

Pregledni rad

GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA U IHTIOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA

Alen Bajrić^{1*}, Amna Sakić¹, Edina Hajdarević¹, Avdul Adrović¹, Isat Skenderović¹,
Dragojla Golub²

¹ *Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet, Urfeta Vejzagića 4, 75000 Tuzla,
Federacija Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina*

² *Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet, Mladena Stojanovića 2,
78000 Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina*

***Autor za korespondenciju:** alenbajra@gmail.com

Sažetak

Kao standardna metoda u istraživanju morfometrijskih karakteristika organizama dugo vremena primjenjivala se klasična morfometrija. Međutim, u zadnje dvije decenije 21. stoljeća aktuelizirana je primjena geometrijske morfometrije zbog doprinosa rješenju mnogih bioloških problema, naročito u pogledu naprednije kvantitativne analize oblika organizama. Njen razvoj prati razvoj novih tehnologija i to prvenstveno računarskih softvera. Geometrijska morfometrija može se definisati kao fuzija geometrije, biologije i informatike, te omogućava proučavanje bioloških oblika u dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom prostoru. Morfometrijski karakteri označavaju proporcije tijela i pojedinih dijelova tijela koji se mjere upotrebom određenih mjernih jedinica. Cilj ovog rada jeste predstavljanje geometrijske morfometrije i objašnjavanje njene primjene u ihtiološkim istraživanjima, te ukazivanje na njene prednosti i mogućnosti, na praktičan način.

Ključne riječi: geometrijska morfometrija, ihtiologija, bioinformatika, integrisan taksonomski pristup

UVOD

Morfologija predstavlja jednu od najstarijih bioloških disciplina koja u osnovi obuhvata opisivanje morfoloških cjelina, njihovo uporedno proučavanje ili komparaciju, sagledavanje morfoloških cjelina u odnosu na njihovu funkciju, zatim izvođenje zaključaka, kao i utvrđivanje prirode veza između morfoloških cjelina (Ivanović i Kalezić, 2009). Posljednih decenija došlo se do velikog napretka u polju morfometrije, zasnovanog na primjeni geometrijske morfometrije u različitim oblastima istraživanja kao što su sistematika i evolucionarna biologija (Webster i Sheets, 2010). Prednost i popularnost geometrijske morfometrije sadržana je u mogućnosti geometrijskog predstavljanja velikog broja podataka koji se lakše razumiju. Ova tehnika ima veliku statističku osjetljivost, što znači da se njome mogu otkriti i male promjene u morfološkim oblicima, koje nije bilo moguće konstatovati primjenom klasične morfometrije (Klingenberg, 2002).

Tradicionalna morfometrija svoj puni razvoj doživjela je između 1960. i 1970. godine, i tada je pružala mnoštvo multivarijantnih statističkih alata za opisivanje varijacija oblika unutar i između različitih grupa, međutim, još uvijek je u tim analizama bilo puno nedostataka (Adams i sar., 2004). U vezi s tim, javila se potreba za razvojem alternativnih metoda za kvantifikaciju i analizu morfoloških oblika, među kojim se mogu istaknuti „truss network“ i geometrijska morfometrija.

Uvođenjem „truss network“ metode u ihtiološka istraživanja dolazi se do puno boljih rezultata u tumačenju bioloških razlika. Ova metoda zasnovana je na mjerenjima u okviru mreže koja se dobija postavljanjem određenih orijentira. Na ovaj način formira se sistem susjednih ćelija ili četverokuta po obliku tijela i prati se određeno podudaranje u morfologiji različitih populacija (Abhijit i sar., 2020). Morfometrijske razlike među vrstama, dobivene na ovaj način, prepoznate su kao važno oruđe za procjenu strukture populacija, ali i ribljeg fonda (Rawat i sar., 2017).

Geometrijska morfometrijska revolucija dodala je sofisticiranost u kvantitativne biološke analize oblika organizama, dok je u isto vrijeme olakšala prikupljanje i analizu podataka kako bi se odgovorilo na pitanja o fenotipskoj manifestaciji oblika (Laving i Polly, 2009). Geometrijska morfometrija predstavlja analizu kartezijanskih geometrijskih koordinata morfoloških struktura, a ne linearnih, površinskih ili volumetrijskih varijabli (Adams *et al.* 2004). Pod pojmom geometrijska morfometrija kombinuje se veoma heterogen skup alata. Dostupni su alati za analizu orijentirnih tačaka, krivih, obrisa (u dvodimenzionalnim ili trodimenzionalnim) i trodimenzionalnih površina (Laving i Polly, 2009). Metode geometrijske morfometrije omogućavaju analizu veličina i morfoloških oblika kombinacijom univarijantnih i multivarijantnih statističkih metoda i metoda direktnog grafičkog predstavljanja (Sekulić, 2013).

Organizmi mogu biti slični ili različiti u pogledu oblika ili veličine zbog starosti, pola, geografske lokacije, filogenetskih odnosa, bolesti ili mjera zaštite. Geometrijska morfometrija može da identifikuje razlike u obliku i pomogne u istraživanju uzroka varijacija unutar i između individua (Laving i Polli, 2009). U tom pogledu, brojni ihtiolozi širom svijeta koristili su geometrijsku morfometriju u različite svrhe (da bi razlikovali vrste, da bi opisali intraspecijske razlike ili polni dimorfizam i / ili diferencijaciju na nivou populacije) (Martinez i sar., 2013; Bover i Piller, 2015; Farre i sar., 2016; Takacs i sar., 2018; Seth i sar., 2019, Delariva i Neves, 2020; Sanchez-Gonzalez i sar., 2021, itd.). Geometrijska morfometrija takođe može biti veoma korisna za opisivanje novih vrsta riba (Chakrabarti i sar., 2010).

Geometrijska morfometrija može se integrisati zajedno sa upotrebom drugih taksonomskih metoda radi rješavanja sistematskih i filogenetskih pitanja. U posljednje vrijeme, molekularni taksonomski pristupi dobili su zamah u brojnim taksonomskim studijama. Standardna mitohondrijska DNK (DNK bar kodiranje) veoma je učinkovita u identifikaciji vrsta. Upotreba višestrukih genskih markera zajedno sa morfometrijskom analizom, zasnovanom na orijentirima kao integrisanim taksonomskim pristupima, može se koristiti u budućnosti za identifikaciju vrsta koje je veoma teško razlikovati (Panda i sar., 2021).

Međutim, pored svih prednosti koje nudi geometrijska morfometrija pri istraživanju ribljih populacija, nema puno radova sa teritorija Bosne i Hercegovine u kojima je opisana ili

primijenjena ova tehnika, tako da ovaj rad može poslužiti i kao osnova za buduća istraživanja (Bajrić, 2017).

Osnovna hipoteza rada jeste da li geometrijska morfometrija ima značajne prednosti u odnosu na klasičnu morfometriju i da li je raširena njena upotreba među ihtiolozima, ali i drugim profilima biologa u Bosni i Hercegovini. U vezi sa radnom hipotezom, rad je imao za cilj aktuelizaciju geometrijske morfometrije prvenstveno među ihtiolozima, da ukaže na načine provođenja metoda geometrijske morfometrije, kao i predstavljanje njenih mogućnosti kroz obuhvaćene podatke iz literature.

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci iz literature koji tretiraju ovu tematiku (Adams i sar., 2004; Laving i Polly, 2009; Webster i Sheets, 2010; Rawat i sar., 2017 itd.), kao i podaci naših ranijih istraživanja (Bajrić, 2017). Rad nije imao eksperimentalni karakter u smislu da je geometrijska morfometrija primijenjena za rješavanje nekog konkretnog ihtiološkog problema.

TEHNIKE U GEOMETRIJSKOJ MORFOMETRIJI

Za korištenje geometrijske morfometrije u ihtiologiji potrebno je napraviti kvalitetne fotografije istraživanih riba. Čitav dalji postupak istraživanja zasniva se na manipulaciji dobijenim fotografijama koje se „provlače“ kroz različite programske pakete (Tabela 1) da bismo u konačnici došli do određenih rezultata o promjeni oblika i veličine istraživanih vrsta riba.

Tabela 1. Programski paketi koji se najčešće koriste u geometrijskoj morfometriji

Softver	Svrha	Referenca
Microsoft Office Excel 2007	– Raspon variranja – Raspon variranja, srednja vrijednost, standardna devijacija – Grafički prikazi	Microsoft Office
Statistica 10	– Deskriptivna statistika: – ANOVA – analiza varijanse – Dužinsko-maseni odnosi, – Grafički prikazi	StatSoft, Inc., 2011
TPSDig	– Postavljanje dvodimenzionalnih tačaka	Rohlf, 2010a
TPSUtil	– Manipulacija sa tps datotekama (spajanje dokumenata i uređivanje tačaka)	Rohlf, 2012
TPSRelw	– Provjera tačnosti digitalizacije	Rohlf, 2010b
CoordGen6f	– Prokrustova analiza	Sheets, 2000
CVAGen6j	– Izračunavanje vrijednosti CS (Centroid Size) – CVA analiza	Sheets, 2000
MorphoJ	– Izračunavanje Prokrustovih distanci – Vizuelni prikaz promjene oblika	Klingenberg, 2011
TwoGrup6h	–Izračunavanje distanci između posmatranih populacija (Goodall's F test)	Sheets, 2000
Geomorph	– Manipuliranje i digitlizacija orijentira – Generiranje oblika – Grafičko opisivanje oblika – Prikazivanje oblika i varijacija	Adams i sar., 2021

Postupak sakupljanja informacija, stvaranja baze podataka i obavljanje PCA¹ analize geometrijske morfometrije ima nekoliko faza.

Prvi korak svakako je prikupljanje odgovarajućeg uzorka, odnosno izlov riba. Potom se sve jedinke fotografišu, uz obavezno korištenje određene vrste brojčanog sistema.

Fotografisanje jedinki provodi se istim aparatom i uvijek sa iste udaljenosti. Fotografije se uvijek ista strana ribe koja je postavljena u središte fokusa. Najbolje bi bilo jedinke fotografisati odmah po izlovu, međutim najčešće se koriste ribe koje su prethodno zamrznute što u konačnici može biti nedostatak jer se odmrznute ribe teško postavljaju u prirodan položaj, posebno ako se radi o malim jedinkama. Fotografije riba za geometrijsku morfometriju treba da sadrže oznaku lokaliteta ili broj jedinke, što zavisi od samog tipa istraživanja.

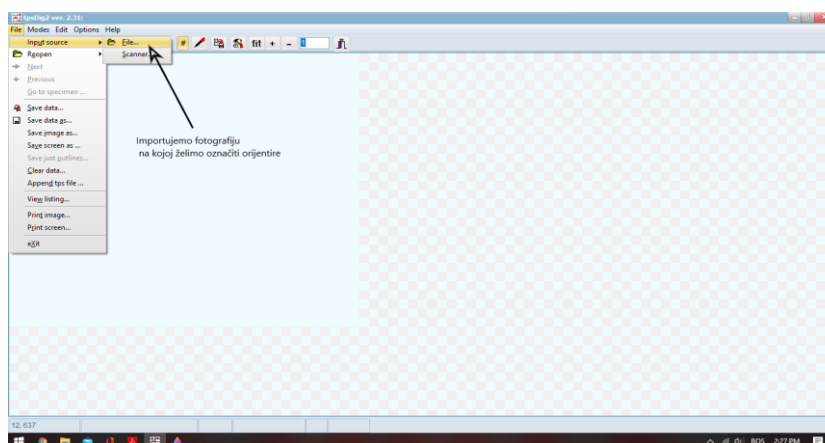
Dobijene fotografije potrebno je pohraniti na računar, čime se pravi baza podataka potrebna za provođenje analize. Svaka fotografija mora se reimenovati u vidu šifre koja će označavati broj individue, spol ili ime vrste ribe, ovisno od tipa analize. Za svaku populaciju stvara se poseban folder, radi lakšeg poređenja.

Koliko je aktuelna geometrijska morfometrija u različitim istraživanjima u svijetu, pokazuje i činjenica da su se mnogi programi od njenog predstavljanja pa do danas usavršili. Osim toga, neki od programa koje smo u istraživanjima koristili tokom 2016. i 2017. godine više i nisu dostupni (*CordGen*, *CVA gne*, *Twogroup* i sl.), ali će svakako u radu biti pomenuti s obzirom na ciljeve ovoga rada.

Jedan od aktuelnih i široko korištenih paketa u geometrijskoj morfometriji jeste *Geomorph* (Adams i sar., 2021). Ovaj paket omogućava 2D i 3D manipulaciju odabranim tačkama.

Prvi u nizu programa za rad sa prikupljenim fotografijama jesu programi iz *tps* grupe, koji omogućavaju postavljanje orijentira, njihovo grupisanje i spremanje za obradu u obliku koordinata. To su programi: *TpsDIG*, *TpsUtil*, *TpsRelw*.

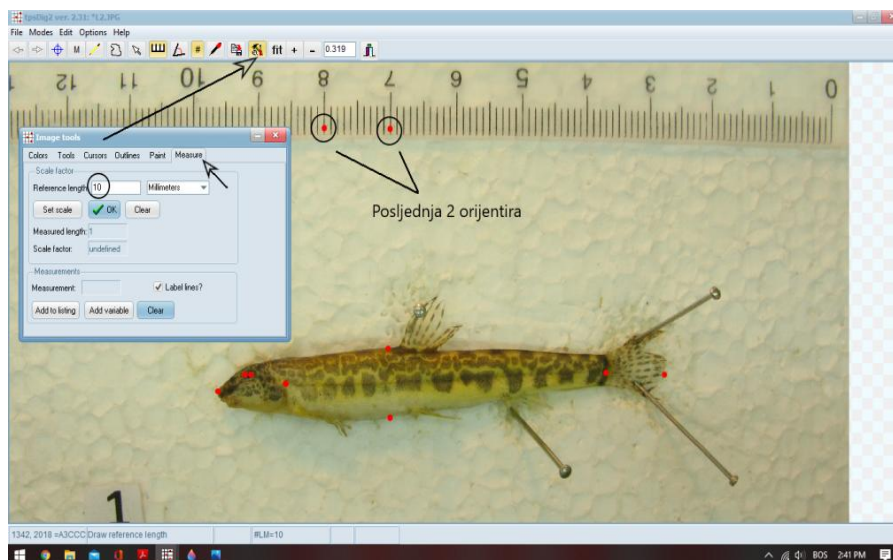
TpsDIG omogućava definiranje orijentira i njihovo spremanje u formatu u kojem ih drugi programi mogu prepoznati (Slika 1).



Slika 1. *TpsDIG*: import fotografija

¹ PCA analiza (eng: *principal component analysis*) najčešći je statistički postupak koji se primjenjuje u geometrijskoj morfometriji.

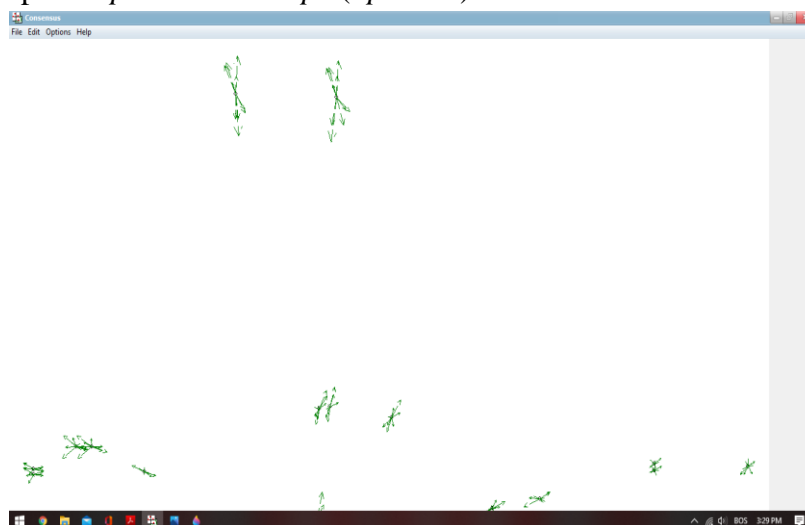
Unošenjem fotografije u program počinje se sa obilježavanjem orijentira pomoću ikone na toolbaru koja označava „*digitize landmarks*“. Nakon označavanja orijentira na željenim mjestima, posljednja dva orijentira moraju biti na brojčanom sistemu kako bi se mogla odrediti skala na osnovu koje se mjere dužine. Ta operacija vrši se na „*Image tools*“ → „*Measurements*“ (Slika 2).



Slika 2. *TpsDIG*: unošenje orijentira

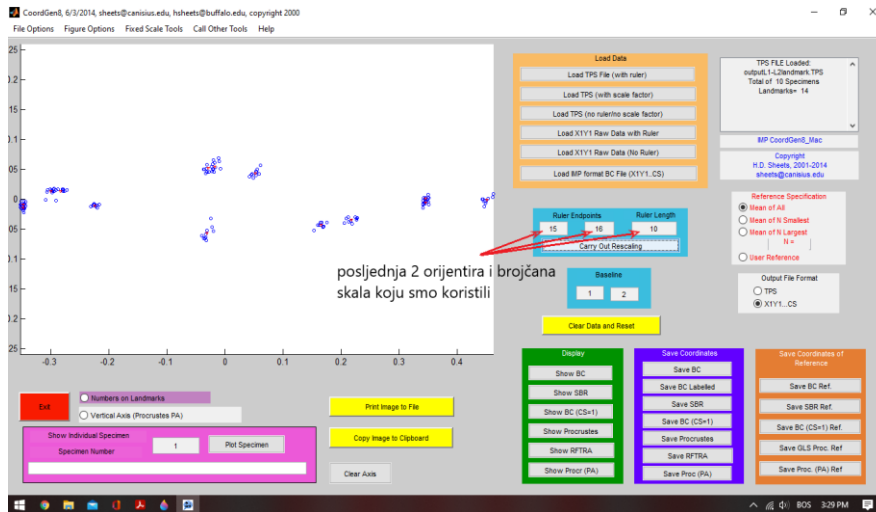
Sljedeći korak u procesu obrađivanja fotografija za geometrijsku morfometriju jeste spajanje svih zasebnih fotografija u jedinstven *tps* format, prema kojem će se moći provjeriti da li su svi orijentiri, označeni istim brojevima, na istim pozicijama. Sjedinjavanje svih pojedinačnih *tps* formata vrši se pomoću *TpsUtil* programa.

Zadnji korak u *tps* skupini programa jeste provjera da li su svi orijentiri postavljeni na pravom mjestu, što se može vidjeti u obliku pozicioniranih tačaka ukoliko su orijentiri postavljeni na pravim pozicijama, ili izduženih vektora ukoliko je došlo do greške (Slika 3). Ovaj dio provodi se preko *tps relative wraps* (*TpsRelw*).



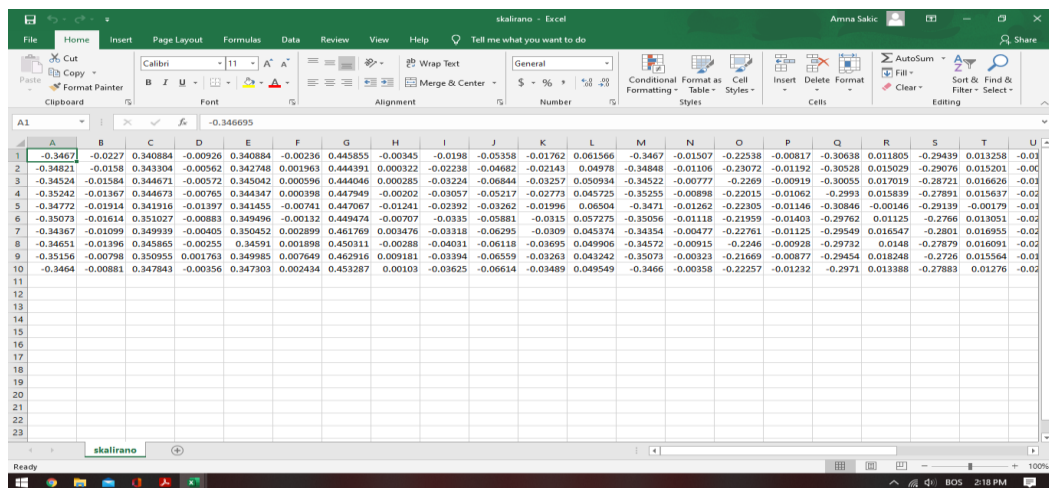
Slika 3. Vektorski pregled i odstupanja orijentira

Za korištenje fotografija u programima geometrijske morfometrije potrebno je uraditi reskaliranje orijentira u odnosu na bročanu skalu. U tu svrhu koristi se ekstenzija Matlab programa *CoordGen8*, preko kojeg se za daljnju analizu dobijaju koordinate orijentira koje se naposljetku unose u *MorphoJ* program (Slika 4). Program *MorphoJ* jedan je od najčešće korištenih programa za finalno dobijanje rezultata geometrijske morfometrije.



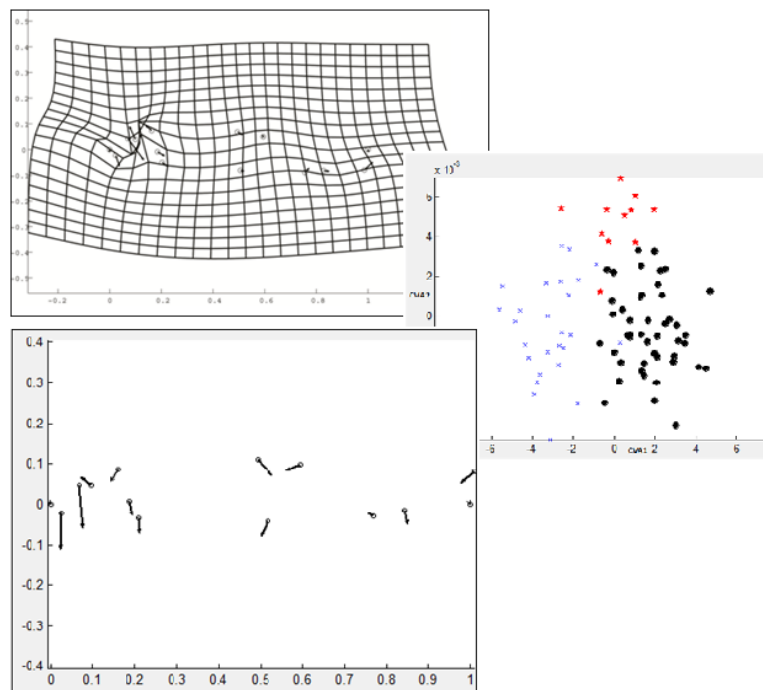
Slika 4. *CoordGen8*: reskaliranje orijentira

Fileovi napravljeni u *CoordGen8* programu takođe se mogu iskoristiti i u *Microsoft Excelu*, što je značajno za eventualnu provjeru ili neka druga računanja (Slika 4 i 5).



Slika 5. Podaci sakupljeni u *CoordGene8* programu i prebačeni u *Microsoft Excel*

Dobijene promjene oblika i veličina upotrebom geometrijske morfometrije moguće je predstaviti vizuelno (Slika 6), te i na taj način doći do saznanja da li su utvrđene razlike između populacija riba statistički značajne, a sve pomoću navedenih računarskih programa. Tako da će i najmanja promjena u morfologiji određenog dijela tijela ribe biti konstatovana i vizuelno predstavljena. Dobijeni rezultati mogu poslužiti u međupopulacionim istraživanjima jedne vrste, utvrđivanju morfometrijskih razlika između srodnih vrsta, ali i istraživanju morfologije riba čiji sistematski položaj nije do kraja siguran.



Slika 6. Vizuelizacija utvrđenih morfoloških promjena

PRIMJENA GEOMETRIJSKE MORFOMETRIJE U IHTIOLOGIJI

Da je geometrijska morfometrija našla veliku primjenu u biološkim istraživanjima, govori i postojanje udžbenika koji je napisan za biologe (Zelditch i sar., 2004).

Ova publikacija predstavlja osnovu za korištenje geometrijske morfometrije među studentima biologije sa minimalnom matematičkom naobrazbom, s obzirom na to da su mnoge druge publikacije koje tretiraju ovu problematiku namijenjene nekim drugim profilima istraživača. Poseban je značaj ove publikacije u tome što daje i „linkove“ za preuzimanje besplatnih programa, ali i upute za njihovo korištenje.

Do danas se geometrijska morfometrija pokazala izvanredno popularnim setom alata za široki spektar istraživanja u biologiji. Ova popularnost proizlazi iz višegodišnjeg naučnog i praktičnog interesa za morfologiju kao i suštinske snage geometrijskog pristupa analizi oblika. Vremenom se sve više javljaju situacije u kojima su brze, tačne i geometrijski sveobuhvatne analize morfoloških varijacija potrebne u mnogim naučnim, inženjerskim i primijenjenim matematičkim poljima, čak i u historijskom, kulturnom i umjetničkom kontekstu.

Proučavanje promjene oblika u početku je bilo interesantno za biološku antropologiju, međutim, kasnija interesovanja uključivala su kvantitativna istraživanja prirodne varijacije i filogenetskih odnosa među vrstama (Richtsmeier i sar., 2002).

Tulli i sar. (2009) istraživali su biometrijske osobine *Dicentrarchus labrax*. Istraživan je učinak sistema uzgoja na biometrijska svojstva i izračunavanje prinosa. Rezultati su pokazali da je geometrijska morfometrija dragocjen alat za opisivanje promjena u obilježjima oblika i procjene kvaliteta ribe.

Fruciano i sar. (2011) geometrijskom morfometrijom otkrivaju morfološke varijacije donje faringealne čeljusti kod *Coris julis* (Teleostei, Labridae). Uprkos bliskoj geografskoj udaljenosti i vjerovatno velikom genetskom protoku između populacija, pronađene su statistički značajne razlike, kako u veličini tako i u obliku.

Bravi i sar. (2013) istraživali su morfometrijske promjene nekoliko vrsta riba u Italiji. Ontogenetska varijacija oblika opisana je multivarijantnom regresijom. Analize su pokazale proporcionalne ontogenetske promjene u nekoliko morfometrijskih znakova u svim analiziranim populacijama, te da nema varijacija geografskog oblika za svaku vrstu, ali i određene interspecijske razlike.

Prilikom analize ihtioloških istraživanja u Bosni i Hercegovini utvrđeno je da se geometrijska morfometrija vrlo malo koristi, o čemu svjedoči vrlo mali broj objavljenih radova. Bajrić (2017) je primijenio ovu metodu na morfološkim istraživanjima *Sabanejewia balcanica*, gdje je ukazano na varijabilnost veličine i oblika ove vrste.

Buj i sar. (2008) utvrdili su dva klastera odnosa među populacijama *Sabanejewia balcanica* u Hrvatskoj. Prema pomenutim autorima jedan klaster čine jedinke iz rijeke Drave i Petrinjčice, a drugi jedinke iz rijeke Rijeke i Voćinske. U ovom slučaju riječ je o klasterima koji obuhvataju lokalitete koji su geografski bliži i unutar kojih su ekološki faktori sličiji.

Proučavanjem razlika u veličinama među jedinkama *Ameiurus melas*, podijeljenim na osnovu broja branhiospina i broja zraka u analnom peraju, pomoću geometrijske morfometrije utvrđene su razlike među lokalitetima ali ne i „vrstama“ (Cvijanović, 2009).

Prilikom proučavanja tri populacije crнке (*Umbra crameri*), kanonijskom analizom varianse utvrđeno je da dolazi do razdvajanja među njima i da kod određenih populacija postoje razlike u obliku tijela (Sekulić, 2013).

Istraživanje pastrmki iz voda dunavskog sliva Hrvatske, na račun geometrijske morfometrije, pokazalo je da između atlantske i podunavske loze kao i njihovog hibrida postoji značajna razlika u obliku tijela. Najistaknutije razlike utvrđene su u dubini tijela, dužini glave i veličini očiju (Špelić i sar., 2021).

Geometrijska analiza otkrila je važnost prostornog rasporeda pjega na boku pastrmki u razlikovanju mediteranskih pastrmki, što je iskorišteno u utvrđivanju konzervacionog statusa divljih populacija pastrmki (Lorenzoni i sar., 2019).

Takođe je potrebno naglasiti da se geometrijska morfometrija može primijeniti i na druge grupe organizama, a naročito je aktuelna i u proučavanju insekata. Tako su Zahiri i sar. (2006), geometrijskom morfometrijom istraživali određene populacije insekata u Iranu. Analiza je pokazala značajnu razliku između spolova i između populacija dvije provincije. Uočena je direktna korelacija između morfološke i geografske udaljenosti.

Aytekin i sar. (2007) geometrijskom morfometrijom ukazali su na morfološke karakteristike krila nekih insekata. Oni naglašavaju da ovaj pristup može pomoći budućim studijama u rješavanju problema njihove sistematike, u razumijevanju mehanizama leta insekata, te aerodinamike različitih oblika krila insekata.

ZAKLJUČAK

Iz svega navedenog može se zaključiti da geometrijska morfometrija u potpunosti nadmašuje tradicionalnu morfometriju u smislu teorijske snage, metodologije i mogućnosti objašnjenja. Za njeno korištenje nije potrebno posebno i veliko znanje na polju informatike, i ne zahtijeva velike finansijske izdatke, jer programi koji se koriste uglavnom su besplatni. U te svrhu primjene potrebno je posjedovanje fotoaparata i računara standardnih karakteristika.

Prednosti geometrijske morfologije u odnosu na klasičnu morfometriju:

- mogućnost manipulacije sa jako velikim brojem podataka;
- statistička osjetljivost;
- digitalna vizualizacija rezultata istraživanja;
- manje vrijeme potrebno za dobivanje rezultata;
- prihvatljivija je, odnosno manje invazivna metoda u odnosu na organizme, jer je za ovakve analize potrebno samo napraviti fotografije jedinki. Žrtvovanje jedinki se zaobilazi što je od neprocjenjive vrijednosti prilikom istraživanja ugroženih vrsta riba.

Geometrijska morfometrija našla je svoju primjenu kako u biološkim istraživanjima tako i u mnogim drugim naučnim, inženjerskim ili primijenjenim matematičkim poljima. Takođe, njena saznanja mogu se koristiti čak i u historijskom, kulturnom ili umjetničkom kontekstu. U vezi sa navedenim nameće se zaključak da je jako bitno da se sa predstavljenom tehnikom upoznaju istraživači svih profila.

LITERATURA

- Adams, D. C., Rohlf, F. J. i Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the „revolution“. *Italian Journal of Zoology*, 71, 5–16. doi:10.1080/11250000409356545
- Adams, D. C., Collyer, M. L., Kaliontzopoulou, A. i Baken, E. (2021). Geomorph: Software for geometric morphometric analyses. R package version 3.3.2. <https://cran.project.org/package=geomorph>.
- Aytekin, M. A., Terzo, M., Rasmont, P. i Çağatay, N. (2007). Landmark based geometric morphometric analysis of wing shape in *Sibiricobombus Vogt* (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latreille). *Annales de la Société entomologique de France*, 4(1), 95–102. doi:10.1080/00379271.2007.10697499
- Bajrić, A. (2017). Ekološko-morfološke i fiziološke odlike balkanskog zlatnog vijuna (*Sabanejewia balcanica* Karaman, 1922) iz sliva rijeke Save. (Doktorska disertacija). Mostar: Džemal Bijedić University of Mostar.
- Bravi, R., Ruffini, M. i Scalici, M. (2013). Morphological variation in riverine cyprinids: a geometric morphometric contribution. *Italian Journal of Zoology*, 80 (4), 536–546. doi:10.1080/11250003.2013.829129
- Bower, L. M. i Piller, K. R. (2015). Shaping up: a geometric morphometric approach to assemblage ecomorphology. *Journal of Fish Biology*, 87 (3), 691–714. doi:10.1111/jfb.12752

- Buj, I., Podnar, M., Mrakovčić, M., Čaleta, M., Mustafić, P., Zanella, D. i Marčić, Z. (2008). Morphological and genetic diversity of *Sabanejewia balcanica* in Croatia. *Folia Zoologica -Praha-* 57 (1), 100–110. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/287008720_Morphological_and_genetic_diversity_of_Sabanejewia_balcanica_in_Croatia
- Chakrabarty, P., Chu, J., Nahar, L. i Sparks, J. S. (2010). Geometric morphometrics uncovers a new species of ponyfish (Teleostei: Leiognathidae: Equulites), with comments on the taxonomic status of *Equula berbis* Valenciennes. *Zootaxa*, 2427 (1), 15–24. doi:10.11646/zootaxa.2427.1.2
- Cvijanović, D. G. (2009). Taksonomske i ekološke karakteristike crnog američkog patuljastog soma (*Ameiurus melas* Rafinesque, 1820) u slivu reke Tise i mogućnost njegove ekonomske eksploatacije. (Master rad). Beograd: Univerzitet u Beogradu.
- Delariva, R. L. i Neves, M. P. (2020): Morphological traits correlated with resource partitioning among small characin fish species coexisting in a Neotropical river. *Ecology of Freshwater Fish*, 29 (7), 1–10. doi:10.1111/eff.12540
- Farré, M., Tuset, V. M., Maynou, F., Recasens, L. i Lombarte, A. (2016): Selection of landmarks and semilandmarks in fishes for geometric morphometric analyses: a comparative study based on analytical methods. *Scientia Marina*, 80 (2), 1–12. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.04280.15A>
- Fruciano, C., Tigano, C. i Ferrito, V. (2011). Traditional and geometric morphometrics detect morphological variation of lower pharyngeal jaw in *Coris julis* (Teleostei, Labridae). *Italian Journal of Zoology*, 78 (3), 320–327. doi: 10.1080/11250003.2010.547876
- Ivanović, A. i Kalezić, M. (2009). *Evoluciona morfologija. Teorijske postavke i geometrijska morfometrija*. Beograd: Univerzitet u Beogradu.
- Klingenberg, C. P. (2002). Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. *Gene*, 287 (1–2), 3–10. doi: 10.1016/s0378-1119(01)00867-8
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11 (2), 353–7. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
- Laving, A. M. i Pollz, P. D. (2009): Geometric Morphometrics: Recent Applications to the Study of Evolution and Development. *Journal of Zoology*, 280 (1), 1–7. doi: 10.1111/j.1469-7998.2009.00620.x
- Lorenzoni, M., Carosi A., Giovannotti, M., La Porta, G., Splendiani A. i Barucchi V. C. (2019). Morphological survey as powerful detection tool of pure and local phenotypes in *Salmo trutta* complex. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 420 (48) 1-11. doi:10.1051/kmae/2019041
- Mallik, A., Chakraborty, P. i Swain S. (2020). Truss Networking: A Tool for Stock Structure Analysis of Fish. In: Jitendra Kumar Sundaray (Ed.) *Research Trends in Fisheries and Aquatic Sciences* (pp. 97–108). New Delhi: Akinik publications.

- Martinez, P. A., Berbel-Filho, W. M. i Jacobina, U. P. (2013). Is formalin fixation and ethanol preservation able to influence in geometric morphometric analysis? Fishes as a case study. *Zoomorphology*, 132 (1), 87–93. doi: 10.1007/s00435-012-0176-x
- Panda, D., Biswal, I., Seth, J. K. i Barik, T. K. (2021). Wing Morphometric and DNA Barcoding Analysis of Two Different Public Health Important Anopheles Mosquito Species. *Journal of the Entomological Research Society*, 23 (3), 239–255. doi:10.51963/jers.v23i3.2026
- Rawat, S., Benakappa, S., Kumar, J., Naik, A. S. K., Pandey, G. i Pema C. W. (2017). Identification of fish stocks based on Truss Morphometric: A review. *Journal of Fisheries and Life Science*, 2 (1), 9–14. ISSN: 2456-6268
- Richtsmeier, J. T., Deleon, V. B. i Subhash, R. L. (2002). The Promise of Geometric Morphometrics. *Yearbook Of Physical Anthropology*, 45, 63–91. doi: 10.1002/ajpa.10174
- Rohlf, F. J. (2010a). *TpsDig*, ver. 2.16. Ecology and Evolution, SUNY at Stony Brook. Preuzeto sa: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- Rohlf, F. J. (2010b). *TpsRelw*, ver. 1.49. Ecology and Evolution, SUNY at Stony Brook. Preuzeto sa: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- Rohlf, F. J. (2012). *TpsUtil*, ver. 1.53. Ecology and Evolution, SUNY at Stony Brook. Preuzeto sa: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- Sanchez-Gonzalez, J. R., Morcillo, F., Ruiz-Legazpi, J. i Sanz-Ronda, F. J. (2021). Fish morphology and passage through velocity barriers. Experience with northern straight-mouth nase (*Pseudochondrostoma duriense* Coelho, 1985) in an open channel flume. *Hydrobiologia*, 849, 1351–1366. doi: 10.1007/s10750-021-04712-9 (OA)
- Sekulić, N. K. (2013). Ekološke karakteristike i morfološko-genetička diferencijacija populacija crнке (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) sa područja Bačke, Mačve i Semberije. (Doktorska disertacija). Beograd: Univerzitet u Beogradu.
- Seth, J. K., Barik, T. K. i Mishra, S. S. (2019). Geometric morphometric approach to understand the body shape variation in the pony fishes (Teleostei: Leiognathidae) of Odisha Coast, India. *Iranian Journal of Ichthyology*, 6 (3), 208–217. doi:10.22034/iji.v6i3.281
- Sheets, H. D. (2000). *Integrated Morphometrics Package (IMP)*. Preuzeto sa: <http://www2.canisius.edu/~sheets/morphsoft.html>
- Takács, P., Ferincz, Á., Staszny, Á. i Vitál, Z. (2018). Effect of bodyside-specific data processing on the results of fish morphometric studies. *Fundamental and applied Limnology*, 192 (2), 137–144. doi: 10.1127/fal/2018/1159
- Tulli, F., Balenovic, I., Messina, M. i Tibaldi, E. (2009). Biometry traits and geometric morphometrics in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) from different farming systems. *Italian Journal of Animal Science*, 8 (2s), 881–883. doi:10.4081/ijas.2009.s2.881
- Webster, M. i Sheets, H. D. (2010). A practical introduction landmark-based geometric morphometrics. In John Alroy i Gene Hunt (Eds.), *Quantitative Methods in Paleobiology* (pp. 163–188). Paleontological Society Short Course, The Paleontological Society Papers, 16. doi: 10.1017/S1089332600001868
- Zahiri, R., Sarafrazi, A., Salehi, L. i Kunkel, J. G. (2006). A geometric morphometric study on populations of the Rice Stem Borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera:

- Crambidae) in northern Iran. *Zoology in the Middle East*, 38 (1), 73–84. doi:10.1080/09397140.2006.10638168
- Zelditch, M., Swiderski, D. i Sheets H. D. (2012). *Geometric Morphometric of Biologists: A Primer*. Second Edition. (pp. 15–443). London, UK: Elsevier Academic Press. ISBN: 978-0-12-386903-6
- Špelić, I., Rezić A., Kanjuh T., Marić A., Maguire I., Simonović P., Radočaj T. i Piria M. (2021). Application of the geometric morphometrics approach in the discrimination of morphological traits between brown trout lineages in the Danube Basin of Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 422 (22), 1–10. doi:10.1051/kmae/2021021

Primljeno 07.10. 2021.
Prihvaćeno 20. 12. 2021.