

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA NARAVOSLOVJE IN MATEMATIKO
Oddelek za biologijo

MAGISTRSKO DELO

Niko GOMBOC

Maribor, 2020

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA NARAVOSLOVJE IN MATEMATIKO
Oddelek za biologijo

Niko GOMBOC

**Variabilnost krila metulja navadnega lešnikarja (*Maniola jurtina*,
Lepidoptera): pristop z geometrijsko morfometrijo**

MAGISTRSKO DELO

Variability of the wing on meadow brown butterfly (*Maniola jurtina*,
Lepidoptera): geometric morphometric approach

Mentor: prof. dr. Franc JANŽEKOVIČ

Maribor, 2020

IZJAVA O AVTORSTVU IN ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE OBLIKE ZAKLJUČNEGA DELA

Ime in priimek študenta: Niko Gomboc

Študijski program: Biologija in ekologija z naravovarstvom

Naslov zaključnega dela: Variabilnost krila metulja navadnega lešnikarja (*Maniola Jurtina*, Lepidoptera): pristop z geometrijsko morfometrijo

Mentor: prof. dr. Franc Janžekovič

Podpisani študent Niko Gomboc:

- izjavljam, da je zaključno delo rezultat mojega samostojnega dela, ki sem ga izdelal ob pomoči mentorja;
- izjavljam, da sem pridobil vsa potrebna soglasja za uporabo podatkov in avtorskih del v magistrskem delu in jih v magistrskem delu jasno in ustrezno označil;
- na Univerzo v Mariboru neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi zaključno delo javnosti na svetovnem spletu preko DKUM; sem seznanjen, da bodo dela deponirana/objavljena v DKUM dostopna široki javnosti pod pogoji licence Creative Commons BY-NC-ND, kar vključuje tudi avtomatizirano indeksiranje preko spleta in obdelavo besedil za potrebe tekstovnega in podatkovnega rudarjenja in ekstrakcije znanja iz vsebin; uporabnikom se dovoli reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo;
- dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v magistrskem delu in tej izjavi, skupaj z objavo zaključnega dela;
- izjavljam, da je tiskana oblika zaključnega dela istovetna elektronski obliki zaključnega dela, ki sem jo oddal/-a za objavo v DKUM.

Datum in kraj:

Podpis:

Gomboc, N. : Variabilnost krila metulja navadnega lešnikarja (*Maniola jurtina*, Lepidoptera): pristop z geometrijsko morfometrijo. Magistrsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za biologijo, 2020.

IZVLEČEK

Cilj magistrske naloge je bil ovrednotiti morfološko variabilnost v obliki drugega krila ter razporeditvi in številu črnih pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja (*Maniola jurtina*). Vidik obravnave je bilo razmerje med znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnostjo. Material je obsegal metulje iz petih različnih območij Balkanskega polotoka iz držav Bosna in Hercegovina ter Srbija. V analizo oblike drugega krila je bilo vključenih 221 osebkov, v analizo razporeditve in števila črnih pik pa 365 osebkov. Z metodami tradicionalne morfometrije sem ovrednotil variabilnost v številu in razporeditvi pik. Velika večina metuljev je imela dve ali tri pike, povprečno število vseh pik pa je bilo 2,61 pik. Prisotnih je bilo 16 različnih fenotipov razporeditve pik, najpogostejši pa je bil S2,5. S pomočjo Hi-kvadrat testa sem potrdil, da so statistično značilne razlike v razporeditvi pik prisotne med populacijami metuljev iz območij Čemernica-Fruška gora ($p=0,018$), Čemernica-Suva planina ($p=0,028$), Fruška gora-Uzlomac ($p=0,013$) in Suva planina-Uzlomac ($p=0,002$), druge primerjave niso imele statistično značilnih razlik. Izraženi sta tako znotrajpopulacijska kakor medpopulacijska variabilnost v številu in razporeditvi pik na drugem krilu, vendar je v večjem obsegu izražena znotrajpopulacijska variabilnost. Z metodami geometrijske morfometrije sem ovrednotil variabilnost v obliki drugega krila. Dokazal sem, da med populacijami ne prihaja do večjih razlik v obliki drugega krila, saj so se morfoprostori populacij izrazito prekrivali in niti za eno populacijo nisem mogel trditi, da je prepoznavno drugačna. Koeficienti variabilnosti so se med populacijami znatno razlikovali, s čimer sem potrdil, da prevladuje znotrajpopulacijska variabilnost. Razhajanja v obliki krila so prisotna znotraj populacij in so prisotna na celotnem krilu, največja pa so prisotna na stičišču osme vene (V8) z osrednjo celico in stičišču sedme vene (V7) in osrednjo celico.

Ključne besede: *Maniola jurtina*, tradicionalna morfometrija, geometrijska morfometrija, krilo, znotrajpopulacijska variabilnost, medpopulacijska variabilnost

Gomboc, N. : Variability of the wing on meadow brown butterfly (*Maniola jurtina*, Lepidoptera): geometric morphometric approach. Master Thesis. University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Biology, 2020.

ABSTRACT

The aim of the master's thesis was to evaluate the morphological variability in the shape of the second wing and the distribution and number of black spots on the ventral side of the second wing of the meadow brown butterfly (*Maniola jurtina*). An aspect of treatment was the relationship between intrapopulation and interpopulation variability. The material included butterflies from 5 different areas of the Balkan Peninsula from Bosnia and Herzegovina and Serbia. 221 specimens were included in the analysis of the shape of the second wing, and 365 specimens were included in the analysis of the distribution and number of black spots. Using traditional morphometry methods, I evaluated variability in number and distribution of spots. The vast majority of butterflies had 2 or 3 spots, and the average number of all spots was 2.61 spots. 16 different spot distribution phenotypes were present, the most common being S2.5. Using the Hi-square test, I confirmed that statistically significant differences in the distribution of spots are present between butterfly populations from the areas of Čemernica-Fruška gora ($p=0.018$), Čemernica-Suva planina ($p=0.028$), Fruška gora-Uzlomac ($p=0.013$) and Suva planina-Uzlomac ($p=0.002$), other comparisons had no statistically significant differences. Both intrapopulation and interpopulation variability in the number and distribution of spots on the other wing are expressed, but intrapopulation variability is expressed to a greater extent. Using geometric morphometry methods, I evaluated variability in the form of a second wing. I proved that there are no major differences in the shape of the second wing between the populations, as the morphospaces of the populations overlapped markedly and I could not claim that it was recognizably different for either population. Coefficients of variability varied significantly between populations, confirming that intrapopulation variability predominates. Wing-shaped divergences are present within populations and are present throughout the wing, with the largest being present at the junction of the eighth vein (V8) with the central cell and the junction of the seventh vein (V7) and the central cell.

Key words: *Maniola jurtina*, traditional morphometry, geometric morphometry, wing, intrapopulation variability, interpopulation variability

KAZALO VSEBINE

ABSTRACT.....	III
KAZALO VSEBINE.....	IV
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO TABEL.....	VII
KAZALO PRILOG	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. METULJI (LEPIDOPTERA)	1
1.2. UVRSTITEV V SISTEM.....	2
1.3. PISANČKI (NYMPHALIDAE)	2
1.4. NAVADNI LEŠNIKAR.....	3
1.5. RAZVOJ VZORCEV NA KRILU.....	5
1.6. ČRNE PIKE NA KRILU NAVADENGA LEŠNIKARJA	5
1.7. GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA	7
1.8. NAMEN IN HIPOTEZE DELA	8
2. MATERIALI IN METODE.....	9
2.1. MATERIAL.....	9
2.1.1. LOKALITETE ANALIZIRANIH METULJEV	9
2.2. METODE.....	11
2.2.1. FOTOGRAFIRANJE METULJEV	11
2.2.2. ŠTETJE PIK IN NJIHOVA RAZPOREDITEV	11
2.2.3. DOLOČITEV IN IZBIRA OSLONILNIH TOČK	12
2.2.4. PORAVNAVA OBJEKTOV IN PROKRUSTOVA ANALIZA	14
2.2.5. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENT	14
2.2.6. HI-KVADRAT TEST	15
2.2.7. KOEFICIENT VARIABILNOSTI	16
2.2.8. DISKRIMINANTNA ANALIZA.....	16
2.2.9. PERMUTACIJSKI TEST.....	16
3. REZULTATI.....	17
3.1. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI IN ŠTEVILU PIK	17
3.1.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU PIK	17
3.1.2. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI PIK	21

3.1.3. PRIMERJAVA FREKVENC VZORCEV PIK MED POPULACIJAMI RAZLIČNIH LOKALITET (HI-KVADRAT TEST)	24
3.2. VARIABILNOST V OBLIKI KRILA	25
3.2.1. PROKRUSTOVA ANALIZA	25
3.2.2. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENT	27
3.3. ZNOTRAJPOPULACIJSKA VARIABILNOST	30
3.4. MEDPOPULACIJSKA VARIABILNOST	31
3.4.1. DISKRIMINANTNA ANALIZA	33
4. DISKUSIJA	37
4.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU IN RAZPOREDITVI PIK	37
4.1.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU PIK	37
4.1.2. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI PIK	39
4.2. VARIABILNOST V OBLIKI KRILA	41
5. ZAKLJUČEK	43
6. POVZETEK	45
7. ZAHVALA	46
8. LITERATURA	47
9. PRILOGA	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Navadni lešnikar.....	3
Slika 2: Razširjenost navadnega lešnikarja.....	3
Slika 3: Jajčece, gosenica ter buba metulja navadnega lešnikarja	4
Slika 4: Ventralna stran drugega krila metulja navadnega lešnikarja	6
Slika 5: 13 najpogostejših kombinacij postavitve pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja	6
Slika 6: Lokaliteta nabranih metuljev v Bosni in Hercegovini prikazana na zemljevidu	10
Slika 7: Lokaliteta nabranih metuljev v Srbiji prikazana na zemljevidu.....	10
Slika 8: Prikaz razdelitve krila po poljih s krilnimi žilami.	11
Slika 9: Slikovni prikaz različnih barvnih kombinacij razporeditve pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja.....	12
Slika 10: Osemnajst (18) oslonilnih točk na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja	13
Slika 11: Prikaz Prokrustove analize na primeru trikotnikov.	14
Slika 12: Znotrajpopulacijska in medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu prikazana s koeficientom variabilnosti (v%)	20
Slika 13: Projekcija oslonilnih točk za 221 kril	26
Slika 14: Vektorji razpršenosti poravnanih točk okrog centroida.....	26
Slika 15: Grafični prikaz deleža razložene variabilnosti (% Variance) za vseh 32 glavnih komponent (Principal components).....	27
Slika 16: Projekcija vseh metuljev (N=221) na prvi dve glavni komponenti (Principal component), ki skupaj razložita 38,81 % variabilnosti	29
Slika 17: Znotrajpopulacijska variabilnost v obliki krila na lokalitetah prikazana s koeficientom variabilnosti (v%) na podlagi prve glavne komponente	30
Slika 18: Projekcija vseh metuljev (N=221) na prvi dve komponenti z označenimi geografskimi vzorci	31
Slika 19: Žični graf krila.....	32
Slika 20: Žični graf krila.....	32
Slika 21: Projekcija vseh osebkov metuljev (N=221) na prvi dve diskriminantni funkciji.....	35

KAZALO TABEL

Tabela 1: Število nabranih metuljev na lokaliteti ter število uporabljenih pri določeni analizi	9
Tabela 2: Zaporedno število posamezne oslonilne točke ter opis mesta postavitve oslonilne točke	13
Tabela 3: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Čemernice	17
Tabela 4: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Fruške gore	17
Tabela 5: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Suve planine	18
Tabela 6: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Uzlomaca	18
Tabela 7: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Zasavice	18
Tabela 8: Število pik na vseh lokalitetah skupaj	19
Tabela 9: Znotrajpopulacijska in medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu	19
Tabela 10: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Čemernice	21
Tabela 11: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Fruške gore	21
Tabela 12: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območju Suve planine	22
Tabela 13: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Uzlomaca	22
Tabela 14: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Zasavice	23
Tabela 15: Razporeditev pik na krilu na vseh lokalitetah skupaj	23
Tabela 16: Primerjava frekvenc vzorcev pik med populacijami različnih lokalitet	24
Tabela 17: Koordinate centroidov 18 oslonilnih točk na ventralni strani drugega krila	25
Tabela 18: Lastne vrednosti ter delež pojasnjene variance za 32 glavnih komponent	28
Tabela 19: Klasifikacijska tabela	33
Tabela 20: Lokaliteta in število osebkov	34
Tabela 21: Lastne vrednosti in delež ($v\%$) pojasnjene variance za štiri diskriminantne funkcije	34
Tabela 22: P-vrednost permutacijskega testa pri testiranju Prokrustovih razdalj med lokalitetami (10.000 ponovno krat vzorčen)	34
Tabela 23: Prokrustove razdalje med lokalitetami	35

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Seznam fotografij metuljev navadnega lešnikarja	51
--	----

1. UVOD

V okviru magistrske naloge sem ovrednotil variabilnost drugega krila metulja navadnega lešnikarja. Analizo sem posvetil dvema vidikoma variabilnosti krila – številu pik ter obliki krila. V analizo sem vključil metulje iz več območij Balkanskega polotoka iz Bosne in Hercegovine ter Srbije. S pomočjo tradicionalne morfometrije sem ocenil razporeditev pik na drugem krilu in njihovo številčnost, s pomočjo metod geometrijske morfometrije pa sem ovrednotil variabilnost v obliki krila. Osrednji vidik obravnave je bilo razmerje med znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnostjo.

V prvem delu magistrske naloge sem predstavil biologijo obravnavane vrste ter metodologijo dela, osrednji del naloge pa je namenjen predstavitvi rezultatov ter njihovi razlagi.

1.1. METULJI (LEPIDOPTERA)

Navadnega lešnikarja uvrščamo med metulje (Lepidoptera), ki je drugi največji red v razredu žuželk, Insecta (žuželke v ožjem pomenu) s približno 124 družinami in več kot 160 000 vrstami, vanj pa uvrščamo dnevne in nočne metulje (Kristensen in sod., 2007). Uvrščamo jih med žuželke s popolno preobrazbo (holometabolne žuželke), saj je v njihovem razvojnem krogu prisoten stadij bube, ki je stopnja med zadnjim larvalnim stadijem in odraslim osebkom. Njihov razvojni krog poteka v štirih stadijih: jajčece – larva – buba – odrasel osebek. Larve uvrščamo med polipodne larve, imenujemo jih gosenice, ki pa sploh ne spominjajo na odraslo žival ter nimajo zasnov za krila (Devetak in Klokočovnik, 2012). Gosenice imajo poleg treh parov nog na oprsju (thorax), na zadku (abdomen) še dva do osem parov mesnatih, lažnih in nesegmentiranih nog.

Večina larv je rastlinojedih, hranijo se z listi, stebli ali pa koreninami rastlin (Meyer, 2020). Larve se večkrat levijo in rastejo, vendar s starostjo ne postajajo bolj podobne odraslim. Zadnji larvalni stadij se preneha prehranjevati, se umiri in se pretvori v bubo. Buba je stadij mirovanja. Znotraj bube poteka preobrazba, med katero se razkrojijo larvalni organi, nastanejo pa novi organi odrasle žuželke (Devetak in Klokočovnik, 2012). Odrasle osebke prepoznamo po značilnih krilih, ki so prekrita z mikroskopsko majhnimi prekrivajočimi se luskami. Njihova krila so pogosto izrazitih barvnih vzorcev, ki igrajo pomembno vlogo pri prepoznavanju vrst. Obustne okončine velike večine metuljev so v obliki cevastega dolgega rilčka (proboscis), ki jim služi za sesanje hranil, kot je nektar iz cvetov. V mirovanju je rilček zviti pod glavo (Meyer, 2020).

1.2. UVRSTITEV V SISTEM

KRALJESTVO: Živali (Animalia)

DEBLO: Členonožci (Arthropoda)

RAZRED: Žuželke (Insecta)

RED: Metulji (Lepidoptera)

DRUŽINA: Pisančki (Nymphalidae)

ROD: Lešnikarji (*Maniola*)

VRSTA: Navadni lešnikar (*Maniola jurtina*) (Linnaeus, 1758)

(Myers in sod., 2020)

1.3. PISANČKI (NYMPHALIDAE)

Družina Nymphalidae je najbolj specializirana družina metuljev, doslej je opisanih okrog 6000 vrst. Metulji te družine se pojavljajo povsod po svetu, razen na skrajni Arktiki in Antarktiki, vključuje pa številne dobro znane vrste, kot so monarh, osatnik, modri morfo in drugi. Lahko se majhni ali pa zelo veliki. Metulji iz te družine so na mnogih območjih najvidnejši člani lokalne favne metuljev. Zaradi njihove vidnosti in enostavnosti opazovanja na terenu ter v laboratorijih so bile številne vrste metuljev iz te družine uporabljene kot modelni organizmi za razumevanje kompleksnosti življenja na tem planetu.

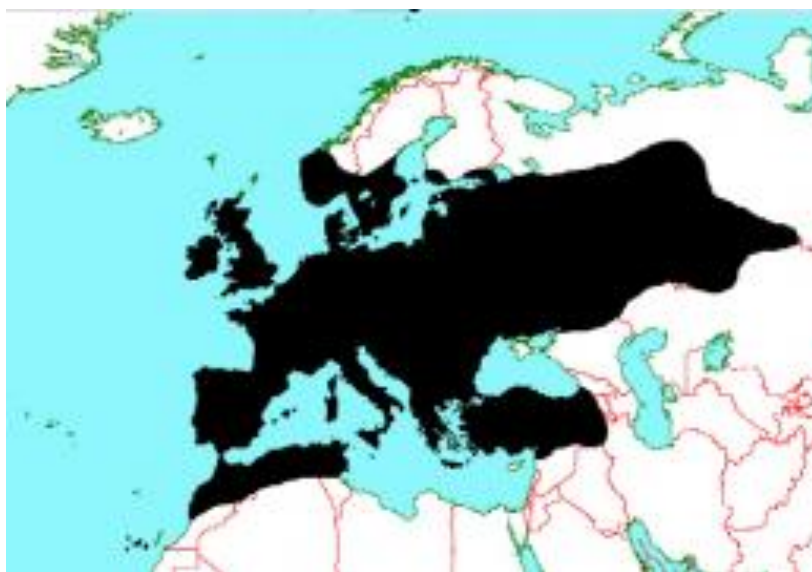
Pojavljajo se v različnih barvnih kombinacijah, ki lahko vključujejo geografske variacije, sezonske variacije, opozorilno obarvanost ter mimikrijo. Vse vrste metuljev iz te družine združuje en sam morfološki značaj, greben, ki ga najdemo na antenah odraslega metulja. Večina metuljev ima tudi manjšo velikost sprednjih nog kar je zlasti razvidno pri samcih (Ackery in sod., 1999).

1.4. NAVADNI LEŠNIKAR



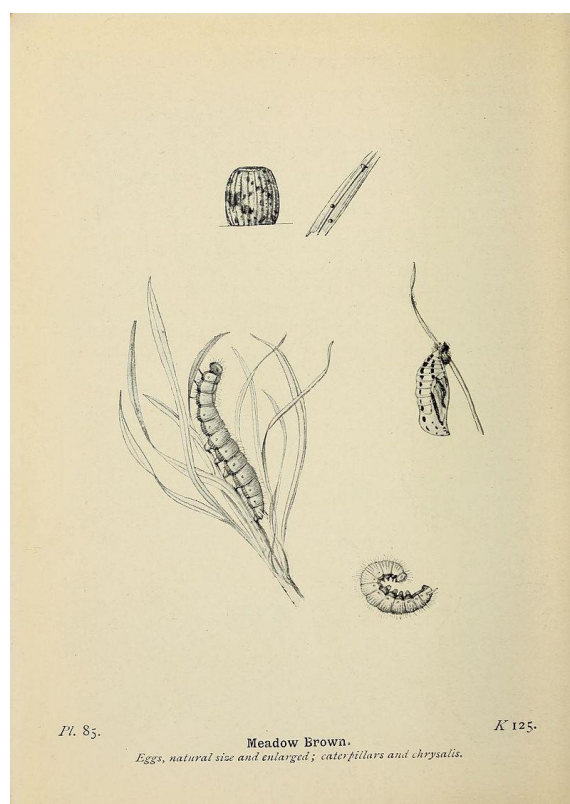
Slika 1: Navadni lešnikar (Pridobljeno 1.2.2020, iz: <https://www.ukbutterflies.co.uk/species.php?species=jurtina>)

Navadni lešnikar (slika 1) je ena izmed najbolj razširjenih in najpogostejših vrst evropskih metuljev (Grill in sod., 2006). Vrsta je široko razširjena po večjem delu Evrope (slika 2), najdemo pa ga tudi v severozahodni Afriki, na Kanarskih otokih ter vzhodno vse do Urala in severozahodnega Irana (Tshikolovets, 2011, Emmet in Heath, 1989).



Slika 2: Razširjenost navadnega lešnikarja (Vir: Colosimo, 2009)

Lešnikar živi v razponu od nižin 0 metrov pa vse do višine uspevanja vegetacije cca. 2700 metrov nadmorske višine. Zadržuje se predvsem na travnatih, grmovnatih ter pogosto cvetočih habitatnih tipih z obilico višjih trav, na obdelanih tleh in gozdnih robovih ter na apnenčastih ali kislih tleh v suhih in vlažnih razmerah. Odrasle leteče osebkke lahko opazujemo od maja do septembra (Kreuzinger in sod., 2014, Tolman, 1997). Samice se pariyo samo enkrat, jajčeca pa odlagajo posamično na liste trave ali odmrli rastlinski material (Wiklund, 1984). Jajčeca so pokončna z 11 do 21 vzdolžnimi rebri (odvisno od regije) (Kreuzinger in sod., 2014). Gosenica je svetlo zelena, obdana s kratkimi belkastimi dlačicami. Buba je blede zelena z rjavkastimi in črnkastimi črtami (slika 3), viseča in pritrjena s staro kožo (South, 1906). Vrsta prezimi kot larva zgodnje ali srednje razvojne faze, marca pa se prične prehranjevati s travami, predvsem v nočnem času. Bubiti se prične v maju, do konca avgusta pa se pojavijo vsi odrasli osebki. Hladnejše temperature v poletnih mesecih (predvsem junija), naj bi bile povezane s poznejšimi obdobji letenja. Poskusi v laboratorijih so pokazali, da je dolžina stadija bube močno odvisna od temperature. Tako naj bi stadij pri 15° C trajal 15-18 dni, pri 25° C pa 9-11 dni (Brakefield, 1987).



Slika 3: Jajčeca, gosenica ter buba metulja navadnega lešnikarja (Vir: South, 1906)

Razpon kril pri samcih znaša od 36 do 44 mm, pri samicah pa od 37 do 46 mm (Kreuzinger in sod., 2014). V južnih območjih z vročim poletjem odrasle samice navadnega lešnikarja izvajajo estivacijo (diapavzo) v najbolj vročem delu poletja s sočasnim zamikom zorenja jajčnikov, medtem ko je v severnih območjih ne izvajajo in jajčeca odlagajo takoj po oploditvi (Grill in sod., 2006).

1.5. RAZVOJ VZORCEV NA KRILU

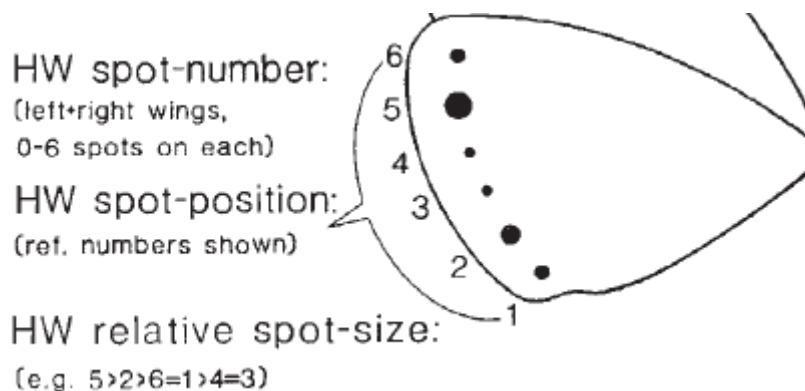
Najbolj izstopajoče fenotipske značilnosti metuljev so njihovi vzorci kril, ki imajo lahko prilagoditvene funkcije od pasivnega kamufliranja in mimikrije do kompeticije (Dilao in Sainhas, 2004). Ti vzorci so odraz genetskega polimorfizma ter fenotipske plastičnosti kot odgovor na sezonske in okoljske spremembe (Baldade in Brakefield, 2002). Črne pike na krilih metulja so koncentrični motivi s kontrastnimi barvami, posnemajo pa videz vretenčarskih oči (Dilao in Sainhas, 2004). Te pike imajo funkcijo vizualne komunikacije znotraj vrste in med vrstami ali pa so povezane s fizičnim okoljem. Vizualna komunikacija temelji na barvnem vzorcu krila, pomembna pa je zaradi interakcije s plenilci (aposematično ali kriptično obarvanje za obrambo), znotrajvrstnega prepoznavanja ter pri iskanju in izbiri spolnega partnerja (Baldade in Brakefield, 2002).

Razvoj črnih pik na krilu se začne že na stopnji larve z izražanjem genov za tvorbo pik na vnaprej določenih mestih (žariščih) razvijajočih se kril. S spreminjanjem položaja in širine teh žarišč, nastanejo na krilu različni vzorci (Dilao in Sainhas, 2004). Med piko in okoliško površino krila se pojavijo spremembe v morfologiji in usmerjenosti krilnih lusk (Brakefield, 1984). Spremeni se število, barva, lega, oblika ter velikost posameznih pik, zaradi različnih dejavnikov v okolju, kot sta temperatura in fotoperioda med razvojem larv (Baldade in Brakefield, 2002).

1.6. ČRNE PIKE NA KRILU NAVADENGA LEŠNIKARJA

Navadni lešnikar je morfološko in ekološko najbolj spremenljiva vrsta v rodu, saj morfološka variabilnost vključuje izrazit polimorfizem vzorcev na krilu (Grill in sod., 2006). Na ventralni strani drugega krila ima lahko od nič do pet majhnih črnih pik, ki ležijo v pasu svetlejše pigmentacije. Te pike se pojavljajo na položajih od 1 do 6, vendar je pika na položaju 4 zelo redko prisotna (slika 4). Na vsakem položaju so lahko pike prisotne ali odsotne (Brakefield, 1984), velikost pik pa se stalno spreminja (Brakefield in Noordwijk, 1985).

Pike se običajno pojavljajo v 13 od 32 možnih kombinacijah (slika 5), večja variabilnost v številu in postavitvi pik pa je prisotna med populacijami samic (Brakefield, 1984).



Slika 4: Ventralna stran drugega krila metulja navadnega lešnikarja. Na sliki vidimo število pik, možne položaje pik ter relativno velikost pik. Legenda: HW spot number (left+right wings, 0-6 spot on each)-število pik na drugem krilu (levo+desno krilo, 0-6 pik na vsakem); HW spot position (ref. number shown)-položaji pik na drugem krilu z referenčnimi številkami; HW relative size (e.g. 5>2>6=1>4=3)-relativna velikost pik na drugem krilu (npr. 5>2>6=1>4=3)(Vir: Brakefield in Noordwijk, 1985)

Name	Spot position				
	costal	median	anal	6	5
Nought	—	—	—	—	—
Costal 1	—	●	—	—	—
Anal 1	—	—	—	●	—
Costal 2	●	●	—	—	—
Splay 2	—	●	—	●	—
Anal 2	—	—	—	●	●
Costal 3	●	●	—	●	—
Median 3	—	●	●	●	—
Anal 3	—	●	—	●	●
Costal 4	●	●	●	●	—
Splay 4	●	●	—	●	●
Anal 4	—	●	●	●	●
All 5	●	●	●	●	●

Slika 5: 13 najpogostejših kombinacij postavitve pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja (Vir: Brakefield, 1984)

Obstajajo bistveni dokazi, da so fenotipske lastnosti metuljev pod močnim evlucijskim in ekološkim pritiskom in se lahko razvijejo kot hiter odziv na okoljske razmere. To velja predvsem za lastnosti, povezane z zunanjo morfologijo, kot so oblika krila, velikost krila ter samo obarvanost (Dapporto in sod., 2011).

1.7. GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA

Različne metode proučevanja oblike in njene povezanosti z drugimi spremenljivkami označujemo z izrazom morfometrija. Dani izraz izhaja iz dveh grških besed: »morph« za obliko, ter »metron« za meriti (Klenovšek, 2014a). Analiza oblike je temelj mnogih bioloških raziskav (Adams in sod., 2004). Multivariatne statistične analize za opisovanje variabilnosti v obliki organizmov so biometriki pričeli uporabljati že v šestdesetih in sedemdesetih letih 20. stoletja. Kot morfološke spremenljivke so uporabljali enorazsežne meritve kotov ter dolžin med strukturami. Dandanes takšen pristop imenujemo tradicionalna morfometrija (Marcus, 1990), ker pa te meritve ne vsebujejo podatkov o geometrijskih odnosih med posameznimi meritvami, ta oblika morfometrije ni najbolj učinkovit pristop za proučevanje razlik v obliki morfoloških struktur. Korenita sprememba v zbiranju ter analiziranju podatkov se je pričela v osemdesetih letih, osredotočila pa se je predvsem na zajemanje geometrije morfoloških struktur in ohranjanje informacije o relativnih prostorskih razporeditvah podatkov tekom trajanja cele analize. Takšen pristop so poimenovali geometrijska morfometrija, imela pa je takšne koristi, da so jo označili kot revolucijo v morfometriji (Adams in sod., 2004).

Prve uporabljene geometrijske morfometrične metode so bile orisne metode, ki so omogočale digitalizacijo točk po orisu, prilagajanje točk matematični funkciji ter nato primerjavo krivulj z uporabo njihovih koeficientov. Takšen pristop je bil omejen le na preproste orise, zato so bile predlagane številne druge metode, ki so dale različne statistične rezultate. Metode so načeloma delovale, težava pa se je pojavila v tem, da so statistične analize, ki temeljijo na različnih metodah, dale različne statistične rezultate. Ker ni bilo dogovorjene teorije, ki bi raziskovalcu omogočila da izbere najboljši pristop, so se odločili za iskanje primernejših metod (Rohlf, 1986).

Na novo raziskane metode so poimenovali geometrijsko morfometrične metode, pri katerih s pomočjo določanja oslonilnih točk pridobimo podatke v obliki kartezijskih koordinat. Oslonilne točke so točke, ki jih na bioloških objektih po predpisanih pravilih postavimo na točno določena izbrana mesta (Slice, 2007). Vsaka točka predstavlja obliko neke konfiguracije točk v evklidskem prostoru, neodvisno od velikosti, položaja ter orientacije.

Metode geometrijske morfometrije tako omogočajo vizualizacijo skupinskih in individualnih razlik, vizualizacijo variabilnosti vzorca in drugih odnosov v prostoru. Zaradi te lastnosti je geometrijska morfometrija dandanes standardna metoda s katero analiziramo oblike pridobljene z oslonilnimi točkami. Uporablja se v različnih panogah, kot so biologija, antropologija, paleontologija ter druge sorodne vede (Klenovšek, 2014a).

1.8. NAMEN IN HIPOTEZE DELA

Namen magistrske naloge je podrobna analiza oblike drugega krila ter ocena variabilnosti črnih pik metulja navadnega lešnikarja.

Cilj magistrske naloge je ovrednotiti morfološko variabilnost v obliki drugega krila ter razporeditvi in številu črnih pik na ventralni strani drugega krila. Vidik obravnave bo razmerje med znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnostjo.

Testiral bom naslednje hipoteze:

H₁: Oblika drugega krila metulja navadnega lešnikarja izkazuje večjo medpopulacijsko variabilnost, kot je variabilnost znotraj populacij.

H₂: Razporeditev in število pik na drugem krilu ni stabilno.

H₃: Razporeditev in število pik na drugem krilu izkazuje večjo medpopulacijsko variabilnost, kot je znotrajpopulacijska variabilnost.

2. MATERIALI IN METODE

2.1. MATERIAL

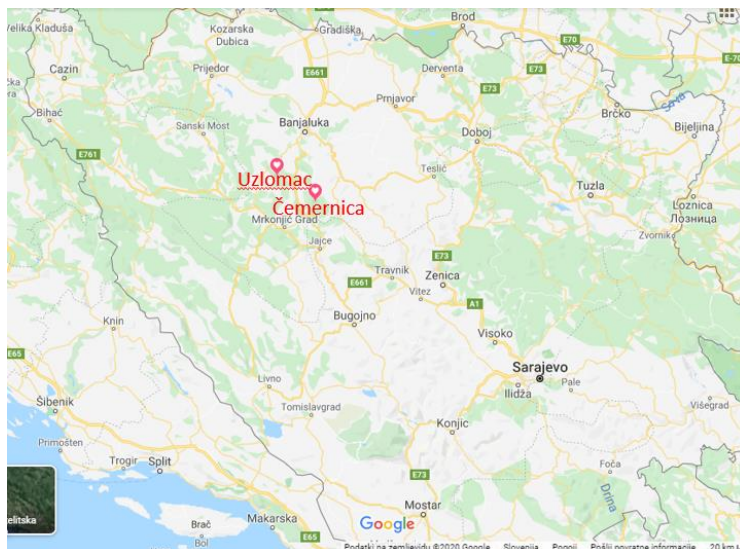
V raziskavi sem uporabil 375 fotografij primerkov metulja navadnega lešnikarja. V materialu je bilo nekaj podvojenih fotografij ter neuporabnih metuljev, ki jih zaradi poškodb ali premalo natančnih fotografij nisem vključil v analizo. Pri analizi števila pik sem tako uporabil 365 fotografij metuljev, pri analizi oblike krila pa 221 fotografij. Zaradi izključitve spolnega dimorfizma sem analiziral samo samce, ki izvirajo iz različnih območij Balkanskega polotoka in predstavljajo različne populacije. Terensko zbiranje in fotografiranje metuljev je izvedel prof. dr. Predrag Jakšić iz Beograda, delo pa je potekalo v okviru raziskav biodiverzitete Balkana. Material se nahaja v zasebni zbirki dr. Jakšića v Beogradu. Za namene tega magistrskega dela nisem iz narave odvzel nobenega osebka, ves material izvira iz drugih že izvedenih študij. Podrobnejši podatki o primerkih (inventarna številka, država, lokaliteta) so prikazani v Prilogi 1.

2.1.1. LOKALITETE ANALIZIRANIH METULJEV

Metulji so bili vzorčeni na petih različnih lokalitetah v dveh državah med leti 2006 in 2012. V Srbiji so bili nabrani na območju Fruške gore, Suve planine in Zasavice, v Bosni in Hercegovini pa na območju Čemernice in Uzlomaca (slika 6 in 7). Podatki o številu vključenih metuljev iz posamezne lokalitete so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1: Število nabranih metuljev na lokaliteti ter število uporabljenih pri določeni analizi

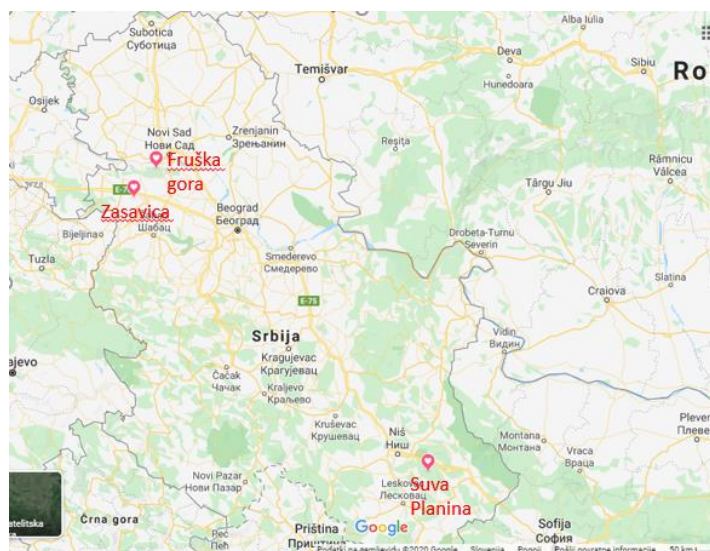
Lokaliteta nabiranja metuljev; datum nabiranja; koordinate GPS	Število osebkov (vključenih v analizo pik; v analizo oblike)
Fruška gora (Srbija); 3.7.2008; 45° 10' 14" N : 19° 36' 47" E	47 (46; 29)
Suva planina (Srbija); 10.7.2012; 43° 13' 18" N : 22° 06' 40" E	87 (87; 78)
Zasavica (Srbija); 17.6.2006; 44° 56' 50" N : 19° 30' 28" E	45 (44; 24)
Čemernica (Bosna in Hercegovina); 12.7.2008; 44° 32' 04" N : 17° 10' 21" E	81 (79; 36)
Uzlomac (Bosna in Hercegovina); 18.7.2008; 44° 35' 35" N : 17° 03' 34" E	110 (109; 54)
Skupaj	370 (365; 221)



Slika 6: Lokaliteta nabranih metuljev v Bosni in Hercegovini prikazana na zemljevidu

(Pridobljeno 3.2.2020, iz:

<https://www.google.com/maps/place/Bosna+in+Hercegovina/@43.8985646,15.4295247,7z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x134ba215c737a9d7:0x6df7e20343b7e90c!8m2!3d43.915886!4d17.679076>)



Slika 7: Lokaliteta nabranih metuljev v Srbiji prikazana na zemljevidu (Pridobljeno 3.2.2020,

iz:

<https://www.google.com/maps/place/Srbija/@44.1927518,18.6789264,7z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x47571ddff2898095:0x55e50ea3723865d!8m2!3d44.016521!4d21.005859>)

2.2. METODE

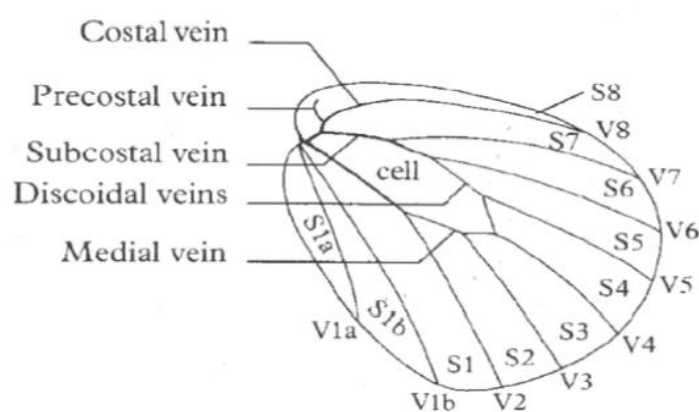
Variabilnost krila metulja navadnega lešnikarja sem analiziral iz več različnih vidikov. Najprej sem fotografije kril uredil tako, da so bile vse enako orientirane, izločil pa sem tiste, ki so se ponavljale, bile nejasne ali pa so bile poškodovane. Za prvi del analize sem uporabil metode tradicionalne morfometrije s katerimi sem ocenil razporeditev pik in njihovo številčnost, za drugi del pa metode geometrijske morfometrije, s katerimi sem ovrednotil variabilnost v obliki krila. Oba vidika variabilnosti sem obdelal s statističnimi metodami, kot so Prokrustova analiza, analiza glavnih komponent (PCA), Hi-kvadrat test, koeficient variabilnosti, diskriminantna analiza in permutacijski test. Statistično analizo podatkov sem izvedel s programsko opremo Microsoft Office Excel (2016), MorphoJ in Past3.

2.2.1. FOTOGRAFIRANJE METULJEV

Metulji so bili fotografirani iz ventralne strani, tako da so bile pike na ventralni strani drugega krila jasno vidne.

2.2.2. ŠTETJE PIK IN NJIHOVA RAZPOREDITEV

Navadni lešnikar ima lahko na ventralni strani drugega krila od nič do pet majhnih črnih pik (Baxter in sod., 2017) (slika 9). Njegovo drugo krilo je razdeljeno na več polj, ki jih ločujejo vene in jih označimo z oznakami S1 do S8. Pike se pojavljajo na poljih od S1 do S8 (slika 8) (Tolman in Lewington, 2008). Na podlagi fotografij sem za vsak osebek posebej pogledal na katerem polju se nahajajo pike, ter nato podatke vnesel v tabelo.



Slika 8: Prikaz razdelitve krila po poljih s krilnimi žilami. Legenda: Costal vein-kostalna krilna žila; Precostal vein-prekostalna krilna žila; Subcostal vein-subkostalna krilna žila; Discoidal veins-diskoidalne krilne žile; Medial vein-mediana krilna žila; Cell-osrednja celica; S1a-S8-različna polja krila; V1a-V8-različne krilne vene (Vir: Tolman in Lewington, 2008).



Slika 9: Slikovni prikaz različnih barvnih kombinacij razporeditve pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja

2.2.3. DOLOČITEV IN IZBIRA OSLONILNIH TOČK

Oslonilne točke so točke, ki jih na bioloških objektih (v mojem primeru fotografijah kril) po predpisanih pravilih postavimo na točno določena izbrana mesta (Slice, 2007). Oslonilna točka z enako oznako oziroma številko mora biti na vseh fotografijah v vzorcu postavljena na enako (homologo) mesto. Oslonilne točke predstavljajo osnovo vseh nadaljnjih analiziranj ter vizualizacij, zato je njihova ustreznost postavitev ter izbira eden najpomembnejših korakov pri sami raziskavi. Vse točke morajo biti na fotografiji jasno vidne, dobro definirane ter prisotne na vsej fotografiji, ki jih želimo vključiti v nadaljnjo raziskavo (Klenovšek, 2014a).

V svoji magistrski nalogi sem s pomočjo programa tpsDig (Rohlf, 2010) določil 18 oslonilnih točk (slika 10, tabela 2), ki sem jih postavil na točno določena mesta na ventralni strani drugega krila metulja. Rezultat tako izvedenih meritev je bil dokument s konfiguracijami točk za posamezno obdelano fotografijo, ter njihovimi koordinatami.



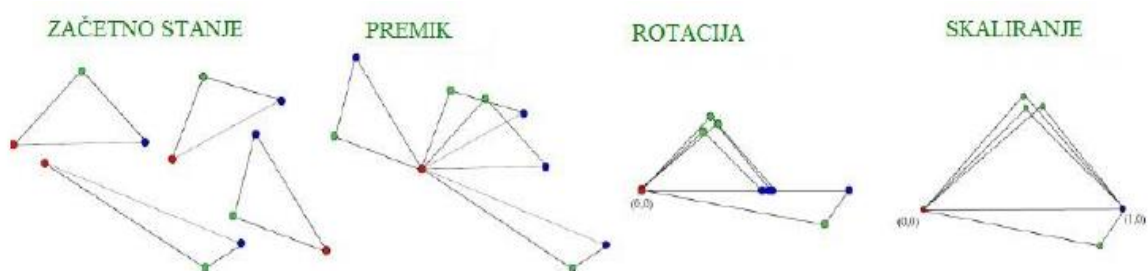
Slika 10: Osemnajst (18) oslonilnih točk na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja

Tabela 2: Zaporedno število posamezne oslonilne točke ter opis mesta postavitve oslonilne točke

Oslonilna točka	Opis
1	Izhodiščna točka osrednje celice
2	Stičišče osme vene (V8) ter konca krila
3	Stičišče sedme vene (V7) ter konca krila
4	Stičišče šeste vene (V6) ter konca krila
5	Stičišče pete vene (V5) ter konca krila
6	Stičišče četrte vene (V4) ter konca krila
7	Stičišče tretje vene (V3) ter konca krila
8	Stičišče druge vene (V2) ter konca krila
9	Stičišče prve b vene (V1b) ter konca krila
10	Stičišče prve a vene (V1a) ter konca krila
11	Izhodiščna točka prve a in b vene
12	Stičišče osme vene (V8) z osrednjo celico
13	Stičišče sedme vene (V7) z osrednjo celico
14	Stičišče šeste vene (V6) z osrednjo celico
15	Stičišče pete vene (V5) z osrednjo celico
16	Stičišče četrte vene (V4) z osrednjo celico
17	Stičišče tretje vene (V3) z osrednjo celico
18	Stičišče druge vene (V2) z osrednjo celico

2.2.4. PORAVNAVA OBJEKTOV IN PROKRUSTOVA ANALIZA

Podatki, ki sem jih dobil z določitvijo ter postavitvijo oslonilnih točk vsebujejo podatke o velikosti, orientaciji in položaju objekta, zato so neprimerni za analize (Adams in sod., 2004). To težavo sem razrešil z uporabo Prokrustove analize (angl. GPA – Generalized Procrustes Analysis), ki poravna vse konfiguracije točk ter izloči vse razlike med objekti nastale med procesom digitalizacije. Premakne jih v skupno izhodišče, zavrti in skalira (slika 11), tako da je na koncu vsota kvadratov razlik med točkami v vzorcu minimalna (Klenovšek, 2014a).



Slika 11: Prikaz Prokrustove analize na primeru trikotnikov (začetno stanje, premik v isto izhodiščno točko, rotacija, skaliranje konfiguracij koordinat) (Vir: Klenovšek, 2014a).

S Prokrustovo analizo konfiguracije oslonilnih točk objektov poravnamo v skupni koordinatni sistem – Kendallov oblikovni prostor. Posamezne točke iz Kendallovega oblikovnega prostora preslikamo v linearni prostor. Po Prokrustovi analizi ter projekciji v linearni prostor dobimo nove koordinate, ki jih imenujemo oblikovne spremenljivke. Oblikovne spremenljivke so primerne za uporabo v nadaljnjih statističnih analizah, saj nosijo informacijo o obliki preučevanih objektov brez velikosti, položaja in usmerjenosti. Prav tako dobimo tudi centroidno velikost, ki jo definiramo kot kvadratni koren vsote kvadriranih razdalj med oslonilnimi točkami in njihovim težiščem (Klenovšek, 2014a).

2.2.5. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENT

Analiza glavnih komponent (PCA) je statistični postopek, ki iz večjega števila osnovnih spremenljivk oblikuje nove spremenljivke imenovane glavne komponente, ki opišejo skupno varianco prvotne množice podatkov (Klenovšek, 2014a). Je ena izmed najpogosteje uporabljenih multivariatnih metod. Leta 1901 jo je osnoval Karl Pearson, največ zaslug za nadaljnji razvoj pa ima Hotelling. Nove spremenljivke imenujemo glavne komponente, ki so linearne kombinacije originalnih merjenih spremenljivk (Klenovšek, 2014b).

Nove spremenljivke so med seboj neodvisne in urejene od najpomembnejše do najmanj pomembne, pomembnost pa pomeni, da prva glavna komponenta pojasnjuje kar največ razpršenosti osnovnih podatkov.

Cilj same analize je poiskati nekaj komponent, ki pojasnjujejo večji del razpršenosti analiziranih podatkov (Monteiro, 2013). Za prikaz variabilnosti oblike v vzorcu uporabimo razsevne diagrame prvih nekaj glavnih komponent. Relativni položaji točk na razsevni diagramu predstavljajo odnose v obliki med osebki. Razsevni diagrami so v analizah primerni tudi zato, ker nam prikažejo osamelce v samem vzorcu, ki jih nato lahko izključimo iz analize (Klenovšek, 2014a).

2.2.6. HI-KVADRAT TEST

Prvotni Hi-kvadrat test, pogosto znan kot Pearsonov Hi-kvadrat test izhaja iz prispevkov Karla Pearsona (Howell, 2011) in je ena izmed najbolj uporabnih statističnih metod za testiranje hipotez kadar so spremenljivke nominalne. Za razliko od večine ostalih statističnih testov, Hi-kvadrat test ne daje samo informacij o pomembnosti opaženih razlik, ampak vsebuje tudi podrobne informacije o tem v katerih kategorijah so ugotovljene razlike (McHugh, 2013). Test služi za testiranje enake verjetnosti (angl. *goodness of-fit test*), ki ga uporabljamo ob preverjanju, ali so vsi odgovori ene spremenljivke enako pogosti ali pa je pogostost različna. Prav tako služi kot test za testiranje dveh neodvisnih spremenljivk v kontingenčni tabeli (angl. *Chi-square test of independence*). Ta test je pogostejši, z njim pa lahko preverjamo ujemanje dejanskih in pričakovanih frekvenc oziroma povezanost med spremenljivkama (Howell, 2011). Pri tem testu si postavimo ničelno hipotezo (spremenljivki nista povezani) in alternativno hipotezo (spremenljivki sta povezani), nato pa na osnovi vrednosti hi-kvadrata in izbrane kritične vrednosti ($p=0,05$) sprejmemo ali zavrnemo ničelno hipotezo.

2.2.7. KOEFICIENT VARIABILNOSTI

Koeficient variabilnosti je statistično merilo s katerim merimo razpršenost podatkovnih točk v nizu podatkov okoli povprečja. Predstavlja razmerje med standardnim odklonom in aritmetično sredino in je koristen statistični pripomoček za primerjavo stopnje variacije iz ene vrste podatkov v drugo, tudi če se povprečja drastično razlikujejo med seboj. Izračunamo ga po naslednji formuli, podajamo pa ga v procentih:

$$KV(\%) = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

kjer je σ = standardni odklon, \bar{x} = aritmetična sredina (Abdi, 2010).

2.2.8. DISKRIMINANTNA ANALIZA

Diskriminantna analiza je ena najbolj razširjenih statističnih metod za raziskovanje taksonomskih razlik v skupinah, ki so v naprej definirane. Izraz diskriminantna analiza načeloma uporabljamo le, kadar primerjamo dve skupini, ob primerjanju več skupin pa uporabljamo izraz kanonična analiza (CVA) (Webster in Sheets, 2010). Osnovna ideja diskriminantne analize je določiti vrednostno os, ki razlikuje med skupinami, hkrati pa bodo enote posameznih skupin čim manj pomešane, s čimer se zagotovi kar najvišjo možno učinkovitost diskriminantne funkcije (Širca, 2008). Rezultat diskriminantne analize so diskriminantne funkcije, to so linearne kombinacije osnovnih spremenljivk, ki minimizirajo variacijo znotraj skupine, hkrati pa povečajo variacijo med skupinami ter ločijo vnaprej določene skupine (Davies in Fearn, 2008). Diskriminantne funkcije si sledijo po deležu opisane variance, tako da prva diskriminantna funkcija najbolj razlikuje vnaprej postavljene skupine (Klenovšek, 2014b).

2.2.9. PERMUTACIJSKI TEST

Kot alternativno metodo ostalim parametričnim testom sem uporabil Permutacijski test, ki ne predpostavlja normalne porazdelitve podatkov in homogenosti kovariančnih razlik. Zaradi teh lastnosti ni tako občutljiv na razlike v velikosti vzorcev, prav tako pa ne na veliko število spremenljivk v primerjavi s številom osebkov v vzorcu (Klenovšek, 2014a).

3. REZULTATI

Rezultate meritev na krilu metulja navadnega lešnikarja sem razdelil v štiri sklope. V prvem sklopu sem na podlagi vseh 365 fotografij krila predstavil rezultate variabilnosti v razporeditvi in številu pik. V drugem sklopu sem na podlagi 221 fotografij krila predstavil rezultate variabilnosti v obliki krila. V zadnjih dveh sklopih sem podrobneje predstavil znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnost v obliki krila.

3.1. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI IN ŠTEVILU PIK

3.1.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU PIK

V vzorcu metuljev iz območja Čemernice prevladujejo metulji z dvema ali tremi pikami (skupaj 88 %), metuljev z ostalim številom pik pa je bistveno manj (tabela 3). V vzorcu ni bilo nobenega metulja brez pik.

Tabela 3: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Čemernice

Čemernica	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Št. metuljev	0	1	41	29	7	1
%	0	1,27	51,90	36,71	8,86	1,27

V vzorcu metuljev iz območja Fruške gore prevladujejo metulji z dvema ali tremi pikami (skupaj 86 %), metuljev z ostalim številom pik pa je bistveno manj (tabela 4). V vzorcu ni bilo nobenega metulja brez pik ali s petimi pikami.

Tabela 4: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Fruške gore

Fruška gora	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Št. metuljev	0	2	19	21	4	0
%	0	4,35	41,30	45,65	8,70	0

V vzorcu metuljev iz območja Suve planine prevladujejo metulji z dvema ali tremi pikami (80 %), metuljev z ostalim številom pik pa je bistveno manj (tabela 5). V vzorcu ni bilo nobenega metulja brez pik.

Tabela 5: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Suve planine

Suva planina	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Št.metuljev	0	2	33	37	12	3
%	0	2,30	37,93	42,53	13,79	3,45

V vzorcu metuljev iz območja Uzlomaca prevladujejo metulji z dvema pikama (60 %), sledijo pa metulji s tremi pikami (25 %). Metuljev z ostalim številom pik je bistveno manj (tabela 6). V vzorcu ni bilo nobenega metulja z eno piko.

Tabela 6: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Uzlomaca

Uzlo mac	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Št.metuljev	2	0	66	28	10	3
%	1,83	0	60,55	25,69	9,17	2,75

V vzorcu metuljev iz območja Zasavice prevladujejo metulji z dvema ali tremi pikami (88 %), prisotni pa so še metulji s štirimi pikami (11 %). Metulji z nič, eno in pet pikami v vzorcu niso prisotni (tabela 7).

Tabela 7: Število pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Zasavice

Zasavica	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Št.metuljev	0	0	20	19	5	0
%	0	0	45,45	43,18	11,36	0

Ob združitvi rezultatov (tabela 8) vidimo podobno sliko kakor na vsaki posamezni lokaliteti. V celotnem vzorcu prevladujejo metulji z dvema pikama (49 %) in tremi pikami (36 %), metuljev z ostalim številom pik pa je bistveno manj. Metulji z nič, eno ali pet pikami so v danem vzorcu zelo redki.

Tabela 8: Število pik na vseh lokalitetah skupaj

Lokaliteta	0 pik	1 pika	2 piki	3 pike	4 pike	5 pik
Čemernica	0	1	41	29	7	1
Fruška gora	0	2	19	21	4	0
Suva planina	0	2	33	37	12	3
Uzlomac	2	0	66	28	10	3
Zasavica	0	0	20	19	5	0
Skupaj	2	5	179	134	38	7
%	0,55	1,37	49,04	36,71	10,41	1,92

S pomočjo koeficienta variabilnosti sem predstavil znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnost v številu pik na drugem krilu. Večji je koeficient variabilnosti, večja je variabilnost v številu pik v populaciji.

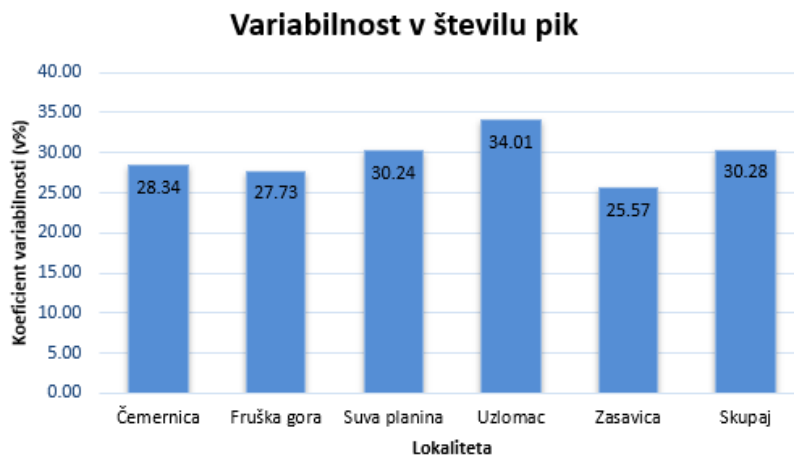
Največja znotrajpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu je bila prisotna na območju Uzlomac (34,01 %), najmanjša pa na območju Zasavica (25,57 %).

Ob združenju vseh populacij skupaj, sem izračunal medpopulacijsko variabilnost v številu pik na drugem krilu, ki je znašala 30,28 % (tabela 9). Povprečno število pik je bilo 2,61.

Tabela 9: Znotrajpopulacijska in medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu

Lokaliteta	Število pik na ventralni strani drugega krila						n	\bar{x}	s	s/ \bar{x}	s/ \bar{x} (%)
	0	1	2	3	4	5					
Čemernica	0	1	41	29	7	1	79	2.570	0.728	0.283	28.34
Fruška gora	0	2	19	21	4	0	46	2.587	0.717	0.277	27.73
Suva planina	0	2	33	37	12	3	87	2.782	0.841	0.302	30.24
Uzlomac	2	0	66	28	10	3	109	2.486	0.846	0.340	34.01
Zasavica	0	0	20	19	5	0	44	2.659	0.680	0.256	25.57
Skupaj	2	5	179	134	38	7	365	2.608	0.790	0.303	30.28

Za lažji prikaz sem podatke o variabilnosti v številu pik na drugem krilu prikazal na sliki 12, iz katere je razvidno, da se populacije v številu pik na drugem krilu razlikujejo med lokalitetami.



Slika 12: Znotrajpopulacijska in medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu prikazana s koeficientom variabilnosti (v%)

3.1.2. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI PIK

V vzorcu metuljev iz območja Čemernice prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5 (49 %), metuljev z ostalimi razporeditvami pik pa je bistveno manj (tabela 10).

Tabela 10: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Čemernice

Razporeditev pik	Št. metuljev	%
S 1,2,3,5,6	1	1,27
S 2,5	39	49,37
S 1,2,5	7	8,86
S 3,6	2	2,53
S 2,5,6	14	17,72
S 1,2,5,6	1	1,27
S 2,3,5,6	4	5,06
S 2,3,5	8	10,13
S 1,2,3,5	2	2,53
S2	1	1,27

V vzorcu metuljev iz območja Fruške gore prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5 (41 %) in S 2,5,6 (34 %). Metuljev z ostalimi razporeditvami pik je bistveno manj (tabela 11).

Tabela 11: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Fruške gore

Razporeditev pik	Št. metuljev	%
S 2,3,5,6	1	2,17
S 2,5	19	41,30
S 2,5,6	16	34,78
S5	1	2,17
S 1,2,5,6	3	6,52
S 1,2,5	3	6,52
S 2,3,5	2	4,35
S 2	1	2,17

V vzorcu metuljev iz območja Suve planine prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5 (36 %) in S 2,5,6 (24 %). Metuljev z ostalimi razporeditvami pik je bistveno manj (tabela 12).

Tabela 12: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območju Suve planine

Razporeditev pik	Št. metuljev	%
S 1,2,5	13	14,94
S 2,5	32	36,78
S 1,2,5,6	8	9,20
S 2,5,6	21	24,14
S 2,3,5	3	3,45
S 2,3,5,6	3	3,45
S 1,2	1	1,15
S2	2	2,30
S 1,2,3,5	1	1,15
S 1,2,3,5,6	3	3,45

V vzorcu metuljev iz območja Uzlomaca prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5 (66 %), metuljev z ostalimi razporeditvami pik pa je bistveno manj (tabela 13).

Tabela 13: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Uzlomaca

Razporeditev pik	Št. metuljev	%
S 2,5	66	61,68
S 1,2,5,6,7	1	0,93
S 1,2,3,5	1	0,93
S 2,5,6	17	15,89
S 2,5,6,7	2	1,87
S 2,3,5	8	7,48
S 1,2,5,6	4	3,74
S 2,3,5,6	3	2,80
S 1,2,3,5,6	2	1,87
S 1,2,5	3	2,80

V vzorcu metuljev iz območja Zasavice prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5 (45 %) in S 2,5,6 (27 %). Metuljev z ostalimi razporeditvami pik je bistveno manj (tabela 14).

Tabela 14: Razporeditev pik na krilu ter procentualne vrednosti za metulje iz območja Zasavice

Razporeditev pik	Št. metuljev	%
S 2,5	20	45,45
S 2,5,6	12	27,27
S 1,2,5	3	6,82
S 2,3,5	4	9,09
S 1,2,5,6	3	6,82
S 2,3,5,6	1	2,27
S 2,3,4,5	1	2,27

Ob združitvi rezultatov (tabela 15) vidimo podobno sliko kakor na vsaki posamezni lokaliteti. V celotnem vzorcu prevladujejo metulji z razporeditvijo pik S 2,5(48 %) in S 2,5,6 (22 %). Metuljev z ostalimi razporeditvami pik je bistveno manj.

Tabela 15: Razporeditev pik na krilu na vseh lokalitetah skupaj

Lokaliteta	S 2	S 5	S 2,5	S 3,6	S 1,2	S 1,2,5	S 2,5,6	S 2,3,5	S 1,2,5,6	S 2,3,5,6	S 1,2,3,5	S 2,5,6,7	S 2,3,4,5	S 1,2,3,5,6	S 1,2,5,6,7
Čemernica	1	0	39	2	0	7	14	8	1	4	2	0	0	1	0
Fruška gora	1	1	19	0	0	3	16	2	3	1	0	0	0	0	0
Suva planina	2	0	32	0	1	13	21	3	8	3	1	0	0	3	0
Uzlomac	0	0	66	0	0	3	17	8	4	3	1	2	0	2	1
Zasavica	0	0	20	0	0	3	12	4	3	1	0	0	1	0	0
Skupaj	4	1	176	2	1	29	80	25	19	12	4	2	1	6	1
%	1,10	0,28	48,48	0,55	0,28	7,99	22,04	6,89	5,23	3,31	1,10	0,55	0,28	1,65	0,28

3.1.3. PRIMERJAVA FREKVENC VZORCEV PIK MED POPULACIJAMI RAZLIČNIH LOKALITET (HI-KVADRAT TEST)

S pomočjo Hi-kvadrat testa sem preverjal, ali obstajajo razlike med frekvencami vzorcev pik populacij različnih lokalitet. Iz tabele 16 razberemo, da so statistično značilne razlike v frekvenci vzorcev pik prisotne med populacijami metuljev iz območij Čemernica-Fruška gora ($p=0,018$), Čemernica-Suva planina ($p=0,028$), Fruška gora-Uzlomac ($p=0,013$) in Suva planina-Uzlomac ($p=0,002$). Druge primerjave niso imele statistično značilnih razlik.

Tabela 16: Primerjava frekvenc vzorcev pik med populacijami različnih lokalitet. Zgornja diagonala predstavlja p vrednosti, spodnja diagonala pa hi-kvadrat vrednosti (stopinje prostosti)

	Čemernica	Fruška gora	Suva planina	Uzlomac	Zasavica
Čemernica		$p=0,018^*$	$p=0,028^*$	$p=0,184$	$p=0,111$
Fruška gora	$\chi^2=21,42$ (10)		$p=0,213$	$p=0,013^*$	$p=0,349$
Suva planina	$\chi^2=20,16$ (10)	$\chi^2=13,19$ (10)		$p=0,002^*$	$p=0,071$
Uzlomac	$\chi^2=13,77$ (10)	$\chi^2=20,99$ (9)	$\chi^2=28,25$ (10)		$p=0,113$
Zasavica	$\chi^2=15,63$ (10)	$\chi^2=8,91$ (8)	$\chi^2=17,17$ (10)	$\chi^2 =12,97$ (8)	

3.2. VARIABILNOST V OBLIKI KRILA

Za prikaz variabilnosti v obliki krila sem uporabil Prokrustovo analizo ter metodo analize glavnih komponent (PCA).

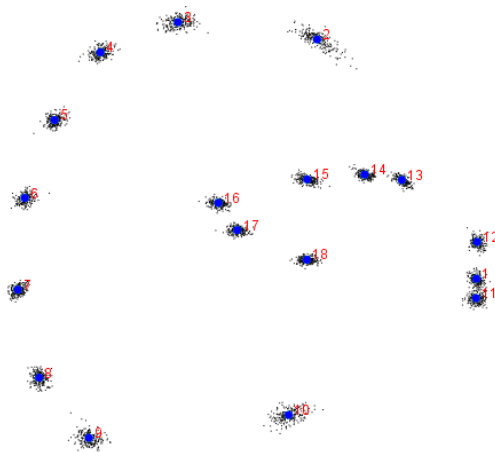
3.2.1. PROKRUSTOVA ANALIZA

S pomočjo Prokrustove analize sem poravnal vse konfiguracije točk ter tako izločil vse razlike med objekti, ki so nastali med procesom digitalizacije. Morfološka informacija o obliki krila se je ohranila v Prokrustovih koordinatah. Koordinate povprečnih vrednosti (centroidov) vseh 18 oslonilnih točk so predstavljene v tabeli 17.

Tabela 17: Koordinate centroidov 18 oslonilnih točk na ventralni strani drugega krila

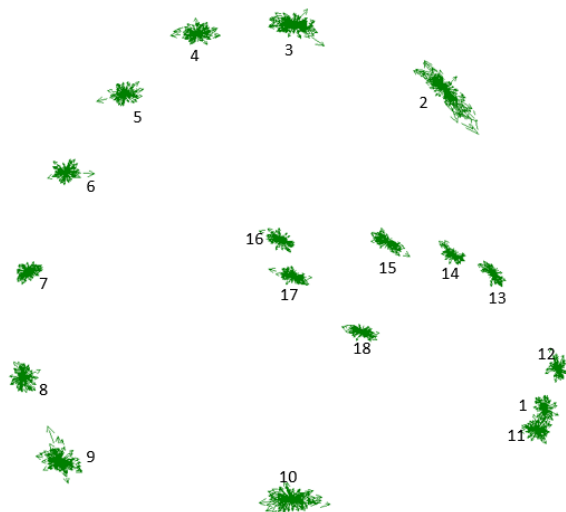
Oslonilna točka	Os X	Os Y
1	0,28167940	-0,06840778
2	0,08938908	0,22042694
3	-0,07861989	0,24137583
4	-0,17223413	0,20488752
5	-0,22737763	0,12326744
6	-0,26332438	0,02903651
7	-0,27185740	-0,08160673
8	-0,24616450	-0,18776550
9	-0,18606548	-0,26046813
10	0,05499032	-0,23275999
11	0,28104691	-0,09192017
12	0,28246068	-0,02392231
13	0,19166337	0,05081227
14	0,14671183	0,05742902
15	0,07737548	0,05147454
16	-0,02984129	0,02313163
17	-0,00701216	-0,00964705
18	0,07717977	-0,04534402

S pomočjo Prokrustove analize sem predstavil variabilnost posameznih točk, ki jo vidimo kot razpršenost oslonilnih točk okrog centroidov (slika 13 in 14). Na podlagi različne usmerjenosti ter dolžin vektorjev lahko iz slik razberemo variabilnost posameznih morfoloških struktur. Točke z večjo razpršenostjo vektorjev okrog centroidov kažejo na večjo variabilnost morfoloških struktur. V mojem primeru so točke z večjo razpršenostjo npr. 2, 3, 9, 10 in 15. Točke kjer je razpršenost vektorjev okrog centroida manjša pa kažejo na bolj stabilne morfološke strukture. V mojem primeru so točke z manjšo razpršenostjo npr. 1, 7, 8, 11 in 12.



Slika 13: Projekcija oslonilnih točk za 221 kril. Modre pike označujejo centroid posamezne oslonilne točke, črne pikice pa označujejo posamezne meritve

Morfološke strukture na ventralni strani drugega krila so večinoma stabilne, izpostavimo pa lahko točko 2-stičišče osme vene (V8) in konca krila ter točko 10-stičišče prve a vene (V1a) in konca krila. Zaradi močne variabilnosti točke 2 bi lahko sklepali na napako pri meritvi ali anatomsko anomalijo, vendar sem ob ponovnih meritvah dobil iste rezultate. Iz slike 14 je prav tako razvidno, da noben vektor ne sega v drugo oslonilno točko, kar bi kazalo na napako v zaporedju meritev.

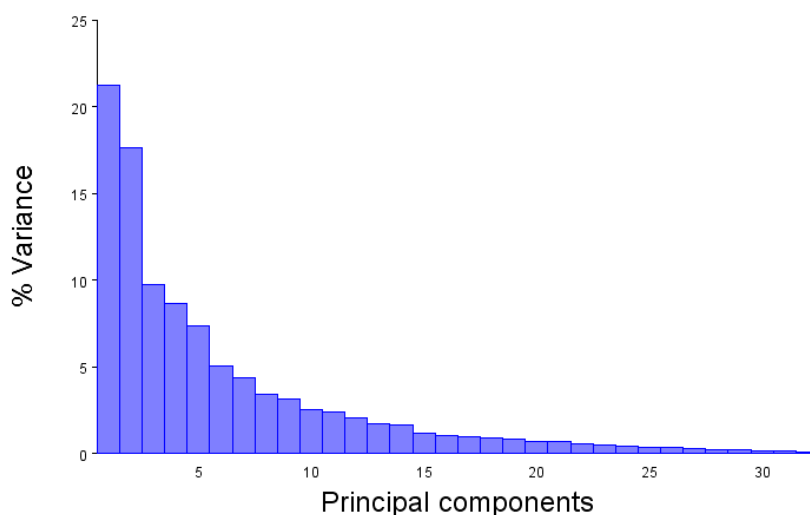


Slika 14: Vektorji razpršenosti poravnanih točk okrog centroida. Usmerjenost in dolžina vektorja pomenita smer in jakost variabilnosti te morfološke strukture

3.2.2. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENT

S pomočjo analize glavnih komponent sem predstavil morfološko variabilnost krila. V analizo sem vključil koordinate pridobljene iz Prokrustove analize, ki so nosilke oblikovne variabilnosti in nam podajo informacijo o obliki ventralne strani drugega krila. Cilj same analize je poiskati nekaj prvih komponent, ki pojasnjujejo večji del razpršenosti analiziranih podatkov (Monteiro, 2013).

Kakor je razvidno iz tabele 18, je celotno variabilnost ventralne strani drugega krila razložilo 32 glavnih komponent, pri čemer je prvih 9 glavnih komponent razložilo 80,36 % variabilnosti. Prva glavna komponenta je razložila 21,21 % variabilnosti, druga pa 17,60 % dodatne variabilnosti. Deleži ostalih glavnih komponent so manjši (slika 15).



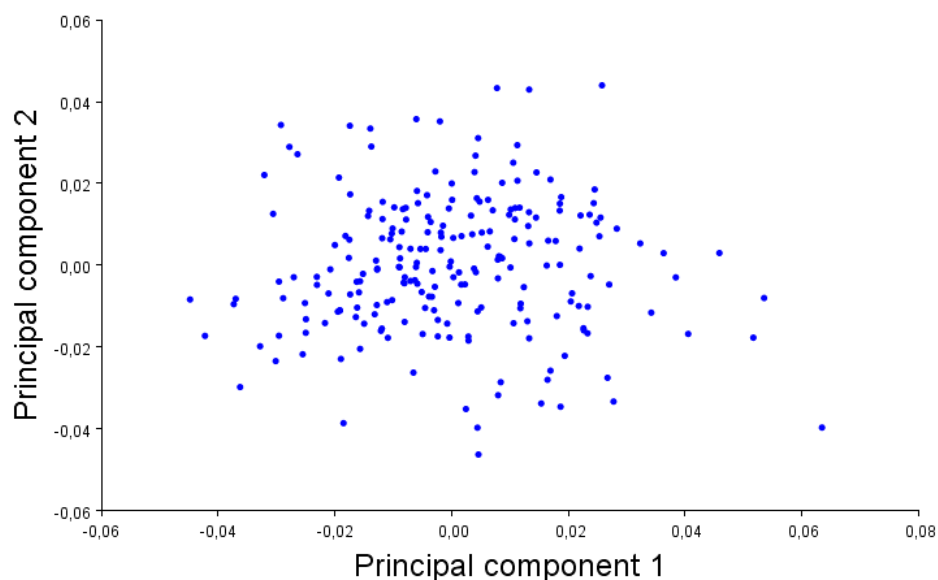
Slika 15: Grafični prikaz deleža razložene variabilnosti (% Variance) za vseh 32 glavnih komponent (Principal components)

Tabela 18: Lastne vrednosti ter delež pojasnjene variance za 32 glavnih komponent

Glavna komponenta	Lastna vrednost	% Variance	Kumulativni %
1.	0,00033062	21,214	21,214
2.	0,00027422	17,595	38,809
3.	0,00015133	9,710	48,518
4.	0,00013423	8,612	57,131
5.	0,00011414	7,324	64,455
6.	0,00007804	5,007	69,462
7.	0,00006822	4,377	73,839
8.	0,00005271	3,382	77,222
9.	0,00004885	3,134	80,356
10.	0,00003907	2,507	82,863
11.	0,00003756	2,410	85,273
12.	0,00003199	2,052	87,325
13.	0,00002610	1,675	89,000
14.	0,00002563	1,644	90,644
15.	0,00001756	1,127	91,770
16.	0,00001614	1,036	92,806
17.	0,00001530	0,982	93,788
18.	0,00001411	0,905	94,693
19.	0,00001293	0,830	95,523
20.	0,00001036	0,665	96,188
21.	0,00001019	0,654	96,842
22.	0,00000861	0,553	97,394
23.	0,00000786	0,504	97,898
24.	0,00000651	0,418	98,316
25.	0,00000513	0,329	98,645
26.	0,00000506	0,325	98,970
27.	0,00000413	0,265	99,235
28.	0,00000342	0,220	99,455
29.	0,00000304	0,195	99,649
30.	0,00000250	0,160	99,809
31.	0,00000173	0,111	99,920
32.	0,00000124	0,080	100,000

Za lažji prikaz morfometrične variabilnosti v vzorcu sem uporabil razsevni diagram prvih dveh glavnih komponent (PC1 in PC2), ki skupaj razložita 38,81 % variance v celotnem vzorcu (slika 16). Iz projekcije vseh metuljev (N=221) na prvi dve glavni komponenti lahko razberemo, da je morfoprostor precej homogen, saj posameznih skupin ni mogoče razbrati. Osebkci so v samem morfoprostoru razporejeni dokaj enakomerno, prekrivanje osebkov v morfoprostoru pa kaže na to, da med osebkci ni izrazitih morfometričnih razlik. Prav tako ni mogoče razbrati nobenih izrazitih osamelcev. Osamelci so točke, ki očitno odstopajo od ostalih točk ali skupine točk z istimi vnaprej definiranimi lastnostmi (Klenovšek, 2014b). Ker je nekaj točk vseeno malo odstopalo od ostalih in ker osamelci lahko močno vplivajo na sam izračun aritmetične sredine in nadaljnje statistične analize sem točke, ki so malo bolj odstopale od ostalih ponovno preveril. Ugotovil sem, da ne gre za napako v zajemanju podatkov temveč za naravno variabilnost. Zaradi tega odstopajočih osebkov iz nadaljnjih analiz nisem izključil.

Iz projekcije vseh metuljev na prvi dve glavni komponenti lahko prav tako razberemo večjo razpršenost točk vzdolž prve glavne komponente, kar pa je pričakovano, saj prva komponenta razloži večji delež variabilnosti (21,21 %). Osebkci so vzdolž prve glavne komponente razporejeni od vrednosti -0,05 do 0,07, vzdolž druge glavne komponente pa od vrednosti -0,05 do 0,05.

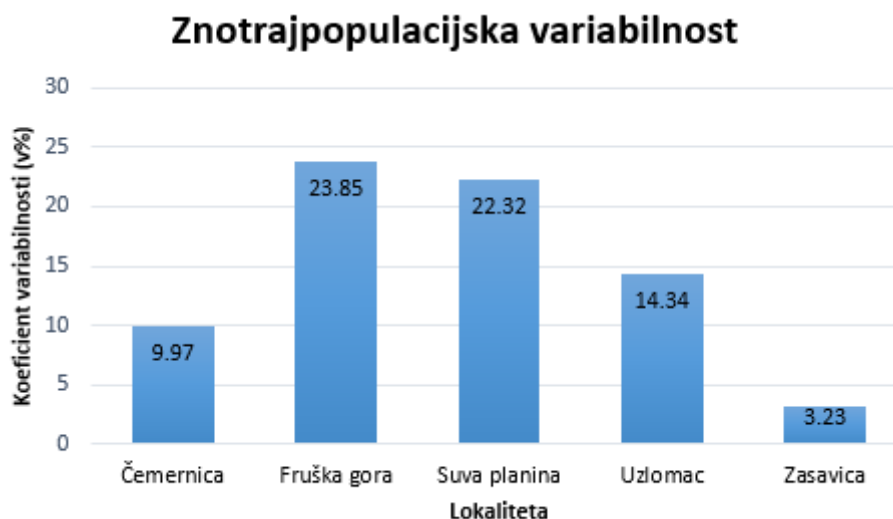


Slika 16: Projekcija vseh metuljev (N=221) na prvi dve glavni komponenti (Principal component), ki skupaj razložita 38,81 % variabilnosti

3.3. ZNOTRAJPOPULACIJSKA VARIABILNOST

S pomočjo koeficienta variabilnosti sem predstavil znotrajpopulacijsko variabilnost v obliki krila na posamezni lokaliteti. Variabilnost sem preverjal le na podlagi prve glavne komponente, ki razlaga 21,21 % oblikovne variabilnosti krila, zanimalo pa me je, kako velik morfoprostor zaseda posamezna od teh populacij. Večji je koeficient variabilnosti, večja je variabilnost krila populacije.

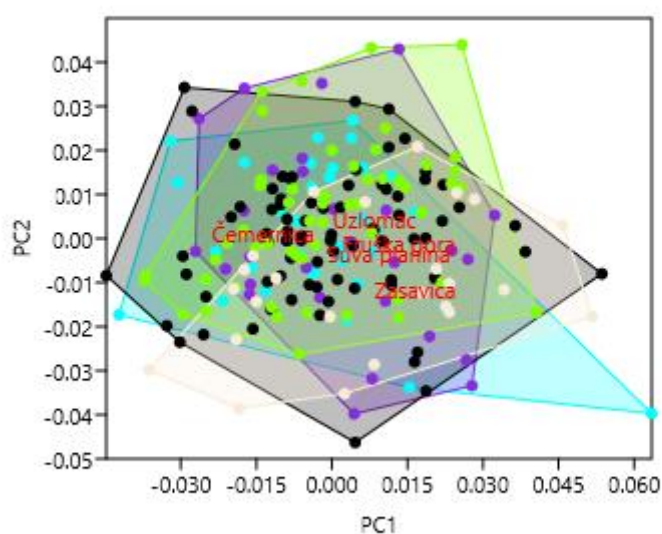
Največja znotrajpopulacijska variabilnost v obliki krila je bila prisotna na območju Fruške gore (23,85 %) ter Suve planine (22,32 %), najmanjša pa na območju Zasavice (3,23 %). Oblika krila metuljev iz območja Fruške gore je skoraj 3 krat bolj variabilna, kot pri metuljih iz območja Čemernice, ter skoraj osem krat bolj variabilna kot pri metuljih iz območja Zasavice. Oblika krila metuljev znotraj različnih populacij je različno variabilna (slika 17).



Slika 17: Znotrajpopulacijska variabilnost v obliki krila na lokalitetah prikazana s koeficientom variabilnosti (v%) na podlagi prve glavne komponente

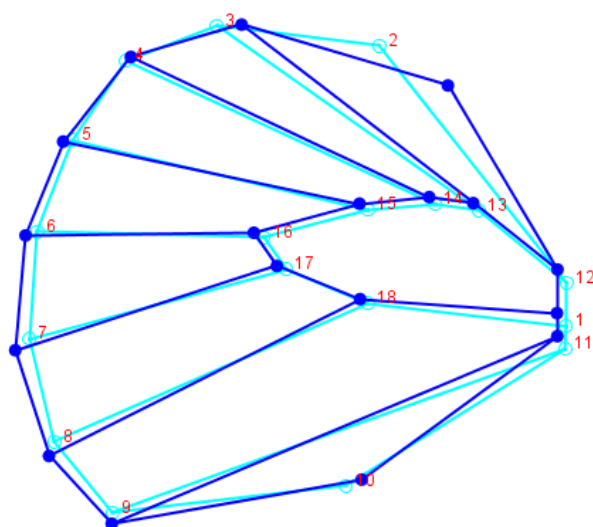
3.4. MEDPOPULACIJSKA VARIABILNOST

Kakor je razvidno iz slike 18, med osebki ulovljenimi na območjih Fruške gore, Suve planine, Uzlomaca, Zasavice in Čemernice ni vidnih izrazitih razlik v obliki krila, saj se točke različnih barv, ki predstavljajo posamezne osebke iz različnih lokalitet med seboj v veliki večini prekrivajo. Prav tako ni mogoče prepoznati nobenih morfološko izoliranih skupin, ampak se skupine skoraj v celoti prekrivajo.



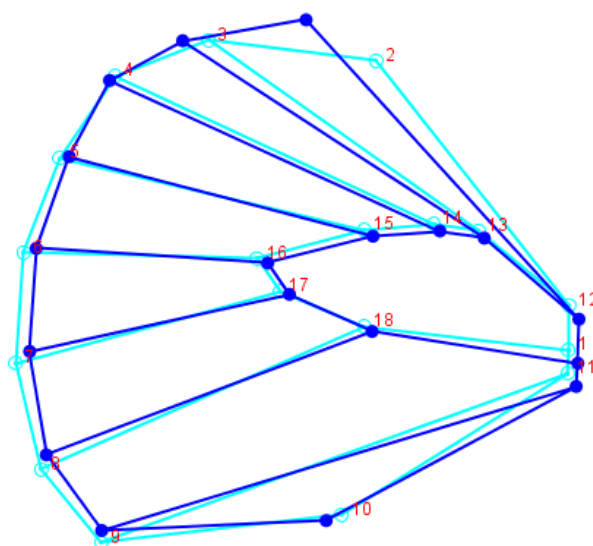
Slika 18: Projekcija vseh metuljev ($N=221$) na prvi dve komponenti z označenimi geografskimi vzorci

Na podlagi žičnih grafov (sliki 19 in 20) lahko razberemo, da so med osebki, ki variirajo vzdolž prve glavne komponente, razhajanja prisotna na celotnem krilu. Največja razhajanja so prisotna na stičišču osme vene (V8) z osrednjo celico ter stičišču sedme vene (V7) z osrednjo celico. Iz projekcije vseh metuljev na prvi dve glavni komponenti z označenimi vzorci (slika 18), lahko razberemo, da imajo osebki s pozitivnimi vrednostmi prve glavne komponente precej krajšo osmo veno (V8) in večji razmak med osmo veno (V8) in sedmo veno (V7). Sama osrednja celica je orientirana nekoliko višje, tako da je krilo bolj vodoravno. Največje pozitivne vrednosti vzdolž prve glavne komponente imajo osebki iz območja Čemernice.



PC1

Slika 19: Žični graf krila. Temno moder graf predstavlja obliko krila pri $PC1=0,1$. Svetlo moder graf predstavlja povprečno obliko pri $PC1=0$



PC1

Slika 20: Žični graf krila. Temno moder graf predstavlja obliko krila pri $PC1=-0,1$. Svetlo moder graf predstavlja povprečno obliko pri $PC1=0$

3.4.1. DISKRIMINANTNA ANALIZA

Nadaljeval sem z diskriminantno analizo, v katero sem vključil vseh 221 osebkov iz petih različnih lokalitet (tabela 19). V klasifikacijo sem vključil prvih 10 glavnih komponent, ki skupaj razložijo 82,86 % variabilnosti v obliki krila. Klasifikacijo sem izvedel v programu Past3, izračun Permutacijskega testa in signifikantnosti razlik med skupinami pa v programu MorphoJ. Preveril sem, ali se populacije metuljev po obliki krila razlikujejo med lokalitetami.

Tabela 19: Klasifikacijska tabela

Rezultati klasifikacije ^{a,b}								
		Lokaliteta	Napovedana pripadnost skupini					Skupaj
			Čemernica	Fruška gora	Suva planina	Uzlomac	Zasavica	
Prvotni rezultati	Število	Čemernica	20	4	3	4	5	36
		Fruška gora	5	13	1	5	5	29
		Suva planina	17	7	35	5	14	78
		Uzlomac	8	14	9	20	3	54
		Zasavica	4	2	4	2	12	24
	V %	Čemernica	55,6	11,1	8,3	11,1	13,9	100,0
		Fruška gora	17,2	44,8	3,4	17,2	17,2	100,0
		Suva planina	21,8	9,0	44,9	6,4	17,9	100,0
		Uzlomac	14,8	25,9	16,7	37,0	5,6	100,0
		Zasavica	16,7	8,3	16,7	8,3	50,0	100,0
Prečno primerjani rezultati	Število	Čemernica	16	4	5	4	7	36
		Fruška gora	5	12	1	5	6	29
		Suva planina	18	7	30	7	16	78
		Uzlomac	8	16	10	17	3	54
		Zasavica	4	2	4	3	11	24
	V %	Čemernica	44,4	11,1	13,9	11,1	19,4	100,0
		Fruška gora	17,2	41,4	3,4	17,2	20,7	100,0
		Suva planina	23,1	9,0	38,5	9,0	20,5	100,0
		Uzlomac	14,8	29,6	18,5	31,5	5,6	100,0
		Zasavica	16,7	8,3	16,7	12,5	45,8	100,0

a. 45,25% prvotnih rezultatov je bilo pravilno uvrščenih.

b. 38,91% prečno primerjanih rezultatov je bilo pravilno uvrščenih.

Z diskriminantno analizo sem prvo preveril s koliko odstotno natančnostjo se posamezni osebki uvrstijo v pravilno lokaliteto. Iz klasifikacijske tabele (tabela 19) lahko razberemo, da se je v pravilno lokaliteto uvrstilo samo 45,25 % osebkov. Ker je bilo pravilno uvrščenih manj kot 50 % osebkov metuljev sklepam, da so morfološke razlike med vzorci zelo slabo izražene, prav tako pa je slabo izražena tudi geografska variabilnost.

Ko sem rezultate iz klasifikacijske tabele prečno preverjal, sem dobil še slabše rezultate, saj je bilo v pravilno lokaliteto uvrščenih le 38,91 % osebkov metuljev.

Tabela 20: Lokaliteta in število osebkov

Lokaliteta	Število osebkov
Fruška gora	29
Suva planina	78
Uzlomac	54
Zasavica	24
Čemernica	36

Diskriminantna analiza je razlikovala med posameznimi populacijami različnih lokalitet v manjši meri, saj je prva diskriminantna funkcija razložila le 44,77 % variance med posameznimi populacijami, druga pa 31,22 % (tabela 21).

Tabela 21: Lastne vrednosti in delež (v%) pojasnjene variance za štiri diskriminantne funkcije

Diskriminantna funkcija	Lastne vrednosti	% Variance	Kumulativni %
1.	1,198	44,770	44,770
2.	0,835	31,222	75,991
3.	0,390	14,593	90,584
4.	0,252	9,416	100,000

Kakor je razvidno iz tabele 20, so prisotne velike razlike v številčnosti osebkov med lokalitetami, zato sem razlike primerjal tudi s permutacijskim testom. Permutacijski test je pokazal statistično značilne razlike v obliki krila med vsemi obravnavanimi populacijami, izjema pa sta bili populaciji na lokalitetah Fruška gora-Uzlomac, kjer test ni pokazal statistično značilnih razlik, saj je vrednost znašala 0,069 (vrednost je večja od 0,05). Diskriminantna analiza je sicer vrnila nekaj variabilnosti, vendar je signifikanca med populacijami na lokalitetah vseeno na robu statističnega tveganja (tabela 22).

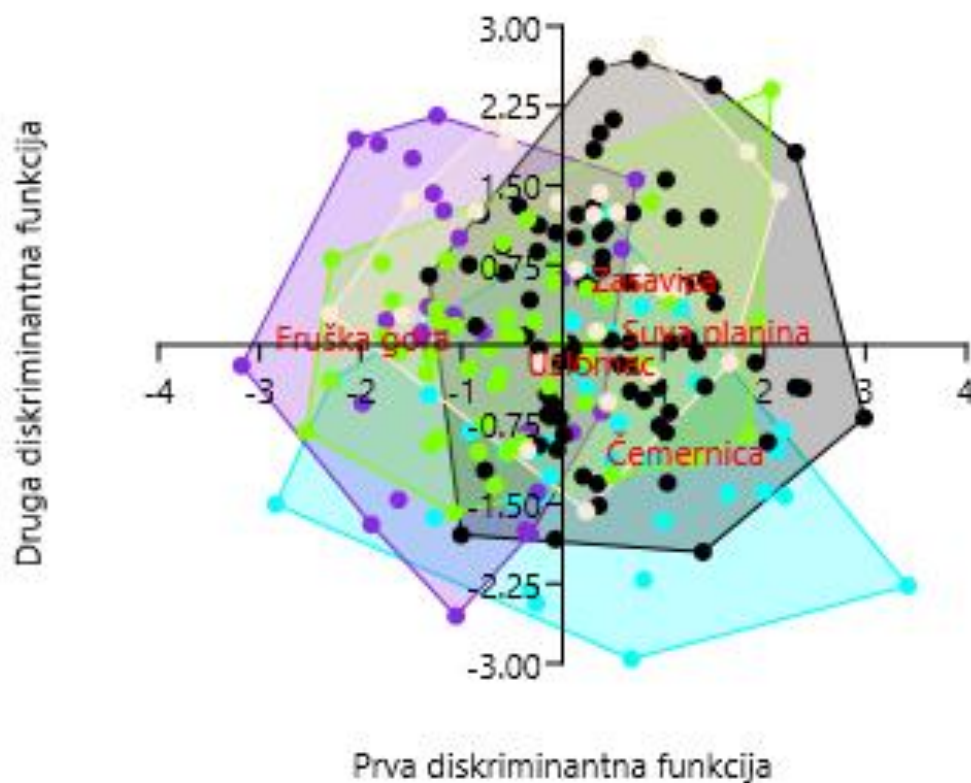
Tabela 22: P-vrednost permutacijskega testa pri testiranju Prokrustovih razdalj med lokalitetami (10.000 ponovno krat vzorčen)

	Fruška gora	Suva planina	Uzlomac	Zasavica
Suva planina	0,0004			
Uzlomac	0,0688	0,0095		
Zasavica	0,0077	0,0029	0,0003	
Čemernica	0,0159	0,0010	0,0180	0,0006

Iz tabele 23 lahko razberemo Prokrustove razdalje med posameznimi lokalitetami. Največja razdalja je prisotna med lokalitetama Zasavica in Čemernica, zato sklepamo, da so med tema populacijama metuljev prisotne največje razlike v obliki krila. Najmanjša razdalja je prisotna med lokalitetama Suva planina in Uzlovec, zato sklepamo, da sta si ti dve populaciji metuljev najbolj podobni.

Tabela 23: Prokrustove razdalje med lokalitetami

	Fruška gora	Suva planina	Uzlovec	Zasavica
Suva planina	0,0155			
Uzlovec	0,0120	0,0104		
Zasavica	0,0185	0,0156	0,0194	
Čemernica	0,0155	0,0142	0,0125	0,0200



Slika 21: Projekcija vseh osebkov metuljev (N=221) na prvi dve diskriminantni funkciji

Slika 21 predstavlja projekcijo vseh osebkov metuljev na prvi dve diskriminantni funkciji, s katero sem prikazal razlike med skupinami. Iz osnovnega vzorca ne razberemo nobene posamezne skupine, saj se morfoprostori populacij v veliki meri prekrivajo. Razberemo lahko, da je med populacijami Čemernica, Fruška gora, Suva planina, Uzlomec in Zasavica zelo velika verjetnost, da pride do napake med uvrščanjem osebkov v območja oz. lokalitete.

4. DISKUSIJA

V magistrski nalogi sem z metodami tradicionalne in geometrijske morfometrije ovrednotil morfološko variabilnost v obliki drugega krila ter številu in razporeditvi črnih pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja. Vidik obravnave je bilo razmerje med znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnostjo. V analizo morfološke variabilnosti v obliki drugega krila sem vključil 221 osebkov, v analizo razporeditve in števila črnih pik pa 365 osebkov.

4.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU IN RAZPOREDITVI PIK

4.1.1. VARIABILNOST V ŠTEVILU PIK

Variabilnost v številu pik na ventralni strani drugega krila med populacijami sem preveril s štetjem pik ter izračunom koeficienta variabilnosti. Število pik na drugem krilu se je gibalo od nič do pet, kar je skladno z Brakefieldovimi (1984) raziskavami, ki je ugotovil, da ima navadni lešnikar na ventralni strani drugega krila od nič do pet črnih pik. Ob združitvi rezultatov števila pik iz vsake posamezne populacije v skupno tabelo (tabela 8), sem opazil isto sliko, kakor na vsaki populaciji posebej. Velika večina metuljev je imela dve ali tri pike (85,75 %), sledili so metulji s štirimi pikami (10,41 %), metulji z nič, eno ali pet pikami pa so bili zelo redki (manj kot 4 %). Povprečno število pik vseh populacij skupaj je znašalo 2,61 pik. Owen in Smith (1993) sta podobno raziskavo izvedla tudi na jugu Portugalske v Algarvi, rezultati pa so bili skladni z mojo raziskavo. Večina metuljev je imela dve ali tri pike, povprečno število pik pa je bilo skoraj enako mojemu, saj je znašalo 2,747 pik. Scalli (1971) je v notranjosti Toskane prav tako izvedel podobno študijo tekom dveh let, njegove ugotovitve pa so prav tako bile podobne mojim. Leta 1967 je povprečno število pik znašalo 2,52 pik, leta 1968 pa 2,51 pik. Povsem drugačna je bila Scallijeva (1972) druga študija na Toskanskih otokih Giglio in Elba, kjer je bilo opaženih veliko več metuljev s tremi ali štirimi pikami, v primerjavi z notranjostjo Toskane. Owenova študija (1990) na Kanarskih otokih je prav tako pokazala, da je bilo povprečno število pik na drugem krilu večje v primerjavi z zgoraj omenjenimi raziskavami, saj je povprečno število pik znašalo 3,12 pik.

Dowdeswell in McWhirter (1976) sta izvedla študijo zbirke metuljev navadnega lešnikarja iz Britanskega muzeja, katera je vključevala vzorce iz celotne Evrope, Zahodne Azije in severne Afrike v razmaku 60 let.

Ugotovila sta, da je število pik na drugem krilu stabilno po večini Evrope, bolj variabilno pa je na obrobni območjih kakor so Irska, otoki Scilly, Kanarski otoki, Severna Afrika, na Iberskem polotoku, Grčija in Zahodna Azija. Ker je njuna raziskava temeljila na precej malih vzorcih, je Brakefield (1984) njune ugotovitve ocenil kot prekomerno poenostavljene, strinjal pa se je, da pri mejnih populacijah prevladujeta prilagodljiva specializacija in selekcija.

Z izračunom koeficienta variabilnosti sem pridobil podatke o znotrajpopulacijski in medpopulacijski variabilnosti. Največja znotrajpopulacijska variabilnost je bila prisotna na območju Uzlovec (34,01 %), najmanjša pa na območju Zasavica (25,57 %). Variabilnost vseh populacij je znašala 30,28 %. Na podlagi danih podatkov sem sprejel odločitev, da je prisotna tako znotrajpopulacijska kakor medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu, vendar je variabilnost znotraj populacij izražena v veliko večji meri. Na same rezultate bi lahko vplivala tudi velikost posameznega vzorca, saj sem imel v vzorcu iz Uzlovca 109 metuljev, v vzorcu iz Zasavice pa samo 44.

Na variabilnost v številu pik vplivajo različni okoljski ter genetski dejavniki, razlag pa je več. Ena izmed možnih razlag je visoka ocena dednosti. 16 F1 gojišč metuljev navadnega lešnikarja gojenih v laboratorijskih pogojih je pokazalo, da je dednost zelo visoka. Glede na število pik je bilo tako pri samcih kakor pri samicah opaziti, da so potomci vedno bolj spominjali na svojega starša istega spola. Takšno dednost bi lahko povzročile različne lastnosti lusk na krilih pri obeh spolih ali pa različni vzorci dedovanja (pri različnih spolih je ekspresija teh lastnosti različna) (Brakefield in Noordwijk, 1985). Pike naj bi delovale tudi kot antipredatorski mehanizem, saj naj bi posnemale vretenčarske oči. Iluzija lažne glave zmede plenilca, napad na napačno mesto pa omogoča pobeg metulja. Pike na zadnjih krilih so prav tako najmanj občutljive na izgubo v smislu zmožnosti letenja metulja. Prav tako so ti deli kril bolj krhki, da se lahko hitreje raztrgajo ob morebitnem ugrizu (Vlieger in Brakefield, 2007). Bengston (1981) je v svoji raziskavi ugotovil, da je bilo tekom šest let na dveh otokih na jugu Švedske več metuljev s poškodbami drugih kril od ugrizov ptic samcev. Večjo frekvenco ugrizov na samcih kakor na samicah je pripisal večji aktivnosti samcev (daljši leti) in s tem večjo izpostavljenostjo plenilcem, prav tako pa hitrejšemu pojavljanju v sezoni in daljši življenjski dobi. Metulji z več pikami so tudi boljši letalci (Brakefield, 1984).

Trend večjega števila pik naj bi bil povezan tudi z morskim podnebjem, saj se zaradi prisotnosti morja ustrezen habitat še bolj razdrobi, ekstrem pa so priobalni otoki. Glede na velikost in osamljenost fragmentov ustreznega habitata, je disperzija večja, kot v neprekinjenem habitatu (Sheppard, 1961). Kakor že omenjeno je Brakefield (1984) dokazal večjo disperzijo pri metuljih z večjim številom pik, če pa se te ugotovitve razširijo tudi na disperzijo med habitati, bi lahko ta ideja pojasnila večjo frekvenco v številu pik v številnih obrobni populacijah zaradi obalne lege ali nadmorske višine. V obmorskih habitatih morejo zaradi vetrov metulji biti tudi dobri letalci, kar se sklada s tem, da imajo v teh habitatih več pik (Sheppard, 1961). Disperzija metuljev z več pikami bi lahko bila prisotna tudi zaradi selektivnega plenjenja *Apanteles tetricus*, ki selektivno izloči nekatere od ličnik, ki bi se razvile v pozno leteče metulje z več pikami. Disperzija omogoča razpršitev teh metuljev, ob tem pa zmanjša možnost parazitacije v naslednji generaciji (Dowdeswell, 1961,1962).

Ford (1964, 1975) je razpravljal o hipotezi, da tiste populacije, ki zasedajo velike in raznolike otoke izvirajo iz naravne selekcije, ki ustvarja genski kompleks prilagojen širokemu razponu habitatov, nasprotno pa se osebki, ki zasedajo manjše otoke in izolirana območja na velikih otokih po navadi razlikujejo med seboj, saj so tesno prilagojeni posameznim in različnim okoljem. Hipotezo je zagovarjal s tem, da je bilo večkrat ugotovljeno, da je populacija prehajala skozi ozko grlo številčnosti populacije, vendar kljub temu ni bilo opaženih sprememb v številu pik. Spremembe so bile povezane z okoljem (odstranitev govedi, nevihta), podobno pa je bilo opaženo ob vlažnih ali suhih poletjih (Brakefield, 1984).

4.1.2. VARIABILNOST V RAZPOREDITVI PIK

Na podlagi fotografij sem zabeležil vse fenotipe razporeditve pik na drugem krilu, variabilnost pa sem preveril s pomočjo Hi-kvadrat testa. Ugotovil sem, da je v mojem vzorcu metuljev prisotnih 16 različnih fenotipov razporeditve pik. Ob primerjanju rezultatov z raziskavo, ki sta jo izvedla Brakefield in Noordwijk (1985), ki sta prikazala 13 najpogostejših fenotipov v postavitvi pik na drugem krilu (slika 5), sem ugotovil, da je bilo v mojem vzorcu prisotnih 12 od 13 najpogostejših fenotipov. Enega fenotipa v mojem vzorcu nisem zaznal (S5,6) sem pa zaznal kar 4 redkejša fenotipe (S3,6; S2,5,6,7; S2,3,4,5 in S1,2,5,6,7). Moji rezultati so se prav tako skladali z Brakefieldovo (1984) ugotovitvijo, da je pika na položaju 4 (S4) zelo redko prisotna, saj sem jo v mojem vzorcu zasledil samo pri enem metulju, ki je izhajal iz populacije Zasavica. Podobne raziskave razporeditve na drugem krilu so redke, zasledil pa sem eno podobno, ki sta jo izvedla Owen in Smith (1993) na jugu Portugalske v Algarvi.

V svojem vzorcu sta zasledila 16 različnih fenotipov, od katerih je kar 12 bilo enakih kakor v mojem vzorcu. V svojem vzorcu sem zaznal štiri drugačne fenotipe (S3,6; S2,5,6,7; S2,3,4,5 in S1,2,5,6,7), prav tako pa nisem v svojem vzorcu zaznal štirih iz njunega vzorca (S6; S5,6; S2,3 in S2,6). Najpogostejši fenotip razporeditve pik v mojem vzorcu je bil S2,5, saj je takšno razporeditev pik imelo skoraj 50 % metuljev, kar se sklada z Brakefieldovo (1984) ugotovitvijo, da sta piki 2 in 5 najpogostejši.

Prav tako me je zanimalo, ali so prisotne razlike med frekvencami vzorcev pik populacij različnih lokalitet. S pomočjo Hi-kvadrat testa sem izračunal, da so statistično značilne razlike prisotne med populacijami metuljev iz območij Čemernica-Fruška gora ($p=0,018$), Čemernica-Suva planina ($p=0,028$), Fruška gora-Uzlomac ($p=0,013$) in Suva planina-Uzlomac ($p=0,002$). Druge primerjave niso imele statistično značilnih razlik. Takšne rezultate bi lahko dobil tudi zaradi različne številčne zastopanosti posameznih populacij v vzorcu.

Odločitev glede hipoteze sem arbitrarno sprejel na podlagi primerjave obeh vidikov variabilnosti in ugotovil, da sta izraženi tako znotrajpopulacijska kakor medpopulacijska variabilnost v številu in razporeditvi pik na drugem krilu, vendar je v večjem obsegu izražena znotrajpopulacijska variabilnost. Hipoteze 3, ki pravi, da razporeditev in število pik na drugem krilu izkazuje večjo medpopulacijsko variabilnost, kot je variabilnost znotraj populacij, nisem potrdil. Kljub manjši variabilnosti v številu pik med populacijami, sem zaradi večje variabilnosti znotraj populacij arbitrarno sprejel hipotezo 2, ki pravi da razporeditev in število pik na drugem krilu nista stabilna.

Glede pomena posameznih fenotipov je znanega bolj malo. Ford (1964, 1975) je na otokih Scilly ugotovil, da se je razporeditev pik na drugem krilu pri samicah tekom 14 let spremenila zelo malo, večje spremembe pa so zaznali na manjših otokih kakor večjih. Ugotovili so, da so na spremembo frekvence razporeditev pik na krilu vplivale večje ekološke motnje. Odstranitev črede govedi na otoku Tean je povzročila vegetacijske spremembe, pojavili pa so se tudi novi vzorci na krilu, ki so nato ostali stalni. Podobne spremembe so bile opažene na otoku White po hudem neurju (Baxter in sod., 2017). Izražanje določenih pik je prav tako odvisno od spola. V laboratorijskih študijah 16 F1 gojišč metuljev navadnega lešnikarja je bilo ugotovljeno, da je bila pika 5 prisotna pri obeh starših, prav tako pa skoraj pri vseh potomcih. Piki 2 in 3 sta bili večkrat prisotni pri samcih kot pri samicah, zato sta bili ti dve piki okarakterizirani kot tipični za samce (Brakefield in Noordwijk, 1985).

4.2. VARIABILNOST V OBLIKI KRILA

Področje variabilnosti v obliki drugega krila metulja navadnega lešnikarja po mojih izsledkih še ni raziskano, zato rezultatov ni mogoče primerjati z drugimi raziskavami. Podajam prve preliminarne rezultate. Variabilnost v obliki drugega krila med populacijami različnih lokalitet sem preveril s primerjanjem variabilnosti vzdolž prve in druge glavne komponente (PC1 in PC2). Ugotovil sem, da prevladuje znotrajpopulacijska variabilnost, saj so se morfoprostori populacij izrazito prekrivali in niti za eno populacijo ne morem trditi, da je prepoznavno drugačna. Koeficienti variabilnosti so se med populacijami znatno razlikovali, s čimer sem potrdil, da prevladuje znotrajpopulacijska variabilnost.

Največja znotrajpopulacijska variabilnost v obliki krila je bila prisotna na območju Fruške gore (23,85 %) in Suve planine (22,32 %), najmanjša pa na območju Zasavice (3,23 %). Oblika krila metuljev iz območja Fruške gore je skoraj 3 krat bolj variabilna, kot pri metuljih iz območja Čemernice, ter skoraj osem krat bolj variabilna kot pri metuljih iz območja Zasavice. Odločitev glede hipoteze sem arbitrarno sprejel na podlagi primerjave obeh vidikov variabilnosti in ugotovil, da je medpopulacijska variabilnost zelo slabo izražena, izražena pa je znotrajpopulacijska variabilnost. Hipoteze 1, ki pravi, da oblika drugega krila navadnega lešnikarja izkazuje večjo medpopulacijsko variabilnost, kot je variabilnost znotraj populacij, nisem potrdil.

Variabilnost v obliki krila sem preveril tudi z diskriminantno analizo, s katero sem preverjal ali se populacije metuljev v obliki krila razlikujejo med lokalitetami. P-vrednosti med populacijami različnih lokalitet so pokazale, da so razlike med populacijami statistično značilne, a je signifikanca vseeno na robu statističnega tveganja. Izjema sta bili populaciji Fruška gora in Uzlomac, med katerima nisem zaznal signifikantnih razlik ($p > 0,05$). V pravilno lokaliteto je bilo uvrščenih samo 45,25 % osebkov, kar kaže na to, da so morfološke razlike med vzorci slabo izražene, prav tako pa je slabo izražena geografska variabilnost.

Največja Prokrustova razdalja je bila med populacijama Čemernica in Zasavica, zato sklepam, da se ti dve populaciji najbolj razlikujeta v obliki drugega krila. Najmanjša Prokrustova razdalja je bila prisotna med populacijama Suva planina in Uzlomac, zato sklepam, da sta si ti dve populaciji najbolj podobni v obliki drugega krila.

Zanimalo me je, na katerih mestih na krilu prihaja do največjih sprememb v obliki krila. Iz projekcije vseh metuljev na prvi dve glavni komponenti sem razbral, da osebki iz različnih populacij variirajo tekom prve glavne komponente tako v negativno kakor pozitivno smer. Izdelal sem žični graf na podlagi prve glavne komponente za negativno in pozitivno vrednost v primerjavi s povprečjem in ugotovil, da so med osebki ki variirajo vzdolž te komponente, razhajanja prisotna na celotnem krilu. Največja razhajanja so prisotna na stičišču osme vene (V8) z osrednjo celico in stičišču sedme vene (V7) z osrednjo celico. Največje pozitivne vrednosti vzdolž prve glavne komponente so imeli osebki iz območja Čemernice, zato sem sklepal, da imajo ti osebki precej krajšo osmo veno (V8) in večji razmak med osmo veno (V8) in sedmo veno (V7) napram ostalim. Osrednja celica teh osebkov je orientirana nekoliko višje, tako da je krilo bolj vodoravno.

Raziskav variabilnosti v obliki drugega krila metulja navadnega lešnikarja na območju Balkana in na širšem območju Evrope nisem zasledil. Na splošno za metulje velja, da so druga krila pomembna za normalen let metulja (Jantzen in Eisner, 2008), saj pripomorejo k boljši hitrosti in manevriranju (Srygley, 1994). Sama oblika krila predstavlja povezavo med genotipom in okoljem, večja plastičnost pa omogoča zapolnitev več niš in okupiranje več habitatov (Via in sod., 1995). Dudley (2000) je na vrsti gozdni pegavček (*Pararge aegeria*) pokazal, da so osebki, ki so imeli sredinsko območje (centroid) krila bolj oddaljeno od baze krila, lahko premikali zrak z večjo relativno hitrostjo in tako ustvarili večje aerodinamične sile na enoto površine.

Brakefield (1984) je v svojih raziskavah na vrsti navadni lešnikar pokazal, da ima sprememba v morfologiji kril sezonsko komponento, vendar je v te raziskave bila vključena tudi velikost krila. Raznolikost v morfologiji znotraj in med populacijami omogoča, da so različni posamezniki aktivni v različnih pogojih, kar je verjetno eden od dejavnikov, ki prispevajo k uspehu navadnega lešnikarja kot vrste (Meier, 1998).

5. ZAKLJUČEK

Večina metuljev petih različnih populacij v notranjosti Srbije ter Bosne in Hercegovine je imela dve ali tri pike, kar je bilo skladno z nekaterimi drugimi raziskavami v notranjosti drugih držav, razlikovalo pa se je od nekaterih raziskav na otokih ali obrobni populacijah. Ker je bila v mojih obravnavanih populacijah prisotna večja znotrajpopulacijska kakor medpopulacijska variabilnost v številu pik na drugem krilu, sklepam, da je število pik v notranjosti Srbije ter Bosne in Hercegovine med populacijami dokaj stabilno in ne prihaja do večjih razlik. Če znotrajpopulacijsko variabilnost povežemo z dejstvom, da so metulji z več pikami boljši letalci, sklepam, da znotrajpopulacijska variabilnost v številu pik omogoča metuljem različno dolge lete in s tem zapolnitev različnih niš v habitatu. Za pridobitev celotne slike, bi bilo potrebno v prihodnje analizirati še kakšno obrobno populacijo na območju teh dveh držav, saj bi tako lahko ugotovili, če res prihaja do razlik v številu pik v obrobni populacijah. Za boljše rezultate bi bilo potrebno v vseh obravnavanih populacijah analizirati enako število metuljev, prav tako pa bi metulje bilo potrebno vzorčiti več let (longitudinalne študije), saj bi tako dobili informacijo o variabilnosti v številu pik tekom več sezon. Ker na število pik pomembno vpliva tudi estivacija (diapavza) samic (premiki k nižjim vrednostim), bi bilo na obravnavanem območju potrebno ugotoviti, če je estivacija prisotna.

Najpogostejši fenotip razporeditve pik v obravnavanih populacijah je bil S2,5, zato sklepam, da je ta razporeditev pik v notranjosti Srbije ter Bosne in Hercegovine najpogostejša. Podobno kakor pri številu pik, je tudi pri razporeditvi pik bila v večjem obsegu izražena znotrajpopulacijska variabilnost. O samih fenotipih je iz ostalih raziskav sicer znanega bolj malo. Ugotovljeno je bilo, da so na spremembo v razporeditvi pik vplivale večje ekološke motnje, zato bi bilo na območju Srbije ter Bosne in Hercegovine smiselno metulje vzorčiti več let, še posebej pa bi morali biti pozorni na večje motnje. Kakšen pomen ima posamezna razporeditev pik bi bilo potrebno podrobno raziskati. Glede na to, da na razporeditev pik vplivajo ekološke motnje, ki povzročijo spremembo habitata in s tem morebitno naselitev novih oziroma drugačnih plenilcev, bi razporeditev pik lahko imela pomembno vlogo pri mimikriji (različne razporeditve pik plenilca različno zmedejo), s tem pa bi se razporedil tudi pritisk plenilcev.

Še posebej neraziskano je področje variabilnosti v obliki drugega krila navadnega lešnikarja, po mojih podatkih sem podal prve preliminarne rezultate. V obliki krila je močno prevladovala znotrajpopulacijska variabilnost, med populacijami pa ni bilo opaziti nobenih prepoznavnih razlik. Razhajanja v obliki krila so znotraj populacij bila prisotna na celotnem krilu, največja razhajanja pa so bila prisotna na stičišču osme vene (V8) z osrednjo celico in stičišču sedme vene (V7) z osrednjo celico. Sklepam, da za navadnega lešnikarja velja podobno kakor za ostale vrste metuljev, da oblika krila predstavlja pomembno povezavo med genotipom in okoljem, raznolikost pa omogoča zapolnitev več niš in habitatov. Ti podatki bi lahko pojasnili, zakaj je navadni lešnikar tako uspešen kot vrsta. Za pridobitev dodatnih informacij glede oblike drugega krila navadnega lešnikarja bi bile potrebne nadaljnje raziskave.

Zaradi prisotnosti variabilnosti tako v številu in razporeditvi pik na drugem krilu ter obliki drugega krila, kakor tudi bolj izražene znotrajpopulacijske variabilnosti na obravnavanih populacijah iz Srbije ter Bosne in Hercegovine sklepam, da na variabilnost vpliva več dejavnikov, najpomembnejša pa sta genetika ter različni okoljski dejavniki. Iz dobljenih rezultatov sklepam, da obravnavane populacije metuljev živijo v dokaj neprekinjenih habitatih in nimajo potrebe po večji disperziji. Glede vzorcev na krilih metuljev se že dolgo predpostavlja da so poligeni, nedavna raziskava (Singh in sod., 2020) na vrsti *Bicyclus anynana* pa je to potrdila in ugotovila, da je v spremembo v številu pik na drugem krilu lahko vključenih 10-11 različnih genomskih regij. Ker so skoraj vse raziskave o metuljih omejene na morfološke lastnosti pri odraslih osebkih, bi bilo smiselno v prihodnje izvesti raziskave, ki bi se osredotočile tudi na stadije pred odraslim osebkom.

6. POVZETEK

Namen magistrske naloge je bil ovrednotiti morfološko variabilnost v obliki drugega krila ter številu in razporeditvi črnih pik na ventralni strani drugega krila metulja navadnega lešnikarja (*Maniola jurtina*), osrednji vidik obravnave pa je bilo razmerje med znotrajpopulacijsko in medpopulacijsko variabilnostjo. Uporabljene so bile metode tradicionalne in geometrijske morfometrije. Navadni lešnikar ima na ventralni strani drugega krila lahko od nič do pet majhnih črnih pik (Brakefield, 1984) in je morfološko in ekološko najbolj spremenljiva vrsta v rodu, saj morfološka variabilnost vključuje izrazit polimorfizem vzorcev na krilu (Grill in sod., 2006). Fenotipske lastnosti metuljev so pod močnim evolucijskim in ekološkim pritiskom in se lahko razvijejo kot hiter odziv na okoljske razmere (Dapporto in sod., 2011). Rezultati so pokazali, da na obravnavanih območjih v Srbiji ter Bosni in Hercegovini prevladujejo metulji z dvema ali tremi pikami, povprečno število pik pa je bilo 2,61. V večjem obsegu je bila izražena znotrajpopulacijska variabilnost v številu pik, zato sklepam, da število pik med populacijami na tem območju ne variira v večjem obsegu. Sklepam, da je znotrajpopulacijska variabilnost v številu pik prisotna zato, da lahko metulji različno daleč letijo in tako okupirajo različne niše v habitatu. Najpogostejši fenotip razporeditve pik je bil S2,5, prav tako pa je bila v večjem obsegu izražena znotrajpopulacijska variabilnost. Sklepam, da je ta razporeditev na obravnavanem območju med populacijami najpogostejša, kakšna pa je vloga posameznega fenotipa pa po mojih podatkih še ni znano. Sklepam da je prisotnost znotrajpopulacijske variabilnosti v razporeditvi pik povezana z mimikrijo in prisotnostjo različnih vrst plenilcev ali pojava novih ob večji ekološki motnji. Po mojih podatkih sem podal tudi prve preliminarne rezultate o obliki drugega krila metulja navadnega lešnikarja. V obliki krila je močno prevladovala znotrajpopulacijska variabilnost, med populacijami pa ni bilo mogoče zaznati prepoznavnih razlik. Razhajanja so bila prisotna na celotnem krilu, največja pa so bila prisotna na stičišču osme vene (V8) z osrednjo celico in stičišču sedme vene (V7) z osrednjo celico. Sklepam, da oblika drugega krila predstavlja pomembno povezavo med genotipom in okoljem, raznolikost v obliki pa omogoča različno dolge lete in s tem zapolnitev različnih niš ter habitatov. Takšna variabilnost navadnega lešnikarja kot vrste je verjetno posledica več dejavnikov, najpomembnejša pa sta genetika in različni okoljski dejavniki.

7. ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem prof. dr. Francu Janžekoviču za vso strokovno pomoč, potrpežljivost in nasvete pri pisanju magistrskega dela.

Zahvaljujem se tudi prof. dr. Predragu Jakšiću iz Beograda, za izdelavo in posredovanje fotografij metuljev.

Posebna zahvala gre moji družini in puncu Jasmini, ki so me v času študija ves čas spodbujali, mi stali ob strani in vedno verjeli vame. Brez vas mi ne bi uspelo.

8. LITERATURA

- Abdi, H. (2010). Coefficient of variation. *Encyclopedia of Research Design*, 169-171.
- Ackery, P. R., De Jong, R., Vane-Wright, R. I. (1999). Lepidoptera: Moths and Butterflies. Evolution, Systematics and Biogeography. *Handbook of Zoology*, 35(4): 264-300.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71(1): 5-16.
- Beldade, P., Brakefield, P. M. (2002). The genetics and evo-devo of butterfly wing patterns. *Nature Reviews Genetics*, 3: 442-452.
- Bengston, S. A. (1981). Does bird predation influence the spot number variation in *Maniola jurtina* (Lepidoptera)? *Biological Journal of the Linnean Society*, 15(1): 23-27.
- Brakefield, P. M. (1984). The Ecological Genetics of Quantitative Characters of *Maniola jurtina* and Other Butterflies. *The Biology of Butterflies*, 11: 167-190.
- Brakefield, P. M. (1987). Geographical variability in, and temperature effects on the phenology of *Maniola jurtina* and *Pyronia tithonus* (Lepidoptera, Satyrinae) in England and Wales. *Ecological Entomology*, 12: 139-148.
- Brakefield, P. M., Noordwijk, A. J. (1985). The genetics of spot pattern characters in the meadow brown butterfly *Maniola jurtina* (Lepidoptera: Satyrinae). *Heredity*, 53: 275-284.
- Colosimo, G. (2009). *Inferring Phylogeny of the genus Maniola (Lepidoptera, Nymphalidae, Satyrinae) through COI Barcode Sequence*. Master Degree. Faculty of Mathematical, Physical and Natural Sciences. University of Rome.
- Dapporto, L., Habel, J. C., Dennis, R. L. H., Schmitt, T. (2011). The biogeography of the western Mediterranean: elucidating contradictory distribution patterns of differentiation in *Maniola jurtina* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 103: 571-577.
- Davies, A. M. C., Fearn, T. (2008). Back to basis: multivariate qualitative analysis, canonical variates analysis. *Spectroscopy Europe*, 20(4): 18-20.
- Devetak, D., Klokočovnik, V. (2012). *Praktikum iz zoologije nevretenčarjev*. Maribor: Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za biologijo, UM.

Dilao, R., Sainhas, J. (2004). Modeling butterfly wing eyespot patterns. *The Royal Society*, 271: 1565-1569.

Dowdeswell, W. H. (1961). Experimental studies on natural selection in the butterfly *Maniola jurtina*. *Heredity*, 16: 39-52.

Dowdeswell, W. H. (1962). A further study of the butterfly *Maniola jurtina* in relation to natural selection by *Apanteles tetricus*. *Heredity*, 17: 513-523.

Dowdeswell, W. H., McWhirter, K. G. (1967). Stability of spot distribution in *Maniola jurtina* through its range. *Heredity*, 22: 187-210.

Emmet, A. M., Heath, J. (1989). *The Moths and Butterflies of Great Britain and Ireland. Hesperidae-Nymphalidae: The Butterflies*. Colchester: Harley Books, 7(1).

Ford, E. B. (1964). *Ecological Genetics*. Mathuen & Co.: London; John Wiley & Sons Inc.: New York.

Ford, E. B. (1975). *Ecological Genetics* 4th edn. Chapman and Hall: New York.

Grill, A., Gkiokia, E., Alvarez, N. (2006). Evolutionary history and patterns of differentiation among European *Maniola* butterflies (Lepidoptera: Satyrinae). *Eur. J. Entomol.*, 103: 613-618.

Howell, D. C. (2011). *Chi-square test – Analysis of Contingency tables*. University of Vermont.

Jantzen, B., Eisner, T. (2008). Hindwings are unnecessary for flight but essential for execution of normal evasive flight in Lepidoptera. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 105: 16636-16640.

Klenovšek, T. (2014a). *Priročnik za uporabo geometrijske morfometrije v biologiji*. Maribor: Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM.

Klenovšek, T. (2014b). *Variabilnost lobanje dinarske voluharice *Dinaromys bogdanovi* (Rodentia: Cricetidae): spolni dimorfizem, alometrija in filogenija*. Doktorska disertacija. Univerza v Mariboru. Fakulteta za naravoslovje in matematiko.

Kreuzinger, A. J., Fiedler, K., Letsch, H., Grill, A. (2015). Tracing the radiation of *Maniola* (Nymphalidae) butterflies: new insights from phylogeography hint at one single incompletely differentiated species complex. *Ecology and Evolution*, 5(1), 46-58.

Kristensen, N. P., Scoble, M. J., Karsholt, O. (2007). Lepidoptera phylogeny and systematics: the state of inventorying moth and butterflies diversity. *Zootaxa*, 1668: 699-747.

Maier, C (1998). The behaviour and wing morphology of the meadow brown butterfly (*Maniola jurtina* L.) in Britain : the influence of weather and location. Oxford Brookes University.

Marcus, L. F. (1990). Traditional morphometrics. V: Rohlf, F. J., Bookstein, F. L. (ur.), *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop* (str. 77-122). University of Michigan Museum of Zoology, Ann. Arbor.

McHugh, M.L. (2013). The Chi-square test of independence. *Biochemia Medica*, 23(2): 143-149.

Meyer, J. R. (2020). Lepidoptera. General Entomology. NC State University. URL: <https://projects.ncsu.edu/cals/course/ent425/library/compendium/lepidoptera.html> (Citirano: 13.02.2020).

Monteiro, L. R. (2013). Morphometrics and the comparative method: studying the evolution of biological shape. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 25-32.

Myers, P., Espinosa, R., Parr, C. S., Jones T., Hammond, G. S., Dewey, T. A. 2020. *The Animal Diversity Web*. URL: <https://animaldiversity.org> (Citirano: 13.02.2020).

Owen, D. F., Smith, D. A. S. (1990). Interpopulation variation and selective predation in the meadow brown butterfly, *Maniola jurtina* (L.) (Lepidoptera: Satyridae) in the Canary Islands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 39: 251-267.

Owen, D. F., Smith, D. A. S. (1993). Spot variation in *Maniola jurtina* (L.) (Lepidoptera: Satyridae) in southern Portugal and a comparison with the Canary Islands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 49: 355-365.

Rohlf, F. J. (1986). Relationships among eigenshape analysis, Fourier analysis, and analysis of coordinates. *Mathematical Geology*, 18(8), 845-854.

Rohlf, F.J. (2010). TpsDig, version 2.15. Department of Ecology and Evolution. State University of New York.

Scali, V. (1972). Spot distribution in *Maniola jurtina*: Tuscan archipelago, 1968-1970. *Heredity*, 29(1): 25-36.

Scali, V. (1971). Spot distribution in *Maniola jurtina* (L.) (Lepidoptera: Satyridae) Tuscan mainland 1967-1969. *Monitore Zoologico Italiano—Italian Journal of Zoology*, 5(3): 147-163.

Sheppard, P. M. (1961). Some Contributions to Population Genetics Resulting from the Study of the Lepidoptera. *Advances in Genetics*, 165-216.

Singh, K. S., Hosken, D. J., Wedell, N., Constant, R., Bass, C., Baxter, S., Paszkiewicz, K., Sharma, M. D. (2020). De novo genome assembly of the meadow brown butterfly, *Maniola jurtina*. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 10 (5): 1477-1484.

Slice, D. E. (2007). Geometric morphometrics. *Annu. Rev. Anthropol.*, 36, 261-281.

South, R. (1906). The Butterflies of the British Isles. London: Frederick Warne and Co.

Srygley, R. B. (1999). Locomotor mimicry in *Heliconius* butterflies: contrast analyses of flight morphology and kinematics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 354: 203-214.

Širca, M. (2008). *Napovedovanje stečajev podjetij z Logit modelom in diskriminantno analizo*. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. Ekonomska fakulteta.

Tolman T., Lewington R. (2008). Collins Butterfly Guide. London, HarperCollins Publishers.

Tolman, T. (1997). Butterflies of Britain and Europe. London, HarperCollins Publishers.

Tshikolovets, V. V. (2011). Butterflies of Europe & the Mediterranean area. Kiev, Tshikolovets Publications.

Via, S., Gomulkiewicz, R., Dejong, G., Scheiner, S. M., Schlichting, C. D., Ventienderen, P. H. (1995). Adaptive phenotypic plasticity – consensus and controversy. *Trends in Ecology & Evolution*, 10: 212-217.

Vlieger, L., Brakefield, P. M. (2007). The deflection hypothesis: eyespots on the margins of butterfly wings do not influence predation by lizards. *Biological Journal of the Linnean Society*, 92(4): 661-667.

Webster, M., Sheets, D. H. (2010). A Practical Introduction to Landmark-Based Geometric Morphometrics. *The Paleontological Society Papers*, 16: 163-188.

Wiklund, C. (1984). Egg-lying patterns in butterflies in relation to their phenology and the visual apparency and abundance of their host plants. *Oecologia*, 63. 23-29.

9. PRILOGA

Priloga 1: Seznam fotografij metuljev navadnega lešnikarja

ID metulja	Država	Lokaliteta
DSC_4650	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4651	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4652	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4653	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4654	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4655	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4656	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4657	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4658	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4659	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4660	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4661	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4662	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4663	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4664	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4665	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4666	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4667	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4668	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4669	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4670	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4671	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4672	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4673	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4674	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4675	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4676	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4677	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4678	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4679	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4680	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4681	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4682	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4683	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4684	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4685	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4686	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4687	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4688	Bosna in Hercegovina	Čemernica

DSC_4689	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4690	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4692	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4693	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4694	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4695	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4696	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4697	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4698	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4699	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4700	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4701	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4702	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4703	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4704	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4705	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4706	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4707	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4708	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4709	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4710	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4711	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4712	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4713	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4714	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4715	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4716	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4717	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4718	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4719	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4720	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4721	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4722	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4724	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4725	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4726	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4727	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4728	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4729	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4730	Bosna in Hercegovina	Čemernica
DSC_4994	Srbija	Fruska gora
DSC_4995	Srbija	Fruska gora
DSC_4996	Srbija	Fruska gora

DSC_4997	Srbija	Fruska gora
DSC_4998	Srbija	Fruska gora
DSC_4999	Srbija	Fruska gora
DSC_5000	Srbija	Fruska gora
DSC_5001	Srbija	Fruska gora
DSC_5002	Srbija	Fruska gora
DSC_5003	Srbija	Fruska gora
DSC_5004	Srbija	Fruska gora
DSC_5005	Srbija	Fruska gora
DSC_5006	Srbija	Fruska gora
DSC_5007	Srbija	Fruska gora
DSC_5008	Srbija	Fruska gora
DSC_5009	Srbija	Fruska gora
DSC_5010	Srbija	Fruska gora
DSC_5011	Srbija	Fruska gora
DSC_5012	Srbija	Fruska gora
DSC_5013	Srbija	Fruska gora
DSC_5014	Srbija	Fruska gora
DSC_5015	Srbija	Fruska gora
DSC_5016	Srbija	Fruska gora
DSC_5017	Srbija	Fruska gora
DSC_5018	Srbija	Fruska gora
DSC_5019	Srbija	Fruska gora
DSC_5021	Srbija	Fruska gora
DSC_5022	Srbija	Fruska gora
DSC_5023	Srbija	Fruska gora
DSC_5024	Srbija	Fruska gora
DSC_5025	Srbija	Fruska gora
DSC_5026	Srbija	Fruska gora
DSC_5027	Srbija	Fruska gora
DSC_5028	Srbija	Fruska gora
DSC_5029	Srbija	Fruska gora
DSC_5030	Srbija	Fruska gora
DSC_5031	Srbija	Fruska gora
DSC_5032	Srbija	Fruska gora
DSC_5033	Srbija	Fruska gora
DSC_5034	Srbija	Fruska gora
DSC_5035	Srbija	Fruska gora
DSC_5036	Srbija	Fruska gora
DSC_5037	Srbija	Fruska gora
DSC_5038	Srbija	Fruska gora
DSC_5039	Srbija	Fruska gora
DSC_5040	Srbija	Fruska gora

DSC_4860	Srbija	Suva Planina
DSC_4861	Srbija	Suva Planina
DSC_4862	Srbija	Suva Planina
DSC_4863	Srbija	Suva Planina
DSC_4864	Srbija	Suva Planina
DSC_4865	Srbija	Suva Planina
DSC_4866	Srbija	Suva Planina
DSC_4867	Srbija	Suva Planina
DSC_4868	Srbija	Suva Planina
DSC_4869	Srbija	Suva Planina
DSC_4870	Srbija	Suva Planina
DSC_4871	Srbija	Suva Planina
DSC_4872	Srbija	Suva Planina
DSC_4873	Srbija	Suva Planina
DSC_4874	Srbija	Suva Planina
DSC_4875	Srbija	Suva Planina
DSC_4876	Srbija	Suva Planina
DSC_4877	Srbija	Suva Planina
DSC_4878	Srbija	Suva Planina
DSC_4879	Srbija	Suva Planina
DSC_4880	Srbija	Suva Planina
DSC_4881	Srbija	Suva Planina
DSC_4882	Srbija	Suva Planina
DSC_4883	Srbija	Suva Planina
DSC_4884	Srbija	Suva Planina
DSC_4885	Srbija	Suva Planina
DSC_4886	Srbija	Suva Planina
DSC_4887	Srbija	Suva Planina
DSC_4888	Srbija	Suva Planina
DSC_4889	Srbija	Suva Planina
DSC_4890	Srbija	Suva Planina
DSC_4891	Srbija	Suva Planina
DSC_4892	Srbija	Suva Planina
DSC_4893	Srbija	Suva Planina
DSC_4894	Srbija	Suva Planina
DSC_4895	Srbija	Suva Planina
DSC_4896	Srbija	Suva Planina
DSC_4897	Srbija	Suva Planina
DSC_4898	Srbija	Suva Planina
DSC_4899	Srbija	Suva Planina
DSC_4900	Srbija	Suva Planina
DSC_4901	Srbija	Suva Planina
DSC_4902	Srbija	Suva Planina

DSC_4903	Srbija	Suva Planina
DSC_4904	Srbija	Suva Planina
DSC_4905	Srbija	Suva Planina
DSC_4906	Srbija	Suva Planina
DSC_4907	Srbija	Suva Planina
DSC_4908	Srbija	Suva Planina
DSC_4909	Srbija	Suva Planina
DSC_4910	Srbija	Suva Planina
DSC_4911	Srbija	Suva Planina
DSC_4912	Srbija	Suva Planina
DSC_4913	Srbija	Suva Planina
DSC_4914	Srbija	Suva Planina
DSC_4915	Srbija	Suva Planina
DSC_4916	Srbija	Suva Planina
DSC_4917	Srbija	Suva Planina
DSC_4918	Srbija	Suva Planina
DSC_4919	Srbija	Suva Planina
DSC_4920	Srbija	Suva Planina
DSC_4921	Srbija	Suva Planina
DSC_4922	Srbija	Suva Planina
DSC_4923	Srbija	Suva Planina
DSC_4924	Srbija	Suva Planina
DSC_4925	Srbija	Suva Planina
DSC_4926	Srbija	Suva Planina
DSC_4927	Srbija	Suva Planina
DSC_4928	Srbija	Suva Planina
DSC_4929	Srbija	Suva Planina
DSC_4930	Srbija	Suva Planina
DSC_4931	Srbija	Suva Planina
DSC_4932	Srbija	Suva Planina
DSC_4933	Srbija	Suva Planina
DSC_4934	Srbija	Suva Planina
DSC_4935	Srbija	Suva Planina
DSC_4936	Srbija	Suva Planina
DSC_4937	Srbija	Suva Planina
DSC_4938	Srbija	Suva Planina
DSC_4939	Srbija	Suva Planina
DSC_4940	Srbija	Suva Planina
DSC_4941	Srbija	Suva Planina
DSC_4942	Srbija	Suva Planina
DSC_4943	Srbija	Suva Planina
DSC_4944	Srbija	Suva Planina
DSC_4945	Srbija	Suva Planina

DSC_4946	Srbija	Suva Planina
DSC_4750	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4751	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4752	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4753	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4754	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4755	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4756	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4757	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4758	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4759	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4760	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4761	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4762	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4763	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4764	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4765	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4766	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4767	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4768	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4769	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4770	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4771	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4772	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4773	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4774	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4775	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4776	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4778	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4779	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4780	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4781	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4782	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4783	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4784	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4785	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4786	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4787	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4788	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4789	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4790	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4791	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4792	Bosna in Hercegovina	Uzlomac

DSC_4793	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4794	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4795	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4796	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4797	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4798	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4799	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4800	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4801	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4802	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4803	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4804	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4805	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4806	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4807	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4808	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4809	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4810	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4811	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4812	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4813	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4814	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4815	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4816	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4817	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4818	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4819	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4820	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4821	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4822	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4823	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4824	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4825	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4826	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4827	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4828	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4829	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4830	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4831	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4832	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4833	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4834	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4835	Bosna in Hercegovina	Uzlomac

DSC_4836	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4837	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4838	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4839	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4840	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4841	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4842	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4843	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4844	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4845	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4846	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4847	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4848	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4849	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4850	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4851	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4852	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4853	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4854	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4855	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4856	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4857	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4858	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4859	Bosna in Hercegovina	Uzlomac
DSC_4947	Srbija	Zasavica
DSC_4948	Srbija	Zasavica
DSC_4949	Srbija	Zasavica
DSC_4950	Srbija	Zasavica
DSC_4951	Srbija	Zasavica
DSC_4952	Srbija	Zasavica
DSC_4953	Srbija	Zasavica
DSC_4954	Srbija	Zasavica
DSC_4955	Srbija	Zasavica
DSC_4956	Srbija	Zasavica
DSC_4957	Srbija	Zasavica
DSC_4958	Srbija	Zasavica
DSC_4959	Srbija	Zasavica
DSC_4960	Srbija	Zasavica
DSC_4961	Srbija	Zasavica
DSC_4963	Srbija	Zasavica
DSC_4964	Srbija	Zasavica
DSC_4965	Srbija	Zasavica
DSC_4966	Srbija	Zasavica

DSC_4967	Srbija	Zasavica
DSC_4968	Srbija	Zasavica
DSC_4969	Srbija	Zasavica
DSC_4970	Srbija	Zasavica
DSC_4971	Srbija	Zasavica
DSC_4972	Srbija	Zasavica
DSC_4973	Srbija	Zasavica
DSC_4974	Srbija	Zasavica
DSC_4975	Srbija	Zasavica
DSC_4976	Srbija	Zasavica
DSC_4977	Srbija	Zasavica
DSC_4978	Srbija	Zasavica
DSC_4979	Srbija	Zasavica
DSC_4980	Srbija	Zasavica
DSC_4981	Srbija	Zasavica
DSC_4982	Srbija	Zasavica
DSC_4983	Srbija	Zasavica
DSC_4984	Srbija	Zasavica
DSC_4985	Srbija	Zasavica
DSC_4986	Srbija	Zasavica
DSC_4987	Srbija	Zasavica
DSC_4988	Srbija	Zasavica
DSC_4989	Srbija	Zasavica
DSC_4990	Srbija	Zasavica
DSC_4991	Srbija	Zasavica