



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA BIOLOGIJU I EKOLOGIJU



**mr Violeta Bolić Trivunović**

MORFOLOŠKA I GENETIČKA RAZNOVRSNOST VRSTA KOMPLEKSA  
*CARASSIUS AURATUS*  
SA TERITORIJE VOJVODINE I PERIPANONSKE OBLASTI

-doktorska disertacija-

Novi Sad, 2016.

## PREDGOVOR

Ova doktorska disertacija realizovana je u Laboratorijama Departmana za biologiju i ekologiju Prirodno–matematičkog fakulteta u Novom Sadu i Laboratoriji Departmana za akvakulturu, Fakulteta za poljoprivredu i zaštitu životne sredine, Univerziteta Sent Ištvan, Gedele, Mađarska.

Posebnu zahvalnost u izradi disertacije želim da izrazim:

Mentoru - dr Jeleni Lujčić, naučnom saradniku, kojoj dugujem posebnu i neizmernu zahvalnost na idejama, izuzetnom zalaganju, bezrezervnoj podršci, korisnim savetima, i ukazanom poverenju od samog početka. Svojim znanjem, iskustvom i komentarima usmeravala me je u toku rada i pomogla da se genetički deo istraživanja uradi u laboratoriji Univerziteta Sent Ištvan, Gedele, Mađarska. Hvala i za veliku dozu optimizma i širok osmeh.

Mentoru - docentu dr Desanki Kostić na odabiru teme i podršci tokom svih ovih godina, svesrdnoj pomoći tokom obrade i analize materijala i pomoć prilikom pisanja teze.

Ovom prilikom želim da izrazim ogromnu zahvalnost i Marinović Zoranu koji mi je od samog početka nesebično pomogao kako u toku eksperimentalnog rada tako i u toku analize rezultata. Zahvaljujem se na nesebičnoj i neprocenjivoj pomoći u savladavanju metoda geometrijske morfometrije i analiza mamorfološke varijabilnosti kao i na svim komentarima tokom pisanja teze;

Članovima komisije prof. dr Mihajli Đan, prof. dr Goranu Marković sa Agronomskog fakulteta u Čačku i prof. Branislavu Miljanoviću hvala puno na svim korisnim savetima, sugestijama i komentarima vezanim za pisanje ove teze. Prof. dr Branislavu Miljanoviću se zahvaljujem na velikoj pomoći u organizaciji i realizaciji terenskih istraživanja i prikupljanju uzoraka.

Dr Predragu Radišić ispred Palinološke laboratorije se ovom prilikom zahvaljujem na tehničkoj i stručnoj pomoći kao i sugestijama u toku eksperimentalnog rada;

Delovi ove disertacije su rađeni u laboratorijama u Mađarskoj (Department of Aquaculture, Institute of Environmental and Landscape Management, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Gödölő) pa bih želela da izrazim veliku zahvalnost svima koji su učestvovali u eksperimentima, a posebno dr Ákos Horváth i dr Balazs Kovacs kao i članovima njegovom timu sa Departmana za akvakulturu.

Prilikom rada na molekularno-taksonomskim analizama jedinki veliku pomoć su mi pružili prof. dr Saša Marić sa Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Matej Janes sa Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Zagrebu. Ovom prilikom želim da im se zahvalim na korisnim, stručnim savetima i smernicama u toku pisanja ove teze.

Zahvaljujem se Pecze Zsofi za nesebičnu pomoć u toku eksperimentalnog rada;

Podrška i pomoć u svakom smislu uvek su mi bile i moje drage kolege Žana, Jelena, Dragana i Suzana kojima se ovom prilikom posebno zahvaljujem.

Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici, suprugu Bošku i deci Aleksandri i Aleksi, koji su sve ove godine imali ogromno razumevanje i strpljenje za mene, moje želje, namere i probleme.

Novi Sad, 12.05.2016. godine

Violeta Bolić Trivunović

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	4
2.1. Invazivne vrste riba u Srbiji .....	4
2.2. Rod <i>Carassius</i> .....	5
2.2.1. Sistematski status roda <i>Carassius</i> .....	5
2.3. Kompleks <i>Carassius auratus</i> .....	6
2.3.1. Taksonomski status kompleksa <i>Carassius auratus</i> .....	6
2.3.2. Opis vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> .....	10
2.3.3. Areal i širenje vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> .....	11
2.3.3.1. Vrste kompleksa <i>Carassius auratus</i> na području Vojvodine .....	13
2.3.4. Ekologija vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> .....	14
2.3.5. Citogenetika vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> .....	17
2.4. Linearna i geometrijska morfometrija u populacionim istraživanjima .....	18
2.5. Modeli rasta u populacionim istraživanjima .....	20
3. CILJEVI .....	21
4. MATERIJAL I METODE .....	22
4.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti .....	22
4.2. Opis lokaliteta .....	22
4.3. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti .....	35
4.3.1. Umnožavanje DNK lančanom reakcijom polimeraze – PCR (engl. polymerase chain reaction) .....	36
4.3.2. Sekvenciranje i analiza fragmenata gena .....	38
4.4. Morfološka raznovrsnost vrste <i>Carassius gibelio</i> I .....	41
4.4.1. Materijal .....	41
4.4.1.1. Generalna morfološka raznovrsnost vrste <i>Carassius gibelio</i> u Vojvodini .....	41
4.4.1.2. Uticaj prisustva predatora i protoka vode na morfološku raznovrsnost vrste <i>Carassius gibelio</i> .....	41
4.4.1.3. Rekonstrukcija morfološke raznovrsnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste <i>Carassius gibelio</i> .....	42
4.4.1.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste <i>Carassius gibelio</i> .....	42
4.4.2. Metode .....	42
4.4.2.1. Meristički parametri .....	42
4.4.2.2. Linearna morfometrija .....	43
4.4.2.3. Geometrijska morfometrija .....	46
4.5. Analize životne istorije i modelovanje rasta .....	50
4.5.1. Materijal .....	50
4.5.1.1. Komparacija rasta riba između dva različita tipa akumulacija primenom multi-modelne analize .....	50
4.5.1.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta .....	52
4.5.2. Metode .....	52
4.5.2.1. Dužinsko-težinski odnosi .....	52
4.5.2.2. Određivanje starosti .....	52
4.5.2.3. Modelovanje rasta .....	53

<b>5. REZULTATI</b> .....	<b>55</b>
<b>5.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti</b> .....	<b>55</b>
<b>5.2. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na području Vojvodine i peripanonske oblasti</b> .....	<b>63</b>
<b>5.3. Morfološka varijabilnost</b> .....	<b>69</b>
<b>5.3.1.1. Celo telo</b> .....	<b>69</b>
<b>5.3.1.2. Kosti glave i cleithrum</b> .....	<b>76</b>
<b>5.3.2. Uticaj prisustva predatora i protoka na morfološku varijabilnost vrste <i>Carassius gibelio</i></b> .....	<b>84</b>
<b>5.3.3. Rekonstrukcija morfološke varijabilnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste <i>Carassius gibelio</i></b> .....	<b>87</b>
<b>5.3.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste <i>Carassius gibelio</i></b> .....	<b>89</b>
<b>5.3.5. Analize životne istorije i modelovanje rasta</b> .....	<b>91</b>
<b>5.3.5.1. Modelovanje rasta riba</b> .....	<b>91</b>
<b>5.3.5.1.1. Komparacija rasta srebrnog karaša <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782) i bodorke <i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758) između dva različita tipa akumulacija pomoću multi-modelne analize</b> .....	<b>91</b>
<b>5.3.5.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša</b> .....	<b>95</b>
<b>6. DISKUSIJA</b> .....	<b>98</b>
<b>6.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti</b> .....	<b>98</b>
<b>6.2. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti</b> .....	<b>99</b>
<b>6.3. Morfološka varijabilnost</b> .....	<b>101</b>
<b>6.3.1. Morfološka raznovrsnost vrste <i>Carassius gibelio I</i> u Vojvodini i peripanonskoj oblasti</b> .....	<b>101</b>
<b>6.3.2. Uticaj prisustva predatora i protoka na morfološku varijabilnost vrste <i>Carassius gibelio I</i></b> .....	<b>104</b>
<b>6.3.3. Rekonstrukcija morfološke varijabilnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste <i>Carassius gibelio</i></b> .....	<b>106</b>
<b>6.3.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste <i>Carassius gibelio</i></b> .....	<b>108</b>
<b>6.3.5. Analiza životne istorije i modelovanje rasta</b> .....	<b>110</b>
<b>6.3.5.1. Komparacija rasta srebrnog karaša <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782) i bodorke <i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758) između dva različita tipa akumulacija pomoću multi-modelne analize</b> .....	<b>110</b>
<b>6.3.5.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša</b> .....	<b>112</b>
<b>7. ZAKLJUČCI</b> .....	<b>114</b>
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>116</b>
<b>BIOGRAFIJA</b> .....	<b>136</b>

## Sadržaj tabela

<b>Tabela 1.</b> Morfometrijski i meristički podaci za neotip <i>Carassius gibelio</i> , ZMB 33979. Kalous i sar., 2012. ....	9
<b>Tabela 2.</b> Vrednosti merističkih karaktera <i>Carassius auratus gibelio</i> prema različitim autorima. ....	11
<b>Tabela 3.</b> Lokaliteti sa kojih su prikupljeni uzorci za analizu genetičke i morfološke raznovrsnosti kompleksa vrsta <i>Carassius auratus</i> . ....	35
<b>Tabela 4.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne PCR reakcije. ....	37
<b>Tabela 5.</b> Program PCR ciklusa .....	37
<b>Tabela 6.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne digestione reakcije. ....	38
<b>Tabela 7.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne pripreme reakcije za sekvenciranje. ....	39
<b>Tabela 8.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za pripremu acetatne mešavine za taloženje jednog uzorka za sekvenciranje. ....	39
<b>Tabela 9.</b> Referentne sekvence korišćene za identifikaciju vrsta .....	40
<b>Tabela 10.</b> Opis morfometrijskih mera kostiju glavenog skeleta i cleitrum-a korišćenih prilikom analize linearnom morfometrijom .....	44
<b>Tabela 11.</b> Opis karakterističnih tačaka kostiju glavenog skeleta i cleitrum-a korišćenih prilikom analiza geometrijske morfometrije .....	47
<b>Tabela 12.</b> Hidrološke karakteristike ispitivanih akumulacija i broj analiziranih jedinki (N) ispitivanih vrsta po lokalitetu i polu. ....	51
<b>Tabela 13.</b> Kvalitativna i kvantitativna zastupljenost vrsta kompleksa <i>Carassius auratus</i> (prethodno determinisane kao <i>Carassius gibelio</i> ili <i>C. auratus gibelio</i> ) na teritoriji Srbije .....	55
<b>Tabela 14.</b> Rezultati BLAST analize uzoraka sa konzensusnim referentnim sekvencama za vrste roda <i>Carassius</i> za deo gena <i>Cytb</i> (datum pristupa: 17-03-16) .....	63
<b>Tabela 15.</b> Pripadnost analiziranih sekvenci određenim haplotipovima .....	65
<b>Tabela 16.</b> Vrednosti merističkih karaktera (min – max) jedinki srebrnog karaša sa 12 analiziranih lokaliteta .....	70
<b>Tabela 17.</b> Prikaz 9 kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti merističkih parametara i njihova korelacija sa karakterima korišćenim u ovoj analizi. ....	71
<b>Tabela 18.</b> Vrednosti morfometrijskih karaktera celog tela (srednja vrednost ± SD mm) jedinki srebrnog karaša sa 12 analiziranih lokaliteta. ....	71
<b>Tabela 11.</b> Prikaz 11 kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika celog tela analiziranog linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakterima korišćenim u ovoj analizi. ....	73
<b>Tabela 20.</b> Morfometrijske karakteristike kostiju glave i cleithrum-a analiziranih u ovoj studiji (srednja vrednost ± SD mm). ....	77
<b>Tabela 20.</b> Nastavljeno. ....	78
<b>Tabela 21.</b> Rezultati dvofaktorske analize varijanse (ANOVA) i prikazi uticaja pola i lokaliteta na morfološku varijabilnost pojedinačnih kostiju analiziranih linearnom morfometrijom. ....	79
<b>Tabela 22.</b> Prikaz kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika pojedinačnih kostiju glavenog skeleta i cleithrum-a analiziranih linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakterima korišćenim u ovoj analizi. ....	79
<b>Tabela 23.</b> Rezultati dvofaktorske analize varijanse i prikaz uticaja pola i lokaliteta na veličinu centroida pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	81
<b>Tabela 24.</b> Rezultati multiravjantne regresije veličine kostiju, pola i lokaliteta na parametre oblika pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	81

<b>Tabela 25.</b> Rezultati dvofaktorske analize varjanse i prikazi uticaja pola i lokaliteta na morfološku varijabilnost oblika pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	82
<b>Tabela 26.</b> Morfometrijske karakteristike jedinki sa lokaliteta sa različitim prisustvom predatora i protoka (srednja vrednost $\pm$ SD mm). ....	84
<b>Tabela 27.</b> Morfometrijske karakteristike jedinki rano uspostavljenih invazivnih populacija (srednja vrednost $\pm$ SD mm). ....	87
<b>Tabela 28.</b> Prikaz kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika celog tela riba analiziranih linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakterima korišćenim u ovoj analizi. ....	88
<b>Tabela 29.</b> Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša i bodorku po polu i lokalitetu pomoću von Bertalanfijeve (VBGF), Gompercove (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta. ....	93
<b>Tabela 30.</b> Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša uzorkovanog sa Starog Begeja prema polu pomoću asimptotskih von Bertalanfijeve (VBGF), Gompercove (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta i neasimptotske „Power“ (PF) funkcije rasta. Procenjivani parametri: modifikovani Akaikeov informacijski kriterijum (AICc), razlike u odnosu na AICc, min ( $\Delta_i$ ) i Akaikeova težina ( $w_i$ ) za svaki model. Najpogodniji modeli su podebljani. ....	96
<b>Table 31.</b> Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša uzorkovanog sa Starog Begeja prema polu pomoću asimptotskih von Bertalanfijeve (VBGF), Gompercove (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta. Procenjivani parametri: asimptotska dužina ( $L_{\infty}$ ; cm) sa odgovarajućom standardnom greškom (SE) i intervalom pouzdanosti (CI 95%), koeficijent rasta ( $k$ ) i teorijsko doba kada je $L_t = 0$ ( $t_0$ ). Takođe je prikazan i modifikovani Akaikeov informacijski kriterijum (AICc), razlike u odnosu na AICc, min ( $\Delta_i$ ) i Akaikeova težina ( $w_i$ ) za svaki model kao i asimptotska dužina prosečnog modela (MMI). Najpogodniji modeli su podebljani. ....	97

## Sadržaj slika

<b>Slika 1.</b> <i>Carassius auratus gibelio</i> (Bloch, 1782) .....	10
<b>Slika 2.</b> Šematski prikaz dualnog modela ginogeneze i polnog razmnožavanja kod vrsta kompleksa <i>C. auratus</i> .....	16
<b>Slika 3.</b> Mapa Srbije sa označenim lokalitetima sa kojih su prikupljeni uzorci za populaciono-genetičke i analize morfološke varijabilnosti kompleksa <i>Carassius auratus</i> . .....	23
<b>Slika 4.</b> Priprema gela za proveru izolovane DNK metodom elektroforeze .....	36
<b>Slika 5.</b> Priprema PCR reakcije .....	37
<b>Slika 6.</b> Provera PCR produkta dela <i>cytb</i> gena na 1,7% agaroznom gelu .....	38
<b>Slika 7.</b> Prikaz morfometrijskih mera korišćenih za opisivanje biološke forme celog tela riba metodom linearne morfometrije. ....	43
<b>Slika 8.</b> Prikaz kostiju na kojima je vršena linearna morfometrijska analiza sa popisom mera. ....	45
<b>Slika 9.</b> Prikaz položaja 13 karakterističnih tačaka za opisivanje morfološke varijabilnosti celog tela riba metodom geometrijske morfometrije. ....	46
<b>Slika 10.</b> Prikaz položaja karakterističnih tačaka na kostima za analizu geometrijskom morfometrijom. ....	47
<b>Slika 11.</b> Prikaz kvadranata sa kojih su uzorkovane kljušti .....	49
<b>Slika 12.</b> Mapa Srbije. Zvezdice ukazuju na lokacije uzorkovanja(Gruža i Međuvršje). ....	51
<b>Slika 13.</b> Rekonstrukcija filogenetskog stabla .....	67
<b>Slika 14.</b> Rekonstrukcija filogenetskog stabla (Maximum likelihood) na osnovu dela <i>cytb</i> sekvence .....	68
<b>Slika 15.</b> A) Scatter dijagram prve dve kanonijske ose merističkih parametara. B) UPGMA dijagram fenetičkih odnosa merističkih parametara. ....	69
<b>Slika 16.</b> A) Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom. B) UPGMA dijagram fenetičkih odnosa parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom. ....	74
<b>Slika 17.</b> Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	75
<b>Slika 18.</b> UPGMA dijagram fenetičkih odnosa parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom .....	75
<b>Slika 19.</b> Scatter dijagrami prve dve kanonijske ose parametara oblika pojedinačnih kostiju galevenog skeleta i cleithrum-a analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	83
<b>Slika 20.</b> Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom. ....	85

<b>Slika 21.</b> Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	86
<b>Slika 22.</b> Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih linearnom morfometrijom. ....	89
<b>Slika 23.</b> Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika krljušti analiziranih geometrijskom morfometrijom. ....	90
<b>Slika 24.</b> Raspodela učestalosti standardne dužine u apsolutnim brojevima za srebrnog karaša uzorkovanog na akumulaciji Gruža (A) i akumulaciji Međuvršje (B), kao i bodorke uzorkovane na akumulaciji Gruža (C) i akumulaciji Međuvršje (D). ....	91
<b>Slika 25.</b> Dužinsko-težinski odnosi za srebrnog karaša uzorkovanog iz jezera Gruža (A) i Međuvršje (B), kao i bodorke uzorkovane iz jezera Gruža (C) i Međuvršje (D). Linije ukazuju na dužinsko-težinske funkcije dok krugovi i trouglovi ukazuju na primećene dužinsko-težinske podatke za ženke i mužjake, respektivno. ....	92
<b>Slika 26.</b> Procenjene funkcije rasta za srebrnog karaša uzorkovanog iz akumulacija Gruža (A) i Međuvršje (B), kao i bodorke uzorkovane iz akumulacija Gruža (C) i Međuvršje (D). ....	95
<b>Slika 27.</b> Procenjene funkcije rasta (A) i tempo porasta (B) za srebrnog karaša uzorkovanog na Starom Begeju. ....	97
<b>Slika 28.</b> Mapa rasprostranjenja određenih vrsta i linija roda <i>Carassius</i> u okviru Evrope, Azije i Severne Amerike. ....	100
<b>Slika 29.</b> Mapa ulaska invazivnih vrsta na teritoriju Srbije .....	108



## 1. UVOD

Vodena staništa su, zahvaljujući svojim jedinstvenim osobinama, veoma izložena različitim oblicima bioloških invazija. Posebno su ugroženi slatkovodni ekosistemi koji zbog blizine kopna i relativno malih dubina beleže veću stopu pada diverziteta u poređenju sa terestričnim ekosistemima (Sala i sar., 2000; Dudgeon i sar., 2006).

Vrste koje naseljavaju određeno stanište se prema poreklu mogu podeliti na autohtone i alohtone (unesene) vrste. Autohtone (nativne) vrste naseljavaju područja na čije su uslove života dobro prilagođene i gde je njihovo postojanje isključivo rezultat prirodnih procesa. Alohtone vrste su najčešće čovekovim delovanjem (slučajno ili namerno) unete u neko stanište (biotop) u kome do tada nisu bile prisutne i koje se nalazi van njihovog prirodnog areala (Westbrooks, 1998). Unesene vrste mogu, ali i ne moraju biti štetne za ekosistem novog staništa koje nasele. Iako i autohtone i alohtone vrste mogu imati invazivan karakter, kod alohtonih je to mnogo češći slučaj, ali nije nužno da nova vrsta u ekosistemu postane i invazivna.

Invazivne vrste do recipijentnog ekosistema dospevaju na različite načine. Najčešće je vektor prenosa čovek, mada može biti i neki drugi organizam (Panov i sar., 2009). Alohtone vrste riba najčešće dospevaju u akvatične ekosisteme kroz čovekove delatnosti: neadekvatno poribljavanje, akvakulturu, akvaristiku, brodarstvo (balasna voda brodova), saobraćaj manjih plovnih objekata. Brzina širenja njihovog areala može biti dodatno ubrzana i olakšana određenim ljudskim delatnostima (Minchin i sar., 2007).

Osnovni putevi unosa i širenja alohtonih vrsta riba su označeni terminom invazivni koridor. Na teritoriji Evrope postoje četiri osnovna invazivna koridora (Galil i sar., 2007). Severni koridor ide rekama Volga, Don i Neva i povezuje Crno, Kaspijsko i Azovsko more sa Baltičkim morem. Ukupne je dužine oko 6.500 km. Centralni koridor teče rekama Dnjepar i Bug i spaja Crno i Severno more, dok Južni koridor (dužine 3.500 km) spaja Crno sa Severnim morem, preko Dunava, Rajne i Majne. Ovaj koridor je, nakon ponovnog otvaranja kanala Rajna-Majna i povezivanja slivova Rajne i Dunava 1992. godine, postao najznačajniji put za širenje alohtonih vrsta sa istoka na zapad (Bij de Vaate, 2002). Zapadni koridor, preko Rajne i Rone, spaja Mediteran sa Severnim morem. Pored ova četiri glavna koridora, postoje i dva manja, severni i južni interkoridor (Panov i sar., 2009).

Kada dospeju u novu sredinu alohtoni taksoni se mogu proširiti i realizovati deo ili kompletan životni ciklus. Ponekad, jedinke alohtonih vrsta nisu sposobne za samostalnu reprodukciju. U takvim slučajevima se radi o aklimatizovanim taksonima. Proces aklimatizacije može trajati određeno vreme sve dok se vrsta ne prilagodi i počne uspešno razmnožavanje (naturalizuje) ili dok unete jedinke ne uginu. Naturalizovani taksoni su se u potpunosti prilagodili staništu koje su naselili, u njima nesmetano obavljaju sve svoje životne funkcije, uključujući i uspešan proces razmnožavanja. Vremenom, naturalizovani taksoni formiraju manje ili više stabilne populacije na datom području.

Introdukovane vrste koje su se naturalizovale u recipijentnom području, često nemaju prirodnih neprijatelja koji bi svojim životnim aktivnostima ograničavali njihovu reprodukciju i dalje širenje areala. Omasovljenjem u novim staništima populacije alohtone vrste mogu negativno uticati na autohtone biocenoze, menjajući njihovu strukturu kao i funkcionisanje čitavih ekosistema.

Pored toga, u pojedinim slučajevima moguć je nastanak određenih socio-ekonomskih posledica na stanovništvo tog područja (Perdikaris, 2012; Tarkan i sar., 2012). Vrste koje imaju takav efekat na postojeće biocenoze nazivamo invazivne vrste (Davis i Thompson, 2000). U savremeno doba se invazivne vrste smatraju jednim od najznačajnijih faktora smanjenja biodiverziteta (Lambertini i sar., 2011). Prva etapa u evoluciji invazivnih vrsta predstavlja njihovo unošenje, uspešnu kolonizaciju i formiranje stabilne populacije. Druga etapa podrazumeva omasovljenje i stupanje u kompetitivne odnose sa pripadnicima nativnih vrsta (Allendorf i Lundquist, 2003). U kasnijem periodu, nakon uspešne aklimatizacije, populacija introdukovane vrste može preuzeti primat na novom staništu i čak postati dominantna (Occhipinti-Ambrogi i Galil, 2004).

Uspešna naturalizacija alohtonih vrsta dovodi do narušavanja trofičkih odnosa u ekosistemu, što najčešće uslovljava smanjenje biodiverziteta, oslobađanje novih ekoloških niša i njihovo zauzimanje od strane alohtonih vrsta. Naturalizaciju alohtonih vrsta može olakšati i narušenost ekosistema, odnosno poremećaj ekološke ravnoteže pod uticajem spoljnih faktora (Alexandrov i Zaitsev, 1998). U tom slučaju, najčešće dolazi do narušavanja normalnih životnih funkcija autohtonih vrsta naviknutih na prethodno stanje ekosistema, dok alohtone vrste u tom slučaju mogu iskoristiti novonastalu situaciju i zauzeti oslobođene ekološke niše. Omasovljene alohtonih vrsta može dodatno doprineti ubrzavanju degradacionih procesa staništa (npr. uništavanjem staništa neophodnih za mrest autohtonih vrsta).

Invazivne vrste najčešće poseduju veliki reproduktivni potencijal, izražene kompetitivne sposobnosti i veliku sposobnost adaptacije, što im u kombinaciji sa izostankom prirodnih predatora omogućava da ispoljavaju mnogo bržu populacionu ekspanziju u odnosu na nativne taksone. Za najveći broj alohtonih invazivnih vrsta najpogodnija za naseljavanje su staništa izrazito narušenih ambijentalnih svojstava kao i veštačka (antropogeno formirana) staništa. Stepenn invazija direktno je proporcionalan stepenu urbanizacije i hidro-morfološke degradacije određenog područja (Lazarević i sar., 2012).

Čovek je svojim delovanjem, namerno ili slučajno, mnoge vrste preneo i uneo u nove biotope, ponekad veoma udaljene od izvornog i autohtonog areala. Često su introdukcije vršene i preko prirodnih geografskih barijera koje jedinke tih vrsta ne bi uspele da savladaju u prirodnim uslovima (okeani, planinski masivi, pustinjski predeli itd.). Ponekad su pojedine alohtone vrste introdukovane u novi biotop s određenim ekološkim ili komercijalnim ciljem, mada neretko dolazi i do njihovog slučajnog oslobađanja iz kontrolisanih uslova (akvakultura, akvaristika) u otvorene okolne vode.

Smatra se da invazivne vrste na nekom području, uz direktno narušavanje ekologije staništa, predstavljaju najveću opasnost za njegovu biološku raznovrsnost. Unošenje invazivnih vrsta ipak nije tekovina savremenog doba. Problematika invazivnih vrsta je aktuelna od otkrića i kolonizacije Novog sveta, ali je tek u 20. veku prepoznata kao jedna od najvećih pretnji za očuvanje globalnog biodiverziteta. Pod uticajem antropogenih faktora, širenje određenih vrsta daleko van granica njihovog prirodnog areala i njihov uticaj na strukturu ekosistema, postali su globalni problem. Zbog toga su poslednjih decenija istraživanja bioloških invazija intenzivirana, kako u svetu, tako i kod nas (Lazarević i sar., 2012).

Kontrola invazivnih vrsta i smanjivanje njihovog potencijalno negativnog uticaja na autohtone vrste i celokupne ekološke sisteme predstavlja jedan od najvećih izazova savremenih programa zaštite prirode. Srbija, kao i mnoge države u okruženju, imaju sve više problema s alohtonim vrstama koje su poprimile ili tek razvijaju svoj invazivni karakter. Jedan od razloga je

nemogućnost njihove eliminacije iz staništa na kojem su se proširile (izuzev nekih manjih izolovanih ekosistema). Zbog svega navedenog, veoma je važno rano otkrivanje prisustva invazivnih vrsta u određenom ekosistemu, upoznavanje sa njihovim biološkim i ekološkim osobinama i preferencijama i sve to dok je još moguća delotvorna primena mera kontrole širenja i uklanjanja.

Jedan od razloga unosa alohtonih vrsta riba je njihovo gajenje u ribnjacima, pošto pojedine imaju ekonomski značaj. Međutim, postoje slučajevi da su pored planiranih, u ribnjake ili otvorene ekosisteme slučajno unošene i druge alohtone vrste. Primeri za to su introdukcije vrsta kompleksa *Carassius auratus*, amurskog čebačoka (*Pseudorasbora parva*) i amurskog spavača (*Perccottus glenii*), vrsta koje se veoma brzo aklimatizuju i naturalizuju, ispoljavajući određeni stepen invazivnosti (Harka i sar., 1999).

Invazivne vrste riba, iako potiču iz drugih zoogeografskih oblasti, najčešće ispoljavaju dobru adaptiranost na uslove nove životne sredine. To često rezultira uspostavljanjem novih odnosa sa različitim autohtonim biljnim i životinjskim vrstama koje naseljavaju određeni ekosistem. Osim zaoštavanja kompetitivnih odnosa, veliki problem je mogućnost stupanja u hibridizacione odnose sa autohtonom ihtiofaunom, čime se remeti genetska ravnoteža populacija autohtonih vrsta. Nije retka pojava da vrsta koja je unešena bude prirodni domaćin nekim mikroorganizmima koji mogu delovati pogubno na pojedine autohtone vrste, a sa povećanjem gustine populacija povećava se i verovatnoća širenja bolesti (Lazarević i sar., 2012).

Imajući u vidu sve napred navedeno, može se zaključiti da su nakon unosa alohtonih vrsta u novu sredinu, mogući sledeći ishodi:

- nestanak alohtone vrste, usled nedostatka slobodne ekološke niše,
- istrebljenje alohtone vrste od strane autohtonog predatora u vrlo ranom stadijum naseljavanja,
- pronalaženje slobodne niše unutar postojeće zajednice, odnosno prilagođavanje na izvore hrane koji nisu bili u potpunosti iskorišćeni, čime alohtona vrsta postaje član zajednice,
- hibridizacija između alohtonih i autohtonih vrsta, što može dovesti do gubitka lokalnih genetičkih adaptacija autohtonih taksona,
- izumiranje ili značajno smanjenje brojnosti autohtone vrste,
- unos novih parazita i bolesti

Problematika introdukcija novih vrsta u nova staništa zahteva integralni pristup i sveobuhvatno proučavanje njihovih ekoloških svojstava. To ima veliki praktični značaj u cilju ograničenja preteranog omasovljenja kao i održanje strukture i normalnog funkcionisanja čitavog ekosistema.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Invazivne vrste riba u Srbiji

Vodeni ekosistemi severnog dela Srbije naročito su izloženi bioinvazijama. Tome doprinose osobenosti hidrografske mreže i uticaj vodotokova susednih zemalja, demografski raspored, izlivanje industrijskih otpadnih voda, rečni saobraćaj i drugi faktori. Plovni putevi Srbije predstavljaju bitan faktor koji može neposredno (unošenje alohtonih vrsta) i posredno (modifikacije rečnih tokova) uticati na povećanje diverziteta alohtonih vrsta.

Vodotoci Srbije pripadaju Dunavskom (Crnomorskom), Egejskom i Jadranskom slivu. Stalno ili povremeno ih naseljava 94 vrste riba svrstanih u 23 familije (Simonović, 2001, Kotlík i sar., 2002, Miljanović i sar., 2007, Cvijanović i sar., 2005, Šipoš i sar., 2004, citirano iz Lazarević i sar., 2012; Kottelat i Freyhof, 2007). Broj introdukovanih vrsta se prema različitim autorima kreće od 9 (Maletin i sar., 1997), 13 (Simonović i Nikolić, 1996), 22 (Lenhardt i sar., 2011), 23 (Simonović, 2001) do 26 vrsta (Simonović, 2009). Bez obzira da li je reč o vrstama koje su stalno prisutne ili se radi o pojedinačnim nalazima, ovi podaci potvrđuju da stopa introdukcije u vode Srbije, posebno Dunavskog sliva (zauzima 92% površine Srbije), stalno raste. Omasovljenje pojedinih alohtonih vrsta dovodi do pogoršanja uslova egzistencije predstavnika autohtone ihtiofaune.

Dunav, kao deo Južnog invazivnog koridora Evrope (Galil i sar., 2007) predstavlja jednu od najinteresantnijih oblasti za praćenje unosa i širenja alohtonih invazivnih vrsta (Wiesner i sar., 2000; Kováč i Siryová, 2005; Wiesner, 2005; Piria i sar., 2011). Putevi širenja areala introdukovanih vrsta u Srbiji iz Dunava idu njegovim neposrednim pritokama Savom, Tisom i Moravom. Neplanskim i nekontrolisanim poribljavanjem otvorenih voda Srbije došlo je do unosa mnogih vrsta riba sa teritorije Kine ("kineski" kompleks) i Severne Amerike ("američki" kompleks), iako je u manjoj meri, evidentirano prisustvo introdukovanih pripadnika severne oblasti centralno-evropske divizije (Simonović, 2001; Lenhardt i sar., 2011). Masovniji unos ovih ribljih vrsta u deo toka Dunava kroz Srbiju započeo je početkom 20. veka introdukcijom američkog patuljastog somića (*Ameiurus sp.*) poreklom iz Severne Amerike (Welcomme, 1988). Nakon toga je došlo do introdukcije azijskih ciprinida, belog amura (*Ctenopharyngodon idella*) i sivog tolstolobika (*Hypophthalmichthys nobilis*) (Cakić i Hristić, 1987). Ove dve vrste su unete planski jer su zbog svojih hranidbenih navika predstavljale potencijalno rešenje za procese zarastanja makrofitama akvatičnih ekosistema i prekomernu eutrofizaciju (Maletin i sar., 2007). Međutim, često su uz planska poribljavanja, unošene i druge vrste kao što su vrste kompleksa *Carsassius auratus*, amurski čebačok i amurski spavač (Harka i sar., 1999) koje su ispoljile negativan uticaj ugrožavajući životne aktivnosti autohtonih vrsta riba. Osim spomenutih autora, unosom alohtonih vrsta riba u Dunav i njegove pritoke Srbije i šireg regiona do sada se bavio veliki broj istraživača: Ristić, 1968; Harka, 1974; Janković, 1977; Mikuška, 1981; Karaman, 1983; Cakić 1983 a, b; 1984; 1987; Tóth, 1984; Maletin, 1988 a, b; Maletin i Kostić, 1988; Pujin i sar., 1988; Maletin i sar., 1990; Maletin i Đukić, 1991; Janković i Karapetkova, 1992; Kostić i Maletin, 1992; Budakov 1993; Budakov i sar. 1995; Simonović i Nikolić, 1996; Maletin i sar., 1997; Simonović, 2001). Najčešće je teško precizno

odrediti uticaj alohtonih vrsta riba na nativnu ihtiofaunu i celokupan ekosistem, prvenstveno zbog nedostatka odgovarajućih validnih podataka o prethodnom stanju staništa i mogućnosti nastanka različitih interaktivnih odnosa.

Najrasprostranjenije alohtone vrste u vodotocima Srbije su američki patuljasti somići - *Ameiurus nebulosus* i *A.melas*, vrste kompleksa *C. auratus*, sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i amurski čebačok (*Pseudorasbora parva*) (Lenhardt i sar., 2011). Posledica njihovog prisustva i omasovljenja je promena strukture postojećih zajednica riba i njihov negativan uticaj na autohtonu ihtiofaunu. Prema rezultatima FISK protokola (Fish Invasiveness Screening Kit – protokol invazivnog potencijala riba) za alohtone vrsta riba Dunava i njegovih pritoka u Srbiji, najveći invazivni potencijal imaju upravo vrste kompleksa *C.auratus*, *Ameiurus nebulosus* i *A.melas*. (Simonović, 2009).

## 2.2. Rod *Carassius*

### 2.2.1. Sistematski status roda *Carassius*

Prema Integrated Taxonomic Information System –ITIS (2011) sistematski status roda *Carassius* je sledeći:

*Regnum Animalia*  
*Phylum Chordata*  
*Subphylum Vertebrata*  
*Superclassis Osteichthyes*  
*Classis Actinopterygii*  
*Subclassis Neopterygii*  
*Infraclassis Teleostei*  
*Superordo Ostariophysi*  
*Ordo Cypriniformes*  
*Superfamilia Cyprinoidea*  
*Familia Cyprinidae*  
*Genus Carassius Nilsson, 1832 - Crucian carps*

Porodica *Cyprinidae* obuhvata šaranske ribe slatkih voda Evroazije, Afrike i Severne Amerike gde najčešće predstavljaju dominantnu grupu riba. Ovu porodicu čini oko 3000 vrsta razvrstanih u oko 370 rodova (Froes i Pauly, 2015). Pripadnici ove porodice čine oko 10% svih vrsta riba, a oko 25% svih slatkovodnih vrsta riba, što ih čini najvećom porodicom riba uopšte. Veoma su raznovrsne u pogledu morfoloških odlika. Zajedničke osobine svih predstavnika porodice su: prisustvo ždrelnih zuba, Weberovog aparata, cikloidan tip krljušti i protraktilna usta koja mogu okruživati 1-2 para brkova, dok se međusobno veoma razlikuju prema ekološkim i bihevioralnim osobinama.

Slatkovodne ribe iz roda *Carassius* široko su rasprostranjene na evroazijskom kontinentu, od Portugala do Japana i od sibirskih reka do južne Kine i Vijetnama (Szczerbowski, 2002, a, b, citirano iz Rylkova i sar., 2012), ali i drugim kontinentima (Kottelat i Freyhof, 2007). Imaju ogroman ekonomski značaj u akvakulturi, posebno u Aziji. U Kini godišnja produkcija vrsta iz ovog

roda dostiže i do 2 miliona tona (Gu i Zhou, 2010, citirano iz Rylkova i sar., 2012). Predstavljaju najpopularniju grupu riba u svetskoj akvaristici (Rylková i sar., 2012). Zbog svega navedenog postojao je veliki interes za njihovu introdukciju u vodotoke Evrope (Savini i sar., 2010, citirano iz Rylkova i sar., 2012). Pojedine vrste ovog roda se smatraju najuspešnijim invazivnim vrstama sa značajnim ekološkim uticajem na ekosisteme u kojima su introdukovane (Copp i sar., 2005).

## 2.3. Kompleks *Carassius auratus*

### 2.3.1. Taksonomski status kompleksa *Carassius auratus*

Velika morfološka sličnost vrsta u okviru ovog roda, kao i intraspecijska varijabilnost morfoloških karakteristika (Hensel, 1971; Lusk i Baruš, 1978; Vasileva, 1990; Vasileva i Vasilev, 2000, citirano iz Kalous i sar., 2012), često dovodi do konfuzije u njihovoj taksonomiji i biogeografiji (Kalous i sar., 2012). Jedina vrsta koja se jasno može determinisati i razlikovati od ostalih je *C. carassius*, dok se taksonomski položaj ostalih vrsta menjao u zavisnosti od različitih klasifikacija (Kottelat i Freyhof, 2007).

Poreklo i taksonomski status vrste koja se smatra najrasprostranjenijom vrstom riba u Evropi i Aziji i danas je predmet rasprava, a do sada je imala različite nazive i taksonomske statuse: *Cyprinus gibelio* (Bloch, 1782), *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782), *Carassius bucephalus* (Heckel, 1837), *Cyprinus amarus* (Koch, 1840), *Carassius ellipticus* (Heckel, 1848), *Carassius vulgaris ventrosus* (Walecki, 1863), *Carassius vulgaris kolenty* (Dybowski, 1877), *Carassius auratus gibelio vovkii* (Johansen, 1945) (Kottelat i Freyhof, 2007). Razlozi za ovu taksonomsku konfuziju su mnogobrojni, a među najznačajnijim su: složen način razmnožavanja, poliploidija, konstantne introdukcije i translokacije, intraspecijska varijabilnost, morfološka sličnost sa vrstama *C. auratus* i *C. carassius*, kao i pojava hibridizacija (Pelz, 1987, Vasilieva i Vasiliev, 2000, citirano iz Perdikaris i sar., 2012; Kottelat i Freyhof 2007). Veoma česta pojava triploidnih jedinki i čitavih populacija jedinki takvog kariotipa se objašnjava ginogenetskim načinom razmnožavanja, mada postoje i teorije da je triploidna forma vrste *C. gibelio* nastala davnom hibridizacijom ženke *C. auratus* i mužjaka *C. carpio* (Chun i sar., 2001). Penaz i sar. (1979) (citirano iz Perdikaris., 2012) smatrali su da je *C. gibelio* nastao kao ogranak vrste *C. auratus*, a Lelek (1987) (citirano iz Perdikaris., 2012) je *C. gibelio* opisao kao varijetet *C. carassius*. Tek je Kottelat (1997) prepoznao *C. gibelio* kao zasebnu vrstu.

Postojalo je nekoliko pokušaja klasifikacije vrsta u okviru ovog roda na osnovu morfoloških odlika, preferencije staništa i geografske izolovanosti. Prema prvom pokušaju, čitav rod *Carassius* je podeljen na dve vrste, *C. carassius* i *C. auratus*. U okviru vrste *C. auratus* izvršena je dodatna podela na šest podvrsta: *C. a. auratus*, *C. a. gibelio*, *C. a. cuvieri*, *C. a. grandoculis*, *C. a. buergeri* i *C. a. langsdorfii* (Rylkova i Kalous, 2013). Drugi pokušaj klasifikacije je uvrstio pet vrsta u rod *Carassius*: *C. carassius*, *C. auratus*, *C. gibelio*, *C. cuvieri* i *C. langsdorfii* (Bănarescu, 1991; Hosoya, 2002; Szczerbowski, 2002). Prema nekim teorijama se izdvajaju i vrste *C. grandoculis* i *C. buergeri* teritorije Japana (Kawanabe i Mizuno, 1989, Suzuki i sar., 2005, citirano iz Kalous i sar., 2012), kao i *C. argenteaphthalmus* iz Severnog Vijetnama (Nguyen i Ngo, 2001). Ove dalekoistočne vrste su za sada nedovoljno proučene da bi se komentarisao njihov identitet, tako da se pri aktuelnim studijama isključuju iz zvaničnog popisa vrsta roda *Carassius*.

Dodatni otežavajući faktor pri determinaciji vrsta ovog roda predstavljali su i različiti nivoi ploidnosti u nekim populacijama (Abramenko i sar., 1997, Lusková i sar., 2004, citirano iz Rylkova i sar., 2012). Dugo se verovalo da su *C. gibelio* i *C. langsdorfii* isključivo triploidne vrste ( $3n \approx 150$ ), a da su ostale vrste iz kompleksa diploidni ( $2n \approx 100$ ). Nakon što su otkrivene i potvrđene diploidne forme navedenih vrsta, kao i triploidi vrste *C. auratus* (Abramenko i sar., 1997, Takada i sar., 2010, Xiao i sar., 2011, citirano iz Rylkova., 2012), ova teorija se smatrala neodgovarajućom. Sveobuhvatnim istraživanjem Rylková i sar. (2012) utvrđeno je da su samo populacije *C. carassius* isključivo diploidne, dok je 20% populacija *C. gibelio*, 26% populacija *C. langsdorfii* i 49% populacija *C. auratus* diploidno, uz značajno prisustvo triploidnih jedinki.

Kako bi se prevazišli problemi sa determinacijom vrsta ovog roda na osnovu morfoloških taksonomskih karaktera, sve češće se primenjuju molekularno-genetički markeri kao što su mikrosatelitska DNK ili delimično sekvenciranje mitohondrijalne DNK (Yamamoto i sar., 2010; Kalous i sar., 2012).

Prema Kalous i sar. (2012), na osnovu mtDNK, područje evropskog kontinenta naseljava najmanje pet linija roda *Carassius* koji odgovaraju definicijama četiri taksona i jedne, još uvek neopisane, vrste: *C. carassius* (Linnaeus, 1758), *C. auratus* (Linnaeus, 1758), *C. gibelio* (Bloch, 1782), *C. langsdorfii* (Temminck i Schlegel, 1846) i *C. sp.* Poreklo ovih vrsta je teško precizno odrediti, ali se kombinovanjem literaturnih podataka i rezultata novih molekularnih analiza došlo do konkretnijih informacija.

Prema dosadašnjim podacima vrsta *C. carassius* autohtono naseljava veći deo Evrope osim Mediteranskog basena. Intradukovana je na teritoriju Velike Britanije, Italije i Francuske (Kottelat i Freyhof, 2007). Analizama mtDNK potvrđeno je prisustvo ove vrste u Austriji, Češkoj, Nemačkoj, Velikoj Britaniji i Švedskoj (Rylková i sar., 2012).

Sve populacije *C. auratus* na teritoriji Evrope pripadaju istoj mitohondrijalnoj liniji (*C. auratus* I). U Aziji, pored ove linije, žive i populacije koje se odlikuju mnogo većim diverzitetom, a pripadaju drugoj mitohondrijalnoj liniji (*C. auratus* II) (Gao i sar., 2012, citirano iz Rylkova i sar., 2012). Ova vrsta u Evropi preferira više temperature u toku zime i jedina je koja naseljava samo područje južne Evrope. Populacije u Portugalu, Španiji i Italiji su uglavnom diploidne, dok su populacije na Balkanu (Albanija, Crna Gora, Grčka) pretežno triploidne (Rylková i sar., 2012). Navedeni podaci o ploidnosti nesumljivo ukazuju na različito poreklo ovih populacija.

Pripadnici vrste *C. langsdorfii* su na teritoriji Evrope prvi put registrovani tek 2000. godine (Kalous i sar., 2007, citirano iz Rylkova i sar., 2012) i smatra se da su tek nedavno introdukovane. Na teritoriji Bosne i Hercegovine i severne Nemačke nađene su juvenilne jedinke ove vrste što ukazuje na njihovu uspešnu reprodukciju u otvorenim vodama. Preciznim morfološkim (Hosoya, 2002, citirano iz Kalous i sar., 2012) i genetičkim (Takada i sar., 2010; Yamamoto, 2010) istraživanjima sprovedenim na jedinkama ove vrste sa teritorije nativnog areala (Japan) utvrđeno je postojanje najmanje dve genetske linije (Kalous i sar., 2007, citirano iz Rylkova i sar., 2012; Tsipas i sar., 2009; Takada i sar., 2010). Pošto su jedinke uzorkovane u Evropi pripadale različitim linijama, može se zaključiti da je introdukcija vršena u više navrata i iz različitih japanskih populacija. Pripadnici ove vrste su registrovani još na teritoriji Češke, Grčke, Italije i Ukrajine (Rylková i sar., 2012).

Vrsta *C. gibelio* je najšire rasprostranjena vrsta ovog roda. Zbog izuzetno niskog genetičkog diverziteta nije moguće precizno utvrditi njeno poreklo i puteve introdukcije. Iako je prisustvo vrste zabeleženo na teritoriji Evrope još u 18. veku, značajnija brojnost populacija registrovana je

tek 60-ih godina prošlog veka (Holčik i Žitňani, 1978, citirano iz Rylkova i sar., 2012). Ova vrsta se najčešće nije ubrajala u native za područje Evrope, ali danas postoje relativno čvrsti dokazi da je *C. gibelio* na područje centralne i istočne Evrope dospela prirodnim postglacijalnim širenjem areala (pre oko 8000 godina). Međutim, s obzirom da je cela Evropa tokom 20. veka kolonizovana različitim biotipovima roda *Carassius*, veoma se teško može utvrditi tačno njeno poreklo kao i ostalih vrsta ovog roda (Rylková i sar., 2013). Prisustvo predstavnika ove vrste je prema mtDNA potvrđeno na teritoriji Austrije, Bosne i Hercegovine, Bugarske, Hrvatske, Češke, Estonije, Finske, Francuske, Nemačke, Grčke, Mađarske, Italije, Poljske, Rumunije, Slovačke, Turske i Ukrajine (Rylková i sar., 2012). Niska genetička raznovrsnost vrste je posledica izuzetno širokog areala, velikih gustina populacije i učestalog ginogenetskog načina razmnožavanja uz dominaciju određenih klonalnih linija (Vrijenhoek, 1998).

Kako bi se razjasnio taksonomski status vrste *C. gibelio* opisan je neotip. On po svim morfološkim parametrima odgovara opisu koji je dao Bloch (1782) za *C. gibelio* (Tabela 1). Da bi se izbegli taksonomski problemi koji potiču od visokog procenta poliploidnih uzoraka ginogenetski reprodukujućih linija, za neotip je odabran diploidni odrasli mužjak ( $2n=100$ ), prema veličini jedra eritrocita i prisustvu mresnih tuberkula. Obzirom da današnja istraživanja pokazuju da se pod imenom *C. gibelio*, podrazumeva najmanje dve različite vrste, jedna koja naseljava Mongoliju (*C. gibelio* II) i druga koja naseljava teritoriju Evrope, Rusije, istočne Mongolije i Kine (*C. gibelio* I) (Kalous i sar., 2012), navedeni neotip se odnosi na evropsko-kinesku liniju. U tom slučaju ova linija može zadržati ime *C. gibelio*, dok bi mongolska linija morala biti drugačije imenovana.



**Tabela 1.** Morfometrijski i meristički podaci za neotip *Carassius gibelio*, ZMB 33979. Kalous i sar., 2012.

Morfometrijski i meristički karakteri	Dužina (mm)	% od standardne dužine tela
Totalna dužina tela	163.0	127.9
Standardna dužina tela	127.4	100.0
Bočna dužina glave	37.5	29.4
Antedorzalno rastojanje	63.6	49.9
Antepektoralno rastojanje	36.1	28.3
Anteventralno rastojanje	61.8	48.5
Dužina tela do analnog otvora	91.7	72.0
Anteanalno rastojanje	94.6	74.3
Dužina rila	11.8	9.3
Horizontalni diametar oka	7.3	5.7
Interorbitalna širina	15.6	12.2
Debljina glave u nivou očiju	23.2	18.2
Debljina glave u potiljačnom regionu	33.2	26.1
Debljina tela na početku dorzalnog peraja	51.1	40.1
Debljina tela na početku analnog peraja	36.3	28.5
Debljina tela u nivou repnog stabla	19.5	15.3
Dužina repnog stabla	21.0	16.5
Širina glave u nivou očiju	19.2	15.1
Najveća širina glave	25.4	19.9
Širina tela na početku dorzalnog peraja	26.0	20.4
Širina tela na početku analnog peraja	17.2	13.5
Visina dorzalnog peraja	24.3	19.1
Dužina gornjeg reznja repnog peraja	34.7	27.2
Dužina srednjeg dela repnog peraja	20.6	16.2
Dužina donjeg reznja repnog peraja	36.8	28.9
Visina analnog peraja	20.9	16.4
Dužina trbušnog peraja	26.0	20.4
Dužina grudnog peraja	25.9	20.3
Broj otvora u bočnoj liniji	28	
Broj krljušti duž bočne linije	26 + 2	
Broj krljušti između bočne linije i početka dorzalnog peraja	1/2 6	
Broj krljušti između bočne linije i ventralnog peraja	8	
Broj redova krljušti oko repnog stabla	16	
Broj granatih žbica u dorzalnog peraju	18 ½	
Broj granatih žbica u repnom peraju	9 + 8	
Broj granatih žbica u analnom peraju	5 ½	
Broj žbica u ventralnom peraju	9	
Broj žbica u pektoralnom peraju	18	

### 2.3.2. Opis vrsta kompleksa *Carassius auratus*

Površina tela predstavnika vrsta kompleksa *C. auratus* je najčešće srebrnkasto-smeđe boje. Glava i telo bočno su spljošteni, telo je vretenastog oblika, visoko, najveća visina je ispred početka leđnog peraja (Slika 1). Glava je mala, bez brkova, oči su krupne. Leđa su najčešće zeleno-srebrnkasto-smeđa, bokovi srebrnkasti, često sa primesama žute boje, dok je stomak bele ili svetlo smeđe boje. Leđno i repno peraje su sivo-smeđi, dok su analno, grudna i trbušna peraja svetlo siva. Leđno peraje ima veoma dugu osnovu, dok je slobodna ivica prava ili konveksna. Prva žbica leđnog peraja je nazubljena sa zadnje strane. Kaudalno peraje je blago podeljeno na dva režnja, od kojih je donji neznatno duži od gornjeg. Grudno peraje se proteže unatrag do početka ventralnog peraja. Ventralno peraje ne doseže do analnog peraja. Analno peraje ima umereno dugu osnovu i karakterističnu oštru i nazubljenu bodlju i ne doseže do kaudalnog peraja (Kottelat i Freyhof, 2007; Kalous i sar., 2012). Tuberkule za razmnožavanje se nalaze ispod oka, na operkulumima i duž dorzalne površine prve žbice pektoralnog peraja. Broj, veličina i raspored tuberkula razlikuje se na levoj i desnoj strani tela. Pošto jedinke ovog kompleksa žive u blizini dna i dolaze u dodir sa tvrdim predmetima, telo im je prekriveno krupnim i debelim cikloidnim krljuštima duboko usađenim u kožu. Faktor krljušti koji predstavlja odnos između poprečne i najveće dužine krljušti iznosi 1.00 (Grginčević i sar., 1987).

Maksimalno zabeležena dužina tela predstavnika kompleksa *C. auratus* je od 35 cm (Kottelat i Freyhof, 2007) do 45 cm (Vuković i Ivanović, 1971) dok je uobičajena dužina oko 20 cm (Kottelat i Freyhof, 2007). Različiti autori beleže različitu masu tela zavisno od lokaliteta, a maksimalno mogu dostići 1240 g (Kostić, 1988), pa čak 2 kg i 3 kg (Simonović, 2001; Kottelat i Freyhof, 2007). Vrednosti maksimalne dužine i mase tela jedinki pokazuju velika variranja između populacija koje naseljavaju različita staništa. Vrste ovog kompleksa se odlikuju brzim rastom tokom prve dve do tri godine života koji se polako usporava sa nastupanjem polnog sazrevanja (Leonardos i sar., 2001, 2008b; Innal, 2012).



**Slika 1.** *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782)

Jedinke koje su uzorkovane na teritoriji bivše Jugoslavije i Srbije i determinisane kao srebrni karaš (*Carassius auratus gibelio*, *Carassius gibelio* itd.) odlikovale su varijabilne vrednosti me-

rističkih karaktera (Tabela 2).Kostić (1988) ističe da su najvarijabilniji meristički karakteri broj branhiospina i broj kičmenih pršljenova s tim da se razlike u broju kičmenih pršljenova mogu objasniti uticajem temperature na kojoj se odvijalo embrionalno razviće. U slučaju da se razviće dešava na temperaturama nižim od optimalnih, registruje se povećan broj kičmenih pršljenova.

<b>Tabela 2.</b> Vrednosti merističkih karaktera <i>Carassius auratus gibelio</i> prema različitim autorima. (D – tvrde i meke žbice dorzalnog peraja; A – tvrde i meke žbice analnog peraja; P – tvrde i meke žbice pektoralnog peraja; V – tvrde i mene žbice ventralnog peraja; LL – broj kljušti u bočnoj liniji, iznad i ispod nje)			
Meristički karakter	Vuković i Ivanović, 1971	Simonović, 2001	Kalous i sar., 2012
D	III-IV (14) 15-19	III-IV 14-19	V 18
A	II-III 5-6	III 5-6	III 5
P	-	I 14-18	I 18
V	-	I 7-8	I 9
LL	5-7 28 - 33 (34) 5-7	28 - 32 <sup>5-7</sup> 5-7	-
Broj branhiospina	39-52	35-54	47
Broj kičmenih pršljenova		29-31	28

### 2.3.3. Areal i širenje vrsta kompleksa *Carassius auratus*

Nativni areal vrsta kompleksa *C. auratus* obuhvata severnu i severoistočnu Kinu. Način na koji su dospеле na teritoriju Evrope, još uvek nije u potpunosti razjašnjen (Lendhart i sar., 2011). Iako se u radovima koji su u ovom poglavlju citirani uglavnom radi o vrsti srebrni karaš ili babuška, imenovanom pod tada validnim latinskim nazivom (*C. auratus gibelio*, *C. gibelio*), u daljem tekstu je, zbog taksonomske korektnosti, korišćena zbirna odrednica za kompleks *C. auratus*.

Prema navodima Pojoga (1977), jedinice kompleksa *C. auratus* su 1912. godine prirodnim putem (disperzijom) naselile donji tok Dunava, odakle su se širile podunavskim zemljama. Bacalbasa-Dobrovici (1982) navodi da se naseljavanje desilo nešto kasnije (1920. godine) i da je prva zemlja u koju su dospеле bila Rumunija. Szczerbowski (2002) smatra da su predstavnici ovog kompleksa preneti u Evropu (evropski deo Rusije) tek 1948. godine. Međutim, podaci iz podunavskih zemalja sredinom 20. veka više potvrđuju tvrdnje Pojoga (1977) i Bacalbasa-Dobrovici (1982) o ranijem naseljavanju ovog područja. Drenski (1951) je zabeležio prisustvo vrsta kompleksa *C. auratus* u vodama Bugarske 1940-ih godina. U ovoj zemlji se već 50-ih godina 20. veka ovom kompleksu pridaje veliki ekonomski značaj, uz veliku ekspanziju narednih decenija (Holčik i sar., 1978; Karapetkova, 1979; Stefanov, 2007). U vodama Mađarske su prvi put zabeleženi 1954. godine u ribnjaku kod Sarvaša (Antalfi i Tölg, 1974) odakle su se najverovatnije proširile duž toka reke Tise. U vodama Slovačke su prvi put registrovane 1961. godine (Holčik i Žitnan, 1978; Holčik i sar., 1981).

Urazdoblju od 1975. do 1990. godine registrovano je brzo širenje areala vrsta ovog kompleksa u otvorenim vodama Republike Češke (Halačka i sar., 2003). Smatra se da su iz Dunava migrirale u ušća reka Morave i Dije odakle su se postepeno širile postojećom hidrografskom mrežom. Sada već duži vremenski period predstavljaju dominantne vrste u rekama Dija, Morava i Laba. Uz pomoć čoveka su prevazišle granice između pojedinih odvojenih oblasti i naselile su skoro sva staništa koja odgovaraju njihovim ekološkim preferencijama (Luskova i sar., 2010). Nasuprot prethodnim tvrdnjama, Slavik i Bartoš (2004) smatraju da je ekspanziji ovih vrsta u Češkoj više doprineo njihov izlazak iz akvakulturnih objekata, nego uzvodne migracije.

Na teritoriji Makedonije vrste kompleksa *C. auratus* prvi put su zabeležene 60-ih godina 20. veka u vodama Vardara, Dojranskog i Skadarskog jezera (Dimovska, 1971, citirano iz Perdikaris i sar., 2012; Talevski i sar., 2009). Nešto kasnije, krajem 1970-ih, javljaju se i u vodotocima Grčke (Economidis i sar., 2000; Tsoumani i sar., 2006; Economou i sar., 2007; Leonardos i sar., 2008a). Danas su zastupljene u velikom broju vodotoka ove zemlje, kao i u jednom jezeru na ostrvu Krit (Economou i sar., 2007). Prisustvo vrsta ovog kompleksa registrovano je i u vodama Albanije (Rakaj i Filloko 1995; Shumka i sar., 2008).

Pojava vrsta iz kompleksa *C. auratus* u Turskoj se beleži 80-ih godina prošlog veka (Kuru, 1996, Geldiay i Balik, 1999, citirano iz Kalous i sar., 2004) i povezuje sa njihovim prisustvom u Bugarskoj. Međutim, postoje sumnje da su u Turskoj živele i u prethodnom periodu, ali da nisu determinisane kao takve zbog morfološke sličnosti sa barskim karašem koji je na toj teritoriji nativna vrsta (Özuluğ i sar., 2004). Nakon prvih rezultata o njihovom širenju na području Trakije, ističe se njihov invazivan karakter (Sedat i sar., 2014). U Turskoj su populacije u glavnom veoma brojne u većini vodenih ekosistema, posebno akumulacijama (Özuluğ, 1999; Özuluğ i sar., 2004; İlhan i sar., 2005; Innal i Erkakan, 2006). Najviše naučnih radova o vrstama ovog kompleksa se odnosi za teritoriju Turske, tako da su brojne studije koje ukazuju na veoma brzo širenje areala i negativan uticaj na autohtonu ihtiofaunu (Balik i sar., 2003; Kalous i sar., 2004; Oezulug i sar., 2004; İlhan i sar., 2005; Özcan, 2007; Sari i sar., 2008; Tarkan i sar., 2012; Kirankaya i Ekmekci, 2013; Sedat i sar., 2014).

U vode Estonije vrste kompleksa *C. auratus* su stigle sredinom prošlog veka i to najpre u ribnjake, odakle su dospеле u neka jezera (Holopainen i sar., 1997). Posredstvom čoveka, najverovatnije zbog sličnosti sa barskim karašem, nenamerno su transportovane u većinu kopnenih voda širom Estonije, kao i u plitke uvale duž baltičke obale ove zemlje (Mikelsaar, 1984, citirano iz Vetemaa i sar., 2005). Upravo zbog pogrešne determinacije nisu bile primećene od strane lokalnih ribara sve do 1985. godine kada su prvi put zabeležene u zalivu Riga, na Baltičkom moru, (Luskova i sar., 2010). Sredinom 1990-ih postale su invazivne i proširile se duž cele estonsko-baltičke obale tako da se danas mogu naći i uz obalu Finske. Tempo porasta jedinki u slanim vodama se ne razlikuje značajno od slatkovodnih populacija. Značajnija razlika se odnosi na način razmnožavanja i polnu strukturu. U slanim vodama nije registrovana pojava ginogeneze koja je veoma zastupljena u slatkovodnim populacijama, uz značajnu dominaciju ženki (Vetemaa i sar., 2005).

Postoje podaci da su vrste kompleksa *C. auratus*, kao prve introdukovane vrste (Fuller i sar., 1999), donete još u 17. veku na severnoamerički kontinent (Courtenay i Stauffer, 1990). U tim navodima, spominje se *C. auratus* kao veoma atraktivna vrsta za akvaristiku. Smatra se da su danas izuzetno široko rasprostranjene i da naseljavaju vode svih država SAD, osim Aljaske. Druge vrste iz ovog kompleksa do savremenih istraživanja nisu registrovane, prvenstveno zbog

međusobne morfološke sličnosti. Prvi potvrđeni nalaz *C. gibelio* na teritoriji Kanade potiče iz 2006. godine (Elgin i sar., 2014).

Iako su vrste kompleksa *C. auratus* široko rasprostranjene, zbog velike interspecijske sličnosti ih je teško razlikovati bez primene specifičnih molekularnih analiza. To se posebno odnosi na *C. gibelio*, koja je smatrana za divlju formu vrste *C. auratus* (Kottelat i Freyhof, 2007). Danas se vrste ovog kompleksa smatraju invazivnim i potencijalno opasnim za ekosisteme, pre svega zbog širenja duž plovnih puteva i kanala za navodnjavanje (Elgin i sar., 2014).

### 2.3.3.1. Vrste kompleksa *Carassius auratus* na području Vojvodine

Krajem 1950-ih godina širenjem otvorenim vodama, vrste ovog kompleksa dospele su na područje bivše Jugoslavije. Prvi pisani izvor o pojavi ovih vrsta (tada determinisane kao *Carassius auratus gibelio*) potiče od Plančića (1967). Tom prilikom opisane su jedinke iz ribnjaka Ečka za koje je smatrao da su dospele rekom Begej sa teritorije Rumunije. Spomenuo je da je moguće da su se javile i ranije i to u Dunavu kod Kladova, gde su ribari tu novu vrstu nazvali „babuška“ misleći da je reč o vrsti poreklom sa teritorije Rusije.

Nedugo nakon naseljavanja Vojvodine, kompleks širi svoj areal i naseljava i hrvatske nizijske reke i tokove do Drave, kao i reku Neretvu. Danas vrste ovog kompleksa zauzimaju značajno mesto u sastavu ribljih zajednica reka Drave, Kupe, Bosuta, Dunava i Save zajedno sa njihovim pritokama i ukupnim plavnim područjem. Brojne populacije ovog kompleksa su prisutne u gotovo svim otvorenim vodama Jadranskog sliva kao i u mnogim šaranskim ribnjacima (Tomljanović i sar., 2012).

Nakon 1975. godine usledila je ekspanzija vrsta ovog kompleksa u vodama Vojvodine. Konstantno se beleže izuzetno brojne populacije sa visokim procentualnim učešćem u ukupnom ulovu o čemu svedoče mnogobrojna istraživanja ihtiofaune: Dunava (Maletin i Kostić, 1988; Maletin i sar., 1997 a), Apatinskog rita (Maletin i Kostić, 1988; Budakov i sar., 1997), Begečke jame (Maletin i sar., 1997 a; Budakov, 1999; Vučković i sar., 2002), Koviljskog rita (Budakov, 1979; Budakov i sar., 1983 a; Maletin i Kostić, 1988; Maletin i sar., 1997 a; Popović i sar., 2000; Maletin i sar., 2001; Lujčić i sar., 2013), Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (Budakov i sar., 1984; Pujin i sar., 1990; Maletin i sar., 1992 b; 1997 b; Kostić i sar., 2002; Maletin i Neatnica, 2006), jezera Palić (Đukić i sar., 1991; Budakov, 1996 a), Ludaškog jezera (Pujin i sar., 1988; Đukić i sar., 1991), Stare Tise (Kostić i Maletin, 1992; Maletin i sar., 1996; Sekulić, 2007), Beljanske bare (Sekulić, 2008), Obedske bare (Budakov i sar., 1983 b; Pujin i sar., 1988); Bare Trskovače (Branković, 2008; 2011), Carske bare (Kostić i Maletin, 1992; Popović i sar., 2007; Sekulić, 2010), Starog Begeja (Popović i sar., 2007; 2008), Tamiša (Pujin i sar., 1987; Maletin i sar., 1998; Šipoš i sar., 2010). Ponjavnice (Budakov, 1994); Zasavice (Budakov, 1996 b; Kostić i sar., 2000), kao i akumulacija: Zobnatica (Đukić i sar., 1991), Provala (Maletin i sar., 1999), Borkovac (Đukić i sar., 1991) i Sot (Đukić i sar., 1991).

Posle višedecenijske ekspanzije brojnosti vrsta kompleksa *C. auratus*, Farcas (1982) i Hamar i Sarkany (1995) zaključuju da je u srednjem toku Dunavskog rečnog sistema došlo do izvesne stabilnosti njihovih populacija iako se i dalje zadržava relativno visoka brojnost. Slično je konstatovano i u Dunavu kod Novog Sada gde su u uzorku iz 1996. godine ove vrste bila zastupljene

sa svega 4.48% (Maletin i sar., 1997 a). Što se tiče drugih lokaliteta na području Vojvodine, po niskoj zastupljenosti vrsta kompleksa *C. auratus* ističe se Tamiš u periodu 2009-2010. godine u kome se, u zavisnosti od punkta uzorkovanja, procentualna zastupljenost kretala između 1.12% i 21.54% (na većini do 5.98%) (Šipoš i sar., 2010).

S obzirom na sve prethodno navedeno, vrste kompleksa *C. auratus* su kod nas pobudile veliko interesovanje, pa su osim pomenutih faunističkih istraživanja, postale objekat i taksonomskih studija Maletin i sar., 1981; Kostić, 1985; 1988; Grdinčević i sar., 1987; Kostić i Maletin, 1988; 1989; Kostić i sar., 1997; 1998). Brojne sui ekološke studije, sa posebnim akcentom na polnu strukturu (Budakov i Maletin, 1984 a; Kostić i sar., 1997; 1998; Popović i Kostić, 2002; Popović i sar., 2006, 2007, 2008), ishranu (Pujin i Maletin, 1987; Maletin i sar., 1991), rast i tempo porasta (Budakov i sar., 1979; Pujin i Budakov, 1979; Maletin i Budakov, 1983; 1986; Budakov i Maletin, 1984 b; Maletin i sar., 1985; 1990; 1991; 2001; Maletin i Kostić, 1989 ; Lujčić i sar., 2013), plodnost (Maletin i sar., 1979; 1987; 1992a) i citogenetička istraživanja (Fišter, 2005).

### **2.3.4. Ekologija vrsta kompleksa *Carassius auratus***

Vrste kompleksa *C. auratus* široko su rasprostranjene na teritoriji gotovo cele Evrope (Mikelsar, 1984, citirano u Vetemaa i sar., 2005; Abramenko i sar., 2004; Kalous i sar., 2004; Vetemaa i sar., 2005; Laisko i sar., 2010; Luskova i sar., 2010). Njihovoj izuzetnoj invazivnosti doprinose specifični način reprodukcije (ginogeneze) i izrazita eurivalentnost u pogledu većine ekoloških faktora.

Naseljavaju većinu slatkovodnih i brakičnih ekosistema Evrope i Azije (Kottelat i Freyhof, 2007). Preferiraju bentopelagijal mirnih stajaćih voda i sporotekućih nizijskih reka, posebno staništa sa razvijenom submerznom vegetacijom i redovnim plavljenjem (Simonović, 2001; Kottelat i Freyhof, 2007). Na teritoriji Srbije najčešće se sreću u ritovima, mrtvajama plavnih područja Dunava i njegovih pritoka (Ristić, 1977), ali i drugim vodotocima muljevitog dna, obraslim makrofitskom vegetacijom, sa razvijenim zajednicama planktonskih organizama i makrozoobentosom (Marković, 2011). Najčešće prezimljuju u dubljim vodama sporijeg toka (Vuković i Ivanović, 1971).

Veoma su prilagodljive na eutrofne uslove spoljašnje sredine, podnose niske koncentracije kiseonika (Lushchak i sar., 2001; Perdikaris i sar., 2012) i prisustvo amonijaka (Nathanailides i sar., 2003). Tolerantne su na velike temperaturne oscilacije i njene ekstremne vrednosti (Antonova, 2010). Uspešno preživljavaju period gladovanja i hibernacije na jezerskom dnu (Holopainen i sar., 1997; Simonović, 2001; Kottelat i Freyhof, 2007). Nakon prezimljavanja jedinki, nastupa period života okarakterisan intenzivnom ishranom i sazrevanjem gonada koje se odvija pre početka mresta u rano prolećenim mesecima (Paschos i sar., 2001; Leonardos i sar., 2001). Specifičnost ovih vrsta je i da imaju sposobnost da se tokom života aklimatizuju na hiperosmotske uslove koji postoje u slanim vodama (Elger i Hencel, 1981).

Prema načinu ishrane, vrste ovog kompleksa su pretežno omnivorne (Pujin i Maletin, 1987; Szczerbowski, 2001; Yılmaz i sar., 2007). Upravo se načinom ishrane može objasniti njihova dominacija u brojnim ekosistemima. Mlađ uglavnom konzumira sitnije organizme, pre svega zooplankton, alge i biljni material, dok starije jedinke koriste krupnije hranidbene komponente. Među algama najčešće su konzumirani predstavnici Cyanobacteria, Bacillariophyta, Diatomophyta,

Xanthophyta, Pyrrhophyta, Euglenophyta i Chlorophyta. U raznovrsnom trofičkom spektru animalnog porekla zastupljeni su predstavnici Rotatoria, Cladocera, Copepoda, Oligochaeta, Chironomidae, delovi insekata ili njihovih larvi i drugi organizmi (Pujin i Maletin, 1987; Maletin i sar., 1991; Balik i sar., 2003). Pujin i Maletin (1987) su uočili da su u okviru animalne komponente ishrane, najzastupljeniji Cladocera i Copepoda, zatim Rotatoria i Oligochaeta, dok su među biljnim dominantne Diatomophyta. Tokom zime jedinke miruju i ne hrane se.

Maksimalan životni vek ovih vrsta iznosi od šest (Leonardos i sar., 2001), do deset godina (Kottelat i Freyhof, 2007). Simonović (2001) ističe da su neki primerci sa teritorije Srbije bili stari i dvadeset godina. Leonardos i sar., (2008) navode da je prosečan životni vek ovih vrsta u otvorenim vodama evropskog kontinenta oko 7 godina.

Vrste iz kompleksa *C. auratus* polnu zrelost stižu između 2. do 4. godine života pri dužini tela većoj od 12 cm (Vuković i Ivanović, 1971; Leonardos i sar., 2001). Za uspešnu reprodukciju neophodna je temperatura vode od 16 do 21°C, tako da se najčešće mrest odvija u periodu od aprila do jula, ponegde i do kraja leta (Paschos i sar., 2001; Simonović, 2001; Tarkan i sar., 2007; Tarkan i sar., 2012). Odlikuju se porcionim mrestom, jaja izbacuju do tri puta u toku sezone (Kottelat i Freyhof, 2007). Apsolutna plodnost iznosi 30.000 do 400.000 komada, što je uslovljeno uzrastom i dimenzijama ženki, ali i opštim hidroekološkim uslovima staništa. Jaja (ikru) polažu u plitkim obalnim područjima obraslim podvodnom vegetacijom (Maletin i sar., 1979, 1987, 1992a; Maletin i Budakov, 1986; Szczerbovski, 2001; Kottelat i Freyhof, 2007). Maletin i sar. (1992a) ističu da apsolutna plodnost raste sa povećanjem mase tela i standardne dužine do pete godine života ženki, potom stagnira. Prosečan dijametar jaja je 1.5 mm, površina im je lepljiva i omogućava pričvršćivanje za vodene biljke i submerzne objekte (Vuković i Ivanović, 1971; Szczerbovski, 2001). Posle oplodjenja, inkubacija traje 5 do 8 dana (Simonović, 2001). Nakon tog perioda se izležu larve dužine 4-5 mm, koje posle dva do četiri dana počinju aktivno da se hrane (Simonović, 2001; Kottelat i Freyhof, 2007).

Specifičnost vrsta ovog kompleksa je sposobnost različitih vidova razmnožavanja. Kao i većina kičmenjaka, sposobne su da se razmnožavaju polno (gonohoristički, dvopolno) ukrštanjem gameta jedinki oba pola iste vrste. Posebna odlika ovih vrsta je sposobnost bespolnog razmnožavanja (jednopolnog ili ginogenetskog) (Fan i Liu, 1990; Fan i Shen, 1990; Gui, 1997). U okviru grupe nižih kičmenjaka, ove vrste su jedine koje su sposobne da primene oba načina razmnožavanja u zavisnosti od ekoloških uslova staništa (Vrijenhoek i sar., 1989, citirano iz Perdikaris i sar., 2012). Fenomen ginogeneze je predmet brojnih istraživanja dugi niz godina (npr. Stanley i Sneed, 1973; Pandian i Koteeswaran, 1998; Yang i sar., 2001; Zhou i Gui, 2002).

U azijskim vodama, koje predstavljaju nativna staništa ovih vrsta, u populacijama postoji jednaka zastupljenost mužjaka i ženki, tako da je moguć nesmetan proces polnog razmnožavanja. Za većinu evropskih populacija, gde vrste kompleksa *C. auratus* imaju status alohtonih i invazivnih vrsta, bilo je, ili je još uvek prisutno, razmnožavanje ginogenezom. Ovaj način razmnožavanja odlikuje stvaranje embriona iz neoplođenih ginogenetskih jaja, kao i dupliranje hromozomske garniture bez prve mitotičke deobe i eliminacija drugog polarnog tela u toku druge mitotičke deobe. Sve ovo rezultuje stvaranjem triploidnih ginogenetskih jaja (Horvath i Orban, 1995). Jaja nastala na ovakav način imaju sposobnost da budu inicirana na razvoj u prisustvu sperme drugih ciprinidnih vrsta, kao što su šaran, barski karaš, bodorka i deverika. Iako se u tom slučaju jaja dalje razvijaju bez klasičnog procesa oplodnje i ukrštanja genetičkog materijala roditelja, sperma drugih vrsta je neophodna za iniciranje razvića. Kao rezultat ovog tipa razmnožavanja formiraju se populacije koje čine gotovo isključivo jedinke ženskog pola.

Ginogeneza je uspešan vid razmnožavanja i deo je ekološke strategije vrsta u procesu naseljavanja nekog novog područja. Međutim, ovakvo razmnožavanje nije pogodno sa stanovišta održavanja genetske varijabilnosti populacija. Čiste ginogenetske populacije nisu sposobne da tolerišu brze promene u ekosistemu, upravo zbog homogenog genetskog porekla.

Aloginogeneza je specifičan oblik ginogeneze uočen samo kod vrsta iz kompleksa *C. auratus* pri kojem stepen očinskog doprinosa na potomstvo može značajno da varira. Eksperimentalno je potvrđeno da su triploidne ženke sposobne da koriste spermatozoide drugih vrsta za početak ginogeneze. Iako se smatralo da sperma druge vrste u tom slučaju nije sposobna da utiče na fenotip potomaka (Jiang i sar., 1983; Zhou i sar., 2000), u nekoliko slučajeva su otkriveni mikro-hromozomi poreklom od oca koji su izazivali fenotipske promene i sličnosti (Yi i sar., 2003), kao i kompletan haploidan set oca kod alotetraploidnih mužjaka (Zhu i Gui, 2007; Liasko i sar., 2010).

Vrste kompleksa *C. auratus* su među najtolerantnijim na nepovoljne uslove spoljašnje sredine (Pinter, 1989, Lutz, 1994, citirano iz Toth i sar., 2005). Pretpostavlja se da je to, pored ostalog i rezultat kombinovanja različitih načina razmnožavanja kao i mogućnosti hibridizacije sa drugim, srodnim vrstama u prirodnim uslovima (Stranai, 1999, citirano iz Toth i sar., 2005). Prirodne populacije ovih vrsta verovatno poseduju gene i drugih vrsta, što može povećati adaptabilnost i heterozigotnost unutar ginogenetskih populacija.

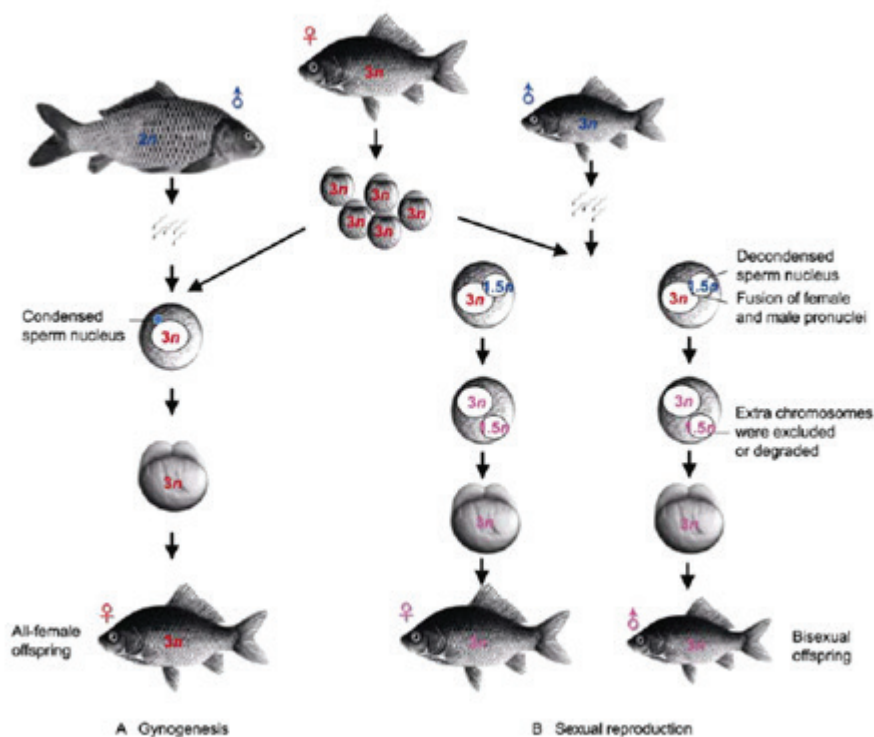


Figure 1 A schematic diagram of the dual modes of gynogenesis and sexual reproduction in gibel carp.

**Slika 2.** Šematski prikaz dualnog modela ginogeneze i polnog razmnožavanja kod vrsta kompleksa *C. auratus* (preuzeto iz Gui i Zhou, 2010)



### 2.3.5. Citogenetika vrsta kompleksa *Carassius auratus*

Vrste kompleksa *C. auratus* odlikuju se istovremenom pojavom diploidnih ( $2n \approx 100$ ) i triploidnih ( $3n \approx 150$ ) jedinki u mnogim populacijama (Halacka i sar., 2003; Luskova i sar., 2004; Abramenko i sar., 2004; Mezherin i Lisetskii, 2004; Apalikova i sar., 2008). Broj hromozoma i hromozomskih garnitura kod jedinki jedne populacije može da varira zbog različitih faktora.

Vrsta koja je u istraživanjima navedenim u ovom poglavlju determinisana kao *C. auratus gibelio* ili *C. gibelio* je tetraploidnog porekla na šta ukazuje dupliranje broja hromozoma (Ohno i sar., 1967, Wolf i sar., 1969, citirano iz Fišter, 2005) i dupliranje količine jedarne DNK (Klose i sar., 1969, citirano iz Fišter, 2005). Pojedini autori navode da se u istim lokalitetima sreću i biseksualne i ginogenetske (triploidne) populacije koje se međusobno morfološki ne razlikuju (Cherfas, 1966, Kobayashi i sar., 1970, 1973, Liu i sar., 1978, 1980, Ruiguang, 1980, Ruiguang i Zhen, 1980, citirano iz Fišter, 2005).

Broj hromozoma kod jedinki biseksualnih populacija je najčešće od 96 do 104, kod uniseksualnih 150-160 (Sofradžija i sar., 1978, Vujošević i sar., 1983, Raicu i sar., 1983, citirano iz Fišter, 2005), što između ostalog zavisi i od tkiva (najveći broj hromozoma imaju ćelije slezine). Autori ističu da razlike u broju hromozoma nemaju većeg fenotipskog i genotipskog efekta.

Razlike u ukupnom broju hromozoma uglavnom su posledica različitog broja poslednjih, (najsitnijih) akrocentričnih hromozoma: 101, 102, 103 i 104. Nedostatak ili višak ovih hromozoma nije letalan i nema vidljiv fenotipski efekat (Fišter, 1989, 1992, 1999, 2002, Fišter i Soldatović, 1989, 1991, Fišter i Cakić, 1997, citirano iz Fišter, 2005).

Višedecenijskim istraživanjima je utvrđeno da su u vodama Vojvodine do pre dvadesetak godina bile dominantne ginogenetske ženke vrste determinisane kao *C. auratus gibelio*. Jajne ćelije vrste na razvoj podstiču spermatozoidi srodnih vrsta riba. Prilikom ovog procesa dolazi do fuzije n-genoma spermatozoida srodne vrste sa  $2n$ -genomom iz ovarijuma srebrnog karaša. Moguće je da se u ovom procesu radi o pravoj hibridizaciji između različitih srodnih ciprinidnih vrsta tetraploidnog porekla. Pogodne vrste za taj proces su šaran i tetraploidna forma barskog karaša koji je, za razliku od *C. auratus gibelio*, autohtona vrsta. Realna je mogućnost da je barski karaš, potisnut ne samo kompeticijom sa ovom vrstom, nego da je genetički iščezao usisavanjem genoma u triploidnu formu *C. auratus gibelio* (Fišter, 2005).

Jajne ćelije srebrnog karaša ne prolaze kroz mejotičku deobu, nego se ona zamenjuje mitozom. Tokom ovog procesa nema formiranja bivalenata, odsustvuje krosing-over i ne dolazi do redukcije broja hromozoma (Fišter, 2005).

Triploidne jedinke su obično ženke koje se razmnožavaju bespolno ginogenezom i kao takve predstavljaju linije klonova (Golovinskaya i sar., 1965, citirano iz Toth i sar., 2005; Gui i Zhou, 2010). Iako su triploidne jedinke uglavnom ženskog pola, zabeleženo je i postojanje triploidnih mužjaka (Halacka i sar., 2003; Abramenko i sar., 2004). Postoje populacije formirane isključivo od diploidnih jedinki oba pola (Cherfas, 1966), druge imaju diploide i mali broj tetraploida oba pola, često zajedno sa triploidnim ženkama (Gui i sar., 1993, citirano iz Toth i sar., 2005). Registrovane su i populacije isključivo triploidnih ženki (Zhou i Gui, 2002; Flajshans i sar., 2007) ili su u zajednici sa triploidnim i ređe alotetraploidnim mužjacima (Liasko i sar., 2010).

Prema dosadašnjim istraživanjima, diploidne populacije vrsta iz kompleksa *C. auratus* mogu nesmetano stvarati hibride sa drugim srodnim ciprinidnim vrstama kao što su šaran, barski

karaš ili bodorka. Istraživanja (Golovinskaya i sar., 1965, citirano iz Toth i sar., 2005; Cherfas i sar., 1994) su pokazala da ukrštanje dve ciprinidne vrste, diploidnog predstavnika ovog kompleksa i barskog karaša, daje plodnu F1 generaciju. Ojima i sar. (1975) su ukrstili plodne ženke iz F1 generacije sa diploidnim mužjacima barskog karaša i dobili F2 generaciju sa značajnim brojem triploidnih jedinki. Purdom (1984) je pokazao da se polnim ukrštanjem triploidne ženke iz kompleksa *C. auratus* sa mužjakom barskog karaša, stvaraju triploidni hibridi. Abramenko i Kravchenko (1997) su utvrdili postojanje triploidnih jedinki koje su predstavljale interspecijske hibride koji su se odlikovali hromozomskom mozaičnošću, sa brojem hromozoma od 184 do 200.

## 2.4. Linearna i geometrijska morfometrija u populacionim istraživanjima

Morfometrija predstavlja oblast morfologije koja se bavi istraživanjem veličine i oblika morfoloških celina korišćenjem statističkih metoda, prvenstveno multivarijantnim procedurama na osnovu podataka dobijenih merenjima (Rohlf, 1990). Ona pruža informacije o kvantitativnim karakteristikama kao što su veličina i oblik tela, ali omogućava i sagledavanje opšte slike o morfološkim celinama kao i principima njihove promene. Morfometrija ima veliki značaj i primenljivost u mnogim biološkim disciplinama kao što su biologija razvicia, genetika, ekologija, sistematika i drugim. Primena morfometrije u biologiji predstavlja fundamentalno polje istraživanja koje obuhvata opisivanje, analizu i interpretaciju oblika i variranja oblika (Ivanović i Kalezić, 2009).

U morfometriji postoje dva pristupa: tradicionalna (multivarijantna) morfometrija i geometrijska morfometrija.

Tradicionalna morfometrija predstavlja spoj kvantitativne morfologije (sa podacima koji se dobijaju merenjem morfoloških celina) i statističkih metoda (za obradu tih podataka). Kao ulazni podaci za ove analize koriste se izmerene vrednosti dimenzija spoljašnjih morfoloških celina i unutrašnjih anatomskih dimenzija. Potrebni podaci se prikupljaju merenjem morfometrijskih varijabli (dužina, širina, visina itd.) kao i merenjem rastojanja između jasno definisanih tačaka određene morfološke celine. Ovako dobijene vrednosti se analiziraju pomoću različitih statističkih uni- i multivarijantnih procedura. Najveća prednost metode je njena jednostavnost, iako merenje linearnog rastojanja u korelaciji sa veličinom može otežati analizu. Drugi problem pri primeni ove metode je da se merenjem dva različita oblika mogu dobiti isti rezultati pošto podaci ne uključuju i mesto gde je izvršeno merenje. Da bi se prevazišli ovi problemi razvijen je sofisticiraniji metod – geometrijska morfometrija.

Za razliku od tradicionalne morfometrije kod koje se koriste dužinske mere, geometrijska morfometrija (GM) analizira položaj jasno definisanih specifičnih (karakterističnih) tačaka („landmarks“) tj. njihove koordinate. Ove metoda pruža kvantifikaciju i vizuelizaciju variranja oblika bilo koje morfološke strukture, bila ona dvodimenzionalna ili trodimenzionalna (Adams i sar., 2013).

Metode geometrijske morfometrije omogućavaju analize veličine i oblika morfološke celine kombinacijom uni- i multivarijantnih statističkih metoda i metoda direktnog grafičkog predstavljanja varijabilnosti oblika. Umesto primene multivarijantnih statističkih metoda koje obrađuju podatke merenja morfoloških celina (dužina, širina, visina itd.), matematički oblik morfoloških celina ispituje se preko njihove geometrije čija je polazna osnova raspored ili konfiguracija speci-

fičnih tačaka (engl. landmarks) u dve ili tri ravni prostora (Rohlf, 2000; Adams i sar., 2004). Geometrijska morfometrija ima veliku “statističku osetljivost” kojom se mogu otkriti male promene u obliku morfoloških celina, a koje se ne mogu utvrditi tradicionalnim morfometrijskim metodama (Klingenberg, 2002).

Najčešće korišćena procedura uklanjanja efekata veličine, položaja i orijentacije u geometrijskoj morfometriji je Generalizovana Prokrustova analiza (engl. General Procrustes Analysis – GPA) odnosno Prokrustova superimpozicija (poravnavanje) (Rohlf i Slice, 1990; Dryden i Mardia, 1998, citirano iz Klingenberg, 2013; Rohlf, 1999). Osnovni postupci Prokrustove superimpozicije su skaliranje, translacija i rotacija konfiguracija specifičnih tačaka. Na taj način se zadržavaju samo informacije koje su direktno vezane za razlike u obliku.

Koordinate specifičnih tačaka koje se izračunavaju Prokrustovom superimpozicijom, predstavljaju Prokrustove koordinate. One nose informacije o obliku određene konfiguracije (analizirane morfološke celine) i predstavljaju varijable oblika, odnosno polazne podatke za dalje analize varijabilnosti oblika (Dryden i Mardia, 1998, citirano iz Klingenberg, 2013).

Vizualizacija promena oblika leži u samoj suštini geometrijske morfometrije. Jedna od ključnih prednosti geometrijske morfometrije je ta što se razlike u obliku mogu vizualizovati direktno kao ilustracije ili kompjuterska animacija. Usled toga, u vreme “revolucije” morfometrije, kada je GM uspostavljena kao disciplina, lakoća vizualizacije korišćena je kao važan argument u njenu korist u poređenju sa “tradicionalnom morfometrijom” (Rohlf i Marcus, 1993). Od tada, ova metoda se uspešno koristi zahvaljujući činjenici da različite metode vizualizacije mogu da predstave kompleksne morfološke promene mnogo efikasnije nego tabele koeficijenata do kojih se dolazi tradicionalnom morfometrijskom analizom. Osim toga, ove vizualizacije obezbeđuju informacije o morfološkim promenama u njihovom neposrednom anatomskom kontekstu. Vizualizacija promena oblika ostaje važno sredstvo razumevanja morfoloških varijacija, pošto se geometrijska morfometrija koristi u traženju odgovora na sve veći broj pitanja o evoluciji i razvoju organizama. (Klingenberg, 2010).

U GM se koristi veliki broj različitih vrsta vizualizacija i promena oblika. Zasnivaju se uglavnom na dva pristupa: na relativnim promenama landmark pozicija u početnim ili krajnjim-ciljnim oblicima nakon poravnavanja ili na D’Arsijevoj i Tomsonovoj ideji o transformacionim mrežama. Oba pristupa su u širokoj upotrebi u savremenoj morfometriji, sa specifičnim prednostima i nedostacima, a mogu se koristiti i u kombinaciji. Napredak u kompjuterskoj grafici olakšao je izradu privlačnih ilustracija promena oblika, dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih, u oba ova pristupa. Kompjuterska animacija nudi još više prednosti (Klingenberg, 2013).

Tehnički definisan oblik obuhvata sve geometrijske odlike objekta osim veličine, položaja i orijentacije (Dryden i Mardia, 1998, citirano iz Klingenberg, 2013).

Geometrijska morfometrija već oko dve decenije nalazi primenu u biološkim disciplinama pri rešavanju različitih bioloških problema. Značajno je istaći njenu primenljivost u ribarstvu, ihtiologiji, kao i u najrazličitijim taksonomskim, ekološkim i evolucionim studijama varijabilnosti veličine i oblika tela, pojedinih telesnih regiona, kao i glavenog skeleta riba (Cadrin, 2000; Corti i Croseti, 1996; Frédérich i Sheets, 2010; Frédérich i Vandewalle, 2011). Razvoj metode je usko povezan sa razvojem novih tehnologija (prvenstveno softvera), zbog čega geometrijska morfometrija pokazuje tendenciju konstantnog usavršavanja (Jojić, 2010).

## 2.5. Modeli rasta u populacionim istraživanjima

Informacije o starosti i rastu riba je od suštinske vrednosti za upravljanje ribljim vrstama, jer se strategije upravljanja uglavnom oslanjaju na ove parametre (Katsanevakis i Maravelias, 2008; Liu i sar., 2009; Wells i sar., 2013). Većina studija koje se bave rastom riba su zasnovane na korišćenju jednog modela rasta (najčešće von Bertalanfijeve funkcije rasta, u daljem tekstu VBGF) ili na nekoliko unapred utvrđenih modela (Gompercz, Robertson i drugi). Najčešće se uzima u obzir nekoliko modela i onda se na osnovu Akaikeovog informacionog kriterijuma (AIC) izabere jedan model kao najbolji/najpogodniji (Katsanevakis, 2006). Nedavno je predložen novi pristup za procenu rasta. Multi-modelni zaključak (MMI) putem model-usrednjavanja ima značajne prednosti u odnosu na tradicionalni izbor "najbolje pristajućeg modela". Kada je više od jednog modela podržano bazom podataka, biranje samo jednog modela ostavlja visok stepen nesigurnosti što može izazvati precenjenje preciznosti. Usrednjavanje modela obezbeđuje stabilniji zaključak, smanjuje pristrasnost izbora modela i ima veću preciznost u odnosu na izabrani najbolji model (Burnham i Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006).

Varijacije u osobinama životne istorije riba su česta pojava. Nastale varijacije mogu biti uzrokovane geografskom širinom (Licandeo i Cerna, 2007), dubinom vodotoka (Keller i sar., 2012) ili raznim sredinskim faktorima (Carlson i sar., 1999; Licandeo i Cerna, 2007; Neer i Thompson, 2005). Zbog toga su potrebne precizne informacije o specifičnosti životnih promena populacije, kao i informacije u vezi sa mehanizama koji uzrokuju te razlike. Postoji nekoliko savremenih studija koje imaju za cilj da procene regionalne razlike u parametrima rasta post hoc (Barreto i sar., 2011; Diggers i sar., 2004; Lujić i sar., 2013). Međutim, analiza ovakvih studija može prouzrokovati razlike koje se mogu pripisati razlikama u metodologiji i/ili tumačenju, a ne biologiji proučavanaih vrsta (Ainsley i sar., 2014; Carlson i sar., 1999). Zbog toga studije koje uključuju poređenje regionalnih razlika u karakteristikama životih promena mogu pokazati koji podaci imaju suštinski značaj za procenu parametara i strategije upravljanja ihtiofaunom određenog regiona.

### 3. CILJEVI

Osnovni cilj ove doktorske disertacije je određivanje genetičke i morfološke raznovrsnosti vrsta kompleksa *C. auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti. Radi preglednosti, detaljniji ciljevi su predstavljeni u obliku pojedinačnih tačaka.

Izvršiti meta analizu brojnosti populacija vrsta kompleksa *C. auratus*

Izvršiti determinaciju vrsta kompleksa *C. auratus* primenom odgovarajućeg genetičkog markera (delasekvence *cytb* gena)

Ispitati i kvantifikovati morfološku varijabilnost oblika tela i odabranih delova skeletnog sistema kod jedinki sa različitih lokaliteta.

Ispitati uticaj određenih biotičkih i abiotičkih faktora staništa na morfološku varijabilnost jedinki.

Ispitati prisustvo morfološke raznovrsnosti kod ranouspostavljenih populacija.

Ispitati morfološku varijabilnost krljušti sa različitih delova tela i njihovu primenljivost u populaciono-ekološkim istraživanjima.

Ispitati osobine životne istorije i dinamike rasta primenom multimodelne analize.

## 4. MATERIJAL I METODE

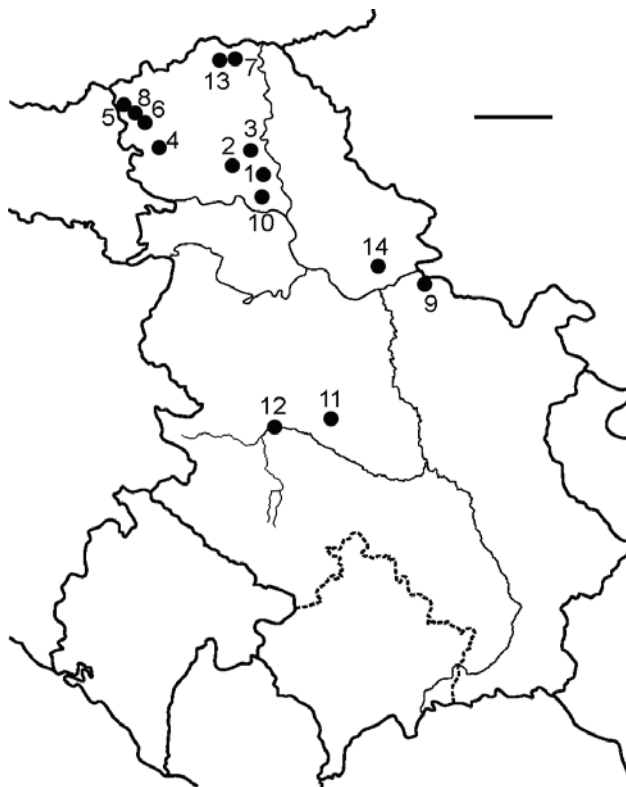
### 4.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti

Kako bi se pružio kompletan uvid u rasprostranjenje vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti u poslednjih 40 godina prikupljeni su dostupni objavljeni podaci i podaci iz aplikativno-informativne baze podataka: Biodiverzitet akvatičnih ekosistema Srbije i *ex situ* konzervacija “BAES *ex situ*” (Simić i sar., 2006). Neobjavljeni podaci i svedočenja o prisutnosti vrsta ovog kompleksa na određenim lokalitetima ovom prilikom nisu uzimani u obzir.

### 4.2. Opis lokaliteta

Izlov jedinki kompleksa *Carassius auratus* korišćenih u populaciono-genetičkim analizama i analizama morfološke varijabilnosti izvršen je na velikom broju lokaliteta na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti. Nakon sveobuhvatne analize prikupljenog ihtiološkog materijala, za dalju obradu su upotrebljeni primerci izlovljeni sa ukupno 14 lokaliteta (Slika 3). Četiri lokaliteta su u sklopu 3 specijalna rezervata prirode: “Gornje Podunavlje” (i kanal Dondo), “Ludaško jezero” i “Kraljevac”; takodje četirilokaliteta su u okviru 3 parka prirode: „Tikvara“, „Jegrička” (Žabalj i Temerin) i „Palić”; tri lokaliteta se nalaze na: reci Plazović i u okviru Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (Bogojevo i Bačko Gradište), dok su preostala tri lokaliteta na akumulacionim jezerima peripanonske oblasti: Srebrno jezero, Međuvršje i Gruža.

**Specijalni rezervat prirode “Gornje Podunavlje”** se nalazi u krajnjem severo-zapadnom delu Bačke, na plavnom području gornjeg toka reke Dunav kroz Srbiju. Predstavlja prostrano ritsko–močvarno područje od granice sa Mađarskom do Bogojeva. Čine ga kompleksi ritskih šuma, ispresecani rukavcima i kanalima, sa brojnim adama, meandrima, tonjama, barama, močvarama, vlažnim livadama, tršćacima i ševarima. Zajedno s plavnim područjima na Karapandži i Štrpcu, plavnim područjem na desnoj obali Dunava u Hrvatskoj (poznatom kao Kopački rit) i Gemencu u Mađarskoj, čini prirodnu celinu i predstavlja najveće plavno područje u srednjem toku Dunava.



**Slika 3.** Mapa Srbije sa označenim lokalitetima sa kojih su prikupljeni uzorci za populaciono-genetičke i analize morfološke varijabilnosti kompleksa *Carassius auratus*. 1 – Jegrička Žabalj; 2 – Jegrička Temerin; 3 – DTD Bačko Gradište; 4 – DTD Bogojevo; 5 – Gornje Podunavlje; 6 – kanal Dondo; 7 – Ludaš; 8 – Plazović; 9 – Srebrno jezero; 10 – Tikvara; 11 – Gruža; 12 – Međuvršje; 13 – Palić; 14 – Kraljevac. Razmernik: 50 km

Svrstano je u I kategoriju zaštite kao prirodno dobro od izuzetnog značaja. Prema IUCN klasifikaciji rangirano je u IV kategoriju, a proglašeno je i za Ramsarsko područje, IBA područje i rezervat biosfere Drava-Mura (Kovačevići sar, 2000).

Rezervat zauzima površinu od 19.648 ha. Dunav, kao i delovi starog toka reke, rukavci i kanali čine 24.3% ukupne zaštićene teritorije. Najveći deo teritorije se nalazi pod III stepenom zaštite (74%). Pod I stepenom zaštite se nalazi 1.3%, a pod II stepenom 24.7% teritorije ovog zaštićenog prirodnog dobra. (Panjković i sar, 2004)

Ovaj jedinstveni mozaik vodenih, močvarnih i kopnenih ekosistema značajan je centar ekosistemskog, specijskog i genetskog diverziteta. Deo ovog prirodnog bogatstva predstavlja i prisustvu 55 vrsta riba (Budakov i sar., 1997), 11 vrsta vodozemaca, 8 vrsta gmizavaca, preko 230 vrsta ptica, 51 vrsta sisara, kao i izuzetno veliki broj vrsta beskičmenjaka (Kovačević, 2000).

Prva detaljnija istraživanja ihtiofaune ovog područja su vršena osamdesetih godina 20. veka kada je konstatovano prisustvo 18 vrsta riba iz 6 porodica (Maletin i Kostić, 1988). Zabeleženo je prisustvo predstavnika porodica *Acipenseridae*, *Esocidae*, *Cyprinidae*, *Siluridae*, *Anguilidae* i *Percidae*. Dominantno učešće u ulovu imala je deverika – *Abramis (Ballerus) brama*. Od ukupnog broja vrsta (18), kompleks *C. auratus*, beli – *Hypophthalmichthys molitrix* sivi tolstolobik – *Aristichthys nobilis* su unešene (introdukovane). Ekonomski značaj imaju kečiga – *Acipenser ruthenus*, štika- *Esox lucius*, šaran – *Cyprinus carpio*, som – *Silurus glanis* i smuđ – *Sander lucioperca*.

Istraživanjima sprovedenim desetak godina kasnije konstatovan je značajno veći diverzitet ihtiofaune (verovatno zbog drugačijeg načina izlova i vodostaja). Registrovano je prisustvo čak 55 vrsta riba (Budakov i sar., 1997), praktično svih koje naseljavaju vodotokove Vojvodine. Osim familija konstatovanih u prethodnom periodu istraživanja, ovom prilikom su zabeležena prisustva i predstavnika familija Cobitidae, Ictaluridae, Gadidae, Centrarchidae, Gobiidae i Cottidae. Izrazita dominacija vrsta iz familije šarana (32 vrste), kao i njihova kvantitativna zastupljenost, deklariše ovo stanište kao tipično ciprinidni region.

Ihtiološkoj vrednosti profila, pored kvalitativne raznovrsnosti, doprinosi činjenica o prisustvu 6 vrsta koje su po nekadašnjim kategorizacijama pripadale grupi "Prirodnih retkosti": mali vretenar (*Zingel streber*), veliki vretenar (*Zingel zingel*), balavac (*Gymnocephalus cernua*), čikov (*Misgurnus fossilis*), gavčica (*Rhodeus sericeus amarus*) i istočna govedarka (*Gobio kessleri*). Pored toga, registrovano je 16 vrsta koje su na "Preliminarnom spisku vrsta za Crvenu listu kičmenjaka Srbije": smuđ, smuđ kamenjar (*Sander volgensis*), kečiga, štika, šaran, jegulja (*Anguilla anguilla*), manić (*Lota lota*), brkica (*Orthrius barbatulus*), istočna govedarka, rečna mrena (*Barbus barbus*), prugasti balavac (*Gymnocephalus schraetser*), kao i 3 vrste predložene za „Crvenu knjigu Međunarodne unije za očuvanje prirode“. Ovi nalazi, su bili jedan od razloga da se pokrene status zaštite lokaliteta, što je 2001. godine rezultiralo proglašenjem ovog područja za Specijalni rezervat prirode.

Ova staništa karakteriše i prisustvo 8 alohtonih vrsta riba: amurski čebačok vrste kompleksa *C. auratus*, sivi i beli tolstolobik, sunčanica, pastrmski grgeč (*Micropterus salmoides*), američki somić i beli amur. Prisustvo ovih vrsta ima negativan uticaj na populacije autohtonih vrsta. Posebno je negativan uticaj ispoljen od predstavnika vrsta kompleksa *C. auratus*. Njihovo omasovljenje utiče na smanjenu brojnost populacije šarana pošto ove vrste zauzimaju istu ekološku nišu u pogledu ishrane, mesta mresta i drugih životnih aktivnosti.

Najizraženije ugrožavajuće faktore za autohtonu ihtiofaunu područja predstavljaju meliorativni i hidrotehnički radovi kojima se reguliše količina vode, odnosno vodni režim. Podizanje obrambenih nasipa uz Dunav šezdesetih godina 20. veka, sprečilo je prirodni režim plavljenja velikog dela površina koje su ostale odvojene od ostalog dela vodotoka sa druge strane nasipa. Smanjenju vodenih površina doprinose i otežan proticaj vode, zasipanje, zamuljivanje i zarastanje postojećih bara i kanala. Posebno su ugroženi stari rukavci koji su presudni za pravilan dotok i protok vode na vodenim i močvarnim staništima. Dunav kao velika reka, godišnje nosi hiljade tona peska i drugog erodiranog materijala koji se jednim delom taloži u poplavnom delu i dunavcima. Na taj način dolazi do stalnog podizanja dna i smanjenja dubine rita (Kovačević i sar., 2000).

Ekološki problem predstavlja gubitak i fragmentacija staništa, posebno ispoljen u promenjenom sastavu šumskih ekosistema. Pošumljavanje velikih površina područja plantažnim topolama u znatnoj meri smanjuje plavnu zonu koja je u vreme visokih voda osnovna sredina za odvijanje prirodnog mresta. Riblje zajednice su u velikoj meri ugrožene neracionalnom i nekontrolisanom eksploatacijom kroz privredni i sportski ribolov. Rečni saobraćaj Dunavom i putna infrastruktura (asfaltni, šumski i seoski putevi) doprinose povećanom zagađenju, izmenama staništa i uznemiravanju životinja, remeteći njihove normalne životne aktivnosti.

Navedenom specijalnom rezervatu prirode pripada i **Dondo kanal** o kojem postoji veoma malo podataka, a sa koga je takođe izvršeno uzorkovanje za potrebe ovog rada. U periodu između 2012. i 2014. godine vršena su istraživanja fizičko-hemijskih parametara vode i analizirana je



struktura faune dna. U navedenom periodu pH vrednost vode se kretala od 7,3 do 8,2; suspendovane materije su bile u granicama 11,4-25,6; vrednosti totalnog ugljenika su između 2,8 i 3,4; količina amonijaka je bila od 4,7 do 7,8; hemijska potrošnja kiseonika se kretala od 5,7 i 6,8; a biološka potrošnja kiseonika od 3,2 i 4,5 (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

U fauni dna registrovani su predstavnici Oligochaeta, Chironomidae i Diptera (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

**Park prirode „Tikvara“** nalazi se u III kategoriji zaštite kao zaštićeno područje lokalnog značaja. Prema IUCN kategorizaciji spada u V kategoriju. Od 2009. godine je uvrštena u IBA. Nalazi se na listi potencijalnih EMERALD područja u R Srbiji (Bošnjak, 2011).

Zaštićeno područje „Tikvara“ se nalazi u južnoj Bačkoj, između naselja Bačka Palanka i reke Dunav. Locirano je na teritoriji opštine Bačka Palanka. Obuhvata deo inundacionog područja leve obale Dunava od 1297 km do 1305 km. Karakteriše ga niz geomorfoloških oblika rečne erozije (rukavci, rečne grede, fluvijalno jezero) različitih starosti, tako da predstavlja mozaik vlažnih staništa. Jezero Tikvara je prošireni deo rukavca koji je povezan sa Dunavom, Površina zaštićenog područja je 554,01 ha (Bošnjak, 2011).

Na zaštićenom području PP Tikvara uspostavljen je režim zaštite II i III stepena. Režim zaštite II stepena obuhvata 32% teritorije, dok je pod režimom zaštite III stepena 68% površine. Najveći deo ovog područja zauzimaju šume, objekti sa građevinskim zemljištem i nasip, dok kanali (Tikvarski kanal i tršćaci) zauzimaju 10.64% površine. Najveću vrednost prirodnog dobra predstavlja 11 tipova staništa prioriternih za zaštitu kao i strogo zaštićene vrste beskičmenjaka (1 vrsta), 7 vrsta vodozemaca, 3 vrste gmizavaca, 7 vrsta ptica i 9 vrsta sisara (Bošnjak, 2011).

Na području Tikvare zabeleženo je 25 vrsta riba. Najbrojnija je porodica *Cyprinidae*, slede *Percidae* i *Ictaluridae* (Bošnjak, 2011). Zbog povezanosti jezera sa rekom Dunav ihtiofauna je u kontaktu sa vrstama koje naseljavaju Dunav na ovom potezu. Na osnovu sastava ihtiofaune područje Tikvare pripada kategoriji nizijskih ciprinidnih voda (Ristić, 1977). Prema Pravilniku o proglašenju zaštićenih i strogo zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva u Srbiji (Službeni glasnik RS broj 5/2010), zaštićenim ribljim vrstama ovog lokaliteta pripadaju: štika, bucov (*Aspius aspius*), deverika, kesega-*Abramis ballerus*, crnooka deverika (*Abramis (Ballerus) sapa*), šaran, grgeč – *Perca fluviatilis*, smuđ i som. Na preliminarnom spisku vrsta za Crvenu listu kičmenjaka Srbije (Vasić i sar., 1990-1991) od ribljih vrsta nalaze se štika, šaran i smuđ.

Zaštićeno područje je tokom poslednjih godina izmenjeno antropogenim delovanjem što je dovelo do degradacije ekosistema. Kao najznačajnije faktore ugrožavanja ovog područja Pokrajinski zavod za zaštitu prirode (PZZP) ističe: zagađenja, invazivne i alohtone vrste, saobačajnu infrastrukturu, korišćenje zemljišta i ostalih prirodnih resursa, prenamenu prirodnih staništa u druge svrhe i izmenu režima protoka Dunava. Invazivne vrste predstavljaju jedan od najznačajnijih faktora ugrožavanja biološke raznovrsnosti nizijskih staništa Vojvodine (Panjković i sar., 2005). Među njima se, osim vrsta kompleksa *C. auratus*, izdvajaju crni američki somić- *Ameiurus melas*, cverglan – *Ictalurus nebulosus* i sunčanica koji imaju izuzetno negativan uticaj na autohtonu ihtiofaunu (Wolfram-Wais i sar, 1999). Razvoj poljoprivredne proizvodnje u neposrednoj okolini zaštićenog prirodnog dobra takođe ima negativan uticaj pošto uslovljava veće emisije fosfata, teških metala, naftnih derivata i drugih polutanata. Narušavanje vodnog režima ispoljava negativno dejstvo na kvalitativni i kvantitativni sastav ihtiofaune. Nekadašnje prostrano mrestilište i plodište riba, kakvo je bilo područje Tikvare, u velikoj meri je narušeno, tako da ova izuzetno značajna uloga sve više nestaje (Bošnjak, 2011).

Među opštim merama zaštite propisanim od strane PZZP (Bošnjak, 2011) nalaze se zabrane unošenja invazivnih vrsta, pregrađivanja vodenih migratornih pravaca, ispuštanja neprečišćenih otpadnih voda kao i voda ispod kvaliteta koji odgovara II klasi boniteta, postavljanja novih plovni objekata kao i ograničenje unošenja alohtonih vrsta.

Cilj zaštite ovog područja je očuvanje mozaičnosti staništa i za njih vezanih životnih zajednica i zaštićenih vrsta. Izloženo je velikim antropogenim aktivnostima (predstavlja poznat sportsko-rekreativni i turistički centar), ali i prirodnim procesima koji dovode do nestajanja prirodnih staništa i vrsta koje ih naseljavaju. Mere i aktivnosti zaštite područja moraju biti usmerene ka usporavanju tih procesa.

Problem alohtonih i invazivnih vrsta je prisutan u svim ribolovnim vodama na teritoriji Vojvodine, samim tim i na području Tikvare. Neophodno je kontinuirano praćenje stanja ihtiofaune i sprovođenje aktivnosti na eliminaciji ili ograničenju populacione brojnosti alohtonih vrsta. PZZP, u okviru programa zaštite, propisuje i poribljavanje autohtonim vrstama: šaranom, linjakom – *Tinca tinca* i barskim (zlatnim) karašem – *Carassius carassius*. U cilju očuvanja ribljeg fonda potrebno je preduzimanje mera za spašavanje riba sa poplavljenih područja i njihovo vraćanje u korito ribolovne vode (Bošnjak, 2011).

**Plazović** je reka koja teče kroz Srbiju i Mađarsku. Od celokupnog toka od 129 km, Mađarskoj pripada 92 km, Srbiji 37 km. Po nazivu Plazović, reka je poznata tek ulaskom u vojvođanski deo toka.

Pre prokopavanja kanala Bezdan - Bečej (1793 - 1802. godine) Plazović se ulivao u rečicu Mostongu, odnosno Plazović je predstavljao gornji tok rečice Mostonga. Izvorišni tokovi današnje Mostonge su bili pritoke tadašnjeg rečnog sistema Plazović - Mostonga.

Tokom leta za vreme velikih suša, Plazović često presušuje, dok je u proleće za vreme velikih kiša, vodotok znatno bogatiji vodom. Reka je poznata po čestim poplavama (najpoznatije su bile tokom 1970. i 2004. godine), ali se dešavalo i da presuši (1952. godine). Prilikom jačih zima Plazović se potpuno zaledi. Sama reka nije plovna.

U periodu 2012-2014. vršena su istraživanja fizičko-hemijskih parametara vode, a takođe je analizirana i fauna dna. U navedenom periodu pH vrednost vode se kretala od 6.9 do 8.8; suspendovane materije su bile u granicama 2.5-32.5 mg/L; vrednosti totalnog ugljenika su između 7.7 i 11 mg/l; količina amonijaka je bila od < 0.5 do 2.2 mg/l; hemijska potrošnja kiseonika se kretala od 20.6 do 30.2 mg/l; biološka potrošnja kiseonika od 11.1 do 15.6 mg/l (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

U fauni dna registrovani su predstavnici Oligochaeta, Chironomidae, Hirudinea, Diptera, Ephemeroptera, Odonata, Coleoptera, Isopoda, Gastropoda, Arachnida (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

**Park prirode "Jegrička"** se nalazi na prostoru južne bačke lesne terase. Lociran je između Malog bačkog kanala kod Despotova i njenog ušća u Tisu kod Žablja.

Nalazi se u II kategoriji zaštite kao zaštićeno područje pokrajinskog/regionalnog značaja. Prema IUCN kategorizaciji spada u V kategoriju kao zaštićeni kopneni predeo (područje održanih ekosistema). Od 1997. godine je na listi područja od međunarodnog značaja za ptice (IBA područja), od 2005. godine i kao međunarodno botanički značajno područje (IPA područja).

Na području Parka prirode “Jegrička” uspostavlja se režim zaštite II i III stepena. Ukupna površina zaštićenog područja iznosi 1.193,19 ha, Pod režimom zaštite II stepena nalazi se 21,5% površine, pod III stepenom je 78,5% (Kovačev i Bošnjak, 2012).

U prvoj polovini prošlog veka, pre regulacionih radova, u vreme poplava i visokog vodostaja, voda Tise se razlivala u Jegričku čineći razgranatu mrežu bara, močvara, ritova i kanala. Zbog toga je područje imalo veliki značaj kao mrestilište i plodište mnogim ribljim vrstama. Danas je ova plavna oblast odsečena od Tise, a vodotok Jegrička je sastavni deo Hidrosistema DTD.

Na osnovu opšteg kvalitativnog sastava ihtiofaune, Jegrička pripada kategoriji nizijskih ciprinidnih voda unutar regiona kanalskog sistema ribolovnih voda (Ristić, 1977).

U ranijim istraživanjima ihtiofaune Jegričke (Budakov i sar., 1984), konstatovano je prisustvo 18 vrsta riba pripadnika 6 familija. Uočljiva je dominacija vrsta kompleksa *C. auratus*.

Na osnovu raspoloživih podataka iz perioda 2010-2012. godine, utvrđeno je prisustvo 22 vrste riba, a najbrojnija je porodica *Cyprinidae*. Od prisutnih vrsta, strogo zaštićenim pripadaju gavčica – *Rhodeus serraticeps*, linjak i čikov – *Misgurnus fossilis* (Kovačev i Bošnjak, 2012).

Poslednjih godina uočava se promena sastava ihtiofaune. Uzrok tome su pogoršavanje kvaliteta vode i uništavanje staništa usled eutrofizacije i zamuljavanja korita. Jegrička je krajnji prijemnik voda iz okolnog područja tako da velike količine otpadnih voda dospevaju direktno u ovaj vodotok. Vrste koje su bile karakteristične za ovaj vodotok, kao što su skobalj (*Chondrostoma nasus*), balavac – *Gymnocephalus cernuusi* glavoč peskar (*Neogobius fluviatilis*) zamenjene su vrstama kao što su sivi tolstolobik, vrste kompleksa *C. auratus* i američki patuljasti somić (Kovačev i Bošnjak, 2012). Ove alohtone vrste imaju veliku otpornost na eutrofne uslove ekosistema, za razliku od populacija autohtonih vrsta koje ispoljavaju manju adaptabilnost.

Prisustvo alohtone ihtiofaune u staništu je prvenstveno posledica ljudskih aktivnosti. Godinama je vršeno poribljavanje planktofagim i herbivornim vrstama kineskog kompleksa (sivim i belim tolstolobikom i belim amurom) (Kovačev i Bošnjak, 2012).

Ugrožavajućim faktorima opstanka ihtiofaune područja pripadaju i nepovoljan vodni režim i povećano zagađenje vode. Intezivni meliorativni i hidrotehnički radovi su izazvali promenu vodnog režima koji je, u kombinaciji sa okolnim zagađenjem, uticao na eutrofizaciju i pogoršanje kvaliteta vode. Da bi se ovaj problem prevazišao, neophodno je obezbediti stalnu protočnost i sezonsku dinamiku variranja vodostaja. Posebnu pažnju treba usmeriti na kontrolu povećanog nivoa vode tokom sezone mresta.

Najznačajnije aktivnosti na zaštiti i unapređenju prirodnih vrednosti ovog područja su monitoring i revitalizacija staništa i vrsta. U cilju očuvanja faune riba PZZP propisuje poribljavanje Jegričke autohtonim vrstama kao što su šaran, linjak, zlatni karaš, deverika i krupatica – *Blicca bjoerkna*. Osim poribljavanja, u cilju unapređenja riblje produkcije, primenjuju se i metode kojima se poboljšava uspešnost mresta (postavljanje smuđevih gnezda).

**Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav (HS DTD)** povezuje tokove reka Dunav i Tisa kroz Vojvodinu i predstavlja jedinstveni hidrotehnički sistem. Čine ga osnovna i detaljna kanalska mreža (OKM i DKM), sa osnovnim namenama: odvodnjavanje, navodnjavanje, snabdevanje vodom, prihvatanje upotrebljenih voda, plovidba, prihvatanje vode sa teritorije susednih zemalja, šumarstvo, ribolov, turizam i rekreacija. Ukupna dužina magistralnih kanala je 930 km, od čega je u Bačkoj 421 km, u Banatu 509 km.

Da bi HS DTD ispunio svoje namene potrebno je konstantno obezbeđivanje propisanog kvaliteta vode, redovno izmuljivanje i održavanje protočnosti celokupne kanalske mreže na odgovarajućem nivou.

Zagađenje i proces ubrzane eutrofizacije u kanalskoj mreži su posledica ulivanja neprečišćenih ili nedovoljno prečišćenih industrijskih i komunalnih otpadnih voda rasutih zagađivača. Na kvalitet vode dela kanalske mreže locirane u Banatu utiču i zagađenja koja dospevaju sa teritorije Rumunije (Pujin i sar., 1987). Detektovano je preko 200 zagađivača u slivnom području, među kojima dominiraju objekti prehrambene industrije sa velikom emisijom otpada organskog porekla (Maletin i sar., 2004). Najveća koncentracija zagađivača je na području teritorije opštine Vrbas, što dovodi do velikog opterećenja kanala Vrbas-Bezdan i Bečej- Bogojevo (Maletin i sar., 2004).

Voda u kanalima je izložena i procesima samozagađivanja. Bogatstvo submerzne, flotantne i emerzne vegetacije otežava funkcionisanje i održavanje hidrosistema DTD pošto biomasa makrofita predstavlja biološku barijeru. Preteran razvoj vodene vegetacije može uzrokovati smanjenje brzine protoka vode i otežavati vodosnabdevanje. Deo biljne mase koja pada na dno podleže procesima razgradnje i dovodi do nastanka mulja koji predstavlja bogat izvor nutritivne materije i minerala, ali i potencijalno toksičnih materija (amonijaka, vodonik sulfida i drugih). Mulj nagomilavanjem postaje faktor sekundarnog zagađenja vode (samozagađenja) i stalan uzročnik nestabilnosti hidrosistema (Maletin i sar., 2006).

Saprobiološka procena kvaliteta vode ovog lokaliteta ukazuje na relativno zadovoljavajuće stanje tokom većeg dela godine (uglavnom u granicama beta-mezosaprobnog stepena). Kvalitet vode pojedinih delova kanala odgovara IIa i IIb klasi kvaliteta, sa tendencijom prelaska u III klasu (Maletin i Neatnica, 2006).

Za očuvanje kvaliteta vode hidrosistema DTD neophodno je sprečiti upuštanje neprečišćenih otpadnih voda, izvršiti uklanjanje akvatične makrofitske vegetacije i obezbediti odgovarajući kvalitet vode u izvorištima i vodotocima koji dotiču iz susednih zemalja a ulivaju se u ovaj hidrosistem (donošenjem i sprovođenjem međunarodnih sporazuma). Potrebno je povremeno osvežavati vodu u kanalima zahvatanjem neophodnih količina tekuće rečne vode iz Dunava i Tise. Jedna od značajnih preduzetih mera sa ciljem redukcije fitomase je unošenje (introdukcija) fitofagnih riba, prvenstveno belog amura. Ova ciprinidna vrsta se isključivo hrani višim vodenim biljkama i ima važnu ulogu u suzbijanju prekomerne obraslosti kanala (Maletin i sar., 1994). Iako inovativna i značajna biomanipulativna metoda, unošenje alohtonih vrsta uvek sa sobom povlači određeni stepen rizika za native članove ekosistema. Omasovljenje amura može redukovati površine na kojima se vrši odlaganje ikre fitofilnih ribljih vrsta, pojava evidentirana u pojedinim sektorima Dunava (Janković, 1995).

Dosadašnja višedecenijska ihtiološka istraživanja osnovne kanalske mreže u okviru HS DTD-a ukazuju na raznovrsnu riblju zajednicu koju čini oko 30 vrsta riba iz 8 porodica (*Esocidae*, *Cyprinidae*, *Siluridae*, *Ictaluridae*, *Anguillidae*, *Centrarchidae*, *Percidae* i *Gobiidae*). Uočena je izrazita dominacijom vrsta kompleksa *C. auratus*, sa značajnim udelom pojedinih ekonomski značajnih vrsta kao što su šaran, štuka, smuđ, som, beli amur, beli i sivi tolstolobik (Maletin i sar., 2001).

Analize sastava i strukture riblje zajednice kanalske mreže Hidrosistema DTD ukazuju na prisustvo 8 alohtonih vrsta iz tzv. kineskog i američkog kompleksa. Najveće individualno i mase u učešće među alohtonim vrstama imaju predstavnici kompleksa *C. auratus* koji su u periodu od 2001-2003. godine predstavljali oko 90% ukupnog ulova (Maletin i sar., 2003b, c).

Omnivorne (bentofage) ribe su najbrojnija ekološka grupa sa 9 konstatovanih vrsta tokom 2006. godine. Najzastupljeniji bentofagi su srebrni karaš, šaran, deverika, krupatica i bodorka – *Rutilus rutilus* (Maletin i sar., 2004; Maletin i Neatnica., 2006). Vrste kompleksa *C. auratus* su dominantne u svim ispitivanim kanalima ribarskih područja „Bačka“ i „Tamiš“. Dominacija je posebno izražena u ribarskom području „Bačkoj“ (47% u brojčanom i 42% u ukupnom masenom udelu), dok je u ribarskom području „Tamiš“ (Banat) ukupni udeo preko 30%.

U cilju unapređenja ribljeg fonda i održavanja povoljnih ambijentalnih uslova, na određenim lokacijama se sprovodi plansko poribljavanje, prvenstveno šaranom i belim amurom. Kao efikasnijamera očuvanja dela ribljeg fonda, u slučaju naglog pogoršanja kvaliteta vode, primenjuje se kombinovani selektivno-sanacioni ribolov. Izlovljavaju se primerci prekomerno namnoženih alohtonih vrsta, prvenstveno srebrnog karaša i američkog somića. Istovremeno se organizuje i prebacivanje dela ribljeg fonda u susedne sektore ili deonice sa zadovoljavajućim kvalitetom vode (Maletin i Neatnica, 2006).

**Park prirode „Palić“** se nalazi na severu Vojvodine, južno od naselja Palić. Pripada III kategoriji zaštite kao zaštićeno područje od lokalnog značaja. Prema IUCN kategoizaciji spada u IV kategoriju, a proglašeno je i za IBA područje. PP „Palić“ obuhvata površinu od 712,36 ha, od čega je 79,50% pod vodenim površinama. Pod I stepenom zaštite je 0,7% ukupne teritorije, 30,4% je pod II stepenom zaštite, dok je 68,9% pod III stepenom zaštite (Kicošev i Sabadoš, 2011).

Jezero karakteriše mala dubina i brzo zagrevanje vodene mase. Voda jezera se odlikuje niskim koncentracijama kiseonika, uz blago povišen salinitet koji je uslovljen prirodnom supstrata (Kicošev i Sabadoš, 2011). Ovakvi uslovi utiču na riblji fond i uslovljavaju prisustvo malog broja vrsta riba u ihtiofauni ekosistema. Jezero je vremenom poprimilo eutrofan karakter, u više navrata je isušivano tako da je i sastav ihtiofaune doživeo velike promene (Đukić i sar., 1991). Zbog toga nije moguće govoriti o kontinuiranom karakteru ihtiofaune Palića.

Ihtiološkim istraživanjima osamdesetih i devedesetih godina 20. veka evidentirano je prisustvo 18 vrsta riba sa dominacijom prestavnika familije Ciprinidae (Đukić i sar., 1991). Struktura ihtiofaune je velikim delom uslovljena brojnim planskim i neplanskim poribljavanjima. Planski su u jezero unošene ribe tzv. kineskog kompleksa, prvenstveno sivi i beli tolstolobik i amur. Vremenom je uočeno drastično smanjenje broja grabljivica. Zbog toga je introdukovan smuđ, pri čemu je slučajno unet i amurski čebačok. Istraživanja sprovedena tokom 2008. godine, ukazuju na značajan pad broja vrsta riba u jezeru. Uočava se potpuna dominacija alohtonih i invazivnih vrsta kao što su vrste kompleksa *C. auratus* i amurski čebačok, ali i izostanak ili smanjena brojnost pojedinih autohtonih vrsta, posebno grabljivica. Jezero sve više poprima osobine ribnjaka sa monokulturom kompleksa *C. auratus* (Kicošev i Sabadoš, 2011).

Glavni uzrok pomora riba koji su se dešavali poslednjih decenija je pogoršan kvalitet jezerske vode nastao zbog različitih vrsta zagadjenja. Prvenstveno su to ulivanja komunalne vode i vode koja se spira sa poljoprivrednog zemljišta, kao i odlaganje komunalnog otpada. Kako bi se sastav i brojnost ihtiofaune doveli na ekološki prihvatljiv nivo, PZZP je propisao mere zaštite tršćaka i priobalnog regiona koji su veoma značajni za mrest riba, ishranu i predstavljaju njihovo prirodno stanište. Pored ovih mera zabranjuje se ispuštanje otpadnih voda bez sprovedene biološke faze prečišćavanja, prihranjivanje riba u jezeru, hemijsko i fizičko zagađivanje zaštićenog područja, otvaranje deponija, kao i odlaganje opasnih materija. Ograničava se unošenje i gajenje alohtonih vrsta (Kicošev i Sabadoš, 2011). Tokom 2016. godine se realizuje sanitarni izlov kojim

se iz jezera eliminišu predstavnici kompleksa *C. auratus*. Po procenama stručnjaka iz Nemačke koji obavljaju izlov, vrste ovog kompleksa su u izrazitoj hiperprodukciji (predstavljaju oko 92% biomase ihtiofaune) ([www.subotica.com](http://www.subotica.com)).

**Specijalni rezervat prirode “Ludaško jezero”** zaštićeno je kao prirodno dobro od izuzetnog značaja za Republiku Srbiju. Uvršteno je na Ramsarsku listu 1977. godine. Površina zaštićenog područja iznosi 846,33 ha. Pod I stepenom zaštite nalazi se 8.30%, pod II stepenom je 47.18%, pod III stepenom 44.52% ukupne teritorije (Sabadoš, 2004).

Ludaško jezero sa okolnim kompleksom vlažnih staništa je locirano na granici Subotičko-Horgoške peščare i lesne zaravni Bačke. Jedina je stajaća voda peščare, koja nije pretrpela ireverzibilne promene tokom regulacija voda u regionu. U poređenju sa sličnim vodenim ekosistemima Vojvodine, pripada najočuvanijim močvarnim biotopima peščarskog i stepskog prostora. Istovremeno je i jedini predstavnik plitkih, semistatičnih jezera stepske oblasti u Srbiji.

Ludaško jezero ima dve pritoke. To su reka Kireš, koja prikuplja vodu sa peščara u Mađarskoj i kanal Palić – Ludaš, koji je prokopan za vreme sanacije Palićkog jezera sedamdesetih godina dvadesetog veka. Do sredine 20. veka jezero je zavisilo od vode iz reke Tise, sa kojom je bilo povezano. Nakon regulisanja toka Kireša, došlo je do spuštanja nivoa podzemnih voda i izmene vodnog režima jezera. Ove hidrološke promene, uporedo sa ulivanjem otpadnih voda iz kanala Palić-Ludoš, glavni su razlog pogoršanja kvaliteta vode i značajnog nagomilavanja mulja. Nedostatak kiseonika izaziva pomor riba, nestanak bentosnih organizama i ukupno osiromašenje živog sveta jezera. Anaerobni uslovi izazivaju odumiranje tršćaka u severnom delu jezera, dok južni deo gubi specifičan slani karakter i širenjem trske menja svoja ekološka svojstva. Zagađenost vode i nagomilavanje mulja stvara nepovoljne uslove za autohtone vrste i povećava dominaciju invazivnih vrsta koje su otpornije na nepovoljne uslove staništa. Jezero je karakteristično i po plitkom koritu, prosečne dubine od 1 do 2,5 m (Sabadoš, 2004).

Proučavanjem ihtiofaune Ludaškog jezera osamdesetih godina prošlog veka konstatovano je prisustvo ukupno 14 vrsta riba iz 5 porodica, pri čemu je brojem vrsta dominirala familija *Cyprinidae*. (Pujin i sar., 1988; Đukić i sar., 1991). U početku istraživanja u jezeru su bili brojni šaran, linjak i zlatni karaš, uz prvo registrovanje predstavnika vrsta kompleksa *C. auratus*. Podaci iz 2004. godine ukazuju da jezero naseljava 19 vrsta riba, od kojih je 6 alohtonih (Sabadoš, 2004). Zaštićene vrste koje podležu posebnim upravnim merama su: crnooka deverika, som i čikov. Analizom sastava ihtiofaune 2004. godine, povećao se broj alohtonih vrsta u jezeru pošto je početkom '90-ih godina prošlog veka izvršeno poribljavanje dalekoistočnim herbivornim i planktivornim vrstama. Brojnost pripadnika kompleksa *C. auratus* je u ulovu dostizala i 90%, pa se kao mera kontrole brojnosti ove vrste krajem '90-ih godina započelo sa sanitarnim izlovom.

Glavni faktori ugrožavanja ihtiofaune u jezeru su: nagomilavanje mulja koji negativno utiče na kvalitet vode, izlivanje zagađenih voda, izumiranje organizama bentosa koji su važnkarika u ishrani autohtonih vrsta i invazija srebrnog karaša i drugih alohtonih vrsta (Sabadoš, 2004). Zagađenju Ludaša doprinose i spiranje poljoprivrednog zemljišta kao i zagađenost otpadnim vodama. Kanal Palić-Ludaš opterećen je delimično prečišćenim otpadnim vodama grada Subotice i neprečišćenim vodama naselja Palić. Pod uticajem otpadnih voda tokom 70-tih godina prošlog veka u severnom delu jezera se nataložilo oko 1,3 miliona m<sup>3</sup> mulja.

Neophodne mere u zaštiti ihtiofaune su: sanacija jezera, smanjenje brojnosti alohtonih vrsta selektivni izlov, zabrana prihranjivanja ribe radi sprečavanja pogoršavanja kvaliteta vode, pove-

ćanje kontrole zagađivača, ograničavanje sportskog ribolova, i sprečavanje stihijskog poribljavanja jezera (Sabadoš, 2004).

**Specijalni rezervat prirode „Kraljevac“** nalazi se u južnom Banatu na teritoriji opštine Kovin. Predstavlja veštačku akumulaciju ukupne površine 192.2992 ha na su kojoj su ustanovljeni I, II i III stepen zaštite. Prvom stepenu zaštite pripada 15.88 ha (6.01%, ukupne površine zaštićenog dobra), II stepenu zaštite 105.76 ha (40.02%), III stepenu zaštite 142.66 ha (53.98%) (Habijan-Mikeš i sar., 2005). Kraljevac spada u IBA područja, za Specijalni rezervat prirode proglašen je 2003. godine.

Kraljevac ima stalan dotok vode, dubinu 3-7 m, dno formira barski treset. Obala je obrasla vegetacijom u okviru koje dominira trska. Pojedini delovi akumulacije se ne lede ni tokom najjačih zima, tako da sve ovo čini povoljne uslove za ihtiofaunu ([www.deliblato.net](http://www.deliblato.net); Habijan-Mikeš i sar., 2005). Prema podacima sportskih ribolovaca, u prvim godinama ovoga veka, po biomasi su dominirale unešene vrste riba, pre svega beli amur, zatim sivii beli tolstolobik, vrste kompleksa *Carassius auratus*, američki somić i sunčanica. Na strukturu ihtiofaune utiče činjenica da je Kraljevac 1988. godine poribljen amurom, sivim i belim tolstolobikom. Ove vrste koje su unete iz komercijalnih razloga, i pored brojnih izlova su i danas prisutne. Njihovo omasovljenje je dovelo do velikih promena u autohtonoj ihtiofauni (Habijan-Mikeš i sar., 2005).

Prilikom sakupljanja uzorka srebrnog karaša za izradu ove doktorske disertacije vršena je kompletna analiza ihtiofaune lokaliteta. Istovremeno sa ihtiološkim istraživanjima, vršeno je i uzorkovanje vode radi analize fizičko-hemijskih parametara. Reakcija vode je bazna (pH = 8.58), procenat zasićenja kiseonikom je 76.2%; sadržaj suspendovanih materija 8.2 mg/l; ukupan ugljenik 10.6 mg/l; amonijak 2,7 mg/l; hemijska potrošnja kiseonika (HPK) je iznosila 27.2 mg/l, biološka (BPK) 15 mg/. Ovi rezultati ukazuju na umeren do povećan stepen organskog zagađenja. Faunu dna, koja predstavlja značajnu hranidbenu bazu za ribe u periodu istraživanja činili su predstavnici Oligochaeta i Ephemeroptera (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

U ihtiofuni je brojčano i maseno dominirao srebrni karaš. Iz porodice šaranskih riba (fam. *Cyprinidae*) bili su prisutni i sivi tolstolobik, deverika, crvenperka – *Scardinius erythrophthalmus*, amurski čebačok i belica (*Leucaspis delineatus*). Porodica grgeča (Percidae) je zastupljena smuđem i grgečom, porodica Centrarchidae sunčanicom i porodica Siluridae somom (Miljanović i sar., neobjavljeni podaci).

**Srebrno jezero** se nalazi u istočnoj Srbiji, u podnožju brda Lipovača (362 m nv), udaljeno je 3 km od Velikog Gradišta. Locirano je na samoj srpsko-rumunskoj granici koju na ovom delu predstavlja reka Dunav. Pripada grupi veštačkih akumulacionih jezera.

Jezero je rukavac na desnoj obali Dunava formirano izgradnjom nasipa 1971. godine, pregrađen dvema branama (na uzvodnom i nizvodnom delu) i izdvojen od neposrednog toka Dunava. Između jezera i glavnog rečnog korita Dunava nalazilo se rečno ostrvo - Ostrovo. Srebrno jezero ima karakterističan oblik, dugačko je 14 km sa prosečnom širinom od oko 300 m, ukupne površine od 4 km<sup>2</sup>. Nalazi se na nadmorskoj visini od 70 m. Maksimalna dubina je 8 m, providnost vode je oko 1m. Prosečna temperatura jezerske vode je oko 10<sup>0</sup> C. Dno jezera odlikuje meki supstrat - mulj i les sa primesama peska ili krupnog detritusa, sa vrednostima pH u rasponu od 8.06 do 8.61, što karakteriše slabo alkalnu sredinu. Srebrno jezero se snabdeva vodom iz Dunava

podzemnim putem, prirodnom filtracijom kroz peščane nanose, dok direktnim putem prima vodu Kisiljevskog potoka i kanala kod sela Ostrovo. Na obalama jezera nalaze se turistički kompleks: hotel, nekoliko restorana, vikend-naselje i auto-kamp (Martinović-Vitanović i sar., 2009).

Srebrno jezero je nedovoljno istraživano sa hidrobiološkog stanovišta. Tokom marta 2007. godine obavljena su limnološka ispitivanja kvaliteta vode, koja su, između ostalog, imala za cilj određivanje sastava bentocenoza i kvaliteta jezerske vode. Glavni izvori nutrijenata koji dospevaju u Srebrno jezero, usled delovanja antropogenog faktora, su primena veštačkih đubriva u poljoprivredi, zatim stočarstvo, kao i komunalne otpadne vode iz turističko-rekreativnog kompleksa, naselja i brojnih vikendica na obalama jezera. U uzorcima vode nije konstatovano prisustvo žive, cijanida, fenola i pesticida, što ukazuje na relativno povoljno stanje sa aspekta očuvanja živog sveta u jezeru. Zabeležena je nešto viša koncentracija teških metala kao što su Ni i As što može imati štetno dejstvo na bentosnu zajednicu (Laliberte i Tremblay, 2002).

Bentofauna kao značajna i izuzetno osetljiva komponenta akvatičnih ekosistema na promene uslova sredine, može biti iskorišćena kao pouzdan pokazatelj u proceni kvaliteta jezerske vode (Rosenberg i Resh, 1993). Predstavnici grupa Chironomidae, Chaboridae i Oligochaeta su važni indikatori stepena zagađenja i trofije kontinentalnih voda (Kerovec i sar., 1989). Ovi predstavnici makroinvertebrata su prisutni i u bentofauni Srebrnog jezera. Pored njih, detektovani su i predstavnici Trichoptera i Hirudinea, dok je neuobičajeno potpuno odsustvo grupe Mollusca kao važne komponente faune dna. U bentocenozi Srebrnog jezera dominantna je grupa Chironomidae. Vrste roda *Chironomus* su bioindikator povećanog prisustva organskih polutanata i ukazuju na eutrofizaciju ovog lokaliteta. Proces eutrofizacije koji je prirodan za ovaj tip vodenog basena, značajno je ubrzan delovanjem antropogenog faktora. Prema dobijenim vrednostima indeksa saprobnosti, Srebrno jezero se marta 2007. godine, moglo okarakterisati kao alfamezosaprobno sa tendencijom prelaza u polisaprobno (Martinović-Vitanović i sar., 2009).

Ihtiofauna akumulacije ispoljava izrazito ciprinidni karakter. Među predstavnicima autohtonih vrsta, pored predstavnika sitne bele ribe, nalaze se i šaran i deverika. Registrovano je prisustvo grabljivica kao što su smuđ, grgeč, štika i som. U alohtontonoj ihtiofani je uočena dominacija srebrnog karaša, sunčanice i, posebno brojna populacija glavoča (*Neogobius melanostomus*) (Marković i sar. 2015).

**Predeo izuzetnih odlika „Ovčarsko-kablarska klisura“** predstavlja zaštićeno prirodno dobro I kategorije, proglašeno 2000. godine. Republički zavod za zaštitu prirode propisao je opšti režim zaštite III stepena koji bi vladao na većem delu područja, dok bi svega 6 lokaliteta bilo pod II stepenom zaštite (Đorđević, 1998). Pored kulturno-istorijskih spomenika (10 manastira), predeo karakteriše raznovrstan živi svet, posebno flora vaskularnih biljaka sa preko 600 evidentiranih vrsta i stalno ili povremeno prisustvo 140 vrsta ptica (nalazi se na spisku IBA područja) (Marković i Biočanin, 2006).

Na teritoriji zaštićenog dobra nalaze se dve akumulacije formirane na reci Zapadnoj Moravi – Ovčarsko-kablarska i Međuvršje. Obe su formirane 1953. godine pregrađivanjem reke Zapadne Morave za potrebe izgradnje hidroelektrana.

**Akumulacija „Međuvršje“** ima veći značaj sa aspekta ihtioprodukcije. Brana akumulacije (visine 31 m) se nalazi na 12 km uzvodnog rečnog toka od Čačka. Izduženog je oblika (dužine



oko 9 km, najveće širine 275 m) sa brojnim meandrima. Najveća dubina je 12 m. Veći deo akumulacije ima karakteristike reke, dok samo deo u blizini brane ima odlike jezera i predstavlja tipičnu brdsku akumulaciju (Veljović i sar., 1986). Od formiranja je izložena stalnom zasipanju rečnim nanosom, tako da je zasuto više od 70% prvobitne zapremine (Lenhardt i sar., 2009). Stalni upliv komunalnih i industrijskih voda iz uzvodno lociranih naselja, spiranje pesticida i nutrijenata sa poljoprivrednih površina, saobraćaj i brojni vikend objekti uslovljavaju intenzivnu eutrofizaciju ekosistema. Stoga Međuvršje pripada kategoriji eutrofnih akumulacija. U jezeru egzistiraju raznovrsne zajednice planktona, faune dna i makrofita, što predstavlja solidnu hranidbenu osnovu za razvoj riblje zajednice. Prema saprobiološkim karakteristikama kvalitet vode se može oceniti kao beta-mezosaproban (Spasojević i sar., 2005).

U ihtiofauni akumulacije osamdesetih godina prošlog veka autohtone šaranske ribe su bile značajno zastupljene predstavljajući 97,22% ulova ciprinidnih vrsta (Veljović i sar., 1986). U kasnijem periodu dolazi do omasovljenja pojedinih alohtonih vrsta koje su najverovatnije dospеле u stanište prilikom poribljavanja ekosistema autohtonim vrstama, prvenstveno šaranom. Pored uticaja invazivnih ribljih vrsta, negativan uticaj na strukturu i životne aktivnosti autohtone ihtiofaune, posebno mrest, imaju nagla i neperiodična kolebanja vodostaja uslovljena radom HE „Međuvršje“, različita zagađenja i prekomeran izlov ribe (Marković i sar., 1993).

Poslednje dve decenije registruje se pad brojnosti autohtonih vrsta uz izraženo omasovljenje unešenih vrsta (Marković i Lenhardt, 2009). Novija ihtiološka istraživanja ukazuju da akumulaciju Međuvršje naseljava 21 vrsta iz 7 porodica (*Cyprinidae* čine 90,65% brojnosti i 75,63% biomase). Među registrovanim ribljim vrstama alohtone su pripadnici kompleksa *C. auratus*, amur, beli tolstolobik, amurski čebačok, sunčanica i vrste roda *Ameiurus* (američki somići). Ova istraživanja potvrđuju nepovoljan odnos pojedinih ekoloških grupa riba i hiperprodukciju alohtonih vrsta (Marković, 2011; Škorić i Đikanović, 2012).

**Akumulaciono jezero “Gruža”** formirano je 1984. pregrađivanjem srednjeg toka reke Gruže koja je najduža leva pritoka Zapadne Morave. Višenamenska akumulacija je oformljena prvenstveno zbog vodosnabdevanja stanovništva grada Kragujevca, zadržavanja nanosa i zaštite od poplava. Gružansko jezero (poznato i pod nazivom jezero Knić) se nalazi na nadmorskoj visini od 273 m. Površina jezera je 9.34 km<sup>2</sup>, dužina 10 km, najveća širine do 2 km. Prosečna dubina jezera iznosi 6.3 m, maksimalna dubina izmerena kod brane je 27 m. Ukupna zapremina akumulacije je 64 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Karakteriše je mali protok (1 m<sup>3</sup>sec<sup>-1</sup>) (Ostojić i sar., 2005).

Dve trećine zapremine jezera predstavlja plići region okružen obradivim zemljištem, ostatak je dublji deo okružen šumama i pašnjacima. Velika površina u odnosu na malu dubinu, kao i minimalno kretanje vode su preduslov eutrofizacije ekosistema (Čomić i Ostojić, 2005). Kvalitet vode je ocenjen kao beta do alfa -mezosaproban sa pojedinim karakteristikama hipereutrofnog jezerskog ekosistema. U plićim delovima jezera podloga je heterogena (ilovača, glina, pesak i biljni detritus), dok je u dubljim slojevima dno muljevito sa većim sadržajem detritusa biljnog porekla koji nastaje razgradnjom makrofitske vegetacije (Ostojić i sar., 2007).

Tokom letnjih meseci u sušnim godinama nema dotoka vode iz matične reke i pritoka. Poljoprivredna aktivnost u priobalju dovodi do intenzivnog upliva nutrijenata što uslovljava hipereutrofizaciju sa pratećim posledicama, prvenstveno cvetanjem algi Cyanobacteriophyta (Martinović-Vitanović i Kalafatić, 1990). Pogoršanom kvalitetu vode doprinose i fekalna zagađenja, posebno kontaminacija bakterijom *Clostridium perfringens* (Ćurčić i Čomić, 2002).

Ekosistem odlikuje raznovrsna zajednica zooplanktona sa prisustvom 99 vrsta (Ostojić, 2000) i zajednica makrozoobentosa u kojoj je konstatovano 32 vrste uz dominaciju predstavnika *Oligochaeta* i *Chironomidae* (Simić, 2005, citirano iz Marković, 2011). Jezero karakterišu povremen deficit kiseonika u dubljim slojevima vode, kao i povremeno opterećenje vode azotnim jedinjenjima, pesticidima i drugim polutantima (Ostojić i sar., 2007). Opšti ekološki uslovi omogućuju razvoj raznovrsne riblje zajednice tako da akumulacija Gruža predstavlja glavni region sportskog ribolova u Centralnoj Srbiji (Simović i Marković, 2005).

Pregrađivanje rečnog toka i formiranje akumulacije dovelo je do velikih promena u ihtiofauni. Veliki uticaj na kvalitativnu i kvantitativnu strukturu riblje zajednice ostavile su direktne čovekove intervencije u smislu introdukcije određenih ribljih vrsta. Tokom više od tri decenije postojanja došlo je do značajnih promena u strukturi ekosistema.

Prvim ihtiološkim istraživanjima akumulacije Gruža obavljenim nakon punjenja 1985. godine evidentirano je prisustvo 16 vrsta iz 6 familija. U prvom periodu razvoja ovog jezerskog ekosistema, riblju zajednicu je karakterisalo, pored ostalog, prisustvo rečnih vrsta poput potočne mreke (*Barbus peloponnesius*), pliske (*Alburnoides bipunctatus*), krkušice (*Gobio gobio*), zlatnog vijuna (*Sabanejewia aurata balcanica*) i brkatice (Šorić, 1996).

Položaj akumulacije, okruženost obradivim zemljištem i veliki priliv nutrijenata, doveo je do brze eutrofizacije ekosistema i visoke bioprodukcije ihtiofaune. Međutim, u aprilu 1988. evidentirano je masovno uginuće riba uzrokovano gljivom *Branchiomyces sanguinus*. Posebno veliki mortalitet je registrovan u populaciji šarana. Upraznjenu ekološku nišu ove vrste zauzima kompleks *C. auratus*, čija populaciona brojnost postaje dominantna (Simović, 2001).

Kasnija istraživanja (period 1990-1995) ukazuju na promene u strukturi u smislu nestanka većeg broja reofilnih vrsta i dominaciji stagnofilnih vrsta. U izlovima obavljenim tokom 1995. godine nije zabeleženo prisustvo štuke kao predatorske vrste što je doprinelo omasovljenju pojedinih "korovskih" riba. U ihtiofauni je tom prilikom zabeleženo prisustvo 16 vrsta iz 5 familija uz dominaciju vrsta kompleksa *C. auratus* i visoku individualnu zastupljenost alohtonih vrsta kao što su sunčanica i amurski čebačok. Izrazita je brojčana dominacija predstavnika kompleksa *C. auratus* (26.02%) koji dominiraju i biomasom (43.29%). Dominacija ovih vrsta ima odraza na visok udeo alohtonih vrsta u ukupnoj individualnoj zastupljenosti (39.97%) i ihtioprodukciji (45.32%) (Simović i Marković, 1996).

Rezultati novijih istraživanja u akumulaciji Gruža ukazuju na prisustvo 19 vrsta iz 6 porodica od kojih sa 80,94% brojnosti i 74,28% biomase dominira familija *Cyprinidae*. Među registrovanim ribljim vrstama alohtone su kompleks *C. auratus*, amur, beli tolstolobik, amurski čebačok, sunčanica, vrste roda *Ameiurus* (američki somići) i glavoč peskar. Nepovoljnoj strukturi ihtiofaune doprinosi mala brojnost grabljivica (prvenstveno štuke i soma) iako je u akumulaciju 2002. unet smuđ koji je ispoljio dobru aklimatizaciju (Marković, 2011).

Izrazito povećanje brojnosti jedinki invazivnog kompleksa *C. auratus* značajno ugrožava ekološku ravnotežu u ovom staništu. Vrste ovog kompleksa su unete u akumulaciju Gruža prilikom poribljavanja šaranom i somom i pokazale su izuzetnu adaptibilnost. Brojčani odnos ženki i mužjaka iznosi 1.63 : 1 (Simović, 2001) ukazuje na postojanje povoljnih uslova za normalne životne aktivnosti i reprodukciju ovih vrsta u ovom biotopu. Opšti ekološki uslovi kao što su mala dubina, termika i visoka organska produkcija omogućavaju intenzivan tempo rasta vrsta *C. auratus* kompleksa. Njihovo omasovljenje negativno utiče na autohtonu ihtiofaunu zbog konkurentskih odnosa sa komercijalno značajnim vrstama, prvenstveno šaranom. Bentofag način ishrane

može usloviti mobilizaciju teških metala i drugih polutanata iz jezerskog sedimenta i pogoršati kvalitet vode akumulacija koje se koriste za vodosnabdevanje (Marković i Ivić, 2009).

### 4.3. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti

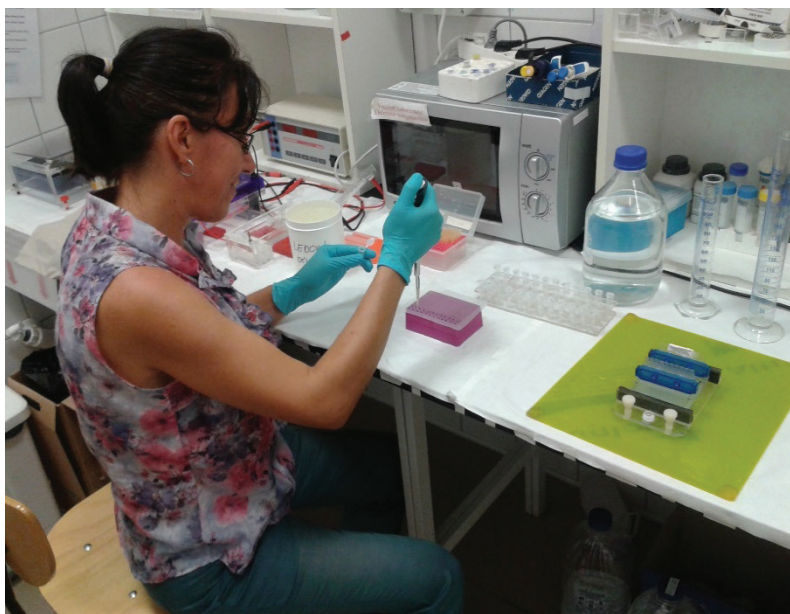
U cilju ispitivanja morfološke i genetičke varijabilnosti vrsta kompleksa *Carassius auratus*, jedinke ovog kompleksa su izlovljavane na 14 lokaliteta u periodu 2012 – 2014 godine (Tabela 3). Izlovljavanje je vršeno standardnim elektroagregatom i mrežama različitih promera okaca. Izlovljene jedinke su bile transportovane na Departman za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu gde su zamrzavane na -20 °C do daljih analiza. Analiza populaciono-genetičke strukture kompleksa *C. auratus* sa teritorije Srbije izvršena je u laboratorijama za molekularnu biologiju i genetiku Departmana za akvakulturu Fakulteta za poljoprivredu i životnu sredinu, Univerziteta Sent Ištvan u Mađarskoj.

<b>Tabela 3.</b> Lokalizetati sa kojih su prikupljeni uzorci za analizu genetičke i morfološke raznovrsnosti kompleksa vrsta <i>Carassius auratus</i> .		
Lokalitet	Koordinate	N
Jegrička Žabalj	N 45°23'39,16", E 20°08'11,56"	12
Jegrička Temerin	N 45°27'20,6", E 19°51'22,0"	10
DTD Bačko Gradište	N 45°33'40,1", E 20°01'34,4"	19
DTD Bogojevo	N 45°31'03,7", E 19°12'41,4"	19
Gornje Podunavlje	N 45°49'21,7", E 18°55'34,8"	12
Dondo	N 45°44'40,5", E 19°06'43,3"	5
Ludaš	N 46°06'04,7", E 19°49'25,7"	18
Plazović	N 45° 47' 11,8", E 18° 59' 9,5"	17
Srebrno jezero	N 44°44'58,6", E 21°25'54,1"	7
Tikvara	N 45°12'38,3", E 20°01'56,2"	5
Gruža	N 43°56'33", E 20°41'12"	12
Međuvršje	N 43°54'46", E 20°14'16"	10
Palić	N 46°04'56,3", E 19°45'29,8"	10
Kraljevac	N 44°50'24,2", E 21°01'54,1"	11

Sterilnim priborom uzorkovan je deo repnog peraja koji je do daljih analiza bio fiksiran u 96% etanolu. Zbog stanja u kojem su jedinke bile prilikom uzorkovanja, kao i usled prirodnog procesa degradacije tkiva, neki od uzoraka nisu bili pogodni za izolaciju DNK, te su izostavljeni iz daljih genetičkih analiza. Ukupno je prikupljeno 220 uzoraka, DNK materijal je izolovan iz 158 uzoraka. Priprema uzoraka i izolacija DNK izvršena je pomoću E.Z.N.A. Tissue DNA kompleta (Omega bio-tek, USA).

Nakon izolacije, ukupna DNK je proveravana elektroforezom i vizualizovana na 1,7% agaroznom gelu pomoću 4% etidium bromida. Na gel je nanošeno 3 $\mu$ l uzorka i 3 $\mu$ l nosača. Kao marker veličine fragmenata korišćen je GeneRuler 100 bp Plus DNA Ladder (Fermentas, Vilnius, Lithuania) sa opsegom od 100 do 3000 bp (Slika 4).

Količina i kvalitet izolovane DNK proveravani su na Implen nanofotometru. Uzorci sa zadovoljavajućim vrednostima koncentracije i čistoće DNK (koncentracija DNK veća od 20 ng/ $\mu$ l, čistoće (A260-A280) između 1,8 i 2,4) su podvrgnuti PCR analizi. Zbog nedovoljne količine DNK, iz daljih analiza isključeno je 62 uzorka. Priprema za sekvenciranje je izvršena na 96 uzoraka sa 11 lokaliteta.



**Slika 4.** Priprema gela za proveru izolovane DNK metodom elektroforeze

### **4.3.1. Umnožavanje DNK lančanom reakcijom polimeraze – PCR (*engl.* polymerase chain reaction)**

Za identifikaciju vrsta kompleksa *C. auratus* korišćeni su prajmeri *cytb*-L15915\_R (ctycrrt-ctccgattacaagac) (Invitrogen, D3622E08) i *cytb*-L14724\_F (gacaaaaccaccgttg) (IDT, 70446305) (Irwin i sar., 1991). Segment *cytb* je umnožavan prema protokolu navedenom u Tabeli 4 i programu navedenom u Tabeli 5. PCR analiza je rađena na ProFlex PCR System (Applied Biosystems by Life Technologies) (Slika 5).

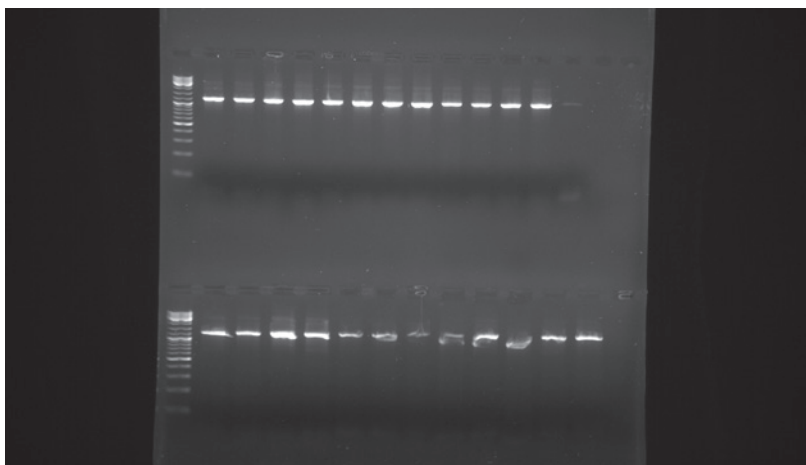


Slika 5. Priprema PCR reakcije

<b>Tabela 4.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne PCR reakcije.	
Komponenta	Zapremina (μl)
Dream Taq (Thermo Scientific)	2,5
dNTP	2
Prajmer 1	1,5
Prajmer 2	1,5
Taq	0,5
DMSO	1
Mq voda	14-10
DNK uzorak	2-6
Ukupno	25

<b>Tabela 5.</b> Program PCR ciklusa		
	Trajanja i temperatura	Ciklusi
PAD:	10 min 95 °C	1x
Cyc:	15 sec 95 °C	5x
	60 sec 52 °C	
	2 min 20 sec 72 °C	
Cyc:	15 sec 95 °C	40x
	20 sec 52 °C	
	2 min 72 °C	
Elo:	5 min 72 °C	1x
	4 °C	

Kvalitet PCR produkta proveravan je elektroforezom i vizualizovan na 1,7% agaroznom gelu pomoću etidium bromida (2  $\mu$ l /50 ml TBE pufera). Na gel je nanošeno 3 $\mu$ l uzorka i 3 $\mu$ l nosača. Kao marker veličine fragmenata korišćen je GeneRuler 100 bp Plus DNA Ladder (Fermentas, Vilnius, Lithuania) sa opsegom od 100 do 3000 bp (Slika 6).



**Slika 6.** Provera PCR produkta dela *cytb* gena na 1,7% agaroznom gelu

#### 4.3.2. Sekvenciranje i analiza fragmenata *cytb* gena

Za proces sekvenciranja, uzorci su prvo prečišćeni prema protokolu prikazanom u Tabeli 6. Temperaturni profil za tu reakciju je bio: 50 min na 37°C, 15min na 80°C i 4°C do daljnjeg. Priprema sekvencione reakcije odvijala se prema protokolu prikazanom u Tabeli 7. Temperaturni profil za tu reakciju činilo je 28 ciklusa: 10sec na 96°C, 5 sec na 50°C, 4min na 60°C i završen je čuvanjem na 4°C do daljnjeg.

<b>Tabela 6.</b> Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne digestione reakcije.	
Komponenta	Zapremina ( $\mu$ l)
10x SAP pufer	0,11
SAP (1 U/ $\mu$ l)	0,50
Exol (10 U/ $\mu$ l)	0,11
Mq voda	1,28
DNK uzorak	5
Ukupno	7

**Tabela 7.** Zapreminski sadržaj komponenti za izvođenje jedne pripreme rekacije za sekvenciranje.

Komponenta	Zapremina ( $\mu$ l)
Bid Dye	1
5x Big Dye pufer	1,5
Prajmer (reverse)	0,5
MQ voda	5
Uzorak	6
Ukupno	10

**Tabela 8.** Zapreminski sadržaj komponenti za pripremu acetatne mešavine za taloženje jednog uzorka za sekvenciranje.

Acetatna mešavina	Zapremina ( $\mu$ l)
$C_2H_3NaO_2$ (3M)	3
MQ voda	14,5
cc. etanol	62,5
Ukupno	80

Uzorak pripremljen na ovaj način podvrgnut je reakciji taloženja pomoću acetatne mešavine (Tabela8). Smeša uzorka (10 $\mu$ l) i 80 $\mu$ l acetatne mešavine je bila inkubirana 10min na sobnoj temperaturi pa centrifugirana 20 min na 4°C na 4500 rpm. Nakon odlivanja supernatanta, na talog je dodato 180  $\mu$ l 70% etanola i ponovljeno je centrifugiranje (20 min na 4°C na 4500 rpm). Nakon toga, talog je prosušen centrifugiranjem obrnuto postavljene tubice 1 min na 1000 rpm i resuspendovan u 20  $\mu$ l Hi-Di formamida i inkubiran tokom noći na 4°C.

Sekvenciranje je bilo izvedeno pomoću BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystem) prema uputstvu proizvođača na uređaju **Applied Biosystems 3130 Genetic Analyzer** Applied Biosystem. Dobijene sekvence su poravnate i ručno korigovane pomoću MEGA7(Kumar i sar., 2016).

Za identifikaciju dobijenih sekvenci izvršena je Megablast analiza (Benson i sar., 2012). Kao referentne, u ovu svrhu su korišćene dostupne sekvence (NCBI Gene Bank) (Tabela 9).

Za grupisanje sekvenci u haplotipove korišćen je softver CluscalW (McWilliam i sar., 2013). Za formiranje filogenetskih stabala u MEGA7 softveru prvo je odabran odgovarajući model, a stabla su konstruisana metodama Maximum likelihood i Neighbour-Joining.

<b>Tabela 9.</b> Referentne sekvence korišćene za identifikaciju vrsta			
Vrsta	Pristupni kod	Referenca	Država porekla
<i>Carassius auratus</i>	EU663599	Rylková i sar., 2010	Kina
	GU991398	Kalous i sar., 2012	Korea
	EU663597	Rylková i sar., 2010	Kina
	GU991392	Kalous i sar., 2012	Kina
	GU991386	Kalous i sar., 2012	Albanija
	GU991390	Kalous i sar., 2012	Albanija
	GU991395	Kalous i sar., 2012	Grčka
	EU663574	Rylková i sar., 2010	Republika Češka
	GU991391	Kalous i sar., 2012	Kazahstan
<i>Carassius gibelio</i> I	HM000009	Kalous i sar., 2012	Poljska
	HM000020	Kalous i sar., 2012	Estonija
	GU170378	NCBI Gene Bank	Rusija
	FJ822041	NCBI Gene Bank	Rusija
	FJ478019	NCBI Gene Bank	Rusija
	AB368700	Takada i sar., 2010	Rusija
	HM000008	Kalous i sar., 2012	Rumunija
	HM008678	Kalous i sar., 2012	Bugarska
	JN402305	Kalous i sar., 2012	neotipe; Republika Češka
	HM008684	Kalous i sar., 2012	Mongolija
	HM008685	Kalous i sar., 2012	Mongolija
<i>Carassius gibelio</i> II	DQ868924	Kalous i sar., 2012	Mongolija
	DQ868925	Kalous i sar., 2012	Mongolija
	DQ868926	Kalous i sar., 2012	Mongolija
	HM008690	Kalous i sar., 2012	Mongolija
<i>Carassius langsdorfii</i>	AB368690	Takada i sar., 2010	Japan
	DQ399920	Kalous i sar., 2007	Japan
	AB368677	Takada i sar., 2010	Japan
	AB368678	Takada i sar., 2010	Japan
	AB368680	Takada i sar., 2010	Japan
<i>Carassius cuvieri</i>	AB045144	NCBI Gene Bank	nepoznato
	JN402304	Kalous i sar., 2012	Japan
<i>Carassius carassius</i>	DQ399917	Kalous i sar., 2007	Nemačka
	GU991400	Kalous i sar., 2012	Velika Britanija
	DQ399938	Kalous i sar., 2012	Republika Češka



## 4.4. Morfološka raznovrsnost vrste *Carassius gibelio* I

### 4.4.1. Materijal

S obzirom da je na osnovu populaciono-genetičke analize utvrđeno da sve analizirane jedinke pripadaju vrsti *C. gibelio* (I) (poglavlje Rezultati 5.2), u poglavljima koje se odnose na morfološku varijabilnost rezultati će biti tumačeni za vrstu *C. gibelio*, a ne za “vrste kompleksa *C. auratus*”. Iako nije bilo moguće kompletirati populaciono-genetičku analizu za sve jedinke koje su korišćene za morfološke analize, sve ulovljene ribe sa jednog lokaliteta su lovljene u vidu jata te se može smatrati da sve jedinke sa istog lokaliteta pripadaju istoj vrsti.

#### 4.4.1.1. Generalna morfološka raznovrsnost vrste *Carassius gibelio* u Vojvodini

U cilju ispitivanja morfološke varijabilnosti vrste *Carassius gibelio* sa teritorije Vojvodine i peripanonske oblasti, jedinke ovog kompleksa su izlovljavane na 12 lokaliteta (Jegrička Žabalj, Jegrička Temerin, DTD Bačko Gradište, DTD Bogojevo, Gornje Podunavlje, Dondo, Ludaš, Plazović, Srebrno jezero, Tikvara, Gruža i Međuvršje) tokom 2012 – 2014 godine. Izlovljavanje je vršeno standardnim elektroagregatom i mrežama različitih promera okaca. Izlovljene jedinke su bile transportovane na Departman za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu gde su zamrzavane na -20 °C do daljih analiza. Morfološka varijabilnost jedinki kompleksa vrsta *Carassius auratus* je bila ispitivana tradicionalnom linearnom kao i geometrijskom morfometrijom. Ispitivana je morfološka varijabilnost celog tela riba kao i odabranih kostiju glavenog skeleta.

#### 4.4.1.2. Uticaj prisustva predatora i protoka vode na morfološku raznovrsnost vrste *Carassius gibelio*

U cilju ispitivanja uticaja predatora i protoka vode na morfološku varijabilnost korišćene su jedinke vrste *Carassius gibelio* sa tri lokaliteta: Kraljevac, kanal DTD i Palić izlovljene tokom 2012. i 2013. godine. Prva dva lokaliteta imaju predatore kao što su grgeč, smuč i štika, dok u Paliću one nisu prisutne i uglavnom dominira *C. gibelio*. Kraljevac i Palić nisu protočni lokaliteti dok kanal DTD jeste.

Ukupno je izlovljeno 84 jedinki (Kraljevac – 35; DTD – 32; Palić - 17). S obzirom da su na Paliću izlovljene samo ženke, dalje analize su sprovedene samo na ženkama sa svih lokaliteta (Kraljevac - 11; DTD - 11; Palić - 10). Izlovljavanje je vršeno standardnim elektroagregatom i mrežama različitih promera okaca. Izlovljavane jedinke su bile transportovane na Departman za biologiju i ekologiju, Univerziteta u Novom Sadu gde su zamrzavane na -20 °C do daljih analiza. Morfološka varijabilnost celog tela je ispitivana tradicionalnom linearnom morfometrijom i geometrijskom morfometrijom.

#### **4.4.1.3. Rekonstrukcija morfološke raznovrsnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste *Carassius gibelio***

S obzirom da su jedinke korišćene za ove analize u vreme izlova bile determinisane kao *Carassius gibelio* (srebrni karaš), kako ne bi došlo do konfuzije, ova determinacija će se koristiti i u daljem tekstu za ovu analizu.

Individue srebrnog karaša prikupljane su u periodu 1983 – 1985. godine pomoću ribarskih mreža različitih promera okaca. Ukupno je izlovljeno 524 jedinki (Mrtva Tisa – 177; Obedska bara – 164; Palić – 183) koje su bile transportovane do ondašnjeg Instituta za biologiju, a današnjeg Departmana za biologiju i ekologiju, Univerziteta u Novom Sadu i zamrznute na -20 °C do daljih morfometrijskih analiza. Ispitivana je morfološka varijabilnost celog tela riba pomoću tradicionalne linearne morfometrije.

#### **4.4.1.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste *Carassius gibelio***

Jednike za analize varijabilnosti krljušti su prikupljane sa četiri lokaliteta: Kanal DTD, Jegrička Temerin, Jegrička Žabalj i Međuvršje. Po pet krljušti je uzimano sa 6 različitih delova tela svake ribe. Regenerisane krljušti i krljušti bez jasno definisanog centra nisu uzimane u obzir. Po tri krljušti sa svakog dela tela svake jedinke su slikane pod lupom Leica MZ 16, sa kamerom Leica DFC 320. Morfološka varijabilnost krljušti je analizirana geometrijskom morfometrijom.

### **4.4.2. Metode**

Morfološka varijabilnost jedinki vrste *Carassius gibelio* je bila ispitivana tradicionalnom linearnom kao i geometrijskom morfometrijom. Ispitivana je morfološka varijabilnost celog tela riba, odabranih kostiju glavenog skeleta: operculum, praeoperculum, interoperculum, suboperculum, pharyngea, hyomandibulare, a s obzirom da je glaveni skelet kod riba srastao sa ramenim pojasom, u analizu je ušla i kost chleitrum. Takođe je ispitivana morfološka varijabilnost krljušti sa različitih regiona na telu.

Nakon fotografisanja riba za dalje analize, za analizu linearne i geometrijske morfometrije glavenog skeleta i cleitruma, glava svake individue je bila odstranjena, a zatim kuvana na 100°C 20 minuta radi odvajanja mekog tkiva. Nakon kuvanja, kosti su tretirane 12%hidrogenom radi izbeljivanja.

#### **4.4.2.1. Meristički parametri**

Jedinke prikupljene sa terena su prvo odmrzavane na sobnoj temperaturi. Nakon otapanja, za svaku ispitivanu jedinku određivani su meristički karakteri kako bi se ustanovio potencijalni uticaj pola i lokaliteta na njihovo variranje. Parametri obuhvaćeni ovom analizom su bili tvrde i meke žbice pektoralnog, ventralnog, dorzalnog i analnog pearaja, kao i broj krljušti u bočnoj

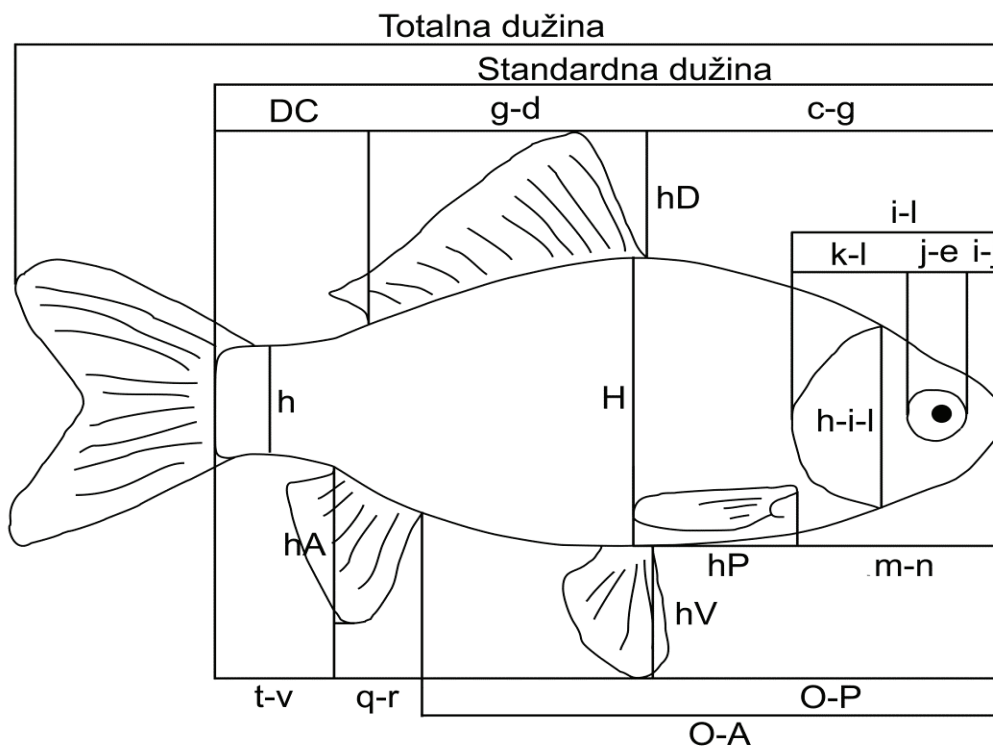
liniji, iznad i ispod nje. Ovi parametri su dalje podvrgnuti istim statističkim analizama koje su bile primenjene na morfometrijske parametre.

Uticaj pola i lokaliteta na merističke parametre je bio testiran dvofaktorskom analizom varjanse (two-factor ANOVA). Diskriminantna kanonijska analiza (DCA) je korišćena za analizu varijabilnosti u ovim parametrima između lokaliteta, dok je varijabilnost prikazana pomoću grafika kanonijskih osa. Kvadrati Mahalanobisovih distanci između analiziranih grupa dobijenih pomoću DCA su korišćeni kao mera sličnosti za klaster analizu. UPGMA je bio izabran kao klastering algoritam. Svi statistički testovi su rađeni u STATISTICA v12 softveru (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

#### 4.4.2.2. Linearna morfometrija

##### Linearna morfometrija celog tela ribe

Nakon merističke analize, desna strana svih jedinki je slikana Nikon D5000 digitalnom kamerom. Za potrebe analize linearne morfometrije korišćen je ImageJ softver (Schneider i sar., 2012). Za svaku jedinku su uzimane dve mere koje opisuju veličinu (totalna i standardna dužina tela) i 19 tradicionalnih morfometrijskih mera koje opisuju biološku formu riba: antedorzalno rastojanje (c-g), dužina osnove dorzalnog peraja (g-d), visina dorzalnog peraja (hD), postdorzalno rastojanje (DC), dužina glave (i-l), predočni region glave (i-j), dijametar oka (j-e), zaočni region glave (k-l), najveća visina glave (h-i-l), antepektoralno rastojanje (m-n), anteventralno rastojanje (O-P), anteanalno rastojanje (O-A), dužina osnove analnog peraja (q-r), visina pektoralnog peraja (hP), visina ventralnog peraja (hV), visina analnog peraja (hA), dužina repnog stabla (t-v), najveća visina tela (H) i najmanja visina tela (h) (Slika 7).



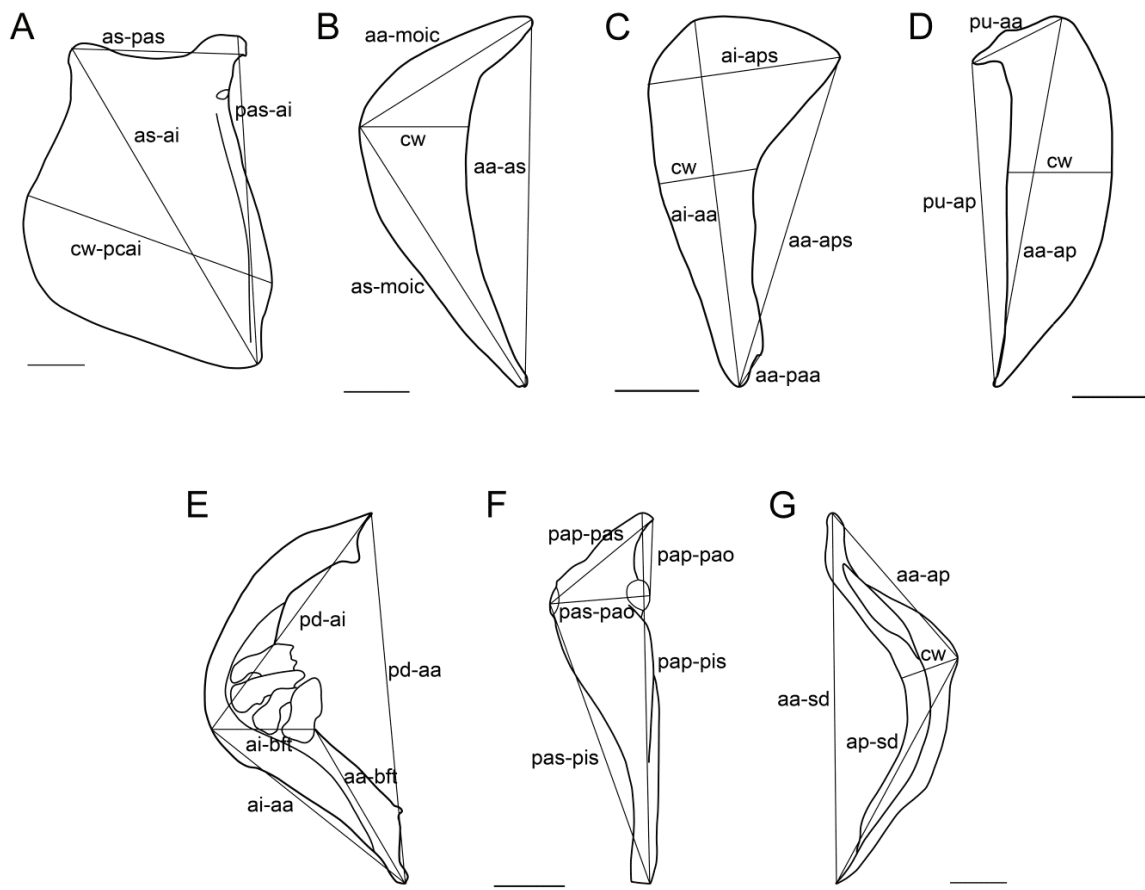
Slika 7. Prikaz morfometrijskih mera korišćenih za opisivanje biološke forme celog tela riba metodom linearne morfometrije.

**Linearna morfometrija kostiju glavenog skeleta i cleitruma ribe**

Za svaku kost je mereno četiri do pet dimenzija koje su na najbolji način opisivale oblik kosti (Tabela 10). Sve kosti sa merama prikazane su na Slici 8.

<b>Tabela 10.</b> Opis morfometrijskih mera kostiju glavenog skeleta i cleitrum-a korišćenih prilikom analize linearnom morfometrijom	
Morfometrijska mera	Opis mere
<i>Chleitrum</i>	
aa-sd	Od vrha angulus anterior do vrha spina dorsalis
aa-ap	Od vrha angulus anterior do vrha angulus posterior
ap-sd	Od vrha angulus posterior do vrha spina dorsalis
Cw	širina tela kosti
<i>Pharyngii</i>	
pd-aa	Od vrha processus dorsalis do vrha angulus anterior
pd-ai	Od vrha processus dorsalis do vrha angulus inferior
ai-bft	Od vrha angulus inferior do mesta spajanja prvog ždrelnog zuba i processus anterior
aa-bft	od vrha angulus anterior do mesta spajanja prvog ždrelnog zuba i processus anterior
<i>Hyomandibulare</i>	
pap-pis	od vrha processus articularis pteroticus do desnog vrha processus inferior s. symplectici
pap-pao	Od vrha processus articularis pteroticus do vrha processus articularis opercularis
pap-pas	Od vrha processus articularis pteroticus do vrha processus articularis sphenoticus
pas-pis	Od vrha processus articularis sphenoticus do vrha processus inferior s. symplectici
pas-pao	Od vrha processus articularis sphenoticus do vrha processus articularis opercularis
<i>Interoperculum</i>	
ai-aps	Od angulus inferior do vrha angulus v. processus superior
ai-aa	Od angulus inferior do vrha angulus anterior
aa-aps	Od vrha angulus anterior do vrha angulus v. processus superior
aa-paa	Od vrha angulus anterior do procussus angulus anterior
Cw	širina tela kosti
<i>Operculum</i>	
pas-ai	Od vrha processus v. angulus supraarticularis do vrha angulus inferior
cw-pcai	maksimalna širina tela kosti

as-ai	Od vrha angulus superior do vrha angulus inferior
as-pas	Od vrha angulus superior do vrha processus v. angulus supraarticularis
<i>Praeoperculum</i>	
aa-as	Od vrha angulus anterior do vrha angulus superior
aa-moic	Od vrha angulus anterior do sredine margo opercularis/margo interopercularis curve
as-moic	Od vrha angulus superior do sredine margo opercularis/margo interopercularis curve
Cw	širina tela kosti
<i>Suboperculum</i>	
pu-ap	Od vrha processus uncinatus do angulus posterior
aa-ap	Od angulus anterior do angulus posterior
Pu-aa	Od vrha processus uncinatus do angulus anterior
Cw	širina tela kosti



Slika 8. Prikaz kostiju na kojima je vršena linearna morfometrijska analiza sa popisom mera.

A - operculum; B - praeoperculum; C - interoperculum; D - suboperculum ; E – pharyngii;

F - hyomandibulare ; G – cleitrum

### Procedura i statistička obrada podataka dobijenih linearnom morfometrijom

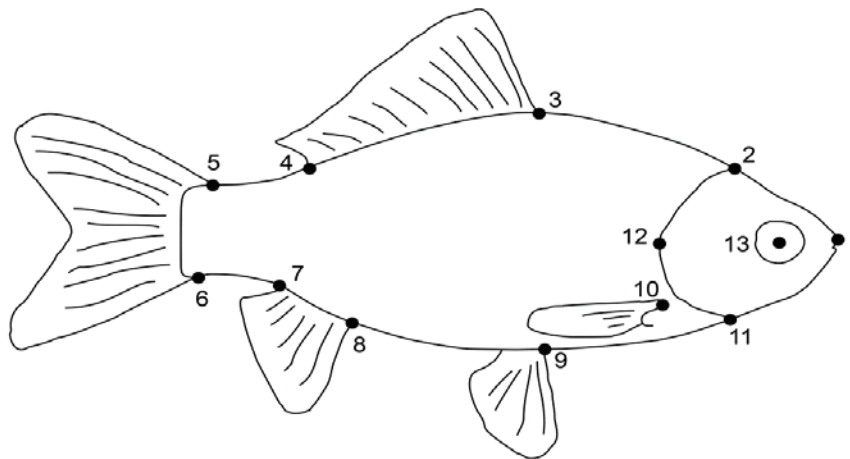
Pre statističke obrade podataka, tradicionalne morfometrijske mere su prvo transformisane kako bi se uklonio uticaj veličine na varijabilnost u obliku. Sve mere su prvo ln-transformisane i za dalje analize su korišćeni reziduali regresije ln-morfometrijske mere na ln-standardnu dužinu. Pearson-ovom korelacijom (Pearson's product moment correlation) je testirana uspešnost transformacije (transformacija je bila uspešna ukoliko nije detektovana statistički znatna korelacija reziduala sa ln-transformisanom standardnom dužinom).

Uticaj pola i lokaliteta na oblik tela je testiran dvofaktorskom analizom varjanse (two-factor ANOVA). Diskriminantna kanonijska analiza (DCA) je korišćena za analizu varijabilnosti u obliku između lokaliteta, dok je varijabilnost vizualizirana pomoću grafika kanonijskih osa. Kvadrati Mahalanobisovih distanci između analiziranih grupa dobijenih pomoću DCA su korišćeni kao mera sličnosti za klaster analizu. UPGMA je bio izabran kao klastering algoritam. Svi statistički testovi su rađeni u STATISTICA v12 softveru (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

#### 4.4.2.3. Geometrijska morfometrija

##### Geometrijska morfometrija celog tela ribe

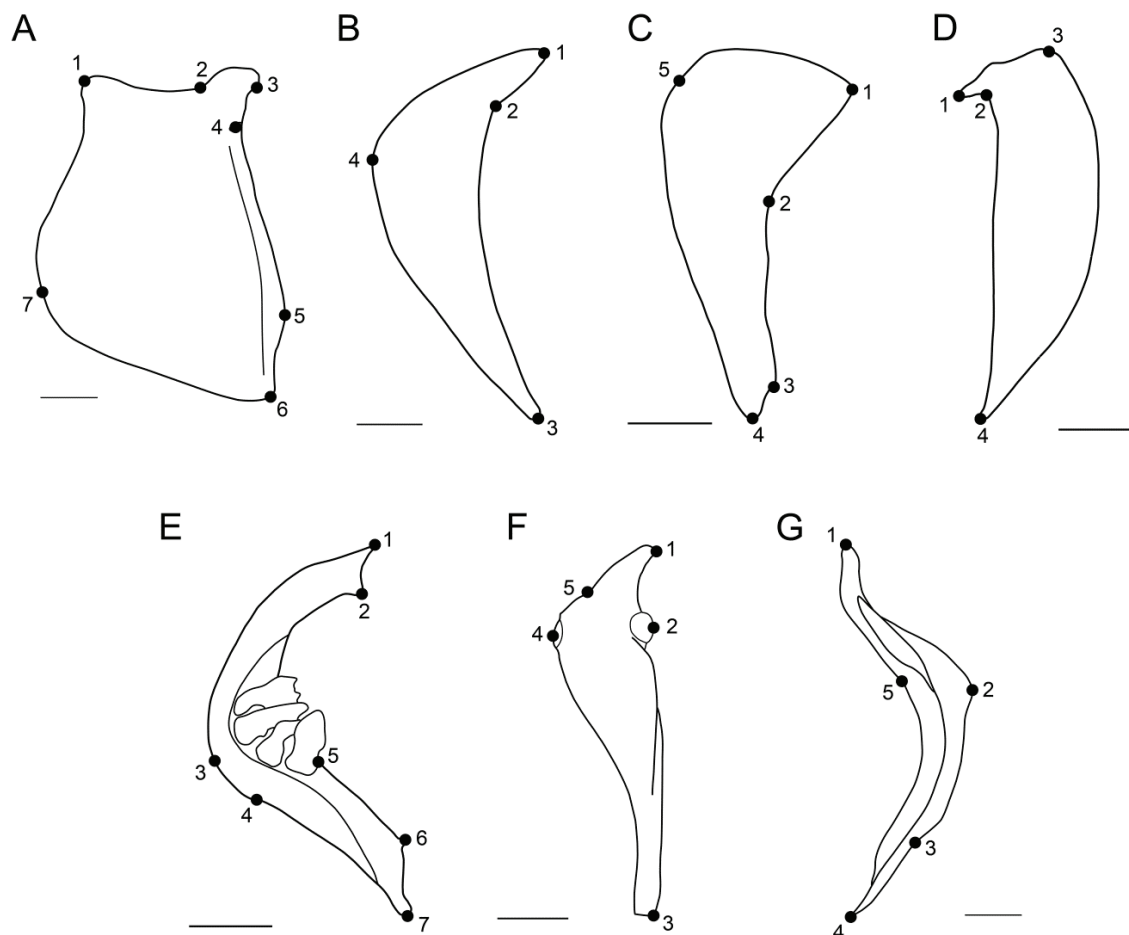
Jedinke prikupljene sa terena su prvo odmrzavane na sobnoj temperaturi. Nakon odmrzavanja, desna strana svih jedinki je slikana Nikon D5000 digitalnom kamerom. Za potrebe analiza geometrijske morfometrije celog tela riba, digitalizovano je ukupno 13 karakterističnih tačaka (Slika 9) pomoću TpsDig2 softvera (Rohlf, 2005).



Slika 9. Prikaz položaja 13 karakterističnih tačaka za opisivanje morfološke varijabilnosti celog tela riba metodom geometrijske morfometrije. 1 – vrh njuške; 2 – dozalna tačka operkuluma; 3 – početak dorzalnog peraja; 4 – kraj dorzalnog peraja; 5 – početak repnog peraja; 6 – kraj repnog peraja; 7 – kraj analnog peraja; 8 – početak analnog peraja; 9 – početak ventralnog peraja; 10 – početak pektoralnog peraja; 11 – ventralna tačka operkuluma; 12 – sredina operkuluma; 13 – sredina oka.

### Geometrijska morfometrija kostiju glavenog skeleta i cleitruma ribe

Za potrebe analiza geometrijske morfometrije kostiju glavenog skeleta i cleithrum-a određene su karakteristične tačke za svaku kost (Tabela 11; Slika 10) i digitalizovane pomoću TpsDig2 softvera (Rohlf, 2005).



**Slika 10.** Prikaz položaja karakterističnih tačaka na kostima za analizu geometrijskom morfometrijom. A - operculum; B - praeoperculum; C - interoperculum; D - suboperculum; E – pharyngii; F - hyomandibulare ; G – cleithrum

**Tabela 11.** Opis karakterističnih tačaka kostiju glavenog skeleta i cleitrum-a korišćenih prilikom analiza geometrijske morfometrije

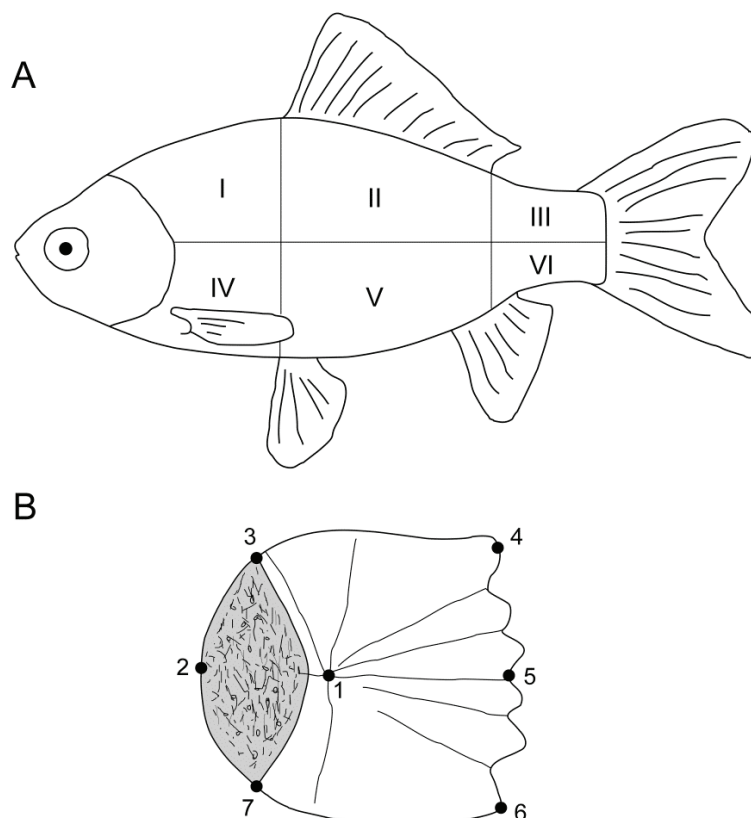
Karakteristične tačke	Opis karakterističnih tačaka
<i>Cleithrum</i>	
1	vrh angulus anterior
2	vrh angulus posterior
3	incisura dorsalis

4	spina dorsalis
5	sredina krivine na margo anterior
<i>Pharyngii</i>	
1	gornji vrh processus dorsalis
2	donji vrh processus dorsalis
3	vrh angulus inferior
4	
5	mesto spajanja prvog zdrelnog zuba i processus anterior
6	vrh processus anterior
7	vrh angulus anterior
<i>Hyomandibulare</i>	
1	vrh processus articularis pteroticus
2	vrh processus articularis opercularis
3	desni vrh processus inferior s. symplectici
4	vrh processus articularis sphenoticus
5	
<i>Interoperculum</i>	
1	vrh angulus v. processus superior
2	angulus v. processus superior
3	processus angulus anterior
4	angulus anterior
5	angulus inferior
<i>Operculum</i>	
1	vrh angulus superior
2	incisura postarticularis
3	vrh processus v. angulus supraarticularis
4	fovea articularis
5	vrh processus costa anterior interna
6	vrh angulus inferior
7	sredina angulus posterior
<i>Praeoperculum</i>	
1	angulus anterior
2	sredina margo hyomandibularis/margo quadrati curve
3	angulus superior
4	sredina margo opercularis/margo interopercularis curve
<i>Suboperculum</i>	
1	vrh processus uncinatus
2	početak processus uncinatus
3	angulus anterior
4	angulus posterior



## Geometrijska morfometrija krljušti

Za potrebe analize geometrijske morfometrije krljušti, krljušti su uzorkovane sa 6 kvadranta sa leve strane riba (Slika 11A). Kvadranti su podeljeni tako da jedna horizontalna granična linija (bočna linija) deli telo na gornje i donje kvadrante dok dve vertikalne granične linije (jedna na početku dorzalnog peraja a druga na kraju dorzalnog peraja) dele kvadrante na anteriorne, medijalne i posteriorne. Karakteristične tačke koje opisuju oblik krljušti (Slika 11 B; Staszny i sar., 2012) su digitalizovane pomoću TpsDig 2 softvera (Rohlf, 2005).



**Slika 11.** Prikaz kvadranta sa kojih su uzorkovane krljušti (A), prikaz položaja karakterističnih tačaka na krljušti korišćenih za analizu geometrijskom morfometrijom (B)

### Procedura i statistička obrada podataka dobijenih geometrijskom morfometrijom

Nakon obeležavanja tačaka, pristupljeno je statističkoj analizi podataka. Kao mera veličine, korišćena je centroidna veličina koja predstavlja kvadratni koren sume kvadrata distance svih tačaka od centroida (Mitteroecker i sar., 2013). Nakon računanja centroidne veličine, jedinice su bile podvrgnute generalnoj prokrustovoj analizi (GPA) kojom se sirove koordinate tačaka nadređuju, stvara se usaglašen oblik i odstranjuje varijabilnost nastala usled pozicioniranja, orijentacije i/ili skaliranja (Rohlf i Slice, 1990).

Uticaji pola i lokaliteta na veličinu tela i kostiju glavenog skeleta su analizirani pomoću dvofaktorske analize varijanse (two-factor ANOVA). Uticaj veličine (alometrija), pola i lokaliteta na varijabilnost u obliku je testiran pomoću multivarijantne regresije. Prokrustove koordinate su

bile postavljene kao zavisno promenljive, dok su veličina (log CS), lažni pol (kodiran kao 1 i 2) i lažni lokalitet (kodirani kao 1 do 12) bili postavljeni kao nezavisno promenljive. Statistička značajnost ovog testa je analizirana permutacionim testom sa 10000 ponavljanja protiv nulte hipoteze nezavisnosti ovih parametara. S obzirom da je veličina imala značajan uticaj na varijabilnost oblika, urađena je korekcija kojom se zanemaruje uticaj veličine na promene u obliku. U ovu svrhu su korišćeni reziduali dobijeni linearnom regresijom log CS kao nezavisno promenljive na Prokrustove distance kao zavisno promenljive. Nakon korekcije za uticaj veličine, dodatno je urađena i dvofaktorska ANOVA kako bi se ispitaio uticaj pola i lokaliteta na varijabilnost u obliku.

Varijabilnost u obliku između lokaliteta je analizirana kanonijskom diskriminantnom analizom (CDA). Varijacija opisana kanonijskom analizom je vizualizirana ilustracijom kotura. Fenogrami su takođe konstruisani korišćenjem klaster analize na osnovu matrice Mahalanobisovih distance iz CDA pomoću UPGMA metode.

ANOVA i konstruisanje UPGMA fenograma je rađeno u STATISTICA v12 softveru (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA), dok su sve ostale analize rađene u MorphoJ v1.06a softveru (Klingenberg, 2011).

### **4.5. Analize životne istorije i modelovanje rasta**

#### **4.5.1. Materijal**

Za potrebe analize životne istorije i modelovanja rasta riba korišćeni su podaci iz starijih istraživanja. Jedinke iz kompleksa *C. auratus* su tada prilikom uzorkovanja, a na osnovu standardnih merističkih karaktera (Vuković i Ivanović, 1971), determinisane kao srebrni karaš - *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). S obzirom da jedinke iz ovog eksperimenta nisu bile uključene u populaciono-genetičku analizu, u daljem tekstu ovog poglavlja će se voditi kao vrsta *Carassius gibelio*, a ne kao član kompleksa *C. auratus*.

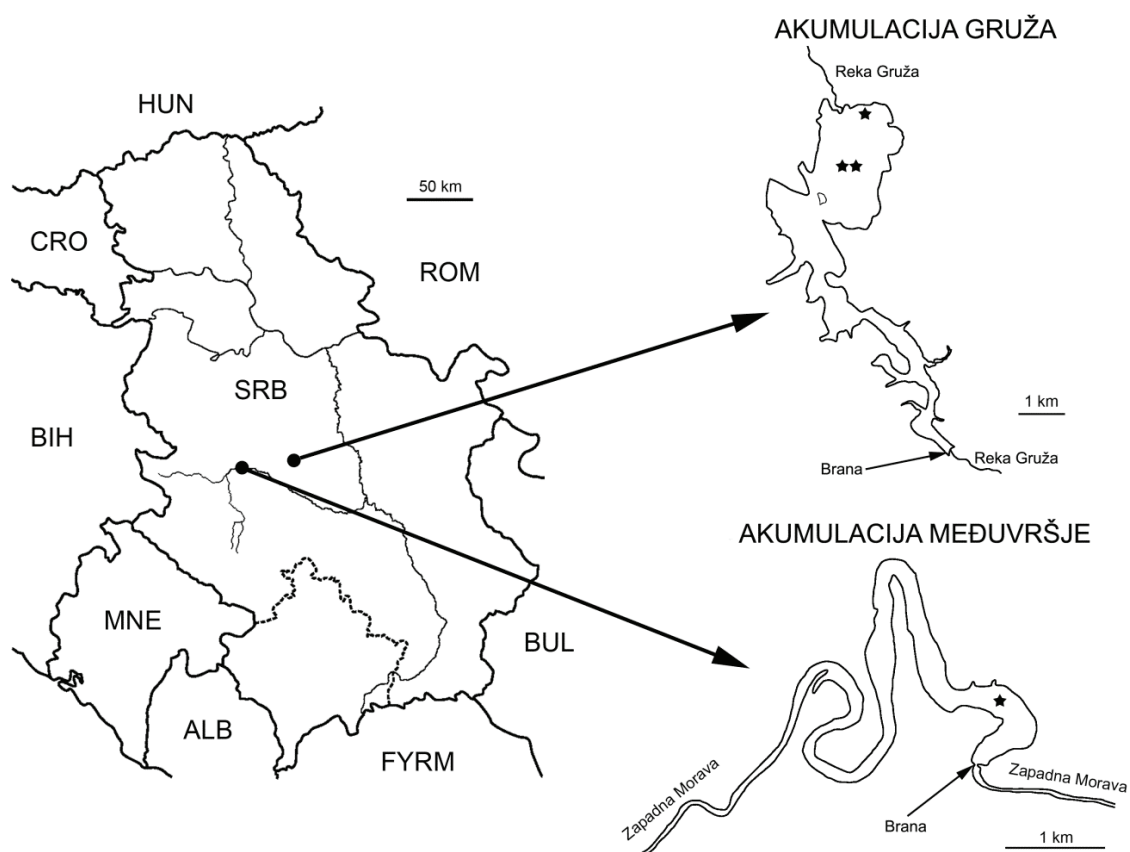
##### **4.5.1.1. Komparacija rasta riba između dva različita tipa akumulacija primenom multi-modelne analize**

Jedinke analizirane ovom prilikom su bile pripadnici jedne autohtone vrste, bodorka, *Rutilus rutilus* (L., 1758) i jedne alohtone vrste, srebrni karaš - *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). Jedinke su prikupljane tokom tri sezone (proleće, leto i jesen) u periodu između 1991. i 1999. Godinena akumulacijama Međuvršje i Gruža. Izlovljavanje je vršeno primenom ribarskih mreža različitih promera okaca i ukupno je izlovljeno 395 jedinki srebrnog karaša i 429 jedinki bodorke (Tabela 12). U akumulaciji Gruža, uzorci su prikupljeni na dve lokacije: u početnom delu u kojem dominiraju zone mresta sa velikom gustom podvodnih makrofita (1.8 m dubine; obeleženo zvezdicom, Slika 12) (43°57'00"S, 20°41'23"I) i na sredini akumulacije (10 m dubine; obeleženo sa duplom zvezdicom, Slika 12) (43°56'33"S 20°41'12"I). U veštačkom jezeru Međuvršje uzorci su prikupljeni na sredini jezera, koja se odlikuje velikom gustom podvodne makrofitske vegetacije (2 m dubine; obeleženo zvezdicom, Slika 12) (43°54'46"S, 20°14'16"I). Kod svih jedinki

su merene standardna i totalna dužina tela sa tačnošću od 1 mm, a masa im je merena sa tačnošću od 1 g. Pol je određen makroskopskim posmatranjem gonada. Kada se pol nije mogao oceniti makroskopski, delovi gonada su uzorkovani i fiksirani u 10% formalinu za histološku analizu. Uzorci su kasnije obrađeni pomoću standardne histološke procedure, bojeni standardnom hematoxilin/eozin (H&E) tehnikom, pol je određen posmatranjem pod svetlosnim mikroskopom.

**Tabela 12.** Hidrološke karakteristike ispitivanih akumulacija i broj analiziranih jedinki (N) ispitivanih vrsta po lokalitetu i polu.

Akumulacija	Površina (m <sup>2</sup> )	Maksimalna širina (m)	Prosečna dubina (m)	Protok (m <sup>3</sup> /s)	N srebrni karaš		N bodorka	
					♀	♂	♀	♂
Gruža	8800000	2000	6.5	3	142	110	102	72
Međuvršje	9312	272	6.7	40	82	61	168	87



**Slika 12.** Mapa Srbije. Zvezdice ukazuju na lokacije uzorkovanja (Gruža i Međuvršje).

#### 4.5.1.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta

Jedinke srebrnog karaša su prikupljene tokom jula i oktobra na lokalitetu Stari Begej (45°15'17.60" S, 20°23'54.06" I). Ukupno je izlovljeno 515 jedinki. Izlovljavanje je vršeno pomoću standardnog elektroagregata i ribarskih mreža različitih promera okaca. Kod svih jedinki su merene standardna i totalna dužina tela sa tačnošću od 1 mm, dok je težina merena sa preciznošću od 1 g. Pol je određivan makroskopskim posmatranjem gonada.

#### 4.5.2. Metode

##### 4.5.2.1. Dužinsko-težinski odnosi

Dužinsko-težinski odnosi su određivani na osnovu alometrijske jednačine:  $W = a \times SL^b$ ,  $W = a \times SL^b$ , gde je  $W$  masa ribe (g),  $SL$  je standardna dužina (cm),  $a$  je koeficijent vezan za oblik tela, a  $b$  je eksponent koji ukazuje na izometrijski ili alometrijski rast (Froese, 2006). Odnos je određivan odvojeno za mužjake i ženke pomoću linearne regresije prema jednačini: u STATISTICA v12 softveru (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). Neodgovarajući članovi grupe koji su detektovani pomoću linearne regresije ln-transformisane težine na ln-transformisanu dužinu izostavljeni su iz daljih analiza.

T-test je korišćen za testiranje odstupanja od izometrijskog rasta kada je  $b = 3$ . Analiza kovarijance (ANCOVA) je korišćena za testiranje razlike u linearnim regresijama između polova i lokaliteta. Ln-transformisana težina je postavljena kao zavisna varijabla, ln-transformisana dužina je postavljena kao kontinuirani prediktor, a pol i lokalitet su postavljeni kao kategorički faktori. Analiza je urađena u STATISTICA v12 softveru (Stat Soft Inc., Tulsa, OK, USA).

Tokom poređenja rasta srebrnog karaša i bodorka između dva različita tipa akumulacija dodatno je korišćen Faktor forme ( $a_{3,0}$ ) kojim su testirane eventualne razlike u obliku riba između dve pomenute akumulacije (Gruža i Međuvršje). Razlike u parametru  $a$  kada su nagibi poređenih regresija isti omogućuju otkrivanje razlika utelesnoj formi riba (Froese, 2006). Budući da su nagibi dužinsko-težinskih regresija za oba pola u oba lokaliteta različiti, računat je faktor forme ( $a_{3,0}$ ; vrednost parametra  $a$  kada je eksponent  $b = 3$ ) prema formuli: (Froese, 2006) gde je  $S$  nagib regresije loganad  $b$ . Da bi se izračunala regresija  $\log a$  nad  $b$ , korišćeni su dostupni dužinsko-težinski odnosi iz Fish Base on-line baze podataka (Froese i Pauly, 2014; 22 odnosa za srebrnog karaša i 24 odnosa za bodorku). Vrednosti tako izračunatog parametra  $a_{3,0}$  omogućavaju otkrivanje razlike utelesnoj formi između polova i/ili lokaliteta.

##### 4.5.2.2. Određivanje starosti

Od svake jedinke prikupljeno je desetak krljušti uvek sa istog mesta na telu, iznad bočne linije, a ispred početka leđnog peraja. Pet krljušti je oprano sapunom, isprano u vodi, osušeno i postavljeno između dve predmetne pločice. Krljušti bez jasno definisanog centra nisu uzete u obzir. Starost je određena brojanjem svetlijih i tamnijih prstenova na krljuštima pod laboratorijskom

lupom. Tri krljušti koje ukazuju na isti uzrast su smatrane za prag prihvatanja starosnog doba ribe. Osim toga, preciznost u određivanju starosti je računata na poduzorku od 50 jedinki po vrsti ribe. Dva nezavisna istraživača su određivala starost po podskupovima i starost je procenjena pomoću prosečnog procentnog odstupanja (*APE*) i koeficijenta varijacije (*CV*) (Campana, 2001). Srednje procentno odstupanje (*APE*) je računato kao:

$$APE_n = \frac{1}{R} \sum_{m=1}^R \frac{(\square | X_{mn} - X_m | \square)}{X_m} \times 100\%$$

Gde je  $R$  broj očitavanja starosti,  $m$  indeksira čitanje starosti,  $n$  predstavlja jedinke čiji je uzrast određivan,  $x_{mn}$  je  $m$ -to očitavanje starosti za  $n$ -turibu,  $x_m$  je prosečna starostna procena  $n$ -teribe.

Vrednost *APE* uprosečena za sve analizirane ribe predstavlja indeks prosečne procentne greške ( $I_{APE}$ ) (Campana, 2001; Jacobsen i Bennett, 2010). Koeficijent varijacije (*CV*) je izračunat množenjem  $I_{APE}$  faktorom (Bishop isar., 2006 i Francis i sar., 2007, citirano u Jacobsen i Bennett, 2010). Prema predlogu Campana (2001), *CV* od 5% služi kao referentna tačka za dobru preciznost očitavanja starosti.

#### 4.5.2.3. Modelovanje rasta

Modelovanje rasta je rađeno multi-modelnom analizom gde je pogodnost korišćenja nekoliko modela testirano za dati dužinsko-starosni skup podataka. Tokom analize uticaja tipa akumulacije na rast srebrnog karaša i bodorke kao i tokom rekonstrukcije populacionih razlika ranih populacija srebrnog karaša na teritoriji Vojvodine korišćena su tri asimptotska modela: (1) Von Bertalanfijeva funkcija rasta (VBGF):  $L_t = L_\infty (1 - \exp^{-k(t-t_0)})$ ; (2) Gompertzova funkcija rasta (GGF):  $L_t = L_\infty \exp^{-\exp^{-k(t-t_0)}}$ ; i (3) Robertsonova funkcija rasta (RGF):  $L_t = \frac{L_\infty}{(1 + \exp^{-k(t-t_0)})}$ ; gde je  $L_t$  standardna dužina,  $L_\infty$  je asimptotska dužina,  $k$  je koeficijent rasta,  $t$  starost, a  $t_0$  je teorijski uzrast kada je dužina jednaka nuli ( $L_t = 0$ ) u sva tri modela. Prilikom testiranja upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša pored ovih modela korišćena je još i neasimptotska „Power“ funkcija (PF):. Modeli su prilagođeni pomoću najmanjih kvadrata nelinearne regresije u STATISTICA v12 softveru (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Izbor najprikladnijeg modela izvršen je pomoću Akaikeovog informacionog kriterijuma korigovanog za male veličine uzorka ( $AIC_c$ ) (Katsanevakis, 2006):

$$AIC_c = N \log \frac{RSS}{N} + 2k + \frac{2k(k+1)}{(N-k-1)}$$

gde je  $N$  veličina uzorka,  $RSS$  je preostala suma kvadrata,  $k$  je broj procenjenih parametara. Model sa najmanjim  $AIC_c$  ( $AIC_{c,min}$ ) je smatran za najprikladniji. Pored ovog, razlike od  $AIC_{c,min}$  su izračunate kao  $\Delta_i = AIC_{c,i} - AIC_{c,min}$ , gde  $i$  indeksira model rasta. Modeli sa  $\Delta_i > 10$  su se smatrali kao nepodržani, modeli sa  $2 < \Delta_i < 10$  su smatrani kao modeli sa malom podrškom, a za modele sa  $\Delta_i < 2$  se smatralo da imaju značajnu podršku. Takođe, Akaikeova težina ( $w_i$ ) je korišćena za procenu najpogodnijeg modela i računata je kao:

$$w_i = \frac{\exp(-0.5 \times \Delta_i)}{\sum_{i=1}^s \exp(-0.5 \times \Delta_i)}$$

Model sa najvećom Akaikeovom težinom je posmatran kao najprikladniji među predloženim modelima.

U mnogim slučajevima više od jednog modela je značajno podržano ( $\Delta_i < 2$ ) i Akaikeova težina nije pokazivala „jasnog pobednika“ ( $w_i < 0.9$ ). Stoga je uključeno multi-modelno zaključivanje (MMI) usrednjavanjem modela i računanjem prosečne  $L_\infty$  kao što je opisano u Katsanevakis (2006):

$$\bar{L}_\infty = \sum_{i=1}^3 w_i \times L_{\infty,i}$$

Pored toga, безусловna standardna greška  $L_\infty$  ( $SE(L_\infty)$ ) je procenjena kao:

$$SE(\bar{L}_\infty) = \sum_{i=1}^3 w_i \sqrt{\text{var}(L_{\infty,i} | g_i) + (L_{\infty,i} - \bar{L}_\infty)^2}$$

gde je  $\text{var}(L_{\infty,i} | g_i)$  odstupanje od procenjene asimptotske dužine do modela  $g_i$ , uslovno na modelu (Katsanevakis i Maravelias, 2008). Interval pouzdanosti od 95%  $\bar{L}_\infty$  ( $CI(\bar{L}_\infty)$ ) je procenjen kao:  $\bar{L}_\infty \pm 2SE(\bar{L}_\infty)$  (Burnham i Anderson, 2001).

Prilikom testiranja upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša izveden je i tempo porasta kao izvod modela rasta, a prosečan tempo porasta je računat slično prosečnoj asimptotskoj dužini gde je  $\bar{L}_\infty$  zamenjen sa (Katsanevakis i Maravelias, 2008).

Najpogodniji modeli su poređeni između polova i lokaliteta pomoću F-statistike:

$$F = \frac{(RSS_p - RSS_s) / (DF_{RSS,p} - DF_{RSS,s})}{RSS_s / DF_{RSS,s}}$$

Gde je  $RSS_p$  ostatak zbira kvadrata (RSS) najboljeg modela prilagođenog na objedinjenim podacima;  $RSS_s$  je zbir RSS za svaki najbolje prilagođen model;  $DF_{RSS,p}$  je stepen slobode najboljeg modela ugrađen na objedinjenim podacima, a  $DF_{RSS,s}$  je suma DF svakog najbolje prilagođenog modela (Chen i sar., 1992). Da bi testirali razlike između najbolje prilagođenih modela između pola i lokaliteta, izračunata  $F$ -vrednost je upoređena sa kritičnom  $F$ -vrednosti ( $F_{crit}$ ) sa brojiocem računatim kao  $3 \times (k - 1)$  i imeniocem računatim kao  $N - 3k$  gde je  $N$  veličina uzorka a  $k$  je broj uzoraka u poređenju.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti

Analizom dostupnih literaturnih podataka, utvrđena je izuzetno široka rasprostranjenost vrsta kompleksa *C. auratus* na teritoriji Srbije (Tabela 13). Ovom prilikom korišćene su publikacije koje su se odnosile na vrstu koja je tada bila determinisana kao *C. gibelio* ili *C. auratus gibelio*, a kako bi se izbegla konfuzija u tumačenju prikupljenih podataka, u nastavku će biti tumačeni kao podaci za vrste kompleksa *C. auratus*.

Na većini lokaliteta procentualna zastupljenost vrsta kompleksa *C. auratus* u ukupnom ulovu najčešće se kretala između 20 i 40 %, dok se takođe na mnogima ta vrednost nalazila u opsegu od 41 do 100%. Na većini lokaliteta gde je bilo moguće pratiti brojnost populacija u funkciji vremena, uočeno je povećanje brojnosti predstavnika ovog kompleksa.

**Tabela 13.** Kvalitativna i kvantitativna zastupljenost vrsta kompleksa *Carassius auratus* (prethodno determinisane kao *Carassius gibelio* ili *C. auratus gibelio*) na teritoriji Srbije (preuzeto iz online baze podataka "BAES ex situ" (Simić i sar., 2006), modifikovano) (brojnost populacije je predstavljena opisno u odnosu na procentualnu zastupljenost u ulovu: pojedinačno (<3%), mala (3-10%), srednja (11-20%), brojna (21-40%), veoma brojna (41-100%); "+" beleženo prisustvo vrste)

Lokalitet	Godina	Brojnost	Lokalitet	Godina	Brojnost
Akumulacija Borkovac	1971/85	+	K. Dunav-Tisa-Dunav: od Bezdana do Odžaka	1984/85	+
Akumulacija Borkovac	2003	Brojna	K. Dunav-Tisa-Dunav: od Bezdana do Odžaka	1991	+
Akumulacija Bruja	2008	Brojna	Kan. D-T-D: od Jegricke-B. Petrovac do N. Sada	1991/00	Srednja
Akumulacija Buljanka kod Paraćina	2003	Mala	Kan. D-T-D: od Jegricke-B. Petrovac do N. Sada	1996	Srednja
Akumulacija Čalma II i III	2003	Brojna	Kan. D-T-D: od Jegricke-B. Petrovac do N. Sada	2002	Srednja
Akumulacija Celije	1996	+	Kanal Banatska Palanka-Novi Bečej	1990/96	Srednja
Akumulacija Celije	2003	Brojna	Kanal Banatska Palanka-Novi Bečej	1993	Srednja

## Rezultati

Akumulacija Gruža	1990/99	Brojna	Kanal Banatska Palanka-Noví Bečej	2002	Srednja
Akumulacija Gruža	1991	Srednja	Kanal Bezdán-Becej:od Bezdána do Vrbasa	1990/96	Brojna
Akumulacija Gruža	1995	Srednja	Kanal Bezdán-Becej:od Bezdána do Vrbasa	1991/00	Brojna
Akumulacija Gruža	1996	Mala	Kanal Bezdán-Becej:od Bezdána do Vrbasa	1996	Brojna
Akumulacija Kudrež (Smederevska Palanka)	2008	Veoma brojna	Kanal Bezdán-Becej:od Bezdána do Vrbasa	2002	Brojna
Akumulacija Ljukovo	2003	Srednja	Kanal Bezdán-Becej:od Bezdána do Vrbasa	2003	Brojna
Akumulacija Mandelos	2003	Brojna	Kanal Bezdán-Becej:od Vrbasa do Beceja	1983	Srednja
Akumulacija Medjuvsje	1990/92	Mala	Kanal DTD (Sombor)	1993	Brojna
Akumulacija Medjuvsje	1991/99	Mala	Kanal DTD (Sombor)	1996	Brojna
Akumulacija Medjuvsje	1995	+	Kanal DTD Novi Sad - Savino Selo	2003	Srednja
Akumulacija Medjuvsje	1996	+	Kanal DTD:Becej-Bogojjevo	2002	Brojna
Akumulacija Medjuvsje	2002	+	Kanal D-T-D:od ušća reke Karaš do Dunava	1997	+
Akumulacija Miloševo kod Jagodine	2003	Mala	Kanal Dunav-Tisa-Dunav:od Botoša do Vršca	2001/03	Srednja
Akumulacija Moharač	2008	Veoma brojna	Kanal Jarčina I Galovica	2003	Brojna
Akumulacija Oblacinska	2003	Mala	Kanal Jegrička	1983	Veoma brojna
Akumulacija Sidiska Sidina	1982/85	+	Kanal Jegrička	1993	Srednja
Akumulacija Uvac	2003	Pojedinačno	Kanal Odžaci-Sombor	1990/96	Brojna
Akumulacija Zobnatica	1980/85	+	Kanal Odžaci-Sombor	1991/00	Veoma brojna
Akumulacija Zobnatica	1991/00	Mala	Kanal Odžaci-Sombor	1993	Brojna
Akumulacija Zobnatica	1999	Mala	Kanal Odžaci-Sombor	2002	Brojna



Bagrdan jezero	2008	Veoma brojna	Karaš:od rum.granice do ušćca u kanal D-T-D	1994/95	Mala
Bajski kanal	1991/00	Veoma Brojna	Karaš:od rum.granice do ušćca u kanal D-T-D	1995	Mala
Bajski kanal	1996	Srednja	Keres kod Subotice	2003	Brojna
Bajski kanal	2002	Srednja	Kolubara reka	2008	Srednja
Bajski kanal	2003	Srednja	Kolubara reka (Lukavac)	2008	Brojna
Barje (Pilot)	2008	Mala	Kostolački dunavac (Kostolac)	2008	Brojna
Begečka jama	1996	Veoma brojna	Koviljski rit	1962	Brojna
Begej (kan.):od rumunske gran. do S.Begeja	1984/85	+	Koviljski rit	1977/80	Pojedinačno
Beli Drim	1974-1979	+	Koviljski rit	1982/84	Brojna
Bojničko jezero (Niš)	2008	Srednja	Koviljski rit	1986/89	Mala
Borsko jezero	1967/77	+	Koviljski rit	1996	Veoma brojna
Borsko jezero	1968/71	+	Koviljski rit	1999	Srednja
Borsko jezero	2003	Mala	Ludaško jezero	1974	+
Bosut: od granice Hrvatske do ušća u Savu	1984	Srednja	Ludaško jezero	1974/75	Mala
Bovansko jezero	1987/88	Veoma brojna	Ludaško jezero	1982	Brojna
Bovansko jezero	1996	Veoma brojna	Ludaško jezero	1986/87	+
Bovansko jezero	2003	Brojna	Markovačko jezero	2008	Srednja
Bovansko jezero	2008	Srednja	Mlava:od Zagubice do ušćca u reku Dunav	1962	+
Brzav: od rumunske granice do ušća u Tamiš	1962	+	Moravica od izvora do Bovanskog jezera	1978/80	+
Bubanj jezero	1992-1994	Veoma brojna	Moraviste kod Grabovca	1983	+

## Rezultati

Bubanj jezero	2008	Veoma brojna	Mrtva Tisa	1962	+
Bukinski rit	1992/94	+	Mrtva Tisa	1983	Srednja
Carska bara	1983/85	+	Mrtva Tisa	1983/85	Brojna
Carska bara	1984/85	Brojna	Mrtva Tisa	1987	Pojedinačno
Carska bara	1985	Veoma brojna	Mrtva Tisa	1988	Srednja
Crni Timok-gornji tok	2003	Mala	Mrtva Tisa	1991/95	Veoma brojna
Djerdap I	1995	+	Mrtvaja Budžak	2003	Srednja
Djerdap I	1996/2000	+	Obedska bara	1976	Srednja
Djerdap I	2005	+	Obedska bara	1976/82	Srednja
Djetinja (Vrutci)	2003	Srednja	Obedska bara	1977	Pojedinačno
Drava	1985	Pojedinačno	Obedska bara	1980	Pojedinačno
Drina	2003	Brojna	Obedska bara	1981	Pojedinačno
Drina	2008	Mala	Obedska bara	1982	Srednja
Dunav	1967/80	+	Obedska bara	1983/85	+
Dunav	1979	Srednja	Obedska bara	1984/85	Srednja
Dunav	1982	+	Obedska bara	1986/87	+
Dunav	1984/85	+	Pančevački rit	1962	Brojna
Dunav	1984/87	+	Pančevački rit	1984/85	Veoma brojna
Dunav	1988	+	Pančevački rit	1985	Mala
Dunav	1991	+	Plazović	2003	Brojna
Dunav	1996	Pojedinačno	Plitka bara	2008	Brojna
Dunav (Futoški Dunavac)	2003	Mala	Podunavske bare	2005	Brojna
Dunav (Mala Vrbica)	2008	Brojna	Rastovničko jezero (Niš)	2008	Srednja
Dunav (od 1054-1070 km)	2003	Veoma brojna	Ribnjak Jegrička	1983	Srednja
Dunav (od 1250-1297 km)	2003	Mala	Ribnjak Jegrička	1993	+

Dunav (od Brze Palanke do Mihajlovca)	2003	Veoma brojna	Ribnjak Susek	1984/85	+
Dunav (od Kusja- ka do Radujevca)	2003	Srednja	Ribnjak Svilojevo	1999	Mala
Dunav	2008	Mala	Sava	1979	Srednja
Dunav (područje Beograda)	2003	Mala	Sava	2003	Mala
Dunav (Susečki Dunavac)	2003	Pojedinač- no	Sava kod šapca	2008	Pojedinačno
Dunav (Vajuga)	2008	Mala	Sava kod šapca	2008	Mala
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1977	Pojedinač- no	Sava kod šapca	2003	Mala
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1978	Veoma brojna	Sava:od granice Hrvatske do ušćca u Dunav	1953	+
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1979	Veoma brojna	Sava:od granice Hrvatske do ušćca u Dunav	1979	Srednja
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1981	Pojedinač- no	Sava-Beograd	1979	+
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1982	Pojedinač- no	Sava-Beograd	2008	Pojedinačno
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1983	Srednja	Savsko jezero	2003	Mala
Dunav- Banatska Palanka- Bazias (1071 km)	1984	Pojedinač- no	Srebrno jezero	2008	Srednja
Dunav kod Beo- grada	2008	Pojedinač- no	Stari Begej	1984/88	+
Dunav kod Djer- dapa II (II đer- dapska akumu- lacija)	2003	Brojna	Stari Begej	1988	Mala
Dunav kod Djer- dapa II (nizvodno od II đerdapske akumulacije)	2003	Pojedinač- no	Stari Begej	1992/94	+

## Rezultati

Dunav kod Smedereva	2003	Pojedinačno	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1962	+
Dunav od mađarske granice do Bogojeva	1962	Srednja	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1979	Srednja
Dunav:od mađarske granice do bugarske granice	1860	+	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1979	+
Dunav:od mađarske granice do bugarske granice	1953	+	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1979	Srednja
Dunav:od mađarske granice do bugarske granice	1958/64	+	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1979/81	Srednja
Dunav:od mađarske granice do bugarske granice	1979	Srednja	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1979/88	+
Dunav:od mađarske granice do bugarske granice	2008	Pojedinačno	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1985/87	Srednja
Dunav-Golubac	2003	Veoma brojna	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1990/92	+
Dunav-Novi Banovci	2003	Pojedinačno	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	1991	+
Dunav-Novi Sad	1962	+	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	2003	Srednja
Goli Kamen akumulacija	1997-1998	+	Tisa:od mađarske granice do ušćca u Dunav	2003	Mala
Grličko jezero	2003	Pojedinačno	Ub reka	2008	Brojna
Gruža reka	1987-1996	Pojedinačno	V.Morava- kod Jagodine	1996	Pojedinačno
Ibar: od ušća Sitnice do ušća reke Studenice	2003	Pojedinačno	V.Morava-kod Paracina	1996	Pojedinačno
Jasenica: od sela Stragara do reke Veliki Lug	2008	Veoma brojna	Vajska provala	2003	Srednja

Jegrička	2003	Srednja	Vapa- gornji tok	2003	Mala
Jegrička:od Žablja do ušća u reku Tisu	1983	Pojedinačno	Vapa reka	2003	Mala
Jezero ćelije	2008	Pojedinačno	Velika Morava	1953	+
Jezero Gazivode (Kosovska Mitrovica)	2008	Pojedinačno	Velika Morava	1969/70	Pojedinačno
Jezero Gazivode	2008	Srednja	Velika Morava	1970	+
Jezero Gruža	2008	Srednja	Velika Morava	1977/80	Pojedinačno
Jezero Kamenica	2003	Pojedinačno	Velika Morava	1998	+
Jezero Kamenica	2008	Veoma brojna	Velika Morava	2008	Srednja
Jezero Palić	1962	+	Velika Morava	2007	Mala
Jezero Palić	1982	Brojna	Velika Morava kod Bagrdana	2003	Pojedinačno
Jezero Palić	1983/85	Brojna	Velika Morava kod Pozarevca	1977	Mala
Jezero Palić	1984/85	Brojna	Velika Morava kod Varvarina	1978	Mala
Jezero Palić	1991/92	+	Velika Morava nizvodno od usca Zapadne Morave	1996	Pojedinačno
Jezero Palić	1992/94	+	Velika Morava posle usca Resave	1977	Mala
Jezero Paljuve	2003	Pojedinačno	Velika Morava posle usca Resave	1983	+
Jezero Paljuve	2008	Veoma brojna	Velika Morava posle usca Resave	1996	Pojedinačno
Jezero Petnica	2003	Pojedinačno	Velika Morava posle usca Resave	2003	Pojedinačno
Jezero Petnica	2008	Veoma brojna	Velika Morava pre usca Lepenice	1996	Pojedinačno
Jezero Ribnica	2008	Mala	Velika Morava- Svilajnac	1983	Pojedinačno
Jezero Smoljinac	2008	Veoma brojna	Vlasinsko Jezero	1992-1993	Mala
Jezero Šumarice	2008	Veoma brojna	Vlasinsko Jezero	1993	+

## Rezultati

Jezero Zaova	2008	Veoma brojna	Vlasinsko Jezero	2003	Srednja
Juzna Morava (Lipovačke bare)	2008	Mala	Zasavica	1995/97	+
Juzna Morava (most Doljevac)	2008	Srednja	Zasavica kod Čaturine Kafane	1997	Srednja
Juzna Morava kod Aleksinca	1996	Srednja	Zasavica kod Valjevca	1998	Srednja
Juzna Morava kod Grdelice	1996	Srednja	Zasavica kod Valjevca	1997	Srednja
Juzna Morava kod Vladicinog Hana	1996	Srednja	Zasavica kod Vrbovca	1997	Mala
Južna Morava: od ušća Jablanice do reke Turije	2003	Mala			
Zapadna Morava	1996	Mala	Begečka jama	1996 <sup>1</sup>	Veoma brojna
Zapadna Morava	1996/04	+	Koviljski rit	1996 <sup>1</sup>	Veoma brojna
Zapadna Morava	2008	Pojedinačno	Koviljski rit	2000 <sup>2</sup>	Veoma brojna
Zapadna Morava (Mrzenica)	2003	Mala	Koviljski rit	2008 <sup>3</sup>	Brojna
Zapadna Morava: od ušća Rasine do Stalaca	1990	+	Jegrička	1983 <sup>4</sup>	Veoma brojna
Z. Morava: od Cacka do ušća Lipnicke reke	1990/92	Mala	Hidrosistem DTD	1996-2006 <sup>5</sup>	Veoma brojna
Zvornička akumulacija	2003	Pojedinačno	Stara Tisa	1996 <sup>6</sup>	Srednje brojna
Zvornička akumulacija	2008	Brojna	Carska bara	1985 <sup>7</sup>	Srednje brojna
Jezero Zaova	2008	Veoma brojna		2008 <sup>8</sup>	Veoma brojna
Juzna Morava (Lipovačke bare)	2008	Mala			
Juzna Morava (most Doljevac)	2008	Srednja			
Juzna Morava kod Aleksinca	1996	Srednja			
Juzna Morava kod Grdelice	1996	Srednja			
1 - Maletin i sar. (1997 a); 2 - Maletin i sar. (2001); 3 - Lujić i sar. (2013); 4 - Budakov i sar. (1984); 5 - Maletin i Neatnica (2006); 6 - Maletin i sar. (1996); 7 - Kostić i Maletin (1992); 8 - Popović i sar. (2008)					

## 5.2. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa *Carassius auratus* sa područja Vojvodine i peripanonske oblasti

U cilju identifikacije i determinacije vrsta korišćenih u eksperimentima prilikom izrade ove disertacije, izvršeno je sekvenciranje dela *cytb* gena i poređenje sa dostupnim referentnim sekvencama (Tabela 3 (iz Materijala i metoda)). Od ukupnog broja uzoraka (220), zbog biološkog stanja uzoraka, kao i toka same molekularne analize, validne sekvence su dobijene za 52 uzoraka.

Nakon uspešne izolacije DNK materijala i provere njegovog kvaliteta, PCR metodom umnožena je sekvenca mitohondrijalne DNK (deo gena *cytb* dužine oko 1200 bp).

Dobijene sekvence poređene su sa dostupnim referentnim sekvencama različitih vrsta kompleksa *C. auratus* iz NCBI Gene Bank (*C. auratus*, *C. gibelio I*, *C. gibelio II*, *C. carassius*, *C. langsdorfii*) (datum pristupa: 17-03-16). Blast analiza urađena je sa konzensusnim sekvencama za svaku od pet vrsta, s obzirom da je za svaku od navedenih vrsta iz roda *Carassius* bilo dostupno više sekvenci. Prema rezultatima BLAST analize, svi analizirani uzorci sa prosečnom sigurnošću od 99% pripadaju vrsti *Carassius gibelio I* (Tabela 14) (Kalous i sar., 2012).

Daljom analizom uzoraka utvrđeno je da sve dobijene sekvence mogu biti razvrstane u pet različitih haplotipova (Tabela 15) sa kojima su konstruisana filogenetska stabla.

Procenom modela evolutivne stope mutacija, utvrđeno je da je za formiranje filogenetskog stabla najbolje koristiti kombinaciju Hasegawa-Kishino-Yano model i Gama distribucija (G). Na taj način formirano je filogenetsko stablo metodom Maximum likelihood (Slika 14) i Neighbour-Joining (Slika 13). Sve analizirane sekvence, razvrstane u pet haplotipova, raspoređene su među referentnim sekvencama za vrstu *C. gibelio I* prethodno utvrđene za teritorije Bugarske, Rumunije, Estonije, Poljske, Rusije i Mongolije, dok su im, nakon *C. gibelio I*, evolutivno najbliže referentne sekvence za vrstu *C. auratus*. Među ispitivanim uzorcima nema značajnih pravilnosti u rasporedu po haplotipovima niti na konstruisanim stablima.

**Tabela 14.** Rezultati BLAST analize uzoraka sa konzensusnim referentnim sekvencama za vrste roda *Carassius* za deo gena *Cytb* (datum pristupa: 17-03-16)

Uzorak (R)	Konzensus referentnih sekvenci	Podudarnost %
Gruža1	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gruža3	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gruža6	<i>C. gibelio I</i>	98%
Gruža7	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gruža8	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gruža11	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gruža12	<i>C. gibelio I</i>	99%
Jegrička-Žabalj43	<i>C. gibelio I</i>	99%
Jegrička-Žabalj45	<i>C. gibelio I</i>	99%

Jegrička-Žabalj46	<i>C. gibelio I</i>	98%
Jegrička-Žabalj53	<i>C. gibelio I</i>	98%
Ludaš2	<i>C. gibelio I</i>	97%
Ludaš6	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić9	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić10	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić11	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić12	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić13	<i>C. gibelio I</i>	100%
Palić14	<i>C. gibelio I</i>	100%
Palić15	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić16	<i>C. gibelio I</i>	99%
Palić17	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište3	<i>C. gibelio I</i>	98%
DTD-Bačko Gradište5	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište6	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište10	<i>C. gibelio I</i>	98%
DTD-Bačko Gradište12	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište13	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište17	<i>C. gibelio I</i>	100%
DTD-Bačko Gradište19	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bačko Gradište20	<i>C. gibelio I</i>	99%
Dondo1	<i>C. gibelio I</i>	98%
Dondo2	<i>C. gibelio I</i>	99%
Dondo3	<i>C. gibelio I</i>	99%
Dondo4	<i>C. gibelio I</i>	99%
Kraljevac3	<i>C. gibelio I</i>	99%
Kraljevac4	<i>C. gibelio I</i>	99%
Kraljevac5	<i>C. gibelio I</i>	99%
Kraljevac23	<i>C. gibelio I</i>	99%
Kraljevac28	<i>C. gibelio I</i>	99%
Srebrno jezero2	<i>C. gibelio I</i>	99%
Srebrno jezero3	<i>C. gibelio I</i>	99%
Srebrno jezero4	<i>C. gibelio I</i>	99%
Srebrno jezero6	<i>C. gibelio I</i>	99%
Srebrno jezero7	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bogojevo6	<i>C. gibelio I</i>	99%



DTD-Bogojevo7	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bogojevo8	<i>C. gibelio I</i>	99%
DTD-Bogojevo13	<i>C. gibelio I</i>	99%
Tikvara4	<i>C. gibelio I</i>	99%
Gornje Podunavlje7	<i>C. gibelio I</i>	99%
Međuvršje6	<i>C. gibelio I</i>	99%

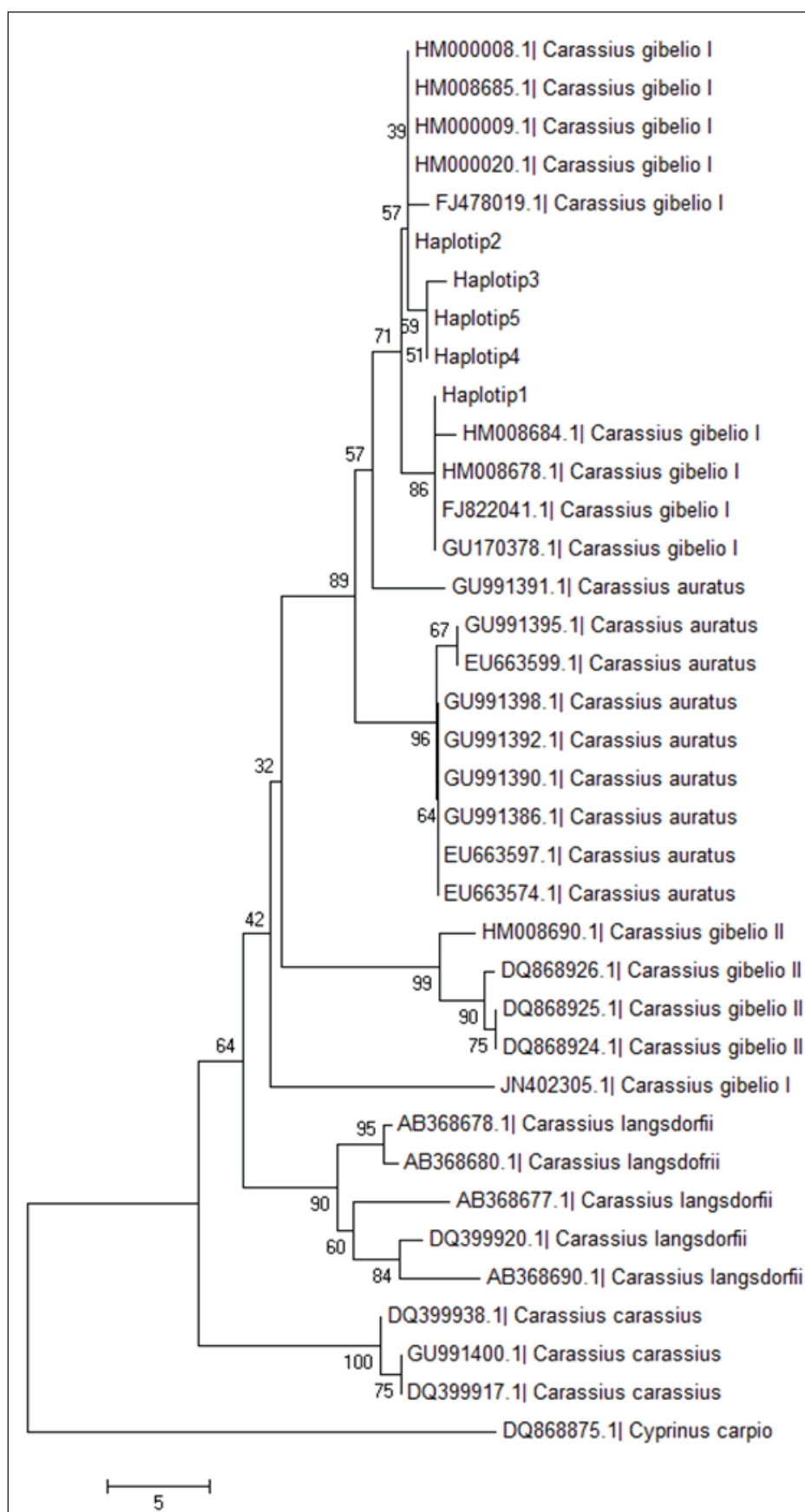
**Tabela 15.** Pripadnost analiziranih sekvenci određenim haplotipovima

Haplotip	Uzorak
Haplotip 1	Palić13
	Palić14
	Dondo4
	DTD Gačko Gradište17
Haplotip2	Gruža3
	Gruža7
	Gruža11
	Gruža12
	Ludaš6
	Jegrička Žabalj45
	Jegrička Žabalj53
	DTD Bačko Gradište6
	DTD Bačko Gradište10
	DTD Bačko Gradište13
	DTD Bačko Gradište19
	DTD Bogojevo7
	Međuvršje6
	Gornje Podunavlje7
	Srebrno jezero2
	Palić9
Haplotip3	Ludaš2
	Palić15
	DTD Bačko Gradište3
	DTD Bačko Gradište20
	Kraljevac4
Kraljevac5	

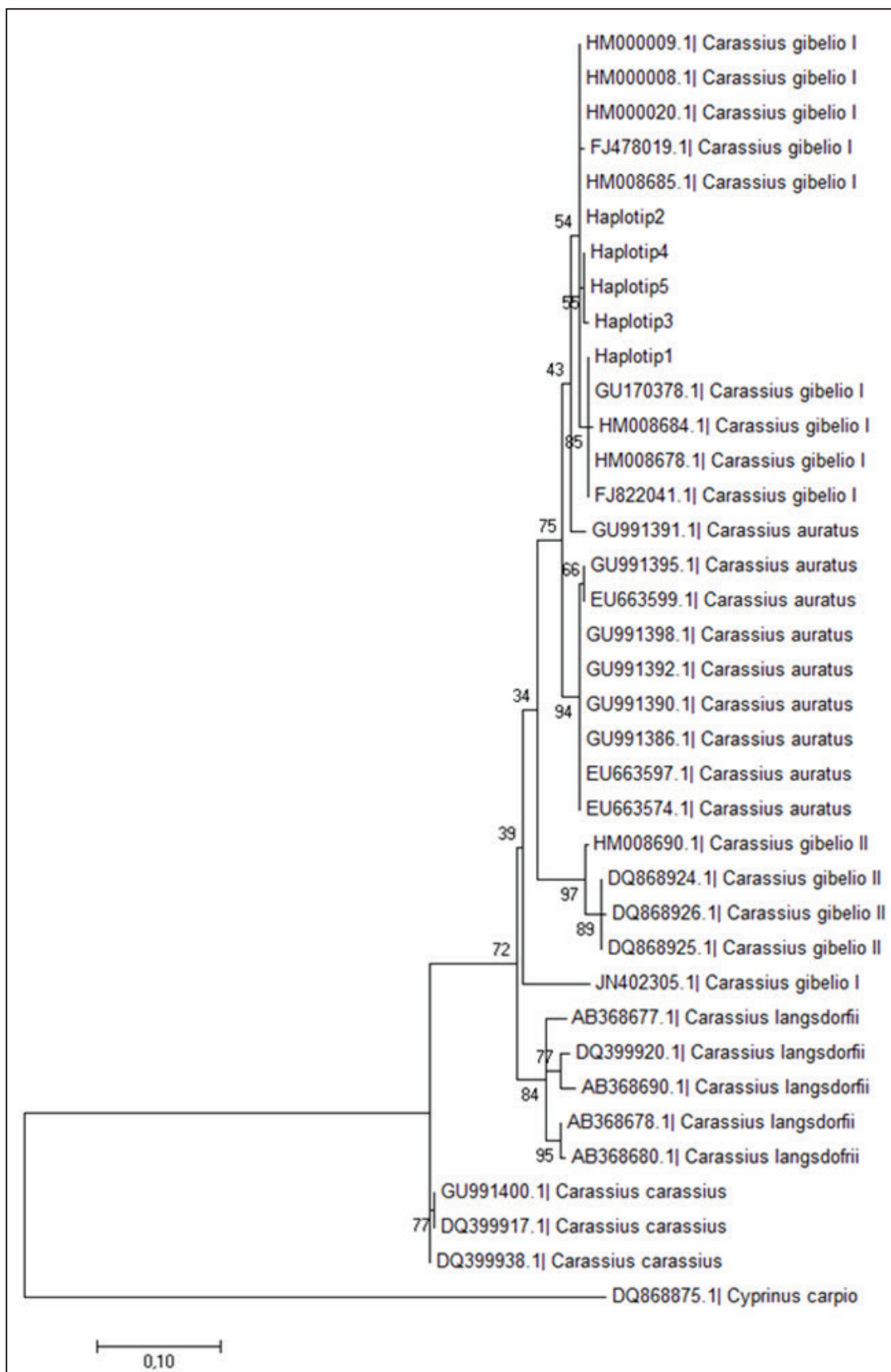
---

Haplotip4	Tikvara4
	Dondo1
	Dondo2
	Dondo3
	DTD Bačko Gradište5
	DTD Bačko Gradište12
	DTD Bogojevo6
	DTD Bogojevo8
	DTD Bogojevo13
	Kraljevac3
	Kraljevac23
	Kraljevac28
	Srebrno jezero3
	Srebrno jezero4
	Srebrno jezero6
	Srebrno jezero7
	Palić10
	Palić11
	Palić12
	Palić16
Palić17	
Jegrička Žabalj43	
Haplotip5	Gružal
	Gružal6
	Gružal8
	Jegrička Žabalj46

---



Slika 13. Rekonstrukcija filogenetskog stabla (Neighbour-Joining) na osnovu dela *cytb* sekvence uključujući referentne sekvence i sekvence analiziranih uzoraka grupisanih u pet haplotipova. Brojevi na čvorovima ukazuju na bootstrap verovatnoću (bootstrap 1000)



Slika 14. Rekonstrukcija filogenetskog stabla (Maximum likelihood) na osnovu dela *cytb* sekvence uključujući referentne sekvence i sekvence analiziranih uzoraka grupisanih u pet haplotipova. Brojevi na čvorovima ukazuju na bootstrap verovatnoću (bootstrap 1000)

### 5.3. Morfološka varijabilnost

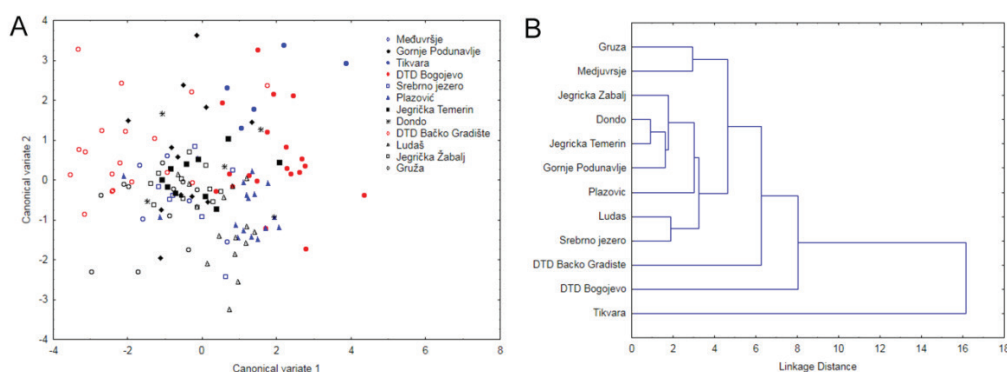
#### 5.3.1. Morfološka raznovrsnost vrste *Carassius gibelio* u Vojvodini i peripanonskoj oblasti

##### 5.3.1.1. Celo telo

###### MERISTIKA

Analiza merističkih karaktera celog tela riba obuhvatila je 142 jedinke sa 12 lokaliteta. Tom prilikom u obzir je uzeto 11 merističkih karaktera (Tabela 16). Tokom statističkih analiza, 2 karaktera (tvrde žbice pektoralnog i analnog peraja) su izostavljena zbog nedostatka varijabilnosti.

Dvofaktorska analiza varjanse (ANOVA) na merističkim karakterima je pokazala značajan uticaj lokaliteta ( $F_{(99, 787)} = 3,13, p < 0,001$ ), dok uticaj pola i interakcija između pola i lokaliteta nisu bili statistički značajni. Diskriminantna kanonijska analiza (DCA) je pokazala značajnu morfološku varijabilnost između analiziranih lokaliteta (Wilk's lambda = 0,11,  $F_{(99, 871)} = 3,29, p < 0,001$ ). Analiza je pokazala ukupno 9 kanonijskih osa (Tabela 17), od kojih su prve dve opisale najveći procenat varijabilnosti (52% i 21%, respektivno). Prva kanonijska osa je najveću korelaciju pokazala sa brojem mekih žbica u pektoralnom peraju dok je druga kanonijska osa pokazala najveću korelaciju sa brojem mekih žbica u analnom peraju i brojem krljušti ispod bočne linije. Na dijagramu dve kanonijske ose se vide određena razdvajanja lokaliteta (Slika 15A), međutim nije moguće ustanoviti prava grupisanja. Takođe se na UPGMA dijagramu konstruisanom na osnovu kvadrata Mahalanobisovih distanci dobijenih iz DCA analize ne vide jasna odvajanja na velike grupe osim jedne koju čine lokaliteti Jegrička Žabalj, kanal Dondo, Jegrička Temerin, Gornje Podunavlje, Plazović, Ludaš i Srebno jezero (Slika 15B). Od svih, najviše su divergirale jedinke sa lokaliteta Tikvara.



Slika 15. A) Scatter dijagram prve dve kanonijske ose merističkih parametara. B) UPGMA dijagram fenetičkih odnosa merističkih parametara.

**Tabela 16.** Vrednosti merističkih karaktera (min – max) jedinki srebrnog karaša sa 12 analiziranih lokaliteta (podaci o broju tvrdih i mekih žbica u perajima; P – pektoralno peraje; V – ventralno peraje; D – dorzalno peraje; A – analno peraje; II – broj krljušti u bočnoj liniji; iznad – broj redova krljušti iznad bočne linije; ispod – broj redova krljušti ispod bočne linije)

	Gruža	Jegriča Ž.	Ludaš	DTD B. G.	Dondo	Jegrička T	Plazović	Srebrno j.	DTD B.	Tikvara	G. Pod.	Međuvršje
<b>P</b>	I 16-18	I 15-17	I 15-16	I 11-19	I 13-17	I 13-16	I 13-18	I 14-18	I 11-15	I 13-14	I 15-17	I 15-16
<b>V</b>	I-II 7-8	II 7-8	I-II 7-9	II 6-9	II 7-8	II 7-8	II 6-9	I-II 7-9	II 7-9	II 8	II 7-9	II 7-8
<b>D</b>	II-IV 17-21	IV 16-20	IV 16-19	III-IV 16-19	IV 17-18	IV 17-19	IV 15-19	IV 16-20	III-IV 17-20	IV-V 17-19	IV 17-20	III-IV 17-19
<b>A</b>	III 6-7	III 5-6	III 6	III 5-6	III 5-6	III 5-6	III 5-6	III 6	III 5-6	III 5-6	III 5-6	III 6
<b>II</b>	29 – 31	29 – 31	29 – 31	29 – 32	29 – 31	28 – 31	27 – 31	28 – 32	28 – 32	32	28 – 32	28 – 31
<b>Iznad</b>	6 – 7	6 – 7	6 – 7	6 – 8	6 – 7	6 – 7	6 – 7	6 – 7	5 – 7	6 – 7	6 – 7	6 – 7
<b>Ispod</b>	6 – 7	7	6 – 7	7 – 8	6 – 7	7	6 – 7	6 – 7	6 – 8	7 – 8	6 – 8	6 – 7

**Tabela 17.** Prikaz 9 kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti merističkih parametara i njihova korelacija sa karakterima korišćenim u ovoj analizi. ( $P_m$  – meke žbice pektoralnog peraja;  $V_t$  – tvrda žbica ventralnog peraja;  $V_m$  – meke žbice ventralnog peraja;  $D_t$  – tvrde žbice dorzalnog peraja;  $D_m$  – meke žbice dorzalnog peraja;  $A_m$  – meke žbice analnog peraja,  $ll$  – broj krljušti u bočnoj liniji; iznad – broj redova krljušti iznad bočne linije; ispod – broj redova krljušti ispod bočne linije)

	CV 1	CV 2	CV 3	CV 4	CV 5	CV 6	CV 7	CV 8	CV 9
$P_m$	-0.833	-0.264	0.256	-0.085	-0.071	0.226	-0.215	-0.053	-0.348
$V_t$	-0.018	0.277	-0.536	-0.290	0.353	0.335	-0.550	0.222	-0.048
$V_m$	0.325	0.033	0.214	-0.169	-0.307	-0.136	-0.160	0.870	-0.079
$D_t$	0.177	0.071	0.644	-0.217	0.436	0.452	0.352	0.157	-0.095
$D_m$	-0.199	0.139	-0.165	0.796	0.178	0.225	0.210	0.381	-0.114
$A_m$	-0.181	-0.545	0.086	-0.002	0.447	-0.002	-0.183	0.311	0.638
$ll$	0.203	0.252	0.531	0.465	0.016	-0.182	-0.719	-0.328	-0.047
Iznad	-0.316	0.237	-0.131	-0.189	0.557	-0.685	0.316	0.112	-0.109
Ispod	-0.302	0.588	-0.071	-0.186	-0.472	0.226	0.363	0.090	0.559
Eigen vrednost	1.647	0.670	0.427	0.204	0.118	0.048	0.037	0.012	0.005
Kumulativna proporcija	0.520	0.732	0.866	0.931	0.968	0.983	0.995	0.999	1.000

#### LINEARNA MORFOMETRIJA

Analiza morfometrijskih karaktera je obuhvatila iste individue kao i za analizu merističkih podataka. Tom prilikom u obzir je uzeto 19 tradicionalnih morfometrijskih karakterakoji opisuju biološku formu riba. Vrednosti ovih karaktera na svim analiziranim lokalitetima su prikazane u Tabeli 18.

Kako bi se isključio uticaj veličine na parametre oblika, sve morfometrijske mere su podvrgnute regresionoj transformaciji. Nakon transformacije, sve korelacije između dobijenih mera i  $\ln$ -standardne dužine su bile manje od 0,01 i nisu bile statistički značajne (Pearson's product moment correlation;  $r < 0,01$ ;  $p > 0,05$ ), te može da se smatra da je uticaj veličine uspešno isključen iz daljih analiza.

Uticaj pola i lokaliteta na oblik celog tela je ispitivan primenom dvofaktorske ANOVA-e. Tom prilikom oba parametra pokazala su značajan uticaj na morfološku varijabilnost (uticaj pola:  $F_{(19, 100)} = 2,26$ ,  $p < 0,01$ ; uticaj lokaliteta:  $F_{(209, 982)} = 3,61$ ,  $p < 0,001$ ). Iako je pol imao statistički značajan uticaj, zbog malog broja jedinki na pojedinim lokalitetima ( $N = 5$ ) dalje statističke analize su rađene na ukupnom uzorku. Diskriminantna kanonijska analiza je istakla 11 kanonijskih osa (Tabela 19), od kojih su prve dve opisale najveći deo ukupne varijabilnosti (34,4% i 22,8%, respektivno). Prva kanonijska osa je najveću korelaciju pokazala sa anteventralnim rastojanjem (O-P) i najvećom visinom tela (H), dok je druga kanonijska osa pokazala najveću korelaciju sa visinom glave (h-i-l) i dužinom repnog stabla (t-v).

**Tabela 18.** Vrednosti morfometrijskih karaktera celog tela (srednja vrednost  $\pm$  SD mm) jedinki strebnog karaša sa 12 analiziranih lokaliteta.

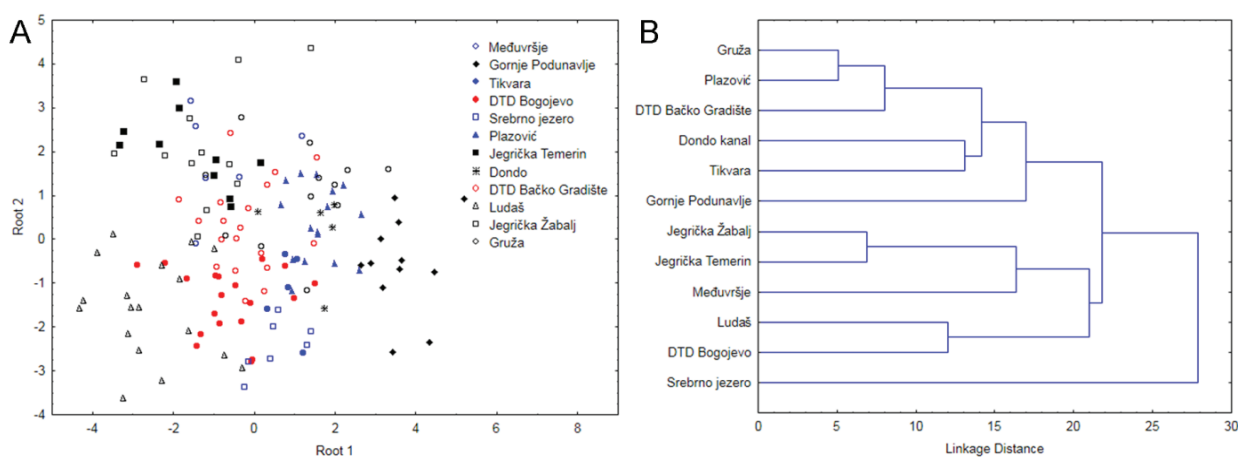
	Gruža	Jegriča Ž.	Ludaš	DTD B.G.	Dondo	Jegrička T	Plazović	Strebrno j.	DTD B.	Tikvara	G. Pod.	Međuvršje
c-g	79,5 $\pm$ 25,7	77,6 $\pm$ 4,5	60,1 $\pm$ 6,6	76,5 $\pm$ 4,2	83,0 $\pm$ 6,2	68,1 $\pm$ 6,7	54,5 $\pm$ 5,3	74,4 $\pm$ 24,1	70,9 $\pm$ 6,7	96,7 $\pm$ 5,7	73,1 $\pm$ 6,9	66,7 $\pm$ 15,1
g-d	74,8 $\pm$ 28,9	63,5 $\pm$ 4,2	50,0 $\pm$ 6,8	69,9 $\pm$ 3,4	75,9 $\pm$ 5,4	58,2 $\pm$ 5,4	45,9 $\pm$ 6,5	63,4 $\pm$ 23,3	67,7 $\pm$ 5,1	88,3 $\pm$ 8,6	70,6 $\pm$ 8,1	56,2 $\pm$ 11,8
hD	32,6 $\pm$ 9,5	27,8 $\pm$ 1,9	23,8 $\pm$ 2,6	29,2 $\pm$ 1,9	35,6 $\pm$ 2,3	25,5 $\pm$ 2,7	22,0 $\pm$ 2,5	31,5 $\pm$ 12,8	26,8 $\pm$ 1,9	39,4 $\pm$ 5,3	29,2 $\pm$ 2,7	23,0 $\pm$ 5,3
DC	23,6 $\pm$ 8,7	23,1 $\pm$ 2,6	21,2 $\pm$ 3,6	23,7 $\pm$ 2,4	24,3 $\pm$ 1,8	19,4 $\pm$ 3,2	18,2 $\pm$ 2,7	26,6 $\pm$ 13,9	24,9 $\pm$ 2,5	35,0 $\pm$ 3,6	22,4 $\pm$ 3,3	20,8 $\pm$ 5,4
i-l	43,9 $\pm$ 13,1	46,0 $\pm$ 3,5	36,7 $\pm$ 4,5	43,2 $\pm$ 3,9	46,5 $\pm$ 2,7	40,4 $\pm$ 4,3	36,0 $\pm$ 4,9	42,2 $\pm$ 9,5	40,5 $\pm$ 3,3	52,3 $\pm$ 6,8	39,5 $\pm$ 3,3	36,9 $\pm$ 7,4
i-j	9,2 $\pm$ 1,9	10,5 $\pm$ 1,8	8,1 $\pm$ 1,3	9,8 $\pm$ 2,0	9,8 $\pm$ 0,8	8,6 $\pm$ 1,5	8,6 $\pm$ 1,2	9,3 $\pm$ 2,0	8,4 $\pm$ 1,1	10,8 $\pm$ 2,5	8,6 $\pm$ 1,0	8,3 $\pm$ 1,4
j-e	8,2 $\pm$ 2,5	8,2 $\pm$ 0,8	8,3 $\pm$ 0,8	8,6 $\pm$ 0,6	8,8 $\pm$ 0,8	7,9 $\pm$ 0,8	6,8 $\pm$ 0,8	8,7 $\pm$ 1,3	8,3 $\pm$ 0,6	9,5 $\pm$ 0,5	7,9 $\pm$ 0,4	7,1 $\pm$ 1,6
k-l	26,5 $\pm$ 9,1	27,3 $\pm$ 1,8	20,3 $\pm$ 2,9	24,8 $\pm$ 2,1	28,0 $\pm$ 1,6	23,9 $\pm$ 2,6	19,5 $\pm$ 2,2	24,1 $\pm$ 6,9	23,8 $\pm$ 2,6	32,0 $\pm$ 4,3	23,1 $\pm$ 2,4	21,5 $\pm$ 5,0
h-i-l	47,1 $\pm$ 16,5	45,4 $\pm$ 3,1	34,9 $\pm$ 4,3	44,3 $\pm$ 1,8	47,9 $\pm$ 3,6	41,9 $\pm$ 4,1	31,7 $\pm$ 3,1	41,8 $\pm$ 13,8	40,4 $\pm$ 2,8	53,3 $\pm$ 5,8	41,2 $\pm$ 3,1	38,2 $\pm$ 8,5
m-n	42,9 $\pm$ 12,2	44,4 $\pm$ 2,8	36,9 $\pm$ 5,0	41,9 $\pm$ 3,0	47,0 $\pm$ 1,9	39,0 $\pm$ 3,7	33,4 $\pm$ 3,0	41,8 $\pm$ 7,5	39,5 $\pm$ 3,0	52,3 $\pm$ 8,1	38,4 $\pm$ 3,7	35,8 $\pm$ 6,9
O-P	77,1 $\pm$ 26,1	75,0 $\pm$ 5,3	61,6 $\pm$ 7,1	76,8 $\pm$ 3,1	82,7 $\pm$ 5,3	66,0 $\pm$ 6,0	52,5 $\pm$ 5,4	77,5 $\pm$ 25,4	72,5 $\pm$ 5,8	97,8 $\pm$ 7,3	70,1 $\pm$ 7,4	63,3 $\pm$ 13,8
O-A	136,5 $\pm$ 49,3	127,2 $\pm$ 7,2	101,2 $\pm$ 11,3	130,7 $\pm$ 4,1	142,1 $\pm$ 7,9	113,1 $\pm$ 11,0	89,2 $\pm$ 9,4	130,1 $\pm$ 49,1	123,9 $\pm$ 9,7	174,1 $\pm$ 12,3	127,6 $\pm$ 10,9	109,7 $\pm$ 23,8
q-r	22,9 $\pm$ 7,8	19,7 $\pm$ 2,6	14,7 $\pm$ 1,8	21,1 $\pm$ 2,4	25,6 $\pm$ 2,5	17,0 $\pm$ 1,6	15,0 $\pm$ 2,2	17,7 $\pm$ 3,8	20,0 $\pm$ 2,3	26,8 $\pm$ 2,7	21,4 $\pm$ 2,7	16,7 $\pm$ 3,3
hP	34,2 $\pm$ 12,9	28,7 $\pm$ 2,3	24,0 $\pm$ 3,3	29,9 $\pm$ 3,1	32,9 $\pm$ 1,9	27,1 $\pm$ 2,9	21,7 $\pm$ 2,0	31,6 $\pm$ 9,6	32,1 $\pm$ 4,9	38,1 $\pm$ 2,5	31,5 $\pm$ 2,1	22,0 $\pm$ 4,1
hV	32,3 $\pm$ 11,5	27,2 $\pm$ 1,9	22,9 $\pm$ 3,1	28,5 $\pm$ 3,3	30,0 $\pm$ 2,8	24,3 $\pm$ 3,0	22,5 $\pm$ 2,7	32,8 $\pm$ 12,6	27,2 $\pm$ 2,5	35,9 $\pm$ 3,0	30,1 $\pm$ 2,1	21,0 $\pm$ 4,2
hA	29,1 $\pm$ 9,4	24,4 $\pm$ 2,0	19,9 $\pm$ 2,5	26,2 $\pm$ 2,0	30,0 $\pm$ 2,9	22,1 $\pm$ 2,6	19,9 $\pm$ 2,2	25,0 $\pm$ 4,0	23,4 $\pm$ 1,8	31,8 $\pm$ 2,8	25,7 $\pm$ 1,7	20,7 $\pm$ 4,0
t-v	19,0 $\pm$ 7,6	15,7 $\pm$ 2,6	16,2 $\pm$ 2,9	17,2 $\pm$ 1,8	18,7 $\pm$ 2,1	15,0 $\pm$ 2,0	13,9 $\pm$ 1,8	19,7 $\pm$ 9,1	18,2 $\pm$ 2,9	22,3 $\pm$ 3,5	17,2 $\pm$ 2,5	14,9 $\pm$ 2,5
H	76,1 $\pm$ 22,0	70,0 $\pm$ 4,3	52,0 $\pm$ 4,3	72,2 $\pm$ 2,4	85,5 $\pm$ 6,7	62,8 $\pm$ 5,4	52,1 $\pm$ 5,8	74,6 $\pm$ 23,4	65,3 $\pm$ 5,0	97,7 $\pm$ 7,1	78,4 $\pm$ 7,8	59,6 $\pm$ 13,5
H	30,3 $\pm$ 11,6	26,6 $\pm$ 1,8	19,9 $\pm$ 2,2	28,6 $\pm$ 1,2	32,2 $\pm$ 2,2	23,4 $\pm$ 2,1	19,8 $\pm$ 2,2	27,5 $\pm$ 9,6	27,1 $\pm$ 2,5	37,0 $\pm$ 3,0	29,6 $\pm$ 2,6	22,9 $\pm$ 5,6



Na grafiku dve kanonijske ose nije moguće uočiti značajna grupisanja lokaliteta (Slika 16 A). Međutim UPGMA analiza je na osnovu kvadrata Mahalanobisovih distanci dobijenih iz DCA analize pokazala grupisanje lokaliteta u tri grupe: (1) Gruža, Plazović, DTD Bačko Gradište, Dondo, Tikvara i Gornje Podunavlje, (2) Jegrička Žabalj, Jegrička Temerin, Međuvršje, Ludaš i DTD Bogojevo, i (3) Srebrno Jezero (Slika 16B).

**Tabela 11.** Prikaz 11 kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika celog tela analiziranog linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakteristikama korišćenim u ovoj analizi.

	CV 1	CV 2	CV 3	CV 4	CV 5	CV 6	CV 7	CV 8	CV 9	CV 10	CV 11
c-g	-0.32	0.23	-0.24	0.27	0.19	-0.22	0.00	-0.39	0.13	-0.25	0.23
g-d	-0.13	0.09	-0.51	0.52	-0.20	0.10	0.17	-0.47	0.29	0.14	-0.30
hD	0.03	-0.11	0.26	-0.54	-0.14	0.24	0.38	-0.11	-0.05	0.08	-0.01
DC	-0.25	-0.17	-0.23	0.19	-0.17	-0.31	-0.31	-0.49	0.46	0.13	-0.33
i-l	-0.03	0.15	-0.17	0.03	0.25	-0.66	0.27	-0.10	-0.21	0.26	-0.33
i-j	0.32	-0.02	-0.20	0.27	-0.01	-0.44	-0.02	0.07	0.12	-0.24	-0.22
j-e	-0.31	-0.42	0.38	0.17	-0.16	0.17	0.10	0.47	-0.25	0.21	-0.52
k-l	-0.12	0.35	0.28	0.07	-0.57	0.12	-0.40	-0.10	-0.04	0.30	-0.01
h-i-l	-0.35	0.67	0.19	0.25	-0.25	-0.04	0.39	0.23	0.15	0.13	-0.03
m-n	0.14	-0.22	0.09	-0.79	-0.14	0.60	-0.62	-0.18	0.12	-0.10	0.24
O-P	-0.58	-0.31	0.14	0.35	0.45	-0.43	0.32	-0.27	-0.60	-0.01	0.28
O-A	0.07	-0.05	0.06	0.23	-0.02	0.14	-0.02	-0.59	0.69	0.05	-0.36
q-r	0.04	-0.03	-0.28	-0.41	-0.19	0.03	0.06	-0.56	0.02	-0.36	-0.27
hP	-0.14	-0.36	0.22	0.37	-0.60	0.35	-0.29	-0.29	-0.32	-0.20	0.14
hV	0.30	0.06	0.14	0.35	-0.27	-0.63	0.00	0.28	0.34	-0.48	-0.08
hA	0.04	0.24	0.21	-0.18	0.31	-0.24	0.49	-0.20	0.10	0.10	-0.05
t-v	0.14	-0.50	0.08	-0.07	-0.07	0.00	0.41	-0.20	0.44	0.52	0.33
H	0.57	-0.18	0.76	0.32	0.19	0.43	-0.38	0.17	-0.12	0.10	-0.09
H	0.31	0.00	-0.36	0.09	0.05	-0.48	0.18	-0.14	-0.29	0.52	0.26
Eigen vrednost	3.13	2.08	1.41	0.67	0.50	0.44	0.36	0.22	0.19	0.08	0.04
Kumulativna proporcija	0.34	0.57	0.73	0.80	0.85	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00	1.00



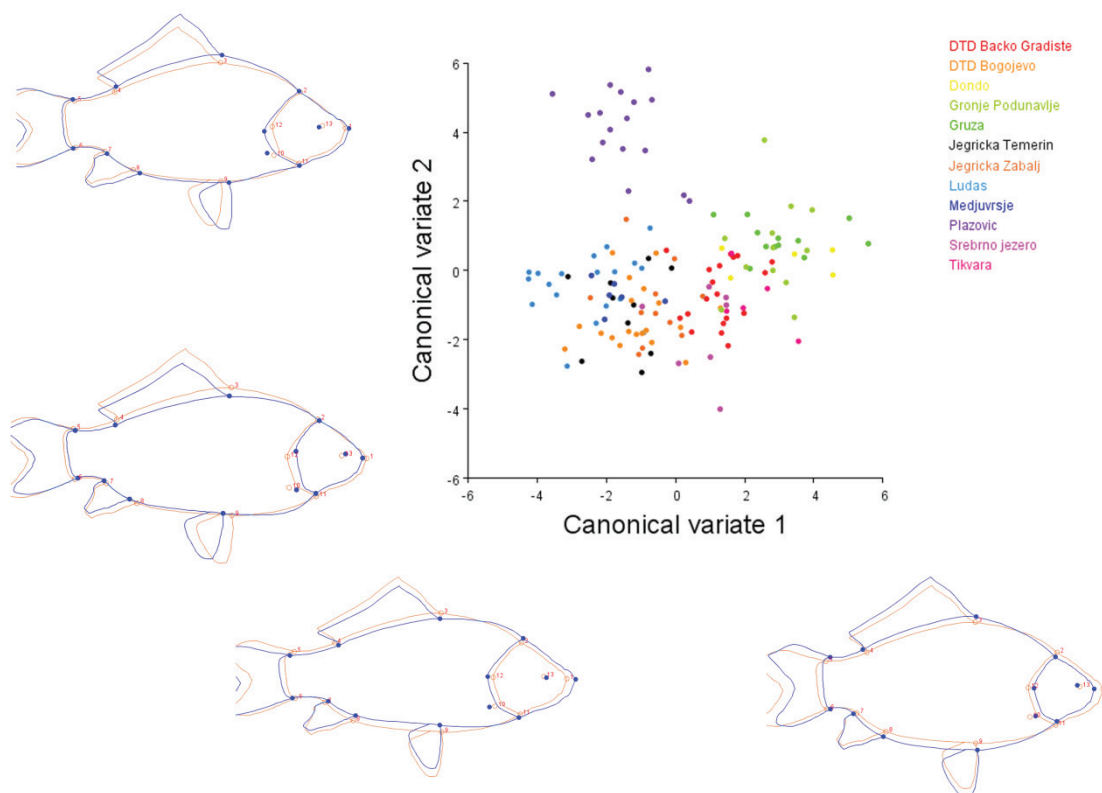
**Slika 16.** A) Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom. B) UPGMA dijagram fenetičkih odnosa parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom.

#### GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA

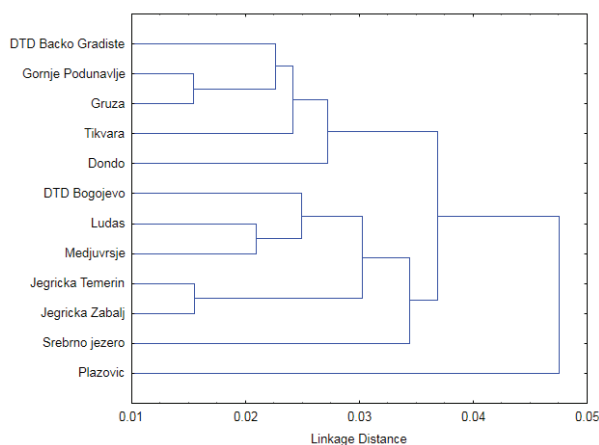
Primenom metode geometrijske morfometrije na 13 odabranih tačaka, analiziran je uticaj lokaliteta i pola na veličinu (izraženu kroz veličinu centroida) i oblik celog tela riba. Lokaliteti su imali statistički značajan uticaj na veličinu tela ( $F_{(11, 118)} = 31,4, p < 0,001$ ), dok pol nije imao statički značajan uticaj ( $F_{(1, 118)} = 0,9, p = 0,34$ ). Interakcija između pola i lokaliteta takođe nije bila značajna ( $F_{(11, 118)} = 1,1, p = 0,37$ ).

Multivarijantna regresija je pokazala da je na varijabilnost u obliku najveći uticaj imala veličina sa 14,35% ( $p < 0,001$ ), dok su lokalitet (3,58%,  $p < 0,001$ ) i pol (1,66%,  $p = 0,02$ ) imali znatno manji uticaj. Stoga su dalje analize rađene na podacima korigovanim za veličinu. Nakon transformacije su dobijeni slični rezultati kao i za uticaj na veličinu tela: samo je lokalitet u ovom slučaju imao statički značajan uticaj na varijabilnost u obliku ( $F_{(242, 986)} = 3, p < 0,001$ ), dok pol i interakcija nisu bili statistički značajni.

Diskriminantna kanonijska analiza je pokazala ukupno 10 kanonijskih osa, od kojih su prve dve opisale najveći procenat varijabilnosti (62,01%). Na dijagramu navedene dve ose moguće je uočiti tri jasno definisane grupe: (1) Ludaš, Međuvršje, Jegrička Žabalj, Jegrička Temerin i DTD Bogojevo; (2) Gornje Podunavlje, Gruža, DTD Bačko Gradište, Tikvara i kanal Dondo i (3) Plazović. Prve dve grupe se razdvajaju po prvoj kanonijskoj osi, dok se treća grupa jasno odvaja od prve dve po drugoj kanonijskoj osi. Morfološke karakteristike koje utiču na ovu diferencijaciju su prikazane pomoću crteža konture (Slika 17) gde je narandžastom bojom prikazan konsenzus, a plavom bojom su označene promene u obliku. Jedinke druge grupe se od ostalih razlikuju po višim telima i znatno manjom glavom, dok se jedinke sa lokaliteta Plazović takođe razlikuju po nešto višim telima, ali imaju i znatno veći glaveni region, pogotovo u regionu operkuluma, i nešto anteriornije postavljena pektoralna i analno peraje. UPGMA analiza je pokazala slično grupisanje jedinki kao i kanonijska analiza (Slika 18).



**Slika 17.** Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom. Promene oblika celog tela riba duž kanonijskih osa su predstavljene dijagramom kontura (promene su uvećane 7 puta). Konture narandžaste boje predstavljaju konzensus oblik, dok konture plave boje predstavljaju devijacije u pozitivnom i negativnom pravcu duž kanonijskih osa.



**Slika 18.** UPGMA dijagram fenetičkih odnosa parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom

### 5.3.1.2. Kostii glave i cleithrum

#### LINEARNA MORFOMETRIJA

U cilju ispitivanja uticaja morfološke varijabilnosti srebrnog karaša, takođe je ispitana morfološka raznovrsnost 6 kostiju glavenog skeleta i cleithrum-a. Vrednosti morfometrijskih karakterata za svaku kost po lokalitetima su prikazani u Tabeli 20. Kako bi se isključio uticaj veličine na varijabilnost u obliku, statističkim analizama je predhodila regresiona transformacija morfometrijskih mera datih kostiju. Nakon transformacije, sve korelacije između transformisanih mera i ln-standardne dužine kod svih kostiju su bile manje od 0,01 i nisu bile statistički značajne (Pearson's product moment correlation;  $r < 0,01$ ;  $p > 0,05$ ) te može da se smatra da je uticaj veličine uspešno isključen iz daljih analiza.

Dvofaktorska ANOVA je kod svih kostiju pokazala statistički značajan uticaj lokaliteta na oblik, dok je pol imao statistički značajan uticaj samo kod jedne kosti (praeoperculum) (Tabela 21). Interakcija između pola i lokaliteta nije bila statistički značajna za sve analizirane kosti (Tabela 21). Iako je kod praeoperculum-a pol ima značajan uticaj, zbog malog uzorka na pojedinim lokalitetima dalje analize su rađene na ukupnom uzorku.

**Tabela 20. Morfometrijske karakteristike kostiju glave i cleithrum-a analiziranih u ovoj studiji (srednja vrednost  $\pm$  SD mm).**

	Gruža	Jegriča Ž.	Ludaš	DTD B.G.	Dondo	Jegrička T	Plazović	Srebrno j.	DTD B.	Tikvara	G. Pod.	Međuvršje
<i>Operculum</i>												
pas-ai	26,3 $\pm$ 8,8	26,2 $\pm$ 1,0	21,1 $\pm$ 2,8	25,3 $\pm$ 0,9	27,9 $\pm$ 2,3	25,4 $\pm$ 1,4	24,7 $\pm$ 2,2	21,7 $\pm$ 1,7	24,4 $\pm$ 2,0	27,8 $\pm$ 3,9	24,6 $\pm$ 2,0	20,5 $\pm$ 2,6
cw-pcai	20,5 $\pm$ 7,1	20,6 $\pm$ 1,0	16,4 $\pm$ 2,2	19,4 $\pm$ 0,7	21,1 $\pm$ 1,2	19,6 $\pm$ 0,9	19,3 $\pm$ 1,8	16,4 $\pm$ 1,6	18,6 $\pm$ 1,6	22,4 $\pm$ 0,7	18,8 $\pm$ 1,8	15,6 $\pm$ 2,3
as-ai	30,8 $\pm$ 1,6	29,9 $\pm$ 1,3	24,1 $\pm$ 2,9	28,9 $\pm$ 1,0	31,4 $\pm$ 2,6	28,5 $\pm$ 1,7	27,6 $\pm$ 2,3	24,0 $\pm$ 2,2	27,6 $\pm$ 2,1	33,4 $\pm$ 0,9	27,9 $\pm$ 2,1	22,6 $\pm$ 2,6
as-pas	13,3 $\pm$ 4,3	13,0 $\pm$ 0,8	11,0 $\pm$ 1,5	13,0 $\pm$ 0,9	14,6 $\pm$ 1,0	12,6 $\pm$ 0,8	13,0 $\pm$ 1,3	11,0 $\pm$ 1,2	12,7 $\pm$ 1,4	15,2 $\pm$ 0,6	12,9 $\pm$ 0,9	10,0 $\pm$ 1,0
<i>Praeoperculum</i>												
aa-as	17,8 $\pm$ 3,6	25,1 $\pm$ 1,4	19,9 $\pm$ 2,2	24,1 $\pm$ 0,9	26,3 $\pm$ 1,7	23,7 $\pm$ 1,3	23,6 $\pm$ 2,1	20,6 $\pm$ 2,2	23,0 $\pm$ 1,9	27,6 $\pm$ 0,5	23,4 $\pm$ 1,8	19,4 $\pm$ 2,2
aa-moic	9,6 $\pm$ 2,1	13,1 $\pm$ 0,6	11,0 $\pm$ 1,2	13,0 $\pm$ 0,8	13,9 $\pm$ 0,7	13,1 $\pm$ 0,7	12,9 $\pm$ 1,2	11,3 $\pm$ 0,9	13,0 $\pm$ 0,9	14,1 $\pm$ 0,7	12,2 $\pm$ 1,1	9,9 $\pm$ 1,1
Cw	4,2 $\pm$ 1,0	6,0 $\pm$ 0,5	5,1 $\pm$ 0,6	6,1 $\pm$ 0,5	6,7 $\pm$ 0,7	5,6 $\pm$ 0,6	5,8 $\pm$ 0,6	5,3 $\pm$ 0,6	5,9 $\pm$ 0,6	7,1 $\pm$ 0,8	5,9 $\pm$ 0,5	4,5 $\pm$ 0,6
as-moic	14,6 $\pm$ 2,8	20,5 $\pm$ 1,6	16,2 $\pm$ 1,9	18,9 $\pm$ 1,2	21,6 $\pm$ 1,9	18,0 $\pm$ 1,4	18,7 $\pm$ 1,9	17,1 $\pm$ 2,2	17,9 $\pm$ 2,5	23,0 $\pm$ 0,6	19,4 $\pm$ 1,3	15,7 $\pm$ 2,1
<i>Interoperculum</i>												
ai-aps	9,9 $\pm$ 3,6	10,2 $\pm$ 0,7	7,6 $\pm$ 1,3	8,9 $\pm$ 0,5	10,14 $\pm$ 0,5	9,0 $\pm$ 0,6	9,0 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 0,4	9,0 $\pm$ 0,9	10,1 $\pm$ 1,1	9,2 $\pm$ 0,9	6,6 $\pm$ 1,1
ai-aa	19,7 $\pm$ 5,3	19,7 $\pm$ 1,1	16,6 $\pm$ 1,9	18,9 $\pm$ 0,9	21,5 $\pm$ 1,4	18,5 $\pm$ 1,1	19,0 $\pm$ 1,9	18,3 $\pm$ 1,5	18,6 $\pm$ 1,4	22,1 $\pm$ 0,8	19,1 $\pm$ 1,8	15,4 $\pm$ 1,7
Cw	4,9 $\pm$ 1,8	5,3 $\pm$ 0,5	3,9 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,4	5,3 $\pm$ 0,4	4,7 $\pm$ 0,4	4,5 $\pm$ 0,5	4,2 $\pm$ 0,3	4,6 $\pm$ 0,6	5,5 $\pm$ 0,6	4,9 $\pm$ 0,6	3,7 $\pm$ 0,6
aa-paa	2,2 $\pm$ 0,6	2,9 $\pm$ 0,6	1,9 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,3	2,8 $\pm$ 0,3	3,0 $\pm$ 0,6	2,2 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,4	2,3 $\pm$ 0,3	2,7 $\pm$ 0,3	2,3 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,3
aa-aps	18,2 $\pm$ 5,1	18,4 $\pm$ 1,0	15,3 $\pm$ 1,9	17,7 $\pm$ 0,8	19,8 $\pm$ 1,2	16,3 $\pm$ 2,4	17,5 $\pm$ 1,7	16,7 $\pm$ 1,0	17,4 $\pm$ 1,2	20,2 $\pm$ 0,7	17,7 $\pm$ 1,6	14,4 $\pm$ 1,6
<i>Suboperculum</i>												
pu-ap	20,0 $\pm$ 6,0	19,4 $\pm$ 1,4	15,2 $\pm$ 1,9	18,5 $\pm$ 1,5	19,2 $\pm$ 1,5	18,2 $\pm$ 1,2	17,7 $\pm$ 1,4	15,1 $\pm$ 1,5	17,4 $\pm$ 1,4	21,5 $\pm$ 0,6	17,1 $\pm$ 1,6	14,2 $\pm$ 1,3
aa-ap	23,2 $\pm$ 7,5	22,2 $\pm$ 1,7	17,2 $\pm$ 2,3	20,5 $\pm$ 1,4	22,0 $\pm$ 2,2	21,0 $\pm$ 1,4	20,3 $\pm$ 1,6	17,3 $\pm$ 1,8	19,8 $\pm$ 1,6	24,7 $\pm$ 0,5	19,8 $\pm$ 1,5	15,7 $\pm$ 1,8
Cw	6,6 $\pm$ 2,1	6,8 $\pm$ 0,7	4,7 $\pm$ 0,6	5,9 $\pm$ 0,5	7,0 $\pm$ 0,7	6,3 $\pm$ 0,3	6,3 $\pm$ 0,7	5,2 $\pm$ 0,4	5,6 $\pm$ 0,8	7,5 $\pm$ 0,5	6,1 $\pm$ 0,9	4,1 $\pm$ 0,5
pu-aa	6,1 $\pm$ 2,0	5,6 $\pm$ 0,5	4,4 $\pm$ 0,7	5,3 $\pm$ 0,5	6,6 $\pm$ 0,6	5,3 $\pm$ 0,4	5,4 $\pm$ 0,6	4,9 $\pm$ 0,5	5,3 $\pm$ 0,7	6,6 $\pm$ 0,5	5,2 $\pm$ 0,9	3,8 $\pm$ 0,7

**Tabela 20. Nastavljeno.**

	Gruža	Jegriča Ž.	Ludaš	DTD B.G.	Dondo	Jegrička T	Plazović	Srebrno j.	DTD B.	Tikvara	G. Pod.	Međuvršje
<i>Hyomandibulare</i>												
pap-pas	9,1±2,1	8,8±0,6	7,0±0,7	8,3±0,3	9,4±0,6	7,9±0,4	8,1±0,7	8,1±0,7	7,9±0,5	10,0±0,3	8,5±0,9	7,0±1,5
pap-pis	25,0±7,4	23,6±1,3	18,9±1,9	22,1±0,7	24,1±1,8	21,6±0,9	21,7±1,8	20,3±1,3	21,2±1,5	26,3±0,8	21,6±2,1	18,7±3,5
pap-pao	5,5±1,3	5,2±0,5	4,1±0,4	4,8±0,3	5,3±0,5	4,6±0,3	4,4±0,4	4,6±0,2	4,6±0,9	5,9±0,3	5,0±0,5	4,0±0,7
pas-pao	7,4±1,9	6,9±0,5	5,5±0,6	6,4±0,3	7,2±0,7	6,0±0,3	6,2±0,7	6,1±0,3	6,1±0,4	8,0±0,3	6,5±0,7	5,4±0,9
pas-pis	20,0±6,5	19,0±0,9	15,0±1,5	17,6±0,7	19,2±1,5	17,4±0,8	17,1±1,4	15,7±0,7	17,2±1,5	21,1±0,7	17,2±1,6	14,9±2,6
<i>Pharyngii</i>												
pd-aa	21,3±6,6	22,1±1,5	18,3±2,1	20,1±0,9	22,3±1,3	19,4±1,9	20,3±1,7	18,8±1,4	19,7±1,4	-	20,3±1,6	17,9±3,0
aa-bft	10,6±3,2	11,3±0,8	9,0±0,8	10,1±0,5	11,2±0,9	10,3±0,7	10,2±1,4	9,4±0,6	9,9±1,5	-	10,5±1,2	8,6±1,8
ai-bft	6,2±1,7	6,4±0,4	4,7±0,6	5,9±0,4	6,6±0,6	5,9±0,5	5,8±0,5	5,7±0,5	5,9±0,6	-	6,0±0,4	5,3±1,0
pd-ai	15,9±5,1	16,3±1,4	13,7±1,6	14,9±1,0	16,8±0,9	14,9±0,6	14,7±1,2	14,2±1,1	14,3±1,2	-	15,1±1,1	13,3±2,0
ai-aa	12,6±3,9	13,2±0,8	10,8±1,2	11,9±0,5	12,9±1,2	12,2±0,6	12,2±1,2	11,1±1,3	12,0±0,8	-	12,3±1,2	9,9±2,2
<i>Cleithrum</i>												
aa-sd	41,6±13,5	41,2±1,8	31,8±3,4	39,0±1,2	42,7±5,4	37,8±1,6	38,4±3,4	36,9±3,9	37,3±2,7	47,8±2,0	39,4±3,3	31,1±3,2
aa-ap	20,3±7,0	19,8±1,2	15,0±2,1	19,0±0,6	20,0±3,8	18,3±0,8	18,3±1,5	18,1±2,3	18,1±1,52	24,0±0,5	19,5±1,6	15,2±1,8
Cw	7,0±2,7	6,3±0,4	4,8±0,7	6,3±0,3	7,2±0,7	5,6±0,3	5,9±0,6	5,8±0,8	6,2±0,6	7,9±0,6	6,6±0,5	4,5±0,6
ap-sd	29,3±9,0	29,1±1,1	22,9±2,3	27,3±1,3	31,1±2,6	26,7±1,5	27,8±2,8	27,1±4,7	26,2±2,1	33,5±1,3	27,7±2,0	21,3±2,2

**Tabela 21.** Rezultati dvofaktorske analize varjanse (ANOVA) i prikazi uticaja pola i lokaliteta na morfološku varijabilnost pojedinačnih kostiju analiziranih linearnom morfometrijom.

Kost	Pol	Lokalitet	Interakcija pol*lokalitet
Operculum	$F_{(4, 103)} = 0,08; p = 0,99$	$F_{(44, 396)} = 2,51; p < 0,01$	$F_{(44, 396)} = 0,51; p = 0,99$
Praeoperculum	$F_{(4, 108)} = 2,79; p = 0,03$	$F_{(44, 415)} = 3,94; p < 0,01$	$F_{(44, 415)} = 0,58; p = 0,98$
Interoperculum	$F_{(5, 102)} = 0,57; p = 0,72$	$F_{(55, 475)} = 4,07; p < 0,01$	$F_{(55, 475)} = 1,09; p = 0,31$
Suboperculum	$F_{(4, 101)} = 0,42; p = 0,79$	$F_{(44, 388)} = 4,14; p < 0,01$	$F_{(44, 388)} = 0,61; p = 0,98$
Hyomandibulare	$F_{(5, 97)} = 0,98; p = 0,43$	$F_{(55, 453)} = 3,14; p < 0,01$	$F_{(55, 453)} = 0,56; p = 0,99$
Pharyngii	$F_{(5, 99)} = 1,19; p = 0,32$	$F_{(55, 455)} = 4,06; p < 0,01$	$F_{(55, 455)} = 0,87; p = 0,75$
Cleithrum	$F_{(4, 105)} = 0,81; p = 0,52$	$F_{(44, 404)} = 4,74; p < 0,01$	$F_{(44, 404)} = 1,01; p = 0,46$

Diskriminantna kanonijska analiza je pokazala različit broj kanonijskih osa za različite kosti (Tabela 22). Kod svih kostiju su prve dve kanonijske ose opisale više od 85% ukupne varijabilnosti, a korelacija morfometrijskih mera sa kanonijskim osama je prikazana u Tabeli 22.

**Tabela 22.** Prikaz kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika pojedinačnih kostiju glavenog skeleta i cleithrum-a analiziranih linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakterima korišćenim u ovoj analizi.

Morfometrijski karakter	CV 1	CV 2	CV 3	CV 4	CV 5
<i>Operculum</i>					
pas-ai	0.091	0.338	1.823	-0.730	-
cw-pcai	0.330	-0.706	1.215	1.403	-
as-ai	0.467	-1.284	-2.311	-0.870	-
as-pas	0.185	1.810	-0.447	0.172	-
Eigen vrednost	1.004	0.222	0.167	0.019	-
Kumulativni procenat (%)	0.711	0.869	0.987	1.000	-
<i>Praeoperculum</i>					
aa-as	0.630	-0.787	0.764	1.706	-
aa-moic	0.777	1.723	0.640	-1.108	-
Cw	-0.221	-0.480	-2.097	0.611	-
as-moic	-0.225	-0.811	0.491	-1.512	-
Eigen vrednost	1.392	0.475	0.269	0.039	-
Kumulativni procenat (%)	0.640	0.858	0.982	1.000	-
<i>Interoperculum</i>					
ai-aps	0.730	0.229	-0.966	-0.408	-0.127
ai-aa	0.038	-0.906	0.781	-1.180	0.180
cw	0.092	0.033	0.112	0.794	1.054

## Rezultati

aa-paa	0.381	0.828	0.505	0.033	-0.455
aa-aps	0.012	-0.248	-0.098	1.183	-0.778
Eigen vrednost	1.663	0.683	0.236	0.097	0.021
Kumulativni procenat (%)	0.616	0.869	0.956	0.992	1.000
<i>Suboperculum</i>					
pu-ap	-0.309	-0.725	-0.410	-1.480	-
aa-ap	-0.184	-0.183	-0.207	1.794	-
cw	-0.568	0.191	1.057	-0.144	-
pu-aa	-0.184	0.858	-0.723	-0.260	-
Eigen vrednost	2.224	0.202	0.124	0.065	-
Kumulativni procenat (%)	0.850	0.928	0.975	1.000	-
<i>Hyomandibulare</i>					
pap-pas	0.718	0.029	-1.916	0.170	-0.088
pap-pis	0.778	-0.816	1.057	-2.273	1.156
pap-pao	-0.127	0.424	-0.100	0.580	1.010
pas-pao	-0.187	1.274	1.522	-0.095	-0.897
pas-pis	-0.208	-0.714	-0.595	2.222	-0.957
Eigen vrednost	1.423	0.361	0.168	0.097	0.015
Kumulativni procenat (%)	0.689	0.864	0.945	0.993	1.000
<i>Pharyngii</i>					
pd-aa	0.220	-0.363	0.470	-2.206	0.407
aa-bft	0.250	-0.109	-0.434	0.523	1.208
ai-bft	0.726	-1.093	-0.202	0.101	-0.148
pd-ai	-0.491	1.078	-1.395	1.051	-0.775
ai-aa	0.435	0.738	1.174	0.511	-0.549
Eigen vrednost	1.341	0.627	0.187	0.159	0.008
Kumulativni procenat (%)	0.578	0.848	0.928	0.997	1.000
<i>Cleithrum</i>					
aa-sd	-0.917	1.279	2.359	3.175	-
aa-ap	0.626	-1.172	-0.092	-2.196	-
cw	0.195	1.411	-0.281	-0.240	-
ap-sd	1.263	-1.450	-1.848	-1.052	-
Eigen vrednost	2.120	0.434	0.195	0.102	-
Kumulativni procenat (%)	0.744	0.896	0.964	1.000	-



## GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA

Primenom metode geometrijske morfometrije na odabranim tačkama za svaku kost, analiziran je uticaj lokaliteta i pola na veličinu (izraženu kroz veličinu centroida) i oblik kosti. Kod svih analiziranih kostiju, lokalitet je imao statistički značajan uticaj na veličinu, dok pol i interakcija između pola i lokaliteta nisu bili statistički značajni (Tabela 23).

**Tabela 23.** Rezultati dvofaktorske analize varijanse i prikaz uticaja pola i lokaliteta na veličinu centroida pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom.

Kost	Pol	Lokalitet	Interakcija pol*lokalitet
Operculum	$F_{(1,108)} = 1,3; p = 0,27$	$F_{(11,108)} = 4,2; p < 0,01$	$F_{(11,108)} = 0,5; p = 0,92$
Praeoperculum	$F_{(1,102)} = 2,1; p = 0,15$	$F_{(11,102)} = 4,8; p < 0,01$	$F_{(11,102)} = 1,1; p = 0,40$
Interoperculum	$F_{(1,103)} = 3,1; p = 0,08$	$F_{(11,103)} = 5,0; p < 0,01$	$F_{(11,103)} = 1,6; p = 0,11$
Suboperculum	$F_{(1,97)} = 0,9; p = 0,36$	$F_{(11,97)} = 4,0; p < 0,01$	$F_{(11,97)} = 0,7; p = 0,76$
Pharyngii	$F_{(1,102)} = 2,2; p = 0,14$	$F_{(11,102)} = 3,9; p < 0,01$	$F_{(11,102)} = 0,4; p = 0,95$
Hyomandibulare	$F_{(1,95)} = 1,5; p = 0,23$	$F_{(11,95)} = 7,1; p < 0,01$	$F_{(11,95)} = 0,6; p = 0,79$
Cleithrum	$F_{(1,106)} = 0,2; p = 0,63$	$F_{(11,106)} = 5,9; p < 0,01$	$F_{(11,106)} = 1,0; p = 0,45$

Multivarjantna regresija je kod većine kostiju pokazala značajan uticaj veličine na varijabilnost u obliku (Tabela 24). Lokalitet je imao značajan procentualni udeo u varijabilnosti oblika za operculum, interoperculum, pharyngii i cleithrum, dok pol nije imao značajan udeo ni u jednom slučaju. Dalje analize za kosti kod kojih je alometrija imala značajan uticaj na varijabilnost u obliku sprovedene su na podacima predhodnokorigovanim za veličinu.

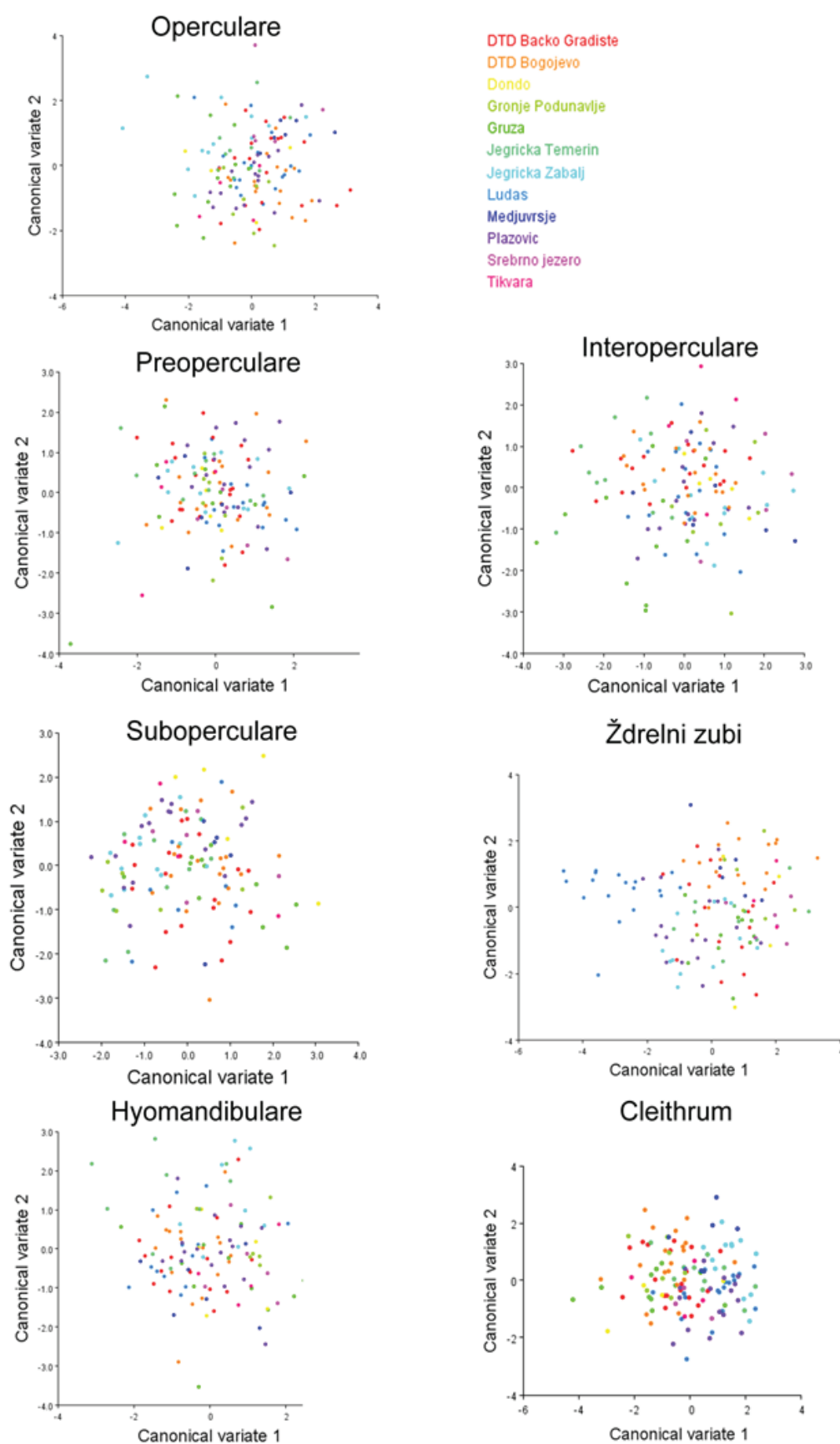
**Tabela 24.** Rezultati multiravjantne regresije veličine kostiju, pola i lokaliteta na parametre oblika pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom.

Kost	Log CS		Pol		Lokalitet	
	%	<i>p</i>	%	<i>p</i>	%	<i>P</i>
Operculum	1,83	0,03	1,40	0,08	2,08	0,01
Praeoperculum	12,07	<0,001	1,03	0,25	1,94	0,07
Interoperculum	4,53	<0,001	0,40	0,71	3,36	0,004
Suboperculum	7,22	<0,001	1,37	0,18	1,43	0,16
Pharyngii	1,21	0,14	0,89	0,34	3,41	<0,001
Hyomandibulare	7,90	<0,001	0,34	0,83	0,40	0,77
Cleithrum	5,78	<0,001	1,22	0,18	2,18	0,02

Nakon korekcije podataka za uticaj alometrije, dobijeni rezultati o uticaju pola i lokaliteta na oblik kosti su prikazani u Tabeli 25. Za sve kosti sem praeoperculum-a, lokalitet je imao najveći uticaj na oblik. Pored toga, pol nije imao statistički značajan uticaj ni na jednu kost. Iako su lokaliteti prema ANOVA analizi imali statistički značajan uticaj, rezultati CVA analize nisu pokazali veća grupisanja podataka u klastere (Slika 19).

**Tabela 25.** Rezultati dvofaktorske analize varijanse i prikazi uticaja pola i lokaliteta na morfološku varijabilnost oblika pojedinačnih kostiju analiziranih geometrijskom morfometrijom.

Kost	Pol	Lokalitet	Interakcija pol*lokalitet
Operculum	$F(10, 99) = 0,94; p = 0,50$	$F(110, 754) = 1,63; p < 0,01$	$F(110, 754) = 0,86; p = 0,79$
Praeoperculum	$F(4, 99) = 1,24; p = 0,29$	$F(44, 380) = 1,27; p = 0,12$	$F(44, 380) = 1,33; p = 0,08$
Interoperculum	$F(6, 98) = 0,68; p = 0,66$	$F(66, 530) = 1,99; p < 0,01$	$F(66, 530) = 1,14; p = 0,22$
Suboperculum	$F(4, 94) = 1,25; p = 0,29$	$F(44, 362) = 1,72; p < 0,01$	$F(44, 362) = 0,88; p = 0,68$
Pharyngii	$F(10, 93) = 0,98; p = 0,46$	$F(110, 709) = 3,14; p < 0,01$	$F(110, 709) = 1,05; p = 0,38$
Hyomandibulare	$F(6, 90) = 0,91; p = 0,50$	$F(66, 487) = 2,03; p < 0,01$	$F(66, 487) = 1,55; p < 0,01$
Cleithrum	$F(6, 101) = 1,64; p = 0,15$	$F(66, 546) = 2,81; p < 0,01$	$F(66, 546) = 1,20; p = 0,17$



**Slika 19.** Scatter dijagrami prve dve kanonijske ose parametara oblika pojedinačnih kostiju galevenog skeleta i cleithrum-a analiziranih geometrijskom morfometrijom.

### 5.3.2. Uticaj prisustva predatora i protoka na morfološku varijabilnost vrste *Carassius gibelio*

#### LINEARNA MORFOMETRIJA

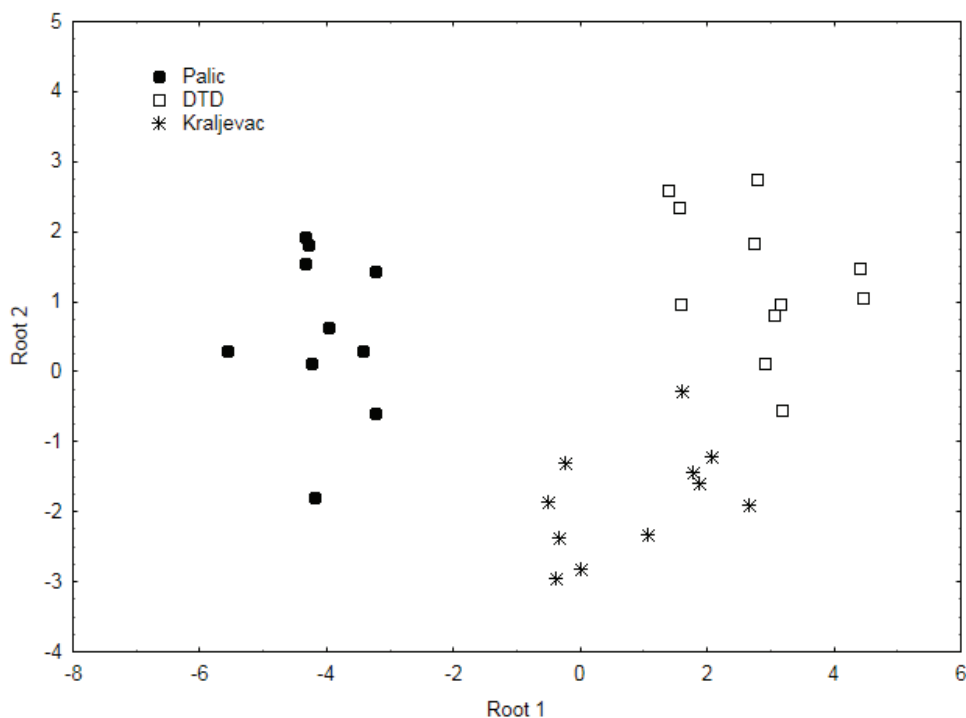
Analizama podataka za linearnu morfometriju 32 ribe sa tri različita lokaliteta, dat je bolji uvid u uticaj određenih biotičkih i abiotičkih faktora na morfološku varijabilnost jedinki. Faktori koji su ovom prilikom uzimani u obzir su prisustvo predatora i protok vode na lokalitetu. Kako bi se izbegao uticaj veličine u daljnim analizama, prikupljeni podaci su prvo podvrgnuti regresionoj transformaciji. Nakon transformacije, sve korelacije između transformisanih mera i ln-standarne dužine su bile manje od 0,01 i nisu bile statistički značajne (Pearson's product moment correlation;  $r < 0,01$ ;  $p > 0,05$ ) te se može smatrati da je uticaj veličine uspešno isključen.

**Tabela 26.** Morfometrijske karakteristike jedinki sa lokaliteta sa različitim prisustvom predatora i protoka (srednja vrednost  $\pm$  SD mm).

Mera	Kraljevac	DTD	Palić
c-g	62,2 $\pm$ 9,5	75,4 $\pm$ 14,4	77,1 $\pm$ 10,5
g-d	55,9 $\pm$ 10,0	70,4 $\pm$ 11,4	63,1 $\pm$ 11,0
hD	25,2 $\pm$ 3,6	32,2 $\pm$ 5,2	29,6 $\pm$ 4,5
DC	21,8 $\pm$ 4,4	26,0 $\pm$ 5,6	29,3 $\pm$ 4,6
i-l	37,8 $\pm$ 4,8	43,9 $\pm$ 6,6	45,7 $\pm$ 7,3
k-l	22,0 $\pm$ 3,6	26,0 $\pm$ 4,5	28,7 $\pm$ 5,8
h-i-l	34,9 $\pm$ 5,8	42,5 $\pm$ 7,7	42,1 $\pm$ 6,1
m-n	37,8 $\pm$ 4,8	43,9 $\pm$ 6,6	45,7 $\pm$ 7,3
O-P	64,1 $\pm$ 10,6	76,8 $\pm$ 13,5	78,9 $\pm$ 12,1
O-A	105,0 $\pm$ 18,3	128,3 $\pm$ 23,3	126,5 $\pm$ 17,6
q-ri	16,5 $\pm$ 3,5	20,3 $\pm$ 3,6	15,8 $\pm$ 2,7
hP	27,1 $\pm$ 4,2	31,8 $\pm$ 7,0	32,6 $\pm$ 6,0
hV	30,0 $\pm$ 4,8	35,4 $\pm$ 8,3	33,8 $\pm$ 6,1
hA	27,0 $\pm$ 4,6	27,2 $\pm$ 5,0	23,8 $\pm$ 3,6
t-v	18,3 $\pm$ 3,2	20,5 $\pm$ 4,6	24,1 $\pm$ 6,1
H	61,3 $\pm$ 10,8	78,0 $\pm$ 13,6	62,2 $\pm$ 6,8
h	22,4 $\pm$ 4,0	28,6 $\pm$ 5,9	25,0 $\pm$ 4,5

Dvofaktorska ANOVA je pokazala značajan uticaj protoka ( $F_{(16, 14)} = 3,19, p = 0,02$ ) i predatora ( $F_{(16, 14)} = 6,45, p < 0,01$ ) na morfološku varijabilnost riba ispitivanih lokaliteta. Diskriminantna kanonijska analiza je pokazala ukupno dve kanonijske ose od kojih je prva opisala 81,8% ukupne varijabilnosti, a druga preostalih 18,2%. Prva kanonijska osa je pokazala najveću korelaciju sa visinom tela (H), postdorzalnim rastojanjem (DC) i visinom glave (h-i-l), dok je druga

kanonijska osa pokazala najveću korelaciju sa visinom analnog peraja (hA) i visinom dorzalnog peraja (hD). Na grafiku dve kanonijske ose se vide jasna razdvajanja lokaliteta gde je Palić znatno udaljeniji od presotala dva lokaliteta po prvoj osi. Takođe, najveća Mahalanobisova distanca je uočena između Palića i druga dva lokaliteta (48,35 za DTD i 30,26 za Kraljevac;  $p < 0,001$  u svim slučajevima). Ovi podaci pokazuju da su jedinke sa lokaliteta Palić imale manju visinu tela, veću visinu glave i dužinu repnog stabla u odnosu na jedinke sa druga dva lokaliteta.



**Slika 20.** Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih tradicionalnom linearnom morfometrijom.

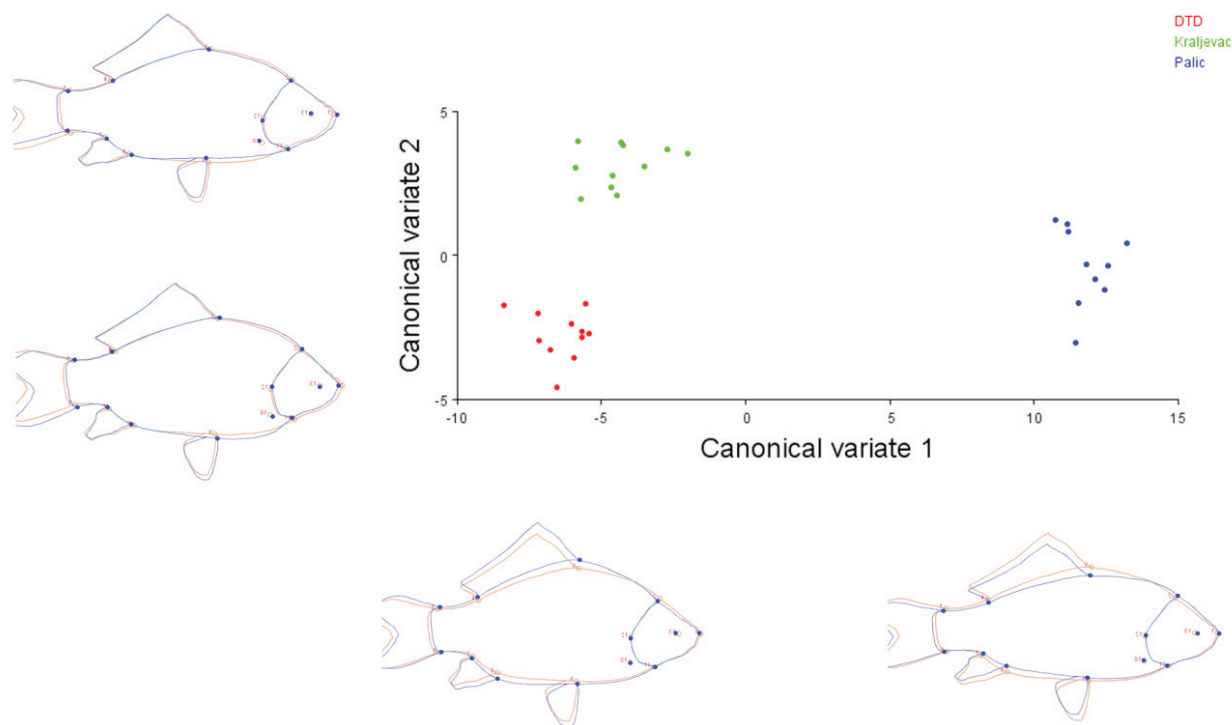
#### GEOMETRIJSKA MORFOMETRIJA

Primenom metode geometrijske morfometrije na 13 karakterističnih tačaka na telu riba, analiziran je uticaj prisustva predatora i protoka vode na lokalitetu na veličinu (izraženu kroz veličinu centroida) i oblik celog tela. Dvofaktorska ANOVA je pokazala da ni protok ( $F_{(1, 29)} = 2,22$ ,  $p = 0,15$ ) ni prisustvo predatora ( $F_{(1, 29)} = 0,33$ ,  $p = 0,57$ ) nemaju statistički značajan uticaj na veličinu. Interakcija između protoka i prisustva predatora takođe nije statistički značajna.

Multivarijantna regresija je pokazala da veličina tela nema značajan uticaj na promene oblika tela (3,85%,  $p = 0,27$ ). Prisustvo predatora je ispoljilo najveći uticaj na variranje oblika sa čak 39,3% ( $p < 0,001$ ), dok je uticaj protoka bio znatno manji (16,4%,  $p < 0,001$ ). S obzirom da veličina nije imala značajan uticaj na variranje u obliku tela, dalje analize su rađene bez korekcija za alometriju. Za razliku od protoka vode, uticaj predatora na varijabilnost oblikaje bio statistički značajan (dvofaktorska ANOVA;  $F_{(22, 8)} = 18$ ,  $p < 0,001$ ).

Diskriminantna kanonijska analiza je izdvojila dve ose od kojih je prva opisala 91,5% ukupne varijabilnosti, a druga preostalih 8,5%. Najveća Mahalanobisova distanca je uočena između jedinki sa lokaliteta Palići druga dva lokaliteta (18,38 za DTD i 16,56 za Kraljevac;  $p < 0,001$  u svim slučajevima). Na dijagramu dve kanonijske ose se vide razdvajanja sva tri lokaliteta, dok je

izdvajanje lokaliteta Palić po prvoj osi najizraženije (Slika 21). Jedinke sa Palića su se razlikovale prvenstveno po znatno manjoj visini tela, ali većom visinom glave i većim repnim stablom.



**Slika 21.** Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih geometrijskom morfometrijom. Promene oblika celog tela riba duž kanonijskih osa su predstavljene dijagramom kontura (promene su uvećane 10 puta). Konture narandžaste boje predstavljaju koncenzus oblik, dok konture plave boje predstavljaju devijacije u pozitivnom i negativnom pravcu duž kanonijskih osa.

### 5.3.3. Rekonstrukcija morfološke varijabilnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste *Carassius gibelio*

Kako bi se izvršila rekonstrukcija morfološke varijabilnosti populacija vrste determinisane kao *Carassius gibelio* u početku njenog invazionog procesa, korišćeni su morfometrijski podaci za 524 jedinke sa tri lokaliteta.

Svi prikupljeni podaci linearnih mera su prvo bili podvrgnuti regresionoj transformaciji kako bi se isključio uticaj veličine na oblik tela. Nakon transformacije ni jedna od analiziranih mera nije pokazala značajnu korelaciju sa standardnom dužinom ( $p > 0,05$ ) te se pretpostavlja da je uticaj veličine isključen iz daljih analiza.

**Tabela 27.** Morfometrijske karakteristike jedinki rano uspostavljenih invazivnih populacija (srednja vrednost  $\pm$  SD mm).

Mera	Mrtva Tisa	Obedska bara	Palić
c-g	124,7 $\pm$ 16,9	73,6 $\pm$ 13,7	100,4 $\pm$ 29,1
g-d	102,4 $\pm$ 16,4	59,2 $\pm$ 11,3	71,1 $\pm$ 21,3
hD	47,7 $\pm$ 8,0	29,4 $\pm$ 5,5	34,6 $\pm$ 10,2
DC	55,3 $\pm$ 9,1	32,7 $\pm$ 6,3	48,9 $\pm$ 14,2
i-l	64,6 $\pm$ 8,2	41,8 $\pm$ 7,0	53,5 $\pm$ 14,4
i-j	16,2 $\pm$ 2,3	10,7 $\pm$ 1,9	14,0 $\pm$ 4,2
j-e	11,7 $\pm$ 1,5	8,4 $\pm$ 1,3	9,6 $\pm$ 1,7
k-l	36,7 $\pm$ 5,9	22,7 $\pm$ 4,9	30,1 $\pm$ 9,6
h-i-l	53,3 $\pm$ 8,8	34,0 $\pm$ 7,4	45,8 $\pm$ 13,3
m-n	59,2 $\pm$ 7,3	39,2 $\pm$ 5,5	49,5 $\pm$ 12,4
O-P	113,0 $\pm$ 14,2	69,3 $\pm$ 11,6	91,9 $\pm$ 25,6
O-A	194,6 $\pm$ 25,9	117,1 $\pm$ 21,1	151,3 $\pm$ 44,3
q-r	31,4 $\pm$ 4,5	19,6 $\pm$ 3,9	21,9 $\pm$ 5,8
hP	49,0 $\pm$ 7,7	29,7 $\pm$ 4,6	38,6 $\pm$ 11,2
hV	53,7 $\pm$ 7,9	32,7 $\pm$ 5,4	41,6 $\pm$ 11,9
hA	45,5 $\pm$ 7,0	25,6 $\pm$ 4,5	32,0 $\pm$ 8,8
t-v	41,6 $\pm$ 6,7	23,8 $\pm$ 4,6	34,3 $\pm$ 9,5
H	116,7 $\pm$ 20,3	68,8 $\pm$ 14,9	90,7 $\pm$ 28,6
h	4,3 $\pm$ 6,4	23,9 $\pm$ 4,6	30,0 $\pm$ 9,1

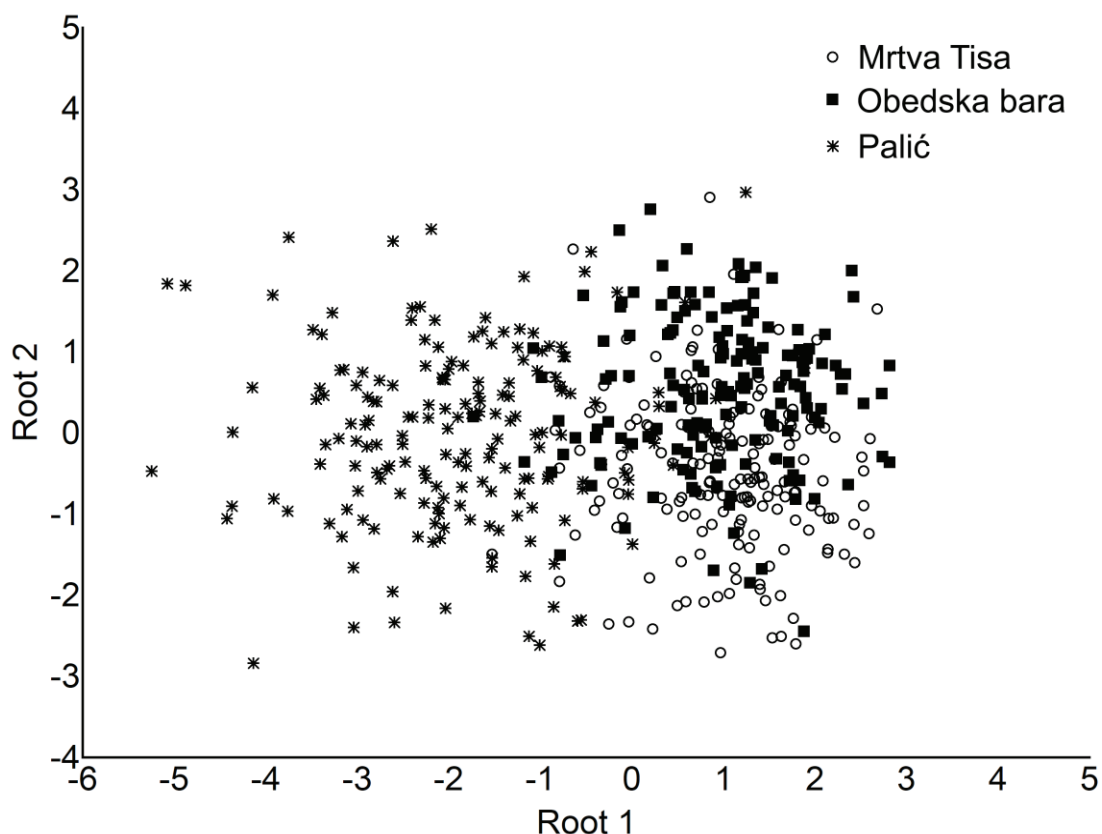
Diskriminantna kanonijska analiza (DCA) je pokazala značajnu morfološku varijabilnost između analiziranih lokaliteta (Wilk's lambda = 0,30,  $F_{(38, 1006)} = 21,90$ ,  $p < 0,001$ ). Najveća Mahalanobisova distanca je uočena između Palića i druga dva lokaliteta (8,54 za Mrtvu Tisu i 8,30

za Obedsku baru;  $p < 0,001$  u svim slučajevima). Varijabilnost između lokaliteta je opisana sa dve kanonijske ose (Tabela 28). Prva osa je pokazala 92,23% ukupne varijabilnosti i uglavnom se odnosi na dužinu osnove analnog peraja (q-r), visinu glave (h-i-l), postdorzalno rastojanje (DC) i visinu repnog stabla (h). Druga kanonijska osa je opisala 7,77% ukupne varijabilnosti i uglavnom se odnosi na visinu analnog peraja (hA), visinu dorzalnog peraja (hD), antedorzalno rastojanje (c-g) i dužinu glave (i-l). Grafik dve kanonijske ose je pokazao jasno izdvajanje jedinki sa lokaliteta Palića od jedinki sa druga dva lokaliteta po prvoj osi (Slika 22).

**Tabela 28.** Prikaz kanonijskih osa dobijenih diskriminantnom kanonijskom analizom morfološke varijabilnosti oblika celog tela riba analiziranih linearnom morfometrijom i njihova korelacija sa morfometrijskim karakterima korišćenim u ovoj analizi.

Morfometrijski karakter	CV 1	CV 2
c-g	-0.37	-0.32
g-d	0.23	-0.23
hD	0.32	0.42
DC	-0.32	-0.05
i-l	0.07	0.67
i-j	-0.08	-0.24
j-e	0.11	-0.39
k-l	0.05	-0.12
h-i-l	-0.36	0.09
m-n	0.04	0.26
O-P	-0.31	-0.25
O-A	0.19	0.25
q-r	0.45	0.03
hP	0.02	0.15
hV	-0.11	0.07
hA	0.10	-0.44
t-v	-0.21	-0.26
H	-0.18	0.10
h	0.34	-0.18
Eigen vrednost	1.87	0.16
Kumulativna proporcija	0.92	1.00
Kanonijski R	0.81	0.37
Wilk's lambda	0.30	0.86
d.f.	38	18
P	< 0.001	< 0.001



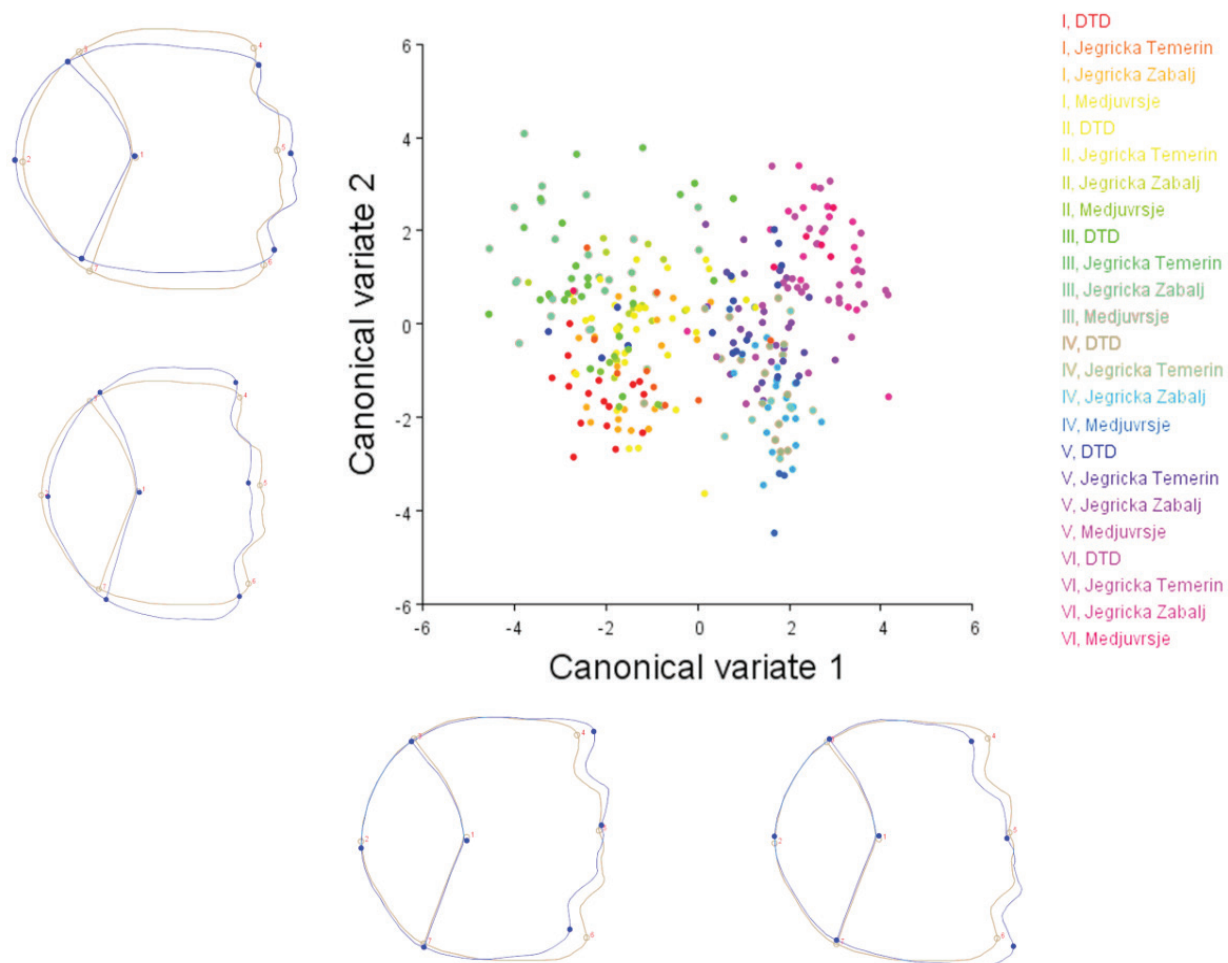


**Slika 22.** Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika celog tela riba analiziranih linearnom morfometrijom.

### 5.3.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste *Carassius gibelio*

Primenom metode geometrijske morfometrije na odabranih 7 tačaka na krljušti, analiziran je uticaj kvadranta i lokaliteta na veličinu (izraženu kroz veličinu centroida) i oblik krljušti. Dvo-faktorska ANOVA je pokazala da su i položaj kvadranta ( $F_{(5, 270)} = 9,1, p < 0,001$ ) i lokalitet ( $F_{(3, 270)} = 27,3, p < 0,001$ ) imali statistički značajan uticaj na veličinu krljušti, dok interakcija nije bila značajna. Multivarijantna regresija je pokazala da veličina krljušti ima statistički značajan udeo u varijabilnosti u obliku (1,37%,  $p = 0,003$ ), tako da su naredne analize bile sprovedene na rezidualima regresije veličine krljušti na prokrustove koordinate. Položaj kvadranta je imao najveći udeo u morfološkoj varijabilnosti krljušti sa 21,2% ( $p < 0,001$ ).

Nakon korekcije za alometriju, i položaj kvadranta ( $F_{(50, 150)} = 18,6, p < 0,001$ ) i lokalitet ( $F_{(30, 150)} = 3,4, p < 0,001$ ) su imali statistički značajan uticaj na oblik krljušti. Kanonijska diskriminantna analiza je pokazala ukupno 10 kanonijskih varijabli od kojih su prve dve opisale čak 77,7% ukupne varijabilnosti u obliku krljušti. Na grafiku prve dve kanonijske ose se vide pojedina grupisanja: podaci se najviše grupišu u odnosu na položaj kvadranta; razdvajanja krljušti gornjeg i donjeg dela tela po prvoj kanonijskoj osi i razdvajanje kvadranta prednjeg srednjeg i zadnjeg dela tela po drugoj kanonijskoj osi.



**Slika 23.** Scatter dijagram prve dve kanonijske ose parametara oblika krljušti analiziranih geometrijskom morfometrijom. Promene oblika krljušti duž kanonijskih osa su predstavljene dijagramom kontura (promene su uvećane 10 puta). Konture narandžaste boje predstavljaju konzenzus oblik, dok konture plave boje predstavljaju deivjacije u pozitivnom i negativnom pravcu duž kanonijskih osa.

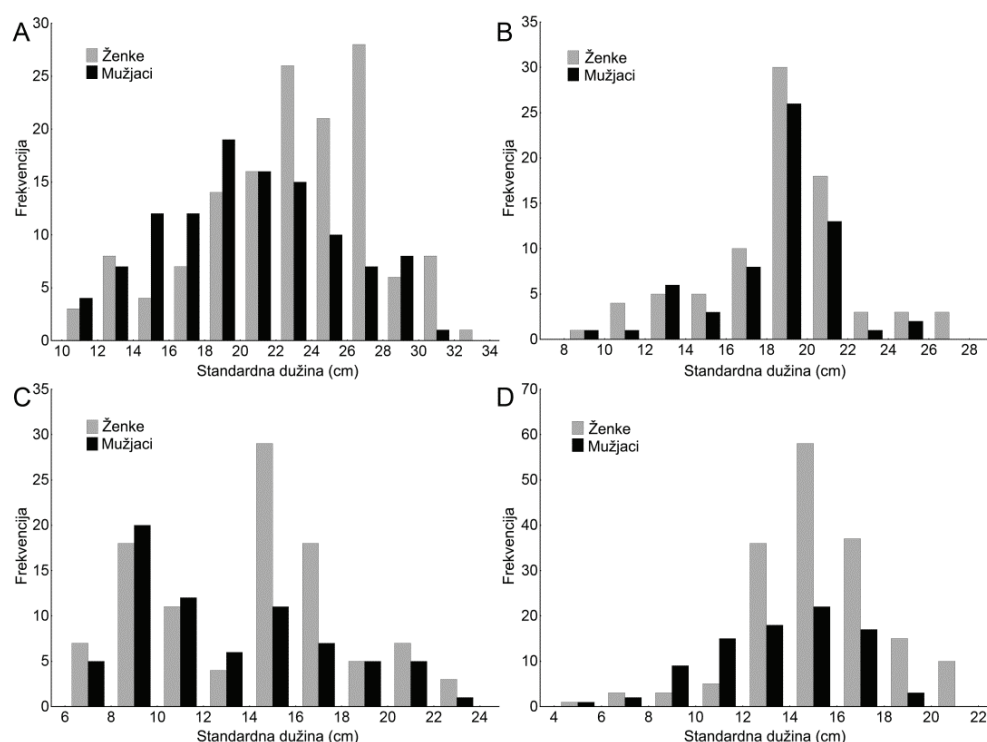
### 5.3.5. Analize životne istorije i modelovanje rasta

#### 5.3.5.1. Modelovanje rasta riba

##### 5.3.5.1.1. Komparacija rasta srebrnog karaša *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) i bodorkke *Rutilus rutilus* (L., 1758) između dva različita tipa akumulacija pomoću multi-modelne analize

#### Biometrijski podaci

Standardna dužina uzorkovanih jedinki srebrnog karaša sekretala od 9,50 do 33 cm, dok se standardna dužina bodorki kretala od 5,60 do 23,50 cm (Slika 24). Prosečna standardna dužina jedinki srebrnog karaša je bila  $20,87 \pm 4,76$  cm, dok je prosečna standardna dužina bodorkke bila  $14,31 \pm 3,62$  cm. Razlike veličina između polova i lokaliteta su bile očigledne za obe vrste.



**Slika 24.** Raspodela učestalosti standardne dužine u apsolutnim brojevima za srebrnog karaša uzorkovanog na akumulaciji Gruža (A) i akumulaciji Međuvršje (B), kao i bodorkke uzorkovane na akumulaciji Gruža (C) i akumulaciji Međuvršje (D).

Iako su ženke srebrnog karaša u akumulaciji Gruža imale veću prosečnu standardnu dužinu nego mušjaci (Mann–Whitney U-test,  $Z = 4,22$ ,  $p < 0,0001$ ), nije bilo značajne razlike između polova (Mann–Whitney U-test,  $Z = 0,36$ ,  $p = 0,72$ ). Jedinke oba pola su bile značajnoveće u Gruži u odnosu na Međuvršje (Mann–Whitney U-test,  $Z = 6,95$ ,  $p < 0,0001$  i  $Z = 3,03$ ,  $p = 0,002$  za ženke i mušjake, respektivno).

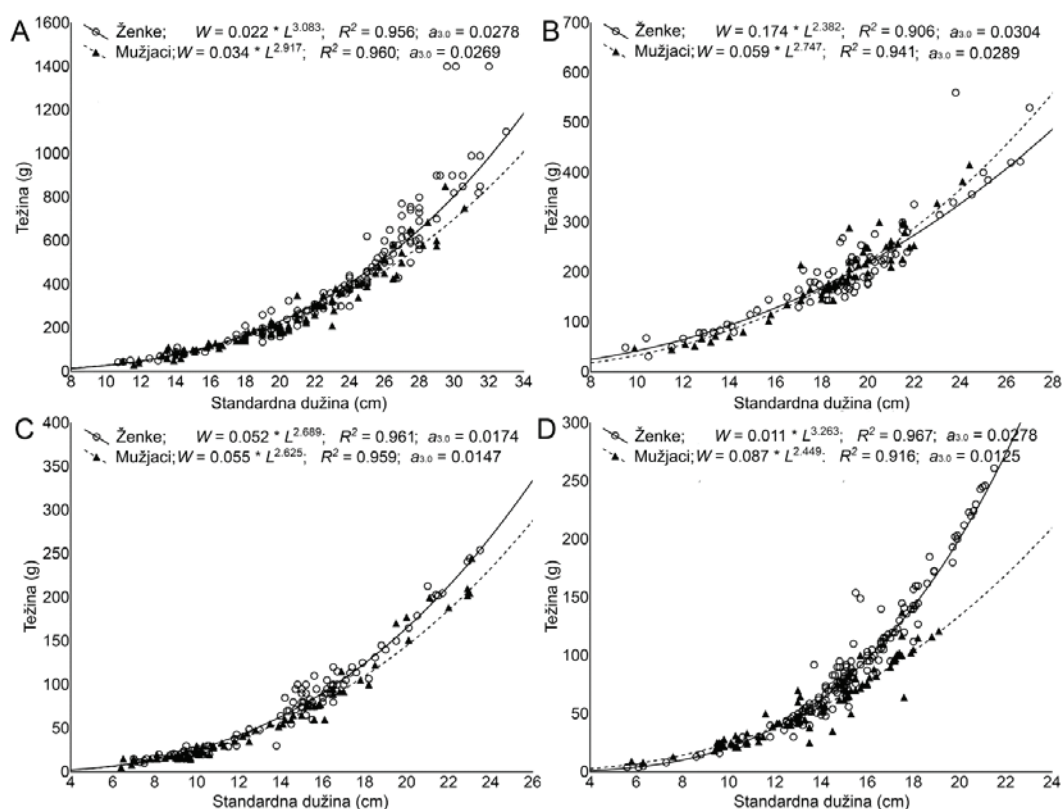
Ženke bodorki iz Međuvršja su imale značajno veću prosečnu standardnu dužinu od mušjaka (Mann–Whitney U-test,  $Z = 4,01$ ,  $p < 0,0001$ ), dok nije bilo razlike između polova u Gruži (Mann–Whitney U-test,  $Z = 1,67$ ,  $p = 0,09$ ). Za razliku od srebrnog karaša, ženke bodorki iz Gruže su imale manje standardne dužine od ženki iz Međuvršja (Mann–Whitney U-test,  $Z = -2,12$ ,  $p$

= 0,03), dok mušjaci nisu pokazali značajne razlike između lokaliteta (Mann–Whitney U-test,  $Z = -1,78$ ,  $p = 0,07$ ).

### Dužinsko-težinski odnos

Sve linearne regresije bile su značajne ( $p < 0,001$ ) i imale su  $R^2$ -vrednosti iznad 0,90. Samo su ženke i mušjaci srebrnog karaša iz akumulacije Gruža pokazale izometrijski rast (T-test;  $t = 1,49$ ,  $d.f. = 140$ ,  $p = 0,14$  i  $t = 1,43$ ,  $d.f. = 110$ ,  $p = 0,15$ , respektivno) (Slika 25). Osim toga, samo ženke bodorke iz Međuvršja su pokazale pozitivan alometrijski rast ( $b > 3$ ; t-test;  $t = 5,64$ ,  $d.f. = 167$ ,  $p < 0,001$ ). Srednje vrednosti faktora forme  $a_{3,0}$  bile su veće kod riba iz Međuvršja u odnosu na Gružu (Slika 25) što ukazuje da su jedinke iz Međuvršja imale tendenciju da budu kraće sa većom visinom tela. Ova razlika je bila najizraženija kod ženki bodorke, iako su ukupne razlike bile male.

ANCOVA analiza je pokazala značajne razlike između polova i lokaliteta. Kod srebrnog karaša, uočen je značajan efekat pola ( $F_{1,391} = 16,21$ ,  $p < 0,001$ ), a takodje je i značajna interakcija između pola i lokaliteta ( $F_{1,391} = 7,58$ ,  $p < 0,001$ ), dok glavni efekat lokaliteta nije bio statistički značajan ( $F_{1,391} = 0,02$ ,  $p = 0,89$ ). Tukey's HSD je pokazao značajne razlike između svih grupa ( $p < 0,001$ ), osim između mužjaka i ženki iz Gruže ( $p = 0,40$ ). Slično tome, kod bodorki je uočen značajan glavni efekat pola ( $F_{1,391} = 39,52$ ,  $p < 0,001$ ) i značajna interakcija između pola i lokaliteta ( $F_{1,391} = 13,663$ ,  $p < 0,001$ ), dok glavni efekat lokaliteta nije bio značajan ( $F_{1,391} = 0,25$ ,  $p = 0,62$ ).



**Slika 25.** Dužinsko-težinski odnosi za srebrnog karaša uzorkovanog iz jezera Gruža (A) i Međuvršje (B), kao i bodorke uzorkovane iz jezera Gruža (C) i Međuvršje (D). Linije ukazuju na dužinsko-težinske funkcije dok krugovi i trouglovi ukazuju na primećene dužinsko-težinske podatke za ženke i mužjake, respektivno.

## Procena starosti

Uzrast jedinki obe vrste se kretao od 1 do 8 godina. Uzrast se značajno razlikovao između polova samo kod srebrnog karaša iz akumulacije Gruža (Mann–Whitney U-test;  $Z = 4,40$ ,  $p < 0,0001$ ). Prosečna starost za oba pola srebrnog karaša je bila značajno veća u Gruži (Mann–Whitney U-test;  $Z = 3,29$ ,  $p < 0,001$ ), dok je prosečna starost za oba pola bodorke bila značajno veća u Međuvršju (Mann–Whitney U-test;  $Z = -4,00$ ,  $p < 0,0001$ ).

I  $I_{APE}$  i  $CV$  ukazuju na dobru preciznost određivanja starosti pomoću krljušti za obe vrste. Poduzorak srebrnog karaša dao je  $I_{APE}$  od 3,36% i  $CV$  od 4,73%, dok je poduzorak bodorke dao nešto niži  $I_{APE}$  od 2,75% i  $CV$  od 3,88%. Iako su krljušti bodorke prikazale nešto veću preciznost,  $CV$  vrednosti za obe vrste su bile niže od referentne tačke od 5%.

## Modelovanje rasta

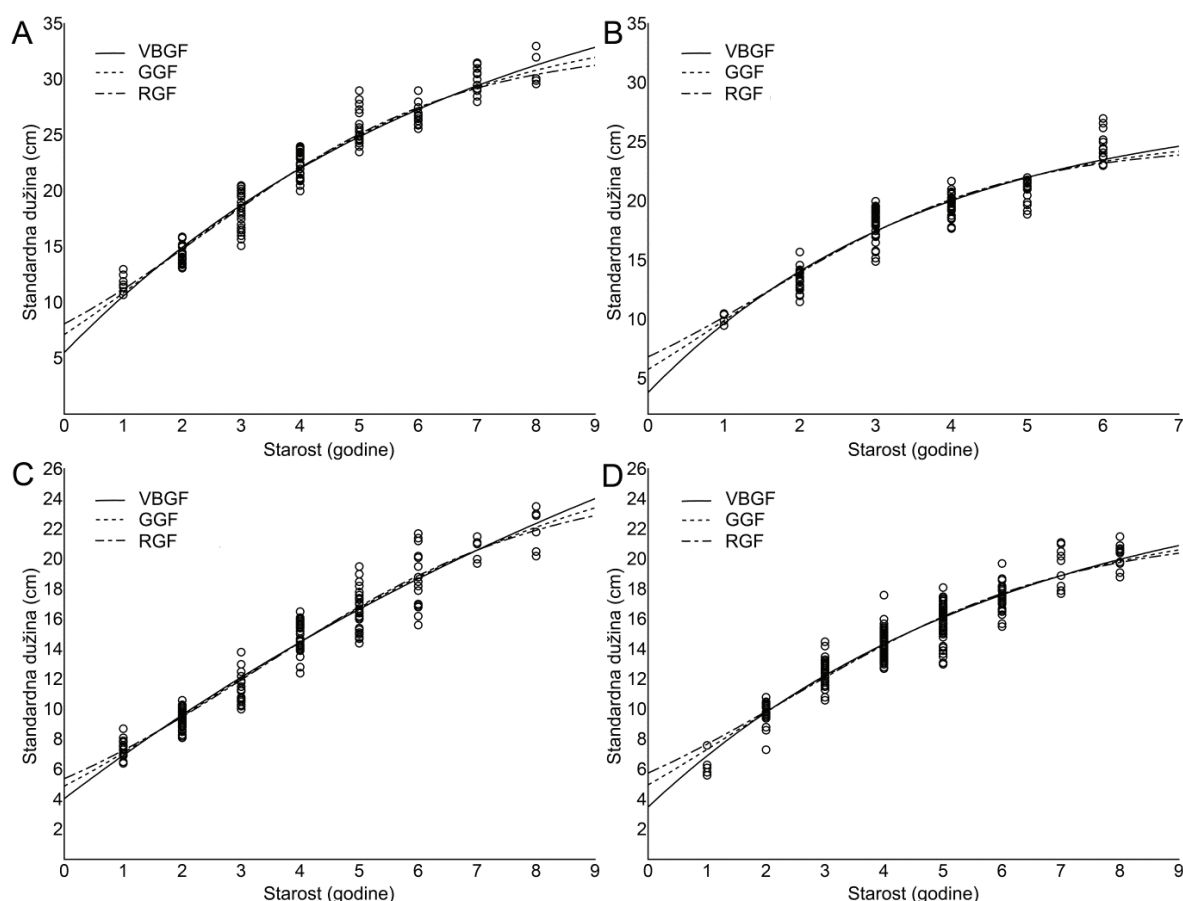
Parametri rasta procenjeni u ovom istraživanju ( $L_{\infty}$ ,  $k$ ,  $t_0$ ), kao i standardne greške sa intervalom pouzdanosti 95% za  $L_{\infty}$  za sve modele i prosečna  $L_{\infty}$  prikazani su u Tabeli 29. Obe vrste su pokazale razlike u najpogodnijim modelima po polu i lokalitetu. Najčešće korišćeni VBGF imao je najnižu  $AIC_c$  i najviši  $w_i$  i smatrao se najpogodnijim modelom za ženke srebrnog karaša kao i ženke i mužjake bodorke iz Međuvršja. Međutim, GGF je bio najbolji model za ženke srebrnog karaša i ženke bodorke iz Gruže i mužjake srebrnog karaša iz Međuvršja, dok je RGF bio najbolji model za mužjake obe vrste iz Gruže (Tabela 29). Pošto je u mnogim slučajevima više od jednog modela značajno podržano ( $\Delta_i < 2$ ), a Akaikeova težina nije pokazivala, “jasnog pobednika“ ( $w_i < 0,9$ ), primenom multi-modelnog zaključivanja (MMI) usrednjavanjem modela je izračunat prosečan  $L_{\infty}$  u svim slučajevima (Tabela 29).

Ženke obe vrste sa oba lokaliteta su imale veće asimptotske dužine u odnosu na mužjake. U svakom slučaju,  $F$ -statistika nije pokazala značajne razlike između polova kod obe vrste iz obe akumulacije ( $p > 0,05$ ). Stoga su podaci za oba pola objedinjeni i procenjene su funkcije rasta (Tabela 29; Slika 26) i upoređeni između lokaliteta. Obe vrste su pokazale značajne razlike između lokaliteta sa  $L_{\infty}$  koji je dostizao značajno veće vrednosti u Gruži u odnosu na Međuvršje ( $F = 98,66$ ,  $p < 0,01$  i  $F = 18,54$ ,  $p < 0,05$  za srebrnog karaša i bodorku respektivno).

**Tabela 29.** Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša i bodorku po polu i lokalitetu pomoću von Bertalanfijeve (VBGF), Gompereve (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta. Procenjeni parametri: asimptotska dužina ( $L_{\infty}$ ; cm) sa odgovarajućom standardnom greškom (SE) i intervalom pouzdanosti (CI 95%), koeficijent rasta ( $k$ ) i teorijsko doba kada je  $L_t = 0$  ( $t_0$ ). Takođe je prikazan i modifikovani Akaikeov informacijski kriterijum ( $AIC_c$ ), razlike u odnosu na  $AIC_{c, min}$  ( $\Delta_i$ ) i Akaikeova težina ( $w_i$ ) za svaki model kao i asimptotska dužina prosečnog modela (MMI). Najpogodniji modeli su podebljani

Lokalitet	Pol	Model	$L_{\infty}$ (cm)	$k$ (yr <sup>-1</sup> )	$t_0$ (yr)	$AIC_c$	$\Delta_i$	$w_i$	$p$
Srebrni karaš									
Gruža	Ženke	VBGF	44.14	0.14	-1.02	13.59	1.52	0.21	<0.01
		<b>GGF</b>	<b>36.25</b>	<b>0.29</b>	<b>1.61</b>	<b>12.07</b>	<b>0</b>	0.45	<0.01
		RGF	33.51	0.44	2.53	12.69	0.62	0.33	<0.01
		MMI	36.64						
	Mušjaci	VBGF	41.57	0.16	-0.85	21.78	2.76	0.13	<0.01

		GGF	34.13	0.33	1.46	19.88	0.86	0.34	<0.01
		RGF	<b>31.52</b>	<b>0.50</b>	<b>2.27</b>	<b>19.02</b>	<b>0</b>	0.53	<0.01
		MMI	33.71						
	Zajedno	VBGF	43.15	0.14	-0.95	32.84	3.03	0.11	<0.01
		GGF	<b>35.47</b>	<b>0.30</b>	<b>1.55</b>	29.81	0	0.48	<0.01
		RGF	32.79	0.46	2.43	30.14	0.33	0.41	<0.01
		MMI	35.19						
Međuvršje	Ženke	VBGF	31.02	0.22	-0.75	24.58	0	0.50	<0.01
		GGF	27.64	0.38	0.99	25.47	0.89	0.32	<0.01
		RGF	<b>26.22</b>	<b>0.54</b>	1.74	26.61	2.03	0.18	<0.01
		MMI	29.07						
	Mužjaci	VBGF	24.84	0.39	-0.10	4.73	0.07	0.35	<0.01
		GGF	23.45	0.60	0.93	4.65	0	0.36	<0.01
		RGF	22.74	0.79	1.46	5.05	0.40	0.29	<0.01
		MMI	23.73						
	Zajedno	VBGF	<b>28.31</b>	<b>0.27</b>	<b>-0.53</b>	<b>30.18</b>	<b>0</b>	<b>0.59</b>	<b>&lt;0.01</b>
		GGF	25.88	0.44	0.91	31.53	1.35	0.30	<0.01
		RGF	24.77	0.61	1.58	33.46	3.28	0.11	<0.01
		MMI	27.18						
Bodorka									
Gruža	Ženke	VBGF	51.50	0.06	-1.36	11.49	0.24	0.33	<0.01
		GGF	<b>30.22</b>	<b>0.22</b>	<b>2.62</b>	<b>11.26</b>	<b>0</b>	<b>0.37</b>	<b>&lt;0.01</b>
		RGF	26.09	0.38	3.43	11.76	0.50	0.29	<0.01
		MMI	35.74						
	Mužjaci	VBGF	45.19	0.07	-1.31	6.99	2.02	0.18	<0.01
		GGF	28.07	0.24	2.34	5.69	0.72	0.34	<0.01
		RGF	<b>24.43</b>	<b>0.41</b>	<b>3.13</b>	<b>4.98</b>	<b>0</b>	<b>0.48</b>	<b>&lt;0.01</b>
		MMI	29.40						
	Zajedno	VBGF	47.16	0.07	-1.29	16.99	1.77	0.18	<0.01
		GGF	28.98	0.24	2.45	15.38	0.16	0.39	<0.01
		RGF	<b>25.19</b>	<b>0.40</b>	<b>3.26</b>	<b>15.22</b>	0	0.43	<0.01
		MMI	30.57						
Međuvršje	Ženke	VBGF	<b>26.85</b>	<b>0.16</b>	<b>-0.73</b>	<b>17.90</b>	<b>0</b>	<b>0.80</b>	<b>&lt;0.01</b>
		GGF	23.48	0.29	1.63	21.31	3.41	0.14	<0.01
		RGF	22.18	0.42	2.61	23.26	5.36	0.05	<0.01
		MMI	25.88						
	Mužjaci	VBGF	<b>21.41</b>	<b>0.25</b>	<b>-0.55</b>	<b>4.99</b>	<b>0</b>	<b>0.47</b>	<b>&lt;0.01</b>
		GGF	19.81	0.39	1.05	5.74	0.74	0.32	<0.01
		RGF	19.05	0.53	1.84	6.72	1.72	0.20	<0.01
		MMI	20.21						
	Zajedno	VBGF	<b>26.09</b>	<b>0.16</b>	<b>-0.88</b>	<b>9.69</b>	<b>0</b>	<b>0.83</b>	<b>&lt;0.01</b>
		GGF	22.99	0.29	1.46	13.24	3.55	0.14	<0.01
		RGF	21.70	0.42	2.44	16.87	7.18	0.02	<0.01
		MMI	25.55						



**Slika 26.** Procenjene funkcije rasta za srebrnog karaša uzorkovanog iz akumulacija Gruža (A) i Međuvršje (B), kao i bodorke uzorkovane iz akumulacija Gruža (C) i Međuvršje (D). Linije označavaju funkcije rasta, dok krugovi označavaju uzorkovane dužinsko-starosne podatke. VBGF – Von Bertalanfijeva funkcija rasta; GGF – Gompercova funkcija rasta; RGF – Robertsova funkcija rasta.

### 5.3.5.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša

#### Biometrijski podaci

Od ukupno 515 uzorkovanih jedinki srebrnog karašasa lokaliteta Stari Begej, 240 jedinki su bile ženke (W: 7-128 g; TL: 8,5-19 cm), 178 jedinki su bile mužjaci (W: 13-144 g; TL: 9,5-20,5 cm), dok je 97 jedinki bilo juvenilno (W: 2-35 g; TL: 5,5-12,5 cm). Odnos mužjaka i ženki se statistički značajno razlikovao od očekivane vrednosti od 1:1 ( $\chi^2=9,196$ , d.f.=1,  $p < 0,01$ ). ANOVA nije pokazala statistički značajne razlike u težini i totalnoj dužini između polova ( $p > 0,05$ ).

#### Procena starosti

Starost juvenilnih jedinki se kretala od 0<sup>+</sup> do 2<sup>+</sup> dok se starost mužjaka i ženki kretala od 1<sup>+</sup> to 4<sup>+</sup>. Najbrojnije starosne kategorije su bile 2<sup>+</sup> i 3<sup>+</sup> i njihova zajednička brojnost je iznosila 90%

za ženke i 94% za mužjake.  $I_{APE}$  od 3,11% i  $CV$  od 4,39% ukazuju na dobru preciznost određivanja starosti pomoću krljušti. Procentualno slaganje između dva nezavisna očitavanja starosti iznosi 84,01%, dok je samo sedam jedinki (1,36% ukupnog uzorka) odbačeno zbog nesaglasnosti između 3 očitavanja.

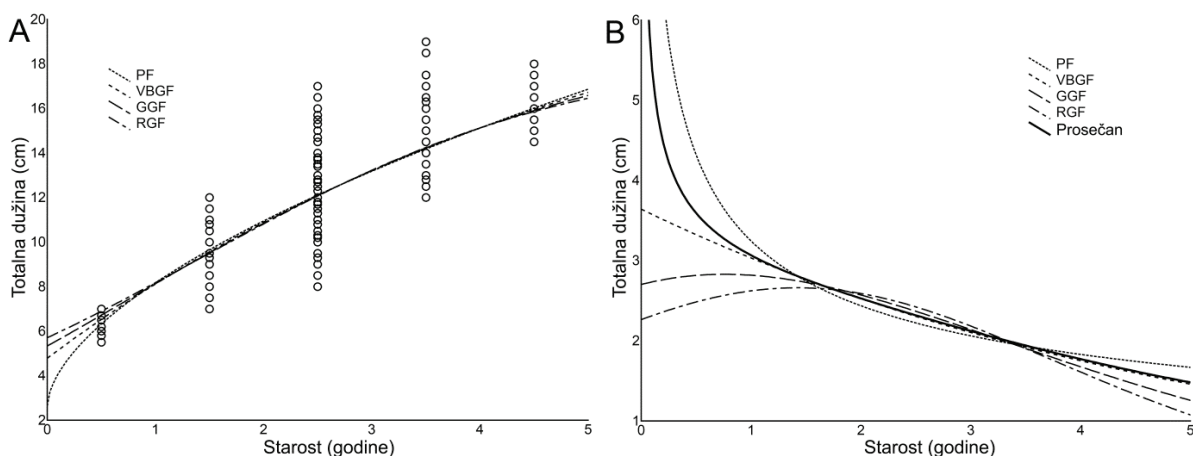
### Modelovanje rasta

S obzirom da se dužinsko-starosni podaci nisu značajno razlikovali između mužjaka i ženki (ANOVA;  $p < 0,05$ ), dužinsko-starosni podaci za juvenilne jedinke su pridodati podacima za oba pola. Prema  $AIC_c$ , PF je bio najpogodniji model za modelovanje rasta kod oba pola (Tabela 30; Slika 27A). Međutim, PF nije bio jedini značajno podržani model s obzirom da su svi modeli imali  $\Delta_i$  vrednosti manje od 2 i  $w_i$  vrednosti manje od 0,9. S obzirom da  $F$  statistika nije pokazala statistički značajne razlike između polova ( $F = 0,14$ ,  $p > 0,05$ ), dužinsko-starosni podaci za oba pola su spojeni i modeli rasta su ponovo kalkulirani za zajedničke podatke. I kod zajedničkih podataka je PF bio najpogodniji model, praćen modelima VBGF i GGF, dok je model RGF bio slabo podržan ( $\Delta_i = 2,61$ ). S obzirom da je više od jednog modela značajno podržano ( $\Delta_i < 2$ ), a Akaikeova težina nije pokazivala „jasnog pobednika“ ( $w_i < 0,9$ ), primenom multi-modelnog zaključivanja (MMI) usrednjavanjem modela je izračunat prosečan model. Takođe je izračunat i tempo porasta za svaki model i izračunat je prosečni tempo porasta (Slika 27B).

**Tabela 30.** Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša uzorkovanog sa Starog Begeja prema polu pomoću asimptotskih von Bertalanfijeve (VBGF), Gompereve (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta i neasimptotske „Power“ (PF) funkcije rasta. Procenjivani parametri: modifikovani Akaikeov informacijski kriterijum ( $AIC_c$ ), razlike u odnosu na  $AIC_{c,min}$  ( $\Delta_i$ ) i Akaikeova težina ( $w_i$ ) za svaki model. Najpogodniji modeli su podebljani.

Pol	Model	$AIC_c$	$\Delta_i$	$w_i$	$p$
Ženke	VBGF	111.44	0.45	0.28	<0.01
	GGF	111.97	0.98	0.21	<0.01
	RGF	112.48	1.50	0.16	<0.01
	PF	<b>110.99</b>	<b>0.00</b>	<b>0.35</b>	<b>&lt;0.01</b>
Mužjaci	VBGF	81.13	0.73	0.27	<0.01
	GGF	81.81	1.42	0.19	<0.01
	RGF	82.48	2.08	0.14	<0.01
	PF	<b>80.39</b>	<b>0.00</b>	<b>0.39</b>	<b>&lt;0.01</b>
Zajedno	VBGF	161.66	0.85	0.28	<0.01
	GGF	162.53	1.73	0.18	<0.01
	RGF	163.41	2.61	0.12	<0.01
	PF	<b>160.80</b>	<b>0.00</b>	<b>0.43</b>	<0.01





**Slika 27.** Procenjene funkcije rasta (A) i tempo porasta (B) za srebrnog karaša uzorkovanog na Starom Begeju. Linije označavaju funkcije rasta, dok krugovi označavaju uzorkovane dužinsko-starosne podatke. PF – „Power“ funkcija; VBGF – Von Bertalanfijeva funkcija rasta; GGF – Gompertzova funkcija rasta; RGF – Robertsonova funkcija rasta.

Kada poredimo samo asimptotske modele, u svim slučajevima je više od jednog modela značajno podržano i  $AIC_c$  ne pokazuje „jasnog pobjednika“ (Tabela 31). U ovom slučaju je VBGF najpogodniji model praćen modelima GGF i RGF. Kada poredimo standardne devijacije i intervale pouzdanosti za asimptotske dužine svih modela, VBGF ima veću standardnu devijaciju dok ostala dva modela imaju manju standardnu devijaciju od prosečnog modela.

**Table 31.** Procenjeni modeli rasta za srebrnog karaša uzorkovanog sa Starog Begeja prema polu pomoću asimptotskih von Bertalanfijeve (VBGF), Gompertzove (GGF) i Robertsonove (RGF) funkcije rasta. Procenjivani parametri: asimptotska dužina ( $L_\infty$ ; cm) sa odgovarajućom standardnom greškom (SE) i intervalom pouzdanosti (CI 95%), koeficijent rasta ( $k$ ) i teorijsko doba kada je  $L_t = 0$  ( $t_0$ ). Takođe je prikazan i modifikovani Akaikeov informacijski kriterijum ( $AIC_c$ ), razlike u odnosu na  $AIC_{c,min}$  ( $\Delta_i$ ) i Akaikeova težina ( $w_i$ ) za svaki model kao i asimptotska dužina prosečnog modela (MMI). Najpogodniji modeli su podebljani.

Pol	Model	$L_\infty$ ( $\pm$ SE)	$CI_{95\%}(L_\infty)$	$k$	$t_0$	$AIC_c$	$\Delta_i$	$w_i$	$p$
Ženke	<b>VBGF</b>	<b>32.04 (<math>\pm</math> 9.67)</b>	<b>13.03 – 51.06</b>	<b>0.12</b>	<b>-1.40</b>	<b>111.44</b>	0.00	0.42	<0.01
	GGF	22.53 ( $\pm$ 2.68)	17.25 – 27.80	0.32	1.12	111.97	0.53	0.32	<0.01
	RGF	19.87 ( $\pm$ 1.56)	16.80 – 22.93	0.52	1.75	112.48	1.04	0.25	<0.01
	MMI	25.63 ( $\pm$ 7.67)	10.29 – 40.97						
Mužjaci	<b>VBGF</b>	<b>23.67 (<math>\pm</math> 4.37)</b>	<b>15.07 – 32.28</b>	<b>0.19</b>	<b>-1.12</b>	<b>81.13</b>	<b>0.00</b>	<b>0.45</b>	<b>&lt;0.01</b>
	GGF	19.51 ( $\pm$ 1.88)	15.80 – 23.22	0.40	0.70	81.81	0.69	0.32	<0.01
	RGF	17.93 ( $\pm$ 1.24)	15.50 – 20.37	0.61	1.33	82.48	1.35	0.23	<0.01
	MMI	21.02 ( $\pm$ 3.84)	13.34 – 28.70						
Zajedno	<b>VBGF</b>	<b>24.68 (<math>\pm</math> 3.63)</b>	<b>17.55 – 31.80</b>	<b>0.18</b>	<b>-1.17</b>	<b>161.66</b>	<b>0.00</b>	<b>0.49</b>	<b>&lt;0.01</b>
	GGF	20.24 ( $\pm$ 1.55)	17.19 – 23.28	0.38	0.76	162.53	0.96	0.30	<0.01
	RGF	18.58 ( $\pm$ 1.02)	16.58 – 20.57	0.57	1.42	163.41	1.75	0.21	<0.01
	MMI	22.07 ( $\pm$ 3.59)	14.88 – 29.26						

## 6. DISKUSIJA

### 6.1. Metaanaliza populacija vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti

Kao što je navedeno u poglavlju "Pregled literature", nativni areal vrsta kompleksa *Carassius auratus* je severna i severoistočna Kina. Ovo je prvi član "Kineskog kompleksa" koji je dospao u Evropu.

Usled niza faktora medju kojima treba izdvojiti ranu polnu zrelost, fenomen ginogeneze, visoku plodnost, porcioni mrest, nizak mortalitet jaja, redukciju predatora, toleranciju na povećano zagadjenje i nedostatak kiseonika, ubrzo nakon introdukcije babuške ili srebrnog karaša tada determinisanog kao *Carassius auratus gibelio* ili *Carassius gibelio*, dolazi do snažne populacione eksplozije i ekspanzije donjem i srednjem toku Dunava. Ovome treba dodati podatak da je visoki vodostaj šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka omogućio prodor ove alohtone vrste uzvodno iz delte Dunava što je dovelo do brzog širenja ka zapadu (Holčik, 1980 a; 1980 b).

Prisustvo kompleksa *Carassius auratus* na području Vojvodine i peripanonske oblasti prati se od pedesetih godina dvadesetog veka. Na području Vojvodine u sklopu kompleksnih hidrobioloških i ihtioloških istraživanja koja su sprovedjena od ranih sedamdesetih godina, posebna pažnja je bila usmerena upravo na srebrnog karaša. Na istraživanim lokalitetima Vojvodine izuzetno visoko učešće ove alohtone vrste od 71.22 % konstatovano je u Begečkoj jami u ulovu 1996 godine (Maletin i sar., 1997 a), iste godine u Koviljskom ritu (41.05 %) (Maletin i sar., 1997 a) u kome je zabeležena visoka procentualna zastupljenost od 66.66 % i 2000. godine (Maletin i sar., 2001), a takodje i 2008 (37.50 %) (Lujčić i sar., 2013). Babuška je značajno bila prisutna i u Jegričkoj 1983 godine (41.51 %) (Budakov i sar., 1984), kao i na mnogim deonicama Hidrosistema Dunav-Tisa -Dunav istraživanim u periodu 1996-2006 gde se procentualna zastupljenost kretala izmedju 11.80 % i čak 75.60 % (Maletin i Neatnica, 2006). Srebrni karaš je 1996. godine činio petinu ispitivanog uzorka ihtiofaune Stare Tise (Maletin i sar., 1996), a situacija je gotovo alarmantna u Carskoj bari gde se procentualna zastupljenost babuške počev od polovine osamdesetih godina dvadesetog veka pa sve do 2008. godine kretala izmedju 20.55 % (Kostić i Maletin, 1992) i 89.67 % (Popović i sar., 2008).

Kako su na početku procesa introdukcije srebrnog karaša u vode Vojvodine u uzorcima registrovane isključivo jednopolne populacije sastavljene samo od ženki jer se on tada razmnožavao isključivo ginogenetski, izučavanje polne strukture ove vrste počelo je polovinom osamdesetih godina dvadesetog veka kada je u našim vodama registrovana pojava prvih mužjaka (Budakov i Maletin, 1984 a). Značajnija pojava mužjaka srebrnog karaša u vodama Vojvodine je konstatovana od polovine devedesetih godina prošlog veka što je zabeleženo u nekolicini radova (Kostić i sar., 1997, 1998; Popović i Kostić, 2002; Popović i sar., 2006, 2007, 2008), a što svedoči o tome da je srebrni karaš tada bio u fazi naturalizacije.

Prilikom procesa introdukcije, aklimatizacije i naturalizacije srebrnog karaša - *Carassius auratus gibelio* došlo je do velikog pritiska na autohtonu ihtiofaunu, naročito u ekosistemima u kojima je registrovano pogoršanje kvaliteta vode. Usled veoma izraženih kompetitivnih odnosa u pogledu reprodukcije i ishrane, došlo je do smanjenja gustine populacije pa i iščezavanja nekih autohtonih

vrsta, pre svega barskog karaša - *Carassius carassius*, linjaka - *Tinca tinca*, kao i šarana - *Cyprinus carpio*.

## 6.2. Molekularno-taksonomska analiza vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti

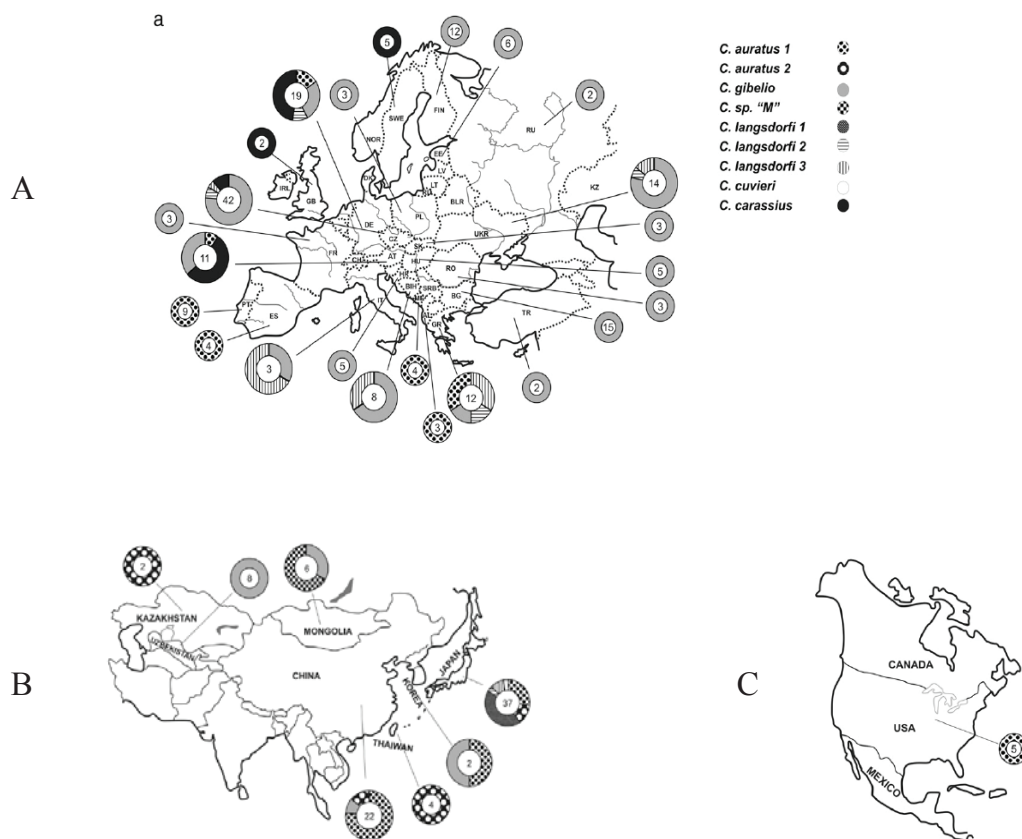
Taksonomski status vrsta u okviru roda *Carassius* dugi niz godina privlači veliku pažnju naučnika zbog svoje kompleksnosti. Iako se vrsta *C. carassius*, prema svojim merističkim i morfološkim taksonomskim karakteristikama jasno razlikuje od svih ostalih vrsta u rodu, velika fenotipska plastičnost uslovljena različitim faktorima, otežava determinaciju ostalih vrsta ovog roda kao i njihovu klasifikaciju. Dodatnu konfuziju prilikom taksonomskih istraživanja uzrokuje i sposobnost jedinki ovog roda da hibridizuju kako međusobno tako i sa nekim drugim srodnim vrstama (Scribner i sar., 2000), ali i da formiraju populacije jedinki sa različitim nivoima poliploidije.

Primena različitih genskih markera (mtDNK, mikrosateliti itd.) poslednjih godina značajno je doprinela razjašnjavanju ove izuzetno komplikovane taksonomske situacije.

Cilj ovog istraživanja je bio determinacija jedinki korišćenih za morfometrijske analize kako bi se isključio uticaj vrste na morfološku varijabilnost. U tu svrhu je izvršeno sekvenciranje dela gena za *cytb* kako bi poređenjem sa referentnim sekvencama bila moguća precizna determinacija jedinki.

Kako je i bilo za očekivati prema dosadašnjim literaturnim navodima (Rylková i sar., 2013) za područja susednih zemalja (Slika 28), na teritoriji Vojvodine i Peripanonske oblasti najviše je zastupljena vrsta *C. gibelio* (I). Iako se prema rezultatima ovog istraživanja na svim ispitivanim lokalitetima javlja samo ova vrsta, zbog veličine uzorka, ne bi smela da se isključi mogućnost postojanja i drugih vrsta kompleksa *C. auratus* kao što su *C. auratus* i *C. langsdorfii*.

*C. auratus*, kao nosilac ovog kompleksa, do sada je pretežno beležen u južnim delovima evropskog kontinenta zbog svojih preferencija ka višim zimskim temperaturama (Rylková i sar., 2013). U našoj okolini, ova vrsta je registrovana na teritoriji Crne Gore, Albanije i Grčke pa bi se njena pojava mogla očekivati u vodama centralne i južne Srbije. Iako jedinke ove vrste pokazuju različite nivoe ploidnosti na teritoriji Evrope, utvrđeno je da sve one ipak čine istu liniju (*C. auratus* I), dok se na njenoj autohtonoj teritoriji, u Aziji, javlja i vrsta *C. auratus* II (Rylková i sar., 2013). Jedno od objašnjenja može biti njeno veoma rano naseljavanje Evrope. Postoje podaci da je prvi put doneta još u 17. veku (Kottelat, 1997; Balon, 2004).



**Slika 28.** Mapa rasprostranjenja određenih vrsta i linija roda *Carassius* u okviru (A) Evrope, (B) Azije i (C) Severne Amerike. Broj u krugu predstavlja broj analiziranih jedinki. Preuzeto Rylková i sar., 2013.

O rasprostranjenju vrste *C. langsdorfi* se veoma malo zna. Prvi put je zabeležena na teritoriji Evrope 2000. godine (Kalous i sar., 2007). U našoj okolini je registrovana na teritoriji Bosne i Hercegovine i Grčke (Rylková i sar., 2013). Iako je relativno nedavno otkrivena, činjenica da je do sada zabeležena u različitim delovima Evrope ukazuje na njenu efikasnu adaptaciju, dok beleženje juvenilnih jedinki ukazuje na uspešan proces razmnožavanja. Prema podacima iz najopsežnijeg istraživanja na ovu temu do sada (Rylková i sar., 2013), u Evropi se nalaze jedinke koje pripadaju dvema različitim linijama što ukazuje na veoma verovatnu višestruku introdukciju ove vrste sa različitih lokaliteta u okviru autohtonog areala u Japanu.

Vrsta *C. gibelio* najbrojnija je vrsta kompleksa *C. auratus* na teritoriji evropskog kontinenta. Nalazi se u gotovo svim zemljama u našem okruženju (Austrija, Mađarska, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Rumunija, Bugarska, Grčka) (Rylková i sar., 2013), a u nekima od njih se njeno postojanje redovno beleži još od sredine 20. veka (Rumunija, Bugarska) (Bănărescu, 1964; Szczerbowski, 2002a). Iako je odlikuju izuzetno brojne populacije, genetički diverzitet ove vrste je veoma nizak, čak mnogo niži od ostalih vrsta u kompleksu. Razlog za to može biti što, za razliku od npr. *C. auratus*, nije bila pod jakim antropogenim selekcionim pritiskom (Komiyama i sar., 2009). Veoma česta pojava ginogeneze u populacijama *C. gibelio*, može takođe usloviti pojavu klonalnih linija i umanjiti mogućnost za razvoj genetičke raznovrsnosti fiksiranjem pojedinih linija (Vrijenhoek, 1998). Međutim, analizom sekvence za *cytb* na jedinkama sa Euroazijskog kontinenta (Kalous i sar., 2012), otkriveno je postojanje dve zasebne linije u okviru vrste *C. gibelio*.

Jedna od njih se jasno odvaja i karakteristična je za jedinke sa teritorije Mongolije (*C. gibelio II*). Druga linija je zastupljena na teritoriji gotovo cele Evrope (*C. gibelio I*) i srodnija je jedinkama vrste *C. auratus*, nego jedinkama *C. gibelio II* iz Mongolije.

Prikazi na filogenetskim stablima konstruisanim za analizirane uzorke razvrstane u haplotipove upravo potvrđuju navode Kalous i sar. (2012) o bližom evolutivnim vezama vrste *C. gibelio I* sa vrstom *C. auratus*, nego sa vrstom *C. gibelio II*. S obzirom na nepostojanje pravilnosti u razvrstavanju uzoraka po haplotipovima, nije moguće izneti ni neke kategorične tvrdnje po pitanju njihovih evolutivnih odnosa. Ono što je svakako najuočljivije na osnovu svih iznetih rezultata je da su populacije vrste *C. gibelio I* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti u velikoj meri izmešane, što u kombinaciji sa njihovom velikom brojnošću na tim lokalitetima, može ukazivati na naturalizovan status njihovih populacija.

### 6.3. Morfološka varijabilnost

#### 6.3.1. Morfološka raznovrsnost vrste *Carassius gibelio I* u Vojvodini i peripanonskoj oblasti

U ovoj studiji je po prvi put opisana morfološka varijabilnost jedinki kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti. S obzirom da su prema genetičkim analizama sve jedinke pripadale vrsti *Carassius gibelio I*, u daljem tekstu će se diskutovati o morfološkoj varijabilnosti ove vrste. Iako se poslednjih godina objavljuje sve više podataka o genetičkom diverzitetu vrsta kompleksa *Carassius auratus*, i dalje ima veoma malo podataka o njihovom morfološkom diverzitetu.

Kod vrsta sa velikim rasprostranjenjem, kao što je i vrsta *Carassius gibelio*, fenotipska varijabilnost je najčešće veoma izražena. Ona može biti uslovljena genetičkim faktorima ili faktorima spoljašnje sredine (Jorgensen i sar., 2008), ali takođe može biti rezultat evolucionih procesa, fenotipske plastičnosti ili oba (Robinson i Wilson, 1996; Cano i sar., 2008). Fenotipska varijabilnost je posebno izražena kod invazivnih vrsta riba koje se oslanjaju na adaptivnost i fenotipsku plastičnost kako bi osvajale nove vodotokove za veoma kratko vreme (Vila-Gispert i sar., 2007; Naspleda i sar., 2012). Ovakvo brzo širenje areala i osvajanje različitih staništa (jezera, reke, kanali itd.) može da dovede do brze morfološke divergencije čak i u lokalnim razmerama (Naspleda i sar., 2012). Stoga, fenotipski odgovori koji pružaju prednosti u različitim okruženjima pokazuju da je fenotipska plastičnost adaptivna osobina, i da može da se razvija čak i kad genetička varijabilnost nije velika (Parsons i Robinson, 2007).

Osnovni faktori koji utiču na morfološku varijabilnost kod slatkovodnih riba jesu: protok vode, deo ekosistema koji ribe naseljavaju, prisustvo predatora, polni dimorfizam, ishrana (Lostrom i sar., 2015). Protok vode je jedan od osnovnih faktora sredine koji utiču na morfologiju riba. U uslovima jakog protoka vode, ribe najčešće imaju izduženija i niža tela sa jače izraženim repnim stablom (Yavno i Fox, 2013; Lostrom i sar., 2015) pošto takva forma smanjuje trenje. Međutim, neke studije su pokazale suprotne rezultate gde ribe iz vodotokova sa većim protokom imaju više i fusiformno telo (Kristjansson i sar., 2012).

Neretko, ribe koje naseljavaju isto jezero mogu imati različite forme u zavisnosti od dela jezera koje naseljavaju. Ova pojava je dobro proučena kod sunčanica (vrsta *Lepomis gibbosus* i

*Lepomis macrochirus*). Naime, najčešće je javljaju dve forme: pelagijska forma koju poseduju ribe koje love plen u otvorenoj vodi i litoralna forma kojom se odlikuju jedinke koje se pretežno hrane bentosom u litoralnoj zoni jezera (Robinson i sar., 2000; Vila-Gispert i sar., 2007; Naspleda i sar., 2012). Slično kao i u predhodnom slučaju, pelagijske ribe imaju niža tela, manje glave, ali duža peraja i deblja repna stabla koja im omogućavaju duže plivanje, dok litoralne ribe imaju viša tela sa kraćim perajima i slabije razvijenim repnim stablom. Zanimljivo je da je kod ovih vrsta utvrđeno da pelagijske ribe imaju gušće zbijene branhiospine od litoralnih što ukazuje na adaptacije u tipu ishrane (gušće raspoređene branhiospine imaju prednost u filtriranju vode i zooplanktona) (Robinson i sar., 2000; Vila-Gispert i sar., 2007).

Polni dimorfizam takođe može znatno da utiče na postojanje različitih fenotipova. Postoje tri osnovna mehanizma koji dovode do polnog dimorfizma: polna selekcija, dimorfne niše i kompeticija za hranu (Hedrick i Temels, citirano iz Herler i sar., 2010). Najčešće promene koje se ogleđaju u obliku riba jesu one koje nastaju zbog ulaganja u reprodukciju od strane ženki ili usled dimorfizma u ishrani (Herler i sar., 2010). Najveći broj studija na ribama do sada je uzimao u obzir veličinu kao najčešći vid polnog dimorfizma. Polni dimorfizam u samom obliku se najčešće javlja u obliku glavenog skeleta kod vrsta koje čuvaju svoje mlade u ustima, ili kod vrsta kod kojih se ogleđa polni dimorfizam u ishrani (Oliveira i Almada, 1995; Barnett i Bellwood, 2005).

U ovoj studiji je primenom merističkih karaktera i metoda tradicionalne linearne i geometrijske morfometrije ustanovljena visoka varijabilnost populacija srebrnog karaša *Carassius gibelio* na teritoriji Vojvodine i peripanske oblasti. Vrednosti merističkih karaktera su se kretale u granicama do sada opisanih za vrstu *Carassius gibelio* (Vuković i Ivanović, 1971; Simonović, 2001; Kalous i sar., 2012). Jedina razlika je uočena kod tvrdih žbica ventralnog peraja gde je u većini literaturnih referenci beležena samo jedna žbica, a u ovoj studiji, kao i u navodima Kostić (1985, 1988), najčešće dve. Takođe postoji razlika i kod tvrdih žbica dorzalnog peraja gde su Kostić, 1988 i Kalous i sar. (2012) objavili čak 5 tvrdih žbica dok su se rezultati ove studije poklapale sa rezultatima Vuković i Ivanović (1971) i Simonović (2001) sa 3-4.

Statističkim analizama je utvrđeno postojanje varijabilnosti u merističkim karakterima između lokaliteta. Najvarijabilniji karakteri su bili broj mekih žbica u pektoralnom peraju, broj mekih žbica u analnom peraju i broj krljušti ispod bočne linije. Razlike u ovim karakterima mogu potencijalno da se odnose na kretanje riba. Naime, ribe koje žive u bržim vodotocima imaju izduženija pektoralna i ventralna peraja. Moguće je da više žbica u peraju omogućava perajima da budu čvršća i stabilnija pri jačim zamascima, te bi mogla biti favorizovana u sredinama sa jačim protokom. Što se tiče polnog dimorfizma, za razliku od rezultata Simonović (2001), meristički karakteri nisu pokazali polni dimorfizam.

Što se tiče fenotipske varijabilnosti opisane morfometrijom, u ovoj studiji su ustanovljeni različiti podaci koristeći tradicionalnu linearnu i geometrijsku morfometriju. Naime, linearnom morfometrijom celog tela je ustanovljeno da pol ima značajan uticaj na morfološku varijabilnost, dok je geometrijska morfometrija dala suprotan rezultat. S obzirom da je na pojedinim lokalitetima uzorak bio veoma mali (do pet jedinki), nije moguće jasno ustanoviti da li su ove razlike nastale kao posledica uticaja samog pola ili usled pozadinskog uticaja lokaliteta koji je mogao da dodje do izražaja zbog malog broja jedinki na pojedinim lokalitetima. Pored toga, tokom korišćenja linearne morfometrije nemoguće je isključiti uticaj veličine na varijabilnost u obliku (alometriju). Ukoliko se uzme u obzir da je multivarjantna regresija pokazala da je uticaj veličine na

oblik bio statistički značajan i opisao čak 14% ukupne varijabilnosti, postoji mogućnost da je uticaj pola uslovljen i velikom zavisnošću oblika od veličine koja se javlja tokom linearne analize.

Obe metode su pokazale da su lokaliteti imali značajan uticaj na morfološku varijabilnost. Međutim, različitim metodama su dobijeni različiti podaci o fenotipskoj varijabilnosti među lokalitetima. Osnovna razlika jeste da tokom linearne morfometrije nije došlo do značajnih grupisanja lokaliteta na grafiku prve dve kanonijske ose, dok je prema geometrijskoj morfometriji došlo do grupisanja ispitivanih lokaliteta u tri jasne grupe. Međutim, ako se bolje pogledaju dva grafika kanonijskih osa, neke sličnosti se mogu uočiti; npr. pozitivne vrednosti za prvu kanonijsku osu kod oba grafika zauzimaju lokaliteti Gornje Podunavlje i Gruža, dok negativne vrednosti prve kanonijske ose na oba grafika zauzimaju lokaliteti Ludaš, Međuvršje, DTD Bogojevo i Jegrička. Sličnosti se javljaju i kod osobina koje razdvajaju lokalitete po kanonijskim osama; npr. najveću korelaciju sa prvom kanonijskom osom ima najveća visina tela, dok sa drugom kanonijskom osom imaju dužina glave i repnog stabla.

Iako na grafiku prve dve kanonijske ose za linearnu morfometriju nije došlo do jasnih grupisanja, UPGMA metoda je opisala grupisanje lokaliteta u tri velike grupe. UPGMA grupisanja su bila donekle slična za obe metode: prvu veliku grupu su činili lokaliteti Gruža, DTD Bačko Gradište, kanal Dondo, Tikvara i Gornje Podunavlje, dok su drugu veliku grupu činili: Jegrička Žabalj, Jegrička Temerin, Međuvršje, Ludaš i DTD Bogojevo. Distance povezivanja se donekle razlikuju za ove dve metode, ali su neka grupisanja kao što su najbliže grupisanje dva lokaliteta reke Jegrička slični. Osnovnu razliku čini treća grupa gde se kod linearne morfometrije jasno odvajaju lokalitet Srebrno jezero, dok se kod geometrijske morfometrije jasno odvajaju reka Plazović. S obzirom da na grafiku prve dve kanonijske ose za linearnu morfometriju nije došlo do značajnog odstupanja jedinki sa Srebrnog jezera od ostalih jedinki, možemo da zaključimo da je odvajanje lokaliteta Plazović korišćenjem geometrijske morfometrije preciznije s obzirom na metodologiju i preciznost ove dve metode.

Pored činjenice da su obe metode pokazale slična grupisanja lokaliteta, razlozi za nastanak ovakvih grupisanja u osnovi nisu najjasniji. Kao što je već pomenuto, osnovni uzroci nastanka morfološke varijabilnosti među slatkovodnim ribama jesu protok vode, deo ekosistema koji ribe naseljavaju, prisustvo predatora, polni dimorfizam, ishrana (Lostrom i sar., 2015). Protok vode se u najvećoj meri isključuje kao značajan faktor s obzirom da se u obe velike grupe lokaliteta nalaze lokaliteti sa sličnim protokom (npr. DTD Bačko Gradište, Gornje Podunavlje, Dondo sa jedne strane i DTD Bogojevo, Jegrička sa druge strane). Takođe se u najvećoj meri isključuje i deo ekosistema sa kojeg su ribe uzorkovane jer su većinom u pitanju male reke i kanali koji su previše uski da bi došlo do značajnog razdvajanja riba po regionima. Polni dimorfizam se takođe isključuje iz jasnih razloga. Prisustvo predatora i monokultura srebrnog karaša se takođe isključuju kao jedan od mogućih razloga jer su na većini ovih lokaliteta beležene različite vrste riba, a među njima su mnoge koje se hrane mlađi i starijim jedinkama srebrnog karaša.

Iako najčešći uzroci fenotipske plastičnosti ne mogu u potpunosti da opišu nastanak varijabilnih formi u ovoj studiji, postoji mnogo različitih ekoloških faktora koji utiču na fenotipsku plastičnost, a koji su međusobno povezani. Npr. ishrana (tj. hvatanje plena) se sastoji iz tri osnovne faze: traženje plena, hvatanje i procesiranje plena (Parsons i Robinson, 2007). Ribe sa vitkijim telima, jakim repnim stablom i većim očima su favorizovane tokom lovljenja plena u pelagijskoj zoni, dok su ribe sa višim telima favorizovane tokom ishrane u struktuiranim staništima (Webb, 1984, citirano iz Parsons i Robinson, 2007). S obzirom da srebrni karaši mogu da se hrane veoma različitim tipovima plena, od planktonskih formi do makrozoobentosa, ishrana može da ima veo-

ma veliki uticaj na morfološku varijabilnost tela i kostiju glave. Kod vrsta roda *Lepomis* ustanovljeno je da je glavni mehanizam ishrane usisavanje plena, tako da postoji velika razlika između riba koje se hrane plankonom kao hranom koja ne može da pobegne ili amfipodama kao hranom koja je veoma pokretna (Parsons i Robinson, 2007). Riba koje se hrane hranom obično imaju veći glaveni region, veća usta, viša tela, manje oči u odnosu na ribe koje se hrane pelagijskom hranom. S obzirom da je ishrana karaša slična generalističkoj ishrani sunčanica (Paszowski i sar., 1989), postoji mogućnost da tip ishrane ima veoma značajan uticaj na morfologiju karaša. Pošto nije bilo moguće uzeti u obzir tip ishrane tokom ove studije, postoji velika mogućnost da je morfološka varijabilnost ustanovljena između ovih lokaliteta u znatnoj meri uzrokovana upravo ishranom.

Za razliku od morfometrije celog tela, ni tradicionalna linearna, ni geometrijska morfometrija nisu pokazale značajno prisustvo fenotipske varijabilnosti za pojedinačne kosti glavenog skeleta. Kod svih kostiju je ustanovljeno da pol nema značajan uticaj na fenotipsku varijabilnost, dok je lokalitet imao značajan uticaj. Međutim, na dijagramima prve dve kanonijske ose nije došlo do grupisanja lokaliteta ni kod jedne kosti bilo analizom linearne ili geometrijske morfometrije. Jedini izuzetak je bila kost os pharyngii na kojoj su ždrelni zubi kod koje je došlo do odvajanja lokaliteta Ludaš od ostalih lokaliteta. Jedinke ovog lokaliteta su imali nešto manju ovu kost i kompaktnije ždrelnu zubeu odnosu na ostale lokalitete.

Većina analiziranih kostiju su bile operkularne kosti (operculum, praeoperculum, interoperculum i suboperculum). Ove kosti su uključene u procese disanja i ishrane. Prilikom stvaranja negativnog pritiska u usnoj i operkularnoj duplji, dolazi do usisavanja vode neophodne za disanje i usvajanje hrane (Lauder, 1983). Iako se ranije mislilo da lateralna pomeranja operkularnih kostiju učestvuju u stvaranju negativnog pritiska u usnoj duplji, danas se zna da to nije slučaj. Stoga, i dalje stoji pitanje koja je uloga ovog pomeranja i da li morfologija i varijabilnost u fenotipu ovih kostiju utiču na disanje i ishranu. S obzirom da ribe sa analiziranih lokaliteta žive u sličnim spoljašnjim uslovima, možemo da pretpostavimo da imaju i slučan model ponašanja. Pored ovog, kosti kao što su operculum, cleithrum i pharyngii sa ždrelnim zubima – dentes pharyngii imaju značaj u taksonomiji (Miranda i Escala, 2005), analizi ishrane piscivornih životinja (Britton i Shepherd, 2005) i paleontološkim istraživanjima (Tarkan i sar., 2007).

Jedina kost koja je varirala među lokalitetima je os pharyngii sa ždrelnim zubima čija je osnovna uloga u ishrani jer ribe koriste ove zube za procesiranje hrane. U odnosu na ishranu riba, ždrelni zubi mogu znatno da se razlikuju po veličini. Stoga, različit oblik kosti os pharyngii i samih ždrelnih zuba koji se javlja kod jedinki sa lokaliteta Ludaš može da ukaže na razlike u ishrani ovih jedinki. S obzirom da tip hrane po lokalitetu nije uziman u obzir, ne postoji direktan dokaz koji bi pokazao da je ovo slučaj.

### **6.3.2. Uticaj prisustva predatora i protoka na morfološku varijabilnost vrste *Carassius gibelio* I**

U predhodnom poglavlju je pokazano prisustvo fenotipske varijabilnosti kod vrste *Carassius gibelio* sa prostora Vojvodine i peripanonske oblasti. Zbog mnogobrojnih faktora koji mogu uzrokovati fenotipsku varijabilnost i njihove uzajamne povezanosti, utvrđivanje tačnog razloga



za nastanak ove varijabilnosti nije bio moguć. U ovoj zasebnoj studiji fenotipske varijabilnosti cilj je bio ispitivanje uticaja protoka vode i prisustva predatora na fenotipsku varijabilnost primenom tradicionalne linearne morfometrije i geometrijske morfometrije. Iako ova studija nije prva koja se bavi uticajem prisustva predatora na vrste roda *Carassius*, ona jeste prva koja je rađena na vrsti koja je genetičkim analizama potvrđena kao *Carassius gibelio* (L) čime je isključen mogući uticaj interspecijske varijabilnosti.

Analize su sprovedene na jedinkama sa tri lokaliteta koji su birani zbog različitog protoka i prisustva predatora: Palić koji je stajaća voda u kojoj prisustvo vrsta, potencijalnih predatora predatora srebrnog karaša, nije beleženo nekoliko godina; Kraljevac koji je takođe stajaća voda ali u kojoj su prisutni predatori srebrnog karaša i kanal DTD koji je protočan i u kojem su konstantno beleženi predatori srebrnog karaša. Poređenjem morfometrijskih karakteristika jedinki sa ovih lokaliteta pružiće se dublji uvid u uzroke nastanka fenotipske varijabilnosti kod vrste *Carassius gibelio*.

Primenom linearne i geometrijske morfometrije potvrđeno je da i protok vode i prisustvo predatora imaju značajan uticaj na fenotipsku varijabilnost, iako je prisustvo predatora imalo znatno veći uticaj (prema multivarjantnoj regresiji skoro 40% od ukupne varijabilnosti). Na dijagramima dve kanonijske ose dolazi do jasnog razdvajanja sva tri lokaliteta. Palić se razdvojio od preostala dva lokaliteta po prvoj kanonijskoj osi, dok su se lokaliteti Kraljevac i kanal DTD razdvojili po drugoj kanonijskoj osi. Takođe, iste morfometrijske karakteristike su uticale na pojavu ovih razdvajanja. Obe analize su pokazale da su najveća visina tela, postdorzalno rastojanje i visina glave imali najveću korelaciju sa prvom kanonijskom osom, dok su razlike po drugoj kanonijskoj osi bile suptilnije i uzrokovane različitom veličinom peraja.

Ihtiofage ribe su opšte prihvaćene kao važan faktor koji modelira oblik tela plena i sastav, strukturu i veličinu ribljih zajednica, direktno ili indirektno preko promena u ponašanju, izboru staništa ili izboru plena (Tonn i sar. 1990; Sih, 1992). Morfologija tela može da utiče na rizik da jedinka postane žrtva za predatore. Na primer, neke vrste riba imaju bodlje, a druge imaju veliku visinu tela koja smanjuje mogućnost da postanu plen (Nilssoni i sar., 1995; Godin, 1997).

Najčešći način da se izbegne predator je odgovor bekstvom, a pokrete rafalnog plivanja pokazuje većina riba kada je u opasnosti. Domenici i sar. (2008), na primeru vrste *Carassius carassius* ističu da ribe sa većom visinom tela postižu veću brzinu i ubrzanje tokom odgovora begom na prisustvo predatora nego ribe sa manjom visinom tela. Veću visinu tela karaša prati i veća mišićna masa, a samim tim i veća snaga mišića što takođe može povećati performanse ubrzanja. Stoga, njihove superiorne performanse i bekstvo plivanjem mogu biti posledica kombinacije velike snage mišića i većeg potiska. I druga istraživanja potvrđuju da se sa povećanjem visine tela mogu poboljšati performanse ubrzanja tokom kretanja u bekstvu, koje se smatraju ključnim za izbegavanje predatora kod većine vrsta riba (Godin, 1997; Walker i sar., 2005).

Mnogi naučnici su pokušavali da odgovore na pitanje šta stoji iza odnosa predatora i plena, a uslovljava promenu oblika tela (Bronmark i Pettersson, 1994; Nilsson i sar., 1995; Halopainen i sar., 1997). Laboratorijski eksperimenti su pokazali da prisustvo hemijskih signala predatora u vodi mogu da izazovu porast tela u visinu (Bronmark i Pettersson, 1994; Halopainen i sar., 1997). Laboratorijskim testiranjima mehanizama koji stoje iza efekta predatora došlo se do zaključka da reakcija na hemijske signale (alarm supstanci / miris predatora) izaziva promene u raspodeli energije plena (Halopainen i sar., 1997). Naime, jedinke karaša izložene predatoru usvajaju režim smanjenja lokomotorne aktivnosti što može biti zamena za skrivanje u podvodnoj vegetaciji.

Smanjenje lokomotorne aktivnosti na duže staze dovodi do višeg somatskog rasta i promena oblika tela. Da li, i u kojoj meri, prisustvom predatora izazvan mehanizam funkcioniše u prirodi još uvek nije dovoljno razjašnjeno. Halopainen i sar. (1997) su zabeležili i smanjenje rada srca i učestalost disanja u prisustvu predatora s ciljem uštede energije i njenog usmeravanja ka rastu (prvenstveno rast u visinu).

Kod zlatnog karaša se prema literaturi razlikuju dve forme: jezerska (jedinke sa većom visinom tela) i ribnjačka (kraće i niže jedinke) (Berg, 1964, Muus i Dahlstrom, 1978 citirano iz Tonn i sar., 1994). Iako su studije pokazale da navedene razlike nisu uslovljene genetskim faktorom (Ekstrom, 1838, citirano iz Bronmark i Miner, 1992), tek nedavno je dinamika morfoloških promena dokumentovana. Holopainen i Pitkanen (1985), Brönmark i Miner (1992), Bronmark i sar. (1995), Poleo i sar. (1995) ističu da su razlike između jezerskog i ribnjačkog oblika karaša mnogo više izražene i uslovljene prisustvom ili odsustvom piscivornih predatora nego veličinom lokaliteta ili drugih abiotičkih parametara. Analizirajući karakteristike populacije karaša u jezerskim i ribnjačkim ekosistemima Holopainen i sar. (1997) uočavaju da su u obe grupe lokaliteta u kojima nije bilo prisustvo predatora dominirale jedinke sa malom visinom tela (oko 9,2 cm), a u jezerima i ribnjacima gde su ihtiofagi predatori bili prisutni, populacije su bile sastavljene gotovo isključivo od riba sa visinom tela preko 20 cm kao i većom telesnom težinom. Bronmark i sar. (1995) ističu da je i gustina naseljenosti karaša bila mnogo veća u lokalitetima bez predatora.

Holopainen i Pitkanen (1985), Tonn i sar. (1994), Halopainen i sar. (1997) su pokazali da u prirodnim uslovima odsustva grabljivica sama gustina naseljenosti populacije može imati jasan uticaj na oblik tela karaša (*Carassius carassius*). Tako su ribe sa malom visinom tela i velikim glavama tipične u prenaseljenim zajednicama u kojima dominira jedna vrsta ribe (malim ribnjacima), a ribe sa velikom visinom tela uglavnom se nalaze u većim jezerima sa raznovrsnom ihtiofaunom. Slične rezultate iznose i Tonni i sar. (1994) ističući da su u lokalitetima sa velikom gustinom naseljenosti zastupljene manje jedinke sa nižom visinom tela. Međutim, premeštanjem ovih jedinki u manje naseljene lokalitete uočeno je značajno povećanje visine tela čak i među većim ribama koje nisu rasle u dužinu.

Rezultati ove studije nedvosmisleno pokazuju da prisustvo predatora u velikoj meri može da utiče na morfološku varijabilnost vrste *Carassius gibelio*. Riba sa manjom visinom tela su beležene u jezeru Palić u kojem prisustvo predatora nije beleženo nekoliko godina i u kojem vlada monokultura srebrnog karaša. Nasuprot ovom, jedinke sa visokim telima su beležene na lokalitetima gde su predatori prisutni i gde srebrni karaš živi u polikulturi.

Takođe je poznato da vodeni tok značajno utiče na morfologiju tela. Jedinke koje žive u vodotocima sa bržim protokom vode imaju manju visinu tela, veću dužinu peraja, a pektoralna peraja su im pomerena više unapred. Sve ove prilagođenosti nastaju kao adaptacija za lakše manevrisanje u takvoj sredini (Grant i Noakes, 1987; Hill i Grossman, 1993). Slično je beleženo i u ovoj studiji gde su se razlike u protoku vode odrazile na dužine peraja i visinu tela riba.

### **6.3.3. Rekonstrukcija morfološke varijabilnosti rano uspostavljenih invazivnih populacija vrste *Carassius gibelio***

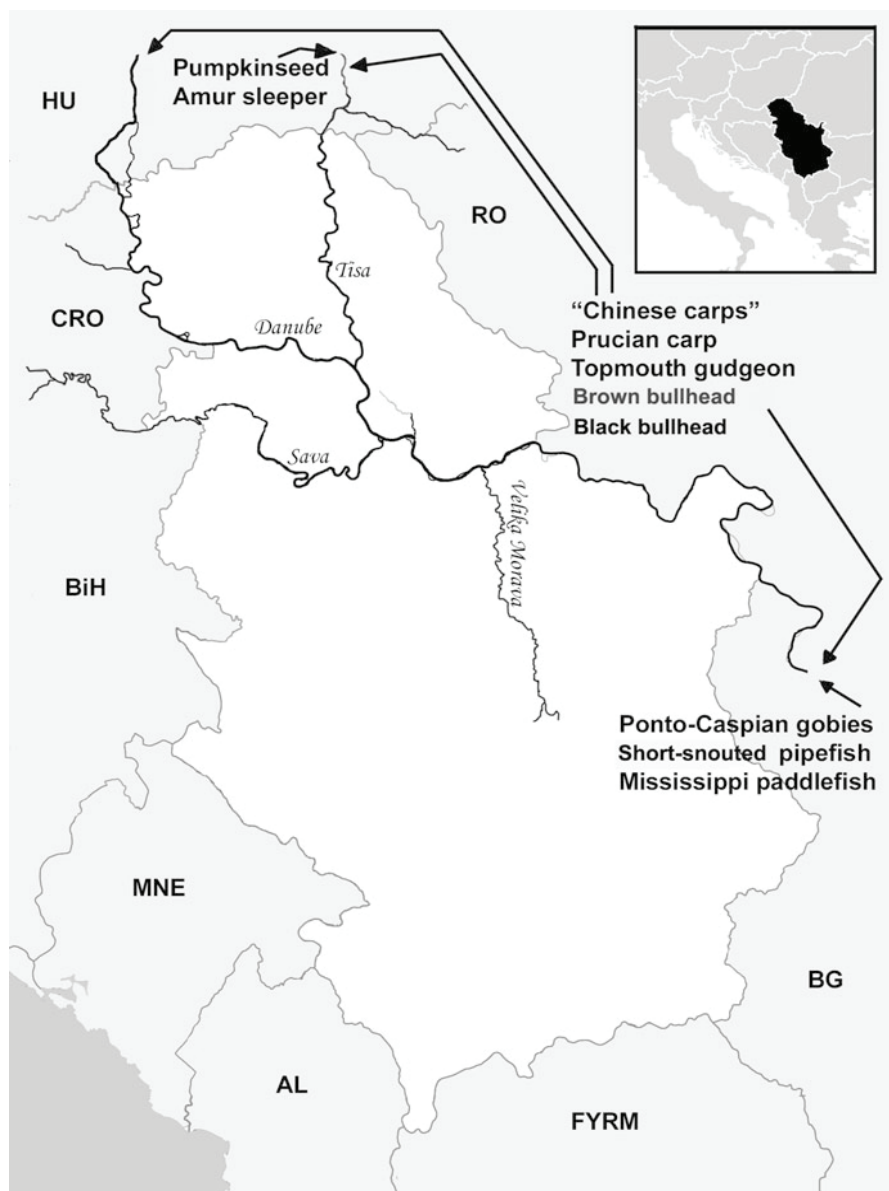
U predhodna dva poglavlja je opisano prisustvo morfološke varijabilnosti jedinki srebrnog karaša *Carassius gibelio* sa teritorije Vojvodine i ispitan je uticaj protoka vode i prisustva preda-

tora na ovu pojavu. Iako je danas prisutna ova velika morfološka varijabilnost, nije u potpunosti jasno da li je ova varijabilnost nastala tokom poslednjih godina od kako srebrni karaš osvaja teritorije Vojvodine, ili su u prošlosti teritoriju Vojvodine naselile različite populacije sa različitim formama. Da bi dobili odgovor na ovo pitanje, savremenim statističkim metodama su analizirani podaci iz 1980-ih godina sa tri lokaliteta.

Prema Lenhardt i sar. (2010), invazija srebrnog karaša se odvijala iz tri osnovna pravca: Dunavom iz Rumunije, Dunavom iz Mađarske i Tisom iz Mađarske (Slika 29). Pored ovih puteva invazije, srebrni karaš je u pojedina jezera i ribnjake slučajno ili namerno introdukovan i iz različitih mesta koja često nisu poznata tj. nisu beležena u literaturi. U ovoj studiji su izabrana tri lokaliteta kako bi najbolje obuhvatili puteve ulaska srebrnog karaša u Vojvodinu: lokalitet Mrtva Tisa koji obuhvata jedinke koje su najverovatnije invadirale Vojvodinu iz pravca Mađarske kroz Tisu; lokalitet Obedska bara koju najverovatnije sačinjavaju jedinke koje su invadirale Vojvodinu Dunavom iz Rumunije i Palić, lokalitet u koji je srebrni karaš introdukovan iz nepoznatog areala.

Sve jedinke analizirane u ovoj studiji su bile ženke. Slično je beleženo i u literaturi s obzirom da su jedinke koje su među prvima invadirale teritoriju Vojvodine bile jednopolne populacije sastavljene samo od ženki jer se u tom periodu srebrni karaš gotovo isključivo razmnožavao ginogenetski. Prvu pojavu mužjaka opisali su Budakov i Maletin (1984 a) koji su u uzorku od 85 jedinki babuške uhvaćenih u Obedskoj bari registrovali 2 mužjaka. Prisustvo mužjaka je potvrđeno i histološkom analizom.

Kanonijska diskriminantna analiza je pokazala prisustvo morfološke varijabilnosti u obliku celog tela srebrnog karaša uzorkovanih sa pomenuta tri lokaliteta. Na dijagramu prve dve kanonijske ose se jasno vidi razdvajanje lokaliteta Palić po prvoj kanonijskoj osi. Ove jedinke su imale nešto kraće postdorzalno rastojanje i manju visinu glave, dok su imale nešto dužu osnovu analnog peraja i više repno stablo. Preostala dva lokaliteta su se takođe međusobno razdvojila, mada u znatno manjoj meri. Pored razlika u obliku između ispitivanih riba, ustanovljene su i razlike u životnoj istoriji, prvenstveno u rastu. Različiti modeli su najbolje opisivali rast riba sa različitih lokaliteta, a asimptotska dužina jedinki sa Palića se najviše razlikovala od preostala dva lokaliteta.



**Slika 29.** Mapa ulaska invazivnih vrsta na teritoriju Srbije (preuzeto iz Lenhardt i sar. 2010)

Podaci ove studije pokazuju da je morfološka varijabilnost srebrnog karaša bila prisutna i među rano uspostavljenim invazivnim populacijama. Prema analizama oblika riba i životne istorije, najviše je divergirao lokalitet Palić na kojem su uzorkovane jединke koje su bile introdukovane na taj lokalitet iz nepoznatog areala.

#### 6.3.4. Morfološka varijabilnost krljušti vrste *Carassius gibelio*

Morfometrijske studije zasnovane na analizi celog tela riba su veoma stresne za analizirane jединke i veoma često mogu izazvati njihovu smrt. Zbog toga je veoma poželjno u tu svrhu koristiti neke strukturne komponente koje su dovoljno promenljive da bi odražavale razlike između populacija, a koje bi pritom bile neškodljive za jединku (Garduno-Paz i sar.,2010). Poslednjih

godina pažnja istraživača je naročito fokusirana na analize oblika krljušti riba kako bi se utvrdilo da li podaci dobijeni na taj način mogu biti korišćeni za razlikovanje rodova, vrsta, divljih ili uzgajanih populacija riba (Richards i Estevez 1997a, b iz Ibanez i sar., 2007).

U novije vreme mnogi istraživači (Poulet i sar., 2005; Ibanez i dr., 2007, 2009; Garduno-Pas i sar., 2010; Ibanez i sar., 2012a; Ibanez., 2014, 2015) primenjuju metode geometrijske morfometrije na krljuštima riba kako bi utvrdili da li, i kako fenotipske karakteristike krljušti određuju pripadnost vrsti ili rodu. Staszny i sar. (2012) ovu metodu su uspešno primenili pri razlikovanju populacija vrste *Carassius gibelio*. Dodatno, Ibanez i sar. (2012a) su ispitali da li se oblik krljušti riba menja kao rezultat rasta kod juvenilnih riba *Rutilus rutilus* (L.). Ibanez (2014) u toku svojih istraživanja daje odgovor na pitanje da li uzrasna struktura riba i geografski položaj njihovih staništa utiče na morfologiju tj. oblik krljušti. Rezultati ukazuju da nema značajnijih razlika u obliku krljušti u zavisnosti od starosti riba, dok su uočene značajnije razlike između uzoraka sa različitih, geografski udaljenih lokaliteta.

Mnoge studije ističu da se morfološke razlike među grupama mogu objasniti kako genetskim razlikama, tako i efektima različitih parametara životne sredine i njihovom kombinacijom (Marcil 2006; Staszny i sar., 2012). Ibanez i sar., (2012) su među prvima počeli da otkrivaju da li uticaji koji potiču iz životne sredine mogu uzrokovati promenu oblika krljušti kod riba, a njihov glavni zaključak je bio da postoji velika uloga kompenzatora rasta u razvoju oblika krljušti.

Slične rezultate su objavili i Staszny i sar., 2012 koji dokazuju da se metodom geometrijske morfometrije uticaji životne sredine na morfologiju krljušti mogu uspešno odvojiti od mogućih genetičkih efekata te da su podaci za krljušti dobijeni ovom metodom visoko pouzdani za razlikovanje populacija kod porodica Salmonidae (Garduno-Paz i dr., 2010), Mugilidae (Ibanez i sar. 2007), i *Cyprinidae*, što je posebno važno, jer je porodica šaranskih vrsta izuzetno brojna i uključuje i mnoge ugrožene vrste (Helfman i sar., 2009).

Rezultate ovih istraživanja podržava i studija Ibanez i sar. (2012), koja je pokazala da kompenzatori rasta, odnosno sastav i količina hrane, mogu takođe da utiču na oblik krljušti, jer se ovi parametri mogu definisati kao poseban tip efekta koji potiču iz životne sredine.

Međutim, nedavno su rezultati istraživanja Ibanez i dr. (2009) ukazali na postojanje značajnih variranja oblika krljušti između anatomski različitih regiona na telu ribe, a koji mogu biti u vezi sa načinom plivanja. U ovoj studiji, koja predstavlja nastavak istraživanja istih autora iz 2007., ispituje se kako krljušti sa devet regiona, koji obuhvataju kraniokaudalnu i dorzoventralnu osu, bočnog zida tela, variraju u pogledu oblika kod vrsta koje su filogenetski udaljene. Ova studija je u stvari imala za cilj da utvrdi sa kojih anatomskih regiona bi bilo najbolje uzorkovati krljušti kako bi njihov oblik najbolje opisao razlike među vrstama. Najveće razlike (98%) su dobijene među krljuštima koje su uzete sa centralno-dorzalne zone. Čini se da je ova pojava bila povezana sa profilom bočnog zida tela i sa tehnikama plivanja.

Naime, telo ovih riba je uzdužno podeljeno na prednju (A), srednju (B) i zadnju-kaudalnu zonu (P), a poprečno u tri zone (oko, iznad i ispod bočne linije), što sve ukupno daje devet oblasti.

Iako krljušti sa svih delova tela omogućavaju razlikovanje različitih vrsta, uočeno je da postoji varijabilnost i među krljuštima uzetih sa različitih regiona na telu. Krljušti iz zone A i C su sličnog oblika, ali se razlikuju od krljušti zone P, dok krljušti iz zone ispod i iznad bočne linije takođe pokazuju neke razlike u obliku, ali su one manje izražene. Autori ističu da područja sa većim varijabilnostima oblika mogu da budu manje efikasna u diskriminantnim analizama. Varijacije

oblika duž uzdužnih i poprečnih osa tela izgleda da mogu biti u vezi sa zakrivljenjem tela ribe. U zadnjem regionu ribe (zona P), površina tela se smanjuje i značajno se povećava zakrivljenje što ima za posledicu smanjenje veličine krljušti i promenu njihovog oblika. One u tom slučaju postaju komprimovane duž dorzoventralne ose što omogućava više prostora za susedne redova krljušti.

Isti autori ističu da krljušti takođe treba da budu prilagođene u smislu da pomognu lokomociju i smanjuju otpor prilikom plivanja, tako da obrazac promene oblika krljušti samog tela može biti funkcionalno povezan sa režimom plivanja kod različitih vrsta. U prednjem i centralnom području krljušti su relativno široke u dorzoventralnom pravcu i sužene anteroposteriorno, što bi moglo da olakša bočna uvijanja prilikom plivanja. S druge strane, krljušti iz zadnjeg regiona su relativno izdužene u anteroposteriornoj osi, sa fokusom više centralno i sa širom površinom za inserciju u epidermis što im omogućava da se odupru vrtlogu, potisku, i pritisku vode koji se vrši na kaudalno peraje pri pokretanju napred. Pored toga, krljušti sa prednjeg, centralnog i zadnjeg regiona se razlikuju po luku uglova i, kao i različite vrste lukova, može se prilagoditi različitim opterećenjima. Poslednje razlike utiču na otpornost tokom režima plivanja.

Rezultati ovih istraživanja ukazuju da je, uprkos širokom filogenetskom razdvajanju analiziranih vrsta riba, sličan obrazac po kojem variraju oblici krljušti. Ovo može ukazivati na snažno funkcionalno približavanje, iako je potrebno istraživanje srodnih taksona sa različitim režimima plivanja za potvrdu ovih zaključaka (Ibanez i dr., 2009).

Poulet i sar. (2005) istražuju da li morfologija krljušti može da se koristi za uočavanje razlika između ribljih populacije na lokalnom nivou. U tom cilju, analizirali su jedinke *Leuciscus burdigalensis* na 3 lokaliteta reke Viaur (Francuska), raspoređenih duž 82 km od izvora sa različitim osobinama (u pogledu brzine vode, temperature, hemijskog sastava vode). Dobijeni rezultati ukazuju da je postojala morfološka razlika u pogledu oblika krljušti kod jedinki između različitih lokaliteta. Ove razlike mogu da daju potvrdu o značajnom uticaju uslova životne sredine i fragmentacije staništa s obzirom da su ispitivani lokaliteti bili i fizički odvojeni ustavama i branama (Ihssen i dr., 1981).

### 6.3.5. Analiza životne istorije i modelovanje rasta

#### 6.3.5.1. Komparacija rasta srebrnog karaša *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) i bodorke *Rutilus rutilus* (L., 1758) između dva različita tipa akumulacija pomoću multi-modelne analize

Procena rasta riba je od suštinskog značaja za pravljanje strategija upravljanja i zaštite ribljih vrsta (Liu i sar., 2009; Wells i sar., 2013). Najčešće primenjivani model rasta u ihtiologiji je VBGF (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis i Maravelias, 2008). Međutim, nekoliko studija je istaklo da ovaj model rasta nije uvek najpogodniji. Ovo je uočeno za vrste *Thunnus albacores*, *Carcharhinus plumbeus* (Katsanevakis, 2006), *Carcharhinus acronotus* (Barreto i sar., 2011), *Halotis rubra* (Helidoniotis i sar., 2011), *Bathyraja interrupta* (Ainsley i sar., 2014), *Galeus sauteri* (Liu i sar., 2011) i druge. Pored toga, Katsanevakis i Maravelias (2008) su analizirali dužinsko-starosne grupe za 33 vrste hrskavičavih riba i 100 vrsta košljoriba i primetili su da je VBGF bio najprikladniji model u samo 34,6% slučajeva. Dakle, upotreba različitih konkurentskih modela u proceni

rasta može da ponudi prednost u pružanju realnije procene rasta. Nadalje, korišćenjem postupaka kao što je AIC, moguće je smanjiti grešku u modelovanju rasta i ukazati na „najpogodniji“ model. U ovom radu uočeno je da VBGF nije uvek najpogodnija funkcija. U nekoliko navrata, AICc vrednosti su identifikovale Gompercovu i Robertsonovu funkciju rasta kao pogodniju ukazujući na taj način na neophodnost multi-modelnog pristupa u proceni rasta ribe.

Iako se „najprikladniji“ model može identifikovati kroz AICc, u mnogim slučajevima je više od jednog modela značajno podržano ( $\Delta_i < 2$ ) i Akaikeova težina prikazala je da nema „jasnog pobednika“ ( $w_i < 0,9$ ). Izbor jednog „najpogodnijeg“ modela u ovom slučaju može ostaviti visok stepen nesigurnosti i dovesti do procenjivanja preciznosti (Katsanevakis, 2006). Usled toga, primena multi-modelnog zaključivanja na osnovu usrednjavanja modela obezbeđuje stabilniju procenu, smanjuje pristrasnost tokom izbora modela i ima veću preciznost u odnosu na izabrani najbolji model (Burnham i Anderson, 2002). Intervali poverenja  $L_\infty$  su uvek bili širi od intervala poverenja najprikladnijeg modela, osim u slučaju ženki srebrnog karaša i kod jedinki oba pola iz akumulacije Međuvršje. Dakle, najbolji model je procenio preciznost, odnosno srednji model je uključio nesigurnost izbora modela i obezbedio stabilniji zaključak. Čak i u slučajevima kada suštinski nije bilo nikakvog gubitka informacija, više modela je bilo značajno podržano i nije bilo „jasnog pobednika“, te je usrednjavanje modela pružilo precizniji zaključak.

U ovoj disertaciji je RGF imao najuži interval pouzdanosti, dok je VBGF imao najširi interval pouzdanosti. Slično tome, ova dva modela su imali suprotne trendove za ekstremne uzraste, gde je VBGF bio uvek ispod RGF za mlađe uzraste, a iznad za veću starost i VBGF je uvek procenjivao najvišu  $L_\infty$  vrednost dok je RGF procenio najnižu vrednost  $L_\infty$ . Pored toga, kada je VBGF bio najpogodniji model, GGF ga je pratio, a RGF je bio najmanje prikladan model, a kada je RGF bio najprikladniji model, VBGF je bio najmanje prikladan model. Ovi rezultati ukazuju da postoje određene strukturne razlike između modela i da modeli imaju određeni afinitet jedan prema drugom. Slično su zapazili i Katsanevakis (2006) i Katsanevakis i Maravelias (2008).

U ovoj tezi u modelima rasta nisu uočene specifične razlike vezane za pol, međutim uočene su određene razlike između polova u dužinama riba i dužinsko-težinskim funkcijama. Generalno, ženke su bile veće od mužjaka, imale su veći  $b$  parameter i veću procenjenu asimptotsku dužinu (iako ove razlike nisu bile statistički značajne). Slična zapažanja dali su Balik i sar. (2004), Kirankaya i Ekmekci (2013), Liasko i sar. (2010), Lujčić i sar. (neobjavljeni podaci) i Tsoumani i sar. (2006) za srebrnog karaša. Međutim, i pored priloženog, naišli smo na statistička ograničenja u tvrdnji o polnom dimorfizmu kod obe vrste.

Analiza rasta za obe vrste je prikazala značajne razlike između jedinki koje potiču iz Gruže i Međuvršja. Jedinke iz Gruže dostizale su veće dužine, imale su: veće vrednosti parametra  $b$ , manji faktor forme i značajno veće vrednosti  $L_\infty$ . Akumulacija Gruža je tipična nizijska (ravničarska) sa plitkom i mirnom vodom značajno velike površine. S druge strane, Međuvršje je tipična brdska (planinska) akumulacija koja je izdužena i uska, sa manjom površinom i većim protokom vode. RIBE koje naseljavaju uske vodotokove sa visokim protokom vode moraju se posebno prilagoditi ovim uslovima, jer vodotok utiče na kretanje riba, kao i na mogućnost pronalaženja plena (Grant i Noakes, 1987; Hill i Grossman, 1993; Páez i sar., 2008). Dakle, u takvim sredinama ribe sa kraćim i višim telima imaju prednost u odnosu na krupnije ribe robusnije građe. Može se pretpostaviti da razlike u rastu prikazane u ovom radu uglavnom predstavljaju odgovor na veoma različite uslove životne sredine u ispitivanim akumulacijama. Pored toga, zanimljivo je primetiti da su i autohtona vrsta ribe (bodorka) i invazivna vrsta ribe (srebrni karaš) pokazale slične trendove. Uočene razlike su u skladu sa rezultatima koje su dobili Tarkan i sar. (2012).

Parametar  $L_{\infty}$  je od velikog značaja jer predstavlja prosečnu dužinu najstarijih riba u populaciji (Wells i sar., 2013). Ako najveća uočena riba u populaciji ne dostiže dužinu blizu procenjene asimptotske dužine, može se pretpostaviti da je populacija doživela veliku smrtnost i da ribe nisu preživele dovoljno dugo da dostignu ove veličine pa se upravljanje ribolovom mora menjati kako bi se postigla stabilnost populacije. U ovom radu, obe vrste riba u obe akumulacije dostigle su dužine blizu procenjene prosečne asimptotske dužine. Pored toga, srebrni karaš je dostigao uzrast i dužinu blizu maksimalno uočene (10 godina i 35cm respektivno Froese i Pauly, 2014). Stoga, smatramo da su populacije stabilne i nisu u opasnosti od preteranog izlova.

### 6.3.5.2. Mogućnost upotrebe neasimptotskih modela i izvedenog tempa porasta u modelovanju rasta srebrnog karaša

U ovom radu su poređeni klasični asimptotski modeli rasta sa ne-asimptotskim modelom rasta („Power function“) s obzirom da neke studije predlažu da pojedine vrste riba ne rastu asimptotski i da ne-asimptotski modeli mogu preciznije da opišu njihov rast (Curtis i Shima, 2005). Prema AIC, PF je bio najpogodniji model kako kod zasebno analiziranih mužjaka i ženki, tako i kod kombinovanih podataka za oba pola. Međutim, s obzirom da pomenuti model nije bio jedini značajno podržan i da Akaikeva težina nije pokazala „jasnog pobednika“, izbor jednog „najpogodnijeg“ modela u ovom slučaju bi ostavio visok stepen nesigurnosti i doveo do precenjivanja preciznosti. Zbog toga primena multi-modelnog zaključivanja na osnovu usrednjavanja modela obezbeđuje stabilniju procenu, smanjuje pristrasnost tokom izbora modela i ima veću preciznost u odnosu na izabrani najbolji model.

Prema navodima Liu i sar. (2011) tempo porasta izveden iz modela rasta može direktno da ukaže na pogodnost datog modela u proceni rasta za datu grupu podataka. Kada se posmatra prosečni tempo porasta dobijen usrednjavanjem tempa porasta izvedenih iz svakog modela rasta, može se zapaziti da prosečni tempo porasta u prvoj godini prati tempo porasta izvedenog iz PF, dok posle toga menja pravac i u potpunosti odgovara tempu porasta izvedenog iz VBGF. Prema sirovim podacima, dužina jednogodišnje mlađi varira između 5 i 7 cm, dok tokom narednih godina ribe rastu za oko 2-3 cm godišnje. Prosečni tempo porasta u potpunosti odgovara sirovim podacima, te je moguće najpre zaključiti da prosečni model omogućuje precizniju procenu rasta ove populacije od ostalih modela pojedinačno, a takodje i da tempo porasta može da predstavlja pouzdan način provere modela.

Kada se uzmu u obzir samo asimptotski modeli rasta, VBGF je najpogodniji model praćen modelima GGF i RGF. VBGF je imao najveću procenjenu asimptotsku dužinu i najširi interval pouzdanosti koji su pratili obrazac  $VBGF > GGF > RGF$ , dok su VBGF i RGF imali suprotne trendove za ekstremne uzraste. Ovi rezultati najpre ukazuju da postoje određene strukturne razlike između modela, kao i na to da modeli imaju određeni afinitet jedan prema drugom. GGF i RGF su sigmoidalni modeli te zbog toga najverovatnije imaju visok afinitet jedan ka drugom, dok s druge strane VBGF i PF pokazuju određen nivo afiniteta jedan ka drugom. Slično su ustanovili Katsanevakis (2006) i Katsanevakis i Maravelias (2008).

Pri poređenju standardnih devijacija i intervala pouzdanosti, VBGF je imao veći interval pouzdanosti i veću standardnu devijaciju od prosečnog modela sugerišući da nije došlo do gubitka informacije prilikom korišćenja VBGF. Međutim, s obzirom da je gornji prag intervala pouzdanosti 50 cm što je teško dostižno u prirodnim uslovima budući da je najveći izlovljeni srebrni



karaš do sada imao standardnu dužinu od 35 cm (Froese i Pauley, 2014) i da VBGF nije jedini značajno podržan model, može se pretpostaviti da prosečan model i u ovom slučaju obezbeđuje stabilniju i realističnu procenu rasta ove populacije srebrnog karaša.

Pored analize rasta, određivanje starosti je veoma dragoceno u proceni karakteristika životne istorije riba. U poslednjih nekoliko godina, mnogo pažnje je posvećeno proceni preciznosti vrednovanja starosnih procena (Campana, 2001, Liu i sar., 2009). Obe vrste analizirane u ovom radu su u oba navrata prikazale *CV* manji od 5% što ukazuje na dobru preciznost očitavanja starosti. Slično su primetili i Leonardos i sar. (2008) i Lujić i saradnici (neobjavljeni podaci) za srebrnog karaša. Međutim, ove rezultate treba uzeti sa rezervom, jer procena preciznosti ne podrazumeva i tačnost u određivanju starosti riba.

Kao što je već rečeno, multi-modelna analiza kao i usrednjavanje modela omogućavaju veću preciznost i smanjenje pristrasnosti u procenama rasta kod ovih vrsta riba. Ovo je neophodno kao osnova za dobro upravljanje ribarstvom, jer greške u proceni parametara životne istorije mogu da dovedu do preizlovljavanja, smanjenja rezervi i shodno tome, ekološke neravnoteže u datom ekosistemu. Zbog toga su visoka preciznost u proceni parametara rasta i niska pristrasnost fundamentalni u proceni stanja ribljih populacija i razvijanju uspešnih strategija upravljanja.

Danas se multi-modelna analiza najčešće koristi prilikom modelovanja rasta morskih vrsta riba i kod vrsta koje imaju veliki ekonomski značaj. Ovaj rad je jedan od prvih koji primenjuje multi-modelnu analizu u modelovanju rasta slatkovodnih riba i ukazuje da ju je potrebno primeniti jer su mnoge vrste ugrožene, a primena multi-modelne analize i multi-modelnih zaključaka u procenama rasta može dovesti do poboljšanja strategije očuvanja i programa zaštite. Navedene prednosti ovih analiza su takođe važne i u određivanju smrtnosti riba i mogućnosti prelova jer to ima negativan uticaj na riblju populaciju i može biti faktor koji uzrokuje ranjivost populacija autohtonih vrsta. Pored toga, kao što se vidi iz iznetih rezultata, ove metode se mogu implementirati i na invazivne vrste riba, kako bi se bolje procenio njihov uticaj na autohtonu faunu i eventualno razvile uspešnije strategije upravljanja i kontrole njihovih populacija.

## 7. ZAKLJUČCI

U ovoj studiji je prvi put izvedeno kompleksno istraživanje visoko invazivnih vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti. U istraživanje su uključene populaciono-genetičke analize, morfološke analize i analize životne istorije i rasta vrsta kompleksa *Carassius auratus*. Na osnovu ovih istraživanja došlo se do sledećih zaključaka:

1. Meta analizom dostupnih podataka utvrđena je veoma široka zastupljenost populacija vrsta kompleksa *C. auratus* na teritoriji Srbije. Beležene populacije su u glavnom pokazivale srednju do visoku zastupljenost (20-40%) u ukupnoj ihtiofauni uz uočljivo povećanje brojnosti u funkciji vremena. Na nekim lokalitetima se u nekoliko uzastopnih studija registruju veoma brojne populacije vrsta ovog kompleksa (40-100% u ukupnom ulovu).
2. Molekularno-taksonomskim analizama jedinki sa teritorije Vojvodine i peripanonske oblasti primenom genetičkog markera (dela *cytb* gena) utvrđeno je da su sve ispitivane jedinke pripadale vrsti *Carassius gibelio* I. Zbog biološkog stanja uzoraka, determinacija je bila moguća za samo 50 jedinki sa 11 lokaliteta te se ne bi smela isključiti mogućnost postojanja još nekih vrsta kompleksa *C. auratus*, kao što su *C. auratus* i *C. langsdorfi* koje su beležene na teritorijama susednih zemalja.
3. Primenom linearne i geometrijske morfometrijske analize ustanovljena je izražena fenotipska varijabilnost u obliku tela i odabranih elemenata skeletnog sistema. Utvrđeno je odsustvo polnog dimorfizma, dok su najveći uticaj na varijabilnost imali lokalni uslovi staništa koji su se razlikovali među lokalitetima.
4. Najveću varijabilnost od svih morfoloških parametara pokazala je visina tela, veličina glave i glavenog regiona, dok su kod kostiju najviše varirale vrednosti za os pharyngii na kojoj su ždrelni zubi – dentes pharyngii.
5. Prisustvo predatora i protok vode na ispitivanim lokalitetima su ispoljili uticaj na morfološku varijabilnost riba. Prisustvo predatora je uslovalo pojavu karakterističnog fenotipa sa visokim telom koje omogućava lakše izbegavanje predatora.
6. Utvrđeno je prisustvo različitih fenotipova među ranim invazivnim populacijama u zavisnosti od načina invazije. Mnogo veći uticaj na morfološku varijabilnost imale su antropogene namerne introdukcije nepoznatog porekla, nego invazije prirodnim putevima iz većih vodotokova.
7. Krljušti uzorkovane sa različitih delova tela se u velikoj meri međusobno razlikuju što može biti od velikog značaja prilikom upotrebe ovih elemenata u daljim analizama (npr. za određivanje starosti riba).

8. Analizama životne istorije i dinamike rasta utvrđene su razlike između različitih tipova staništa. Jedinke koje žive u sporim i plitkim staništima su krupnije i dostižu veće asimptotske dužine od individua koje nastanjuju brže i uže vodotokove.
9. Primena multimodelnog zaključivanja na osnovu usrednjavanja modela obezbeđuje stabilniju procenu rasta riba, smanjuje pristranost tokom izbora modela i ima veću preciznost u odnosu na izabrani najbolji model.
10. Ovaj rad je među prvim koji primenjuje multi-modelnu analizu u modelovanju rasta slatkovodnih riba. Rezultati su pokazali da se ova metoda može implementirati i na invazivne vrste riba kako bi se bolje procenio njihov uticaj na autohtonu faunu i eventualno razvile uspešnije strategije upravljanja i kontrole njihovih populacija

## 8. LITERATURA

- “Službeni glasnik RS”, br. 5/2010. Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva.
- Abramenko M.I., Kravchenko O.V., Velikoivanenko A.E. 1997. Genetic structure of populations in the diploid-triploid complex of *Carassius auratus gibelio* in the lower Don basin // Voprosy Ikhtiologii. 37. (1). P. 62–71. (in Russian).
- Abramenko M.I., Nadtoka E.V., Makhotkin M.A., Kravchenko O.V., Poltavtseva T.G. 2004. Distribution and Cytogenetic Features of Triploid Males of Crucian Carp in Azov Basin. Russian Journal of Developmental Biology, Vol. 35, No. 5, pp. 305–315.
- Adams D. C., Rohlf F. J., Slice D. E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”. Italian Journal of Zoology, 71: 5-16.
- Adamsa C. D., Rohlf F.J., Slicec E. D. 2013. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy. Volume 24 (1): 7–14.
- Ainsley S.M., Ebert D.A., Natanson L.J., Cailliet G.M. 2014. A comparison of age and growth of the Bering skate, *Bathyraja interrupta* (Gill and Townsend, 1897), from two Alaskan large marine ecosystems. Fish. Res. 154, 17–25.
- Alexandrov B.G., Zaitsev Y.P. 1998. Black Sea biodiversity in eutrophication conditions. U: Conservation of the Biological Diversity as a Prerequisite for Sustainable Development in the Black Sea Region (ur. Kotlyakov, V., Uppenbrink, M., Metreveli, V). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 221-234.
- Allendorf F.W., Lundquist L.L. 2003. Introduction: population, biology, evolution, and control of invasive species. Conservation Biology 17: 24-30.
- Antalfi A., Tölg I. 1974. ABC ribnjačarstva Glas Slavonije, Osijek (in croat.).
- Antonova E.I. 2010. Short-term thermal compensatory adaptive reaction mechanisms of the liver in *C. auratus gibelio*. Contemp Probl Ecol, 3:57-6.
- Apalikova O. V., Eliseikina G.M., Kovalev Y.M., Brykov V.A. 2008. Collation of data on the ploidy levels and mitochondrial DNA phylogenetic lineages in the silver crucian carp *Carassius auratus gibelio* from Far Eastern and Central Asian populations. Russian Journal of Genetics, 44: 873-880.
- Bacalbasa-Dobrovici N. 1982. Neue und zuruckgehende Fischarten in der Sozialistischen. Republik Rumänien. -23 Arbeitstagung der IAD, Wien, wiss. Kurzref., 200-202.
- Balık İ., Özkök R., Çubuk H., Uysal R. 2004. Investigation of some biological characteristics of the silver crucian carp, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) population in Lake Eğirdir. Turkish Journal of Zoology. 28: 19-28
- Balık İ., Karaşahin B., Özkök R., Çubuk H., Uysal R. 2003. Diet of silver crucian carp *Carassius gibelio* in Lake Eğirdir. Turk J Fish Aquat Sc 3:87-91.
- Balon E.K. 2004. About the oldest domesticates among fishes. Journal of Fish Biology. 65:1–27

- Banarescu P., Coad W.B. 1991. Cyprinids of Eurasia. p. 127-155. In I.J. Winfield and J.S. Nelson (eds.) Cyprinid fishes: systematics, biology, and exploitation. Fish and Fish. Ser. 3, 667 p. Chapman and Hall, London.
- Banarescu P., 1964. Pisces - Osteichthyes (pesti ganoizi si osisi). Editura Academiei Republicii Populare Romîne, Bucuresti. 962 p.
- Barnett A., Bellwood D.R. 2005. Sexual dimorphism in the buccal cavity of paternal mouthbrooding cardinal-fishes (Pisces: Apogonidae). Marine Biology, 148: 205–212.
- Barreto R.R., Lessa R.P., Hazin F.H., Santana F.M. 2011. Age and growth of the blacknose shark, *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1860) off the northeastern Brazilian Coast. Fisheries researches. Volume 110, Issues 1, pp 170-176.
- Benson D.A., Cavanaugh M., Clark K., Karsch-Mizrachi I., Lipman D.J., Ostell J., Sayers E.W. 2012. GenBank. Nucleic Acid Research, 41 (D1): D36-D24. DOI: 10.1093/nar/gks1195
- Bijde Vaate A., Jazdzewski K., Ketelaars H.A.M., Gollasch S., Van der Velde G. 2002. Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 1159-1174.
- Bošnjak T., urednici. 2011. Park prirode "Tikvara" predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićeno područje III kategorije. Studije zaštite. Novi Sad (Srbija): Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
- Branković S. 2008. Spomenik prirode "Bara Trskovača" - značajno prirodno dobro. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 26-27.
- Branković S. 2011. Zaštićeno stanište "Bara Trskovača". Predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićeno područje III kategorije. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 24-27.
- Britton J.R., Shepherd J.S. 2005. Biometric data to facilitate the diet reconstruction of piscivorous fauna. Folia Zoologica, 54: 193–200.
- Brönmark C. R., Paszkowski C. A., Tonn W. M., Hargeby A. 1995. Predation as a determinant of size structure in populations of crucian carp (*Carassius carassius*) and tench (*Tinca tinca*). Ecology of Freshwater Fish 4, 85–92.
- Brönmark C. R., Pettersson L. B. 1994. Chemical cues from piscivores induce a change in morphology in crucian carp. Oikos 70, 396–402.
- Bronmark C., Miner J. G. 1992. Predator-induced phenotypical change in body morphology in crucian carp. Science 258, 1348–1350.
- Budakov LJ. 1999. Predlog za zaštitu prirodnog dobra Begečka jama kao parka prirode. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 26-29.
- Budakov Lj., Pujin V., Maletin S., Mučenski V. 1983a. Contribution to the knowledge of the Kovilj marsh ichthyofauna. -Biosystematics, Beograd, 9 (1): 51-59 (res in engl.).
- Budakov Lj., Sekulić N., Branković D., Kendjel D. 1995. Pseudorasbora parva (Cyprinidae, Pisces) in the waters of Serbia. -Szegedi Ökológiai napok és 25. Tiszakutató Ankét, Szeged (Hungary), Kivonatok, 3.
- Budakov Lj., Sekulić N., Branković D. 1997. Die rolle des ueberschwemmungsgebietes von apatin in der biodiversitaet der fische in der Donau. In: Wissenschaftliche referate. 32. Konferenz der IAD; 1-6 september 1997; Wien. Wien (Österreich): IAD. pp. 359-362.
- Budakov LJ. 1979. Koviljski rit - prostor posebne prirodne vrednosti. Pokrajinski Zavod za zaštitu prirode; pp 74-77.

- Budakov Lj. 1993. Preliminary data on ichthyofauna of the regional park "Stari Begej". -*Ichthyologia Beograd*, 25 (1): 51-57.
- Budakov LJ. 1994. Predlog za zaštitu prirodnog dobra Ponjavica kao parka prirode. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 21-24.
- Budakov LJ. 1996 a. Predlog za zaštitu prirodnog dobra Palić kao parka prirode. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 27-31.
- Budakov LJ. 1996b. Predlog za zaštitu prirodnog dobra Zasavica kao Specijalnog rezervata prirode. Zavod za zaštitu prirode Srbije; pp. 29-34.
- Budakov Lj., Maletin S. 1984a. Sex distribution in the population of Prussian carp (*Carassius auratus gibelio Bloch*) in waters of Vojvodina. *Bilten društva ekologa Bosne i Hercegovine*, ser.B. 2: 127-132, Sarajevo (res. in engl.).
- Budakov Lj., Maletin S. 1984b. Dynamics of longitudinal growth and body mass of *Esox lucius* L., *Blicca bjoerkna* L., and *Carassius auratus gibelio Bloch* in the Tisa river. -*Tiscia (Szeged)*, XIX: 173-178.
- Budakov Lj., Maletin S., Kostić D., Kilibarda P. 1984. Ihtiofauna Jegričke kao saprobiološki indikator. *Vodoprivreda* 16, 88-89 (1984/2-3); 314-316.
- Budakov Lj., Maletin S., Mučenski V. 1983b. Contribution to the knowledge of the Obedska bara ichthyofauna. -*Proc. of the Sec. Sym. on Fauna of SR Serbia, Beograd*, 119-122 (res. in engl.).
- Budakov Lj., Pujin, V., Maletin S., Mučenski V. 1979. Wachstum der Silberkarausche (*Carassius auratus gibelio Bloch*) in der Donau und einigen Nebenflüssen in der SAP Vojvodina. -XXI Arbeitstagung der IAD, Novi Sad, Wis. Kurzref., 202-208.
- Burnham K.P., Anderson D.R. 2001. Kullback–Leiber information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Res* 28, 111–119.
- Burnham K.P., Anderson D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, second ed. Springer, New York Coast. *Fish. Res.* 110, 170–176.
- Cadrin S. X. 2000. Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10: 91-112.
- Cakić P. 1983a. *Pseudorasbora parva* Schlegel, Pisces, Cyprinidae, new species in the ichthyofauna of SR Serbia. -*Proc. of the Second Symp. on Fauna of SR Srbija, Beograd*, 131-134 (res. in engl.).
- Cakić P. 1983b. The northernmost record of *Pseudorasbora parva* (Schlegel, 1842) in Yugoslavia and the first one in Vojvodina. -*Biosystematics (Beograd)*, 9 (2): 151-153 (res in engl.).
- Cakić P. 1984. Najnoviji rezultati o rasprostranjenju *Pseudorasbora parva* (Schlegel) 1842 u Jugoslaviji. -*Ribarstvo Jugoslavije*, 39 (5-6): 87-89, Zagreb.
- Cakić P. 1987. *Pseudorasbora parva* (Schlegel) 1842. Neue Fischart im jugoslawischen Donateil. -26. Arbeitstagung der IAD, Wiss. Kurzref., 246-252.
- Cakić P., Hristić Đ. 1987. The ichthyofauna of Pančevački rit wetlands (Belgrade) with special reference to the allochthonous fish species. *Bulletin du Museum d'Histoire Naturelle, Serie B(42)*: 103-118.
- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol.* 59:197-242. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x
- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol.* 59, 197–242.

- Cano J.M., Makinen H.S., Leinonen T., Freyhof J., Merila J. 2008. Extreme neutral genetic and morphological divergence supports classification of Adriatic three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) populations as distinct conservation units. *Biological Conservation*, 141: 1055–1066
- Carlson, J.K., Cortés E., Johnson A.G. 1999. Age and growth of the blacknose shark, *Carcharhinus acronotus*, in the eastern Gulf of Mexico. *Copeia* 3, 684–691.
- Chen Y., Jackson D.A., Harvey H.H. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 1228–1235.
- Cherfas N.B. 1966. Natural triploidy in females of the unisexual form of silver carp [goldfish] (*C. auratus gibelio* Bloch). *Genetika* 5:16–24.
- Cherfas N. B., Gomelsky B. I., Emelyanova O. V., Recoubratsky A. V. 1994. Induced gynogenesis and polyploidy in crucian carp, *Carassius auratus gibelio* (BLOCH), x common carp, *Cyprinus carpio* L., hybrids. *Aquaculture and Fisheries Management* 25, 943–954.
- Chun F.L., Yang S.T., Gui J.F. 2001. Differential screening and characterization analysis of the egg envelope glycoprotein ZP3 cDNAs between gynogenetic and gonochoristic crucian carp. *Cell Res* 11:17-27.
- Copp G.H., Garthwaite R., Gozlan R.E. 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: concepts and perspectives on protocols for the UK. Science series, technical report no. 129.
- Corti M, Crosetti D. 1996. Geographic variation in the grey mullet: a geometric morphometric analysis using partial warp scores. *Journal of Fish Biology*, 48: 255-269.
- Courtenay R.W., Stauffer R.J. 1990. The Introduced Fish Problem and the Aquarium Fish Industry. *Journal of the World Aquaculture Society*. Volume 21, Issue 3, pages 145–159,
- Curtis T. D., Shima J. S. 2005. Geographic and sex-specific variation in growth of yellow-eyed mullet, *Aldrichettaforsteri*, from estuaries around New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 39(6), 1277-1285.
- Čomić L.J., Ostojić A. 2005. Reka i akumulaciono jezero Gruža. Monografija: Akumulaciono jezero Gruža (Urednici Čomić, Lj. i Ostojić, A.), Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, str. 21-28.
- Ćurčić S., Čomić Lj. 2002. A microbiological index in estimation of surface water quality. *Hydrobiologia* 489, 219-222.
- Davis M.A., Thompson K. 2000. Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81: 226-230.
- Diggers W.B., Carlson J.K., Cullum B., Dean J.M., Oakley D., Ulrich G. 2004. Age and growth of the blacknose shark, *Carcharhinus acronotus*, in the western North Atlantic Ocean with comments on regional variation in growth rates. *Environ. Biol. Fish.* 71, 171–178.
- Domenici P., Turesson H., Brodersen J., Bro˚nmark C. 2008. Predator-induced morphology enhances escape locomotion in crucian carp. *Proc. R. Soc. B* 275, 195–201.
- Drenski P. 1951. Fishes of Bulgaria. -Bulg. Acad. of Sci., Sofia, 270 pp (in bulg.).
- Dudgeon D., Arthington A., Gessner M., Kawabata Z., Knowler D.J., Lévêque C., Naiman R.J., Prieur-Richard A.H., Soto D., Stiassny M.L.J., Sullivan C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81 (2): 163–182. DOI: 10.1017/S1464793105006950
- Đorđević Z., urednik. 1998. Studija zaštite Ovčarsko-kablarske klisure. Beograd (Srbija): Zavod za zaštitu prirode Srbije.

- Đukić N., Pujin V., Maletin S., Gajin S., Gantar M., Petrović O., Ratajac R., Seleši Đ., Matavulj M. 1991. Eutrofizacija stajaćih voda Vojvodine. I deo. Vode Vojvodine. Novi Sad, str. 1-98.
- Economidis P.S., Dimitriou E., Pagoni R., Michaloudi E., Natsis L. 2000. Introduced and translocated fish species in the inland waters of Greece. *Fish Manag Ecol* 7:239–250.
- Economou A.N., Giakoumi S., Vardakas L., Barbieri R., Stoumboudi M., Zogaris S. 2007. The freshwater ichthyofauna of Greece: an update based on a hydrographic basin survey. *Mediterr Mar Sci* 8:91–166.
- Elger M., Hentschel. 1981. The glomerulus of a stenohaline fresh-water teleost, *Carassius auratus gibelio*, adapted to saline water. A scanning and transmission electron-microscopic study. *Cell Tissue Res.*, 220(1): 73-85.
- Elgin E., Tunna R.H., Jackson J.L. 2014. First confirmed records of Prussian carp, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in open waters of North America. *BioInvasions Records*, Volume 3, Issue 4: 275–282.
- Fan Z., Liu G. 1990. The ploidy and reproductive mechanism of crucian carp, *C. auratus gibelio*. *J Fish Biol* 36:415–419.
- Fan Z., Shen J. 1990. Studies on the evolution of bisexual reproduction in crucian carp (*C. auratus gibelio* Bloch). *Aquaculture* 84:235–244.
- Farcas A. 1982. Ichthyological relations of Körtvelyes dead channel in Martely landscape protection area. -Tiscia (Szeged), XVII: 191-197.
- Fišter S. 2005. Kariotipska specijacija u rodu *Carassius* (Cyprinidae, Pisces) - citogenetička proučavanja tetraploidnih ciprinida. Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Srbije i Crne Gore, Fakultet Veterinarske medicine Univerziteta u Beogradu.
- Flajshans M., Rodina M., Halacka K., Vetesnik L., Papousek I., Gela D., Luskova V., Lusk S. 2007. Ploidy levels and reproductive patterns of *C. auratus gibelio* as revealed by means of artificial hybridization and flow cytometry. *Aquaculture* 272:S256.
- Frédérich B., Sheets H. D. 2010. Evolution of ontogenetic allometry shaping giant species: a case study from the damselfish genus *Dascyllus* (Pomacentridae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 99: 99-117.
- Frédérich B., Vandewalle P. 2011. Bipartite life cycle of coral reef fishes promotes increasing shape disparity of the head skeleton during ontogeny: an example from damselfishes (Pomacentridae). *BMC Evolutionary Biology*, 11: 82.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and length-weight relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 241–253.
- Froese R., Pauly D. 2014. FishBase Version 11/2014, <http://www.fishbase.org/search.php> (accessed 03.07.14).
- Froese R., Pauly D. Editors. 2015. FishBase v01/2016. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)
- Fuller P.L., Nico L.G., Williams J.D. 1999. Nonindigenous Fishes Introduced to Inland Waters of the United States. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 613.
- Galil B.S., Nehring S., Panov V.E. 2007. Waterways as invasion highways – Impact of climate change and globalization. U: *Biological Invasions* (ur. Nentwig, W.) Ecological Studies Nr. 193, Springer, Berlin, pp. 59-74.
- Garduño-Paz M. V., Demetriou M., Adam C. E. 2010. Variation in scale shape among alternative sympatric phenotypes of Arctic charr *Salvelinus alpinus* from two lakes in Scotland. *Journal of Fish Biology* 76: 1491–1497.



- Godin J-G. J. 1997. Evading predators. In Behavioural ecology of teleost fishes (ed. J.-G. J. Godin), pp. 191–236. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Grant J.W.A., Noakes D.L.G. 1987. Movers and stayers: foraging tactics in young-of-the-year brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Journal of Animal Ecology*, 56: 1001–1013.
- Grgincević M., Pujin V., Maletin S., Kostić D. 1987. Contribution to the knowledge of arrangement and number of radial grooves in some carp fish scales. -*Biosystematics*, Beograd 13 (2): 151-158, (res. in engl.).
- Gui J.F. 1997. Retrospects and prospects of studies on the mechanism of natural gynogenesis in silver crucian carp (*C. auratus gibelio*). *Bull Natl Nat Found China* 11:11–16.
- Gui J.F., Zhou L. 2010. Genetic basis and breeding application of clonal diversity and dual reproduction modes in polyploid *Carassius auratus gibelio*. *Sci. China Life Sci.* 53: 409–415.
- Habijan-Mikeš V., Mijović D., Stojšić V., Budakov, Lj., Stojnić N. 2005. Specijalni rezervat prirode “Kraljevac”. Predlog za stavljanje pod zaštitu prirodnog dobra od izuzetnog značaja. *Studija zaštite. Zavod za zaštitu prirode Srbije*.
- Halačka J., Lusková V., Lusk S. 2003. “*Carassius gibelio*” in fish communities of the Czech Republic // *Ecohydrobiology i Hydrobiology*. 3 (1). P. 133–138.
- Halopainen J.I., Aho J., Vornanen M., Huuskonene H. 1997. Phenotypic plasticity and predator effects on morphology and physiology of crucian carp in nature and in the laboratory. *Journal of Fish Biology* 50, 781–798.
- Hamar J., Sarkany-Kiss A. eds. 1995. The Maros/Mures river valley. -A study of the geography, hydrobiology and ecology of the river and its environment. Szolnok Szeged-Tirgu Mures, pp.257.
- Harka A., Sallai Z. 1999. Morphological features of Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) its habitat and spreading in Hungary. *Halaszat* 92: 33-36.
- Harka A. 1974. Study of the fish population in the region of the second series of locks on the Tisa (1970-1973). -*Tiscia (Szeged)*, IX: 125-143.
- Helfman G. S., Collette B. B., Facey D. E., BOWEN B. W. 2009. *The diversity of fishes: Biology, evolution, and ecology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 736 pp.
- Helidoniotis F., Haddon M., Tuck G., Tarbath D. 2011. The relative suitability of the von Bertalanffy, Gompertz and inverse logistic models for describing growth in blacklip abalone populations (*Haliotis rubra*) in Tasmania, Australia. *Fisheries Research*, 112: 13–21. doi:10.1016/j.fishres.2011.08.005
- Herler J., Kerschbaumer M., Mitteroecker P., Postl L., Sturmhuber C. 2010. Sexual dimorphism and population divergence in the Lake Tanganyika cichlid fish genus *Tropheus*. *Frontiers in Zoology* 7: 4
- Hill J., Grossman G.D. 1993. An energetic model of microhabitat use for rainbowtrout and rosyside dace. *Ecology*, 74: 685–698
- Holčík J. 1980a. *Carassius auratus* (Pisces) in the Danube river. -*Act. Sc. Nat. Brno*, 14 (11): 1-43.
- Holčík J. 1980b. Possible Reason for the Expansion of *Carassius auratus* Linnaeus 1758 (Teleostei Cyprinidae) in the Danube river basin. -*Int. Rev. Hydrobiol.* 5: 673-679.
- Holčík J., Bastl I., Ertl M., Vranovski M. 1981. Hydrobiology and ichthyology of the Czechoslovak Danube in relation to prediction changes of the construction of the Gabčíkovo-Nagymaros river barage system. -*Works of the lab. of fish res and hydrobiol.* 3: 19-158.
- Holčík J., Žitnan R. 1978. On the expansion and origin of *Carassius auratus* in Czechoslovakia. -*Folia Zool.* 27(3): 279-288.

- Holopainen I.J., Tonn W.M., Paszkowski C.A. 1997. Tales of two fish: the dichotomous biology of crucian carp (*Carassius carassius* (L.)) in Northern Europe. *Ann. Zool. Fennici.*, 34: 1-22.
- Holopainen I. J., Pitkänen A. K. 1985. Size and structure of crucian carp (*Carassius carassius* L.) populations in two small, natural ponds in Eastern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 22, 397–406
- Horvath L., Orban L. 1995. Genome and gene manipulation in the common carp. *Aquaculture* 129, 157–181. doi: 10.1016/0044-8486(94)00325-I
- Hosoya K. 2002. Cyprinidae. Pp 253-271 in T. Nakabo(ed.), *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*. Tokai University Press, Tokyo
- Ibañez L.A., Cowx G. I., O'higgins P. 2009. Variation in elasmoid fish scale patterns is informative with regard to taxon and swimming mode. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2009, 155, 834–844.
- Ibañez A. L., Cowx I. G., O'Higgins P. 2007. Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 64: 1091–1100.
- Ibáñez A.L., Pacheco-Almanzar E., Cowx I.G. 2012a. Does compensatory growth modify fish scale shape? *Environ. Biol. Fish.* 94, 477–482.
- Ibáñez L.A. 2014. Fish scale shape variation by year and by geographic location, could scales be useful to trace fish? A case study on the Gulf of Mexico. *Fisheries Research* 156; 34-38.
- Ibáñez L.A. 2015. Fish traceability: Guessing the origin of fish from a seafood market using fish scale shape. *Fisheries Research* 170; 82-88.
- Ihssen P.E., Booke H.E., Casselman J.M. McGlade J.M., Payne N.R., Utter F.M. 1981. Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38, 1838-1855.
- İlhan A., Balık S., Sarı H.M., Ustaoglu M.R. 2005. Batı ve Orta Anadolu, Güney Marmara, Trakya ve Batı Karadeniz Bölgelerindeki *Carassius* (Cyprinidae, Pisces) türleri ve dağılımları. *E.U. Su Ürünleri Dergisi*, 22(3-4): 343-346.
- Innal D. 2012. Age and growth properties of *Carassius gibelio* (Cyprinidae) living in Aksu river Estuary (Antalya-Turkey). *Review of Hydrobiology*, 5(2):97-109.
- Innal D., Erk'akan F. 2006. Effects of exotic and translocated fish species in the inland waters of Turkey. *Rev Fish Biol Fish* 16:39–50.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2011. Integrated taxonomic information system. Available: [http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=689761](http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=689761).
- Irwin D.M., Kocher T.D., Wilson A.C. 1991. Evolution of the Cytochrome b Gene of Mammals. *Journal of Molecular and Evolution*. 32:128-144.
- Ivanović A., Kalezić M. 2009. Evolucionarna morfologija. Teorijske postavke i geometrijska morfometrija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Jacobsen I.P., Bennett M.B. 2010. Age and growth of *Neotrygon picta*, *Neotrygon annotata* and *Neotrygon kuhlii* from north-east Australia, with notes on their reproductive biology. *J. Fish Biol.* 77, 2405–2422.
- Janković D. 1977. Our actual knowledge of ichthyofauna of Serbia and the problems of future research. *-Arch. biol. sci, Beograd*, 29 (1-2): 7-12 (res. in engl.).
- Janković D. 1995. Biljojedne ribe - značajan uzrok opadanja populacije šarana (*Cyprinus carpio* L.) u jugoslovenskom Dunavu. "Zaštita voda '95", 109-111 (res in engl.).

- Janković D., Karapetkova M. 1992. Present status of the studies of range of distribution of Asian fish species *Pseudorasbora parva* (Schlegel) 1842 in Yugoslavia and Bulgaria. -*Ichthyologia* Beograd, 24 (1): 1-9.
- Jiang Y.G., Yu H.X., Chen B.D., Liang S.C., Shan S.X., Yang D.L., Lin S.E., Shen G.Q. 1983. Biological effect of heterologous sperm on gynogenetic offspring in *C. auratus gibelio*. *Acta Hydrobiol Sin* 8:1-13.
- Jojić V. 2010. Održavanje B hromozoma u populacijama žutogrlog miša *Apodemus flavicollis* (Rodentia, Mammalia): Geometrijsko-morfometrijska analiza komponenti morfološke varijabilnosti. Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Jorgensen H.B.H., Pertoldi C., Hansen M.M., Ruzzante D.E., Loeschcke V. 2008. Genetic and environmental correlates of morphological variation in a marine fish: the case of Baltic Sea herring (*Clupea harengus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 389-400.
- Kalous L., Bohlen J., Rylková K., Petrtýl M. 2012. Hidden diversity within the Prussian carp and designation of a neotype for *Carassius gibelio* (Teleostei: Cyprinidae). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, Vol. 23, No. 1, pp. 11-18.
- Kalous L., Knytl M. 2012. Karyotype diversity of the offspring resulting from reproduction experiment between diploid male and triploid female of silver Prussian carp, *Carassius gibelio* (Cyprinidae, Actinopterygii). *Folia Zool.*-60 (2) 115-121.
- Kalous L., Memis D., Bohlen J. 2004. Finding of triploid *C.gibelio* (Bloch, 1780) (Cypriniformes, Cyprinidae), in Turkey. *Cybium* 28:77-79.
- Kalous L., Šlechtová V., Jr. Bohlen, J., Petrtýl M., Švátora M. 2007. First European record of *Carassius langsdorffii* from the Elbe basin // *J. Fish Biol.* 70 (Supp.A). P. 132-138.
- Karaman M. 1983. *Pseudorasbora parva* Schlegel, 1842, - Pisces, Cyprinidae, - a new element in the ichthyofauna of Serbia. -*Proc. of the Second Symp. on Fauna of SR Srbija*, Beograd, 127-130 (res. in engl.).
- Karapetkova M. 1979. Übersicht der Ichthyofauna der Bulgarische Donauzuflüsse. -XIX Arbeitstagung der IAD, wiss. Kurzfref. Novi Sad, 378-384.
- Katsanevakis S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.* 81, 229-235.
- Katsanevakis S., Maravelias C.D. 2008. Modelling fish growth: multi model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish Fish.* 9, 178-187.
- Keller A.A., Molton K.J., Hicks A.C., Haltuch M., Wetzel C. 2012. Variation in age and growth of greenstriped rockfish (*Sebastes elongates*) along the U.S. west coast (Washington to California). *Fish. Res.* 119-120, 80-88.
- Kerovec M., Tavar V., Meštrov M. 1989. Macrozoobenthos as an Indicator of the Level of the Trophy and Saprobity of Lake Jarun, *Acta hydrochim. hydrobiol.* 17 (1), 37-45.
- Kicošev V., Sabadoš K., urednici. 2011. Park prirode "Palić" predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićeno područje III kategorije. Studija zaštite. Novi Sad (Srbija): Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
- Kırankaya S.G., Ekmekci F.G. 2013. Life-History Traits of the Invasive Population of Prussian Carp, *Carassius gibelio* (Actinopterygii: Cypriniformes: Cyprinidae), from Gelingullu Reservoir, Yozgat, Turkey. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 43(1): 31-40. doi: <http://dx.doi.org/10.3750/AIP2013.43.1.05>.
- Klingenberg C. P. 2002. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. *Gene* 287: 3-10.

- Klingenberg C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11: 353-357.
- Klingenberg C.P. 2010. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nat. Rev. Genet.* 11: 623–635.
- Klingenberg P. C. 2013. Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*. Volume 24 (1): 15–24.
- Komiyama T., Kobayashi H., Tateno Y., Inoko H., Gojobori T., Ikeo K. 2009. An evolutionary origin and selection process of goldfish. *Gene* 430: 5-11
- Kostić D. 1985. Variranje taksonomskih karaktera srebrnog karaša - *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1783) u nekim lokalitetima ribnjaka Bečej. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* br. 68, str. 111-123.
- Kostić D., Maletin S. 1992. Contribution to the knowledge of ichthyofauna of some stagnant waters in Vojvodina. -*Ichthyologia*, Beograd, 24 (1): 25-31.
- Kostić D. 1988. Variranje taksonomskih karaktera srebrnog karaša (*Carassius auratus gibelio* Bloch, 1783) u nekim lokalitetima Vojvodine. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, br. 74, str. 49-70.
- Kostić D., Jurišić A., Popović E., Miljanović B. 2000. Ihtiofauna specijalnog rezervata prirode Zasavica kao saprobiološki indikator. 29. konferencija o aktuelnim problemima zaštite voda; pp. 169-174. Jugoslovensko društvo za zaštitu voda, Društvo za zaštitu voda Srbije. Mataruška banja.
- Kostić D., Popović E., Ćirković M., Sekulić N. 1998. *Carassius auratus gibelio* Bloch, 1783 an der Mündung von Karaš in die Donau. Simpozium Inetrnational "Cercetarea interdisciplinara zona-la" Romania-Yugoslavia-Ungaria Editia a II-a; pp. 310-317. Timisoara 1998.
- Kostić D., Popović E., Miljanović B. 2002. Fish fauna of the section D-T-D canal mouth Subić and Koviljski rit area as indikator of water quality. 6 th International symposium interdisciplinarny regional research Hungary-Romania-Yugoslavia. Section 1 – Environmental protection and ecology; CD Nr paper 122. Novi Sad.
- Kostić D., Sekulić N., Popović E., Ćirković M. 1997. Variationen taxonomischer Merkmale von *Carassius auratus gibelio* Bloch, 1783 im "Dubovački rit". 32. Konferenz der IAD; pp. 363-366. Wien.
- Kottelat M. 1997. European freshwater fishes. *Biologia* 52(Suppl 5):1–271.
- Kottelat M., Freyhof J. 2007. Handbook of European freshwater fishes. Cornol (Switzerland): Publications Kottelat.
- Kováč V., Siryová S. 2005. Ontogenetic variability in external morphology of bighead goby *Neogobius kessleri* from the middle Danube, Slovakia. *Journal of Applied Ichthyology* 21(4): 312-315.
- Kovačev N., Bošnjak T., urednici. 2012. Park prirode "Jegrička" predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićeno područje II kategorije. *Studija zaštite*. Novi Sad (Srbija): Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
- Kovačević B., urednik. 2000. Specijalni rezervat "Gornje Podunavlje". Predlog za stavljanje pod zaštitu kao Prirodnog dobra od izuzetnog značaja. Novi Sad (Srbija): Zavod za zaštitu prirode Srbije, odeljenje Novi Sad.
- Kristjansson B.K., Skulason S., Snorrason S.S., Noakes D.L. 2012. Fine-scale parallel patterns in diversity of small benthic Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in relation to the ecology of lava/groundwater habitats. *Ecology and Evolution*, 2: 1099–1112.
- Kumar S., Stecher G., Tamura K. 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*. msw054. doi:10.1093/molbev/msw054

- Laisko R., Liouisia V., Vrazeli P., Papiggioti O., Chortatou R., Abatzopoulos T.J., Leonardos I.D. 2010. Biological traits of rare males in the population of *Carassius gibelio* (Actinopterygii: Cyprinidae) from Lake Pamvotis (north-west Greece). *Journal of Fish Biology*, 77 (3), 570–584.
- Laliberte D., Tremblay G. 2002. Metal, PCB, Dioxin and Furan Concentration in Fish and Sediment from Four Lakes in Northern Quebec in 2001. *Ministere de l'Environnement, Quebec, Direction du suivi de l'etat de l'environnement, Envirodoq no ENV/2002/0203, Report no. QE/129, p. 38.*
- Lambertini M., Leapa J., Marton-Lefevre J., Mittermeier R.A., Rose M., Robinson J.G., Stuart S.N., Waldman B., Genovesi P. 2011. Invasives: A major conservation threat. *Science* 333: 404-405.
- Lauder G. V. 1983. Food capture. In P. W. Webb and D. W. (eds.), *Fish biomechanics*, pp. 280–311. Praeger Publishers, New York.
- Lazarević P., Stojanović V., Jelić I., Perić R., Krsteski B., Ajtić R., Sekulić N., Branković S., Sekulić G., Bjedov V. 2012. Preliminarni spisak invazivnih vrsta u Republici Srbiji sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim aktima. *Časopis Zavoda za zaštitu prirode Srbije, Beograd* 2012:5-33.
- Lenhardt M., Marković G., Gačić Z. 2009. Decline in the Index of Biotic Integrity of the Fish Assemblage as a Response to Reservoir Aging. *Water Resource Management* 23, 1713-1723.
- Lenhardt M., Markovic G., Hegedis A., Maletin S., Cirkovic M., Markovic Z. 2010. Non-native and translocated fish species in Serbia and their impact on the native ichthyofauna. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 407-421
- Lenhardt M., Marković G., Hegedis A., Maletin S., Ćirković M., Marković Z. 2011. Non-native and translocated fish species in Serbia and their impact on the native ichthyofauna. *Review of Fish Biology and Fisheries* 21: 407-421.
- Leonardos I.D., Kagalou I., Tsoumani M., Economidis P.S. 2008a. Fish fauna in a protected Greek lake: biodiversity, introduced fish species over a 80-year period and their impacts on the ecosystem. *Ecol Freshw Fish* 17:165–173.
- Leonardos I.D., Tsikliras A.C., Eleftheriou V., Cladas Y., Kagalou I., Chortatou R., Papigioti O. 2008. Life history characteristics of an invasive cyprinid fish (*C. gibelio*) in Chimaditis Lake (northern Greece). *J Appl Ichthyol* 24:213–217.
- Leonardos I. D., Kagalou I., Tsoumani M., Economidis P. S. 2008. Fish fauna in a protected Greek lake: biodiversity, introduced fishspecies over an 80-year period and their impacts on the ecosystem. *Ecology of Freshwater Fish*. 17(1): 165–173. DOI: 10.1111/j.1600-0633.2007.00268.x
- Leonardos I., Kokkinidou A., Katharios P., Harisis C. 2001. Age growth and mortality of gibel carp (*C. gibelio*, Bloch, 1873) in Lake Lysimachia (W. Greece). In: *Proceedings of the 9th pan-hellenic conference of ichthyologists, Mesolongi*, pp 137–140.
- Leonardos I.D, Tsikliras A.C, Eleftheriou V, Cladas Y, Kagalou I, Chortatou R, Papigioti O. 2008b. Life history characteristics of an invasive cyprinid fish (*C. gibelio*) in Chimaditis Lake (northern Greece). *J Appl Ichthyol* 24:213–217.
- Licandeo R., Cerna F.T. 2007. Geographic variation in life-history traits of the endemic kite skate *Dipturus chilensis* (Batoidea: Rajidae), along its distribution in the fjords and channels of southern Chile. *J. Fish Biol.* 71, 421–440.
- Liu K.M., Lin C.P., Joung S.J., Wang S.B. 2011. Age and growth estimates fo the blacktip sawtail catshark *Galeus sauteri* in northeastern waters of Taiwan. *Zoological Studies*, 50: 284-295.

- Liu, K., M. Lee, S. Joung, Y. Chang. 2009. Age and growth estimates of the sharptailmola, *Masturus lanceolatus*, in waters of eastern Taiwan. *Fisheries Research*, 95/2-3: 154-160. doi:10.1016/j.fishres.2008.08.013
- Loström S., Evans J.P., Grierson P.F., Collin S.P., Davies P.M., Kelley J.L. 2015. Linking stream ecology with morphological variability in a native freshwater fish from semi-arid Australia. *Ecology and Evolution*, 5: 3272-3287.
- Lujčić J., Kostić D., Bjelić-Čabrilo O., Popović E., Miljanović B., Marinović Z., Marković G. 2013. Ichthyofauna Composition and Population Parameters of Fish Species from the Special Nature Reserve "Koviljsko-Petrovaradinski Rit" (Vojvodina, Serbia). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13; pp. 665-673. ISSN 1303-2712.
- Lushchak V.I., Lushchak L.P., Mota A.A., Hermes-Lima M. 2001. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *C. auratus* during anoxia and reoxygenation. *Am J Physiol Reg I* 280:R100–R107
- Lusková V., Halačka K., Vetešník L., Lusk S. 2004. Changes of ploidy and sexuality status of „*Carassius auratus*” populations in the drainage area of the River Dyje (Czech Republic). *Ecohydrol Hydrobiol.*;4:165–71.
- Lusková V., Lusk S., Halačka K., Vetešník L. 2010. *Carassius auratus gibelio* – the most successful invasive fish in waters of the Czech republic. *Российский Журнал Биологических Инвазий* № 2, 24-28.
- Maletin i sar. 1996. Srednjeročni program unapredjenja ribarstva na ribarskom području Bačka za period 1995-2000.
- Maletin S. 1988a. Acclimatization of the introduced fish species in the water ecosystems in Vojvodina. -Ph. D. diss. University of Novi Sad, pp. 361 (res in engl.).
- Maletin S. 1988b. The large-mouthed black bass (*Micropterus salmoides* Lacepede, 1802, Pisces-Centrarchidae) presence in the open waters of Vojvodina. -Proc. of "Minerali, stijene, izumrli i živi svijet Bosne i Hercegovine", Sarajevo, 537-539 (res. in engl.).
- Maletin S., Kostić D. 1988. Der Fischbestand des Donaustroms und Ueberschwemmungsgebietes in der Vojvodina (Jugoslavien). *Konstanza-Mammaia: 27. Arbeitstagung der IAD*, 167-172.
- Maletin S., Budakov Lj. 1986. Growth and fecundity of *Carassius auratus gibelio* Bloch, 1783 in Mrtva Tisza. -*Tiscia* (Szeged), XXI: 95-109.
- Maletin S., Budakov Lj. 1983. Growth of some fish species in the lakes of Palic and Ludos. -Proc. of "Zaštita voda '83", Opatija, 3: 109-113 (res in engl.)
- Maletin S., Budakov Lj., Kostić D. 1985. Growth of prussian carp as evaluation of water quality. -Proc. of "Zaštita voda '85", Sarajevo, 1: 94-97 (res. in engl.).
- Maletin S., Ćirković M., Đukić M. 2001. Produkcija riba u kanalima akumulacijama Hidrosistema DTD. *Savremena poljoprivreda*, 50, 3-4, 235-241, Novi Sad.
- Maletin S., Djukić N., Kostić D. 1990. Analyse der Fischbestände in der Donau und in der Theiss in der Vojvodina und ihr gegenseitiger Einfluss. -*Limnologische Berichte der 28. Tagung der IAD*, Wiss. Kurzfref., Varna, 323-330.
- Maletin S., Djukić N., Kostić D. 1992a. Fecundity of phytophil fish species in "Backwater Tisza" (Biser Island). -*Tiscia* 26: 13-24.
- Maletin S., Djukić N., Kostić D., Miljanović B. 1992b. Stanje kvaliteta vode kanala Vrbas-Bezdan na osnovu strukture ribljeg naselja. -"Zaštita voda '92", 34-38 (in serb.).

- Maletin S., Djukić N., Miljanović B., Ivanc A. 1998. Ihtiofauna reke Tamiš. Naš Tamiš. Urednici: Marković, S., Svirčev, Z. Univerzitet u Novom Sadu. Prirodno-matematički fakultet. Institut za geografiju; pp.133-140 Novi Sad.
- Maletin S., Djukić N., Miljanović B., Ivanc A., Pujin V. 1997a. Composition of fish communities in the Danube river and its floodplaine nearby Novi Sad (1228-1278 rkm). 32. Konferenz der IAD. Wissenschaftliche Referate; pp. 353-357. Wien.
- Maletin S., Djukić N., Miljanović B., Ivanc A., Pujin V. 1997b. Ocena kvaliteta vode Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav na osnovu sastava i strukture ribljeg naselja. Konferencija o aktuelnim problemima zaštite voda; pp.367-372. Sombor.
- Maletin S., Djukić N., Miljanović B., Teodorović I. 1999. Uloga naselja riba u održavanju stabilnosti ekosistema jezera "Provala". Zbornik radova Ekološka istina; pp. 162-165. Zaječar.
- Maletin S., Đukić N. 1991. *Coregonus peled* (Gmelin, 1788; Osteichthyes, Coregonidae) – a new species in the ichthyofauna of the Yugoslav part of the Danube. Proceedings of Nature Sciences Matica Srpska Novi Sad 80: 157-163.
- Maletin S., Đukić N., Miljanović B., Ivanc A. 1997. Status of allochthonous ichthyofauna of Panonian Basin in Yugoslavia. *Ekologija* 32(2): 87-98.
- Maletin S., Đukić N., Stojanović S., Ivanc A., Žderić M., Matić A., Andrić B., Radak LJ., Miljanović B. 1994. Melliorative effect of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in controlling aquatic macrophytes in the Tisza valley. -*Tiscia* 28: 41-45.
- Maletin S., Grginčević M., Kostić D. 1987. The fecundity of prussian carp (*Carassius auratus gibelio*) from the Palic lake and the Obedska Bara swamp. -*Matica srpska, Dept. of Nat. Sci., Proc. of Nat. Sci., Novi Sad*, 73: 47-59 (res. in engl.).
- Maletin S., Kostić D. 1989. Fish growth rate in the Tisa Dead Arm (Curug-Biserno Ostrvo) depending on type of nutrition. -*Tiscia (Szeged)*, XXIV: 87-93.
- Maletin S., Miljanović B., Djukić N., Šipoš Š. 2001. Zajednica riba kao indikator kvaliteta vode Koviljskog rita. 30. Konferencija o aktuelnim problemima zaštite voda; pp. 237-242. Arandjelovac.
- Maletin S., Neatnica G. 2006. Elaborat o kvalitetu voda i stanju ribljeg fonda u kanalima Hidrosistema DTD. Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo i JVP „Vode Vojvodine“, Novi Sad, 1-44.
- Maletin S., Neatnica G., Jojić B. 2003b. Program unapređenja ribarstva na delu ribarskog područja „Bačka“ za period 2003-2007. godine. Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo i JVP „Vode Vojvodine“, Novi Sad, 1-87.
- Maletin S., Neatnica G., Jojić B. 2003c. Program unapređenja ribarstva na delu ribarskog područja „Tamiš“ za period 2003-2007. godine. Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo i JVP „Vode Vojvodine“, Novi Sad, 1-64.
- Maletin S., Neatnica G., Jojić B. 2004. Elaborat o kvalitetu voda i stanju ribljeg fonda u kanalima Hidrosistema DTD. Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo i JVP „Vode Vojvodine“, Novi Sad, 1-14.
- Maletin S., Pujin V., Budakov Lj. 1981. Variation of morphological characters of *Carassius auratus gibelio* Bloch 1783 (Cyprinidae) in Vojvodina province waters.-*Biosystematics Beograd*, 7 (2): 181-188 (res in engl.).
- Maletin S., Pujin V., Budakov Lj., Mučenski V. 1979. Fruchtbarkeit von *Carassius auratus gibelio* Bloch in der Donau und einigen ihren Nebenflüssen in der SAP Vojvodina. -XXI Arbeitstagung der IAD, Novi Sad, Wiss. Kurzf. 234-242.

- Maletin S., Pujin V., Djukić N. 1990. Fish growth as an indicator of some stagnant waters eutrophication rate in Vojvodina. -Arch. Biol Sci. Beograd, 42 (3-4): 237-246.
- Maletin S., Pujin V., Djukić N., Kostić D. 1991. Nutrition and growth of prussian carp (*Carassius auratus gibelio Bloch*) in Kovilj-Gardinovci swamp. -Ekology, Beograd, 26, (1): 25-35 (res in engl.).
- Maletin S., Stojanović S., Mišković M. 2006. Monitoring istraživanja biomeliorativne uloge belog amura u kontroli razvoja vodene vegetacije osnovne kanalske mreže Hidrosistema DTD u Bačkoj. Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo i JVP „Vode Vojvodine“, Novi Sad, 1.
- Maletin S., Stojanović S., Mišković M. 2007. Monitoring program - Suzbijanje prekomernog razvoja vodenih vegetacija Osnovne kanalske mreže Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav u Bačkoj belim amurom. Novi Sad (Srbija): Poljoprivredni fakultet, Departman za stočarstvo.
- Marcil J., Swain D. P., Hutchings J. A. 2006. Genetic and environmental components of phenotypic variation in body shape among populations of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Biological Journal of the Linnean Society 88: 351–365.
- Marković G. 2011. Inrodukovane riblje vrste akumulacija centralne Srbije. V međunarodna konferencija “Akvakultura i ribarstvo”. Zbornik predavanja. 285-293.
- Marković G., Ivić B. 2009. Riblja zajednica akumulacije Čelije. Voda i sanitarnatehnika 39(3), 19-22.
- Marković G., Lenhardt M. 2009. Uporedna analiza struktura ihtiofauna dve akumulacije Centralne Srbije.IV Međunarodna konferencija “Ribarstvo”, Poljoprivredni fakultet Zemun, Institut “Nofima-Marin”Norveška, Institut “Haki” Mađarska, 255-261.
- Marković G., Simović S., Veljović P. 1993. Ichthyofauna of the “Međuvršje” Reservoir. Acta Biologica Iugoslavica: Ichthyologia, 25 (1): 35-40.
- Marković G., Biočanin R. 2006. Natural values of the Ovcar-Kablar Gorge (Western Serbia). Conference Natural Resources – Basis of Tourism, Beograd, pp. 146.
- Marković G., Marinović Z., Lujić J. 2015. Recent status of *Neogobius* sp. (Gobiidae) in Serbian watercourses. Acta Oecologica Carpatica, 8, 165-172.
- Martinović -Vitanović V., Kalafatić V. 1990. Classification of some reservoirs in Serbia (SFR Yugoslavia) based on analyses of plankton species as indicators of trofic conditions. Arch.Hydrobiol.Beih.Ergebn. Limnol.33, 831-837.
- Martinović-Vitanović V., Ristić N., Ostojić S., Raković M., Kalafatić V. 2009. Prva limnološka istraživanja kvaliteta vode Srebrnog jezera u Srbiji. Vodoprivreda 0350-0519, 41, 237-239.
- McWilliam H, Li W, Uludag M, Squizzato S, Park YM, Buso N, Cowley AP, Lopez R. 2013. Analysis Tool Web Services from the EMBL-EBI. Nucleic acids research 2013 Jul;41(Web Server issue):W597-600. doi:10.1093/nar/gkt376.
- Mezhzherin S. V., Lisetskii L.I. 2004. The genetic structure of European goldfish *Carassius auratus*. lato (Cyprinidae) in Ukrainian water bodies: An analysis of bisexual samples. Biology Bulletin, 31:574-581.
- Mikuska J. 1981. The vertebrate fauna of the “Kopacki rit” reservation and surroundings in Baranja. -Biosystematics Beograd 7 (1): 67-80 (res in engl.).
- Minchin D., Olenin S., Daunys D., Panov V. 2007. Pathways of aquatic alien species in Europe: modes, trends and future spread. Deliverable 1.3.1 to ALARM project, 17 p.
- Miranda R., Escala M.C. 2005. Morphometrical comparison of cleithra, opercular and pharyngeal bones of autochthonous Leuciscinae (Cyprinidae) of Spain. Folia Zoologica, 54: 173–188.



- Mitteroeckera P., Gunz P., Windhager S., Schaefer K. 2013. A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix*. 24 (1): 59–66. doi:10.4404/hystrix-24.1-6369.
- Naspleda J., Visa-Gispert A., Fox M.G., Zamora L., Ruiz-Navarro A. 2012. Morphological variation between non-native lake and stream-dwelling pumpkinseed *Lepomis gibbosus* in the Iberian Peninsula. *Journal of Fish Biology*, 81: 1915-1935.
- Nathanailides C., Perdikaris C., Gouva E., Paschos I. 2003. Gibel carp (*C. auratus gibelio*) growth under increased ammonia concentration. In: Proceedings of the 11th panhellenic conference of ichthyologists, Chania, pp 178–181.
- Neer J.A., Thompson B.A. 2005. Life history of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of Mexico, with comments on geographic variability in life-history traits. *Environ. Biol. Fish.* 73, 321–331.
- Nguyen V. H., Ngo V. 2001. [Freshwater fishes of Vietnam. Volume I. Family Cyprinidae]. Agriculture Publishing House, Hanoi. 622 pp. [in Vietnamese].
- Nilsson P. A., Bro˚nmark C., Pettersson L. B. 1995. Benefits of a predator-induced morphology in crucian carp. *Oecologia* 104, 291–296.
- Occhipinti-Ambrogi A., Galil B.S. 2004. A uniform terminology on bioinvasions: a chimera or an operative tool? *Marine Pollution Bulletin* 49: 688-694.
- Oezuluğ M., Meric N., Freyhof J. 2004. The distribution of *C. gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei: Cyprinidae) in Thrace (Turkey). *Zool Middle East* 31:63–66.
- Ojima V., Hayashi M., Ueno K. 1975. Triploidy appeared in the back-cross offspring from funa-carp crossing. *Proceedings of Japan Academy of Sciences* 51, 702–706.
- Oliveira R.F., Almada V.C. 1995. Sexual dimorphism and allometry of external morphology in *Oreochromis mossambicus*. *Journal of Fish Biology*, 46: 1055–1064.
- Ostojić A. 2000. Contribution to knowledge on the zooplankton of Serbia – Faunistic composition in the Gruža reservoir. *Arch.Biol.Sci.*, 52(1), 47-52.
- Ostojić A., Ćurčić S., Čomić Lj., Topuzović M. 2007. Effects of anthropogenic influences on the trophic status of two water supply reservoirs in Serbia. *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 12(3), 175-185.
- Ostojić A., Ćurčić S., Čomić Lj., Topuzović M. 2005. Estimation of the Eutrophication Process in the Gruža Reservoir (Serbia and Montenegro). *Acta hydrochim.hydrobiol.*33 (6) 1-9.
- Ozcan G. 2007. Distribution of non-indigenous fish species, Prussian carp *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in the Turkish freshwater systems. *Pak J Biol Sci* 10:4241–4245.
- Özuluğ M. 1999. A taxonomic study on the fish in the basin of Büyükçekmece Dam Lake. *Turkish Journal of Zoology*, 23:439-45.
- Özuluğ M., Meriç N., Freyhof J. 2004. The distribution of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei: Cyprinidae) in Thrace (Turkey). *Zoology in the Middle East*, 31: 63-66.
- Páez D.J, Hedger R, Bernatchez L, Dodson J.J. 2008. The morphological plastic response to water current velocity varies with age and sexual state in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshw. Biol.*;53:1544–1554. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2008.01989.x
- Pandian T. J., Koteeswaran R. 1998. Ploidy induction and sex control in fish. *Hydrobiologia* 384, 167–243.

- Panov V.E., Alexandrov B., Arbaciauskas K., Binimelis R., Copp G.H., Grabowski M., Lucy F., Leuven R.S.E.W., Nehring S., Paunovic M., Semenchenko V., Son M.O. 2009. Assessing the Risks of Aquatic Species Invasions via European Inland Waterways: From Concepts to Environmental Indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management* 5(1): 110-126.
- Panjковиć B., Sabadoš K., Stojšić B. 2005. Invazivne biljne vrste na zaštićenim prirodnim dobrima u Vojvodini. 8 Simpozijum o flori jugoistočne Srbije i susednih područja, Niš.
- Panjковиć B., Stojšić V., Delić J., Kovačević B., Stojnić N., Budakov Lj., Branković D., Habijan-Mikeš V., Sekulić N., Marinčić S., Korać J., Pil N. 2004. Zaštićena prirodna dobra duž Dunava u Srbiji. Beograd: Zavod za zaštitu prirode Srbije, Kompakt disk.
- Parsons K.J., Robinson B.W. 2007. Foraging performance of diet-induced morphotypes in pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*) favours resource polymorphism. *Journal of Evolutionary Biology*, 20: 673-684.
- Paschos I., Nathanailides K., Samara E., Gouva E., Tsoumani M. 2001. Presence of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) in Lake Pamvotis in Greece: spawning behaviour characteristics and prospects for controlling the population. In: *Proceedings of Panellenic Congress of Ichthyologists*, Chania, 18–20 Oct., 2001. Praktika, Athens, pp. 245–248.
- Paszowski C.A., Tonn W.M., Holopainen I.J. 1989. An experimental study of body size and food size relations in crucian carp, *Carassius carassius*. *Environmental Biology of Fishes*, 24: 275-286.
- Perdikaris C., Ergolavou A., Gouva E., Nathanailides C., Chantzaropoulos A., Paschos I. 2012. *Carassius gibelio* in Greece: the dominant naturalized invader of freshwaters. *Rev Fish Biol Fisheries* 22:17–27 DOI 10.1007/s11160-011-9216-8.
- Piria M., Šprem N., Jakovlić I., Tomljanović T., Matulić D., Treer T., Ančić I., Safner R. 2011. First record of round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the Sava river, Croatia. *Aquatic Invasions* 6(1): 153-157.
- Plančić J. 1967. Srebrni karaš – *Carassius auratus gibelio* nova vrsta naše ihtiofaune. *Ribarstvo Jugoslavije* (22).
- Pojoga I. 1977. *Piscicultura*. Editura Ceres, Bucuresti. 357 pp.
- Poléo A. B. S., Oxnevad S. A., Ostbye K., Heibo E., Andersen R. A., Vollestad L.A. 1995. Body morphology of crucian carp *Carassius carassius* in lakes with or without piscivorous fish. *Ecography* 18, 225–229.
- Popović E., Vučković M., Radulović S., Pajević S., Kostić D., Bjelić-Čabrilo O., Miljanović B. 2000. Dominant plant and animal species in aquatic biotopes of Koviljski rit marsh area (Voivodina, Yugoslavia). *Ecology of River Valleys*. Tiscia monograph series; pp. 197-201. Szeged.
- Popović E., Kostić D. 2002. Age and sex structure of the species *Carassius auratus gibelio* Bloch, 1783 from the aquatic ecosystems of Vojvodina (Yu). *International association for Danube research of the international association of theoretical and applied limnology*. *Limnological reports* Vol. 34; pp. 499-503. Tulcea Romania.
- Popović E., Kostić D., Bjelić-Čabrilo O., Miljanović B. 2006. Studija „Monitoring biodiverziteta riba, vodozemaca i ptica u Specijalnom rezervatu prirode Koviljsko-Petrovaradinski rit“. Prirodno-matematički fakultet. Departman za biologiju i ekologiju.
- Popović E., Kostić D., Bjelić-Čabrilo O., Miljanović B. 2007. Studija „Praćenje uticaja biološkog tretmana larvi komaraca na biodiverzitet u trećoj zoni zaštite u Specijalnom rezervatu prirode Koviljsko-Petrovaradinski rit i u Specijalnom rezervatu prirode Stari Begej-Carska bara. Prirodno-matematički fakultet. Departman za biologiju i ekologiju.

- Popović E., Kostić D., Bjelić-Čabrilo O., Miljanović B. 2008. Studija „Monitoring biodiverziteta (riba, vodozemaca i ptica) u Specijalnim rezervatima prirode Koviljsko-Petrovaradinski rit i Stari Begej-Carska bara. Prirodno-matematički fakultet. Departman za biologiju i ekologiju.
- Poulet N., Reyjol Y., Collier H., Lek S. 2005. Does fish scale morphology allow the identification of populations at a local scale? A case study for rostrum dace *Leuciscus leuciscus burdigalensis* in River Viaur (SW France). *Aquat. Sci.* 67 (2005) 122–127.
- Pujin V., Budakov Lj. 1979. Tempo of growth of carp (*Cyprinus carpio* L.), the crucian carp (*Carassius carassius* L.) and the prussian carp (*Carassius auratus Bloch*) in the lake Ludos. -Proc. of Second. congress of ecologists of Yugoslavia, Zadar-Plitvice, II: 1607-1620 (res in engl.).
- Pujin V., Maletin S. 1987. Diet of prussian carp (*Carassius auratus gibelio Bloch*) in the Carska Bara. -Tiscia (Szeged) : 93-98.
- Pujin V., Marko J., Božidarević D., Ratajac R., Djukić N., Gajin S., Gantar M., Matavulj M., Jovanović B., Maletin S., Jovanović R., Kostić D., Obreht Z. 1987. Osnove plana unapredjenja i korišćenja ribarskog područja Tamiš I za period 1986-1990.
- Pujin V., Ratajac R., Djukić N., Maletin S., Rajković D., Kostić D. 1990. The dynamics and composition of zooplankton and benthic fauna in the DTD canal system as a factor which influences the growth of certain fish species. -Vode Vojvodine (Novi Sad) 19: 71-83 (res. in engl.).
- Pujin V., Ratajac R., Djukić N., Rajković D., Maletin S., Kostić D. 1988. Contribution to the limnologic research of some protected water ecosystems in Vojvodina. -Rev. Res. Fac. Sc. Univ. Novi Sad, Biol. Ser., 18: 49-63 (res. in engl.).
- Purdom C. E. 1984. Atypical modes of reproduction in fish. In *Oxford Reviews of Reproductive Biology*, Vol. 6 (Clarke, J. R., ed.), pp. 303–340. Oxford: Oxford University Press.
- Rakaj N., Flloko A. 1995. Conservation status of freshwater fish of Albania. *Biol Conserv* 72:195–199.
- Ristić M. 1968. Pitanje unosenja amurskog kompleksa biljojedih riba u vode i ribnjake Jugoslavije. -*Rib. Jug. XXIII* (1): 6-10 (in serb.).
- Ristić M. 1977. Ribe i ribolov. Beograd (Srbija): Nolit.
- Robinson B.W., Wilson D.S. 1996. Genetic variation and phenotypic plasticity in a trophically polymorphic population of pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*). *Evolutionary Ecology*, 10: 631–652.
- Robinson B.W., Wilson D.S., Margosian A.S. 2000. A pluralistic analysis of character release in pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*). *Ecology*, 81: 2799– 2812.
- Rohlf F. J. 1999. Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *J. Classif.* 16: 197–223.
- Rohlf F.J., Slice D.E. 1990. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst. Zool.* 39: 40–59.
- Rohlf F. J. 1990. Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21: 299-316.
- Rohlf F.J. 2000. Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. *Am. J. Phys. Anthropol. Supp.* 111: 463–478.
- Rohlf F.J., Marcus L.F. 1993. A revolution in morphometrics. *Trends Ecol. Evol.* 8: 129–132.
- Rohlf F.J. 2005. TpsDig program, version 2.04. Stony Brook, NY: Department of Ecology & Evolution, SUNY.

- Rosenberg D.M., Resh V.H. (eds.) 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman and Hall, New York.
- Rylkova K., Kalous L. 2012. Genetic diversity in the genus *Carassius* (Teleostei: Cyprinidae) in the Czech Republic. Acta. Soc. Zool. Bohem. 77: 73-79.
- Rylkova K., Kalous L. 2013. Genetic diversity in the genus *Carassius* (Teleostei: Cyprinidae) in the Czech Republic. Acta Soc. Zool. bohem. 77: 73-79.
- Rylkova K., Kalous L., Bohlen J., Lamatsch D., Petrtyl M. 2013. Phylogeny and biogeographic history of the cyprinid fish genus *Carassius* (Teleostei: Cyprinidae) with focus on natural and anthropogenic arrivals in Europe. Aquaculture, 380-383: 13-20.
- Sabadoš K., urednik. 2004. Specijalni rezervat prirode "Ludaško jezero". Stručnodokumentaciona osnova za reviziju. Novi Sad (Srbija): Zavod za zaštitu prirode Srbije.
- Sala O.E, Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., Wal D.H. 2000. Biodiversity – Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287(5459): 1770-1774.
- Sari M.H., Balik S., Ustaoglu M.R., İlhan A. 2008. Population Structure, growth and mortality of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in Buldan Dam Lake. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 8: 25-29.
- Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, 9: 671-675. DOI: 10.1038/nmeth.2089
- Scribner K.T., Page K.S., Bartron M.L. 2000. Hybridization in freshwater fishes: a review of case studies and cytonuclear methods of biological inference. Rev. Fish Biol. Fish. 10: 293–323.
- Sedat V.Y., Mangit F., Emiroğlu Ö., Yeğen V., Uysal R., Ünlü E., Alp A., Buhan E., Yıldırım T., Zengin M. 2014. Distribution of Invasive *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei: Cyprinidae) in Turkey, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 14: 581-590.
- Sekulić N. 2007. Park prirode "Mrtva Tisa" kod Čuruga – značajno prirodno dobro. Zavod za zaštitu prirode Srbije. Studija zaštite; pp. 34-41.
- Sekulić N. 2008. Park prirode "Beljanska bara" – značajno prirodno dobro. Zavod za zaštitu prirode Srbije. Studija zaštite; pp. 33-37.
- Sekulić N. 2010. Specijalni rezervat prirode "Carska bara". Predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićenog područja I kategorije. Zavod za zaštitu prirode Srbije. Studija zaštite; pp. 59-66.
- Shumka S., Graždani S., Cake A., Mali S. 2008. Fishery of some tributaries and reservoirs and zooplankton at the drini catchment: the needs of better conception of the monitoring practices at transboundary water bodies. NatMontenegr Podgorica 8: 41–50
- Sih A. 1992. Prey uncertainty and the balancing of antipredator and feeding needs. The American Naturalist 139, 1052–1069.
- Simić V., Simić S., Petrović A., Šorić V., Paunović M., Dimitrijević V. 2006. Biodiverzitet akvatičnih ekosistema Srbije i ex situ zaštita „BAES ex situ“ [Internet]. Kragujevac (Srbija): Institut za biologiju i ekologiju; [citirano 29.8.2012]; Dostupno na: <http://baes.pmf.kg.ac.yu>
- Simonović P. 2009. Invazija riba. Flogiston 17: 43-64

- Simonović P., Paunović M., Popović S. 2001. Morphology, feeding and reproduction of the round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas), in the Danube River basin, Yugoslavia. *Journal of Great Lakes Research* 27(3): 281- 289.
- Simonović P. 2001. Ribe Srbije. NNK Internacional, Zavod za zaštitu prirode Srbije, Biološki fakultet, Beograd, pp.141-242.(in Serbian).
- Simonović P.D., Nikolić V.P. 1996. Freshwater fish of Serbia: an annotated check list with some faunistic and zoogeographical considerations. *Bios (Macedonia, Greece)* 4:137-156.
- Simović S. 2001. Ekologija i cenotički odnosi vrsta *Rutilus rutilus* i *Carassius auratus gibelio* Bloch u akumulacijama Međuvršje i Gruža. Doktorska disertacija, Biološki fakultet Beograd, pp.149.(in Serbian).
- Simović S., Marković G. 2005. Autohtone i alohtone vrste u zajednici riba u akumulacionom jezeru Gruža. Monografija: Akumulaciono jezero Gruža (Urednici Čomić, Lj. i Ostojić, A.), Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, str. 137-151.
- Simović S., Marković G. 1996. The ichthyofauna of the Gruža reservoir. *Arch.Biol.Sci.,Belgrade*, 48 (3-4), 27P-28P.
- Slavík O., Bartoš L. 2004. What are the reasons for the Prussian carp expansion in the upper Elbe river, Czech Republic? *J Fish Biol* 65:240–253.
- Spasojević M., Marković G., Rafailović L., Ribić-Zelenović L. 2005. Basic physico-chemical parameters of the Zapadna Morava river quality in the Ovcar-Kablar gorge area. *Acta Agriculturae Serbica*, 19, 43-51.
- Stanley J., Sneed E. 1973. Artificial ginogenesis and its application in genetics and selective breeding of fish. In *The Early Life History of Fish* (Blaxter, J. H. S., ed.),pp. 527–536. Berlin: Springer-Verlag.
- Staszny Á., Ferincz Á., Weiperth A., Havas E., Urbányi B. Paulovits G. 2012. Scale-morphometry study to discriminate gibel carp (*Carassius gibelio*) populations in the Balaton-Catchment (Hungary). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 58 (Suppl.), pp. 19–27.
- Stefanov T. 2007. Fauna and distribution of fishes in Bulgaria. *Monogr Biol* 82:109–140.
- Szczerbowski J. A. 2001. *Carassius auratus*. In: Banarescu, P. and Paepke, H. J. (Eds.), *The Freshwater Fishes of Europe*, Vol. 5. Cyprinidae- 2, Part III *Carassius* to *Cyprinus*: Gasterosteidae. Germany, p 5-41.
- Szczerbowski J.A. 2002. Cyprinidae 2, part III: *Carassius* to *Cyprinus*. In: Banarescu, P.M., Paepke, H.J. (Eds.), *The Freshwater Fishes of Europe*. Aula, Wiesbaden (305 pp.).
- Szczerbowski J.A. 2002a. *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758). In: Banarescu, P.M., Paepke, H.-J. (Eds.), *The Freshwater Fishes of Europe*. Cyprinidae 2, Vol.5/III.AULA-Verlag, pp. 5–41.
- Šipoš Š., Lujić J., Kostić D. 2010. Ihtiofauna Tamiša. Studija fizičkog, hemijskog i biološkog statusa reke Tamiš. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet. pp. 88-97.
- Škorić S., Đikanović V. 2012. Monitoring akvatičnih hidrobionata na akumulaciji Međuvršje. Beograd (Srbija): Univerzitet u Beogradu, Institut za multidisciplinarna istraživanja.
- Šorić V. 1996. Ihtiofauna reke Gruže, pritoke Zapadne Morave (Dunavski sliv) I.Reproduktivni potencijal vrsta *Leuciscus cephalus*, *Alburnus alburnus* i *Rutilus rutilus*. *Ichthyologia* 28(1), 1-14.
- Takada M., Tachihara K., Kon T., Yamamoto G., Ihuchi K., Miya M., Nishida M. 2010. Biogeography and evolution of the *Carassius auratus*-complex in East Asia. *BMC Evolutionary Biology*, 10: 7.
- Talevski T., Milosevic D., Maric D., Petrovic D., Talevska M., Talevska A. 2009. Anthropogenic influence on biodiversity of ichthyofauna and macrophyte vegetation from Lake Ohrid and Lake Skadar. *J Int Env Appl Sci* 4:317–324.

- Tarkan A.N., Gaygusuz Ö., Tarkan A.S., Gürsoy Ç., Acıpinar H. 2007. Interannual variability of fecundity and egg size of an invasive cyprinid, *Carassius gibelio*: effects of density-dependent and density-independent factors. *Journal of Freshwater Ecology*, 22(1): 11-17.
- Tarkan A.S., Copp G.H., Top N., Özdemir N., Önsoy B., Bilge G., Filiz H., Yapıcı S., Ekmekçi F.G., Kırankaya Ş.G., Emiroğlu Ö., Gaygusuz Ö., Gürsoy Gaygusuz Ç., Oymak A., Özcan G., Saç G. 2012. Are introduced gibel carp *Carassius gibelio* in Turkey more invasive in artificial than in natural waters? *Fisheries Management and Ecology*, 19(2):178-187.
- Tarkan A.S., Gursoy Gaygusuz C., Gaygusuz O., Acipinar H. 2007. Use of bone and otolith measures for size-estimation of fish in predator-prey studies. *Folia Zoologica*, 56: 328-336.
- Tomljanović T., Fabijanić N., Treer T., Matulić D., Piria M., Šprem N., Aničić I., Safner R. 2012. Influence of invasive fish species Prussian carp (*Carassius gibelio*) on Croatian ichthyocenose. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia (634–636).
- Tonn W. M., Magnuson J.J., Rask M., Toivonen J. 1990. Intercontinental comparison of small-lake fish assemblages: the balance between local and regional processes. *American Naturalist* 136:345-375.
- Tonn W., Holopainen I., Paszkowski C. 1994. Density-dependent effects and the regulation of crucian carp populations in single-species ponds. *Ecology*, 75(3), pp. 824-834.
- Toth B., Varkonyi E., Hidas A., Edvine Meleg E., Varadi L. 2005. Genetic analysis of offspring from intra- and interspecific crosses of *Carassius auratus gibelio* by chromosome and RAPD analysis. *Journal of Fish Biology*. 66, 784–79.
- Toth J. 1984. Fremde Faunaelemente in der Fischfauna des ungarischen Donauabschnittes. -24. Arbeitstagung der IAD, wiss. Kurzfref. I, Szentendre/Ungarn,199-202.
- Tsipas G., Tsiamis G.,Vidalis K., Bourtzis K. 2009. Genetic differentiation among Greek lake populations of *Carassius gibelio* and *Cyprinus carpio carpio*. *Genetica*, 136: 491-500.
- Tsoumani M., Liasko R., Moutsaki P., Kagalou I., Leonardos I. 2006. Length-weight relationships of an invasive cyprinid fish (*C. gibelio*) from 12 Greek lakes in relation to their trophic states. *J. Appl. Ichthyol.* 22:281–284.
- Vasić V., Đukić G., Janković D., Simonov N., Petrov B., Savić I. 1990-1991. Preliminarni spisak vrsta za crvenu listu kičmenjaka Srbije. *Zaštita prirode*, 43-44. Beograd.
- Veljović P., Đukić N., Grginčević M., Maletin S., Ratajac R., Đukić N., Kostić D. 1986. Ishrana nekih vrsta ciprinidnih riba u akumulaciji Međuvršje. II JKOV, Ljubljana, knj. 3; str. 1141-1148.
- Vetemaa M., Eschbaum R., Albert A., Saat T. 2005. Distribution, sex ratio and growth of *Carassius gibelio* (Bloch) in coastal and inland waters of Estonia (north-eastern Baltic Sea). *Journal of Applied Ichthyology*, 21 (4), 287–291.
- Vila-Gispert A., Fox M.G., Zamora L., Moreno-Amich R. 2007. Morphological variation in pumpkinseed *Lepomis gibbosus* introduced into Iberian lakes and reservoirs; adaptations to habitat type and diet? *Journal of Fish Biology*, 71: 163-181.
- Vrijenhoek R.C., Shank T., Lutz A.R. 1998. Gene flow and dispersal in deep sea hydrothermal vent animals. *Cah. Biol. Mar.* 39:363-366/main/media/downloads.
- Vučković M., Popović E., Pajević S., Matavulj M., Kostić D., Radulović S., Bjelić-Čabrilo O., Miljanović B. 2002. Floral-faunistic characteristics of the Begečka jama pond as the natural park in the vicinity of Novi Sad. *International association for Danube research of the international association of theoretical and applied limnology. Limnological reports Vol. 34;* pp. 887-892. Tulcea Romania.

- Vuković T., Ivanović B. 1971. Slatkovodne ribe Jugoslavije. Zemaljski muzej Bosne i Hercegovine. Sarajevo.
- Walker J. A., Ghalambor C. K., Griset O. L., Kenney D. M., Reznick D. N. 2005. Do faster starts increase the probability of evading predators? *Funct. Ecol.* 19, 808–815. (doi:10.1111/j.1365-2435.2005.01033.x)
- Welcomme R.L. 1988. International introductions of inland aquatic species. FAO Fisheries Technical Paper 294, 318 p.
- Wells R.J.D., Kohin S., Teo S.L.H., Snodgrass O.E., Uosaki K. 2013. Age and growth of North Pacific albacore (*Thunnus alalunga*): implications for stock assessment. *Fish. Res.* 147, 55–62.
- Westbrooks R. 1998. Invasive Plants, Changing the Landscape of America: Fact book. Federal Interagency Committee for the Management of Noxious and Exotic Weeds (FICMNEW), Washington D.C., 109 p.
- Wiesner C. 2005. New records on non-indigenous gobies (*Neogobius* spp.) in the Austrian Danube. *Journal of Applied Ichthyology* 21: 324-327.
- Wiesner C., Spolwind R., Waidbacher H., Guttman S., Doblinger A. 2000. Erstnachweis der Schwatzmundgrundel *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in Österreich. *Österreichs Fischerei* 53: 330-331.
- Wolfram-Wais A., Wolfram D., Aner B., Mikschi E., Hain A. 1999. Feeding habits of two introduced fish species (*Lepomis gibbosus*, *Pseudorasbora parva*) in Neusiedler See (Austria) with special reference to chironomid larvae (Diptera: Chironomidae). *Hydrobiologia*, 408-409.
- Yamamoto G., Takada M., Iguchi K., Nishida M. 2010. Genetic constitution and phylogenetic relationships of Japanese crucian carps (*Carassius*). *Ichthyological Research*, 57: 215-222.
- Yang L., Yang S. T., Wei X. H., Gui J. F. 2001. Genetic diversity among different clones of the gynogenetic silver crucian carp, *Carassius auratus gibelio*, revealed by transferrin and isozyme markers. *Biochemical Genetics* 39, 213–225.
- Yavno S., Fox M.G. 2013. Morphological change and phenotypic plasticity in native and non-native pumpkinseed sunfish in response to sustained water velocities. *Journal of Evolutionary Biology*, 26: 2383-2395.
- Yi M.S., Li Y.Q., Liu J.D., Zhou L., Yu Q.X., Gui J.F. 2003. Molecular cytogenetic detection of paternal chromosome fragments in allogynogenetic gibel carp, *C. auratus gibelio* Bloch. *Chromosom Res* 11:665–671.
- Yilmaz M., Bostanci D., Yilmaz S., Polat N. 2007. Feeding dietary of prussian carp *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) inhabiting Egirdir lake (Isparta). *Turk. J. Aqua. Life*, 3: 230-239.
- Zhou L., Gui J.F. 2002. Karyotypic diversity in polyploid gibel carp, *C. auratus gibelio* Bloch. *Genetika* 115:223–232.
- Zhou L., Wang Y., Gui J.F. 2000. Genetic evidence for gonochoristic reproduction in gynogenetic silver crucian carp (*C. auratus gibelio* Bloch) as revealed by RAPD assays. *J Mol Evol* 51:498–506.
- Zhu H.P., Gui J.F. 2007. Identification of genome organization in the unusual allotetraploid from of *C. auratus gibelio*. *Aquaculture* 265:109–117.

## BIOGRAFIJA



Violeta Bolić Trivunović rođena je 26.03.1970. godine u Novom Sadu, gde je završila i srednje obrazovanje sa odličnim uspehom. Školske 1988/89. godine upisala je studije na Odseku za biologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu. Zvanje diplomiranog biologa stekla je u martu 1994. godine, odbranom diplomskog rada pod nazivom: "Prinos i kvalitet korena različitih linija šećerne repe u zavisnosti od anatomskih karakteristika lista" sa ocenom 10 na diplomskom ispitu i opštim uspehom 8,70 u toku studija. Magistarske studije je upisala školske 1994/95. godine na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu, na katedri za Mikrobiologiju. Magistarski rad pod nazivom „Mikrobiološke karakteristike otpadnih voda i čvrstog otpada industrije ulja sa aspekta zaštite okoline“ je odbranila 09.12.1997. sa ocenom 10 i stekla akademsko zvanje magistra bioloških nauka. Od 1999. godine radi u OŠ "Jovan Popović" u Novom Sadu kao profesor biologije.



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RDB

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: doktorska disertacija

VR

Autor: Violeta Bolić Trivunović

AU

Mentor: Desanka Kostić, Jelena Lujčić

MN

Naslov rada: Morfološka i genetička raznovrsnost vrsta *Carassius auratus* sa teritorije Vojvodine i peripanonske oblasti

NR

Jezik (i pismo) publikacije: Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: srpski / engleski

JI

Zemlja publikovanja: Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2016.

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: Novi Sad, Departman za biologiju i ekologiju, PMF, Trg Dositeja Obradovića 2

MA

Fizički opis rada: poglavlja (8); str. (135); tabela (31); grafikona (); slika (29); lit. navoda (348);

FO

Naučna oblast: Biologija / Ekologija

NO

Naučna disciplina: Zoologija,

ND

Ključne reči: kompleks *Carassius auratus*, morfološka varijabilnost, genetička varijabilnost, geometrijska morfometrija, multi-modelna analiza

KR

Univerzalna decimalna klasifikacija:

UDK

Čuva se: Biblioteka Dept. za biologiju i ekologiju, PMF, Novi Sad

ČU

Važna napomena: -

VN

Izvod:

Prema novijim istraživanjima, kompleks *Carassius auratus* čini najmanje pet vrsta roda *Carassius*: *Carassius carassius*, *Carassius auratus*, *Carassius langsdorffii*, *Carassius cuvieri* i *Carassius gibelio*. Vrste ovog roda su morfološki veoma slične i nemoguće ih je razlikovati na osnovu uobičajenih morfoloških karaktera, te su ranije sve determinisane kao *Carassius auratus gibelio* ili *Carassius gibelio*. Jedina vrsta koja se značajnije razlikuje je *Carassius carassius*. Smara se da su vrste ovog kompleksa unesene u Evropu iz Azije u 17.veku.

Najveći broj predstavnika kompleksa *C. auratus* je na teritoriji Evrope proteklih pedesetak godina determinisan je kao vrsta *Carassius gibelio* (*C. auratus gibelio*) (Bloch, 1783) (srebrni karaš ili babuška). S obzirom da su pripadnici ovog kompleksa registrovani u većini vodotokova Evrope, smatraju se najuspešnijom invazivnom grupom slatkovodnih riba. Zbog svojih bioloških odlika (brz rast, različiti vidovi razmnožavanja, izuzetna otpornost na nepovoljne uslove) ove vrste veoma brzo postaju kompetitivne autohtonij ihtiiofauni za hranu i stanište i neretko imaju izuzetno negativan uticaj na celokupan ekosistem koji nasele.

U ovoj disertaciji prvi put je izvršena identifikacija vrsta kompleksa *Carassius auratus* na teritoriji Vojvodine i peripanonske oblasti primenom specifičnih genetičkih markera (dela sekvence *cytb* gena). Primenom linearne i geometrijske morfometrije ispitivana je morfološka varijabilnost različitih morfoloških celina (celo telo, kosti glavenog skeleta, *cleithrum*-a i krljušti) jedinki unutar kompleksa *Carassius auratus* između različitih lokaliteta sa različitim ekološkim uslovima (prisustvo predatora i protok), dok je primenom savremenih statističkih i matematičkih metoda (multi-modelne analize) analizirana dinamika rasta recentnih, kao i ranoinvazivnih populacija.

Metaanalizom dostupnih podataka utvrđena je veoma široka zastupljenost populacija vrsta kompleksa *C. auratus* na teritoriji Srbije. Beležene populacije su uglavnom pokazivale srednju

do visoku zastupljenost (20-40%) u ukupnoj ihtiofauni uz uočljivo povećanje brojnosti u funkciji vremena. Na nekim lokalitetima se u nekoliko uzastopnih studija registruju veoma brojne populacije vrsta ovog kompleksa (40-100% u ukupnom ulovu).

Za potrebe molekularno-taksonomskih analiza i analiza morfološke varijabilnosti recentnih populacija uzorkovano je 280 jedinki u periodu 2012 – 2014. godine sa 14 različitih lokaliteta u Vojvodini i peripanonskoj oblasti. Sve jedinke u uzorku su prvo fotografisane za potrebe analiza linearne i geometrijske morfometrije, uzet je uzorak repnog peraja za dalje genetičke analize, a nakon toga su izvršena sva neophodna merenja morfometrijskih i merističkih karaktera radi analize varijabilnosti među populacijama.

Populaciono-genetičkim analizama sekvenci dela cytb gena utvrđeno je da su sve ispitivane jedinke pripadale vrsti *Carassius gibelio* I. Zbog biološkog stanja uzoraka, determinacija je bila moguća za samo 52 jedinki sa 11 lokaliteta te se ne bi smela isključiti mogućnost postojanja još nekih vrsta kompleksa *C. auratus*, kao što su *C. auratus* i *C. langsdorfi* koje su prema navodima drugih autora beležene na teritorijama susednih zemalja.

Primenom linearne i geometrijske morfometrijske analize ustanovljena je izražena fenotipska varijabilnost u obliku tela i odabranih elemenata skeletnog sistema između riba sa različitih lokaliteta. Utvrđeno je odsustvo polnog dimorfizma. Najveću varijabilnost od svih morfoloških parametara pokazala je vrednost za visinu tela, i veličinu glave, dok su kod kostiju najviše varirale vrednosti za os pharyngii na kojoj su ždrelni zubi - dentes pharyngii.

Prisustvo predatora i protok vode na ispitivanim lokalitetima su ispoljili uticaj na morfološku varijabilnost riba. Prisustvo predatora je uslovalo pojavu karakterističnog fenotipa riba sa visokim telom koje omogućava lakše izbegavanje predatora.

Za analizu morfološke varijabilnosti ranih invazivnih populacija vrsta kompleksa *C. auratus* korišćeni su podaci za 524 jedinke (prilikom izlova determinisane kao *C. auratus gibelio*) sa tri lokaliteta u Vojvodini iz perioda 1983 – 1985. godine. Lokaliteti su izabrani prema različitom načinu invazije vrsta kompleksa *C. auratus*. Analizama linearne morfometrije i modela rasta utvrđeno je da su se lokaliteti na kojima su bile zastupljene namerne antropogene introdukcije nepoznatog porekla odlikovali mnogo većom morfološkom varijabilnošću od lokaliteta u koje su jedinke dospele prirodnim putevima invazije izvećih vodotokova.

Analizama životne istorije i dinamike rasta na 395 jedinki vrsta kompleksa *C. auratus* (prilikom uzorkovanja determinisanih kao *C. gibelio*) kao invazivne grupe riba i 429 jedinki bodorke kao predstavnika autohtone ihtiofaune u periodu između 1991. i 1999. godine na akumulacijama Međuvršje i Gruža utvrđene su razlike između različitih tipova staništa. Nezavisno od vrste, utvrđeno je da jedinke koje žive u sporim i plitkim staništima su krupnije i dostižu veće asimptotske dužine od individua koje nastanjuju brže i uže vodotokove.

Ovaj rad je među prvim koji primenjuje multi-modelnu analizu u modelovanju rasta slatkovodnih riba. Rezultati su pokazali da se ova metoda može implementirati i na invazivne vrste riba kako bi se bolje procenio njihov uticaj na autohtonu faunu i eventualno razvile uspešnije strategije upravljanja i kontrole njihovih populacija

Datum prihvatanja teme od strane Senata Univerziteta: 24.03.2016.

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije: (navesti zvanje i organizaciju gde rade)

KO

Predsednik: dr Mihajla Đan, vanredni profesor, Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u NovomSadu, uža naučna oblast Genetika

Mentor: docent dr Desanka Kostić, Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u NovomSadu, uža naučna oblast Zoologija

Mentor: dr Jelena Lujčić, naučni saradnik, Institute of Aquaculture and Environmental Safety, SzentIstván University, Gödöllő, Mađarska,

Član: dr Goran Marković, vanredni profesor, Agronomski fakultet Čačak, Univerzitet u Kragujevcu, uža naučna oblast Biologija

Član: dr Branko Miljanović, vanredni profesor, Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, uža naučna oblast Hidrobiologija

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCES

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph type

DT

Type of record: Printed text

TR

Contents code: PhD Thesis

CC

Author: Violeta Bolić Trivunović

AU

Mentor: Desanka Kostić, Jelena Lujčić

MN

Title: Morphological and genetic diversity of species *Carassius auratus* complex from the territory of Vojvodina and peri-Pannonian region

TL

Language of text: Serbian

LT

Language of abstract: Serbian/English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2016.

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publ. Place: Novi Sad, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 2

PP

Physical description: chapters (8), pages (135), references (348), figures (29), tables (31), graphs (), additional lists ()

PD

Scientific field: Biology / Ecology

SF

Scientific discipline: Zoology

SD

Key words: complex *Carassius auratus*, morphological variability, genetic variability, geometric morphometric, multi-model analyses

KW

Universal decimal classification:

UDC

Holding data: The Library of Dept. of Biology and Ecology, Faculty of Sciences,  
HD University of Novi Sad, TrgDositejaObradovića 2, 21000Novi Sad,  
RS

Note:

N

Abstract:

AB

According to recent researches, *Carassius auratus* complex includes at least five *Carassius* species: *Carassius carassius*, *Carassius auratus*, *Carassius langsdorfii*, *Carassius cuvieri* and *Carassius gibelio*. These species are morphologically very similar and it is impossible to differentiate them on the basis of common morphological characters, so they all used to be classified as *Carassius auratus gibelio* or *Carassius gibelio*. The only species that is significantly different is *Carassius carassius*. It is believed that the species of this complex were brought to Europe from Asia in the 17th century.

Over the last fifty years most of the members of *C. auratus* complex in Europe were classified as *Carassius gibelio* (*C. auratus gibelio*) (Bloch, 1783) (Silver carp or Gibel carp). Since the members of this complex have been registered in most European watercourses, they are considered to be the most successful invasive group of freshwater fish. Thanks to their biological characteristics (fast growth, different types of reproduction, remarkable resistance to unfavourable conditions) these species quickly become competitive to indigenous ichthyofauna in respect of food and habitat and they often have very negative impact on the entire ecosystem they inhabit.

This dissertation identifies the species that belong to the *Carassius auratus* complex in Vojvodina and peri-Pannonian region using specific genetic markers (cytb gene sequence). Using linear and geometric morphometrics, we examined morphological variability of different morphological parts (whole body, skull bones, cleithrum and scales) of the members of *Carassius auratus* complex, in different localities with different ecological conditions (presence of predators and water flow). Modern statistics and mathematical methods (multi-model analysis) were used in the analysis of growth dynamics of both recent and early invasive populations.

Meta-analyses of the available data have shown that there is a wide population of *C. auratus* complex species in Serbia. The examined populations showed medium to high occurrence (20-40%) in the entire ichthyofauna, with evident growth over time. A few consecutive studies have registered very large populations of the species of this complex in several localities (40-100% of total catch).

For the purpose of molecular-taxonomic analyses and the analysis of morphological variability of recent populations, we used a sample of 280 units taken in 14 different localities in Vojvodina and peri-Pannonian region in the period from 2012 to 2014. All the units in the sample were first photographed for the purpose of linear and geometric morphometrics, samples of tail fins were taken for further genetic analysis, and then all the necessary evaluations of morphometric and meristic characters were made, as well as the analysis of variability among populations.

Population genetic analysis with the application of a genetic marker (cytb gene) has shown

that all the examined units belong to *Carassius gibelio* species. Due to the biological state of the samples, the determination was possible for only 52 units from 11 localities, so it not impossible that some other species of *C. auratus* complex such as *C. auratus* and *C. langsdorfi* could also be found in this region as they have been registered on the territories of the neighbouring countries, as reported by some authors.

Linear and geometric morphometric analysis has shown significant phenotype variability in body shape and selected elements of the skeletal system. It has also proved the absence of sexual dimorphism and showed that locality had a major impact on the variability.

The largest variability was recorded in terms of body height and head size, while the most variable values with the bones were those referring to os pharyngii with pharyngeal teeth.

Morphological variability of fish also depended on the presence of predators and the water flow in the examined localities. The presence of predators causes a characteristic phenotype of fish with tall body which enables them to avoid predators more easily.

In the analysis of morphological variability of early invasive populations of the species of *C. auratus* complex we used data for 524 units (classified as *C. auratus gibelio* during the catch) from three localities in Vojvodina in the period from 1983 to 1985. The localities were chosen according to different ways of invasion of the species of *C. auratus* complex. Linear morphometrics and growth model analyses have shown that the localities with deliberate anthropogenic introduction of unknown origin were characterized with greater variability than the localities populated by natural invasion from larger watercourses.

The analyses of life history and growth dynamics in 395 members of the species of *C. auratus* complex (classified as *C. gibelio* during the sampling) as an invasive group of fish, and 429 units of the roach as the representative of the indigenous ichthyofauna in the artificial lakes of Međuvršje and Gruža in the period from 1991 to 1999, have established differences among different types of habitats. Regardless of species, the fish that live in slow and shallow habitats are larger and they reach greater asymptotic length than those living in faster and narrower watercourses.

This study is among the first ones to apply multi-model analyses in modeling freshwater fish growth. The results have shown that this method can be implemented in studying invasive fish species in order to make a better estimation of their influence on indigenous fauna and possibly develop more successful strategies of managing and controlling their populations.

Accepted by the Scientific Board on: 24.03.2016.

ASB

Defended:

DE

Thesis defend board:

DB

President: prof. drMihajlaNađ, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

Menthor: drDesankaKostić, Assistant Professor, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia,

Menthor: drJelenaLujčić, research associate, Institute of Aquaculture and Environmental Safety, SzentIstván University, Gödöllő, Hungary

Member: prof. dr Goran Marković, Faculty of agronomy, Čačak, University of Kragujevac,

Member: prof. dr Branko Miljanović, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

### Extended Abstract

According to recent researches, *Carassius auratus* complex includes at least five *Carassius* species: *Carassius carassius*, *Carassius auratus*, *Carassius langsdorfii*, *Carassius cuvieri* and *Carassius gibelio*. These species are morphologically very similar and it is impossible to differentiate them on the basis of common morphological characters, so they all used to be classified as *Carassius auratus gibelio* or *Carassius gibelio*. The only species that is significantly different is *Carassius carassius*. It is believed that the species of this complex were brought to Europe from Asia in the 17th century.

Over the last fifty years most of the members of *C. auratus* complex in Europe were classified as *Carassius gibelio* (*C. auratus gibelio*) (Bloch, 1783) (Silver carp or Gibel carp). Since the members of this complex have been registered in most European watercourses, they are considered to be the most successful invasive group of freshwater fish. Thanks to their biological characteristics (fast growth, different types of reproduction, remarkable resistance to unfavourable conditions) these species quickly become competitive to indigenous ichthyofauna in respect of food and habitat and they often have very negative impact on the entire ecosystem they inhabit.

This dissertation identifies the species that belong to the *Carassius auratus* complex in Vojvodina and peri-Pannonian region using specific genetic markers (ctyb gene sequence). Using linear and geometric morphometrics, we examined morphological variability of different morphological parts (whole body, skull bones, cleithrum and scales) of the members of *Carassius auratus* complex, in different localities with different ecological conditions (presence of predators and water flow). Modern statistics and mathematical methods (multi-model analysis) were used in the analysis of growth dynamics of both recent and early invasive populations.

Meta-analyses of the available data have shown that there is a wide population of *C. auratus* complex species in Serbia. The examined populations showed medium to high occurrence (20-40%) in the entire ichthyofauna, with evident growth over time. A few consecutive studies have registered very large populations of the species of this complex in several localities (40-100% of total catch).

For the purpose of molecular-taxonomic analyses and the analysis of morphological variability of recent populations, we used a sample of 280 units taken in 14 different localities in



Vojvodina and peri-Pannonian region in the period from 2012 to 2014. All the units in the sample were first photographed for the purpose of linear and geometric morphometrics, samples of tail fins were taken for further genetic analysis, and then all the necessary evaluations of morphometric and meristic characters were made, as well as the analysis of variability among populations.

Population genetic analysis with the application of a genetic marker (cytb gene) has shown that all the examined units belong to *Carassius gibelio* species. Due to the biological state of the samples, the determination was possible for only 52 units from 11 localities, so it not impossible that some other species of *C. auratus* complex such as *C. auratus* and *C. langsdorfi* could also be found in this region as they have been registered on the territories of the neighbouring countries, as reported by some authors.

Linear and geometric morphometric analysis has shown significant phenotype variability in body shape and selected elements of the skeletal system. It has also proved the absence of sexual dimorphism and showed that locality had a major impact on the variability.

The largest variability was recorded in terms of body height and head size, while the most variable values with the bones were those referring to os pharyngii with pharyngeal teeth.

Morphological variability of fish also depended on the presence of predators and the water flow in the examined localities. The presence of predators causes a characteristic phenotype of fish with tall body which enables them to avoid predators more easily.

In the analysis of morphological variability of early invasive populations of the species of *C. auratus* complex we used data for 524 units (classified as *C. auratus gibelio* during the catch) from three localities in Vojvodina in the period from 1983 to 1985. The localities were chosen according to different ways of invasion of the species of *C. auratus* complex. Linear morphometrics and growth model analyses have shown that the localities with deliberate anthropogenic introduction of unknown origin were characterized with greater variability than the localities populated by natural invasion from larger watercourses.

The analyses of life history and growth dynamics in 395 members of the species of *C. auratus* complex (classified as *C. gibelio* during the sampling) as an invasive group of fish, and 429 units of the roach as the representative of the indigenous ichthyofauna in the artificial lakes of Međuvršje and Gruža in the period from 1991 to 1999, have established differences among different types of habitats. Regardless of species, the fish that live in slow and shallow habitats are larger and they reach greater asymptotic length than those living in faster and narrower watercourses.

This study is among the first ones to apply multi-model analyses in modeling freshwater fish growth. The results have shown that this method can be implemented in studying invasive fish species in order to make a better estimation of their influence on indigenous fauna and possibly develop more successful strategies of managing and controlling their populations.