidoptera, polymorphism, polyphenism, predictive models, trait matrices |
| UDC:                           | 595.78 : 001.103                                                                                                                           |
| CERIF Classification:          | B250 Entomology, plant parasitology;<br>B320 Systematic zoology, taxonomy, zoogeography                                                    |
| Creative Commons License Type: | <b>CC BY-NC-ND</b>                                                                                                                         |

МЕНТОР:

Др Владимир Жикић, редовни професор

Департман за биологију и екологију, Природно-математички факултет у Нишу,  
Универзитет у Нишу

---

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Жељко Томановић, дописни члан САНУ, редовни професор

Биолошки факултет, Универзитет у Београду

---

Др Милош Поповић, виши научни сарадник

Департман за биологију и екологију, Природно-математички факултет у Нишу,  
Универзитет у Нишу

---

Др Маријана Илић Милошевић, ванредни професор

Департман за биологију и екологију, Природно-математички факултет у Нишу,  
Универзитет у Нишу

---

Др Саша Станковић, ванредни професор

Департман за биологију и екологију, Природно-математички факултет у Нишу,  
Универзитет у Нишу

---

Датум одбране \_\_\_\_\_



|                                                                                   |                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|  | <b>ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ<br/>НИШ</b> |
| <b>КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА</b>                                         |                                                |

|                                                                                                        |                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Редни број, <b>РБР:</b>                                                                                |                                                                                                                                                 |
| Идентификациони број, <b>ИБР:</b>                                                                      |                                                                                                                                                 |
| Тип документације, <b>ТД:</b>                                                                          | монографска                                                                                                                                     |
| Тип записа, <b>ТЗ:</b>                                                                                 | текстуални / графички                                                                                                                           |
| Врста рада, <b>ВР:</b>                                                                                 | докторска дисертација                                                                                                                           |
| Аутор, <b>АУ:</b>                                                                                      | Александра Д. Трајковић                                                                                                                         |
| Ментор, <b>МН:</b>                                                                                     | Владимир Жикић                                                                                                                                  |
| Наслов рада, <b>НР:</b>                                                                                | Интерактивна идентификација европских врста<br>егзофитофагних гусеница кроз управљање дескриптивним<br>подацима                                 |
| Језик публикације, <b>ЈП:</b>                                                                          | српски                                                                                                                                          |
| Језик извода, <b>ЈИ:</b>                                                                               | енглески                                                                                                                                        |
| Земља публикавања, <b>ЗП:</b>                                                                          | Србија                                                                                                                                          |
| Уже географско подручје, <b>УГП:</b>                                                                   | Србија                                                                                                                                          |
| Година, <b>ГО:</b>                                                                                     | 2024.                                                                                                                                           |
| Издавач, <b>ИЗ:</b>                                                                                    | ауторски репринт                                                                                                                                |
| Место и адреса, <b>МА:</b>                                                                             | Ниш, Вишеградска 33.                                                                                                                            |
| Физички опис рада, <b>ФО:</b><br><small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small> | 7 поглавља, 139 стр., 6 табела, 25 слика                                                                                                        |
| Научна област, <b>НО:</b>                                                                              | Биологија                                                                                                                                       |
| Научна дисциплина, <b>НД:</b>                                                                          | Ентомологија                                                                                                                                    |
| Предметна одредница/Кључне речи,<br><b>ПО:</b>                                                         | гусенице, идентификација у биологији, Lepidoptera,<br>матрице особина, полиморфизам, полифенизам,<br>предиктивни модели, fuzzy и crisp кодирање |
| <b>УДК</b>                                                                                             | 595.78 : 001.103                                                                                                                                |
| Чува се, <b>ЧУ:</b>                                                                                    | библиотека                                                                                                                                      |
| Важна напомена, <b>ВН:</b>                                                                             | /                                                                                                                                               |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Извод, ИЗ:                    | <p>Популаризација идентификације врста уз помоћ компјутерског вида и дубоког учења значајно је убрзала прикупљање података о биодиверзитету на глобалном нивоу, укључујући и морфолошки и еколошки разноврсну групу егзофитофагних гусеница. Иако мобилне апликације замењују обимну концептуалну литературу и користе се како у научним и стручним круговима, тако и широј јавности, оне често занемарују важну компоненту целокупног разумевања таксона: биологију и екологију врсте као ентитета који функционише унутар сложеног система биотичких и абиотичких фактора. Ова дисертација разматра донекле супротстављене идеје: да ли нове технологије заиста компромитују, или допуњују традиционалне третмане врста на нивоу особина?</p> <p>У оквиру дисертације, идентификација је сагледана као вишедимензионални концепт, који поред биолошких обележја, почива на њиховој интерпретацији кроз когнитивне процесе. Формиране су три матрице података о особинама које садрже стандардизоване морфолошке, еколошке и бихејвиоралне дескрипторе за одабране врсте. Сваки сет врста, и свака матрица, демонстрирају, адекватно квантификују и припремају податке за статистичку обраду: било да се ради о полиморфизмима и полифенизмима у оквиру реда <i>Lepidoptera</i>, релацији хабитат-хабитус, или експертским системима у идентификацији врста, респективно.</p> <p>Циљ дисертације је да прикаже да се визуелни сигнали и контекстуалне информације којима се приступа у процесу идентификације могу да искористе за даљу елаборацију уоченог обрасца, кроз комбиновање мануелних и полуаутоматских приступа у прикупљању и обради дескриптивних података, <i>crisp</i> и <i>fuzzy</i> кодирање дескриптора, третирање варијабилности на више нивоа и одабиром одговарајућих категоричких пандана предиктивних модела. Финално, униформисани и пречишћени подаци искоришћени су за израду интерактивне веб апликације која, кроз систем филтера, омогућава идентификацију врста и повезивање таксона са његовом улогом у екосистему.</p> |
| Датум прихватања теме, ДП:    | 06.07.2023.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Датум одбране,<br>ДО:         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Чланови комисије, Председник: |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Члан:                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Члан:                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Члан:                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Члан, ментор:                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                                                              |                                                                                                                                            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|             | <b>ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ<br/>НИШ</b>                                                                                             |  |
| <b>KEY WORDS DOCUMENTATION</b>                                                               |                                                                                                                                            |  |
| Accession number, <b>ANO</b> :                                                               |                                                                                                                                            |  |
| Identification number, <b>INO</b> :                                                          |                                                                                                                                            |  |
| Document type, <b>DT</b> :                                                                   | monograph                                                                                                                                  |  |
| Type of record, <b>TR</b> :                                                                  | textual / graphic                                                                                                                          |  |
| Contents code, <b>CC</b> :                                                                   | doctoral dissertation                                                                                                                      |  |
| Author, <b>AU</b> :                                                                          | Aleksandra D. Trajković                                                                                                                    |  |
| Mentor, <b>MN</b> :                                                                          | Vladimir Žikić                                                                                                                             |  |
| Title, <b>TI</b> :                                                                           | Interactive identification of European exophytophagous caterpillars through descriptive data management                                    |  |
| Language of text, <b>LT</b> :                                                                | Serbian                                                                                                                                    |  |
| Language of abstract, <b>LA</b> :                                                            | English                                                                                                                                    |  |
| Country of publication, <b>CP</b> :                                                          | Serbia                                                                                                                                     |  |
| Locality of publication, <b>LP</b> :                                                         | Serbia                                                                                                                                     |  |
| Publication year, <b>PY</b> :                                                                | 2024                                                                                                                                       |  |
| Publisher, <b>PB</b> :                                                                       | author's reprint                                                                                                                           |  |
| Publication place, <b>PP</b> :                                                               | Niš, Višegradaska 33.                                                                                                                      |  |
| Physical description, <b>PD</b> :<br>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes) | 7 chapters, 139 pages, 6 tables, 25 pictures                                                                                               |  |
| Scientific field, <b>SF</b> :                                                                | Biology                                                                                                                                    |  |
| Scientific discipline, <b>SD</b> :                                                           | Entomology                                                                                                                                 |  |
| Subject/Key words, <b>S/KW</b> :                                                             | caterpillars, fuzzy and crisp coding, identification in biology, Lepidoptera, polymorphism, polyphenism, predictive models, trait matrices |  |
| <b>UC</b>                                                                                    | 595.78 : 001.103                                                                                                                           |  |
| Holding data, <b>HD</b> :                                                                    | library                                                                                                                                    |  |
| Note, <b>N</b> :                                                                             | /                                                                                                                                          |  |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abstract, <b>AB</b> :                | <p>The growing use of computer vision and deep learning for species identification has significantly sped up the collection of biodiversity data worldwide, including data on the diverse morphological and ecological group of exophytophagous caterpillars. While mobile apps are increasingly replacing extensive conceptual literature and are widely used in both scientific and professional circles, as well as by the public, they often miss a crucial aspect of fully understanding a taxon: the biology and ecology of a species as an entity functioning within a complex system of biotic and abiotic factors. This dissertation explores a somewhat opposing question: do new technologies compromise, or do they enhance, traditional species treatments at the trait level?</p> <p>In this work, species identification is approached as a multidimensional concept that relies not only on biological traits but also on how these traits are interpreted through cognitive processes. Three trait data matrices were developed, containing standardized morphological, ecological, and behavioral descriptors for selected species. Each species set, and each matrix, serves to demonstrate, accurately quantify, and prepare data for statistical analysis—whether addressing polymorphisms and polyphenisms within the Lepidoptera order, the relationship between habitat and habitus, or the use of expert systems in species identification.</p> <p>The goal of the dissertation is to show that visual signals and contextual information used in the identification process can be further refined through a combination of manual and semi-automatic approaches to gathering and processing descriptive data, the use of crisp and fuzzy coding for descriptors, managing variability at multiple levels, and selecting appropriate categorical counterparts for predictive models. Ultimately, the standardized and refined data were used to create an interactive web application that, through a filtering system, enables species identification and links each taxon to its role within the ecosystem.</p> |
| Accepted by the Scientific Board on, | 06.07.2023.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Defended on, <b>DE</b> :             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Defended Board,                      | President:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                      | Member:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                      | Member:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                      | Member:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                      | Member,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Образац Q4.09.13 - Издање 1

Q4.16.01 - Izdawe 1

*Хвала*

*Проф. др Владимиру Жикићу, за слободу.*

*Проф. др Жељку Томановићу, за интересовање.*

*Др Милошу Поповићу, за вољу.*

*Ванр. проф. др Маријани Илић Милошевић, за сензибилитет.*

*Ванр. проф. др Саши Станковићу, за разговоре.*

*Проф. др Ђурађу Милошевићу, за прилике.*

*Мојој породици и пријатељима, за љубав.*

*Мојој канцеларији, за живце.*

*Мени, за инат.*

***Аутор***

# Садржај

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Увод .....</b>                                                                                                                                 | <b>1</b>  |
| 1.1. Европске врсте егзофитофагних гусеница.....                                                                                                     | 4         |
| 1.1.1. Ordo Lepidoptera: биологија и екологија.....                                                                                                  | 4         |
| 1.1.2. Систематика, филогенија и еволуција Лепидоптера.....                                                                                          | 7         |
| 1.1.3. Проученост, потребе за идентификацијом и значај гусеница .....                                                                                | 11        |
| 1.2. Идентификација као таксономски систем.....                                                                                                      | 14        |
| 1.2.1. Проблем дефинисања концепта врсте .....                                                                                                       | 15        |
| 1.2.2. Концепт таксономске препреке: „ <i>the taxonomic impediment</i> ” .....                                                                       | 16        |
| 1.3. Статус ентомолошке таксономске експертизе у Европи .....                                                                                        | 17        |
| 1.4. Идентификација у осталим гранама науке и привреде .....                                                                                         | 19        |
| 1.4.1. Паратаксономија.....                                                                                                                          | 20        |
| 1.5. Традиционални алати за идентификацију.....                                                                                                      | 21        |
| 1.5.1. Природна историја и приручници.....                                                                                                           | 21        |
| 1.5.2. Идентификациони кључеви .....                                                                                                                 | 23        |
| 1.6. Савремени алати .....                                                                                                                           | 29        |
| 1.6.1. <i>Computer-aided</i> идентификациона средства: електронске верзије концептуалне литературе, интерактивни кључеви и таксономски софтвери..... | 29        |
| 1.6.2. Вештачка интелигенција у контексту идентификације .....                                                                                       | 34        |
| 1.7. Управљање подацима.....                                                                                                                         | 39        |
| 1.7.1. Дескриптивни подаци у контексту биодиверзитета.....                                                                                           | 40        |
| 1.7.2. Аутоматизација обраде дескриптивних података .....                                                                                            | 41        |
| 1.7.3. Кодирање дескриптивних карактера.....                                                                                                         | 46        |
| <b>2. Циљеви истраживања.....</b>                                                                                                                    | <b>48</b> |
| <b>3. Методологија.....</b>                                                                                                                          | <b>50</b> |
| 3.1 Формирање базе европских егзофитофагних гусеница.....                                                                                            | 51        |
| 3.2 Стандардизација карактера и матрице карактера .....                                                                                              | 51        |
| 3.3 Матрица варијабилности .....                                                                                                                     | 52        |
| 3.4. <i>Fuzzy</i> -кодирана матрица.....                                                                                                             | 53        |
| 3.5 Матрица-кључ.....                                                                                                                                | 54        |
| 3.5.1. Екстракција дескриптора: скрејпинг, парсинг, пречишћавање података .....                                                                      | 55        |
| 3.5.2. Анотација у циљу екстракције карактера.....                                                                                                   | 55        |
| 3.6 Статистичка обрада матрица .....                                                                                                                 | 57        |

|                                                                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.6.1. К-мод кластер алгоритам и анализа главних компоненти за категоријске варијабле (САТРСА) .....                         | 57         |
| 3.6.2. Генерализовани линеарни модели и модел насумичне шуме .....                                                           | 59         |
| 3.7. Израда веб апликације за интерактивну идентификацију .....                                                              | 59         |
| <b>4. Резултати .....</b>                                                                                                    | <b>61</b>  |
| 4.1. Стандардни дескриптивни карактери и стања.....                                                                          | 62         |
| 4.1.1. Карактери главене капсуле .....                                                                                       | 62         |
| 4.1.2. Карактери на телесним сегментима.....                                                                                 | 69         |
| 4.1.3. Морфолошки и бихејвиорални карактери у вези са кретањем .....                                                         | 76         |
| 4.2. Однос и класификација изведених случајева полифенизма.....                                                              | 85         |
| 4.3. Примена <i>fuzzy</i> логике у матрици морфолошко-функционалних атрибута високо криптичних егзофитофагних гусеница ..... | 92         |
| 4.3.1. Тип и форма биљке хранитељке као предиктори морфолошких обележја и понашања у исхрани .....                           | 93         |
| 4.3.2. Тип станишта као предиктор морфолошких обележја.....                                                                  | 94         |
| 4.4 Интерактивна идентификација.....                                                                                         | 95         |
| <b>5. Дискусија .....</b>                                                                                                    | <b>99</b>  |
| 5.1. Матрице и селекција карактера према потребама студије или према типу кључа ...                                          | 100        |
| 5.2. Дескрипција у ери вештачке интелигенције: ка реалнијим предикцијама .....                                               | 101        |
| <b>6. Закључци .....</b>                                                                                                     | <b>105</b> |
| <b>7. Литература .....</b>                                                                                                   | <b>108</b> |

# **Поглавље 1**

## **Увод**



Прошло је 97 година од када се инжењер Расел Кирш, један од зачетника рачунарских наука, запитао шта би се десило да компјутер види оно што види човек. Скениравши фотографију од  $176 \times 176$  пиксела, Кирш постаје аутор првог компјутерског скенера, а индиректно, и зачетник мисли о вештачкој интелигенцији. Друга половина двадесетог века обележена је бројним покушајима да се све репетитивне радње, нарочито у области здравства, логистике, економије и маркетинга, аутоматизују. Не узимајући у обзир развој клиничких тестова на патогене, појам „аутоматска идентификација врста” односио се пре свега на биоакустику у воденим екосистемима или код летећих инсеката (Moore и сар., 1986; Horne, 2000), али је пренос морфо-таксономије у дигитални облик остао изузетно атрактивна тема уочи новог миленијума. Само двадесетак година касније, већина паметних телефона долази са већ инсталираном Google Објектив апликацијом, чија прецизност у класификацији објеката достиже преко 90%. Осим што у реалном времену преводи са преко стотину језика, читава бар-кодове, и разврстава објекте у околини корисника према категоријама, Објектив апликација може врло успешно одредити и таксономску афилијацију уоченог организма на истом нивоу на ком би то урадио стручњак или експерт, под условом да посматрани организам уопште може да се идентификује на основу фотографије (Bilyk и сар., 2020).

Контрадикторно чињеници да практично проживљавамо утопију еколога и еволуционог биолога Данијела Јанзена (2004), који је предвидео да ће у будућности постојати уређај који се најпре упери у јединку, а потом изговара име врсте<sup>1</sup>, криза биодиверзитета постаје један од најактуелнијих мотива социо-економског, политичког, и научног тела.

Јанзенова верзија будућности је несумњиво стигла, а са њом и прекомерна експлоатација ресурса, губитак станишта и убрзано ишчезавање врста (Cebbalos и сар., 2017). Према конзервационим биолозима, данашњи сценарио, у коме се значајно одступило од премисе да знање води у свест, а свест у делање, позива на значајну промену наратива. Вајборн и сарадници (2018) широко обрађују тему наратива и контра-наратива који се тичу биодиверзитета и спреге науке и струке, истичући да је актуелни научни наратив често фаталистички, драматичан концепт судњег дана који врло брзо изазива засићење и

---

<sup>1</sup> Јанзен је том приликом зараво мислио на COI бар кодове које годину дана раније предлаже Херберт (2003), а не на конволуционе неуралне мреже на основу којих Google Објектив и сличне апликације функционишу.

анимозитет међу публиком, али и осећај да се ради о политичкој манипулацији. Балмфорд и Ноултон (2017) нуде једноставну аналогију: свакако би било мање ефикасно да је Мартин Лутер Кинг изговорио „Имам проблем” уместо „Имам сан”.

Један од интересантнијих изазова са којим се савремена академска заједница суочава је и утисак да су количина доступних информација и интерес за употребу или повезивање истих у смислену целину готово негативно корелисани. Оваква појава се у хуманистичким наукама често објашњава чињеницом да срж академске мотивације лежи у циклусу потраге и сатисфакције (Feist, 2008). Циклус је компромитован доступношћу знања, а сирова информација, парадоксално, веома неинформативна. Биологија се, као најшира природна наука, прилагођава овом стању на два начина: користећи предности напретка технологије да се фундаментална наука одведе на ниво са вишом резолуцијом, или да се са одговарања на питања пређе на нуђење решења, то јест примену досадашњих сазнања.

У оба случаја, кључни корак представља управо пружање контекста готово немерљивом фонду информација, у чијем је креирању одувек учествовала и шира јавност. Последња деценија 21. века је кроз масовне пројекте грађанске науке и дигитално складиштење података омогућила ближу сарадњу научне заједнице и шире јавности, у циљу системског повећања биописмености (енг. *biodiversity literacy, species literacy*). Базично знање о врстама које би требало да има било који припадник друштва може да покрене информисане дијалоге, а самим тим, постепено преусмери креирање политике (Нооукаас и сар., 2019). Генерално, људи могу бити забринути или протективни само над оним врстама или групама које познају (Schlegel и Rupf, 2010).

Разликовање организама, то јест, идентификација врста које не захтева утврђивање микроморфолошких карактера, молекуларне технике или било који лабораторијски третман почива на когнитивним алгоритмима који варирају од знања и искуства особе која врши идентификацију. Овакве алгоритме проучавају неуронауке (Cowell и сар., 2010), физика (Bridgman, 1927) и психологија (Hummel и сар., 2013). Обимне, диверзитетне групе таксона чији су макроморфолошки карактери варијабилни и рефлектују животну форму, као што је случај са гусеницама, најчешће добро познају таксономи у ентомологији, стручна лица из области агрономије и шумарства, али и ентузијастички одгајивачи. Идентификација оваквог скупа енитета је догађај когнитивног препознавања у чијој основи стоји више типова

меморије. Неке од њих су повраћај информација (енг. *information recovery*), то јест регистровање боје, облика, ивица, и дубине, сегрегација објекта од позадине, компарација са сличним претходно меморисаним профилима, семантичка анотација (давање контекста визуелном стимулусу) и повезивање са познатим називом посматраног објекта (енг. *phonological retrieval*). Наведени алгоритам може бити искоришћен за креирање идентификационих средстава попут кључева, које подразумевају неки од начина рашчлањивања визуелних сигнала и контекстуалних информација. Структурирање оваквих информација може, осим практичне примене, да подржи више типова истраживања.

## **1.1. Европске врсте егзофитофагних гусеница**

### **1.1.1. Ordo Lepidoptera: биологија и екологија**

Lepidoptera је један од инсекатских редова који успева да истовремено буде и изузетно и недовољно проучен, у зависности од групе. Ред обухвата преко 170.000 описаних врста и укључује дневне и ноћне лептире, као и мољце, са комплексним, још увек неразјашњеним филогенетским односима, и изузетно великим еколошким, морфолошким и бихејвиоралним диверзитетом. Позиција припадника реда унутар екосистема је врло значајна, обликована двојаким коеволуцијом, пратећи диверзификацију цветница са једне, и развој механизма одбране од предатора и паразитоида са друге стране. Оваква хетерогеност се огледа и у јувенилном стадијуму, стадијуму ларве, који представља највећу еволутивну радијацију хербивора до данас (Wahlberg и сар., 2013). Гусеница је општи назив за ларвални стадијум лептира и односи се на издужени црволики организам са три пара правих, торакалних ногу и најмање једним паром лажних абдоминалних ножица.

Како су Lepidoptera холометаболни инсекти, потпуну метаморфозу карактерише серија радикалних промена. Као стратегија, холометаболија се показала као ефикасна, будући да је користи 88% свих рецентних инсеката (Riddiford, 2020). Значајне разлике између различитих развојних стадијума ублажиле су интраспецијску конкуренцију за ресурс. Из јајета еклодира ларва која пролази кроз серију пресвлачења (број пресвлачења одређен биологијом врсте и ређе, условима средине) и низ физиолошких промена, до достизања критичне тежине. Промене у морфологији, еидономији и физиологији кроз развој најдрастичније су између ступњева, али се сам процес раста дешава континуирано (Truman

и Riddiford, 1999). По достизању генетски предодређене величине, и под адекватним условима, ларва приступа улуткавању. У стадијуму лутке, инсект пролази кроз реаранжман скоро свих структура. У потпуној метаморфози, сем конвенционалних фаза (јаје, ларва, лутка, адулт), описују су и дискретне, попут аполизе (одвајање кутикуле која се одбацује) и фаратне фазе (потпуно формирани инсект се још увек налази под опном јајета или лутке) у којој многе врсте презимљавају (Hall и Martin-Vega, 2019). Основна хормонска шема метаморфозе инсеката може се сумирати на следећи начин: неуросекреторне ћелије продукују ПТТХ (проторакотропни хормон), који активира проторакалну жлезду, која продукује хормон из групе егдистериоида. Хормони из ове групе фаворизују пресвлачење. Неуросекреторне ћелије путем алатотропина стимулишу и орган *corpora alata*, да производи хормоне из групе јувенилних хормона, који спречавају настанак адултних карактеристика. Титар јувенилног хормона је висок при пресвлачењима између ступњева, низак при улуткавању, и недетектабилан приликом еклозије адулта (Wu и Brown, 2006). Секундарни хормони метаморфозе су ЕТХ (енг. *ecdysone-triggering hormone*), хормон еклозије и бурзикон. Структура и синтеза хормона метаморфозе, грађа и функција проторакалне жлезде, као и екстринзичка епигенетска модулација лучења испитивани су и разјашњени за све Holometabola на моделима из реда Lepidoptera: *Bombyx mori* (L.), *Manduca sexta* (L.), *Sesamia nonagrioides* (Lefebvre), и више врста из рода *Antherea* Hübner (Rou и сар., 2018). Одговор који ови хормони изазивају у сваком ткиву зависи од рецептора, активације или инхибиције одређених путања, и експресије специфичних фактора. Током метаморфозе, ткива могу: дегенерисати ако припадају специфичним органима присутним само код гусеница (многе жлезде), бити ремоделована (масно ткиво), или образовати нове структуре захваљујући диференцијацији недиференцираних ћелија имагиналних дискова (Tettamanti и Casartelli, 2019).

Јаја могу бити различита по облику (елиптична, сферична, хемисферична, спљоштена) и орнаментисана гребенима и урезима. Женке их полажу појединачно или у кластерима, што је један од предуслова гregarног начина живота код ларви. Фиццералд и Коста наводе (1999) да преко 300 врста из реда, у оквиру приближно 25 фамилија, живи у кохортама једне генерације. Гregarне гусенице карактерише више механизма исхране и комуникације, присуство или одсуство склоништа и варијабилно трајање удруживања. Гregarност (парасоцијалност) је у реду Lepidoptera еволуирала кроз више независних догађаја. Кохорте

се разликују према сложености понашања (енг. *patch-restricted, nomadic, central place foraging* (видети Costa и Pierce, 1997)).

Гусенице имају веома склеротизовану главену капсулу са јасно уочљивим Y шавом, који је дели на један фронтални део и две епикранијалне регије које носе по шест простих очију. Вентрално се налази и пар веома кратких, трочланих антена и усни апарат. Торакс има три сегмента: проторакс ( $T_1$ ), мезоторакс ( $T_2$ ) и метаторакс ( $T_3$ ), а сваки од сегмената носи пар ногу са тарзалном канцицом. Дорзално на првом торакалном сегменту, често је уочљив склеротизовани проторакални штит. Абдомен се састоји од десет сегмената ( $A_1$ - $A_{10}$ ), а спиракулуми су присутни од  $A_1$  до  $A_8$ . Последња два сегмента су фузионисана и понекад прекривена склеротизованим аналним штитом. На абдомену се углавном налазе и меснате лажне ноге за причвршћивање и кретање (најчешћа шема  $A_3$ - $A_6$  +  $A_9/10$ ). Интегумент гусеница може бити прожет различитим пигментима, а образац криптични или апосематични. Све гусенице имају примарне сете на основу којих се формирају експертске сеталне мапе (хетотаксија), значајан таксономски и дијагностички карактер, нарочито примитивнијих таксона. Секундарне сете су изузетно варијабилне по броју, типу, густини и сеталним основама. Често су присутне и друге пројекције, то јест, израштаји: туберкуле, меснати рогови или склеротизовани трнови (Scobble, 1992; Kristensen, 2003).

Лутке лептира су најчешће покривене (*pupa obtecta*), могу бити заштићене коконом (нпр. суперфамилије Bombycoidea и Lasiocampoidea) направљеног само од свилених нити или уз додатак другог материјала који се налази у непосредној околини гусенице, или суспендована о једну свилену нит. Неке врсте се улуткавају у подлози. Лутке су цилиндричне, са спиракулумима на мезотораксу и абдоминалним сегментима. Последњи сегмент код лутки које нису заштићене носи кукасти или зашиљени кремастер за причвршћивање (Patocka и Turcani, 2023).

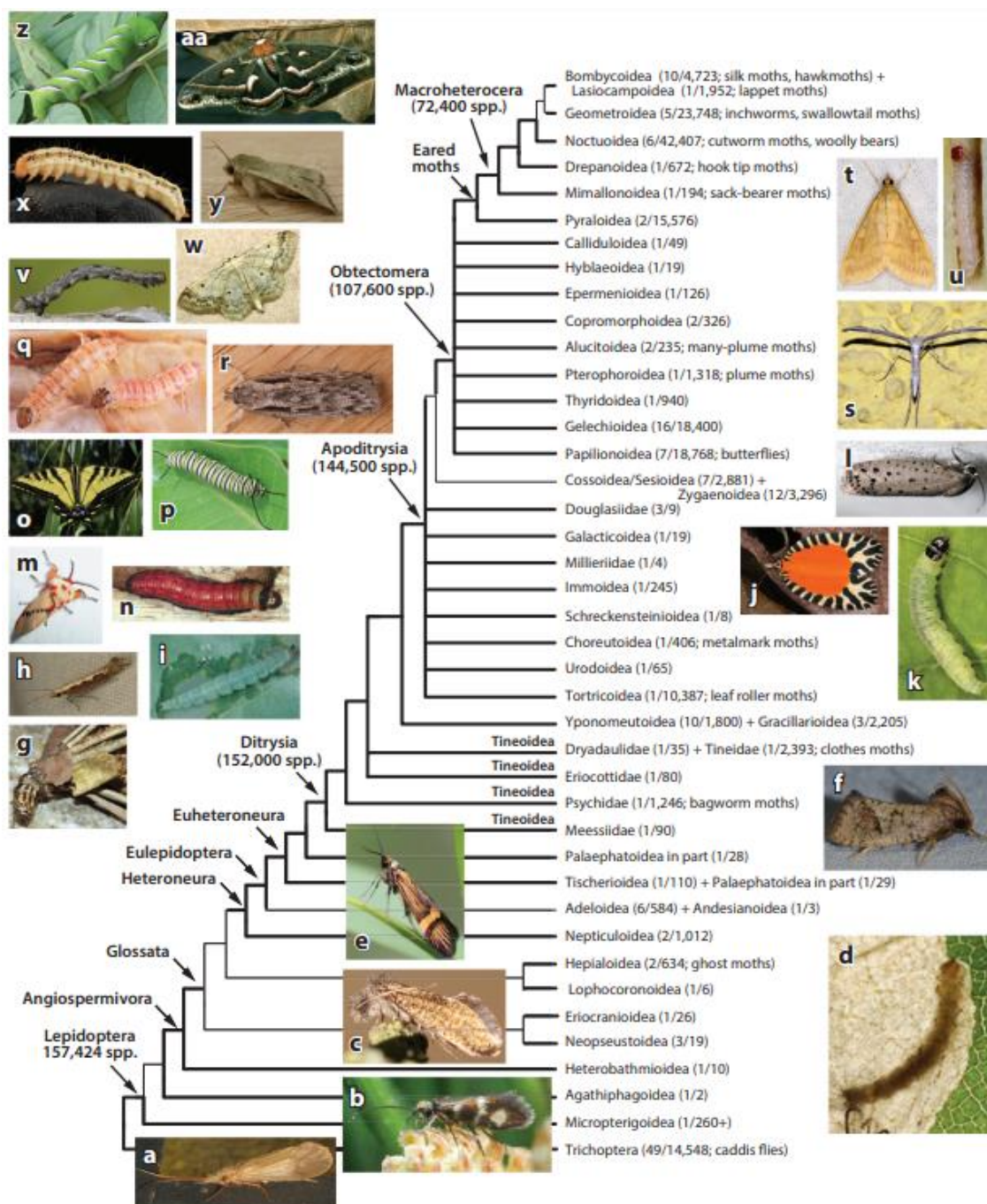
Морфологија одраслих јединки не одступа значајно од општег плана грађе осталих инсеката. На глави се налазе сложене очи и оцеле, пробосцис за исхрану нектаром и другом течном храном, крупни лабијални и максиларни палпуси за детекцију хране и осталих хемијских сигнала. Торакс носи два пара крила са специфичном нерватуром и различитим методама спајања (југално и амплексиформно спајање, *frenulum-retinaculum*) које одређују начин летења и склапања крила при мировању. Такође, на тораксу се могу налазити

тимпанални органи који су еволуирали у више наврата и играју важну улогу у детекцији звукова, што је могућа адаптација на предаторство. Абдомен је са комплексним гениталијама чија грађа је дијагностички и таксономски карактер. Детаљан увид у анатомију и морфологију свих стадијума *Lepidoptera* даје, између осталих, Кристенсен (2003).

Значај одраслих јединки огледа се и у доприносу укупном биодиверзитету и биомаси (и до 93 процената у тропским кишним шумама), али и у функцији коју имају у датом екосистему (Lamas, 2004). Улога опрашивача заступљена је и међу диурналним (при чему најефикасније *Nymphalidae*) и међу ноктурналним летачима (примарно *Noctuidae*, *Geometridae*, *Erebidae* и *Sphingidae* (Ollerton, 2006)). Ноћни опрашивачи одговорни су за продукцију бројних једињења од значаја за човека: мирис јасмина и нарциса потичу од секундарних метаболита селекционисаних за привлачење врста из суперфамилије *Noctuoidea* (Okamura и сар., 2016). У трофичким системима, представљају примарни извор хране инсективорним кичмењацима (Santolamazza-Carbone и сар., 2014). Адулти лептира су ефикасни биоиндикатори за праћење антропогених алтерација станишта. Показују сензитивност на дискретне промене свих срединских услова и као такви су најчешће коришћени модел таксон из класе инсеката у конзервационим, еколошким и генетичким студијама (Meng и сар., 2017). Високо специфичне стратегије репродукције (Mikkola, 2008), физиологија, семиохемикалије, мутуализми и остале интеракције омогућиле су најраније демонстрације природне селекције и еволуционе динамике (Kleynhans, 2014).

### **1.1.2. Систематика, филогенија и еволуција *Lepidoptera***

Лептири датирају из карбона, али се већина рецентних представника може морфолошки и еколошки упоредити са прецима који су живели током креде. Заједнички предак редова *Trichoptera* (сестринска група) и *Lepidoptera* је био ситне грађе и налик данашњим *Micropterygidae*. Претпоставља се да је примарна животна форма ларве била прилагођена убушивању, а сви адулти ноктурнални. Поред *Coleoptera*, *Diptera* и *Hymenoptera*, *Lepidoptera* је међу врстама најбогатијим редовима. На филогенетском стаблу је постављен високо, као модерна филогенетска група, а монофилетско порекло подржано бројним синапоморфијама. Ред има 43 суперфамилије (Слика 1) и 133 фамилија (Kristensen и сар., 2007).



Слика 1. Претпостављена филогенија Lepidoptera на нивоу суперфамилија (преузето из Mitter и сар., 2017).

Први критеријум за поделу Lepidoptera био је број отвора за парење и овипозицију код женки, тако да су оформљене две групе, Monotrysia и Dytrisia, при чему је првој убрзо утврђено парафилетско порекло. У литератури се врсте из ове групе најчешће називају *non-*

*dytrisian* Lepidoptera: суперфамилија Adeloidea (Adelidae, Cecidosidae, Incurvaridae, Heliozidae, Prodoxidae, суперфам. Andesianoidea (монотипска Andesianoidae), суперфам. Palephatoidea (Palephatidae), суперфам. Tischerioidea (Tischeridae) и Nepticuloidea (Nepticulidae, Opostegidae). Суперфамилија Micropterygoidea (Micropterygidae) не може да се сврста ни у једну од две предложене групе, а транскриптомика показује јасно одвајање од свих осталих Lepidoptera. Задржавају функционалне мандибуле и као адулти. Недавно је доказано монофилетско порекло за кладу Angiospermivora која обухвата све Lepidoptera сем Micropterygidae и мале фамилије Agathiphagidae. Сви поменути таксони чине само 2% диверзитета Lepidoptera, малих су димензија и често неупадљиви (сем Adelidae са крилима са металним одсјајем и изразито дугачким антенама), гусенице живе ендифитофагно, сем код Micropterygidae које се хране детритусом. У оквиру Angiospermivora, издваја се клата са стабилном монофилијом, Glossata, у коју спадају сви лептири са развијеним пробосцисом. У оквиру Dytrisia, где спадају скоро сви описани рецентни таксони, угњежђена је Apodytrisia (све суперфамилије сем Yponomeutoidea, Gracillarioidea, али и Tineoidea која је према новијим молекуларним анализама јасно парафилетска у односу на Dytrisia), у оквиру Apodytrisia угњежђена је Obtectomera, а у оквиру Obtectomera клата Macroheterocera (клата великих ноћних лептира).

Yponomeutoidea (Argyresthiidae, Attevidae, Bedellidae, Glyphipterigidae, Heliodinidae, Lyonetiidae, Plutellidae, Praydidae, Scythropidae, Yponomeutidae, Ypsolophidae) је вероватно прва суперфамилија чији су представници били и енто- и егзофитофагни на зељастим и дрвенастим биљкама. Заједно са фамилијама суперфамилије Gracillarioidea (Bucculatricidae, Gracillariidae, Roeslerstammidae) припадају стабилној монофилетској групи. Фамилија Douglassiidae је премештена из суперфамилије Gracillarioidea у сопствену, провизорну суперфамилију. Представници Gracillarioidea су доминантно арбореални минери током стадијума ларве, а пролазе и кроз ларвалну хиперметаморфозу, што значи да се значајно мењају током преласка са једног на други тип биљног ткива. Врсте из суперфамилије Tortricidae (Tortricidae) се значајно разликују према начину живота (егзо- и ендифитофагни представници, солитарни и грегари начин живота).

Суперфамилија Zygenoidea (Aididae, Anomoeotidae, Cyclotornidae, Dalceridae, Epipyropidae, Heterogynidae, Himantopteridae, Lacturidae, Limacodidae, Megalopygidae, Phaydidae,



Somabrachidae, Zygaenidae) нема разјашњене филогенетске односе, при чему се одвајају лимакодидна група (Limacodidae, Dalceridae, Aididae, Megalopygidae), и две ектопаразитске фамилије Cyclotornidae и Epirygoridae. Суперфамилија Cossoidea начелно обухвата фамилије Cossidae, Sesiidae, Brachodidae и Castniidae, и наразјашњеног је статуса. Показује блискост ектопаразитским Zygaenoidea, само на морфолошком нивоу. Многи аутори подржавају Sesiidae у склопу сопствене суперфамилије Sesioidea. Сама породица Cossidae је упитног монофилетског порекла.

Монофилетско порекло суперфамилије Gelechioidea (Autostichidae, Batrachedridae, Blastobasidae, Chimabachidae, Coelopoetidae, Coleophoridae, Cosmopterygidae, Depressaridae, Elachistidae, Epimarptidae, Gelechidae, Lecithoceridae, Lypysidae, Momphidae, Oecophoridae, Peleopoidae, Pterolonchidae, Schistonoeidae, Scythrididae, Stathmopodidae, Syringopidae, Nyloryctidae) је подржано и морфолошки и молекуларно, али су односи између фамилија нејасни и након мултигенских анализа. Екологија ларви је хетерогена.

Суперфамилија Pyraloidea је изузетно бројна (Crambidae и Pyralidae). Иако се већина представника храни хербиворно, убушујући се у стабљике или на лишћу, постоје и предатори, паразити и детритивори. Обе фамилије су недвосмислено монофилетске, али је однос субфамилија још увек неразјашњен.

Papilionoidea је велика група лептира дневних летача. Диурнални начин живота је независно еволуирао у више филогентских линија у реду Lepidoptera, тако да многи „ноћни” лептири лете дању (Erebidae: Arctiinae, Saturniidae, Zygaenidae). У оквиру ове суперфамилије догодила се једна од интересантнијих измена услед нових молекуларних доказа, када су им придружене неотропске Hedyllidae, претходно смештене у суперфамилију Geometroidea на основу макроморфологије. Традиционално, суперфамилији припадају Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae, Riodinidae + Hesperidae. Фамилије Hesperidae и Hedyllidae су сестринска група свим осталим дневним лептирима. Упркос великом броју пројеката организованих у смеру рекласификације таксона унутар Papilionoidea, филогенетски односи између фамилија и даље остају неразјашњени.

Суперфамилија Geometroidea је традиционално укључивала Geometridae, Uranidae и Sematryidae, а недавно су придодате Epicoreidae (претходно субфамилија у Drepanoidea) и

новоописана фамилија *Pseudobistonidae* (две врсте). Гусенице свих представника су егзофитофагне, са тим да се врсте неких родова врло често крију користећи делове/органае биљке хранитељке (улазак у чауре, између цвасти, прекривање биљним материјалом...). *Uranidae* и *Geometridae* имају абдоминалне тимпаналне органе, што је и била основа за удруживање.

Noctuoidea је највећа суперфамилија у оквиру реда, а скорашње молекуларне анализе су постојећим фамилијама (*Erebidae*, *Euteliidae*, *Noctuidae*, *Nolidae*, *Notodontidae*, *Oenosandridae*) придодале и *Doidae* (претходно у *Drepanoidea*) и новоописану фамилију *Scranciidae*. Велики број врста у овој групи подразумева и изузетан диверзитет у погледу коришћења ресурса, али су гусенице највећег броја врста егзофитогне. *Oenosandridae* су у флуидном таксономском положају, будући да се понекад, али не увек, групишу са фамилијом *Notodontidae*. *Erebidae*, *Noctuidae* и *Euteliidae* формирајући засебну кладу. Две увек упитне субфамилије из фамилије *Erebidae*, *Arctiinae* и *Lymantriinae* чине групу парафилетском. Митогенетска испитивања у будућности могу разјаснити статус у оквиру суперфамилије.

Суперфамилије *Bombycoidea* (*Anthelidae*, *Apatelodidae*, *Bombycidae*, *Brahmaeidae*, *Carthaeidae*, *Endromidae*, *Euperotidae*, *Psiditiidae*, *Saturniidae*, *Sphingidae*), *Lasiocampoidea* (*Lasiocampidae*) и *Mimallonoidea* (*Mimallonidae*) и даље чине тзв. бомбикоидни комплекс (Minet, 1994). У суперфамилију *Drepanoidea* спадају монфилетске *Drepanidae* и *Cimeliidae*. Детаљан увид у историјат молекуларних и морфолошких филогенетских анализа, као и концизан преглед еволуције у оквиру реда дају Митер и сарадници (2017).

Два покушаја да се ред *Lepidoptera* дихотомо подели немају филогенетски карактер, али су у литератури задржани због практичности, и то су подела на *Microlepidoptera* (мољци) и *Macrolepidoptera* (ноћни и дневни лептири), као и подела на *Rhopalocera* (дневни лептири) и *Heterocera* (мољци и ноћни лептири) (Dawidowicz и Kucharczyk, 2016).

### **1.1.3. Проученост, потребе за идентификацијом и значај гусеница**

С обзиром да насељавају скоро сва терестрична, ретко и акватична, а у изузетном случају рода *Hypocistota* и оба типа станишта, гусенице су одличан пример и субјекта и носиоца притисака природне селекције (Goldstein, 2017). Довољно интерспецијских конзервативних морфоеколошких карактера, а са друге стране и значајан проценат интраспецијског

полифенизма, могу бити добра потврда сложених интеракција са животном средином, те обећавајућ модел за еволуционе студије. С обзиром на то да лептири имају далеко најживописнију метаморфозу од свих холометаболичких инсеката, привукли су пажњу раних натуралиста и научних илустратора почевши од Марије Сибиле Мериан (1647-1717). Иако артистични, цртежи гусеница које се хране на својим хранитељкама док их напада паразитоид, лутки током метаморфозе и одраслих јединки које полажу јаја, били су први такве врсте у свету који је још увек, у највећој мери, прихватао теорију спонтаних генерација. Осим тога, за разлику од својих савременика, Мериан приказује трофичке интеракције и тиме утемељује холистички осврт на природу. Пасионирано прикупљајући гусенице ради израде цртежа, Мериан је бележила све релевантне податке, попут емпиријски доказане стриктне монофагије појединих врста, публикујући своје закључке о екологији у књигама попут *Raupen* из 1679. и *Metamorphosis Insectorum Surinamensis* из 1705. године.

Позиција гусеница у природним и урбаним екосистемима посебно је истакнута у последњих неколико деценија 20. века (Bomolo и сар., 2017). Подаци о њиховој биологији и екологији већином су објављивани у обимним водичима, приручницима или монографијама, због природе садржаја и техничких тешкоћа које су биле неизбежне због еколошког и специјског диверзитета (Pierce и Dankowitz, 2022). Пионирски рад у хетотаксији и техници сеталних мапа започео је Дајер, а наставио Петерсон (1949) кроз неколико теренских приручника и водича. Комплетну морфолошку елаборацију јувенилног стадијума даје Штер (1987), публикацијом у два тома која је укључивала номенклатуру распореда сета и дихотоми кључ за фамилије са 225 куплета. Ова публикација се и данас сматра ауторитативном у истраживачкој области (Marquis и сар., 2019). Други референтни радови (Kitching и Rowlands, 1984; 1987; McGuffin, 1998) допринели су предлагањем дијагностичких протокола и развојем терминологије која се користи у еколошким и компаративним морфолошким студијама гусеница. Новије публикације које обухватају неки вид идентификације (Ahola и Silwonen, 2010; Wagner и сар., 2011; Marquis и сар., 2019) представљају интегративни приступ скупу врста у одређеном географском подручју, пружајући тако разноврсној публици опште описе, кључеве за више таксономске категорије, као и детаљне протоколе за визуелну инспекцију. Међутим, садржај ових публикација ограничен је како регионално, тако и таксономски.

Иако су најпознатије форме штеточина ендифитофагне, то јест лисни минери и убушивачи који превасходно припадају Microlepidoptera, значајан проценат штеточина припада лептирима који се хране експонирано на лишћу, а динамика популације може довести до великих пољопривредних губитака. Поједине гусенице совица се хране близу тла, оштећујући притом коренов систем гајених култура. Шумарство и агрономија често се суочавају с проблемом масовних инвазија штеточина, стога се потрага за еколошки прихватљивим мерама ослања на продубљивање знања о гусеницама и њиховој екологији (Бао и сар., 2019).

Из аспекта медицине, ветерине и здравствене заштите, гусенице су изазивачи више кожных, имуних и респираторних патолошких стања која се збирно називају еруцизми. У литератури, термин лепидоптеризам превасходно се односи на реакције које изазивају адулти (једини потврђени антропоотоксични адулт је неотропски род *Hylesia* Hübner, а једини потврђени зоотоксични адулт је *Zygaena* (Fabricius)). Еруцизми се даље категоришу као директни (физички контакт са гусеницом) и индиректни (инхалација атмосферски ношених иритабилних агенаса пореклом од гусеница). Иритативне сете или токсична хемолимфа гусеница неких врста оштећују кожу и слузокожу човека и животиња, изазивајући локалну или системску реакцију, при чему најчешћа клиничка слика укључује контактни дерматитис, ларингитис и коњуктивитис и екстремно мучнине, повраћање и отицање структура горњег респираторног тракта. Механизми су специфични за врсту и подразумевају механичко и хемијско дејство. У Европи, иритације на сете и сколусе бележене су код следећих фамилија: Nymphalidae (*Nymphalis antiopa* (L.) и *Aglais io* (L.); дугачки сколуси), Notodontidae (*Thaumetopoea* spp.; сете), Erebidae (Lymantriinae: *Euproctis chrysorrhoea* (L.), *Lymantria dispar*, Arctiinae: *Arctia caja* (L.), *Hyphantria cunea* (Drury), *Spilosoma lutea* (Hufnagel), Lasiocampidae (*Eriogaster lanestris* (L.), *Lasiocampa quercus* (L.), *Macrothylacia rubi* (L.)) (Hössler, 2009). У ветерини, бележе се случајеви ентерогастритиса и гастроколитиса код коња, преживара или кућних љубимаца услед ингестије различитих гусеница.

Истраживања гусеница почивају на интерпретацији дескриптивних података, и на нивоу таксона и на нивоу узорка. Њихова огромна морфолошка и еколошка разноврсност чини их извршним субјектима за развијање нових мониторинг система и извођење специфичних

индикатора са конзервационе стране, расветљења стратегија у тритрофичким интеракцијама са еколошко-еволутивне стране, и усавршавање метода идентификације, укључујући припремну обраду при дубоком учењу. Многе врсте у склопу егзофитофагне групе су лако препознатљиве и традиционални су модели у биолошким студијама, али још увек постоји значајан недостатак свеобухватних еколошких података и детаљних животних историја. До сада најсвеобухватнији преглед улоге у екосистему, али и детаљан увид у морфологију, физиологију, генетику, механизме адаптација и стратегија, посвећен искључиво гусеницама, дају Маркис и Коптур (2022).

## **1.2. Идентификација као таксономски систем**

Бројне семантичке дебате експерата на тему појмова таксономија и класификација у оквиру биолошке систематике (па и самог термина систематика) никада нису достигле консензус, а аутори концептуалне литературе (Schuh, 2000) их понекад, вероватно интуитивно, поистовећују (Ohl, 2007). Ипак, већина аутора тежи да ограничи таксономију на таксономске информативне системе (класификација, номенклатура, описивање, идентификација и развој метода идентификације). Таксономија, есенцијални део биолошке систематике, има за задатак да уведе методичност, ред и униформност у структурирање класификационих шема. С тим у складу, систематика би требало да укључи, поред наведеног, филогенетске анализе и еволутивне процесе уопште. Поједностављено, идентификација у овом смислу је тек први корак, процес у коме се посматраном организму одређује припадност познатом таксону, или се приступа успостављању и описивању новог. Самим тим, представља такозвану „практичну“ страну таксономије, те основу за разумевање биодиверзитета у контексту било које научне дисциплине. Идентификација је истовремено подразумевана експертиза таксонома и опипљив резултат таксономије, и сама по себи не може бити носилац научне вредности или срж области. Методе у таксономији умногоме зависе од групе проучаваних организама, али је уобичајено дискутовати о традиционалној морфолошкој школи са једне, и молекуларним методама са друге стране. Према актуелним подацима, морфолошки приступ користи око 60% таксонома, а молекуларне методе и иновативне или интегративне приступе по око 20% (Hochkirch и сар. 2022). Још један начин делимитације поља рада односи се на алфа, бета и гама таксономију. У домен алфа таксономије спадају препознавање и опис врста, док се бета таксономија бави

класификацијом и филогенијом. Гама таксономија бави се подврстама, осталим облицима интраспецијске варијабилности, као и таксономијом у контексту еволуције (Jones, 2012).

### 1.2.1. Проблем дефинисања концепта врсте

Према Вилкинсу, постоји  $n+1$  концепата врсте у простору са  $n$  биолога (Wilkins, 2009). Појам врсте се може посматрати из више аспеката, при чему је најрадикалнији, тачан, и са научне тачке гледишта потпуно бескористан, филозофски аспект који каже да врсте заправо не постоје. Потреба за концептом врсте долази из чињенице да је велику већину организама који настајују Планету заправо могуће јасно одвојити, као и од тога да је ово одвајање предуслов за било какво бављење науком. Човек је, још од XVI века, интуитивно и без преиспитивања знао шта је врста, исто као што интуитивно зна шта је живот (Seifert, 2020).

Иако многи аутори (видети Mayden, 1997) наводе преко двадесет различитих концепата, издваја се седам основних: агамо-врста (асексуални организми), биолошка врста (репродуктивно изоловани организми са сексуалном репродукцијом), еко-врста (организми који заузимају исту еколошку нишу), еволуциона врста (еволуција линија, врста у контексту времена), генетичка врста (заједнички генски фонд), морфо-врста (врста одређена формом и фенотипом), и таксономска врста („*whatever a taxonomist calls a species*“) (Wilkins, 2017). Остали типови представљају комбинацију неких од наведених, попут филогенетског концепта врсте који се заснива на реципрочној монофилији (De Queiroz, 2005). Најшире коришћен је биолошки концепт, а савремена таксономска пракса укључује молекуларне методе као аутоматски корак при описивању нове врсте. Са друге стране, сваки вид ин ситу идентификације базира се искључиво на фенетичком концепту. У идеалном исходу таксономске ревизије, таксономска врста је биолошка врста.

Дискурс о ДНК таксономији који још увек траје, покренут је 2003. године, Herbert-овим публикацијама које предлажу употребу ДНК секвенци митохондријалног цитохром-оксидаза I гена као својеврсних бар кодова (COI профил) за креирање глобалног, микрогеномског биоидентификационог система (Herbert и сар., 2003; 2004). Идентификација на основу микрогеномике је већ била заступљена у гранама код којих је морфолошка таксономија од мале вредности (нпр. *femA* секвенце нуклеотида код бактерија, Namels и сар., 2001), али и за више организме (парцијално секвенционирање COI гена код

форензички значајних врста из реда Diptera, Vincent и сар., 2000). Публикације су изазвале велику контроверзу међу таксономима, а дискусије су вођене и формално. Док је Хербертов предлог још увек био *in press* у часопису *Proceedings of the Royal Society*, часопис *Trends in Ecology and Evolution* објављује свој фебруарски број, где се од укупно 14 публикација свих типова, једна бави отвореном подршком Хербертовом приступу (Tautz и сар., 2003), две експлицитно истичу недостатке (Seberg и сар., 2003; ), а једна (Mallet и Willmott, 2003) заузима неутралан, али опрезан став. Наредне године, Јанзен и Херберт склапају партнерство које омогућава наставак пројекта (2004). Данас се метода константно усавршава у погледу повећања успешности амплификације, стања у ком узорак треба чувати, прилагођавања прајмера према групи организама, удела COI-like секвенци и слично, а успешност зависи од групе, технологије и времена које је протекло од специјације. Целовит преглед методе, али и друштвено-институционални контекст подршке и критика дају Пакер и сарадници (2009), Пирес и Маринони (2010) као и Парк и Полин (2022).

### **1.2.2. Концепт таксономске препреке: „the taxonomic impediment”**

Таксономске препреке су назив за глобалну појаву недостатка таксономских ресурса, почевши од све мањег броја обучених таксонома, недовољне заступљености таксономских пројеката, како у националним тако и међународним шемама, али пре свега потешкоће да се стопа бележења, описивања и складиштења биолошког материјала усклади са убрзаним ишчезавањем таксона. Овакав застој је, према Енгелу и сарадницима. (2021), резултат вишедеценијског потцењивања дисциплине од стране научне заједнице. Развојем молекуларних метода, технолошких иновација и све присутније вештачке интелигенције, чини се да је потреба за уско специјализованим стручњацима за одређене таксономске групе значајно смањена. Цао и сарадници. (2016) наводе да недостатак средстава и релативно мале шансе да се дугогодишњи, исцрпни таксономски подухват објави у довољно престижном медијуму, и то у време екстрема попут научне хиперпродукције, могу водити једино у интегративну таксономију, која уводи молекуларне методе као обавезан корак у таксономском третману или ревизији, или/и прихвата нове приступе обраде морфолошких и молекуларних података, попут неуралних мрежа у оквиру вештачке интелигенције (Yang и сар., 2022).

Шарки и сарадници (2021) износе предлог минималистичких таксономских „дијагноза” који су искористили за описивање нових врста паразитских оса са Костарике кластеровањем COI баркодова. Енгел и сарадници (2021) посебно истичу проблеме које носи ова савремена тенденција да детаљне и прецизне таксономске третмане замени секвенцом једног гена или фотографијама уместо *voucher* јединки. Велики број аутора за таксономску препреку искључиво криви хронични недостатак таксонома и став научне заједнице који таксономију предоминантно сматра застарелом, а не недостатак метода, што представља један од омиљених наратива уводних поглавља свих „иновативних приступа.” Позивајући се на чињеницу да су молекуларна филогенија и глобалне базе података корисни алати, али не и замена за целовити таксономски приступ, аутори наглашавају да ће тренутни притисак продукције изазвати контраефекат. Наиме, савремена научна продукција системски избегава теренски рад и обраду збирки и колекција (колоквијално и опште прихваћено – *bench work* или рад са клупе), а фаворизује „револуционарни” приступе без претходне провере њихове реалне употребљивости (Vinarski, 2020).

### 1.3 Статус ентомолошке таксономске експертизе у Европи

У студији коју је наложила Европска Унија, а у чијој су изради учествовали IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), SSC (*Special Service Commission*), CETAF (*Consortium of European Taxonomic Facilities*) и независна академска издавачка кућа Pensoft Publishers, обрађен је тренутни статус таксономске експертизе на нивоу Европске Уније, са циљем да се скрене пажња на потребу за стратешким финансирањем у области јачања таксономских капацитета, као и повећања њиховог удела у формирању националне легислативе. Публикација је део серије посвећене Стратегији за биодиверзитет Европске Уније (*EU Biodiversity Strategy 2030*), при чему су већ издате значајне компилације података и процена угрожености за поједине групе (*The European Red List of Butterflies*, Van Swaay и сар., 2010; *The European Red List of Bees*, Nieto и сар., 2014).

Будући да је описано око милион врста инсеката на свету, а претпоставља се да их је апроксимативно пет пута више, наглашено је да је најпре неопходно мапирати највеће празнине у познавању и лоцирати таксономске групе чије услуге екосистему завређују формирање националних тимова. Највећи део капацитета налази се на универзитетима и у



оквиру природњачких музеја, а с обзиром на то да кустоси и куратори збирки нису у непосредном контакту са младима, трансфер знања и обука новог кадра је одговорност универзитетске академске заједнице. Јединствен приступ процени „угрожености,” то јест опадања таксономског капацитета, у поменутој студији огледао се у изједначавању IUCN категорија угрожености врста са статусом таксономског капацитета на европском нивоу и нивоу Европске Уније (Слика 2).

| IUCN Red List of Threatened Species™ | European Red List of Taxonomists |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Extinct (EX)                         | Eroded Capacity (ER)             |
| Critically Endangered (CR)           | Critically Low Capacity (CL)     |
| Endangered (EN)                      | Inadequate Capacity (IN)         |
| Vulnerable (VU)                      | Poor Capacity (PO)               |
| Near Threatened (NT)                 | Moderate Capacity (MO)           |
| Least Concern (LC)                   | Adequate Capacity (AD)           |

**Слика 2.** Еквиваленција IUCN категорија угрожености врста и категорија угрожености таксономске експертизе; преузето из Хохкирш и сарадници (2022)

Идентификовани су таксономски радови из друге деценије 21. века, а аутори повезани са одговарајућим инсекатским редом или већом фамилијом. Преко 1.500 аутора одговорило је на анкету која се тичала пола, година, радног статуса, области експертизе, методологије рада, искуства и броја менторстава у раду са млађим сарадницима. Према резултатима, таксономски капацитет сматра се неповољним за 30-40% инсекатских редова. Изузевши редове са мало европских представника попут Embioptera, неадекватни капацитет нарочито је изражен за редове Blattodea, Psocodea и Thysanoptera.

Што се тиче држава, најбоље пласиране су Чешка и Немачка, док су се на дну листе нашле државе са, коинцидентно, најмањим бруто националним дохотком: Албанија, Азербејџан и Белорусија. Велики инсекатски редови, Diptera, Coleoptera и финално, Lepidoptera, оцењени су ниском оценом како на нивоу Европе, тако и на нивоу Европске Уније, док су Hymenoptera, у зависности од фамилије, генерално оцењене средњим оценама. Анализа

усаглашености (ГАП анализа) показује да без обзира на харизматичност и популарност Lepidoptera у науци и друштву, број врста у оквиру ноћних лептира и мољаца далеко превазилази број дневних лептира и самим тим опструира статус таксономског капацитета за овај ред, који је неадекватан нарочито за две највеће фамилије у оквиру реда: Noctuidae и Geometridae.

Профилисање европског таксономског капацитета открило је да читава половина регистрованих експерата долази из Немачке, Шпаније, Италије, Русије, Пољске и Велике Британије. Доминантан пол је мушки (преко 80%), а удео истраживача млађих од 40 година је 6%, што генерално одговара чињеници да је за стицање експертизе за неки од редова потребно дугогодишње искуство. Забрињавајућа је чињеница да уплив нових таксонома и престанак рада постојећих нису усаглашени. 25% активних аутора таксономских радова су пензионисани научни радници или волонтери. Преко 60% активних таксонома запослених на универзитетима ангажовано је у настави, али нема података о томе колики удео курсева је заправо таксономске природе. Највећи број таксономски обучених младих истраживача ради у оквиру редова индикатора, Ephemeroptera и Plecoptera. Сматра се да ће се овај удео повећати за редове полинатора, услед растућег интересовања за тему, али се предвиђа и да ће се због концепта и таргет врста актуелне Европске шеме мониторинга полинатора запоставити неке већ „непопуларне” групе попут ноћних лептира и мољаца (Burns и сар., 2021).

#### **1.4. Идентификација у осталим гранама науке и привреде**

Традиционално, идентификацију врше експерти за одређену групу, чланови академске заједнице или куратори музејских збирки, а такође и лица која обављају стручне послове везане за агрономију, шумарство, медицинску и ветеринарску праксу. У последње време, све је већи аматерски допринос хобиста и грађанске науке, која коинцидира са актуелном „ренесансом“ боравка у природи и екотуризма (Ganzevoort и сар., 2017). Идентификација се у том случају врши емпиријски услед доброг познавања локалне флоре и фауне (ентузијастички и љубитељи природе, гљивари, сакупљачи лековитог биља и слично) или прослеђивањем материјала експерту (Нооукаас и сар., 2019). Све чешће, опсежне еколошке студије укључују базе података о биодиверзитету, при чему се највећи број њих ослања на консултанте за

сваку групу понаособ, а све чешће и на моделе дубоког учења (*iNaturalist*, *PlantNet*, *Seek*, *Google Lens*) које може да прати хумана верификација. На овај начин стиче се преко потребна описмењеност о врстама (*species literacy*) коју многи аутори из области конзервационе биологије сматрају битним предусловом за системско деловање у митигацији губитка биодиверзитета. Истовремено, ширење знања и свест да се унети подаци користе у научне сврхе дају корисницима осећај припадности заједници. Са друге стране, трансформисање лаичког и домородачког знања у релевантне научне податке на локалном нивоу неизоставна је компонента у рестаурационој екологији, етнофармакологији, мониторингу инвазивних врста или праћењу ефеката климатских промена (Saito, 2013).

#### 1.4.1. Паратаксономија

Бројни типови истраживања захтевају инвентар биотичког фактора као почетни корак. У мрежи термина и метода који су оригинално проистекли из таксономије, јавља се и паратаксономија, систем у коме оперативне јединице нису (нужно) таксономске врсте, већ морфолошки препознатљиви ентитети. Најранија употреба паратаксономских система је у палеонтолошким публикацијама, где није било могуће тврдити таксономску припадност фосила због малог узорка и географских разлика (Mikhailov и сар., 1996). Термин паратаксон се употребљавао и као привремена, провизорна позиција ентитета, док се таксономска ревизија не приведе крају, као боља опција од безразложног уметања у постојећи, „прави” таксон (Taylor, 1964).

Паратаксономија је била заступљена нарочито током раних 2000-их година у еколошким истраживањима, а сам концепт и исходи паратаксономског метода су подложни тумачењу аутора, те њихова прецизна систематизација није могућа. У најједноставнијем смислу, паратаксон је научник из области која није таксономија, или стручно лице, или неко ко се бави грађанском науком, ко је, упркос недостатку формалне таксономске обуке, способан да препозна морфоврсте голим оком. Морфоврсте се у таксономији изједначавају са морфотиповима, препознатљивим морфолошким јединицама RMU (*recognizable morphological unit*), препознатљивим таксономским јединицама RTU (*recognizable taxonomic unit* или *recognized taxonomic unit*), као и паратаксономским јединицама PU (*parataxonomic unit*). У суштини, лице које обрађује узорак, разврстач или сортер прелиминарно групише јединке на основу очигледних морфолошких разлика (Abadie и сар.,

2008), а без коришћења таксономских алата за идентификацију. Паратаксономија је требало да врши тријажу узорка, отклањајући честе и таксономски „незанимљиве” врсте, или пак групишући узорак у целине које ће потом експерт таксоном обрађивати. Свака јединка се обележава са, на пример, PU1, PU3... PUn, а могуће је прецизније обележавање на основу неког карактера или више таксономске категорије (на пример, Geometridae1; GeometridaeGrey1 и слично), у зависности од тога да ли је циљ олакшати таксоному или проучавати неку релацију која је везана за, на пример, морфологију. На овај начин, убрзало би се пописивање фауне или флоре одређеног подручја, а и описивање нових врста. Паратаксономија је и оперативна метода, онда када је неопходно да се узорак процени брзо, под притиском, или када ниво таксономске идентификације није потребан (на пример, оверлап и овертурн еколошке студије) (Krell, 2004). Успех паратаксономске у односу на таксономску идентификацију зависи од групе организама, разлике јувенилних и адулtnих јединки, стадијума на основу којег је таксономија примарно извршена, полног диморфизма, интраспецијске варијабилности, конвергентне еволуције и других фактора (Derraik и сар., 2002).

Иако се термин често приписује Јанзену, он га је само проширио у оквиру чувеног Коста Рика Гуанакасте програма, обучавајући мрежу локалних паратаксонома: неформалних таксономских техничара који се разумеју у локалну флору и фауну, често и до нивоа врсте, имају теренске и препаративне вештине, у стању су да идентификују веће промене у екосистему, активно комуницирају са научном заједницом, шире свест и знање о биодиверзитету (Janzen, 2000). Захваљујући њиховом теренском раду и његовом ослобођеном „*bench work*” времену, пројекат је омогућио описивање око 10.000 врста (Janzen и сар., 2020).

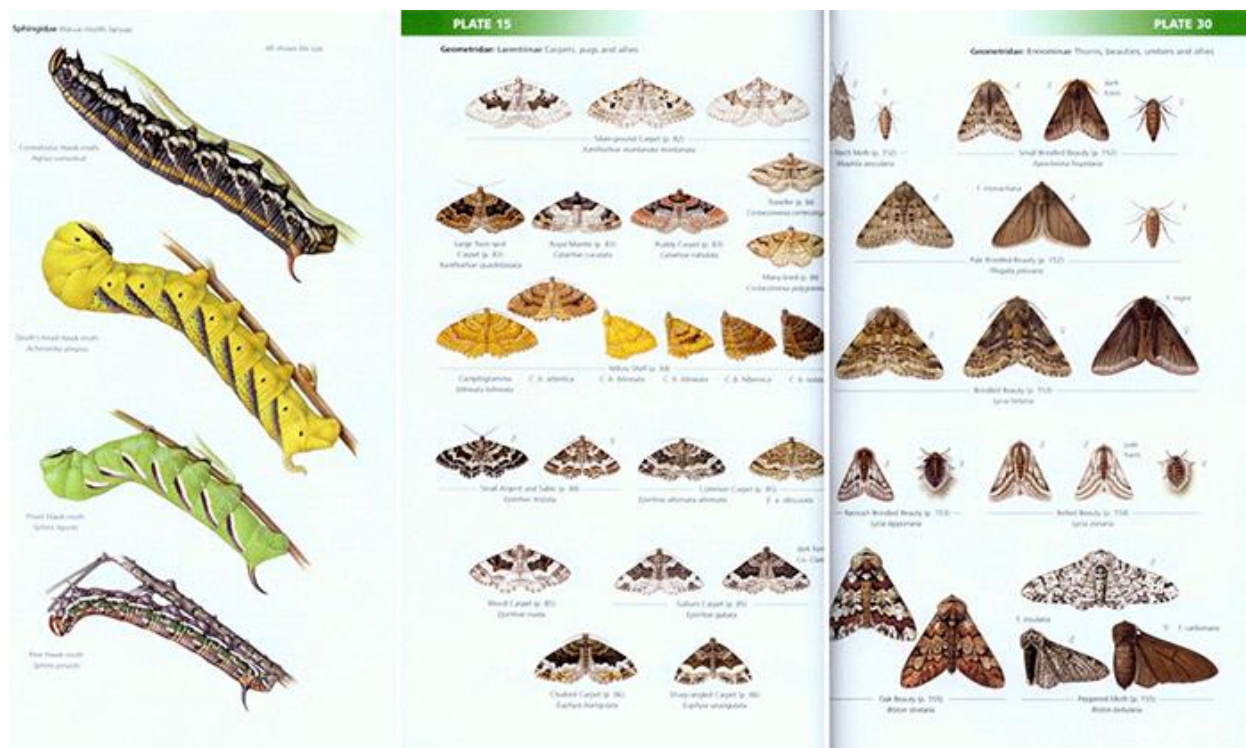
## **1.5. Традиционални алати за идентификацију**

У контексту ове дисертације, критеријум за раздвајање традиционалних од савремених алата за детерминацију биће медијум коришћења, при чему су традиционална сва средства која се могу штампати, а савремена сва доступна у оквиру компјутерских софтвера, *web* или мобилних апликација, без обзира на реални степен интерактивности.

### **1.5.1. Природна историја и приручници**

Узимајући у обзир да је у свету описано око два милиона врста, као и чињеницу да су поједине групе (попут инсеката) изузетно бројне, биолози су увек настојали да постојеће знање трансформишу у средства и алате који ће, поред тога што систематски воде до таксономске афилијације, сачувати и ускладиштити податке о датим врстама. Најранији тип оваквих референтних радова су тематски теренски приручници, и данас веома популарни нарочито за харизматичне организме који имају дугу историју посматрања (дневни лептири, птице), или су пак корисне попут лековитог биља или гљива. Веома често, приручници су прилагођени како за истраживаче тако и за ентузијасте, па је посебна пажња придата објашњењу терминологије, илустрацијама, параграфима са запажањима, повезивању са стаништем и сезоном. Приручници и водичи су географски ограничени и обрађују диверзитет одређеног подручја, те поред практичне, имају и велику образовну улогу. Посебно се истичу енглеска, француска и северноамеричка школа приручника, које негују донекле различит концепт. Заједничко за све приручнике и водиче јесте да су компактни, концизнији распоред илустрација или фотографија такав да омогући ефикасно поређење (Слика 3). Првим теренским приручником сматра се књига *Birds Through an Opera Glass*, издата 1889. године аутора Флоренс Мериам. Револуционарност ове орнитолошке публикације била је у томе што суптилно преусмерава пажњу са лова на посматрање, што се сматра и спонтаним, али значајним добитком са конзервационе стране, као и у томе што је изазвала нагли пораст интересовања за оно што се данас у орнитологији назива мониторинг грађанске науке. Савременији теренски приручници и водичи настали почетком двадесетог века пратили су формат са три одељка (кључ, опис врсте, индекс врсте). Детаљну историју структуре приручника дају Стивенсон и сар. (2003), Шарф (2009), Легет и Хиршов (2011). Тематски, приручник се оријентише на групу таксона или на специфично станиште, а количина научних таксономских информација веома варира. Холт (2016) коментарише ауторе теренских приручника готово као „неопеване хероје” великих еколошких и еволуционих подухвата, истичући да се у процесу генерацијског трансфера знања запамте једино имена оних који су то знање обликовали у научни рад или монографију. Из овог угла, „органско” стварање новог таксонома започиње управо сусретом са врстама у њиховом природном окружењу, где је у недостатку ментора једини носилац формалне обуке - приручник. Вероватно најпознатија серија приручника за почетнике је *Peterson's Field Guide* у више издања и едиција: *A Field Guide to the Birds* (Peterson, 1934), *A Field Guide to Western*

*Birds* (Peterson, 1941), *A Field Guide to Wildflowers: Northeastern and North-central North America* (Peterson и McKenny, 1955) и други. За подручје Европе, пандан је серија *Collins Field Guides: Collins Bird Guide* (Mullarney и сар., 1999), *Collins Butterfly Guide* (Tolman, 2008) и други.



**Слика 3.** Пример водича за идентификацију гусеница и лептира; преузето из Waring и Townsend (2017).

Без обзира на широку намену, обим тиража приручника зависи од атрактивности његове географске и таксономске покривености. Поједина издања је могуће набавити само преко библиотека са разрађеном међународном сарадњом, а многи у литератури цењени приручници штампани су само на локалном нивоу (Farnsworth и сар., 2013).

### 1.5.2 Идентификациони кључеви

Иако се првим идентификационим кључем у ужем смислу (*sensu stricto*) сматра Ламарков ботанички кључ у издању *Flora Française* (1778), многи познаваоци сматрају да претече датирају још из раног 17. века, а тему детаљно обрађује Грифинг (2011). Појам идентификациони кључ подразумева структурирани приказ информација, распоређених

тако да корисника, кроз серију избора, воде до идентификације посматране јединке (ентитет или таксон). Особине се у идентификационим кључевима називају карактери, а варијабилности тих особина стања карактера. Теореме и логику и прорачуне вероватноће за скоро све типове идентификационих кључева даје Озборн (1963), а преглед структуре и грађе Панкхурст (1978). Природа карактера може бити квалитативна или квантитативна, а сам скуп врста може (синоптички кључеви) и не мора да одражава таксономску сродност, већ заједничко станиште, форму и друго (дијагностички кључеви).

Према редоследу пролажења кроз кораке, или прецизније, тачке „уласка” у кључ, традиционални кључеви могу бити *single-access*, *multi-access/random/free access* или *multi-entry*. *Single-access* (секвенцијални, аналитички) су кључеви са једним приступом, што значи да је редослед корака фиксиран од стране аутора. Кораци су осмишљени тако да сваки одговор недвосмислено води у ужу групу исхода. Састоје се од куплета, то јест две контрастне изјаве, па дихотоми кључ функционише по принципу стабла одлучивања. Према форми, дихотоми кључеви могу бити кључеви са индентацијом, паралелни (кључ са заградама) и нумерисани (серијски), или комбинација неких од ових типова. Кључеви са индентацијом су погодни за мали број таксона и најчешће придодати дескриптивним секцијама у концептуалној литератури. Примери паралелних кључева су обимнија флористичка дела. Нумерисани кључеви су најчешћи у зоологији, а број који одговара изјави води у наредни куплет, све док се не дође до решења. Карактери морају бити дијагностички. Фундаментално, *single-access* кључеви почивају на бинарној логици (Murgúia-Romero и сар., 2021). Услед варијабилности, бинарну логику је потребно проширити Буловом логиком, то јест, Буловим аргументима *и*, *или*, *ни*. Аутор кључа се одлучује за логичку конструкцију водећи рачуна о свим могућим исходима и партиципи исхода (у идеалним условима, партиционисање исхода је равномерно јер се кључеви ретко заснивају на екстремним дијагностичким карактерима). Овакви кључеви захтевају и стабилност карактера, а једина могућност да се обраде и варијабилне врсте или рецимо, сви стадијуми или ступњеви, јесте третирали их као засебне ентитете, што изискује додатну обраду, паратаксономско профилисање. Предност *single-access* кључева је што се за сваки таксон обрађују само они карактери који су потребни за његову идентификацију. То је истовремено и недостатак, јер аутор таксоном не складишти и не преноси знање о



| Dichotomous Key to the Larvae of 20 Species of Important Noctuid Pests                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Adfrontal sutures reaching epicranial suture near vertical triangle (Fig. 3 A) .....                                                                                                                                                                                                                     | 2  |
| Adfrontal sutures reaching epicranial suture well below vertical triangle (Fig. 3 B) .....                                                                                                                                                                                                                  | 7  |
| 2. Cuticle (skin) smooth; dorsal yellow spot on each abdominal segment, anterior abdominal segments with yellow spots most conspicuous; center of spiracle black; conspicuous submedian arc on head capsule (Fig. 2 D) .....                                                                                | 2  |
| ..... Variegated cutworm, <i>Peridroma saucia</i> (Hübner) (Plate I, Fig. A)                                                                                                                                                                                                                                |    |
| Cuticle (skin) granulose (Fig. 3 C-E) .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3  |
| 3. Cuticular granules coarse, isolated, strongly convex or bluntly conical with smaller granules irregularly interspersed among them (Fig. 3 C-D) .....                                                                                                                                                     | 4  |
| Cuticular granules small, flat to slightly convex, and almost contiguous—like stones in a wall (Fig. 3 E) ..                                                                                                                                                                                                | 6  |
| 4. Cuticular granules bluntly conical, retrorse (Fig. 3 D); setigerous tubercle 1 of abdominal segments about half the size of setigerous tubercle 2 (Fig. 4 B); setigerous tubercle 4 as large as or larger than spiracle ..                                                                               | 5  |
| ..... Granulate cutworm, <i>Feltia subterranea</i> (F.) (Plate I, Fig. C)                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| Cuticular granules strongly convex, not retrorse (Fig. 3 C) .....                                                                                                                                                                                                                                           | 5  |
| 5. Setigerous tubercles 1, 2, and 3 about same size (Fig. 4 A) .....                                                                                                                                                                                                                                        | 5  |
| ..... Dingy cutworm, <i>Feltia ducei</i> Walker (Plate I, Fig. E)                                                                                                                                                                                                                                           |    |
| Setigerous tubercle 1 about one-third the size of setigerous tubercle 2 (Fig. 4 C) .....                                                                                                                                                                                                                    | 6  |
| ..... Black cutworm, <i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel) (Plate I, Fig. G)                                                                                                                                                                                                                                    |    |
| 6. Setigerous tubercle 1 of abdominal segments about half the size of setigerous tubercle 2 (Fig. 4 B); dorsum tinged with rusty red-brown .....                                                                                                                                                            | 6  |
| ..... Claybacked cutworm, <i>Agrotis gladiaria</i> Morrison (Plate II, Fig. A)                                                                                                                                                                                                                              |    |
| Setigerous tubercle 1 of abdominal segments about equal in size to setigerous tubercle 2 (Fig. 4 A); general color gray laterally to brown dorsally .....                                                                                                                                                   | 7  |
| ..... Palesided cutworm, <i>Agrotis malefida</i> Guenée (Plate II, Fig. C)                                                                                                                                                                                                                                  |    |
| 7. Cuticle conspicuously spinose (Fig. 3 F) .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 8  |
| Cuticle appears to be smooth* .....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9  |
| 8. Tubercles (chalazas) 1 and 2 of abdominal segments 1, 2, and 8 bearing spinules to about half the distance to apex (Fig. 4 E); mandible with molar area (Fig. 5 A) .....                                                                                                                                 | 9  |
| ..... Tobacco budworm, <i>Heliothis virescens</i> (F.) (Plate II, Fig. E)                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| Tubercles (chalazas) 1 and 2 of abdominal segments 1, 2, and 8 without spinules, but if present never reaching one-fourth the distance to apex (Fig. 4 D); mandible without molar area (Fig. 5 B) .....                                                                                                     | 10 |
| ..... Cotton bollworm, <i>Heliothis zea</i> (Boddie) (Plate II, Fig. G)                                                                                                                                                                                                                                     |    |
| 9. Pinacula (tubercles) on head capsule and body conspicuously large and black with large setae (Fig. 5 D); body slender with pattern of longitudinal white stripes, prolegs on third abdominal segment about one-third the size of prolegs on fourth, fifth, and sixth abdominal segments (Fig. 5 E) ..... | 10 |
| ..... Cotton leafworm, <i>Alabama argillacea</i> (Hübner) (Plate III, Fig. A)                                                                                                                                                                                                                               |    |
| Pinacula (tubercles) on head capsule not conspicuously large or black; prolegs on third abdominal segment absent or if present, not reduced (Fig. 5 F) .....                                                                                                                                                | 10 |
| 10. With three pair of abdominal prolegs; body a uniform green with irregular longitudinal white stripes (last instar without white stripes) .....                                                                                                                                                          | 11 |
| ..... Green cloverworm, <i>Plathypena scabra</i> (F.) (Plate III, Fig. C)                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| With two or four pair of abdominal prolegs .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 11 |
| 11. With only two pair of abdominal prolegs .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 12 |
| With four pair of abdominal prolegs .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12 |
| 12. Body slender with seven definite longitudinal white stripes; conspicuous medium-sized setigerous tubercles; spiracles light brown with dark rim inside pale spiracular line; epicranium with faint reticulations; venter unmarked green to brown .....                                                  | 12 |
| ..... Velvetbean caterpillar, <i>Anticarsia gemmatilis</i> Hübner (Plate III, Fig. E)                                                                                                                                                                                                                       |    |

Слика 4. Пример дихотоног кључа за гусенице штеточине пољопривредних култура (преузето из Оливер, 1981)

Употребна вредност дихотомих кључева за веома сличне организме, попут гусеница штеточина наведених на Слици 4, може да буде изузетно велика, уколико је кључ такав да не обухвата варијабилне карактере, да је број исхода довољно мали да кључ буде компактан, али и да број исхода није толико мали да би логичнији приступ био директна компарација.



Неекспертски дихотоми кључеви могу да буду намењени почетницима или ентузијастима (и тад најчешће покривају више таксономске категорије), или стручни (скуп морфолошки сличних врста које заузимају исту еколошку нишу од интереса, као што су паразити, штеточине, вектори болести и друго).

Дијагностичка таблица или матрица (*matrix*) у којој су ентитети приказани у редовима, а карактери и њихова могућа стања у колонама, може да се сматра идентификационим кључем *per se*, и тада се назива табеларни кључ. Појам политоми идентификациони кључ је, судећи по литератури, подложен тумачењу. Изворно, треба да означава комплекснију варијанту дихотомиог кључа који има више од две Булове изјаве (Hagedorn и сар., 2010), али је у пракси приметно да су политомим кључевима називане кодиране дијагностичке таблице (Decraemer и Goubault, 2000; Lamberti и сар., 2004; Subbotin и сар., 2021). Матрице и сви кључеви који се базирају на матрицама подразумевају да се за сваки таксон обрадио сваки карактер.

**Table 1.** Polytomous key for *Trichodoridae* males (males unknown for *Paratrichodorus acutus*, *P. anthurii*, *P. renifer*, *Allotrichodorus westindicus*, and *Monotrichodorus muliebris*).

| Group 1                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
|---------------------------|-------|-------|---|-----|----|----|----|--------|--------|----------|-----|--------|----|-----|----|---------|
| <i>P. nanus</i>           | 1     | 0     | 1 | 100 | 11 | 22 | 0  | 11     | 44     | 11       | 100 | 22     | 12 | 270 | 22 | 120     |
| <i>P. minor</i>           | 1     | 0     | 1 | 100 | 11 | 32 | 0  | 11     | 44 (3) | 22 (1)   | 140 | 33     | 22 | 270 | 35 | 800 (1) |
| Group 2                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>P. delhiensis</i>      | 2     | 0     | 1 | 100 | 11 | 11 | 0  | 11     | 33     | 11       | 120 | 22     | 22 | 170 |    | 500     |
| <i>P. allius</i>          | 2     | 0     | 1 | 100 | 22 | 11 | 0  | 22     | 23     | 22       | 100 | 33     | 22 | 270 | 22 | 34271   |
| <i>P. allenii</i>         | 2     | 0     | 1 | 200 | 22 | 22 | 0  | 22     | 22     | 22       | 100 | 22     | 22 | 270 | 22 | 200     |
| <i>P. lobatus</i>         | 2 (3) | 0     | 1 | 213 | 22 | 23 | 0  | 22     | 33     | 22       | 210 | 22     | 22 | 270 | 55 | 260     |
| <i>P. acaudatus</i>       | 2     | 0     | 1 | 200 | 33 | 33 | 0  | 22     | 11     | 22       | 104 | 22     | 22 | 270 | 22 | 500     |
| Group 3                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>P. porosus</i>         | 2     | 1     | 1 | 120 | 22 | 11 | 0  | 22     | 22     | 33       | 100 | 32     | 22 | 270 | 11 | 62354   |
| Group 4                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>P. rhodesiensis</i>    | 3     | 0 (1) | 1 | 100 | 21 | 22 | 0  | 22     | 33     | 22       | 200 | 22     | 22 | 270 | 22 | 200     |
| <i>P. teres</i>           | 3     | 0     | 1 | 213 | 23 | 21 | 0  | 22     | 33     | 22 (34)  | 100 | 33     | 22 | 270 | 55 | 123     |
| <i>A. brasiliensis</i>    | 3     | 0     | 1 | 120 | 32 | 32 | 0  | 23     | 22     | 33 (1)   | 210 | 33     | 22 | 270 | 66 | 400     |
| <i>A. guttatus</i>        | 3     | 0     | 1 | 210 | 33 | 33 | 0  | 33     | 22     | 33       | 200 | 44     | 23 | 270 | 66 | 400     |
| Group 5                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>T. obscurus</i>        | 3     | 0     | 2 | 231 | 33 | 23 | 0  | 11 (2) | 23     | 11       | 200 | 32     | 22 | 270 | 66 | 300     |
| Group 6                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>P. weischeri</i>       | 3 (4) | 1 (0) | 1 | 120 | 22 | 11 | 0  | 22     | 22     | 33       | 200 | 22     | 77 | 170 | 11 | 100     |
| <i>P. queenslandensis</i> | 3     | 1     | 1 | 102 | 23 | 12 | 0  | 22 (1) | 22     | 13       | 120 | 22     | 11 | 270 | 11 | 600     |
| <i>P. anemones</i>        | 3     | 1     | 1 | 200 | 22 | 22 | 0  | 22     | 22     | 22       | 100 | 33     | 77 | 270 | 11 | 100     |
| <i>P. pachydermus</i>     | 3     | 1     | 1 | 210 | 23 | 22 | 0  | 22     | 33 (2) | 33 (214) | 200 | 33     | 22 | 270 | 11 | 130     |
| <i>P. sacchari</i>        | 3     | 1     | 1 | 100 | 21 | 22 | 0  | 22     | 22     | 44       | 120 | 22     | 22 | 270 | 11 | 200     |
| <i>P. catharinae</i>      | 3     | 1     | 1 | 120 | 22 | 22 | 0  | 22     | 11     | 23       | 100 | 22     | 22 | 270 | 22 | 203     |
| <i>P. meyeri</i>          | 3     | 1 (0) | 1 | 120 | 22 | 22 | 0  | 22     | 33     | 44       | 100 | 23     | 22 | 270 | 22 | 200     |
| <i>P. tunisiensis</i>     | 3     | 1     | 1 | 200 | 22 | 22 | 0  | 22     | 22     | 22       | 400 | 23     | 22 | 270 | 22 | 120     |
| <i>A. loofi</i>           | 3     | 1     | 1 | 100 | 33 | 22 | 0  | 23     | 22     | 33       | 200 | 33     | 22 | 261 | 66 | 400     |
| <i>P. hispanus</i>        | 3     | 1     | 1 | 231 | 23 | 23 | 0  | 22     | 33 (2) | 33       | 200 | 33     | 77 | 270 | 11 | 100     |
| <i>A. campanulatus</i>    | 3     | 1     | 1 | 120 | 23 | 23 | 0  | 23     | 22     | 13       | 210 | 44     | 23 | 270 | 66 | 400     |
| <i>A. sharmai</i>         | 3     | 1     | 1 | 210 | 33 | 32 | 0  | 23     | 22     | 33       | 200 | 33     | 22 | 170 | 66 | 400     |
| <i>A. longispiculis</i>   | 3     | 1     | 1 | 100 | 22 | 33 | 0  | 33     | 22     | 33 (4)   | 400 | 33     | 22 | 270 | 66 | 400     |
| <i>P. atlanticus</i>      | 3     | 1     | 1 | 320 | 33 | 43 | 0  | 22     | 33     | 33 (1)   | 100 | 22     | 11 | 170 | 11 | 300     |
| <i>P. grandis</i>         | 3     | 1     | 1 | 230 | 33 | 21 | 11 | 22 (1) | 22     | 33       | 120 | 33     | 11 | 270 | 11 | 300     |
| <i>P. macrostylus</i>     | 3     | 1     | 1 | 300 | 44 | 34 | 11 | 22     | 11     | 22       | 120 | 33     | 22 | 270 | 44 | 100     |
| Group 7                   | F     | D     | P | A   | B  | C  | E  | G      | H      | I        | J   | K      | L  | M   | N  | O       |
| <i>T. philipi</i>         | 3     | 1     | 2 | 100 | 11 | 21 | 0  | 11     | 44     | 11       | 300 | 33 (2) | 44 | 270 | 11 | 200     |
| <i>T. vandenbergae</i>    | 3     | 1     | 2 | 200 | 22 | 22 | 0  | 11     | 33     | 11 (3)   | 340 | 22     | 44 | 170 | 11 | 200     |
| <i>T. kilianae</i>        | 3 (4) | 1     | 2 | 230 | 22 | 22 | 0  | 11 (0) | 33     | 13       | 300 | 22 (3) | 45 | 167 | 11 | 200     |
| <i>T. sanniae</i>         | 3     | 1     | 2 | 120 | 22 | 22 | 0  | 10     | 44     | 33       | 340 | 22     | 45 | 170 | 11 | 200     |

Слика 5. Дијагностичка таблица за нематодe, преузето из Декремер и Баујард (1988)

Овакви радови се заправо могу сматрати *multi-access* или поликлавим кључевима, који подразумевају да је кључу могуће приступити са било ког места, што је посебно корисна функција у ситуацијама када корисник не може да утврди стање неког карактера. Принцип по коме поликлави функционишу је елиминација. Традиционални поликлави кључеви, за

разлику од дихотомних, функционишу боље када карактер не дели скуп равномерно, зато што је онда решењу могуће приступити пречицом, фокусирајући се на било шта што корисник сматра упечатљивим (Westfall и сар., 1986).

*Multi-entry* кључеви у традиционалном смислу представљају комбинацију *multi-access* кључа који води до дихотомних кључева или синописиса, или до нових *multi-access* кључева за ужу групу таксона.

|                                             | Single-Access                                                | Free-Access                                                | Multi-Entry                                                         |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Information reduction</b>                | High                                                         | None (complete information is optimal)                     | Variable (none if all characters are available in the initial step) |
| <b>Average identification speed</b>         | Depends on the creators of the key                           | Depends on user's background knowledge; may exceed average | Variable between single and multi-access                            |
| <b>Complex statements (and, or, etc.)</b>   | Yes (not recommended for polytomous keys)                    | No                                                         | "No" in entry-form, "yes" in following single-access key            |
| <b>Question-answer style</b>                | Possible for simple statements                               | (Implicit in character state or value choice)              | (Implicit in character state or value choice)                       |
| <b>Difficulty of choosing next decision</b> | None                                                         | Often high for beginners                                   | Variable; depends on completeness of initial entry form             |
| <b>Skipping unanswerable choices</b>        | Difficult; all alternative paths must be followed to the end | Easy                                                       | Easy in entry-form, difficult in an optional single-access part     |
| <b>Resources required for construction</b>  | Low for first draft. Good keys require high expertise        | High investment until first version can be tested          | High for data matrix, but the size of the matrix is variable        |

Слика 6. Евалуација *single*-, *free*- и *multi-access* кључева, преузето из Хеддорн и сар. (2010)

Проблем идентификационих кључева је током 20. века највише интригирао информатичаре, статистичаре и математичаре, па су се систематизацијом, историјатом, логиком и методологијом израде идентификационих кључева најистакнутије бавили Роџер Пејн и Доналд Прис, статистичари експерименталне станице Rothamsted коју је водио *Agricultural Research Council* (ARC), чије би се публикације и пројекти данас сматрали типично интердисциплинарним (Рауне и Preece, 1977; 1980).

## 1.6. Савремени алати

### 1.6.1. *Computer-aided* идентификациона средства: електронске верзије концептуалне литературе, интерактивни кључеви и таксономски софтвери

Покушаји да се коришћење идентификационих кључева и осталих средстава олакша, као и да се омогући слобода при одабиру „путање” корака, датирају из 1960-их и коинцидирају са настанком нумеричке таксономије (Sokal и Sneath, 1962). Нумеричка таксономија је један од првих конкретних покушаја да се сличност таксона одређује квантитативно, односно кроз коефицијенте сличности. Идеје из теорије нумеричке таксономије су се умногоме модификовале када је реч о филогенетској анализи, али су остале прилично доследне за принцип једнакости и инклузије карактера у домену идентификације.

Прве кључеве који су као медијум користили рачунар креирали су Буги и сар. (1968) и Морс (1974). Први аутоматски носиоци информација, IBM *punch* картице, могле су саме по себи да служе као поликлави идентификациони кључеви, нарочито у микробиологији и ботаници, или да се користе као input (Hall и Johnston, 1954; Schneierson и Amsterdam, 1964; Hansen и Rahn, 1969; Sinnott, 1982). Хал (1970) пише програм за ICL 1301 business рачунар (Слика 7). Програм третира јединке, врсте или више таксоне као ставке (*item*), карактере као особине (*feature*) пратећи следећу (симплификовану) програмску секвенцу:

1. Вредности особина из сета екстрахују се из сирове матрице података.
2. Вредности се појединачно, прелиминарно тестирају на равномерност; вредности се тестирају за комбинацију од две особине; вредности се тестирају на комбинацију од три особине.
3. Повећава се вредност прага за равномерност; корак 2 се понавља све док један *item* може да постане једна грана дихотомије.
4. Уколико ниједна особина не доведе до поделе скупа *item*-а, штампа се изјава да се скуп не може поделити на основу одређеног својства.
5. Излазни циклус: укључује све особине које су прошле тест поделе скупа.
6. Све особине се међусобно пореде по свом капацитету за поделу скупа и одвајање подскупова.

7. За сваки излазни скуп са два и више *item*-а штамп се средња вредност опсега дискриминационих вредности и програм се враћа на почетак.



**Слика 7.** ICL 1301, модел рачунара на коме је тестиран један од првих програма за компјутерско генерисање идентификационих кључева, преузето са <https://www.tnmoc.org/>

Из секвенце се види да су први програми пре свега служили да се тестира дискриминативни капацитет одређених особина и тестирани су на малом броју ентитета, обично неколико врста у оквиру комплекса (*key-forming* програми). Начелно, од шездесетих до осамдесетих година, компјутери су, сем поменуте функције, могли да се користе и за поређење (*matching*), при чему програм рачуна коефицијент сличности ентитета и пореди га са сваким референтним ентитетом.

Последње три деценије 20. века обележио је развој серије компјутерских програма, као и аутоматизованих таксономских система комплексне архитектуре. Постоје два главна тока којима су рачунари уведени у биолошку идентификацију: приступ окренут ка интерфејсу, који не модификује информације из традиционалних кључева већ само мења „улазно место,” и приступ окренут бази података, који захтева модификацију улазног елемента, то јест посебну обраду података пре самог креирања кључа. Сукцесивно су развијани програми за унос и складиштење дескриптивних података, програми за превод података у

програмски језик, и програми за генерисање кључева, чија је популарност достигла врхунац глобалним приступом десктоп рачунарима (Edwards и Morse, 1995).

Један од успешнијих програма, KEY (Dallwitz, 1974), чији је аутор математичар Мајкл Далвиц, усложњава могућности обраде таксона тако што уводи елемент интраспецијске варијабилности, те ставка сенсу Далвиц означава класу ентитета који су идентично кодирани за све особине, а *taxon* класу врста или било којих таксономских категорија које су исход конкретног кључа. Аутор (1980) препознаје да је кодирање таксономских дескриптивних података, као неопходна припрема пред унос неки од доступних програма, ван домашаја већине биолога, те развија DELTA програм (*Description Language for Taxonomy*), који је недуго затим постао интернационални стандард. Програм дозвољава да подаци буду унети у слободној форми, карактери који су непознати или се сматрају неважним могу бити изостављени. Способан је да кодира све типове карактера који се уобичајено користе, карактере са два или више стања, карактере који се броје или мере, а могу постојати и опсези. Програми за „превођење,” попут наведеног DELTA, указали су на важност доступности података другим програмима, што повећава њихову употребну вредност. Вишедеценијски рад (Dallwitz, 1993; Dallwitz и сар., 1992; 1993; 1999) омогућио је креирање преко 200 идентификационих кључева, а и даље је доступно око 60 база података (примери, методологија, историјат, верзије, апликације и базе података доступне на веб страници *Delta-intkey*). Континуираним развојем, DELTA систем се трансформисао у комплексну, *user-friendly* платформу за складиштење и обраду таксономских података у природном и програмском језику, генерисање дихотомних и *multi-access* кључева који су сада били интерактивни, као и мултимедијалну идентификацију. Систем је актуелан и данас, доступан за преузимање у 32-битној верзији, а ради се и на *open-source* верзији програма (Cavalcanti и сар., 2024). Анализу и компатибилност са различитим оперативним системима, као и ограничења дају Колман и сарадници (2010). Паралелно са Далвицовим радом, велики успех постигао је и Панкхурст, статистичар и ботаничар (1974; 1975; 1980; 1991; Pankhurst и Aitchison, 1975), а значајне су и њихове сарадње у оквиру DELTA система.

Да су таксономски системи и идентификациони кључеви неопходни и неекспертима (студенти, ентузијасте, стручњаци из других грана науке и други), препознају Аткинсон и Грамерман (1987) и креирају тзв. експертске системе. Експертски системи су компјутерски

програми који у основи имају употребу „тајни заната (*tricks-of-the-trade*)”, то јест чињеницу да експерт најчешће врши идентификацију на основу Гешталт принципа (генерална прва реакција на укупну морфологију) и контекстуалних информација (хабитат, сезона, доба дана...). Овај тип знања спада у хеуристичко знање за које треба наћи начин трансфера, те је експертски систем заснован на Демпстер-Шаферовој теорији (теорија веровања или теорија доказа, базирана на појави несигурности у вероватноћи). У практичном смислу, експертски систем најпре кориснику поставља питања на основу којих се подскупови могу лако одвојити, а потом се прелази у дихотоми кључ који има значајно мање куплета него што би имао иначе. Пример је изјава „уколико је непозната британска *Apiaceae* нађена на пешчаном динама, постоји шанса од 95% да припада следећем сету таксона {*Crithmum maritimum*, *Daucus carota*, *Eryngium maritimum*, *Pimpinella saxifraga*}”.

До средине деведесетих година, компјутерска идентификација већински и даље почива на *multi-access* интерактивним кључевима и експертским системима (између којих, према неким ауторима, и нема јасних граница (Pankhurst, 1991), али се јавља и употреба *hypertext* кључева који по својој природи нису интерактивни, али олакшавају приступ мултимедијалним појашњењима карактера и стања карактера. Најцитиранији софтвери су горепоменути KEY и INTKEY (DELTA), ONLINE7 (PANKEY), Flora, Linnaeus (*Linnaeus II hypertext*) и XPER, при чему су различите верзије доступне за MS-DOS, MS-Windows, Macintosh и SunOS системе (видети Edwards и Morse, 1995). У исто време, ради се и на првим покушајима коришћења неуралних мрежа (Simpson и сар., 1992). Почетком новог миленијума, Далвиц и сарадници дају нови преглед доступних софтвера и програма (2002) и категоризују их на самосталне програме које је неопходно преузети и инсталирати (LUCID), Java/JavaScript програме у *web* претраживачима (LUCID v3), кооперативне програме у *web* претраживачу и на серверу (ActKey), и програме који су у потпуности на серверу (PollyClave, DAP). Хејддорн и сарадници (2005) развијају нови стандард дигитализовања таксономских дескриптивних података у оквиру „Taxonomic Databases Working Group,” под називом SDD (*Structured Descriptive Data*), што је резултирало новим програмима (XPER3, AbaTax, нове LUCID верзије). Доласком PDA уређаја (*Personal Digital Assistant*), а потом и паметних телефона и таблета, *computer-aided* идентификација у великој мери прелази на област образовања, те се развија читав низ програма са циљем биописмености (FRIDA, Dryades: Martellos и Nimis, 2008).

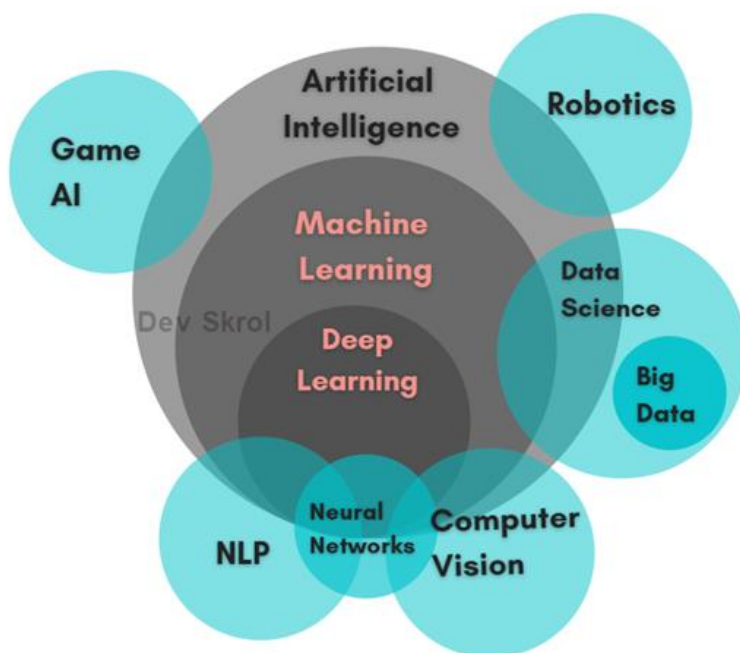
Почетком 2000-их година, интернет постаје примарно средство информисања, што не заобилази ни научну заједницу. Према Џамали и Асади (2010), истраживачи свих фаза у каријери користе лако доступне, тзв. „*one-shot information shop*” ресурсе попут Google претраживача, као прелиминарни извор информација. Општи утисак и разумевање новог појма или области се почиње општим веб претрагама, пре претраге новијих, специјализованијих сервиса попут Google Scholar или Google Books. Костело и сар. (2014) обрађују улогу научне заједнице као модератора интернет садржаја који, иако свеобухватан, може да буде врло хаотичан. У погледу информација о врстама поред персоналних веб-сајтова, значајно место заузимају online базе података о биодиверзитету. Овакви ресурси би требало да буду вођена, уређена и ауторска дела квалификованих лица (Cushman и Huettmann, 2010). Базе се разликују по географској покривености (глобалне (GBIF, BOLD Systems), регионалне (Biologer, Поповић и сар., 2018) и локалне (националне)), групи организама (таксон-специфичне и опште), типу станишта и природи података (базе података о налазима, таксономске базе, генетски и геномски подаци). Велики број база о налазима садржи и литературне податке. До 2019. године, овакве базе су колективно садржале преко милијарду уноса (Ball-Damerow и сар., 2019), а сваки унос даје таксономску идентификацију, датум прикупљања или датум сусрета, те детаље о локалитету. Поједине базе захтевају верификацију налаза коју врше уредници. Уредници су, најчешће, експерти за дату групу организама који ауторитативно потврђују, оповргавају или означавају идентификацију немогућом, обезбеђујући квалитет и употребљивост података. Чести су и различити придодати форуми и странице за консултовање, као и галерије, рафинирана претрага (*search string*, *hypertext* функције), индексне странице, претрага по стадијуму, претрага по вишој таксономској категорији, колажне (*thumbnail*) галерије и остале функционалности које омогућавају идентификацију. Проблем са широм употребом података из *online* база налаза су просторно-временске пристрасности (поједине области имају значајно мањи број уноса у односу на друге, што је понекад резултат доступности терена, а понекад популарности локалитета или корелације са близином насеља), пристрасности ка групама организама (нпр. дневни лептири у односу на ноћне), као и некомпатибилност података (Ruete, 2017).



### 1.6.2. Вештачка интелигенција у контексту идентификације

Поље вештачке интелигенције у контексту биодиверзитета активно је од деведесетих година прошлог века, када су се неуралне мреже користиле најпре у развоју даљинских (*remote-sensing*) метода, као и за сортирање и класификацију снимака покривености тла. Нови миленијум донео је значајне напретке на пољу биоакустике, при чему је вештачка интелигенција повећавала ефикасност у анализирању обимног материјала добијеног сонарима или током праћења вибрација. Од 2010. године до данас, убрзано напредују методе мониторинга, анализа фото и видео материјала у контексту идентификације и фенотипизације, обрада молекуларних података, али и робусни предиктивни модели, што је до скоро било немогуће због потреба хардверских компоненти. За потребе ове дисертације, биће обрађено само дубоко учење у контексту идентификације врста. Вештачка интелигенција је давно трансформисана из скупа хипотеза и теорија у интегрисане (*embedded*) системе, примењена софтвер-хардвер решења у бројним областима природних наука. Примера ради, Џа и сарадници (2018) дају детаљан приказ интегрисаних система у агрономији.

Вештачка интелигенција је скуп техника дизајнираних да симулирају људске когнитивне процесе. Машинско учење, дубоко учење и неуралне мреже су подобласти вештачке интелигенције и треба их разликовати, али структурално: дубоко учење је подобласт машинског учења, а неуралне мреже подобласт дубоког учења. Принципијално, машинско и дубоко учење имају различит начин учења. Класично машинско учење захтева изузетно структуриране податке, а самим тим, и већу интервенцију експерата који одређује значајне атрибуте сета. Дубоко учење може да усваја сирове податке у виду текста и слика који не морају бити препроцесуирани и структурирани, што значајно смањује интервенције експерата и увећава количину података која може да се симултано обрађује (Zhang и Lu, 2021).

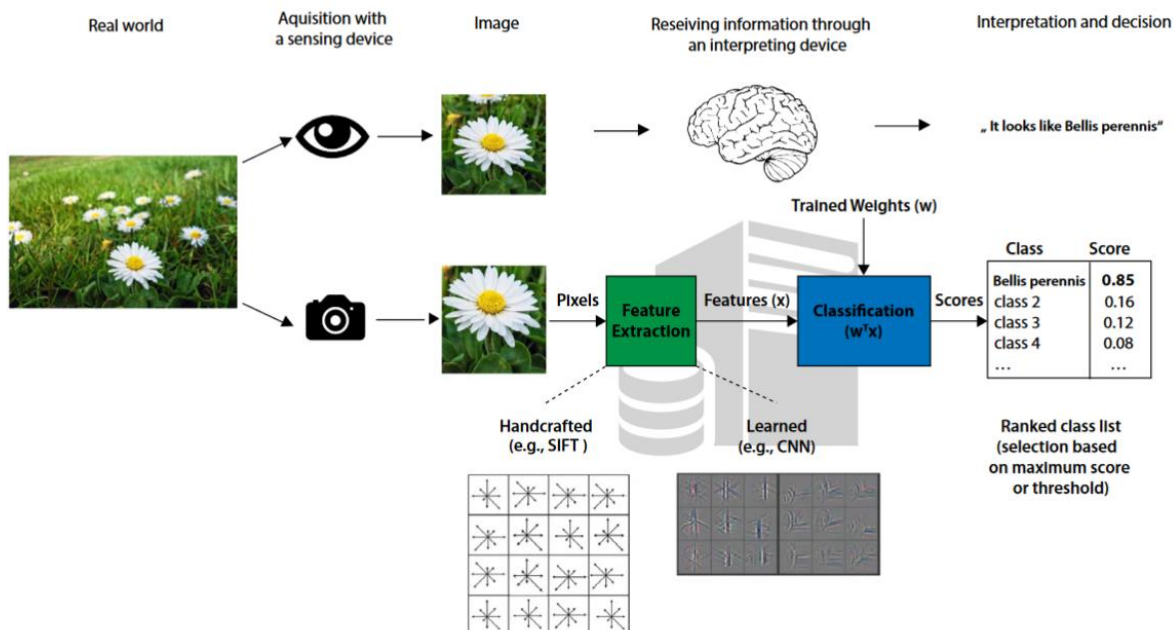


**Слика 8.** Однос области и подобласти вештачке интелигенције, преузето са <https://devskrol.com/> (Понрај, 2020).

Према томе, машинско учење може бити надгледано (*supervised*), ненадгледано (*unsupervised*) и полунадгледано (*semi-supervised*). Надгледани модели захтевају експлицитно обележене податке, док ненадгледани уче да идентификују обрасце и структуре (аутоенкодери, *generative adversarial networks* (GANs)) (Shinde и Shah, 2018; Choi и сар., 2020). У оквир полунадгледаног учења спада коришћење комбинације обележених и необележених података, али и *reinforcement* учење, у коме модел добија повратне информације од окружења током рада. Надгледани и полунадгледани модели су временски и ресурсно захтевни, будући да захтевају пажљиве анотације (обележавање) материјала. Анотација је процес додавања мета-информација визуелном материјалу, то јест означавање објеката, лица, текстова или било којих других карактеристика унутар садржаја. Анотација може да подразумева ознаку (*label*): правоугаонике који окружују објекте (*bounding boxes*), означавање граница објеката (полигони), семантичку сегментацију (сваки пиксел добија своју ознаку), кључне тачке (за моделовање покрета) и линијске анотације (означавање правца) (Mullen и сар., 2019). Фотографијама се може доделити и таг, који је једноставна реч за припадност одређеној категорији и обично је општа. Постоје многи софтвери и *online* платформе за анотацију који нуде функције за бржу и ефикаснију обраду. То подразумева

опције за тимски рад у реалном времену, а од недавно и аутоматизовану анотацију која се ослања на дубоко учење (Dettori и сар., 2022).

Вештачке неуралне мреже састоје се од чворова слојева: улазног слоја, скривених слојева и излазног слоја. Сваки чвор или вештачки неурон повезан је са свим осталим неуронима у мрежи и има своју тежину и праг. Алгоритмом за дубоко учење сматра се неурална мрежа са преко три слоја. Упрошћено, ланац догађаја у ненадгледаној неуралној мрежи за препознавање слика подразумева: припремну обраду: *preprocessing/filtering* (аугментација података, редукција шума, смањење величине уз задржавање резолуције), *reduction/feature extraction* (редукција података на операбилни ниво, извлачење атрибута), класификација (активациона функција којом се у модел уносе нелинеарности), различити типови операција којима се слика дели према жељеном критеријуму (сегментација), формирање излазног слоја (активација степена вероватноће за сваку од класа), семантичка обрада (повезивање „виђеног” са смисленим значењем), пропагација грешке уназад (подешавање тежина и смањење губитака) и оптимизација (Masikow, 2016). Једноставна објашњења различитих модела дају Вулдимос и сарадници (2018).



**Слика 9.** Упоредни дијаграм алгоритма људског и компјутерског вида приликом идентификације (преузето из Waldchen & Mader, 2018)

Идеја о аутоматској идентификацији врста датира из седамдесетих година, мада до почетка новог миленијума није било значајнијих напредака у програмској контекстуализацији дигиталне фотографије (Edwards и Moore, 1995). У свом зачетку, технике машинског учења за препознавање слика фокусирали су се првенствено на екстракцију карактеристика и препознавање образаца користећи једноставне алгоритме. Током 1960-их и 1970-их, коришћене су технике попут детекције ивица и једноставни геометријски модели за идентификацију објеката на сликама. До 1980-их и 1990-их, развијени су модели *decision-making tree* (стабла одлучивања), непараметарска метода *k-nearest neighbour* (KNN) и основне, једноставне форме вештачких неуронских мрежа. Поменуте технике су коришћене за анализу атрибута слика кроз мануелну екстракцију карактера (*features*). Најширу употребу имале су *support vector machines* (SVM) и анализа главних компоненти (PCA) због ефикасности у руковању подацима високе димензионалности. Ове методе поставиле су темеље за каснији интерес за дубоко учење, које је драстично побољшало способности модела машинског учења у препознавању слика увођењем архитектура способних за учење директно из сирових података. Машинско учење се фокусира на статистичке моделе који омогућавају компјутерима да обављају задатке без експлицитних инструкција, ослањајући се на обрасце и инференцију (регресија, *decision-making*, кластеровање). Дубоко учење податке обрађује кроз слојеве неуралних мрежа како би се интерпретирале огромне базе података. Мреже са много слојева омогућавају дубоком учењу да изврши препознавање говора, превођење језика и класификацију слика. Наведени појмови се разликују по примени и фокусу, али се и значајно преклапају, будући да сложени задаци често захтевају комбинацију приступа (Worden и сар., 2023).

Неуралне мреже могу бити потпуно повезане (*fully connected multilayer perceptron*, MLP) или конволуционе (CNN). Разликују се према архитектури, а нарочито према обради улазних података, будући да конволуционе неуралне мреже могу да препознају обрасце у подацима са решеткастом топологијом, као што је визуелни садржај. CNN мреже су у последњих петнаестак година изузетно напредовале, јер користе вишеструке фазе екстракције атрибута. Да би CNN модел класификовао слику, мора проћи кроз серију слојева (конволуциони, *pooling* слојеви за груписање и потпуно повезани слојеви). Данас постоји много популарних архитектура дубоког учења за класификацију слика, укључујући AlexNet (Krizhevsky и сар., 2012), GoogLeNet (Szegedy и сар., 2014), VGGNet (Simonyan и

Zisserman, 2015), InceptionNet (Szegedy и сар., 2016), ResNet50 (He и сар., 2015), DenseNet (Huang и сар., 2018), NASNet (Adam и Lorraine, 2019), EfficientNet (Tan и Le, 2020) и друге. Историјат архитектура дају Сараф и сарадници (2020).

AlexNet је чувена архитектура која је ауторима, тиму из компаније Google и са Универзитета у Торонту, донела победу на ImageNet такмичењу 2012. године. Тим истраживача са Универзитета Принстон и Универзитета Стенфорд је 2006. године почео са развојем базе података под називом ImageNet, базе мануелно анотираних и обележених фотографија. Након три године, база је садржала преко 14 милиона фотографија и преко 20 класа (категорија). Аутори базе су искористили фотографије високе резолуције и под слободним лиценцама које су доступне на интернету. Категоризациона и семантичка структура пратиле су дизајн когнитивне психологије (Miller, 1987). Сваку фотографију у бази прегледао је члан новог тима анотатора, чији је задатак био да потврди или оповргне присуство одређеног концепта на фотографији. Такмичење ImageNet (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) успостављено је 2010. са планом да постане традиционално. Пријављени су могли да се такмиче у некој од две категорије, класификација фотографија према предефинисаним категоријама или детекција и локализација објеката. AlexNet архитектура је 2012. године постигла најзначајнији напредак: успешно је класификовала у 83,6% случајева (Ebrahim и сар., 2019).

Један од познатијих модела компјутерског учења налази се у оквиру iNaturalist апликације. iNat2017 је база фотографија коју су за потребе тренирања модела дубоког учења специјализованог за идентификацију врста креирали ван Хорн и сарадници 2018. године. Сет фотографија за тренирање и валидацију састоји се од 675.000 фотографија отворене лиценце из базе података iNaturalist. На фотографијама је преко 5.000 врста, а критеријум који су све фотографије морале да испуне јесте да су на њима таксони за које постоји више од 20 налаза од стране 20 јединствених корисника, али и да имају истраживачку верификацију. Ово значи да је више од двоје људи потврдило тачну идентификацију врсте. Група аутора и мноштво волонтера мануелно је обележавало фотографије методом полигона (*bounding box*). Тестирано је више архитектура, а финална представља модификацију ResNet и Inception архитектура, а за модел није доступан изворни код (*source code*). Међутим, као заједница, iNaturalist се транспарентно залаже за отворену политику,

инволвира јавност у скоро све сегменте својих пројеката, од јавно доступних база фотографија, јавно доступних анотација до блога у коме се извештава о новим верзијама модела и детаљно објашњава његова функција (Ueda, 2020).

Идентификација врста кроз моделе компјутерског вида је за само пар деценија прешла из домена научне фантастике у реалност, како за научнике и струку, тако и за образовне системе и ширу јавност. Невероватан успех у класификацији прати и нове идеје у погледу усавршавања: контекстуализација налик експертским системима, то јест, *multi-input* неуралне мреже којима се модели тренирају не само сировим подацима које фотографије садрже, већ и релевантним подацима о распрострањењу и станишту које сваки експерт узима у обзир приликом идентификације (Terry и сар., 2019). Глобалне студије о биодиверзитету, биогеографији и еволуцији особина, у зависности од потреба корисника, превазилазе и заобилазе концепт врста, па се модели дубоког учења фокусирају на морфоврсте или ентитете попут функционалних група и фенома (Нџе и сар., 2020; Lüürig и сар., 2021).

## 1.7. Управљање подацима

Према дефиницији, подаци су чињеничне информације које се користе као основ за објашњавање, прорачуне и дискусије, најчешће у дигитализованој форми која може бити трансформисана или процесуирана, излазне информације добијене помоћу сензорног уређаја или органа који укључују и корисне и сувишне информације које се морају обрадити да би постале смислене. У науци, разликују се примарни и секундарни подаци. Примарни подаци односе се на податке које истраживач прикупи користећи методологију дизајнирану да одговори на специфично научно питање, и као такви се први пут употребљавају од стране аутора. Појам треба разликовати од појма „сирови“ подаци који се односе на прву, необрађену и „непречишћену“ форму података. Секундарни подаци су подаци прикупљени од другог или других истраживача које аутор обрађује како би одговорио на неко друго научно питање (Agiro и сар., 2013).

Објављивање података и доступност подацима на основу којих су донети закључци научних публикација постали су императив научне политике у последњих неколико деценија. Ово се посебно односи на примарне податке, који морају да буду сакупљени, обрађени,

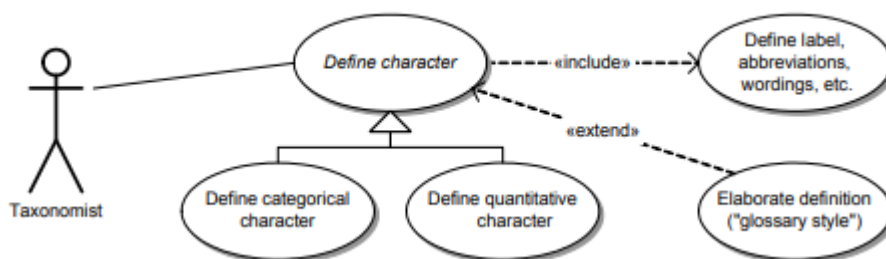
складиштени и објављени тако да омогуће репродуцибилност и независну верификацију (Smith и сар., 2000). Многе студије баве се препорукама и праксама приликом објављивања података из области биодиверзитета, које се тичу проблема интелектуалне својине, транспарентности и научне етике. Генералне препоруке подразумевају да подаци морају бити високог квалитета, лаки за разумевање и трајно доступни. Када је реч о подацима везаним за диверзитет, разликују се *sample-based* (ниво узорка) и *taxon-based* (ниво таксона) приступи. Приступи су фундаментално различити, али повезиви, нарочито када су адекватно дигитализовани. На овај начин, рецимо, при формирању базе података за групу таксона и њихове преференце ка животу на одређеној надморској висини (*taxon-level data*), може се искористити неки постојећи *species-level* сет ради екстракције жељених података. Код података о налазима (*occurrence data*), наглашава се значај комплетирања података подацима о узорку (детаљна методологија, средински услови, услови станишта, заједнице и екосистема, мултимедијални материјал, основна метрика и слично) (Feng и сар., 2022). Базе података о биодиверзитету се све више трансформишу у агрегаторе података, међу којима се највише истиче Global Biodiversity Information Facility (GBIF). GBIF не само да омогућава приступ подацима из много извора на глобалном нивоу, укључујући музеје, научно-истраживачке организације и појединце, већ је и *open-access*, стандардизована (Darwin Core стандард), интероперабилна заједница високе технолошке функционалности. Оваква структура омогућава једноставно повезивање са географским информационим системима (GIS), али и специјализованим базама за остале типове података, чак и када ти подаци нису на нивоу узорка (нпр. особине на нивоу врста, видети Волф и сар., 2022).

### 1.7.1 Дескриптивни подаци у контексту биодиверзитета

Дескриптивни подаци су, генерално, основни начин документовања диверзитета и често се користе у апликативним гранама медицине, агрономије и технологије. Поред морфологије, дескриптивни подаци се односе и на биотичке и абиотичке интеракције, и представљају тродимензионални профил узорка или таксона. На нивоу таксона, дескриптивни подаци су база компаративних морфолошких, бихевиоралних и еколошких студија и предуслов за праћење еволуције одређеног карактера. Овакав тип података представља уочљиве, интринзичке особине ентитета. Ентитет може бити узорак, организам, врста или било који таксон, предефинисана класа или функционална категорија. Приступ структурирању дескриптивних података независан је од природе ентитета. Будући да се ради о

интринзичким вредностима, оне би требало да буду уочљиве и поновљиве барем у једном сегменту развоја под датим условима. Екстринзичким особинама се у овом контексту сматрају подаци о узорковању, складиштењу или потенцијалној употреби, и део су концепта мета података (Bolker и Brauckmann, 2015).

Издавају се два важна подскупа у оквиру дескриптивних података: морфоанатомска обележја која се лако уочавају без техничке помоћи и дескриптивни подаци који се могу добити само након bench work прегледа презервираних примерака (микроморфологија, молекуларне и хемијске анализе, генетика и друго) (Turnhout и сар., 2011).



**Слика 10.** UML (*Unified Modeling Language*), дијаграмска техника која приказује понашање система са спољашње тачке гледишта: таксоном и стандардизација дескриптивних података; преузето из Хејддорн, 2007.

Данас се препознаје тенденција да се дескриптивни подаци интегришу са осталим типовима података како би се повећала њихова употребна вредност. Хејддорн, који се екстензивно бавио улогом, структуром и информатиком дескриптивних података, даје детаљан преглед превођења дескриптивних података у дигитализовану, стандардизовану форму (2007).

### 1.7.2 Аутоматизација обраде дескриптивних података

Динс и сарадници (2011) наводе да су таксономи вероватно најактивнији анотатори природног света. Традиционално, секундарни дескриптивни подаци су изнети у концептуалној литератури (водичи, приручници, монографије, атласи), научним радовима, пратећим документима и инвентарима музејских збирки, приватним колекцијама, студијама процене утицаја, извештајима о статусу угрожености и осталим типовима научно-стручне литературе (Bowker, 2000). У овом случају, дескриптивни подаци су текстуални, у форми природног језика, арбитарно изабраног од стране аутора, често двосмислени и подложни тумачењима, нарочито за групе за које не постоји референтни рад или ауторитативна



терминологија. Највећи изазов дигитализације и стандардизације оваквих података јесте губитак информација у преносу (Evin и сар., 2020). Индиректни извори секундарних дескриптивних података у оквиру литературе могу бити придодате фотографије.

Други тип извора су дигиталне колекције, платформе грађанске науке, базе о биодиверзитету, али и изузетно вредни online форуми и персоналне веб-странице, специјалистичке групе и други неформални медијуми кроз које експерти у континуираној комуникацији износе *first-hand* увиде у дескриптивне профиле и теренске опаске. Овакав тип емпиријског знања се знатно ређе налази у формалном облику, научним публикацијама, јер се сматра општим знањем (*common knowledge*) (Berkes и сар., 1994; Oliveira и сар., 2016). „Паковање“ оваквог типа података у форме које се могу анализирати и статистички обрађивати је логистички изазовно, јер се ради о хетерогеном формату података који често нису комплетни и конзистентни, имају термилошке и семантичке разлике, могу бити предмет интелектуалне својине или имати различиту политику отворености (Costello и сар., 2013).

Начелно, основни дигитализовани формат сета дескриптивних података су дескриптивне матрице у табеларној форми, при чему дескриптори (карактери) могу бити квантитативни, квалитативни и изведени. Могу да прате аудио или визуелни садржај или да се користе самостално, а приликом објављивања потребно је припремити сет према правилима одабраног репозиторијума. Комплетирана база података има информативни назив прилагођен генералној публици, идентификатор (најчешће DOI број), имена и афилијације аутора, као и број верзије, кратак опис и линкове ка публикацијама за које је коришћена, кључне речи, таксономске информације (уколико су релевантне), геопросторне податке, временске и фенолошке податке (уколико су релевантни), објашњење селекције морфолошких, еколошких и бихевиоралних карактера, коришћену терминологију и шифрарник, методологију, опис типова датотека (.csv, .json и слично) (Ribeiro и сар., 2013).

Екстракција и обликовање дескриптора из горенаведених извора може се вршити мануелно, аутоматизовано или хибридно, комбинацијом претходна два приступа. Мануелни приступи укључују ревизије и анотације, при чему експерт након прегледа доступног материјала одлучује форму карактера и сумира могућа стања за читаву групу. Аутоматизована екстракција карактера за дескриптивне матрице може укључити више подобласти вештачке

интелигенције. Једна од шире коришћених је обрада природног језика (*Natural Language Processing*, NLP), и то техника препознавања именованих ентитета (*Named Entity Recognition*, NER) (Nguyen и сар., 2019; Thessen и сар., 2012). Техника комбинује више модела дубоког учења и више типова неуралних мрежа. Алгоритам уобичајено следи секвенцу: токенизација (подела текста на речи и изразе), препознавање облика речи (именица, глагол, придев), граматичко препознавање (модел користи опште и стручне речнике као input за поређење), контекстуално чишћење података (Li и сар., 2020). Упрошћен принцип на ком NER функционише приказан је на Слици 11. Активно се ради на усавршавању модела који препознају таксономске категорије, станишта и све остале категорије информација релевантне за еколошке студије (Le Guillarm и Thuiller, 2022).

**Ousted WeWork founder Adam Neumann lists his Manhattan penthouse for \$37.5 million**  
[organization] [person] [location] [monetary value]

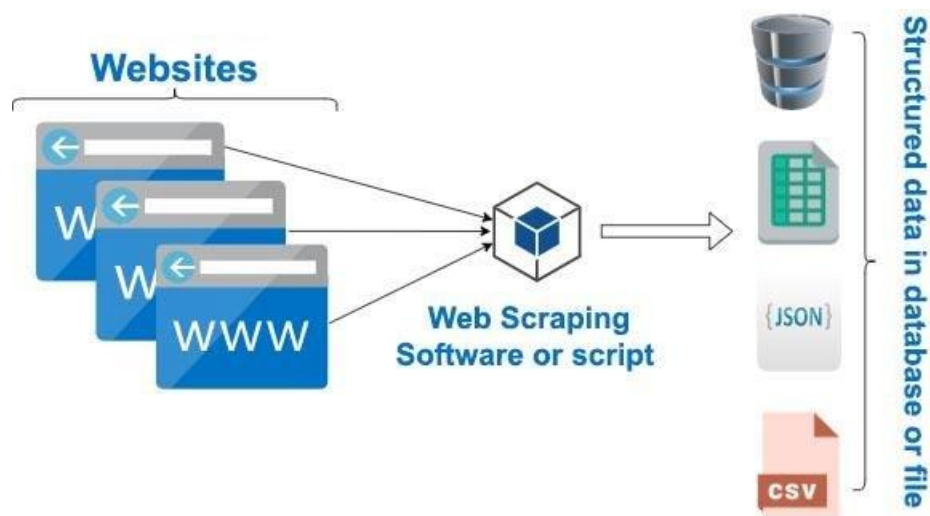
**Слика 11.** Обрада природног језика, НЛП на примеру из корпоративног света, где се жељени подаци екстрахују из текста на природном језику према предефинисаним категоријама., преузето са <https://www.analyticsvidhya.com/>

Истраживачи ван области вештачке интелигенције несвесно користе NER у свакодневном раду. Примера ради, на овај начин функционишу подсетници за састанке за кориснике платформе Microsoft Teams, онлајн бројачи речи, Google Scholar, Mendeley, Zotero и Endnote (Alonso и сар., 2021).

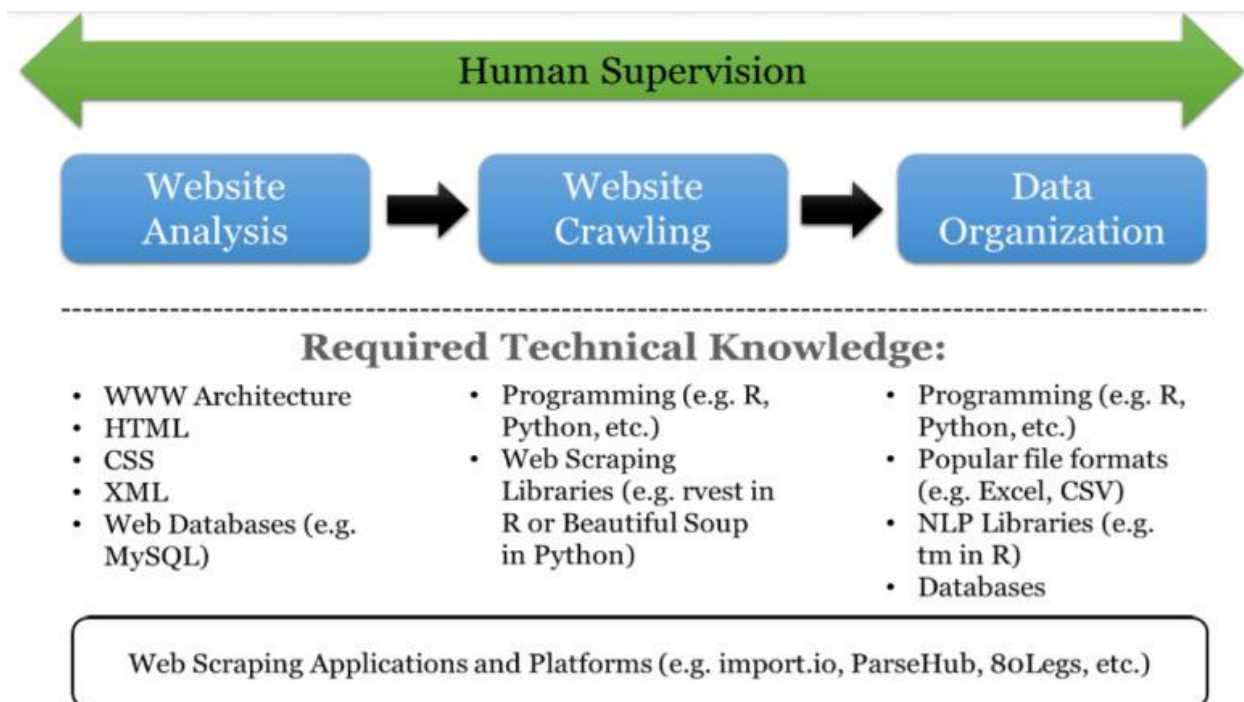
Други важан метод у екстракцији дескриптивних података може бити скрејпинг (*web scraping*), или „стругање” онлајн извора (Singh и сар., 2017; Chowdhury и сар., 2024). *World Wide Web* има запремину података која се мери у зетабајтима (1 зетабајт = 1.000.000.000.000.000.000.000 бајта) и чине је квантитативни и квалитативни, често неструктурирани подаци у оквиру веб страница, HTML табела, база података, мејлова и осталог материјала (Watson, 2014).

Сваки истраживач који је за потребе креирања табеле за своју публикацију копирао и лепио (*copy-paste*) податке из онлајн верзије рада који чита, вршио је традиционални скрејпинг. Далеко ефикасније су аутоматизоване методе. Суштински, то је техника којом се

неструктурирани подаци преводе у структурирани облик који се може складиштити и даље анализирати, јер је финални производ веб-скрејпинга најчешће популаран формат попут датотека са .csv или .xls екстензијом. Најчешће технике су регуларни изрази у било ком програмском језику (нпр. RegEx за Python програмски језик помоћу библиотека BeautifulSoup 4 и Requests), програмирање са HTTP протоколом (Hypertext Transfer Protocol (HTTP) Programming), рашчлањивање (парсинг) кроз HTML и Document Object Model (DOM), коришћење специјализованих софтвера за скрејпинг, или бројни модели компјутерског вида (Nigham и Biswas, 2021). Скрејпинг може и не мора да буде AI технологија, али је далеко ефикаснији када користи неки вид дубоког учења (Patnaik и сар., 2021).



Слика 12. Скрејпинг архитектура (преузето из Касерека, 2020)



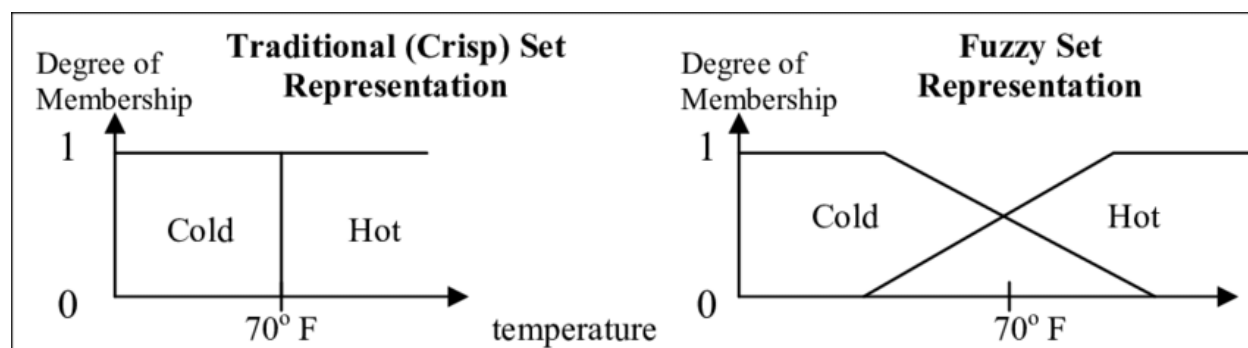
**Слика 13.** Улаз, излаз и технички захтеви; преузето из Кротов и Тенусон, 2018

Након рашчлањивања података, исте је потребно „пречистити,” то јест, извршити валидацију и уклонити евентуалне грешке и вишкове, као и форматирање. И овај корак је у пракси аутоматизован, користећи специјализоване софтвере или, знатно чешће, у неком од окружења за Python програмски језик.

Финално, скрејпинг спада у домен рударења података (*data mining*), те треба водити рачуна о правном и етичком аспекту методе. Не постоје специфичне легислативе у вези са веб-скрејпингом, али се на њега односе сва правила које сајтови имају у оквиру услова коришћења (*Terms of Use*) и услова услуге (*Terms of Service*) изјава, које превенирају евентуално неауторизовано коришћење података. У корпоративном свету, где се наведене технике значајно чешће користе него у академији (нпр. представљају основу испитивања тржишта), многе компаније имају активирану заштиту од скрејпинга, која реагује на велики број захтева за приступ у кратком временском интервалу (Krotov и сар., 2020).

### 1.7.3 Кодирање дескриптивних карактера

Када се ради о квалитативним обележјима, свака статистичка обрада захтева њихову квантификацију. Тада се приступа тзв. тематском кодирању, које је много чешћа појава у хуманистичким наукама (Rivas, 2012).



Слика 13. *Crisp* и *fuzzy* сетови; преузето из Порто, 2008

У анализи података, разликујемо два приступа кодирању података: *crisp* и *fuzzy*. *Crisp* кодирање користи бинарне вредности да би се представило присуство или одсуство неког обележја, користећи 0 и 1 по стандарду. Овај метод је јасан и једноставан, али не омогућава финије нијансе када су у питању променљиве које нису строго бинарне, што је чест случај са дескриптивним карактерима. С друге стране, *fuzzy* кодирање дозвољава флексибилност, користећи спектар вредности између 0 и 1 да би описало степен припадности неком сету или категорији. То омогућава квантификацију и интеграцију парцијалне припадности која се може односити на полиморфизме, полифенизме, онтогенетске разлике, разлике у узорку, али и субјективност и несигурност. *Fuzzy* кодирање је погодније за комплексне анализе које захтевају разматрање нијанси и степена појединих карактеристика, док је *crisp* кодирање ефикасно за јасно дефинисане, бинарне класификације (Willermet, 2012).

Булова алгебра, на којој се заснива *crisp* кодирање, укључује неколико кључних принципа: негацију, где се резултати чланства обрћу; таблице истинитости које сортирају податке у комбинације вредности на узрочним условима и додељују вредност исхода на основу ових комбинација. Напредни концепти као што су Булова адиција и множење представљају већ поменуте логичке операторе *или* и *и*. Они помажу у поједностављењу узрочно-последичних односа. Комплексни односи се разјашњавају комбинаторном логиком (Von Stenberg, 1998). *Crisp* кодирање је изузетно корисно за поједине експлицитне дескриптивне карактере

(примера ради, број парова лажних ножица код гусеница може бити од 1 до 5, а будући да ово није варијабилно, и да не сме бити представљено интервалном скалом, треба формирати дескриптивни карактер за сваку од опција и оцењивати ентитете на основу присуства или одсуства особине).

*Fuzzy* сетови се калибришу користећи теоријске и семантичке критеријуме који нису део података *per se*, већ узимају у обзир концептуализацију, дефиницију и означавање сета од стране истраживача. Крајњи производ је степен чланства ентитета у функцији одређене особине, са оценама које се крећу од 0 до 1. Вредност коју ентитет заузима је мера афинитета за дату особину (Loslever и сар., 2019). У природним наукама, често се користи шема кодирања 0-3 (0: нема чланства; 1: ниско чланство; 2: средње чланство; 3: пуно чланство), а затим се приступа нормализацији (сваки степен чланства дели се са највишим чланством и на тај начин се добија афинитет од 0 до 1). Овај тип кодирања погодује како макроморфолошким обележјима тако и екологији када су гусенице у питању. Примера ради, врста може да показује интра– или интерспецијску варијабилност у погледу присуства и јачине пигмената медиодорзалне линије. Уколико се профилисање ради на нивоу врсте, афинитети могу означавати непостојаност стања. Са друге стране, уколико се врста *претежно* храни биљкама из фамилије Rosaceae, понекад, али ређе, Salicaceae, и никад биљкама из фамилије Onagraceae, афинитети ће бити приказани као 3:1:0, респективно. Детаљан преглед квалитативних анализа на *crisp* и *fuzzy* сетовима дају Риу и Де Мер (2009).

Дигитализација дескриптивних података треба да следи FAIR принципе, који захтевају да подаци буду претраживи (*findable*), приступачни (*accessible*), операбилни (*interoperable*) и поново употребљиви (*reusable*) (Sterner и Elliott, 2022). Иако дигитализација обимних и хетерогених података доноси очигледне предности, намећу се изазови у вези са техничким ограничењима. Напредак у технологији и пољу вештачке интелигенције пружа промишљена, флексибилна решења за све аспекте овог процеса, али такве опције нису увек доступне истраживачима ван области биоинформатике. Важно је истражити и евалуирати могућности платформи и алата за визуелно програмирање, као и система са графичким корисничким интерфејсом (GUI), како би се омогућило ширем кругу корисника да доприноси дигитализацији и искористи потенцијал нових технолошких решења (Shneiderman, 2020).

## **Поглавље 2**

### **Циљеви истраживања**

Општи циљ ове докторске дисертације је да демонстрира употребну вредност дигитализованих дескриптивних података кроз вишедимензионалну анализу европских егзофитофагних гусеница. Дисертација ће истражити могућности статистичке обраде квалитативних дескриптора, применити техничке предности при управљању подацима и осврнути се на идентификацију као когнитивно-информатички концепт у контексту актуелног стања биодиверзитета. Дефинисани су следећи специфични циљеви:

1. Стандардизација карактера и стања особина европских егзофитофагних гусеница
2. Предлог структуре униформисаних дескриптивно-контекстуалних матрица
3. Демонстрација алтернативних приступа екстракцији података
4. Израда матрице за испитивање варијабилности
5. Израда матрице за испитивање релација хабитат-хабитус
6. Израда матрице за потребе интерактивног кључа
7. Демонстрација квалитативних метода у статистичкој обради дескриптивних података



## **Поглавље 3**

### **Методологија**

### **3.1. Формирање базе европских егзофитофагних гусеница**

За потребе ове дисертације, и због чињенице да предмет дисертације није таксономски третман или таксономска ревизија, таксономски скелет, *sensu* Fauna Europaea (de Jong, 2014), је последња доступна верзија истоимене базе, сада складиштена на веб сајту GBIF-а (због доследности, номенклатура из ове базе података није даље ревидирана, а аутор се ограђује од синонимија и евентуалних промена на нивоу рода и врсте које су се догодиле у међувремену). При одабиру скупа врста за профилисање, демонстрацију употребе дескриптивних матрица у циљу анализе варијабилности, постављања релација између контекстуалног експертског знања (дистрибуција, хабитат, састав заједнице) и визуелних знакова доступних неексперту (макроморфолошка обележја), и финално, интерактивног кључа, коришћено је неколико критеријума. Обрађени су припадници неформалне групе *Macrolepidoptera* (Superfamilia *Papilionoidea* (*Papilionidae*, *Pieridae*, *Lycaenidae*, *Riodinidae*, *Nymphalidae* + *Hesperiidae*; Superfamilia *Drepanoidea* (*Cimeliidae*, *Drepanidae*); Superfamilia *Geometroidea* (*Geometridae*); Superfamilia *Noctuoidea* (*Notodontidae*, *Erebidae*, *Euteliidae*, *Noctuidae*, *Nolidae*); Superfamilia *Lasiocampoidea* (*Lasiocampidae*); Superfamilia *Bombycoidea* (*Brahmaeidae*, *Endromidae*, *Saturniidae*, *Sphingidae*)), као и неколико „изузетака” из групе *Microlepidoptera* (Superfamilia *Zygaenoidea* (*Heterogynidae*, *Limacodidae*, *Zygaenidae*)). Врсте из ових таксономских категорија већински испуњавају критеријум потпуног или парцијално егзофитофагног начина живота, еруциформни хабитус, и барем три фотографије са верификованом идентификацијом доступне у оквиру платформе *Lepiforum* (Rennwald и Rodeland, 2019) и *iNaturalist* (Matheson, 2014).

### **3.2 Стандардизација карактера и матрице карактера**

Почетна тачка за дефинисање дескриптора за прву креирану матрицу било је њихово извлачење из литературе, претежно Штерових интерпретација и шема (1987). Одабрани макроморфолошки карактери су процењени у погледу уочљивости и стабилности у датим таксонима. Имајући у виду да су други аутори допунили кључеве дескриптивним и илустративним поглављима посвећеним вишим таксономским категоријама, неки од дескриптора су индиректно одабрани кроз ове описе, поједностављени и прилагођени. Матрице карактера су креиране мануелно, коришћењем великих слова за секције, нумеричког кодирања за карактере и малих слова за стања, како би се избегла могућа

конфузија између приказаних кодова и скраћеница коришћених у другим микроморфолошким праксама. Овај концепт омогућава да приказане матрице буду најопштија репрезентација сложених дескриптора. Нека од наведених стања могу имати много подстања, како је сугерисано у последњој колони. Колажи који прате матрице приказују најрепрезентативније носиоце неког стања. Суштински, матрица карактера је генерализован, али детаљан преглед дескриптора, без обзира на њихову дискриминативну способност.

### 3.3. Матрица варијабилности

Матрица варијабилности оформљена је за насумично одабрани скуп од 84 честе врсте које су претходно илустровале матрице карактера, у потпуности мануелно, помоћу категоричких карактера нивоа врсте. Матрица третира сваки морфолошки, аутеколошки и бихејвиорални полифенизам као засебни ентитет. Будући да је свако стање прецизан опис одређене карактеристике, било је неопходно укључити све познате варијације на интраспецијском, интра- и интерпопулационом нивоу. Матрица се бави само зрелим гусениама ( $L_x$ , при чему је  $x$  последњи ступањ), али је обухватила и све драстичније промене током хибернације, свеже пресвлачење и мировање (*moult rest*). Профилисање је постигнуто селективном логиком: ако врста показује више стања истог морфолошког карактера, сваки морфолошки полифенизам је описан у посебном реду и име је изведено према његовој најзначајнијој особини и додатно обележен са „м“ у скупу података. Ако врста има варијације у аутеколошким и бихејвиоралним карактерима, исходи су забележени бројевима, како би се избегле евентуалне еволуционе импликације и контекст екотипа (нпр.  $e_1$ ,  $e_2$ , где „ $e$ “ означава еколошки/изворни полифенизам). Ако постоји варијација у оба ова типа карактера, све логички могуће комбинације су забележене са додатним префиксом „ме“ за скраћење. Матрица се састојала од 582 потпуно описана случаја различитих полифенизама, из 14 фамилија. У матрици варијабилности, итем може бити таксон или комбинација свих хабитуса и полифенизама у коришћењу ресурса. Будући да је циљ матрице варијабилности био да прикаже који карактери су „носиоци“ еко-морфолошког диверзитета у групи, свих 34 морфолошких и 7 аутеколошких или бихејвиоралних карактера описаних у матрицама карактера употребљено је за визуализацију података.

### 3.4. Fuzzy-кодирана матрица

Fuzzy-кодирана матрица креирана је за све европске егзофитофагне гусенице које током дела или у току читавог развоја имају зелени криптични хабитус, у оквиру следећих таксона: суперфамилија Geometroidea (Geometridae); суперфамилија Noctuoidea (Erebidae, Euteliidae, Noctuidae, Nolidae, Notodontidae); суперфамилија Bombycoidea (Endromidae, Saturniidae, Sphingidae); суперфамилија Papilionoidea (Lycaenidae, Riodinidae, Hesperidae, Nymphalidae, Pieridae, Papilionidae). Циљ овог сета података био је експлораторна анализа потенцијалних образаца између станишта и ресурса које врсте користе са једне стране, и њихове карактеристичне варијабилности са друге.

Будући да се испитује само одређен сет макроморфолошких карактера, овај изузетно чест хабитус ограничен је следећим атрибутима: образац (*pattern*) маркација, присуство сета (*hairiness*), наглашена латерална линија (*ProL*), присуство јарке боје (*SoC*), присуство чворастих (*knot-like*) пројекција (*KnotET*), присуство чворастих (*knot-like*) маркација (*KnotEP*), контраст боја (*HCM*), спљоштеност (*ShF*), цилиндричност (*ShC*), здепастост (*ShS*). Обрађена еколошка обележја су понашање у исхрани: монофагија (*Mono*), олигофагија (*Oligo*) или полифагија (*Poly*), према Кејтсу (1980), индикације да ли је зелени криптични хабитус форма или константан хабитус, форме биљке хранитељке (*vine, shrub, herbaceous, evergreen, deciduous*), фамилије биљке хранитељке и позната станишта према EUNIS кодовима за класификацију станишта.

Макроморфолошки карактери и начин исхране кодирани су *crisp* кодирањем (0-одсутно, 1-присутно), а еколошки *fuzzy* методом по моделу 0-3 (при чему 0 означава да врста не користи дати ресурс, а 3 да користи само тај наспрам свих осталих ресурса, или да га користи у потпуности (коефицијент афинитета једнак 1). Подаци о биљкама хранитељкама преузети су из HOSTS базе података (Robinson и сар., 2023), а евалуација афинитета одрађена према фреквенцији појављивања у бази само за случајеве из Европе. Као извор података о стаништима коришћена је база GBIF и асоциране националне и регионалне базе. Ставке или ентитете матрице представљају врсте.

### 3.5. Матрица-кључ

Матрица-кључ је најробуснија по питању врста и израђена је за целу базу описану у поглављу 3.1, то јест за укупно 2.000 врста. Превасходни циљ ове матрице је експертски систем, па су карактери селектирани тако да буду једноставни, видљиви без оптичких помагала, универзални, као и да прате претходно поменути рекогнитивни процес. Важна одлика дескриптора за идентификацију је расподела опција након избора, те су брани дијагностички карактери (број и једнакост лажних ножица, облик, видљиве секундарне сете, карактеристике сета, сеталне основе, пројекције, доминантне боје, облик главе, доминантни обрасци, пројекције и специфичности), а као контекстуалне информације одабране су дистрибуција на нивоу државе, острва или аутономне области, као и биљке хранитељке на нивоу форме, преферираног дела биљке, фамилије, рода и врсте, трагови грегарног начина живота и спратовност вегетације у којој је гусеница пронађена, као и понашање у исхрани.

Макроморфолошки карактери изведени су коришћењем сопствене базе фотографија допуњене research-verified фотографијама базе iNaturalist. Дистрибуција је дата у форми списка држава и аутономних области (*sensu* Fauna Europaea) без обзира на то да ли је врста аутохтона или алохтона, као и у случајевима да се тренутно не зна да ли у датој држави постоји стабилна популација. Државе за које је наглашено да за њих постоји само по један литерарни налаз нису укључене.

За потребе података о биљкама хранитељкама, комбиновани су база података HOSTS (Natural History Museum Host Plant Database: Robinson и сар., 2023) која се не ажурира од 2023. године, али је доступна за преузимање, веб страница Pyrgus.de, веб страница Lepiforum.de, веб страница Artemisiae – Lépidoptères de France у оквиру портала Oreina, веб страница Lepidoptera Mundi, веб страница UK Moths, веб страница Plant Parasites of Europe.

### 3.5.1. Екстракција дескриптора: скрејпинг, парсинг, пречишћавање података

Узимајући у обзир робусност ове матрице и количину података које је требало екстраховати, природу категоричких података који су у доступној литератури најчешће у форми опсежних параграфа, за потребе екстракције и униформисања еколошких карактера дистрибуција и карактера везаних за биљке хранитељке, коришћен је скрејпинг софтвер „Parsehub”. Софтвер има једноставан GUI интерфејс који не захтева програмерско знање и бесплатан је за коришћење до 200 страница. Аутор је извршио укупно 10 итерација ради прикупљања података о свим врстама укљученим у матрицу-кључ. Софтвер Parsehub функционише на визуелном принципу, то јест слободној селекцији жељене секције текста. Parsehub има могућност великог броја петљи, то јест, истовременог приступа већем броју индексираних страница. Подаци су прикупљени са веб страница Pyrgus.de, Lepiforum.de, веб страница Artemisiae у оквиру портала Oreina, веб страница Lepidoptera Mundi, веб страница UK Moths, веб страница Plant Parasites of Europe. Све наведене странице су или базе података или ауторитативни веб-сајтови који се приликом изношења информација позивају на референтне радове. Знатно је лакше приступити онлине изворима уместо литерарним подацима, будући да се они најчешће чувају као скениране верзије докумената.

Будући да је финални резултат скрејпинга пречишћен део текстуалног садржаја, то јест, име државе или латинско име таксона биљке хранитељке, у овом контексту метода поштује ауторска права наведених извора. Пречишћавање (*data cleansing*) и форматирање података, као и додела одговарајуће колоне карактера извршени су помоћу Excel PowerQuery функције и Python 3.8 скрипте у PyCharm окружењу, коришћењем библиотека numpy, os и pandas.

### 3.5.2. Анотација у циљу екстракције карактера

Додељивање стања унапред дефинисаних карактера у табеларном кључу је логистички изузетно слично процесу анотације и додели тагова у припремној фази надгледаних и полунадгледаних модела компјутерског вида. Ова особина је искоришћена за брже и ефикасније профилисање таксона. Коришћен је оперативни систем Supervisely за компјутерски вид, који има уграђене функције припремне обраде и тренирања модела дубоког учења, укључујући анотације за класе и тагове.

Обележено је укупно 5.535 фотографија прикупљених из горенаведених извора, а анотација је вршена визуелним додељивањем тагова преко hotkey функције која омогућава брзу доделу

тагова коришћењем пречица на тастатури. Примењени су следећи тагови искључиво за слике: број и једнакост лажних ножица, облик, видљиве секундарне сете, карактеристике сета, сеталне основе, пројекције, доминантне боје, облик главе, доминантни обрасци, пројекције и специфичности. Придодате су и напомене о солитарном или гregarном начину живота, према Трајковић и Жикић (2023).

За макроморфолошки карактер *Pattern* (образац): *irregular, sprinkled, dotted, striped, bicolor, monochrome, aposematic, cryptic*.

За макроморфолошки карактер *Dominant color* (доминантна боја): *grey, red or purple, blue, orange, yellow, black, white, brown, green*.

За макроморфолошки карактер видљиве секундарне сете (*Visible hairiness*): *none, scarce, minute, full coverage integument visible, full coverage integument invisible, lateral coverage*.

За макроморфолошки карактер сеталне основе (*Setal base*): *scoli: branched, chalazae, scoli: cone, flat patches, scoli: fleshy, verrucae: globose, verrucae: goblet, inapplicable, verrucae: irregular, papillae: flat, papillae: pointy, papillae: pronounced, papillae: raised, scoli: regular, papillae: small*.

За макроморфолошки карактер облик тела (*Body shape*): *stocky, cylindrical, flattened, tapered, spindle, stocky flattened, stacked*.

За макроморфолошки карактер облик главене капсуле и пројекције (*Head capsule shape + projections*): *bulbaceous, flat, protruding, retracted, with projections*.

За макроморфолошки карактер обрасци на главеној капсули (*Head capsule pattern*): *monochrome, reticular, striped, symmetrical*.

За макроморфолошки карактер тип сета и тип груписања сета (*Setae characteristics*): *regular, c-curved, inapplicable, tufts, pencil, very short, bristly, capitate, plumose*.

За макроморфолошки карактер број парова абдоминалних лажних ножица (*No. of proleg pairs*): *1, 2, 3, 4*.

За макроморфолошки карактер величина лажних ножица (*Proleg size*): *A3 shorter, A4 shorter + A3 vestigial, A4 vestigial, equal, inapplicable*.

За макроморфолошки карактер пројекције на торакалним и абдоминалним сегментима, а према шеми тип ткива: место: број» (*Projections T+A*): *fleshy: A, single, fleshy: A, single pair, fleshy: A: multiple, fleshy: A: multiple pairs, fleshy: T+A: multiple pairs, fleshy: T: multiple pairs, fleshy: T: single pair, horns: T+A: multiple pairs, horns: T: multiple pairs, horns: T: single pair, humps: T: single, humps: A: multiple, humps: T+A, humps: T: single, none, osmeterium, tubercles: A: multiple pairs, tubercles: A: single, tubercles: A: single pair, tubercles: T+A: multiple pairs, tubercles: T+A: single pair, tubercles: T: multiple pairs, tubercles: T: single pair*.

Матрица подразумева постојање интермедијарних стања, варијабилност на нивоу врсте, као и чињеницу да се приликом опредељивања за одређено стање не може искључити субјективност, те је, по потреби, за сваку врсту описано више стања по карактеру.

Овако обележени сет преузет је у .json формату и придодат аутеколошким карактерима користећи Python 3.8 скрипту у PyCharm окружењу (библиотеке pandas и json).

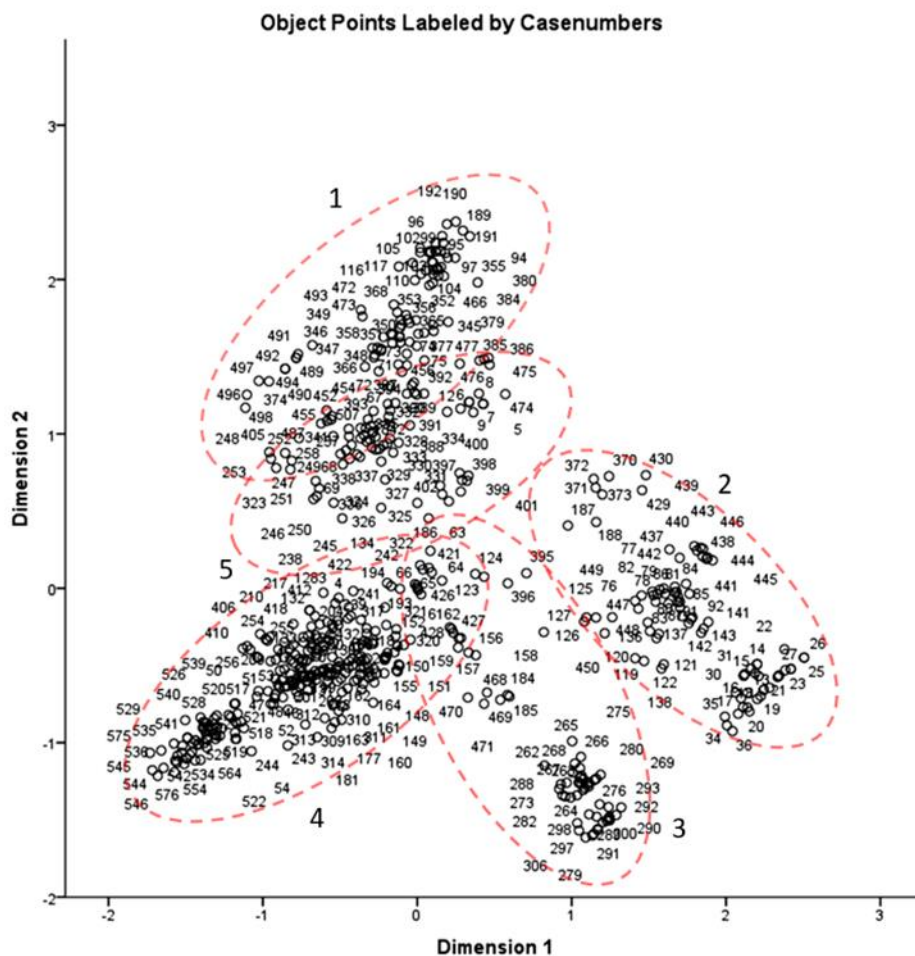
### 3.6. Статистичка обрада матрица

#### 3.6.1 К-мод кластер алгоритам и анализа главних компоненти за категоричке варијабле (CATPCA)

Матрица варијабилности је увезена у СПСС кроз нумеричку шему кодирања. За истраживање структуре података изведена је CATPCA анализа у СПСС десктоп верзији 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). У CATPCA, категоричке променљиве које представља модел су, у ствари, трансформисане променљиве, што сугерише да је усклађеност модела унапред одређена оптималним избором (не)монотоне квантификације. Сходно томе, 34 морфолошка карактера су скалирана ординално, пошто описана стања заиста могу бити сматрана монотоним. Скала приказује распон стања карактера од основног до најмодификованијег стања и ни у ком случају не имплицира еволутивни контекст. Трансформација 7 аутеколошких и бихејвиоралних категориčkih променљивих извршена је у складу са њиховим реалним, номиналним значењем, будући да се заобилази претпоставка да постоји очување чланства у класи. Дводимензионални модел је евалуиран кроз укупну VAF вредност и Кронбахову  $\alpha$  вредност. Ниједна категорија није изостављена, без обзира на допринос, јер циљ није био да се модел усаврши, већ да се прикаже распоред задатог скупа врста на основу датих описа. У овој фази, визуелизација је изведена без било каквих ознака, осим бројева случајева. Класификација категориčkih података у алгоритму *k-modes*



кластеровања доступном из клаR библиотеке у R Studio окружењу за статистичке прорачуне, дели сет података на групе према моду, уместо према средњим вредностима, пошто је немогуће израчунати математичку дистанцу између елемената када се ради о категоричким подацима. Анализа је започета постављањем к-вредности на 5 (број насумично одабраних редова који служе као почетни модови), засновано на обрасцу груписања оцењених објеката добијених из САТРСА анализе, приказано на Слици 14.



**Слика 14.** САТРСА оријентација случајева (582 морфолошка и ресурсна полифенизма изведена за 83 врсте гусеница) у РС1 (Димензија 1) и РС2 (Димензија 2); испрекидана линија (са придруженим бројевима у смеру казаљке на сату) указује на уочени образац груписања.

### 3.6.2. Генерализовани линеарни модели и модел насумичне шуме

*Fuzzy*-кодирана матрица која садржи *crisp*-кодиране податке о хабитусу и *fuzzy*-кодиране податке о хабитату анализирана је у R програмском окружењу (верзија 4.2.1). Како би се утврдило да ли разлике у станишту и коришћењу ресурса могу бити доведене у везу са морфологијом и аутекологијом таксона, коришћен је генерализовани линеарни модел (GLM) из биномијалне породице модела, из пакета stats, MASS и glmnet. Анализа је изведена како би се проценио утицај различитих карактеристика станишта и биљака на вероватноћу појаве одређених особина (зависне варијабле) у подацима. Тестиране варијабле укључују различите типове вегетације и степен афинитета које врсте имају ка њима. Модели су процењени коришћењем Akaike Information Criterion (AIC) за поређење прилагођености модела, а значајни предиктори су идентификовани на основу *p*-вредности.

Модел насумичне шуме (*Random Forest*), метода машинског учења, користи се превасходно за класификацију и регресију. Комбинује резултате више стабала одлучивања (*decision trees*) како би побољшала прецизност предикција и смањила прекомерно прилагођавање (*overfitting*). Свако стабло се тренира на различитим подскуповима података, случајним одабиром подскупова карактера, што чини модел отпорнијим на недоследности у подацима. Може да рукује високодимензионалним подацима са много варијабли. Анализа је изведена у програмском језику R, у R Studio окружењу. Коришћени су следећи пакети: randomForest, caret и ggplot2.

Анализа двема методама извршена је због тога што су GLM модели веома корисни за разумевање односа између зависних и независних варијабли, али могу бити ограничени у својој способности да расветле нелинеарне односе између варијабли. *Random Forest* може да моделује сложене нелинеарне односе без потребе за прецизирањем тих односа унапред, што је корисно у ситуацијама када постоји велики број потенцијалних предиктора и није јасно који од њих су најважнији

### 3.7. Израда веб апликације за интерактивну идентификацију

Интерактивни кључ који функционише на принципу елиминације без калибрације каузалности и додељивања тежина карактерима израђен је Python програмским језиком (в.

3.12), у PyCharm програмском окружењу. Кључне библиотеке су pandas (за анализу сета података) и Jinja2 (за креирање HTML шаблона). Убити, то је једноставна веб апликација која функционише на основу Flask веб оквира који омогућава развој апликација са веб интеракцијом. Апликација функционише користећи виртуелно окружење (venv) које омогућава компатибилност са различитим системима. Подаци се учитавају из .csv датотеке матрице-кључа, која садржи 20 детаљних, мултиплих дескриптора за 2000 врста гусеница. Самом процесу филтрирања претходи предобрада података (уклањање дупликата, стандардизација формата и друго). Структура пројекта подразумева .py датотека са кодом, .html индексна датотека који одређује изглед и функционалност, као и пратеће датотеке за чување подешених параметара.

## **Поглавље 4**

### **Резултати**

## 4.1. Стандардни дескриптивни карактери и стања

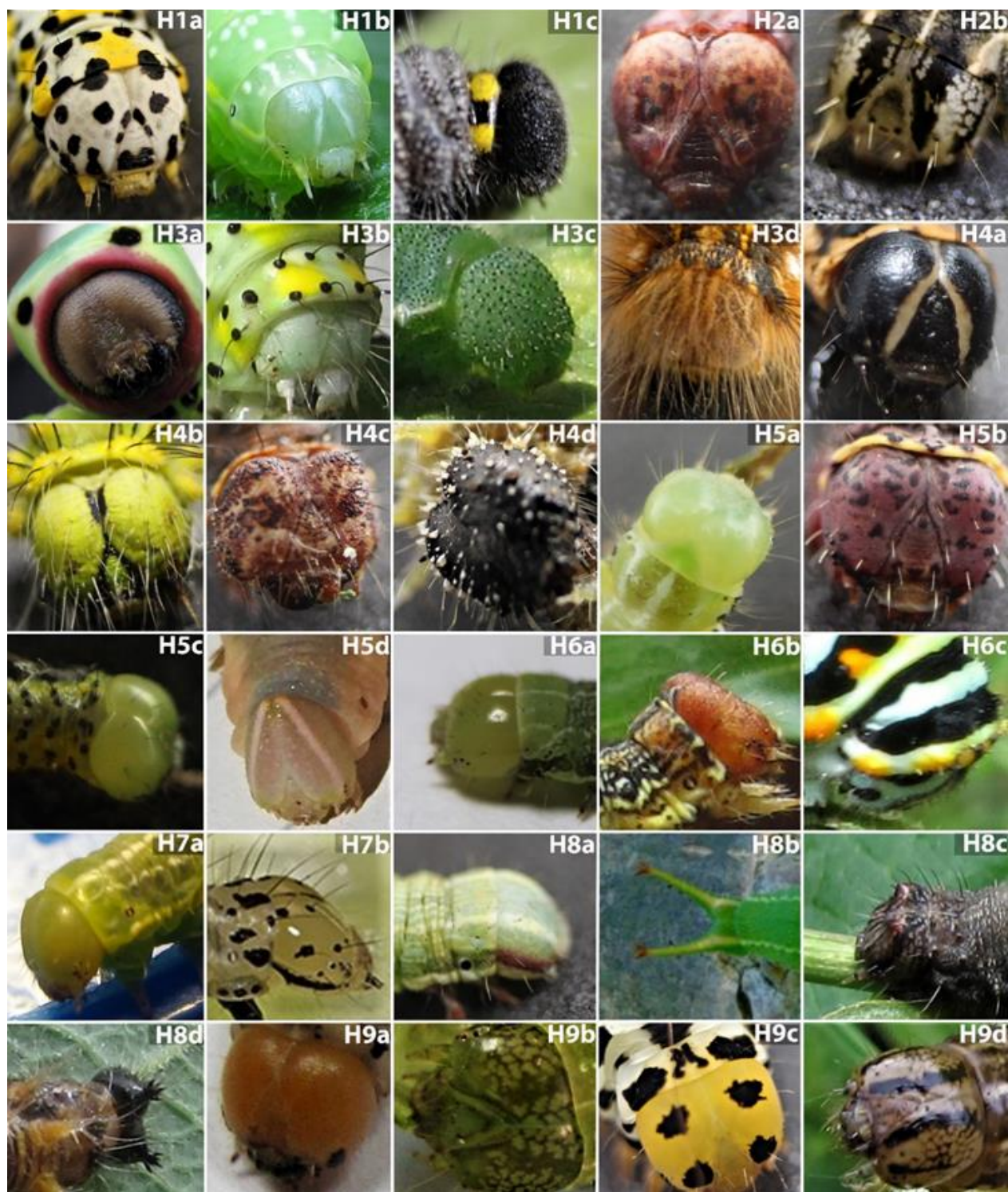
Предложени стандардизовани карактери и њихова најистакнутија стања представљени су у одвојеним секцијама, на основу међусобне повезаности и регионализације, како би се смањило преоптерећење шифрама. Традиционални опис карактера и стања је сажет на начин који не нарушава контекст, али и даље обухвата све потенцијално важне особине.

### 4.1.1 Карактери главене капсуле

**Табела 1.** Приказ изведених стања карактера главене каспуле.

| шифра и опис карактера             | описана стања                           | напомене                                                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| X1 – глава: T <sub>1</sub> (однос) | а – једнако                             | однос треба протумачити дорзално, глава је несразмерна код младих ступњева |
|                                    | б – глава мања                          |                                                                            |
|                                    | ц – глава већа                          |                                                                            |
| X2 – ретрактибилност               | а – нема                                | први торакални сегмент често преклапа главену капсулу                      |
|                                    | б – видљива                             |                                                                            |
| X3 – видљивост сета                | а – сете видљиве само око усног апарата | видљивост сета треба испитивати уз довољно светлости                       |
|                                    | б – сете ретке                          |                                                                            |
|                                    | ц – густе, минутне сете                 |                                                                            |
|                                    | д – пуна покривеност                    |                                                                            |
| X4 – генерална текстура            | а – сјајна                              | 4б – може бити резултат присуства минутних сета                            |
|                                    | б – матирана                            |                                                                            |
|                                    | ц – груба                               |                                                                            |
|                                    | д – спинулозна                          |                                                                            |
|                                    | а – благо подигнута                     |                                                                            |

|                             |                           |                                                                                                        |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X5 – епикранијална површина | б – јасно избачена        | 5б – урезана, не мешати са главеним пројекцијама                                                       |
|                             | ц – надувена              |                                                                                                        |
|                             | д – издужена              |                                                                                                        |
| X6 – позиција               | а – у осовини тела        | Односи се како и на анатомске разлике тако и на положај                                                |
|                             | б – на горе               |                                                                                                        |
|                             | ц – на доле               |                                                                                                        |
| X7 – облик                  | а – регуларни             | 7б – мандибуле и режњеви у истој равни                                                                 |
|                             | б – спљоштен              |                                                                                                        |
| X8 – додатне структуре      | а – без                   | додатне структуре леже на епикранијалним површинама, не мешати са пројекцијама T <sub>1</sub> сегмента |
|                             | б – меснате пројекције    |                                                                                                        |
|                             | ц – једноставне туберкуле |                                                                                                        |
|                             | д – гранате туберкуле     |                                                                                                        |
| X9 – шема пигмената         | а – без/ монохроматска    | 9ц – свака дефинисана, уобличена шара или образац на сваком режњу (субмедијални лукови, ивице)         |
|                             | б – мрежаста              |                                                                                                        |
|                             | ц – симетрична            |                                                                                                        |
|                             | д – комбинована           |                                                                                                        |



**Слика 15.** Карактери главене капсуле (X), према редоследу појављивања: (1a) *Cucullia verbasci*, (1б) *Lithophane socia*, (1ц) *Carcharodus alceae*, (2a) *Colotois pennaria*, (2б) *Noctua comes*, (3a) *Cerura vinula*, (3б) *Diloba caeruleocephala*, (3ц) *Anthocharis cardamines*, (3д) *Euthrix potatoria*, (4a) *Cucullia lactucae*, (4б) *Saturnia pavonia*, (4ц) *Agriopsis bajaria*, (4д) *Vanessa atalanta*, (5a) *Cosmia affinis*, (5б) *Lycia*

*hirtaria*, (5ц) *Drymonia ruficornis*, (5д) *Mimas tiliae*, (6а) *Orthosia gracilis*, (6б) *Erannis defoliaria*, (6ц) *Papilio machaon*, (7а) *Operophtera brumata*, (7б) *Chrysodeixis chalcites*, (8а) *Dasycorsa modesta*, (8б) *Apatura ilia*, (8ц) *Catocala fulminea*, (8д) *Polygonia c-album*, (9а) *Asphalia ruficollis*, (9б) *Phlogophora meticulosa*, (9ц) *Calyptra thalictri*, (9д) *Mythimna conigera*.

Однос између ширине и величине главене капсуле и првог торакалног сегмента описан је кроз три стања. Сразмерност је карактеристична за целу породицу Noctuidae, али је такође присутна код многих егзофитофагних гусеница. Друго најчешће стање, при коме је главена капсула мања и ужа, често се налази међу совицама, као што је приказано код *Lithophane socia* (Хуфнагел), али и код филогенетски више или мање удаљених таксона као што су Endromidae и Saturniidae, неке Sphingidae (посебно Macroglossinae), многе Nolidae и друге. Типичан представник фамилије, *Carcharodus alceae* (Еспер) има констрикцију T<sub>1</sub> сегмента што прати шира главена капсула. Ово стање је визуелно појачано карактеристичним проторакалним штитом, такође уобичајеним унутар ове фамилије. Значајно већа главена капсула у односу на T<sub>1</sub> сегмент је заједничка особина чланова фамилије Drepanidae. У овом случају, стање је узрочно за карактер X5, специфично варијанте X5б (Drepaninae) и X5ц (Thyatirinae).

Имитација гранчица, присутна код земљомерки попут *Colotois pennaria* (L.), коинцидира са потпуно експонираном главеном капсулом. Са друге стране, делимично преклапање је веома уобичајено, лако препознатљиво код Lepidoptera и приказано на примеру *Noctua comes* Hübner .

У покушају да се стања учине интуитивним ширем спектру корисника, сложена природа сета код гусеница поједностављена је и у овом случају се односи искључиво на видљиве, секундарне сете. Чак и код глатких, сјајних главених капсула, део близу усног апарата носи видљиве сете, као што се види на примеру *Cerura vinula* (L.). Ретке сете су приказане за *Diloba caeruleocephala* (L.) и налик су претходном стању. X3б се често повезује са специфичним морфолошким типом гусеница: интегумент у светлим или пастелним бојама, благо покривен карактеристичним папилама. Описана морфологија распрострањена је како међу егзо- тако и међу ендифитофагним штеточинама, као што су Noctuidae: Heliothinae, али је присутна и код Microlepidoptera. Стање карактера које подразумева густе, деликатне сете може се користити као неспорни дискриминатор за породице Hesperidae и Pieridae и



повремено за Nymphalidae (превасходно Satyrinae). Коначно, стање приказано код врсте *Euthrix potatoria* (Lasiocampidae) представља најрадикалнији пример прекривености сетама, у којем је главена капсула практично невидљива.

У погледу текстуре, описана су четири свеобухватна стања, који су често резултат варијације у претходном карактеру. Као што се види код врсте *Cucullia lactucae* (Noctuidae: Cuculliinae), стање дефинише сјајна, глатка главена капсула (последица склеротизације). Стање није ексклузивно за Noctuidae, будући да сјајне, црне главене капсуле преовлађују код младих ступњева свих Lepidoptera, а коначна текстура долази као резултат претходних пресвлачења. Основно, ова особина је типична за Microlepidoptera и ендифитофаге, али је задржана код млађих таксона који живе унутар влажних микрохабитата попут цвасти (Erebidae: Eublemminae) или на тлу (Noctuidae: Noctuinae: Agrotini). Мат изглед може имати бројне варијације, у зависности од порекла (Слика 15). Гусенице са мат главеном капсулом се углавном хране грмљем, као што је приказано код врсте *Saturnia pavonia* (Saturniidae) и често код припадника Erebidae: Erebinae: Catocalini. Визуелно, мат изглед може бити резултат ситних сета, посебно ако је главена капсула монохроматска и тамна (као код многих врста из фамилије Hesperidae). Текстура описана као груба или хрпава уочљива је на примеру *Agriopsis bajoria* и присутна је код већине геометрида са животном формом мимикрије гранчице. Ако су структуре које носе сете израженије, главена капсула може бити прецизније описана као спинулозна, што је особина уобичајена код лептира из породице Nymphalidae, као што је приказано за врсту *Vanessa atalanta*. Иако је стање типично за Nymphalinae и Melitaeinae, Apaturinae, Heliconiinae и Limenitidinae позиционирају се негде између стања X4б и X4ц, у зависности од врсте и зрелости јединке.

Поред текстуре, одређене регије главене капсуле могу значајно да допринесу општем изгледу, због чега је одабрано да се даље разради облик епикранијалне површине. Овај морфолошки карактер генерално може имати четири главна стања, неједнако заступљена међу Macrolepidoptera. Први тип (Слика 15, *Cosmia affinis*, Noctuidae) је најнеинформативнији од поменута четири. Епикранијална површина у овом случају не одудара од основне шеме. Код врсте *Lycia hirtaria* (Geometridae) дубина епикранијалне бразде диктира нешто специфичнији изглед: режњеви су истакнути и чине се суженим. Благе форме овог стања су честе код фамилије Geometridae, већина врста из трибуса

Ennominae, али и фамилије Drepanidae, нарочито субфамилије Drepaninae. Дубоке бразде које резултирају изузетно шиљатим режњевима могу изгледати и као додатне структуре које су обрађене у склопу карактера X8. То је случај, између осталих, са врстом *Harpya milhauseri* (Notodontidae: Heterocampinae), са готово свим врстама у трибусима Hemistolini, Hemitheini, Jodiini, Pseudoterpnini и Thalerini (Geometridae: Geometrinae) и код рода *Biston* (Geometridae: Ennominae). Још једно уочљиво стање је булбозна, надувена форма, као код врсте *Drymonia ruficornis* (Слика 15, Notodontidae), што је типично за припаднике субфамилије Thyatirinae (Drepanidae). Стање карактера код гусенице *Mimas tiliae* (Sphingidae) је најдискриминативније од описаних четири, јер епикранијални режњеви формирају троугао и мењају читав изглед главене капсуле. Упркос утицају на општи облик, стање је укључено у карактер X5, како би се осигурао логичан низ закључака при прегледу гусенице.

Позиција главене капсуле може бити или анатомско или својство постуре. Врста *Orthosia gracilis* (Слика 15, Noctuidae) има најчешће стање, при ком позиција главе потпуно одговара оси цилиндра тела гусенице.. Ово стање је довољно широко распрострањено да се може сматрати основним, тако да само за себе није превише информативно. Положај „на горе” приказан је на примеру врсте *Erannis defoliaria* (Geometridae). Супротно стање је често каузално, са већим или преклапајућим Т сегментима као што је илустровано примером врсте *Papilio machaon* (Papilionidae). Постоје и изузеци, гусенице с екстремно већим торакалним сегментима, као код врста из трибуса Elaphriini (Noctuidae: Noctuinae) које показују стање X6a. Осим фамилије Papilionidae, X6ц је присутан у читавој суперфамилији Zygaenoidea.

Анатомска својства главене капсуле која доводе до промена у позиционирању или начину на који се позиција перципира су разноврсна и треба их узети у обзир приликом дефинисања подстања. Са друге стране, општи облик је прилично недвосмислен, и стога издвојео као валидан карактер. Прва могућност, приказана на примеру земљомерке, врсте *Opheropera brumata*, је постојање типичне главена капсуле. Најчешће одступање од овог облика је спљоштена главена капсула приказана за врсту *Chrysodeixis chalcites* (Слика 15, Noctuidae: Plusiinae) и представља готово дискриминаторно стање. Одражава животну форму и представља уобичајени хабитус ендифитофага. Припадници субфамилије Plusiinae се делимично скривају док се хране и деле неке особине с микролепидоптерним штеточинама:

смањене лажне ножице, видљиве дорзалне вене, доминантно зелени интегумент прошаран беличастим линијама и генерално прозиран. Стање се среће и код припадника трибуса Ophiusini (Erebidae: Erebiniae) и неких врста из фамилије Geometridae које живе на травама или арбореално.

На облик главене капсуле утичу и додатне структуре. На примеру врсте *Dasycorsa modesta* (Слика 15) приказани су типични епикранијални режњеви, односно одсуство било каквих структура. *Apatura ilia* (Nymphalidae: Apaturinae) је на другом крају екстрема, (Слика 15–X86). Врсте из овог рода имају велике, меснате парове роголиких наставака на епикранијалној површини. Ова особина није честа, али је изведена на статус стања како би приказала основне главене пројекције, као и због свог дијагностичког капацитета. Далеко чешће су гусенице са блаже израженим структурама на главеној капсули, као на пример *Catocala fulminea* (Erebidae) и *Polygonia c-album* (Nymphalidae). Стање X8ц обухвата склеротизоване избочине и чворолике пројекције које су честе код таксона који одмарају на гранама, као што су припадници трибуса Catocalini и неких трибуса у оквиру фамилије Geometridae: Ennominae: Epionini, Gonodontini. Стање X8д односи се на крупне сеталне базе са склеротизованим сетама, типичне за лептире из фамилије Nymphalidae.

Осим структуре, гусенице приказују огроман диверзитет када су у питању боје и шаре, то јест дистрибуција пигмената. Ово најчешће одражава везу с одређеном животном формом, стратегијом или физиолошким и хемијским својством. Иако се поједини обрасци дистрибуције пигмената могу сматрати чешћим за нек више таксономске категорији, ниједан се не може некој од њих искључиво доделити. Како би била применљива на читав ред, издвојена су четири основна стања. Прво стање (Слика 15, *Asphalia ruficollis*, Drepanidae) обухвата немаркиране монохроматске главене капсуле без обзира на порекло пигмента. Друга широко распрострањена варијанта је ретикуларно тј. мрежасто стање (*Phlogophora meticulosa*, Noctuidae). Прати га глатка главена капсула, која може бити сјајна или матирана. Код врсте *Calyptra thalictri* (Erebidae) описује се једна од многих могућих варијанти симетричних тачака, мрља, пруга, линија, субмедијалних лукова и других облика који се појављују на режњевима и имају јасно дефинисану границу. Стање названо комбиновано (Слика 15–X9д, *Mythimna conigera*, Noctuidae), вероватно је једино које уопште сугерише таксономску припадност. Дobar пример је гусеница врсте *Hadena*

*perplexa*, која за разлику од својих сродника, није типично маркирана у средњем дорзалном подручју, већ личи на неке *Microlopidoptera*, што одговара и животној форми исхране на цветовима. Међутим, главена капсула је типична за совице: субмедијални лукови, симетричне тамне пруге и ретикуларни образац.

#### 4.3.2. Карактери на телесним сегментима

**Табела 2.** Приказ изведених стања карактера торакалних и абдоминалних сегмената.

| шифра и опис карактера            | описана стања             | напомене                                           |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| Б1 – генерални облик тела         | а – цилиндричан           | 1а – без обзира на облик главе                     |
|                                   | б – фузиформан            |                                                    |
|                                   | ц – овалан, здепаст       |                                                    |
| Б2 – генерални изглед интегумента | а – гладак                | 2а – и сомотаст и сјајан                           |
|                                   | б – са текстуром          | 2б – спинулозни, гранулирани                       |
|                                   | ц – прекривен сетама      | 2ц – интегумент неуочљив                           |
| Б3 – проторакални штит            | а – сјајан                | 3ц – одговара остатку интегумента или одсуствује   |
|                                   | б – матиран               |                                                    |
|                                   | ц – неуочљив              |                                                    |
| Б4 – облик сураналног сегмента    | а – шиљаст                | често позициониран на доле                         |
|                                   | б – заобљен               |                                                    |
| Б5 – присуство сета               | а – одсутне или ретке     | 5б – сете најистакнутије у фронталној равни тела   |
|                                   | б – минутне               |                                                    |
|                                   | ц – латерална покривеност |                                                    |
|                                   | д – пуна покривеност      |                                                    |
| Б6 – сеталне основе               | а – неуочљиве             | 6б – равне, булбозне, зашиљене, носе по једну сету |
|                                   | б – папиле                | 6ц – мноштво облика, носе више сета                |

|                                  |                                |                                                               |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                                  | ц – веруке                     |                                                               |
|                                  | д – сколуси                    | бд – једноставни или гранати,<br>меснати или трнолики         |
| Б7 – карактеристика сете         | а – фина                       |                                                               |
|                                  | б – чекињаста                  | односи се на појединачне сете                                 |
|                                  | ц – пераста                    |                                                               |
| Б8 – груписање сета              | а – индивидуалне               | 8б – дорзално                                                 |
|                                  | б – бусен                      |                                                               |
|                                  | ц – реп                        | 8ц – око главе или каудално                                   |
|                                  | д – у оквиру веруке            |                                                               |
| Б9 – дорзо-вентрални<br>преклоп  | а – нема                       | углавном субспиракуларно,<br>видљиво код арбореалних<br>врста |
|                                  | б – видљив                     |                                                               |
| Б10 – преклоп сегмената          | а – ивице јасно дефинисане     |                                                               |
|                                  | б – ивице недефинисане         | стимулисати гусеницу на<br>кретање                            |
|                                  | ц – интерсегментални прстенови |                                                               |
| Б11 – тип пројекције             | а – грба                       | 11а – месната; 11б –<br>склеротизован;                        |
|                                  | б – рог                        |                                                               |
|                                  | ц – жлезда                     | 11ц – осметериум или<br>медиодорзалне папиле                  |
| Б12 – локализација<br>пројекција | а – Т сегменти                 |                                                               |
|                                  | б – А сегмент                  |                                                               |
|                                  | ц – Т + А сегменти             |                                                               |



**Слика 16.** Приказ карактера на торакалним и абдоминалним сегментима (Б), у складу са редоследом појављивања: (1а) *Orthosia cerasi*, (1б) *Cerura vinula*, (1ц) *Zygaena filipendulae*, (2а) *Polyphenis sericata*, (2б) *Colotois pennaria*, (2ц) *Lasiocampa trifolii*, (3а) *Cosmia affinis*, (3б) *Orthosia cruda*, (4а) *Agrius convolvuli*, (4б) *Mythimna unipuncta*, (5а) *Polymixis rufocincta*, (5б) *Polyommatus daphnis*, (5ц)

*Malacosoma castrensis*, (5д) *Eriogaster catax*, (6а) *Lasiocampa quercus*, (6б) *Aporia crataegi*, (6ц) *Callimorpha dominula*, (6д) *Argynnis aglaja*, (7а) *Arctia caja*, (7б) *Saturnia pavonia*, (7ц) *Amata phegea*, (8а) *Phigalia pilosaria*, (8б, 8д) *Orgyia antiqua*, (8ц) *Rhyparia purpurata*, (9а) *Agrochola lychnidis*, (9б) *Colotois pennaria*, (10а) *Diloba caeruleocephala*, (10б) *Dendrolimus pini*, (10ц) *Macrothylacia rubi*, (11а) *Thyatira batis*, (11б) *Acronicta psi*, (11ц) *Zerynthia polyxena*.

Табела 2 детаљно описује тродимензионалне дескрипторе који се односе на торакалне и абдоминалне сегменте. Први карактер се односи на три главна облика тела који се јављају код гусеница. Цилиндрично стање представљено на примеру врсте *Orthosia cerasi* (Слика 16, Noctuidae) приказује облик који је обично у складу са одсуством торакалних или абдоминалних пројекција. Ово је најмање информативно од свих стања и може се наћи скоро у свим фамилијама: Erebidae, Geometridae, Noctuidae, али и Lasiocampidae, Notodontidae и Drepanidae. Карактер треба посматрати као уводни дискриминатор. Вретенасти облик тела је резултат односа телесних сегмената у корист торакалних сегмената (Слика 16, *Cerura vinula*). Овај однос практично спаја таксономски веома удаљене таксоне: Notodontidae: род *Cerura*, Drepanidae: Drepaninae, Nymphalidae: Limenitidinae, Papilionidae: Papilioninae и Parnassiinae: Luehdorfiini, Noctuidae: Noctuinae: Elaphrini, Saturniidae у одређеним ступњевима, и повремено, Sphingidae. Здепаст, овалан облик тела је вероватно најочљивији у суперфамилији Zygaenoidea (Слика 16 –Б1ц, Zygaenidae), али се јавља и као интермедијарно стање за гусенице које мирују пред пресвлачење, током естивације или хибернације, или у случају паразитираности. Фамилија Nolidae (и Nolinae и Cleophorinae) посебно је тешка за додељивање стања, јер су припадници негде на пола пута између Б1а и Б1ц, у зависности од врсте. Припадници фамилије Lysaenidae такође показују дорзо-вентралну спљоштеност стања Б1ц, с обзиром да њихова морфологија одражава еколошке интеракције.

Површина интегумента је карактер који пружа релативно добар увид када се ради о припадности фамилији. Гладак интегумент, приказан на примеру врсте *Polyphenis sericata* (Noctuidae) представља основно, непромењено стање, присутно у свим вишим таксономским категоријама. Ако је површина интегумента наизглед груба, као код *Colotois pennaria* (Geometridae), може се описати као грануларна. Стање је веома уобичајено међу врстама које живе у сувим до умерено влажним микрохабитатима, као што су шибље или слој крошања. Стање у ком се текстура не може прецизно одредити (Слика 16, *Lasiocampa*



*trifolii*) односи се на све гусенице са много секундарних сета без обзира на структуру сеталне основе. Једно од интермедијарних стања укључује велику покривеност сетама, али и видљив интегумент, нарочито дорзално (на пример Lasiosampidae: Poesilocampinae).

Уколико је присутан, склеротизовани штит који се налази дорзално на T<sub>1</sub> сегменту, (проторакални штит) може бити солидан дескриптор. На видљивост штита могу утицати појава секундарних сета, одређени обрасци интегумента и бројни други разлози. Сјајни проторакални штит визуелно је описан примером врсте *Orthosia cruda* (Noctuidae). Овакво стање може бити последица делимичног скривеног начина живота. Сличан хабитус се примећује кроз читав процес развоја бројних Microlepidoptera, због њихове животне форме. У случају Macrolepidoptera, млади ступњеви живе далеко опрезније него зреле гусенице и такође показују ову особину. С друге стране, мат штит се виђа код врста које живе близу тла, као што је приказано за врсту *Cosmia affinis* (Слика 16, Noctuidae).

Још један карактер интегумента који није увек лако приметан, је облик сегмента изнад аналног отвора (суранални сегмент). Врста *Agrius convolvuli* (Sphingidae) добар је пример изразито шиљатог сураналног сегмента, док врста *Mythimna unipuncta* (Noctuidae) илуструје чешћи, заобљени облик.

Присуство сета је вероватно најочигледнији карактер у неекспертској идентификацији гусеница. Имајући у виду да све гусенице имају примарне сете, прво стање групише све врсте које су наизглед потпуно глатке или код којих је број видљивих сета занемарљив (*Polymixis rufocincta*, Noctuidae). Овде спада мноштво таксона, укључујући Erebidae (осим Arctiinae и Lymantriinae, али донекле и Boletobiinae, Eublemminae, и Aentiinae) и друге таксономски удаљене врсте које живе арбореално. Остали примери су Nolidae (осим Nolinae); Notodontidae (осим Phalerinae и Thaumetopoeinae и неке Pygaerinae); Noctuidae (осим Acronictinae, Pantheinae, неке Bagisarinae, Heliothinae, Dilobinae и све Xylenini осим необично длакаве гусенице врсте *Conistra rubiginea*). Финално, стање је прикладно за опис свих припадника Drepanidae; Geometridae (осим неких спорадичних врста и трибуса Larentiinae и Orthostixinae); свих Sphingidae и Papilionidae (осим Parnassiinae). Фине и униформне сете које дају интегументу посебан, баршунасти изглед, виђају се код припадника фамилије Lycaenidae, неких Saturniidae, већине Hesperiidae, Pieridae (са изузетком врсте *Aporia crataegi*), Nymphalidae (осим Nymphalinae, Heliconiinae и



Melitaeinae) и врло ретко у оквиру фамилије Noctuidae. Остала стања недвосмислено су повезана са длакавим гусеницама, при чему је главна разлика дистрибуција сета. Врста *Malacosoma castrensis* даје добар пример доминантних латералних сета у којима је интегумент још увек видљив, и где се могу применити други дескриптори. Стање је присутно у оквиру фамилије Lasiocampidae (само Lasiocampinae у млађим ступњевима); Erebidae (неке Arctiinae, посебно Lithosiini и Arctiini: Callimorphina, већина Lymantriinae осим Orgyiini); Noctuidae (неке Acronictinae и Pantheinae у зрелим ступњевима), неке Notodontidae (Pygaerinae) али и поменута врста *Aporia crataegi* (Pieridae). Потпуна покривеност сетама илустрована је кроз пример врсте *Eriogaster catax* (Слика 16, Lasiocampidae). Стање се јавља код свих таксона повезаних с претходно описаним Б5ц, јер је то дескриптор на нивоу врсте који, додатно, зависи од зрелости јединке. Интермедијарна стања су такође честа код овог дескриптора.

Следећи важан корак у описивању секундарних сета је одређивање структуре сеталних основа. Груписање и означавање ових структура је деликатно, углавном због њиховог броја и сличности које могу изазвати непотребну субјективност. Структура која носи сете може изгледати као да не постоји или је неуочљива из више разлога, као што је приказано у случају потпуно покривене *Lasiocampa quercus* (Слика 16 –Б6а). Парадоксално, већина наизглед потпуно глатких гусеница такође спада у ову категорију. Постоје неки атипични примери, као што су гусенице са тек неколико финих дугих длака, као што су врсте *Tyria jacobaeae* (Erebidae) и *Craniphora ligustri* (Noctuidae). Сете могу бити распоређене на израженим структурама, као што су папиле. Мала диск папила је илустрована код врсте *Aporia crataegi* (Pieridae). Папила може бити равна, сјајна и плочаста, али и булбозна или шиљата. Групишући атрибут за овај појам је чињеница да свака папила носи једну сету. Ово стање се углавном јавља код Geometridae (посебно имитатори гранчица), неких Noctuidae (Dilobinae и Heliethinae) и неких Hesperidae. Ако структура носи више сета, сетална основа се означава као верука (*verruca*), као код врсте *Callimorpha dominula*. Ово стање није само забележено код припадника фамилије Erebidae (Arctiinae, Lymantriinae) већ и у оквиру Noctuidae (неке Acronictinae) и Nolidae (Nolinae). Верука није нужно савршено сферна, већ може бити спљоштена или неправилна као код врсте *Dysaules famula* (Erebidae), или пехараста (Saturniidae). Неке од најмање уочљивих верука виђају се код Zygaenidae и Heterogynidae, јер су камуфлиране набораним и дебелим интегументом. Стање приказано

код врсте *Argynnis aglaja* (Слика 16), тзв. сколус (*scolus*), подсећа на трн и варира у нивоу склеротизације. Сколуси су готово искључиво присутни код Nymphalidae (Heliconiinae, Melitaeinae, Nymphalinae). Нешто другачији израштаји су присутни у трибусу Luehdorfiini (Papilionidae: Papilioninae), као и код неких Limacodidae и нпр. у раним ступњевима развоја код врсте *Agria tau* (Saturniidae). Друге трнолике, насумичне пројекције које се јављају код гусеница, без очигледног понављања или реда на интегументу, не треба мешати са сколусима.

Најчешћи тип сета, присутан код свих поменутих таксона, приказан је на примеру врсте *Arctia carya* (Слика 16, Erebidae). У овом случају, сете су fine, флексибилне и различитих дужина. С друге стране, сете могу бити и склеротизоване, краће и чекињасте као што се види на примеру врсте *Saturnia pavonia* (Saturniidae). Овај тип сета најчешће се јавља код гусеница из субфамилије Arctiinae (Erebidae). Неке врсте, као што је *Hyphoraia aulica*, имају оба типа (чекиње по телу и fine сете око главене капсуле). Многе потпуно покривене гусенице са финим сетама у финалном ступњу, имале су чекиње као примарни тип сета током развоја. Најређи облици сета су главичаст, пераст и гранат, што резултира типичним замагљеним општим изгледом (*Amata phegea*, Erebidae). Овај тип сета је присутан код неких Arctiinae: Lithosiini, а посебно у подтрибусу Nudariina.

Још један дијагностички користан атрибут је начин на који су сете груписане на интегументу. У оквиру првог стања, сете не показују никакав образац при груписању, што илуструје пример врсте *Phigalia pilosaria* (Geometridae). Стање је потпуно независно од карактера Б5, Б6 и Б7, али постоје неке уобичајене комбинације. Стања Б8б и Б8д су веома специфична и представљена једним примером: *Orgyia antiqua* (Erebidae), има стање описано као бусен (чврста групација униформних сета) и чуперке (мањег пречника и краће). Комбинација стања може дискриминисати трибус Orgyiini (Erebidae: Arctiinae), са само неколико изузетака (*Penthophora morio*, *Albaracina warionis*, *Parocneria terebinthi* и *P. detrita*). Чуперци се јављају и код таксономски удаљених група, као што су многи ноћни лептири рода *Acronicta* (Acronictinae), Pantheinae, и неке Pinarinae (Lasiocampidae).

Код одређених врста, пре свега оних чији интегумент има извесну текстуру (Б2б), видљиво је савијање дуж латералних линија и ствара жуљевитог набора. То је посебно уочљиво код припадника фамилије Geometridae, као што је врста *Colotois pennaria*, а ређе и код неких

врста у оквиру фамилије *Erebidae* и целе суперфамилије *Noctuoidea*. Неутрално стање карактера приказано је на примеру *Agrochola lychnidis* (Слика 16 –Б9а, *Noctuidae*). Треба напоменути да многе врсте са стањем Б9а повремено испољавају хабитус Б9б током мировања при пресвлачењу, пре пупације или када се узгајају у субоптималним условима.

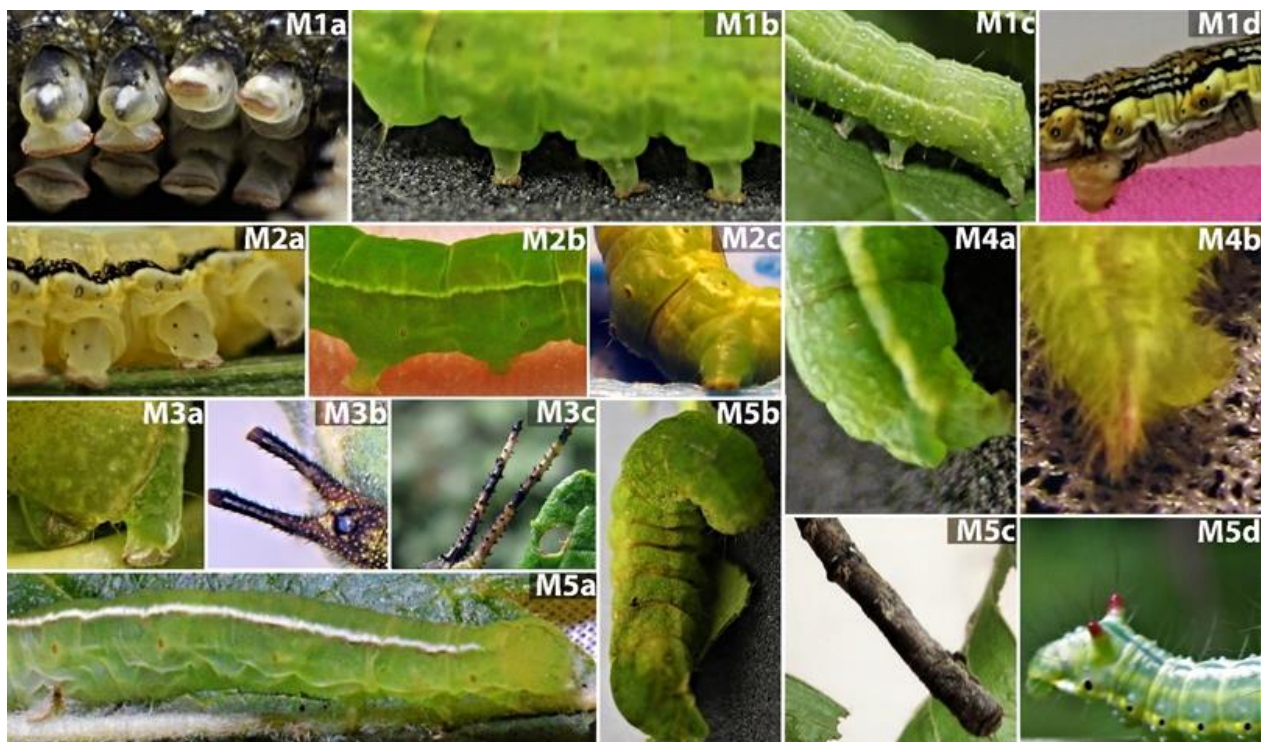
Савијање интегумента није окарактерисано само присуством или одсуством латералног набора, већ и начином на који су сами сегменти набрани. Сегменти могу бити у потпуности раздвојени и добро видљиви, као код врсте *Diloba caeruleocephala* (*Noctuidae*). Ово стање је уобичајено код *Lepidoptera* и складу је са хабитусом већине гусеница. Понекад се сегменти чине фузионисаним, као на примеру врсте *Dendrolimus pini* (*Lasiocampidae*), и код многих *Geometridae*. Изузетно, танке области између сегмената могу бити изражене и јасно обојене, што је типично код младих ступњева *Macrothylacia rubi* (Слика 16–Б10ц).

Природа пројекција је разрађена као посебан карактер. Појмови грба и рог разликују се на основу чврстоће и облика пројекција, иако постоје многа прелазна стања. Прво стање описано као грба приказано је код врсте *Thyatira batis* (*Drepanidae*). Иако се ово стање појављује код бројних сродника, присутно је и код многих припадника фамилије *Erebidae* (*Erebinae*: *Catocalini*), готово свим потфамилијама у оквиру *Geometridae*, *Notodontidae* (*Heterocampinae* и *Notodontinae*) и *Nymphalidae* (*Limenitidinae*). Рогови су нешто специфичнији и обично карактеришу припаднике фамилије *Sphingidae*, неке врсте из рода *Catocala* (*Erebidae*) и *Geometridae*. Илустровани су на примеру гусенице врсте *Acrionicta psi* (*Noctuidae*). Трећа могућност укључује жлездане пројекције свих облика, што се види на примеру осметериума код врсте *Zerynthia polyxena* (*Papilionidae*). Осим осметериума, стање важи за мале дорзалне папиле код припадника субфамилије *Lymantriinae* (*Erebidae*). Један од карактера који није приказан у овом раду је локација пројекција. Кондензовање свих могућих комбинација у основна стања није применљиво и угрожава лаку дијагностику врста са специфичним пројекцијама. Припадници породице *Geometridae* су посебно добри за аргументацију, јер (посебно *Ennominae*) имају бројне пројекције које се мењају током развоја. Три могуће опције Б12 користе регион сегмента у којем се пројекције налазе (Т, А, оба) као једини референтни оквир за разликовање.

#### 4.2.3. Морфолошки и бихејвиорални карактери у вези са кретањем

**Табела 3.** Приказ изведених стања карактера торакалних и абдоминалних ножица.

| шифра и опис карактера                         | описана стања                                                      | напомене                                                                                        |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M1 – присуство абдоминалних лажних ножица      | а – A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub>                                 | искључен анални пар                                                                             |
|                                                | б – A <sub>4</sub> -A <sub>6</sub>                                 |                                                                                                 |
|                                                | ц – A <sub>5</sub> -A <sub>6</sub>                                 |                                                                                                 |
|                                                | д – A <sub>6</sub>                                                 |                                                                                                 |
| M2 – степен развоја абдоминалних лажних ножица | а – једнаке                                                        | 2ц– рудименти, папиле, интегумент суптилно измењен код A <sub>5</sub> и A <sub>6</sub> позиције |
|                                                | б – један или два пара мања<br>ц – један или два пара вестигијална |                                                                                                 |
| M3 – модификације аналних лажних ножица        | а – нема                                                           | 3б и 3ц меснати;                                                                                |
|                                                | б – виљушка                                                        |                                                                                                 |
|                                                | ц – стемапода                                                      | 3ц значајно дуже од 3б                                                                          |
| M4 – виљушкаст суранални штит                  | а – одсутан                                                        | 4б– мале пројекције изнад аналног пара ножица                                                   |
|                                                | б – присутан                                                       |                                                                                                 |
| M5 –мирујући став                              | а – издужен, плъснат                                               | не мешати са танатозом                                                                          |
|                                                | б – кука                                                           |                                                                                                 |
|                                                | ц – имитатор гранчице                                              |                                                                                                 |
|                                                | д – задњи сегменти подигнути                                       |                                                                                                 |
| M6 – образац кретања                           | а – регуларан                                                      | каузални карактер                                                                               |
|                                                | б – земљомерка                                                     |                                                                                                 |



**Слика 17.** Карактери у вези са кретањем, у складу са редоследом појављивања (М): (1а) *Xestia c-nigrum*, (1б) *Hypena proboscidalis*, (1ц) *Chrysodeixis chalcites*, (1д) *Erannis defoliaria*, (2а) *Orthosia gothica*, (2б, 6а) *Scoliopteryx libatrix*, (2ц) *Alsophila aescularia*, (3а, 6б) *Phlogophora meticulosa*, (3б) *Dicranura ulmi*, (3ц) *Cerura vinula*, (4а) *Orthosia incerta*, (4б) *Melanargia galathea*, (6ц) *Biston betularia*, (6д) *Ptilodon capucina*.

Неки од лако уочљивих морфо-бихејвиоралних карактера повезаних с кретањем могу захтевати да се сачека да гусеница настави са својим уобичајеним активностима. М1 карактер се бави присуством абдоминалних ножица и групише таксоне према четири могућа стања. Стање М1а, које илуструје *Xestia c-nigrum* (Noctuidae), примењује се на већину гусеница: присутна су четири пара на абдоминалним сегментима почевши од А3. Следећа могућност укључује потпуну редукцију првог пара, као у случају врсте *Hypena proboscidalis* и других Erebidae (Erebinae: Euclidiini и други), као и Nolidae: Nolinae. М1ц се односи на присуство два пара, као што се види на примеру врсте *Chrysodeixis chalcites* и других Plusiinae, Noctuinae (трибус Acontiini) и чак Erebidae (Boletobiinae). Коначно, један пар лажних ножица, као код *Erannis defoliaria* (Слика 17–М1д), дискриминаторно је стање за припаднике фамилије Geometridae (осим Archiarinae и Alsophilinae). Поред броја, општи изглед такође може варирати. Зависно од степена развоја, гусенице могу имати ножице

једнаке дужине, што илуструје гусеница врсте *Orthosia gothica*, један или два пара краћа и један или два пара рудиментарна. Краћи пар указује на очувану функционалност структуре, као што се види на примеру врсте *Scoliopteryx libatrix* (Erebidae), Phytometrinae (један пар) или Erebinae (Melipotini, Ophiussini— два пара). У рудиментарном стању, присутан је само мали фрагмент, као код врсте *Alsophila aescularia* и других припадника субфамилије Alsophilinae (Geometridae).

Иако је присуство аналног пара лажних ножица готово константно међу гусеницама, овај пар може имати драстичне модификације. Уобичајено стање приказано је код врсте *Phlogophora meticulosa* (Слика 17–М3а, Noctuidae), а одступања су могућа у морфологији, положају и позицији. Модификација описана у стању карактера М3б односи се на виљушкасто продужење које се налази код нпр. *Dicranura ulmi* и сродника (Notodontinae: Dicranurini) и Drepanidae (Drepaninae). Ако је структура још дужа и месната, гусеници треба доделити стање М3ц, типично за Notodontidae: Notodontinae: Notodontini као што је гусеница врсте *Cerura vinula* (Слика 17–М3ц). Једна од препрека у неекспертској идентификацији је прецизност у разликовању позиције каудалних структура. Горепоменути модификација је вероватно најочљивија, али је не треба мешати с дугим пројекцијама интегумента.

Друга каудална структура, често присутна међу гусеницама из фамилије Hesperiiidae и неким Nymphalidae, је двограни наставак на сураналном сегменту. Одсуство такве структуре приказано је на примеру гусенице *Orthosia incerta* (Слика 17). Супротно, присуство је илустровано на примеру врсте *Melanargia galathea* (Слика 17–М4б, Nymphalidae) и може се наћи и међу другим врстама из таксона Satyrinae, Hesperiiidae и код неких Geometridae.

Гусенице се могу окарактерисати и по положају у коме одмарају, што није занемарљив сигнал при прелиминарној идентификацији. Иако се положај може описати детаљније, карактер је ограничен на четири лако препознатљива стања. М5а је стање приказано на примеру врсте *Scoliopteryx libatrix* (Erebidae). Обично је повезано с гусеницама које одмарају на гранама или травама и стога је широко присутно. Положај куке је најистакнутији код совица, као што је врста *Phlogophora meticulosa*, али и код неких врста из фамилије Hesperiiidae, између осталог. Имитатори гранчица као што је гусеница из рода *Biston* (Слика 17 –М5ц) су уобичајени у фамилијама Erebidae и Geometridae. Пример је

гусеница *Ptilodon capucina*, којој су задњи сегменти скоро увек издигнути, што је такође случај с другим Notodontidae (Notodontinae и Heterocampinae) и Drepanidae (Drepaninae). Карактер М6 је бихејвиорална особина и не може се визуелно приказати. Односи се на примећене обрасце кретања код гусеница: М6а– уобичајено, и М6б– начин кретања земљомерки (*looping*). М6а је стање широко распрострањено међу Lepidoptera, док М6б представља каузални образац кретања гусеница с једним, два или три пара редукованих лажних ножица.

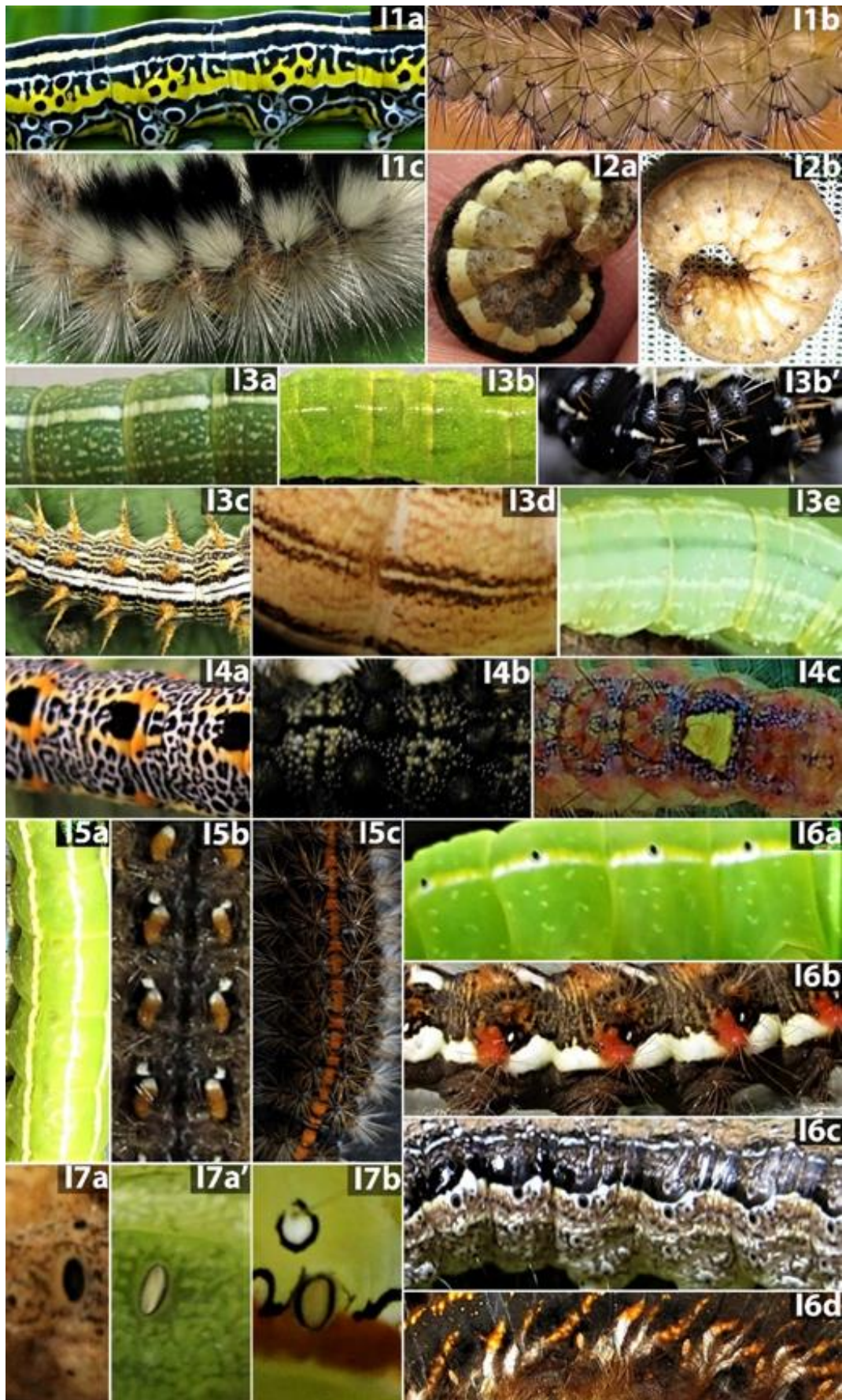
#### 4.2.4. Карактери дистрибуције пигмената

**Табела 4.** Приказ изведених стања дводимензионалних карактера интегумента.

| шифре карактера и опис        | описана стања карактера                                                    | напомене                                                                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | а – пигмент                                                                |                                                                                       |
| И1 – порекло боје интегумента | б – субинтегументалне структуре                                            | 1б– транспарентни интегумент; 1ц– пуна покривеност                                    |
|                               | ц – није применљиво                                                        |                                                                                       |
| И2 – дорзо-вентрални контраст | а – изражен<br>б – суптилан                                                | без обзира на шему транзиције боје                                                    |
|                               | а – пуна<br>б – испрекидана<br>ц – дупла<br>д – оивичена<br>е – неозначена | 3б– ирегуларно или линеарно груписани елементи; 3е– комплетно одсуство видљиве линије |
|                               | а – образац<br>б – присут                                                  |                                                                                       |
| И4 – медиодорзум              | ц – хетерогена шара/маркација                                              | регион између медиодорзалне и субдорзалних линија                                     |
|                               | д – ништа од наведеног                                                     |                                                                                       |
|                               | а – пуне линије                                                            |                                                                                       |
| И5 – субдорзум                | б – испрекидане линије                                                     | 5а– могуће више линија; 5б– ирегуларно или линеарно груписани елементи                |
|                               | ц – неозначен                                                              |                                                                                       |
|                               | а – спиракуларна                                                           |                                                                                       |

|                                  |                       |                                                                           |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| И6 – латералне<br>шаре/маркације | б – субспиракуларна   | ба,б,ц– укључује пуне,<br>испрекидане, линеарно<br>груписане мрље и пруге |
|                                  | ц – супраспиракуларна |                                                                           |
|                                  | д – коси обрасци      |                                                                           |
| И7 – спиракулуми                 | а – једноставни       | 7а– уколико нису црни,<br>оивичени                                        |
|                                  | б – украшени          |                                                                           |





**Слика 18.** Дводимензионални карактери интегумента у складу са редоследом појављивања (И): (1а) *Apopestes spectrum*, (1б) *Diaphora mendica*, (1ц) *Dicallomera fascelina*, (2а) *Amoconia caecimacula*, (2б) *Agrotis exclamationis*, (3а) *Cosmia pyralina*, (3б) *Phlogophora meticulosa*, (3б', 7а') *Rhyparia purpurata*, (3ц) *Brenthis daphne*, (3д) *Mythimna conigera*, (3е) *Operophtera brumata*, (4а) *Artiora evonymaria*, (4б) *Melitaea arduinna*, (4ц) *Subacronicta megacephala*, (5а) *Amphipyra tragopoginis*, (5б) *Eilema complana*, (5ц) *Coscinia striata*, (6а) *Amphipyra pyramidea*, (6б) *Acronicta rumicis*, (6ц) *Anorthoa munda*, (6д) *Euthrix potatoria*, (7а) *Noctua pronuba* (7б) *Xylota exsoleta*.

Генерално, боја интегумента је сажета на Слици 18, и у погледу првог карактера, заснована на пореклу боје. Стварна пигментација, овде приказана код врсте *Apopestes spectrum* (Erebidae), је најчешће стање које је еволуирало као последица дневног, експонираног начина живота и специфичних потреба за одбраном. Са друге стране, гусенице које се камуфлирају у близини тла обично имају пастелну боју интегумента која потиче од субинтегументалних структура. Трећа могућност укључује случајеве у којима дескриптор није применљив због потпуне прекривености сетама, као код врсте *Dicallomera fascelina* и сродника из фамилије. Код других гусеница са секундарним сетама, попут Lasiodactylidae, интегумент је уочљив и неретко орнаментисан.

Раздвајање гусеница на основу контраста између дорзалне и вентралне стране описано је у склопу два стања карактера И2. Може укључивати многа прелазна стања, зависно је од јачине пигментације и шеме транзиције тј. прелаза боје латерално. Прво од два стања подразумева јак контраст који је уочљив код многих припадника у оквиру фамилије Noctuidae, као што је приказано код врсте *Amoconia caecimacula*. Дорзална и вентрална страна тела се знатно разликују код већих припадника фамилије Geometridae, и готово свих интензивно исцртаних врста из фамилије Erebidae. Слаб ниво контраста, или потпуно одсуство истог, приказано је на примеру врсте *Agrotis exclamationis* (Noctuidae). Припадници фамилија Saturniidae, већина Sphingidae, већина глатких Erebidae и готово све Papilionoidea приказују ово стање.

Медиодорзална линија је један од најистакнутијих дескриптора из ове групе. Иако постоји много варијанти, могуће их је сажети у пет главних стања: једну линију различите дебљине и боје (*Cosmia pyralina*, Noctuidae); испрекидану линију различитих облика, као што се види на примеру врста *Phlogophora meticulosa* и *Rhyparia purpurata* (Erebidae); двоструку линију

код врсте *Brenthis daphne* (Nymphalidae), или двоструку линију различитих облика; обрубљену линију код врсте *Mythimna conigera* (Noctuidae) или обрубљену линију различитих облика; и необележено подручје приказано на примеру гусенице *Operophtera brumata* (Geometridae).

Варијације пигментације у области између две субдорзалне линије сажете су у три честа стања И4. Прво стање подразумева обрасце било које врсте, као што се види код врсте *Artiora evonymaria* (Geometridae). Посути медиодорзум се најчешће, али не искључиво, јавља код припадника фамилије Nymphalidae, као што је врста *Melitaea arduinna* (И4б). Хетерогено стање описује необичне, непонављајуће маркације и шаре, као код врсте *Subacronicta megacephala* (Noctuidae). С обзиром на то да је карактер екстремно разноврстан, постоји опција да се гусеници не додели ниједно од горе наведених стања.

Границе медиодорзума, субдорзалне линије или подручје субдорзума описано је кроз три једноставна стања карактера: присуство две линије без обзира на њихову природу (*Amphipyra tragopoginis*, Noctuidae); присуство испрекиданих линија без обзира на њихове елементе (*Eilema complana*, Erebidae) и одсуство субдорзалних обележја (*Coscinia striata*, Erebidae).

Прелазећи са субдорзума на латералне стране тела, дескриптори се могу топографски посматрати у односу на спиракулуме. Постоје четири основна стања која одговарају разилитим позицијама потенцијалних маркација. То су спиракуларна линија, као код врсте *Amphipyra pyramidea* (Noctuidae); субспиракуларна линија код *Acronicta rumicis* (И6б, Noctuidae: Acronictinae); супраспиракуларна линија код *Anorthoa munda* (И6ц, Noctuidae) или косе линије између спиракулума код гусенице врсте *Euthrix potatoria* (И6д).

Спиракулуми и њихово непосредно окружење представљају самостални дескриптор. Прво стање из ове групе укључује варијације у боји и границама спиракулума, као што се види на примерима врста *Phlogophora meticulosa* и *Noctua pronuba* (И7а). Спиракулуми могу бити и окружени понављајућим елементима, као што је приказано код гусенице врсте *Xylota exsoleta* (Слика 18).

## 4.2. Однос и класификација изведених случајева полифенизма

Матрица варијабилности на основу које је урађена анализа полифенизма код европских егзофитофагних гусеница доступна је у целости у оквиру репозиторијума Менделеу (Trajković, 2024). Називи стања карактера у потпуности одговарају претходно изложеним.

**Табела 5.** Број врста које су профилисане у матрици и број описаних случајева полифенизма према таксономској припадности фамилији.

| Фамилија      | Број врста | Број полифенизама |
|---------------|------------|-------------------|
| Noctuidae     | 29         | 251               |
| Erebidae      | 14         | 71                |
| Geometridae   | 10         | 92                |
| Lasiocampidae | 7          | 34                |
| Notodontidae  | 4          | 10                |
| Drepanidae    | 2          | 2                 |
| Saturniidae   | 1          | 5                 |
| Sphingidae    | 2          | 48                |
| Nymphalidae   | 7          | 38                |
| Pieridae      | 2          | 2                 |
| Papilionidae  | 2          | 11                |
| Lycaenidae    | 1          | 2                 |
| Hesperiidae   | 1          | 8                 |
| Zygaenidae    | 1          | 8                 |

Модел САТРСА објашњава 33,756% варијансе кроз две главне компоненте, односно 18,618% и 15,138%. Према општем правилу за Кронбахов коефицијент, интерна конзистентност са оценом .951 указује на високу поузданост.

Оса ПЦ1 представља градијентни образац између високо кондензованих група 1, 4 и 5 које представљају највећи број анализираних случајева. Изоловане групе 2 и 3 распоређене су у доњем десном делу графика. Оса ПЦ2 првенствено утиче на прву групу и њено преклапање са групама 4 и 5.

Оптерећења компоненти сугеришу најутицајније носиоце варијансе (видети Табелу 15.): морфолошкој подклази (Слике 2–5) припадају присуство секундарних сета на главеној капсули (Слика 2), сегментација и дорзовентрално пресавијање (Слика 3), присуство лажних ножица (Слика 4) и мирујући положај за ПЦ1; и општи изглед главене капсуле и интегумента, шеме пигмената главене капсуле и присуство сета на интегументу за ПЦ2.

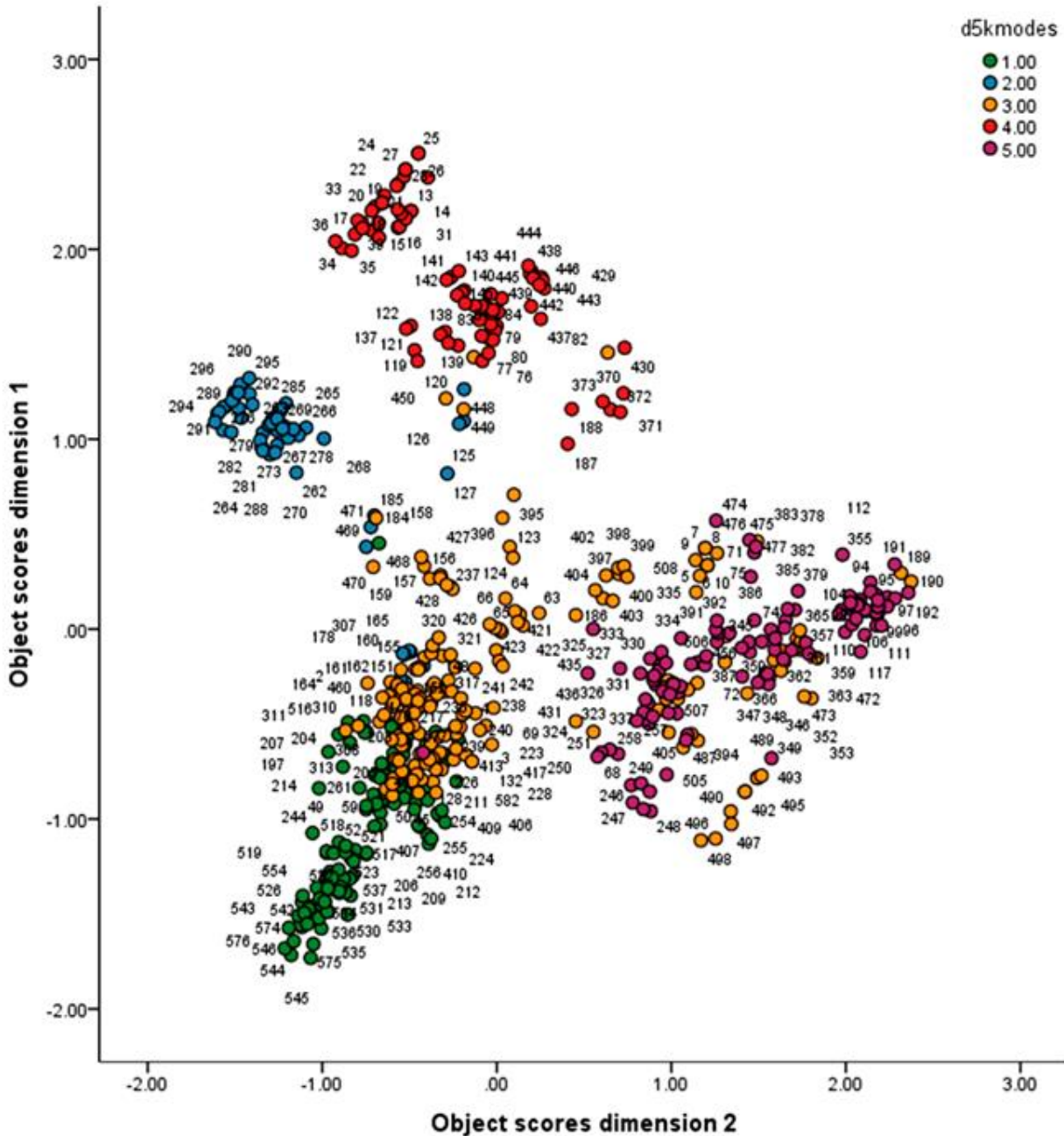
Приказана оптерећења компоненти показују очекивану позитивну корелацију између каузалних карактера као што су присуство сета, облик сета и структура која носи сете, и јасно обрнуту корелацију са постојећим шемама пигмента главене капсуле. Поред многих логичких комбинација, као што је она између броја парова лажних ножица и обрасца кретања који су потврђени визуализацијом, неки од односа су посебно необични. То је посебно приметно са подгрупом варијабли које описују случајеве групе 5: индекси позитивне корелације између Ц2 (активност) и И6 (латералне маркације; Слика 5).

Коришћење различитих група случајева на биplotу, као аргумента у к-мод поступку, омогућило је даље испитивање састава кроз означавање новом променљивом. Пет добијених кластера (Слике 1, 6) усаглашено је са претходним претпоставкама, али такође информативно у погледу дискриминаторне способности категоричких варијабли, разлога преклапања кластера и удаљености између појединачних случајева.

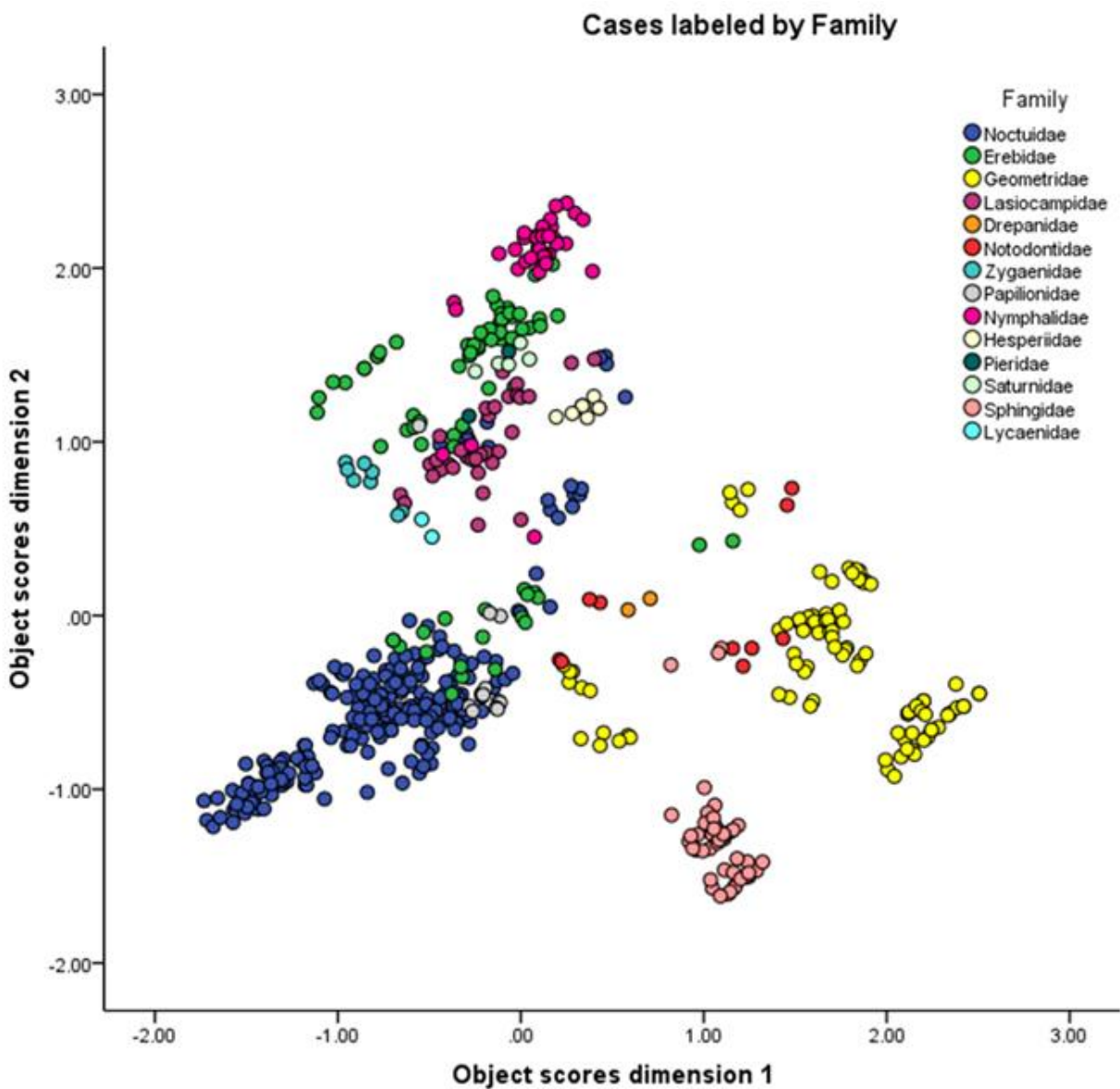
Према анализи, група 4 се поклапа са кластером 1 (Слика 6), а делимично и са кластером 3. Махом укључује глатке (са мало чекиња) врсте из фамилије Noctuidae, обично са маркираним медиодорзумом и без специјализованих дијететских преференција. Велики број случајева у кластеру је резултат многих аутеколошких варијација у групи. Други

кластер (упоредив са групом 3) обухвата морфо-еко-типове са истакнутим пројекцијама као главном карактеристиком торакалних и абдоминалних сегмената, шеме пигмената и арбореалну форму. Кластер 3 (делимично се поклапа са групом 5) представљен је највећим бројем изузетака, као и значајним преклапањем са другим кластерима (посебно кластером 1) у домену интегументалне и аутеколошке варијације. Обрасци и маркације су ретки у кластеру, али скуп укључује и потпуно длакаве и потпуно глатке морфо-еко-типове, чинећи овај кластер посебно неприкладним за тумачење. Готово сви морфо-еко-типови са модификацијама лажних ножица и преференцијама арбореалног начина живота груписани су унутар кластера 4 (усклађено са групом 2). Финални кластер (делимично компатибилан са групом 1) се готово искључиво састоји од случајева са доминацијом секундарних сета или сколуса и истим (диурналним) навикама у исхрани.





Слика 19. САГРСА: дводимензионална позиција изведених случајева полифенизма према бројевима случајева, боја означава вредност чланства у кластеру к-мод (д5кмод).



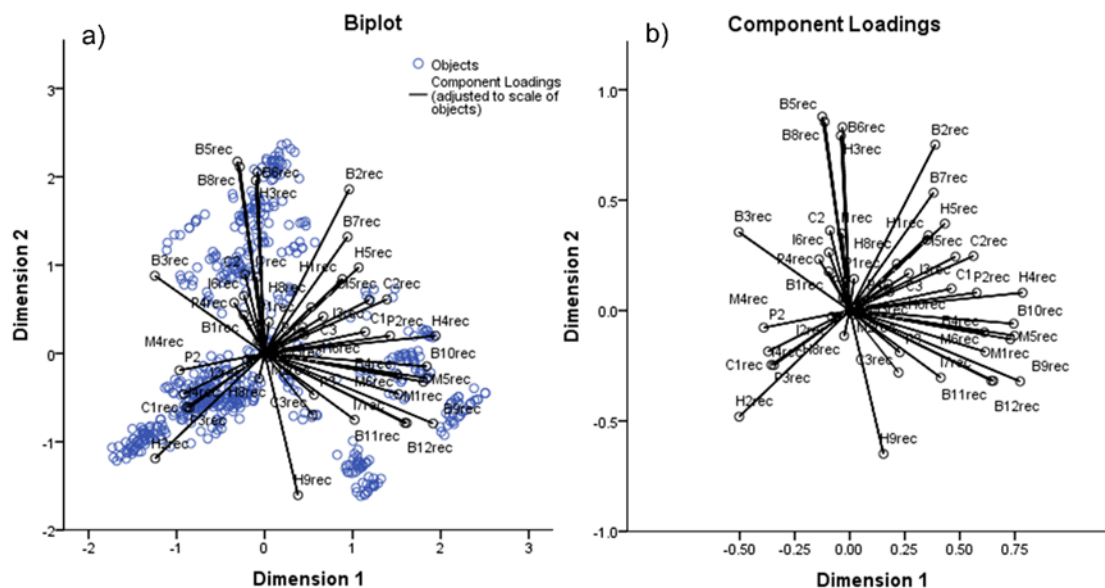
**Слика 20.** дводимензионална позиција изведених случајева полифенизма у ПЦ1 (димензија 1) и ПЦ2 (димензија 2), боја означава таксономску припадност фамилији.



**Табела 6.** Оптерећења карактера за ПЦ1 и ПЦ2 и укупна варијанса; подебљане вредности имају високо оптерећење и кључне су за бољу резолуцију на биплоту.

| Карактер | Оптерећења   |               | Проценат<br>објашњене<br>варијансе |
|----------|--------------|---------------|------------------------------------|
|          | 1            | 2             |                                    |
| H1rec    | 0.375        | 0.316         | 0.240                              |
| H2rec    | -0.528       | -0.434        | 0.467                              |
| H3rec    | 0.005        | <b>0.806</b>  | 0.649                              |
| H4rec    | <b>0.801</b> | 0.074         | 0.647                              |
| H5rec    | 0.452        | 0.359         | 0.333                              |
| H6rec    | 0.203        | 0.089         | 0.049                              |
| H8rec    | -0.011       | -0.124        | 0.016                              |
| H8rec    | 0.207        | 0.19          | 0.079                              |
| H9rec    | 0.134        | <b>-0.669</b> | 0.465                              |
| B1rec    | -0.068       | 0.209         | 0.049                              |
| B2rec    | 0.421        | <b>0.704</b>  | 0.673                              |
| B3rec    | -0.481       | 0.341         | 0.348                              |
| B5rec    | -0.09        | <b>0.888</b>  | 0.797                              |
| B6rec    | 0.006        | 0.833         | 0.694                              |
| B7rec    | 0.418        | 0.486         | 0.411                              |
| B8rec    | -0.072       | 0.87          | 0.761                              |
| B9rec    | <b>0.766</b> | -0.34         | 0.702                              |
| B10rec   | <b>0.745</b> | -0.087        | 0.563                              |
| B4rec    | 0.607        | -0.116        | 0.382                              |

|        |              |        |       |
|--------|--------------|--------|-------|
| B11rec | 0.625        | -0.324 | 0.496 |
| B12rec | 0.633        | -0.327 | 0.508 |
| M1rec  | <b>0.736</b> | -0.219 | 0.589 |
| M2rec  | 0.01         | -0.026 | 0.001 |
| M3rec  | 0.063        | 0.007  | 0.004 |
| M4rec  | -0.022       | 0.059  | 0.004 |
| M5rec  | <b>0.748</b> | -0.198 | 0.599 |
| M6rec  | 0.627        | -0.265 | 0.464 |
| I1rec  | -0.038       | 0.347  | 0.122 |
| I3rec  | 0.49         | 0.271  | 0.313 |
| I4rec  | -0.333       | -0.277 | 0.187 |
| I5rec  | 0.329        | 0.357  | 0.236 |
| I6rec  | -0.115       | 0.314  | 0.112 |
| I7rec  | 0.4          | -0.28  | 0.239 |
| I2rec  | -0.073       | -0.023 | 0.006 |
| P1rec  | 0.029        | 0.138  | 0.020 |
| P2rec  | 0.586        | -0.019 | 0.344 |
| P3rec  | -0.392       | -0.241 | 0.212 |
| P4rec  | -0.118       | 0.246  | 0.075 |
| C1rec  | -0.59        | -0.259 | 0.415 |
| C2rec  | 0.573        | 0.371  | 0.466 |
| C3rec  | 0.192        | -0.256 | 0.103 |



Слика 21. (а) односи случајева полифенизма и категоријских варијабли (карактера), (б) оптерећења компоненти и ординација унутар ПЦ1 и ПЦ2

#### 4.3. Примена *fuzzy* логике у матрици морфолошко-функционалних атрибута високо криптичних егзофитофагних гусеница

Комбиновањем *crisp* и *fuzzy* приступа кодирању података на нивоу таксона, могуће је урачунати више дескриптивних „несигурности” дескриптора (изјаве као што су „predominantly“, „mostly“, „probably only on...“, „rarely“, „likely“ у концептуалној литератури), географске разлике, интраспецијску варијабилност, онтогенетску пластичност, али и разлике на нивоу узорка. Матрица је обухватила 581 врсту европских егзофитофагних гусеница, од чега 128 врста нема сталан зелени криптични хабитус, већ је ова појава само форма. Најчешће макроморфолошко обележје у узорку, *Pron.L*, то јест наглашену латералну линију, имају 254 испитане врсте. Најређе обележје су пројекције (*knotEP*), које има само 14 врста, при чему све припадају фамилији Geometridae. Монофагне, олигофагне и полифагне врсте у оквиру ове групе су равномерно заступљене: 204, 196 и 179 врста, респективно. Најчешће коришћена фамилија биљака хранитељки је Fabaceae. Најчешће коришћена форма

биљака је зељаста, али највећи просечни афинитет ка станишту је за топле, листопадне, широколисне шуме (*EUNIS G1*).

#### **4.3.1. Тип и форма биљке хранитељке као предиктори морфолошких обележја и понашања у исхрани**

ГЛМ анализа показала је предиктивне способности више варијабли. Као зависне варијабле, одређене су *crisp* кодиране особине (бинарна логика, 0– одсуство, 1– присуство). За зависну варијаблу форме (*F*), значајни предиктори су зељаст и жбунаст тип вегетације. Коришћење овог типа хранитељки (0.5201,  $p = 0.03$ ; 0.7878,  $p = 0.03$ ) значајно повећава вероватноћу за *F*. За зависну варијаблу наглашених латералних линија, *Pron.L*, значајан, али негативан предиктор је такође исхрана зељастим биљкама (-0.35033,  $p = 0.0429$ ), те смањује вероватноћу за *Pron.L*. Варијабла образац (*Pattern*) се може довести у везу са исхраном жбунастим и грмастим биљкама (1.1442,  $p = 0.002$ ), што се повећава уколико је овакав тип биљке хранитељке једини заступљен (највиша оцена афинитета) (0.5356,  $p = 0.037$ ).

Постојање чворастих образаца на интегументу (*knotEP*) значајно је ређе код врста са исхраном искључиво зељастим биљкама (-2.8799,  $p = 0.001$ ). Слична ситуација забележена је у случају чворастих пројекција *knotET* (-1.67991,  $p = 0.000331$ ), док жбунаста вегетација може бити добар предиктор за постојање оваквих обележја (1.50210,  $p = 0.035$ ).

Видљива длакавост (*Hairiness*) код зелених криптичних форми присутна је код врста са високим афинитетом ка зељастим биљкама (1.9141,  $p = 0.01$ ). Исхрана жбунастим и грмастим врстама негативно је корелисана са овом особином (-2.2085,  $p = 0.0319$ ). Појава контрастне боје (*SOC*) значајно је чешћа за становнике крошњи (2.6344,  $p = 0.001$ ).

Монофагија је најмање заступљена код врста које се хране лишћем жбунова и грмља (-2.3729,  $p = 0.001$ ), па су оне најчешће олигофагне (1.8087,  $p < 0.001$ ). Полифагија је најзаступљенија код врста које се искључиво хране или зељастим (2.7967,  $p < 0.001$ ), или дрвенастим биљкама (2.7979,  $p < 0.001$ ).

Модел насумичне шуме, *Random Forest*, показује упоредиве резултате у овим релацијама. Стопа грешке за зависну *F* износи 24.31%, што значи да је модел тачан у 75.69% случајева. На основу матрице конфузије, модел је врло успешан у класификацији класе 0 (прецизност 97.12%), док има потешкоћа са класификацијом класе 1 (прецизност 0%). Ово значи да модел препознаје само одсуство особине. Најважнији предиктори су *shrub* (22.83) и

*herbaceous* (22.54). Стопа грешке за *Pron.L* је 46.55%, што указује на нижу тачност модела. Са друге стране, модел за предикцију обрасца износи 18.28%. Поново, модел је изузетно успешан у класификацији класе 0 (прецизност 99.37%).

Чворасте обрасци и чворасте пројекције показали су се изузетно погодним (од 94.14 до 97.59% тачности). Најважнији предиктори су листопадно дрвеће (0.70, позитиван предиктор), четинари (-0.93, негативан предиктор) и зељасте биљке (-5.04, негативан предиктор). Стопа грешке за присуство секундарних сета, *Hairiness*, износи 21.21%, при чему се одсуство особине може предвидети са скоро 100%, уколико су предиктори грмаста и жбунаста вегетација (9.59), зељасте биљке (7.12) и четинари (6.35). Модел који предвиђа појаву контрастне боје тачан је у 70.69% случајева, али није могуће успоставити логичне обрасце међу најважнијим дескрипторима.

#### **4.3.1. Тип станишта као предиктор морфолошких обележја**

Типови станишта шифровани према ЕУНИС класификацији, као и *fuzzy* кодирани афинитети врста ка тим стаништима, третирају се као предиктори наведених морфолошких специфичности. Стопа грешке за зависну варијаблу *F* износи 22.59%, при чему модел има потешкоћа са класификацијом класе 1 (прецизност 1.56%). Најважнији предиктори су *X18* (12.48) и *I2* (11.89), односно шумостепе као мозаична станишта и култивисана подручја (баште). Оба станишта карактеришу изузетно променљиви и нестабилни услови, што је могуће интерпретирати у контексту честе појаве различитих форми хабитуса код гусеница.

Стопа грешке за *Pron.L* износи 46.9%, што указује на нижу тачност модела. Варијабла *Pattern* показује добре резултате; стопа грешке је 17.59%. Присутност варијабле *f8* (виногради и плантаже грмља) има највећи утицај на предикцију. Чворасте обрасци најчешће су присутни код врста које насељавају *G4*, то јест мешовите шуме (12.66), при чему тачност модела износи 97.59%. С друге стране, присуство чворастих пројекција карактеристичније је за становнике култивисаних башти (*I2*, 15.33), као и макије и маторала (*F5*, 11.50). Остали модели показују знатно нижу прецизност.

#### **4.3.3. Фамилија биљке хранитељке као предиктор морфолошких обележја**

За постојање зелене криптичне форме, најбољи предиктори су фамилије *Solanaceae* (29.18) и *Caryophyllaceae* (24.07), при чему је модел прецизан у 77.07% случајева. Образац се може моделовати са стопом грешке од 17.76%, што показује добру тачност. Матрица конфузије

показује да је модел врло успешан у класификацији класе 0 (прецизност 96.03%), док има потешкоћа са класификацијом класе 1 (прецизност 18.45%). Најважнији предиктори су Cupressaceae (33.09), Lamiaceae (31.12), Dennstaedtiaceae (24.08) и Tamaricaceae (20.46).

У моделу који предвиђа појаву чворастих образаца, грешка износи 5.86%. Највећи утицај на предикцију имају Carpifoliaceae (13.08) и Rosaceae (4.74). Стопа грешке за зависну варијаблу Hairiness износи 16.55%, што значи да је модел тачан у 83.45% случајева, а изузетно важни предиктори су присуство биљних фамилија као што су Brassicaceae (46.89) и Geraniaceae (39.04).

Понашање у исхрани може се моделовати у сва три случаја, са нешто нижом прецизношћу. Модел за монофагију тачан је у 75.86% случајева. На основу матрице конфузије, модел је бољи у класификацији класе 0 (прецизност 84.84%), док има потешкоћа са класификацијом класе 1 (прецизност 67.24%). Најважнији предиктори су Poaceae (70.63), Fabaceae (43.00), Apiaceae (39.23) и Rosaceae (36.34). Најважнији предиктори олигофагије су, према Random Forest моделу, фамилије Poaceae (64.13) и Brassicaceae (30.76). Најважније фамилије у предикцији зависне варијабле полифагија су Betulaceae (42.96) и Salicaceae (34.66), али треба имати у виду да је модел врло успешан у класификацији класе 0 (прецизност 97.01%).

#### 4.4. Интерактивна идентификација

Матрица коришћена у изради кључа доступна је у целости оквиру Mendeley Data дигиталног репозиторијума под називом “*Interactive identification database X*” (Trajković, 2024). Сама матрица, иако дизајнирана да подржи брзу дијагностику, сем визуелних сигнала садржи и неке важне особине на нивоу врсте које су значајне за студиозан приступ гусеницама из угла екологије и еволуције. Примера ради, понашање у исхрани није ни визуелна ни контекстна информација, већ особина ентитета. Уз податке о фенологији, матрица може бити трансформисана у значајнију, ауторитативну базу о свеукупној биологији и екологији врста. Начин на који су стања карактера саопштена је значајно упрошћен у односу на претходне две матрице.

У оквиру ове матрице, обрађене су фамилије Cimeliidae (1 врста), Drepanidae (13 врста), Geometridae (588 врста), Lasiocampidae (34 врсте), Erebidae (212 врста), Noctuidae (634 врсте), Nolidae (18 врста), Notodontidae (44 врсте), Brahmaeidae (5 врста), Endromidae (1

врста), Saturniidae (9 врста), Sphingidae (31 врста), Hesperidae (45 врста), Lycaenidae (82 врсте), Riodinidae (1 врста), Nymphalidae (158 врста), Papilionidae (10 врста), Pieridae (44 врсте), Limacodidae (3 врсте), Heterogyniidae (6 врста), Zygaenidae (51 врста).

Будући да се концепт интераговања са апликацијом заснива на принципу филтрирања, кориснички интерфејс омогућава корисницима да филтрирају врсте на основу више карактера путем интуитивног веб интерфејса. Корисници бирају жељено стање (или више стања) карактера из падајућих менија подржаних Select2 и jQuery функцијама (замене за box select одабир) што побољшава употребљивост и естетику процеса селекције. Логика филтрирања је имплементирана коришћењем pandas библиотеке, што омогућава да апликација филтрира и прикаже врсте које одговарају изабраним критеријумима. Апликација се покреће на локалном развојном серверу користећи Flask-ов уграђени сервер за тестирање и развој. Како би се поставила на неки сервер, треба осигурати да су све зависности инсталиране путем requirements.txt датотеке.

Слика 22. Кориснички интерфејс за интерактивну идентификацију

**Interactive ID for European Exophytophagous Caterpillars**

|                                                                                                                                                                            |                                                           |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Distribution</b><br><input type="text" value="Serbia"/>                                                                                                                 | <b>Host plant genus</b><br><input type="text"/>           | <b>Host plant species</b><br><input type="text"/>               |
| <b>Host plant family</b><br><input type="text" value="Adoxaceae"/>                                                                                                         | <b>Ecological layer</b><br><input type="text"/>           | <b>Feeding Behavior</b><br><input type="text"/>                 |
| <b>Consumed Part</b><br><div> <input type="text"/> <ul style="list-style-type: none"> <li>Flowers/Fruit/Seeds</li> <li>Leaves</li> <li>Superficial roots</li> </ul> </div> | <b>Aggregation</b><br><input type="text"/>                | <b>No. of proleg pairs</b><br><input type="text"/>              |
| <b>Setae characteristics</b><br><input type="text"/>                                                                                                                       | <b>Body shape</b><br><input type="text"/>                 | <b>Visible hairiness</b><br><input type="text"/>                |
| <b>Head capsule pattern</b><br><input type="text"/>                                                                                                                        | <b>Setal base</b><br><input type="text"/>                 | <b>Head capsule shape + projections</b><br><input type="text"/> |
| <b>Color</b><br><input type="text"/>                                                                                                                                       | <b>Rear end: A8: anal prolegs</b><br><input type="text"/> | <b>Projections T+A</b><br><input type="text"/>                  |
| <b>Pattern</b><br><input type="text"/>                                                                                                                                     | <input type="button" value="Filter"/>                     |                                                                 |

Слика 23. Одабир стања карактера из падајућег менија

**Interactive ID for European Exophytophagous Caterpillars**

|                                                                                                                |                                                                                                            |                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Distribution</b><br><input type="text" value="Bosnia and Herzegovina"/> <input type="text" value="Serbia"/> | <b>Host plant genus</b><br><input type="text"/>                                                            | <b>Host plant species</b><br><input type="text"/>                            |
| <b>Host plant family</b><br><input type="text" value="Apiaceae"/> <input type="text" value="Asteraceae"/>      | <b>Ecological layer</b><br><input type="text" value="herbaceous layer"/>                                   | <b>Feeding Behavior</b><br><input type="text"/>                              |
| <b>Consumed Part</b><br><input type="text" value="Leaves"/>                                                    | <b>Aggregation</b><br><input type="text" value="No"/>                                                      | <b>No. of proleg pairs</b><br><input type="text" value="4"/>                 |
| <b>Proleg size</b><br><input type="text" value="equal"/>                                                       | <b>Body shape</b><br><input type="text" value="cylindrical"/>                                              | <b>Visible hairiness</b><br><input type="text" value="none"/>                |
| <b>Setae characteristics</b><br><input type="text" value="regular"/>                                           | <b>Setal base</b><br><input type="text" value="inapplicable"/> <input type="text" value="papillae: flat"/> | <b>Head capsule shape + projections</b><br><input type="text" value="flat"/> |
| <b>Head capsule pattern</b><br><input type="text" value="symmetrical"/>                                        | <b>Rear end: A8: anal prolegs</b><br><input type="text" value="tubercles: single pair"/>                   | <b>Projections T+A</b><br><input type="text" value="none"/>                  |
| <b>Color</b><br><input type="text" value="brown"/> <input type="text" value="grey"/>                           | <b>Pattern</b><br><input type="text" value="cryptic"/>                                                     |                                                                              |

Слика 24. Пример примене филтера

Апликација подржава избор из падајућег менија, одабир више стања, као и претрагу, што је нарочито важно при одабиру карактера биљке хранитељке с обзиром на велики број родова и врста које се налазе у матрици података.



| Filter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <div> <div></div> <div>Filtered Taxa (27)</div> </div> <table> <tr><td>Dyscia conspersaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Perconia strigillaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Agriopis aurantiaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Agriopis bajaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Apocheima hispidaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Lycia hirtaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Phigalia pilosaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Ematurga atomaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Hypomecis punctinalis (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Synopsis sociaria (Geometridae)</td></tr> <tr><td>Hylaea fasciaria (Geometridae)</td></tr> </table> | Dyscia conspersaria (Geometridae) | Perconia strigillaria (Geometridae) | Agriopis aurantiaria (Geometridae) | Agriopis bajaria (Geometridae) | Apocheima hispidaria (Geometridae) | Lycia hirtaria (Geometridae) | Phigalia pilosaria (Geometridae) | Ematurga atomaria (Geometridae) | Hypomecis punctinalis (Geometridae) | Synopsis sociaria (Geometridae) | Hylaea fasciaria (Geometridae) |
| Dyscia conspersaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Perconia strigillaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Agriopis aurantiaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Agriopis bajaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Apocheima hispidaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Lycia hirtaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Phigalia pilosaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Ematurga atomaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Hypomecis punctinalis (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Synopsis sociaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |
| Hylaea fasciaria (Geometridae)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                   |                                     |                                    |                                |                                    |                              |                                  |                                 |                                     |                                 |                                |

**Слика 25.** Пример изгледа резултата, при чему апликација припадност фамилији не третира као дескриптор, већ као описни карактер који се приказује у резултатима.

## **Поглавље 5**

### **Дискусија**

Егзофитофагне гусенице су одабране као субјект овог истраживања као изузетно комплексна група *Lepidoptera*. Често заступљене као јединствен ентитет у научним публикацијама (Bernays и сар., 1996; Hossler, 2009; Wagner, 2010; Hammer и сар., 2017), гусенице су предмет еколошких и еволуционих студија, биомеханике, агрономије, физиологије, генетике и геномике. Дисертација се ограничава на последњи ларвени ступањ у сваком смислу профилисања, а реално је очекивати да корисник, сортер или детерминатор коме су и намењени сви креирани подаци није у стању да дискриминише између ступњева. Такође, појам „европске” се користи у полувештачком, геополитичком контексту, и није довољан прецизан за увођење фенолошких атрибута неопходних за информативније еколошке увиде. Ова ограничења су настала првенствено због велике биогеографске дискрепанце у доступним секундарним изворима података, али и због чињенице да, осим гусеница дневних лептира, нема много група чији је комплетан развој документован.

## **5.1 Матрице и селекција карактера према потребама студије или према типу кључа**

У оквиру ове дисертације обрађени су само они дескриптори који се могу применити на дијагностички начин, односно довољно су широко распрострањени да буду релевантни за велики број врста. Фенотипска пластичност код већине генералиста треба се сматрати више правилом него изузетком (Futahashi и сар., 2010). Приказане матрице података нуде више опција за третирање варијабилности, било кроз креирање засебних морфо- и еко-ентитета, било кроз одабир већег броја стања. Хијерархија у селекцији макроморфолошких карактера ослања се на претходно обрађене наводе о когнитивним механизмима експертске и неекспертске идентификације (Dallwitz, 1992).

Карактеристике главене капсуле редовно су коришћене у свим формама дескриптивних података, нарочито на нивоу фамилија. Ипак, када су гусенице у питању, кључеви за више таксономске категорије могу имати превасходно образовну улогу, будући да је додељивање ових афилијација прилично интуитивно чак и за ентузијасте. Честа појава у литератури јесте широко и богато илустровано објашњавање карактера без пружања увида у њихове дискриминативне способности. На пример, Штер (1987) препознаје однос главене капсуле и проторакалног штита најчешће асоцираног са фамилијом *Hesperiidae*, али уски  $T_1$  сегмент у том контексту није представљен као стање већ као специфичност.

Овај приступ је примењен на већину карактера постојећих кључева који се баве макроморфологијом, где се дискриминација таксона заснива на необичним особинама. Карактери X2 и X7 су модификовани како би се дошло до опипљивих стања, док X3 и X8 представљају систематизацију коју је дао Кристенсен (1999). Видљивост главене капсуле, коју делимично одређује морфо-анатомија првог торакалног сегмента, једна је од нестабилнијих предложених карактера. Гусенице у мировању, током пресвлачења или пред хибернацију често значајно мењају изглед, па је овај карактер индиректни резултат понашања и физиолошких или развојних промена.

Секундарне сете на главној капсули (X3) увек указују на длакавост интегумента, али не и обрнуто (Wagner и сар., 2011). Због морфо-анатомских својстава интегумента гусеница, свака сета расте са мање или више издигнуте, склеротизоване или на други начин модификоване површине. То није лако уочљиво, па је неопходно одлучити између научне прецизности и практичности. Принципијелно, стања у којима се наводи одсуство сеталних основа нису тачна, али су практична за примену. Исто важи и за потпуно одсуство сета.

Профилисање макроморфологије подразумева употребу двосмислених дескриптора. Дистрибуција пигмената може пружити недвосмислен дијагностички карактер или бити изузетно променљива, непоуздана и подложна субјективности. Ипак, игра значајну улогу у емпиријској идентификацији, као и као основ за проучавање еволуције одбрамбених стратегија, апосематизма и криптичности. Маркације гусеница нуде многе могућности за обраду, али је реалније да се ова обрада изведе помоћу модела дубоког учења.

Аутеколошки и бихејвиорални карактери ретко су доведени на ниво дескриптора у оквиру групе. Уколико се адекватно прикупе и складиште, могу открити још увек неистражене обрасце улога у екосистему. Обогаћивање матрица волтинизмом, надморском висином и детаљнијим EUNIS кодовима може значајно да унапреди моделирање података.

## **5.2 Дескрипција у ери вештачке интелигенције: ка реалнијим предикцијама**

Чувени статистичар Таки (Тукеу, 1960) је коментарисао одлучивање и закључивање, компарацијом бизниса, научног рада и свакодневног живота. Насупрот познатој теорији одлука, Таки поставља теорију закључака, а као кључне разлике наводи: а) да се закључак,

као такав, не обазире на последице, б) да је одлука „мудро коцкање”, а да закључак почива на огромном пулу већ постојећег знања. Идентификација се, према овој подели, оријентише и као микро одлука и као микро закључак, и то у зависности од субјекта. Субјект аматер вага опције користећи се доступним средствима, дакле пореди уочено са очекиваним, док се код субјекта експерта процес може одвијати у два правца: истраживање, дакле алгоритам више когнитивних процеса, и ментални алгоритам препознавања: преузимање информација из сопственог сећања.

Идентификација и дескриптивни подаци произилазе једно из другог. Радфорд и сарадници (1976) дискутују о четири методе идентификације: експертска детерминација, препознавање, поређење и употреба кључева, дескриптивних поглавља и матрица карактера. Овакво сагледавање је непотпуно јер, примера ради, уколико узорак не захтева лабораторијску обраду или оптичка помагала, експерт користи последње три наведене методе. Традиционални идентификациони кључеви захтевају много припреме, укључујући одабир скупа ентитета, одабир карактера и стања, проналажење начина за третирање одступања, полифенизма, полиморфизма, полног диморфизма, разлика у ступњу и или стадијуму, одабир логике и корекцију дужине. Напор таксонома често није корелисан са употребљивошћу кључа, а Лобанов помало неосетљиво наводи и *„identification keys are made by those who do not need them for those who cannot use them”* (1970). Идентитет једне егзофитофагне гусенице ће тешко остати непознаница, будући да је већина врста коју сретне не-експерт честа и карактеристична врста. Гусенице имају изразито добре исходе у идентификацији чак и када се ради о паратаксономском нивоу, одличну резолуцију када су у питању апликације које користе методе дубоког учења, велики избор ауторативних веб-сајтова на којима се може вршити поређење суженом претрагом, а финално, нису ни дефинитиван морфолошки облик врсте и могу се одгајати до адулта. У случају паразитираности, макроморфологија свакако није нарочито информативна, па је решење у молекуларним методама. Постоје бројни случајеви када идентификација гусенице није могућа и експерту и не-експерту, хетотаксија није увек применљива код *Macrolepidotera* (видети Увод), а најчешће, макроморфолошки идентичне врсте заузимају и исту еколошку нишу. Иако је интуитивно помислити о развоју ненадгледаног модела дубоког учења специјализованог за макроморфолошки неспецифичне врсте који би евентуално уочио нешто што људско око не може, јавља се проблем прикупљања адекватног узорка за такав

подухват. Гусенице се, осим у случајевима штеточина и гregarног начина живота, на терену не налазе масовно, а са друге стране, ни штеточине ни гregarне гусенице нису проблематичне у контексту идентификације. Намеће се питање: да ли је, узевши све наведено у обзир, уопште важно да идентификујемо проблематични ентитет?

„Златно доба” научне мисли о дескриптивним подацима коинцидирало је са развојем информатике и првим покушајима дигитализације идентификационих кључева. Према Јанзену (1991), дескриптивни подаци су најбитнији сведок диверзитета, и њихова је улога да повежу име таксона и фрагмент глобалног знања. Дескриптивни профил, то јест сума свих дескриптора ентитета је истовремено идентификациони кључ таксона и база знања о таксону. Идентификациони кључеви имају далеко већи домет од идентификације. За разлику од заиста револуционарних молекуларних и AI метода, идентификациона средства кориснику пружају путању чињеница, а не само исход. Данас, ремоте-сенсинг и аутоматизовани системи имају могућност да генеришу изузетно робусне базе података, али им промишљени дескриптивни подаци додају дубину и комплексност. Представљена веб апликација је пример средства које неће нужно разрешити енигматичне, изузетно сличне морфоеколошке профиле, али може бити изузетно корисна у приступу циљаном сету података (примера ради, „које све апосематске, медитеранске врсте живе арбореално, а имају спљоштено тело?“). Улога оваквих спискова јесте да су основе у грубом праћењу особина, које су свакако адаптивне, информативне и неслучајне, то јест, уочавање правилности у наизглед непрегледном биодиверзитету. Осим што олакшава добијање листе, апликација се може континуирано ажурирати, при чему складишти велики број драгоцених, теренских информација.

Према претходно поменутој аналогiji академске и корпоративне заједнице у 21. веку, оне деле и бројне изазове: преоптерећење информацијама, висока очекивања у продукцији, нагле промене трендова и фокуса, брза смена технолошких алата, стални захтеви за ажурирањем вештина и феномен ехо-коморе (Cookson et al., 2023). Примера ради, иако су милионска средства уложена у дигитализацију података из музејских збирки, процењује се да је само 10% доступно у дигиталном облику (Cuntz et al., 2023).

Некада резервисане само за програмере или истраживаче који се баве подацима, софистициране технологије су данас далеко доступније. Захваљујући графичким корисничким интерфејсима, а понекад и програмским интерфејсима за апликације (*Application Programming Interface*, API), корисници могу без, или са врло мало линија кода, ефикасно користити алате који су им потребни. Многим алатима је могуће приступити визуелно (Zhang et al., 2020). То ће, вероватно, важити и за вештачку интелигенцију.

Концепт познат под називом „*human in the loop*” (HITL) подразумева да човек директно учествује у раду AI система, и осим што служи за обезбеђивање етичке и правне одговорности, као и спречавање злоупотребе аутоматизације, означава неопходност човека у доношењу одлука и нијансираним интерпретацијама (Wu et al., 2022). Већина бољих модела за практичну примену је HITL интегрисано (Mosqueira-Rey и сар., 2023). Оваква интеграција има смисла и у научном раду, будући да је задатак научника да дође до суштине. Постизање форме, са друге стране, може и треба бити аутоматизовано. Бојазан, нарочито она настала појавом ChatGPT великог језичког модела (Tate и Keough, 2024), у контексту научног рада може се упоредити са бојазни од, примера ради, функције „пронађи и замени” у програму Microsoft Word.

## **Поглавље 6**

### **Закључци**



Анализе резултата у оквиру спроведеног истраживања довеле су до следећих закључака:

1. Свеобухватан приступ групи европских егзофитофагних врста гусеница, као и комбиновање примарних и секундарних података помогли су бољем разумевању морфологије и аутекологије групе. На овај начин, дефинисан је оквир рада према потребама различитих типова студија.
2. Дескриптивне матрице су не само основ за компаративан рад, већ могу бити и ауторитативне, специјализоване базе помоћу којих се лако приступа листама ентитета са жељеним атрибутом или комбинацијама атрибута.
3. Израда дескриптивних матрица може бити олакшана и унапређена семиаутоматизацијом екстракције дескриптора кроз иновативне, лако доступне технике претраге, преузимања и обраде података скрејпина и анотације на веб-платформама.
4. Варијабилност егзофитофагних гусеница могуће је квантификовати и статистички обрадити уколико се дескриптивни подаци адекватно трансформишу и кодирају *crisp* и *fuzzy* шемама кодирања у зависности од природе дескриптора. Закључено је да се варијабилност може пратити како на нивоу таксона, тако и на нивоу животне форме.
5. Применом Булове и *fuzzy* логике и квалитативним статистичким анализама као што су ГЛМ и Модел насумичне шуме, макроморфолошка обележја егзофитофагних гусеница се експлицитно могу довести у везу са биотичким и абиотичким факторима, што представља основу за разумевање њихове улоге у екосистему, као и разумевање функције њиховог морфолошког диверзитета.

6. Креирањем апликације за интерактивну идентификацију демонстриран је начин управљавања обимним дескриптивним подацима, који осим идентификације, представља ауторативну базу знања компатабилну са другим форматима података о биодиверзитету.
7. Добијени резултати указују на потребу и важност стандардизације, дигитализације и обраде дескриптивних података као начинима за добијање комплетне слике о еволуционо-еколошким импликацијама диверзитета јувенилног стадијума ларве у оквиру реда *Lepidoptera*.

## **Поглавље 7**

### **Литература**

- Abadie, J. C., Andrade, C., Machon, N., & Porcher, E. (2008). On the use of parataxonomy in biodiversity monitoring: A case study on wild flora. *Biodiversity and Conservation*, 17, 3485-3500. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9449-4>
- Adam, G., & Lorraine, J. (2019). Understanding neural architecture search techniques. arXiv preprint arXiv:1904.00438.
- Ahola, M., & Silvonen, K. (2010). *Larvae of Northern European Noctuidae* (Vol. 3). KuvaSeppälä Yhtiöt Oy.
- Alonso, M. A., Gómez-Rodríguez, C., & Vilares, J. (2021). On the use of parsing for named entity recognition. *Applied Sciences*, 11(3), 1090. <https://doi.org/10.3390/app11031090>
- Ariño, A. H., Chavan, V., & Faith, D. P. (2013). Assessment of user needs of primary biodiversity data: Analysis, concerns, and challenges. *Biodiversity Informatics*, 8(2).
- Atkinson, W. D., & Gammernan, A. (1987). An application of expert systems technology to biological identification. *Taxon*, 36(4), 705-715. <https://doi.org/10.2307/1221121>
- Ball-Damerow, J. E., Brenskelle, L., Barve, N., Soltis, P. S., Sierwald, P., Bieler, R. & Guralnick, R. P. (2019). Research applications of primary biodiversity databases in the digital age. *PLOS ONE*, 14(9), e0215794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215794>
- Balmford, A., & Knowlton, N. (2017). Why earth optimism? *Science*, 356(6335), 225-225.
- Bao, Y., Wang, F., Tong, S., Na, L., Han, A., Zhang, J. & Zhang, Q. (2019). Effect of drought on outbreaks of major forest pests, pine caterpillars (*Dendrolimus* spp.), in Shandong Province, China. *Forests*, 10(3), 264.
- Berkes, F., Folke, C., & Gadgil, M. (1994). Traditional ecological knowledge, biodiversity, resilience, and sustainability. In *Biodiversity Conservation: Problems and Policies* (pp. 269-287). Springer Netherlands.
- Bernays, E. A., & Weiss, M. R. (1996). Induced food preferences in caterpillars: The need to identify mechanisms. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 78(1), 1-8.

- Bilyk, Z. I., Shapovalov, Y. B., Shapovalov, V. B., Megalinska, A. P., Zhadan, S. O., Andruszkiewicz, F., ... & Antonenko, P. D. (2020). Comparing Google Lens recognition accuracy with other plant recognition apps. In *Proceedings of the Symposium on Advances in Educational Technology, AET*.
- Bolker, J., & Brauckmann, S. (2015). From experimental zoology to big data: Observation and integration in the study of animal development. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 323(5), 277-291.
- Bomolo, O., Niassy, S., Chocha, A., Longanza, B., Bugeme, D. M., Ekesi, S., & Tanga, C. M. (2017). Ecological diversity of edible insects and their potential contribution to household food security in Haut-Katanga Province, Democratic Republic of Congo. *African Journal of Ecology*, 55(4), 640-653.
- Bowker, G. C. (2000). Biodiversity datadiversity. *Social Studies of Science*, 30(5), 643-683.
- Bridgman, P. W. (1927). *The logic of modern physics* (Vol. 3). Macmillan.
- Burns, K. L., Fitzpatrick, U., & Stanley, D. A. (2021). Public perceptions of Ireland's pollinators: A case for more inclusive pollinator conservation initiatives. *Journal for Nature Conservation*, 61, 125999. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.125999>
- Cao, X., Liu, J., Chen, J., Zheng, G., Kuntner, M., & Agnarsson, I. (2016). Rapid dissemination of taxonomic discoveries based on DNA barcoding and morphology. *Scientific Reports*, 6(1), 37066.
- Cates, R. G. (1980). Feeding patterns of monophagous, oligophagous, and polyphagous insect herbivores: The effect of resource abundance and plant chemistry. *Oecologia*, 46(1), 22–31. <http://www.jstor.org/stable/4216123>
- Cavalcanti, M. J., dos Santos-Silva, E. N., & Primeiro, L. G. (2024). Free DELTA: An open-source system for processing taxonomic descriptions. *Tropical Diversity*, 4(1), 1-12.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>

- Choi, R. Y., Coyner, A. S., Kalpathy-Cramer, J., Chiang, M. F., & Campbell, J. P. (2020). Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning. *Translational Vision Science & Technology*, 9(2), 14-14. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.14>
- Chowdhury, S., Ahmed, S., Alam, S., Callaghan, C. T., Das, P., Di Marco, M., ... & Bonn, A. (2024). A protocol for harvesting biodiversity data from Facebook. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1111/cobi.14257>
- Coleman, C. O., Lowry, J., & Macfarlane, T. (2010). DELTA for beginners: An introduction into the taxonomy software package DELTA. *ZooKeys*, 45, 1–75. <https://doi.org/10.3897/zookeys.45.263>
- Cookson, J. A., Engelberg, J. E., & Mullins, W. (2023). Echo chambers. *The Review of Financial Studies*, 36(2), 450-500. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhac062>
- Costa, J. T., & Pierce, N. E. (1997). Social evolution in the Lepidoptera: Ecological context and communication in larval societies. In C. J. Choe & B. J. Crespi (Eds.), *The evolution of social behavior in insects and arachnids* (pp. 407–442). Cambridge University Press.
- Costello, M. J., Appeltans, W., Bailly, N., Berendsohn, W. G., de Jong, Y., Edwards, M., ... Bisby, F. A. (2014). Strategies for the sustainability of online open-access biodiversity databases. *Biological Conservation*, 173, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.042>
- Costello, M. J., Michener, W. K., Gahegan, M., Zhang, Z. Q., & Bourne, P. E. (2013). Biodiversity data should be published, cited, and peer-reviewed. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(8), 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.002>
- Cowell, R. A., Bussey, T. J., & Saksida, L. M. (2010). Components of recognition memory: Dissociable cognitive processes or just differences in representational complexity? *Hippocampus*, 20(11), 1245-1262. <https://doi.org/10.1002/hipo.20851>
- Cuntz, A., Heald, P. J., & Sahli, M. (2023). Digitization and availability of artworks in online museum collections. *World Intellectual Property Organization (WIPO) Economic Research Working Paper Series*, (75).

- Cushman, S. A., & Huettmann, F. (2010). Introduction: ecological knowledge, theory, and information in space and time. In S. A. Cushman & F. Huettmann (Eds.), *Spatial Complexity, Informatics, and Wildlife Conservation* (pp. 3-18). Tokyo: Springer Japan.
- Dallwitz, M. J. (1974). A flexible computer program for generating identification keys. *Systematic Zoology*, 23(1), 50-57. <https://doi.org/10.2307/2412133>
- Dallwitz, M. J. (1980). A general system for coding taxonomic descriptions. *Taxon*, 29(1), 41-46. <https://doi.org/10.2307/1219503>
- Dallwitz, M. J. (1993). DELTA and Intkey. In *Advances in computer methods for systematic biology: artificial intelligence, databases, computer vision* (pp. 287-296). The Johns Hopkins University Press.
- Dallwitz, M. J., Paine, T. A., & Zurcher, E. J. (1993 onwards). *User's guide to the DELTA System: A general system for processing taxonomic descriptions* (4th ed.). [delta-intkey.com](http://delta-intkey.com)
- Dallwitz, M. J., Paine, T. A., & Zurcher, E. J. (1995 onwards). *User's guide to Intkey: A program for interactive identification and information retrieval*. [delta-intkey.com](http://delta-intkey.com)
- Dallwitz, M. J., Paine, T. A., & Zurcher, E. J. (1999 onwards). *User's guide to the DELTA Editor*. [delta-intkey.com](http://delta-intkey.com)
- Dallwitz, M. J., Paine, T. A., & Zurcher, E. J. (2000 onwards). *Principles of interactive keys*. [delta-intkey.com](http://delta-intkey.com)
- Dawidowicz, Ł., & Kucharczyk, H. (2016). The Maria Curie-Skłodowska University Botanical Garden in Lublin as a refuge of the moths (Lepidoptera: Heterocera) within the city. *Acta Biologica*, 23, 15-34.
- de Jong, Y. (2016). *Fauna Europaea*. Fauna Europaea Consortium. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/ymk1b5> accessed via GBIF.org on 2024-04-12.
- De Queiroz, K. (2005). Ernst Mayr and the modern concept of species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(suppl\_1), 6600-6607. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502030102>

- Deans, A. R., Yoder, M. J., & Balhoff, J. P. (2011). Time to change how we describe biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(2), 78-84.
- Decraemer, W., & Goubault, N. (2000). *Hydrobiologia*, 429(1/3), 25–47. <https://doi.org/10.1023/a:1003975425673>
- del Rio, C., Boura, A., De Franceschi, D., Tanrattana, M., Vignes, R., Kerner, A., & Bouquin, S. (2018, December). Storage, management, and analysis of morphological data: SPER3 and its utilization in palaeobotany. In *1st Paleontological Virtual Congress*.
- Derraik, J. G., Closs, G. P., Dickinson, K. J., Sirvid, P., Barratt, B. I., & Patrick, B. H. (2002). Arthropod morphospecies versus taxonomic species: A case study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera. *Conservation Biology*, 16(4), 1015-1023. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01110.x>
- Dettori, L., Rasmussen, A., & Schools, C. P. (2022). Impact of the CPS Computer Science Graduation Policy on Student Access and Outcomes. *IEEE Transactions on Education*, 65(1), 30-38.
- Dyar, H. G. (1890). The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche*, 5(175-176), 420-422. <https://doi.org/10.1155/1890/23871>
- Dyar, H. G. (1894). A classification of lepidopterous larvae. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 8(1), 194-232. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1894.tb55421.x>
- Ebrahim, M., Al-Ayyoub, M., & Alsmirat, M. A. (2019, June). Will transfer learning enhance ImageNet classification accuracy using ImageNet-pretrained models? In *2019 10th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)* (pp. 211-216). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IACS.2019.8809135>
- Edwards, M., & Morse, D. R. (1995). The potential for computer-aided identification in biodiversity research. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(4), 153–158. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(00\)89026-6](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(00)89026-6)
- Engel, M. S., Ceríaco, L. M., Daniel, G. M., Dellapé, P. M., Löbl, I., Marinov, M., ... & Zacharie, C. K. (2021). The taxonomic impediment: A shortage of taxonomists, not the lack of



- technical approaches. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 193(2), 381-387.  
<https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlab033>
- European Commission, Directorate-General for Environment, Hochkirch, A., Casino, A., Penev, L., et al. (2022). European Red List of insect taxonomists. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/364246>
- Evin, A., Bonhomme, V., & Claude, J. (2020). Optimizing digitalization effort in morphometrics. *Biology Methods and Protocols*, 5(1), bpaa023.  
<https://doi.org/10.1093/biomethods/bpaa023>
- Farnsworth, E. J., Chu, M., Kress, W. J., Neill, A. K., Best, J. H., Pickering, J., ... & Ellison, A. M. (2013). Next-generation field guides. *BioScience*, 63(11), 891-899.  
<https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.11.7>
- Feist, G. J. (2008). *The psychology of science and the origins of the scientific mind*. Yale University Press.
- Feng, X., Enquist, B. J., Park, D. S., Boyle, B., Breshears, D. D., Gallagher, R. V., ... & López-Hoffman, L. (2022). A review of the heterogeneous landscape of biodiversity databases: Opportunities and challenges for a synthesized biodiversity knowledge base. *Global Ecology and Biogeography*, 31(7), 1242-1260. <https://doi.org/10.1111/geb.13493>
- Fitzgerald, T. D., & Costa, J. T. (1999). Collective behavior in social caterpillars. In C. Detrain, J. L. Deneubourg, & J. M. Pasteels (Eds.), *Information processing in social insects* (pp. 379–400). Springer Basel AG.
- Futahashi, R., Banno, Y., & Fujiwara, H. (2010). Caterpillar color patterns are determined by a two-phase melanin gene prepatterning process: New evidence from tan and laccase2. *Evolution & Development*, 12(2), 157-167. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2010.00401.x>
- Gaden, S. R., Ackery, P. R., Kitching, I., Beccaloni, G. W., & Hernández, L. M. (2023). *HOSTS - A database of the world's Lepidopteran host plants* [Data set]. Natural History Museum. <https://data.nhm.ac.uk/dataset/hosts/resource/877f387a-36a3-486c-a0c1-b8d5fb69f85a>

- Ganzevoort, W., van den Born, R. J., Halffman, W., & Turnhout, S. (2017). Sharing biodiversity data: Citizen scientists' concerns and motivations. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 2821-2837. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1391-z>
- Goldstein, P. Z. (2017). Diversity and significance of Lepidoptera: A phylogenetic perspective. In R. G. Foottit & P. H. Adler (Eds.), *Insect biodiversity: Science and society* (Vol. 2, pp. 463-495). Wiley-Blackwell.
- Griffing, L. R. (2011). Who invented the dichotomous key? Richard Waller's watercolors of the herbs of Britain. *American Journal of Botany*, 98(12), 1911-1923. <https://doi.org/10.3732/ajb.1100244>
- Hagedorn, G. (2007). Structuring descriptive data of organisms—requirement analysis and information models (Doctoral dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Hagedorn, G., Rambold, G., & Martellos, S. (2010). Types of identification keys. In *Identification and IT Tools in Biology* (pp. 213-227). Springer.
- Hall, A. V. (1970). A computer-based system for forming identification keys. *Taxon*, 19(1), 12-18.
- Hall, M. J., & Martín-Vega, D. (2019). Visualization of insect metamorphosis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1783), 20190071.
- Hamels, S., Gala, J. L., Dufour, S., Vannuffel, P., Zammateo, N., & Remacle, J. (2001). Consensus PCR and microarray for diagnosis of the genus *Staphylococcus*, species, and methicillin resistance. *Biotechniques*, 31(6), 1364-1372. <https://doi.org/10.2144/01316md04>
- Hammer, T. J., Janzen, D. H., Hallwachs, W., Jaffe, S. P., & Fierer, N. (2017). Caterpillars lack a resident gut microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), 9641-9646. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707186114>
- Hansen, B., & Rahn, K. (1969). Determination of Angiosperm families by means of a punched-card system. *Taxon*, 18(5), 609-616.

- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., & deWaard, J. R. (2003a). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1512), 313-321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>
- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., & deWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1512), 313-321.
- Hebert, P. D. N., Ratnasingham, S., & deWaard, J. R. (2003b). Barcoding animal life: Cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*.
- Hebert, P. D. N., Stoeckle, M. Y., Zemplak, T. S., & Francis, C. M. (2004). Identification of birds through DNA barcodes. *PLOS Biology*, 2(10), e312.
- Hooykaas, M. J., Schilthuizen, M., Aten, C., Hemelaar, E. M., Albers, C. J., & Smeets, I. (2019). Identification skills in biodiversity professionals and laypeople: A gap in species literacy. *Biological Conservation*, 238, 108202. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108202>
- Horne, J. K. (2000). Acoustic approaches to remote species identification: A review. *Fisheries Oceanography*, 9(4), 356-371. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2000.00143.x>
- Hossler, E. W. (2009). Caterpillars and moths. *Dermatologic Therapy*, 22(4), 353-366. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8019.2009.01248.x>
- Høye, T. T., Ärje, J., Bjerger, K., Hansen, O. L., Iosifidis, A., Leese, F., ... & Raitoharju, J. (2021). Deep learning and computer vision will transform entomology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002545117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002545117>
- Huang, C. J., & Kuo, P. H. (2018). A deep CNN-LSTM model for particulate matter (PM2.5) forecasting in smart cities. *Sensors*, 18(7), 2220. <https://doi.org/10.3390/s18072220>
- Hummel, J. E. (2013). Object recognition. In D. Reisberg (Ed.), *Oxford Handbook of Cognitive Psychology* (pp. 32-46). Oxford University Press.

iNaturalist.org web application. [Internet]. [cited 2022 Jun 10]. Available from: <http://www.inaturalist.org>

Jamali, H. R., & Asadi, S. (2010). Google and the scholar: The role of Google in scientists' information-seeking behaviour. *Online Information Review*, 34(2), 282–294. <https://doi.org/10.1108/14684521011036990>

Janzen, D. H. (2000). Costa Rica's Area de Conservación Guanacaste: A long march to survival through non-damaging biodevelopment. *Biodiversity*, 1(2), 7-20. <https://doi.org/10.1080/14888386.2000.9712501>

Janzen, D. H. (2004). Now is the time. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1444), 731-732. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1444>

Janzen, D. H., & Hallwachs, W. (2020). Área de Conservación Guanacaste, northwestern Costa Rica: Converting a tropical national park to conservation via biodevelopment. *Biotropica*, 52(6), 1017-1029. <https://doi.org/10.1111/btp.12868>

Jones, A. L. (2012). The future of taxonomy. In *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 80, pp. 23-35). Academic Press.

Kasereka, H. (2020). Importance of web scraping in e-commerce and e-marketing. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13611395.v1>

Kitching, I. J., & Rawlins, J. E. (1999). The Noctuoidea. In N. P. Kristensen (Ed.), *Handbook of Zoology, Lepidoptera, Moths and Butterflies, Vol. 1: Evolution, Systematics and Biogeography* (pp. 355-402). W. de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110804744.355>

Kleynhans, E. (2014). Environmental physiology of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in South Africa: Implications for pest management (Doctoral dissertation, Stellenbosch University).

Krell, F. T. (2004). Parataxonomy vs. taxonomy in biodiversity studies—Pitfalls and applicability of 'morphospecies' sorting. *Biodiversity & Conservation*, 13, 795-812. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000011723.00303.44>

- Kristensen, N. P. (2003). Lepidoptera, moths and butterflies. Vol. 2: Morphology, Physiology, and Development. *Handbook of Zoology*, 4, 98-120.
- Kristensen, N. P. (Ed.). (1999). *Lepidoptera, moths and butterflies. Vol. 1: Evolution, Systematics, and Biogeography*. New York: Walter de Gruyter.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25, 1097-1105.
- Krotov, V., Johnson, L., & Silva, L. (2020). Tutorial: Legality and ethics of web scraping.
- Lamas, G. (2004). Twenty-five new Neotropical Dismorphiinae (Lepidoptera-Pieridae). *Revista peruana de Entomología*, 44(1), 17-36.
- Lamberti, F., Hockland, S., Agostinelli, A., Moens, M., & Brown, D. J. F. (2004). The Xiphinema americanum group. III. Keys to species identification. *Nematologia Mediterranea*.
- Le Guillarme, N., & Thuiller, W. (2022). TaxoNERD: Deep neural models for the recognition of taxonomic entities in the ecological and evolutionary literature. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(3), 625-641. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13760>
- Leggett, R., & Kirchoff, B. K. (2011). Image use in field guides and identification keys: Review and recommendations.
- Li, J., Sun, A., Han, J., & Li, C. (2020). A survey on deep learning for named entity recognition. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 34(1), 50-70. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2020.2993508>
- Loslever, P., Guidini Gonçalves, T., de Oliveira, K. M., & Kolski, C. (2019). Using fuzzy coding with qualitative data: Example with subjective data in human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(4), 459–488. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1574932>

- Lürig, M. D., Donoughe, S., Svensson, E. I., Porto, A., & Tsuboi, M. (2021). Computer vision, machine learning, and the promise of phenomics in ecology and evolutionary biology. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 642774. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.642774>
- Maccacaro, G. A. (1958). La misura della informazione contenuta nei criteri di classificazione. *Annali di Microbiologia ed Enzimologia*, 8, 231-239.
- Macukow, B. (2016). Neural networks—state of art, brief history, basic models and architecture. In *Computer Information Systems and Industrial Management: 15th IFIP TC8 International Conference, CISIM 2016, Vilnius, Lithuania, September 14-16, 2016, Proceedings* (pp. 3-14). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45378-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45378-1_1)
- Mallet, J., & Willmott, K. (2003). Taxonomy: Renaissance or Tower of Babel? *Trends in Ecology & Evolution*, 18(2), 57-59. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(02\)00061-7](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(02)00061-7)
- Marquis, R. J., & Koptur, S. (Eds.). (2022). *Caterpillars in the middle: Tritrophic interactions in a changing world*. Springer Nature.
- Marquis, R. J., Lill, J. T., Forkner, R. E., Le Corf, J., Landosky, M. J., & Whitfield, B. J. (2019). Declines and resilience of communities of leaf-chewing insects on Missouri oaks following spring frost and summer drought. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 396. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00396>
- Marquis, R. J., Passoa, C. S., Lill, J. T., Whitfield, B. J., Le Corff, J., Forkner, E. R., & Passoa, A. V. (2019). *Illustrated guide to the immature Lepidoptera on oaks in Missouri*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Assessment and Applied Sciences Team.
- Martellos, S., & Nimis, P. L. (2008, May). KeyToNature: Teaching and learning biodiversity. Dryades, the Italian experience. In *Proceedings of the IASK International Conference Teaching and Learning* (pp. 863-868).
- Matheson, C. A. (2014). iNaturalist. *Reference Reviews*, 28(8), 36-38. <https://doi.org/10.1108/RR-03-2014-0084>

- McGuffin, W. C. (1998). Guide to the Geometridae of Canada (Lepidoptera). III, IV, and V. Subfamilies Archiearinae, Oenochrominae, and Geometrinae. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 120(S145), 3-56. <https://doi.org/10.4039/entm120145fv>
- Meng, X. Q., Zheng, G. L., Zhao, C. D., Wan, F. H., & Li, C. Y. (2017). A cell clone strain from *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) highly susceptible to *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus (AcMNPV) and *M. separata* NPV (MsNPV). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal*, 53(7), 646-650.
- Mikhailov, K. E., Bray, E. S., & Hirsch, K. F. (1996). Parataxonomy of fossil egg remains (Veterovata): Principles and applications. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 16(4), 763-769. <https://doi.org/10.1080/02724634.1996.10011358>
- Mikkola, K. (2008). The lock-and-key mechanisms of the internal genitalia of the Noctuidae (Lepidoptera): How are they selected for? *European Journal of Entomology*, 105(1), 13-20.
- Miller, C. (2008). Data exchange standards: The case for being stupidly simple. In *Proceedings of TDWG*.
- Minet, J. (1994). The Bombycoidea: Phylogeny and higher classification (Lepidoptera: Glossata). *Insect Systematics & Evolution*, 25(1), 63-88.
- Mitter, C., Davis, D. R., & Cummings, M. P. (2017). Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 62(1), 265-283. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035125>
- Mitter, C., Davis, D. R., & Cummings, M. P. (2017). Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 62(1), 265-283. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035125>
- Moore, A., Miller, J. R., Tabashnik, B. E., & Gage, S. H. (1986). Automated identification of flying insects by analysis of wingbeat frequencies. *Journal of Economic Entomology*, 79(6), 1703-1706. <https://doi.org/10.1093/jee/79.6.1703>

- Mosqueira-Rey, E., Hernández-Pereira, E., Alonso-Ríos, D., Bobes-Bascarán, J., & Fernández-Leal, Á. (2023). Human-in-the-loop machine learning: A state of the art. *Artificial Intelligence Review*, 56(4), 3005-3054.
- Mullarney, K., Svensson, L., Zetterström, D., & Grant, P. J. (1999). *Bird guide, the most complete field guide to the birds of Britain and Europe*. Collins, London.
- Mullen Jr, J. F., Tanner, F. R., & Sallee, P. A. (2019). Comparing the effects of annotation type on machine learning detection performance. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2019.00100>
- Murguía-Romero, M., Serrano-Estrada, B., Ortiz, E., & Villaseñor, J. L. (2021). Taxonomic identification keys on the web: Tools for better knowledge of biodiversity. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923569. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3569>
- Nguyen, N. T., Gabud, R. S., & Ananiadou, S. (2019). COPIOUS: A gold standard corpus of named entities towards extracting species occurrence from biodiversity literature. *Biodiversity Data Journal*, 7, e34842. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e34842>
- Nieto, A. (2014). *European Red List of Bees*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Nigam, H., & Biswas, P. (2021). Web scraping: From tools to related legislation and implementation using Python. In *Innovative Data Communication Technologies and Application: Proceedings of ICIDCA 2020* (pp. 149-164). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0932-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0932-6_14)
- Nimis, P. L., & Martellos, S. (2009). Computer-aided tools for identifying organisms and their importance for protected areas. *Eco Mont*, 1(2), 55-60.
- Ohl, M. (2007). Towards a global inventory of Mantispidae—the state-of-the-art in mantispid taxonomy. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara*, 8, 79-86.



- Okamura, Y., Sawada, Y., Hirai, M. Y., & Murakami, M. (2016). Effects of different secondary metabolite profiles in plant defense syndromes on specialist and generalist herbivores. *Entomological Science*, 19(2), 97-103.
- Oliveira, U., Paglia, A. P., Brescovit, A. D., de Carvalho, C. J., Silva, D. P., Rezende, D. T., ... & Santos, A. J. (2016). The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity. *Diversity and Distributions*, 22(12), 1232-1244. <https://doi.org/10.1111/ddi.12489>
- Oliver, A. D. (1981). *Biology and illustrated key for the identification of twenty species of economically important noctuid pests*.
- Ollerton, J., Johnson, S. D., & Hingston, A. B. (2006). Geographical variation in diversity and specificity of pollination systems. In N. M. Waser & J. Ollerton (Eds.), *Plant–pollinator interactions: From specialization to generalization* (pp. 283-308). University of Chicago Press.
- Osborne, D. V. (1963). Some aspects of the theory of dichotomous keys. *New Phytologist*, 62(2), 144-160. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1963.tb06322.x>
- Packer, L., Gibbs, J., Sheffield, C., & Hanner, R. (2009). DNA barcoding and the mediocrity of morphology. *Molecular Ecology Resources*, 9(1), 42-50.
- Pankhurst, R. J. (1974). Automated identification in systematics. *Taxon*, 23(1), 45-50. <https://doi.org/10.2307/1218088>
- Pankhurst, R. J. (1978). *Biological identification: The principles and practice of identification methods in biology* (pp. viii-104).
- Park, E., & Poulin, R. (2022). Extremely divergent COI sequences within an amphipod species complex: A possible role for endosymbionts? *Ecology and Evolution*, 12(10), e9448. <https://doi.org/10.1002/ece3.9448>. PMID: 36311398; PMCID: PMC9609454.
- Patnaik, S. K., Babu, C. N., & Bhawe, M. (2021). Intelligent and adaptive web data extraction system using convolutional and long short-term memory deep learning networks. *Big Data Mining and Analytics*, 4(4), 279-297.

- Patočka, J., & Turčáni, M. (2023). *Lepidoptera Pupae: Central European Species*. Brill.
- Payne, R. W., & Preece, D. A. (1977). Incorporating checks against observer error into identification keys. *New Phytologist*, 79(1), 203-209.
- Payne, R. W., & Preece, D. A. (1980a). Identification keys and diagnostic tables: A review. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 143(3), 253-292. <https://doi.org/10.2307/2982129>
- Payne, R. W., & Preece, D. A. (1980b). Identification keys and diagnostic tables: A review. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 143(3), 253-282.
- Peterson, A. (1948). *The larvae of insects, Part I, Lepidoptera and Hymenoptera*. Columbus, Ohio.
- Peterson, R. T., & McKenny, M. (1968). *A field guide to wildflowers: Northeastern and North-central North America* (Vol. 1). Houghton Mifflin Harcourt.
- Pierce, N. E., & Dankowicz, E. (2022). The natural history of caterpillar-ant associations. In R. J. Marquis & S. Koptur (Eds.), *Caterpillars in the middle: Tritrophic interactions in a changing world* (pp. 319-391). Cham: Springer International Publishing.
- Pires, A. C., & Marinoni, L. (2010). DNA barcoding and traditional taxonomy unified through integrative taxonomy: A view that challenges the debate questioning both methodologies. *Biota Neotropica*, 10(2), 339-346. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000200035>
- Popović, M., Vasić, N., Koren, T., Burić, I., Živanović, N., Kulijer, D., & Golubović, A. (2020). Biologer: An open platform for collecting biodiversity data. *Biodiversity Data Journal*, 8, e53014. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e53014>
- Porto, V. W. (2008, September). Advances in information processing in oceans technology: A 40-year review. In *OCEANS 2008* (Vol. 2008, pp. 1-10). IEEE.
- Rasmussen, C. B., Kirk, K., & Moeslund, T. B. (2022). The challenge of data annotation in deep learning—a case study on whole plant corn silage. *Sensors*, 22(4), 1596.
- Rennwald, E., & Rodeland, J. (2019). *Lepiforum's checklist of European Lepidoptera* (Version 6). Retrieved from <https://lepiforum.org/bh/downloads/2019i->

- Ribeiro, B. R., Velazco, S. J. E., Guidoni-Martins, K., Tessarolo, G., Jardim, L., Bachman, S. P., & Loyola, R. (2022). bdc: A toolkit for standardizing, integrating, and cleaning biodiversity data. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(7), 1421-1428.
- Riddiford, L. M. (2020). A life's journey through insect metamorphosis. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 1-16.
- Rihoux, B., & De Meur, G. (2009). Crisp-set qualitative comparative analysis (csQCA). In *Configurational comparative methods: Qualitative comparative analysis (QCA) and related techniques* (pp. 33-68).
- Rivas, C. (2012). Coding and analysing qualitative data. In *Researching society and culture* (3rd ed., pp. 367-392).
- Ruete, A. (2015). Displaying bias in sampling effort of data accessed from biodiversity databases using ignorance maps. *Biodiversity Data Journal*, (3).
- Saito, C. H. (2013). Environmental education and biodiversity concern: Beyond the ecological literacy. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8(1), 12.
- Santolamazza-Carbone, S., Velasco, P., Soengas, P., & Cartea, M. E. (2014). Bottom-up and top-down herbivore regulation mediated by glucosinolates in *Brassica oleracea* var. *acephala*. *Oecologia*, 174(3), 893-907.
- Sarraf, A., Azhdari, M., & Sarraf, S. (2021). A comprehensive review of deep learning architectures for computer vision applications. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 77(1), 1-29.
- Schendan, H. E., & Kutas, M. (2003). Time course of processes and representations supporting visual object identification and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 111-135. <https://doi.org/10.1162/089892903321107864>

- Schlegel, J., & Rupf, R. (2010). Attitudes towards potential animal flagship species in nature conservation: A survey among students of different educational institutions. *Journal for Nature Conservation*, 18(4), 278-290.
- Schneierson, S. S., & Amsterdam, D. (1964). A punch card system for identification of bacteria. *American Journal of Clinical Pathology*, 42(3\_ts), 328-331. [https://doi.org/10.1093/ajcp/42.3\\_ts.328](https://doi.org/10.1093/ajcp/42.3_ts.328)
- Schneierson, S. S., & Amsterdam, D. (1964). A punch card system for identification of bacteria. *American Journal of Clinical Pathology*, 42(3\_ts), 328-331.
- Schuh, R. T. (2003). The Linnaean system and its 250-year persistence. *The Botanical Review*, 69(1), 59-78.
- Scoble, M. J. (1992). *The Lepidoptera: Form, function and diversity* (pp. xi-404). Oxford University Press.
- Seberg, O., Humphries, C. J., Knapp, S., Stevenson, D. W., Petersen, G., Scharff, N., & Andersen, N. M. (2003). Shortcuts in systematics? A commentary on DNA-based taxonomy. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(2), 63-65.
- Seifert, B. (2020). The gene and gene expression (GAGE) species concept—An universal approach for all eukaryotic organisms. *Systematic Biology*. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa032>
- Sharkey, M., Brown, B., Baker, A., & Mutanen, M. (2021). Response to Zamani et al. (2020): The omission of critical data in the pursuit of "revolutionary" methods to accelerate the description of species. *ZooKeys*, 1033, 191-201. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1033.66186>
- Shinde, P. P., & Shah, S. (2018, August). A review of machine learning and deep learning applications. In *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2018.8697641>
- Shneiderman, B. (2020). Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 36(6), 495-504.

- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Simpson, R., Williams, R., Ellis, R., & Culverhouse, P. F. (1992). Biological pattern recognition by neural networks. *Marine Ecology Progress Series*, 79(3), 303-308.  
<http://www.jstor.org/stable/44634810>
- Singh, P., Kumar, D., & Saran, S. (2018). Interoperable framework for improving data quality using semantic approach: Use case on biodiversity. *Environmental Sustainability*, 1, 367-381.
- Sinnott, Q. P. (1982). Polyclave keying with one card per character. *Taxon*, 31(2), 277.  
<https://doi.org/10.2307/1219991>
- Smith, A. T., Boitani, L., Bibby, C., Brackett, D., Corsi, F., da Fonseca, G. A., ... & Wilson, C. (2000). Databases tailored for biodiversity conservation. *Science*, 290(5499), 2073-2074.
- Sneath, P. H. A., & Sokal, R. R. (1962). Numerical taxonomy. *Nature*, 193(4818), 855-860.  
<https://doi.org/10.1038/193855a0>
- Stehr, F. W. (1987). *Immature insects* (Vol. 1). Kendall/Hunt Publishing Company.
- Sterner, B., & Elliott, S. (2022). The FAIR and CARE data principles influence who counts as a participant in biodiversity science by governing the fitness-for-use of data. *Systematic Biology*.
- Stevenson, R. D., Haber, W. A., & Morris, R. A. (2003). Electronic field guides and user communities in the eco-informatics revolution. *Conservation Ecology*, 7(1), 3.
- Subbotin, S. A., Palomares-Rius, J. E., & Castillo, P. (2021). Polytomous key to the species of Meloidogyne. In *Systematics of Root-knot Nematodes (Nematoda: Meloidogynidae)* (pp. 99-111). Brill.
- Szegedy, C., Reed, S., Erhan, D., Anguelov, D., & Ioffe, S. (2014). Scalable, high-quality object detection. arXiv preprint arXiv:1412.1441.

- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2818-2826).
- Tan, R. Z., Chew, X., & Khaw, K. W. (2020). Quantized deep residual convolutional neural network for image-based dietary assessment. *IEEE Access*, 8, 111875-111888.
- Tate, E., Phillips, W., & Keough, S. (2024). Don't panic! ChatGPT doesn't have all the answers. *Journal of the North American Management Society*, 13(1), 2.
- Tate, E., Phillips, W., & Keough, S. (2024). Don't Panic! ChatGPT Doesn't Have All the Answers. *Journal of the North American Management Society*, 13(1), 2.
- Tautz, D., Arctander, P., Minelli, A., Thomas, R. H., & Vogler, A. P. (2003). A plea for DNA taxonomy. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(2), 70-74.
- Taylor, R. W. (1964). Taxonomy and parataxonomy of some fossil ants (Hymenoptera-Formicidae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 71(3), 134-141.
- Terry, J. C. D., Roy, H. E., & August, T. A. (2020). Thinking like a naturalist: Enhancing computer vision of citizen science images by harnessing contextual data. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(2), 303-315.
- Tettamanti, G., & Casartelli, M. (2019). Cell death during complete metamorphosis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1783), 20190065.
- Thessen, A. E., Cui, H., & Mozzherin, D. (2012). Applications of natural language processing in biodiversity science. *Advances in Bioinformatics*, 2012, Article 391574. <https://doi.org/10.1155/2012/391574>
- Tolman, T. (2008). *Collins Butterfly Guide*. HarperCollins UK.
- Trajković, A. (2024). Crisp and fuzzy coded matrices for ecological and morphological characters of EE caterpillars which exhibit green, cryptic forms [Data set]. Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/mtnf7h89sv.1>

- Trajković, A. (2024). Interactive identification database X [Data set]. Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/bz9x7kk386.1>
- Trajković, A. (2024). Standard descriptive matrices in the identification of exophytophagous caterpillars [Data set]. Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/jg8wc15.w4ws.3>
- Trajković, A., & Žikić, V. (2023). Stuck in the caterpillars' web: A half-century of biocontrol research and application on gregarious Lepidopteran pests in Europe. *Sustainability*, 15(4), 2881.
- Truman, J. W., & Riddiford, L. M. (1999). The origins of insect metamorphosis. *Nature*, 401(6752), 447-452.
- Tukey, J. W. (1960). Conclusions vs decisions. *Technometrics*, 2(4), 423-433. <https://doi.org/10.1080/00401706.1960.10489983>
- Turnhout, E., & Boonman-Berson, S. (2011). Databases, scaling practices, and the globalization of biodiversity. *Ecology and Society*, 16(1).
- Ueda, K. I. (2020). An overview of computer vision in iNaturalist. *Biodiversity Information Science and Standards*.
- Van Nieukerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J., Kristensen, N. P., Lees, D. C., Minet, J., ... & Wahlberg, N. (2011). Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148(1), 212-221. <https://doi.org/10.11646/zoota15.a.3148.1.41>
- van Swaay, C., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., Munguira, M. L., Šašić, M., ... & Wiemers, M. (2010). *European Red List of Butterflies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Vignes-Lebbe, R., Bouquin, S., Kerner, A., & Bourdon, E. (2017). Desktop or remote knowledge base management systems for taxonomic data and identification keys: Xper2 and Xper3. *Biodiversity Information Science and Standards*, 1, e19911.

- Vinarski, M. V. (2020). Roots of the taxonomic impediment: Is the “integrativeness” a remedy? *Integrative Zoology*, 15(1), 2-15.
- Vincent, S., Vian, J. M., & Carlotti, M. P. (2000). Partial sequencing of the cytochrome oxidase b subunit gene I: A tool for the identification of European species of blow flies for postmortem interval estimation. *Journal of Forensic Sciences*, 45(4), 820-823.
- Von Sternberg, R. M. (1998). Applicability of fuzzy set theory in biology: The case of constructing a pure morphology. *State University of New York at Binghamton*.
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018. Article ID 7068349. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>
- Wagner, D. L., Schweitzer, D. F., Sullivan, J. B., & Reardon, R. C. (2011). *Owlet caterpillars of Eastern North America (Lepidoptera: Noctuidae)*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400838295>
- Wahlberg, N., Wheat, C. W., & Peña, C. (2013). Timing and patterns in the taxonomic diversification of Lepidoptera (butterflies and moths). *PLOS ONE*, 8(11), e80875.
- Wäldchen, J., & Mäder, P. (2018). Machine learning for image-based species identification. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11), 2216-2225.
- Waring, P., & Townsend, M. (2017). *Field Guide to the Moths of Great Britain and Ireland*. Bloomsbury Publishing.
- Watson, C. (2014). The impact of the internet on the developing brain: A developmental addiction model. Palo Alto University.
- Westfall, R. H., Glen, H. F., & Panagos, M. D. (1986). A new identification aid combining features of a polyclave and an analytical key. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 92(1), 65-73. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1986.tb01427.15>
- Wilkins, J. S. (2009). *Species: A history of the idea* (Vol. 1). University of California Press.



- Wilkins, J. S. (2017). The reality of species: Real phenomena not theoretical objects. In *The Routledge Handbook of Evolution and Philosophy* (pp. 167-181). Routledge.
- Willermet, C. (2012). Species, characters, and fuzziness in taxonomy. *PaleoAnthropology*, 2012, 70-86.
- Wolf, S., Mahecha, M. D., Sabatini, F. M., Wirth, C., Bruelheide, H., Kattge, J., ... & Kattenborn, T. (2022). Citizen science plant observations encode global trait patterns. *Nature Ecology & Evolution*, 6(12), 1850-1859.
- Worden, K., Tsialiamanis, G., Cross, E. J., & Rogers, T. J. (2023). Artificial neural networks. In *Machine Learning in Modeling and Simulation: Methods and Applications* (pp. 85-119). Cham: Springer International Publishing.
- Wu, F., Xiao, L., Sun, Y., Zhang, J., Ma, T., & He, L. (2022). A survey of human-in-the-loop for machine learning. *Future Generation Computer Systems*, 135, 364-381.
- Wu, Q., & Brown, M. R. (2006). Signaling and function of insulin-like peptides in insects. *Annual Review of Entomology*, 51(1), 1-24.
- Wyborn, C., Louder, E., Harrison, J., Montambault, J., Montana, J., Ryan, M., ... & Hutton, J. (2018). Understanding the impacts of research synthesis. *Environmental Science & Policy*, 86, 72-84.
- Yang, B., Zhang, Z., Yang, C. Q., Wang, Y., Orr, M. C., Wang, H., & Zhang, A. B. (2022). Identification of species by combining molecular and morphological data using convolutional neural networks. *Systematic Biology*, 71(3), 690-705.
- Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224.
- Zhang, T., Hartmann, B., Kim, M., & Glassman, E. L. (2020, April). Enabling data-driven API design with community usage data: A need-finding study. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-13).

**Извод**

Популаризација идентификације врста уз помоћ компјутерског вида и дубоког учења значајно је убрзала прикупљање података о биодиверзитету на глобалном нивоу, укључујући и морфолошки и еколошки разноврсну групу егзофитофагних гусеница. Иако мобилне апликације замењују обимну концептуалну литературу и користе се како у научним и стручним круговима, тако и широј јавности, оне често занемарују важну компоненту целокупног разумевања таксона: биологију и екологију врсте као ентитета који функционише унутар сложеног система биотичких и абиотичких фактора. Ова дисертација разматра донекле супротстављене идеје: да ли нове технологије заиста компромитују, или допуњују традиционалне третмане врста на нивоу особина?

У оквиру дисертације, идентификација је сагледана као вишедимензионални концепт, који поред биолошких обележја, почива на њиховој интерпретацији кроз когнитивне процесе. Формиране су три матрице података о особинама које садрже стандардизоване морфолошке, еколошке и бихејвиоралне дескрипторе за одабране врсте. Сваки сет врста, и свака матрица, демонстрирају, адекватно квантификују и припремају податке за статистичку обраду: било да се ради о полиморфизмима и полифенизмима у оквиру реда *Lepidoptera*, релацији хабитат-хабитус, или експертским системима у идентификацији врста, респективно.

Циљ дисертације је да прикаже да се визуелни сигнали и контекстуалне информације којима се приступа у процесу идентификације могу да искористе за даљу елаборацију уоченог обрасца, кроз комбиновање мануелних и полуаутоматских приступа у прикупљању и обради дескриптивних података, *crisp* и *fuzzy* кодирање дескриптора, третирање варијабилности на више нивоа и одабиром одговарајућих категоричких пандана предиктивних модела. Финално, униформисани и пречишћени подаци искоришћени су за израду интерактивне веб апликације која, кроз систем филтера, омогућава идентификацију врста и повезивање таксона са његовом улогом у екосистему.

## SUMMARY

The growing use of computer vision and deep learning for species identification has significantly sped up the collection of biodiversity data worldwide, including data on the diverse morphological and ecological group of exophytophagous caterpillars. While mobile apps are increasingly replacing extensive conceptual literature and are widely used in both scientific and professional circles, as well as by the public, they often miss a crucial aspect of fully understanding a taxon: the biology and ecology of a species as an entity functioning within a complex system of biotic and abiotic factors. This dissertation explores a somewhat opposing question: do new technologies compromise, or do they enhance, traditional species treatments at the trait level?

In this work, species identification is approached as a multidimensional concept that relies not only on biological traits but also on how these traits are interpreted through cognitive processes. Three trait data matrices were developed, containing standardized morphological, ecological, and behavioral descriptors for selected species. Each species set, and each matrix, serves to demonstrate, accurately quantify, and prepare data for statistical analysis—whether addressing polymorphisms and polyphenisms within the Lepidoptera order, the relationship between habitat and habitus, or the use of expert systems in species identification.

The goal of the dissertation is to show that visual signals and contextual information used in the identification process can be further refined through a combination of manual and semi-automatic approaches to gathering and processing descriptive data, the use of crisp and fuzzy coding for descriptors, managing variability at multiple levels, and selecting appropriate categorical counterparts for predictive models. Ultimately, the standardized and refined data were used to create an interactive web application that, through a filtering system, enables species identification and links each taxon to its role within the ecosystem.

## **Биографија и Библиографија аутора**

## Биографија

Александра Трајковић рођена је 09.11.1996. године у Нишу. Након завршене средње медицинске школе Др Миленко Хацић, смер физиотерапеутски техничар, 2015. године, уписала је основне академске студије на Департману за биологију и екологију Природно-математичког факултета у Нишу и завршила их 2018. године просеком 9.00. Исте године уписала је мастер академске студије на Департману за биологију и екологију, смер Биологија. Летњи семестар академске 2018/19 провела је на Erasmus+ програму студентске мобилности, на Универзитету у Бјалистоку, Пољска, на Институту за биологију и хемију и завршила га највишим оценама. Мастер студије завршила је у матичној установи, 2020. године, просечном оценом 9.95 и мастер радом под називом *Водич за прелиминарну детерминацију гусеница у Србији на основу морфолошких, бихејвиоралних и еколошких карактера*, са оценом 10.

Докторске студије на студијском програму Биологија, Природно-математичког факултета у Нишу, уписала је 2020. године. Након завршетка испитних обавеза из студентског програма, у априлу 2023. године пријављује тему докторске дисертације под називом *Интерактивна идентификација европских егзофитофагних врста гусеница кроз управљање дескриптивним подацима*, која се у јулу исте године и прихвата.

Децембра 2020. године изабрана је у звање истраживач-приправник, а од фебруара 2021. и ангажована у истом звању на Природно-математичком факултету Универзитета у Нишу, кроз програм Четвртог позива талентованим младим истраживачима - студентима докторских академских студија за укључивање у научноистраживачки рад у акредитованим научноистраживачким организацијама. Септембра 2023. године изабрана је у звање истраживач-сарадник. Ангажована је на извођењу вежби из предмета Зоологија бескичмењака 2 и Органска еволуција на ОАС Биологија. Од 2023. године члан је пројектног тима на пројекту HORIZON Restore4life (101112736). Учествоје у COST акцијама CA22129 - InsectAI - Using Image-based AI for Insect Monitoring & Conservation (InsectAI) и ca22140 - Improved Knowledge Transfer for Sustainable Insect Breeding (Insect-IMP). Аутор је више студија процене утицаја у својству експерта за биодиверзитет.

Члан је Ентомолошког друштва Србије и Биолошког друштва „Др Сава Петровић“, организационог одбора 22. међународног симпозијума о акватичним инсектима ISC22 и XIII Симпозијума ентомолога Србије.

## Библиографија

### Радови у часописима од међународног значаја:

**Trajković, A., & Žikić, V. (2023).** Stuck in the Caterpillars' Web: A Half-Century of Biocontrol Research and Application on Gregarious Lepidopteran Pests in Europe. *Sustainability*, 15(4), 2881 <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/2881> (M22)

Lazarević, M., Stanković, S. S., van Achterberg, C., Marczak, D., Modic, Š., Milošević, M. I., **Trajković, A. & Žikić, V. (2023).** Morphological and genetic variability of *Cotesia tibialis* species complex (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae). *Zoologischer Anzeiger*, 302, 58-66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044523122000961> (M22)

**Trajković, A. D., Lazarević, M. J., Stanković, S. S., Popović, M. A., Ilić-Milošević, M. M., & Žikić, V. A. (2023).** Standard descriptive matrices in the identification of exophytophagous caterpillars. *Archives of Biological Sciences*, (00), 8-8. <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0354-46642300008T> (M23)

Ilić-Milošević, M. M., Petrović-Obradović, O. T., Stanković, S. S., Lazarević, M. J., **Trajković, A. D., Tomanović, Ž. M., & Žikić, V. A. (2020).** Estimation of the competitiveness of *Ephedrus plagiator* in relation to other parasitoids from the subfamily Aphidiinae. *Archives of Biological Sciences*, 72(1), 53-61. <https://doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-4664/2020/0354-46641900066I.pdf> (M23)

### Радови у часописима од националног значаја:

**Trajković, A., Ilić Milošević, M., Stanković, S., Lazarević, M., Milenković, D., Stojanović, I., Krstić, M., & Žikić, V. (In Press, 2024).** Effects of dandelion partial replacement on some biological traits of the silkworm, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera, Bombycidae). *Biologica Nyssana*. (M51)

Žikić, V., Lazarević, M., Ilić Milošević, M., **Trajković, A., Hric, B., & Stanković, S. S. (2021).** Diversity of the genus *Cotesia* Cameron (Braconidae: Microgastrinae) in Serbia. *Acta Entomologica Serbica*, 26(2), 27-35. <https://aes.bio.bg.ac.rs/index.php/aes/article/view/331> (M51)

Žikić, V., Stanković, S. S., Popović, M., Husarik, A., Ilić Milošević, M., Lazarević, M., & **Trajković, A.** (2022). *Agrypnon polyxenae* (Szépligeti, 1899) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Anomaloninae): Newly recorded parasitoid of *Zerynthia polyxena* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Papilionidae: Parnassiinae) in the fauna of Serbia. *Facta Universitatis, Series: Medicine and Biology*, 27-29.

<http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUMedBio1/article/view/10566> **(M51)**

**Конгресна саопштења на међународним скуповима штампана у изводу:**

**Trajković, A.**, Ilić Milošević, M., Stanković, S., Lazarević, M., Milenković, D., Stojanović, I., Krstić, M., & Žikić, V. (2024). Effects of dandelion partial replacement on some biological traits of the silkworm, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera, Bombycidae). *INSECTA Conference 2024*, Potsdam, Germany, May 2024, pp. 65-67. **(M34)**

Stojanović, M., Ristić, P., Jovanović, B., Tomić, A., Milošević, Đ., Stojanović, J., **Trajković, A.**, & Savić Zdravković, D. (2024). Substrate modifications for *Chironomus tentans* Fabricius (Diptera: Chironomidae): Impact on survival, size, and mass. *INSECTA Conference 2024*, Potsdam, Germany, May 2024, pp. 27-35. **(M34)**

Stanković, N., **Trajković, A.**, Aščerić, D., Stojanović, J., Mustafić, M., Savić-Zdravković, D., & Milošević, Đ. (2024). Effects of different dietary regimes on the growth, development, and nutritional composition of *Chironomus riparius* larvae. *22nd International Symposium on Chironomidae*, Niš, Serbia, June 2024, pp. 52-53 **(M34)**

Savić-Zdravković, D., Stojanović, J., Stojanović, M., Ristić, P., Jovanović, B., Tomić, A., **Trajković, A.**, Mustafić, M., & Milošević, Đ. (2024). Optimizing laboratory substrates for ecotoxicological assessments of chironomidae: A focus on substrate composition and larval morphology. *22nd International Symposium on Chironomidae*, Niš, Serbia, June 2024, pp. 80-81 **(M34)**

**Конгресна саопштења на националним скуповима штампана у изводу:**



**Trajković, A.**, Stanković, S. S., Ilić Milošević, M., Lazarević, M., Milenković, D., & Žikić, V. (2023). Povratak svilene bube: Perspektive u optimizaciji laboratorijskog uzgoja. *XIV Symposium of Serbian Entomologists 2023*, Novi Sad, Serbia, September 2023, pp. 17-18. **(M64)**

**Trajković, A.**, Milošević, Đ., Stojanović, I., & Žikić, V. (2023). Primena fuzzy logike u matricama morfološko-funkcionalnih atributa visoko kriptičnih egzofitofagnih gusenica. *XIV Symposium of Serbian Entomologists 2023*, Novi Sad, Serbia, September 2023, pp. 18-19. **(M64)**

Lazarević, M., **Trajković, A.**, Stanković, S. S., Ilić Milošević, M., Milenković, D., & Žikić, V. (2023). Preliminarno istraživanje rod *Microgaster* Latreille (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) u Srbiji. *XIV Symposium of Serbian Entomologists 2023*, Novi Sad, Serbia, September 2023, pp. 21. **(M64)**

Žikić, V., **Trajković, A.**, Ilić Milošević, M., Lazarević, M., Milenković, D., & Stanković, S. S. (2023). Deset vrsta leptira koje se u stadijumu gusenice simultano hrane na *Quercus coccifera* na planini Pelion, Grčka. *XIV Symposium of Serbian Entomologists 2023*, Novi Sad, Serbia, September 2023, pp. 81. **(M64)**

**Trajković, A.**, Lazarević, M., Stanković, S., Popović, M., Ilić-Milošević, M., & Žikić, V. (2022). Standardne deskriptivne matrice u identifikaciji egzofitofagnih gusenica. *XIII Simpozijum entomologa Srbije*, Pirot, Serbia, September 14-16, 2022, pp. 64. **(M64)**

Popović, M., Radišić, D., Miličić, M., Janković Milosavljević, M., Stojanović, I., **Trajković, A.**, Ilić, M., Medenica, I., Verovnik, R., & Šašić, M. (2022). Od podataka do Crvene knjige dnevnih leptira Srbije. *XIII Simpozijum entomologa Srbije sa međunarodnim učešćem 2022*, Pirot, Serbia, September 14-16, 2022, pp. 6. **(M64)**

## **Изјаве аутора**

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

### **Интерактивна идентификација европских врста егзофитофагних гусеница кроз управљање дескриптивним подацима**

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, 03.09.2024.

Потпис аутора дисертације:

Александра Д. Трајковић

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА  
ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ**

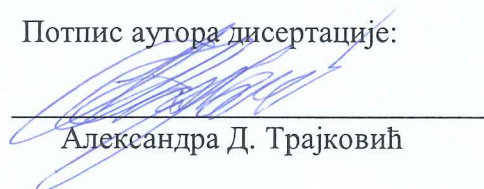
Наслов дисертације:

**Интерактивна идентификација европских врста егзофитофагних гусеница кроз  
управљање дескриптивним подацима**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао/ла за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 03.09.2024.

Потпис аутора дисертације:



---

Александра Д. Трајковић

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**Интерактивна идентификација европских врста егзофитофагних гусеница кроз  
управљање дескриптивним подацима**

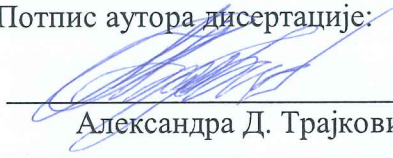
која је одбрањена на Природно-математичком факултету у Нишу Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 03.09.2024.

Потпис аутора дисертације:

  
Александра Д. Трајковић