

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

Katedra zoologie a rybářství

***Porovnání skupin ryb rodu parma (Barbus) z oblasti Bié
v Angole, pomocí metod geometrické morfometrie***

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.

Autor práce: Bc. Tereza Vajglová

2010

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jen
prameny uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne 16. 4. 2010

.....

Na tomto místě bych ráda poděkovala především svému konzultantovi Ing. Miloslavu Petrtýlovi Ph.D. za cenné rady, ochotu a trpělivost, s jakou mi objasňoval záhady geometrické morfometrie. Můj dík patří také vedoucímu této práce Ing. Lukáši Kalousovi Ph.D. A v neposlední řadě z celého srdce děkuji rodině, svým blízkým a přátelům za neochvějnou podporu při studiu.

Souhrn:

Africký kontinent má velice rozmanitou přírodní druhovou diverzitu. To platí také o místní ichtyofauně, která je druhově velmi bohatá, ale poměrně málo zmapována. Tato práce je zaměřena na skupiny sladkovodních ryb rodu parma (*Barbus*), které se vyskytují v Angole na náhorní plošině Bié, významném prameništi celé subsaharské Afriky.

Na africkém území se celosvětově rozšířené parmy (*Barbus*), patřící do čeledi kaprovitých (*Cyprinidae*), vyvinuly do mnoha různých linií a endemických druhů. Tyto skupiny jsou zde však jen velmi málo prozkoumány, a je proto důležité rozšířit současné nedostatečné taxonomické poznatky o místní fauně.

Účelem mé práce bylo identifikovat hlavní znaky mezidruhové tvarové variability ryb rodu parma (*Barbus*) pomocí metod geometrické morfometrie. Poměrně nové a v posledních letech stále více diskutované morfometrické metodě, zasahující do mnoha vědních disciplín.

Nejdůležitějším rozlišovacím znakem, z hlediska posuzování exteriéru, byl analýzou vyhodnocen rozdílný poměr délky a výšky těla. Dalšími významnými faktory, ovlivňujícími tvarovou rozdílnost mezi analyzovanými skupinami, byly určeny proměnlivá délka ocasního násadce, relativní délka hlavy, posunutí postavení ploutví a rozdílná délka jejich báze. Nebyl však odhalen žádný určitý morfologický znak, který by všechny tyto druhy od sebe jednoznačně odlišoval.

Výsledky analýz geometrické morfometrie ukazují, že některé druhy tohoto rodu jsou ve zkoumané lokalitě tvarově velmi uniformní, jiné jsou specifikovatelné hůře a jejich tvarová variabilita zasahuje i do charakteristik jiných skupin.

Klíčová slova: Angola, *Barbus*, tvarová proměnlivost, geometrická morfometrie

Summary:

Africa has high level of species diversity in many groups of organism. It is also concerned in case of African ichthyofauna, which is generally very rich, but not so well known. This thesis is about genus barbel (*Barbus*), which occurs in Angolan freshwater in plateau named Bié. This territory is important as spring area of many rivers streaming to big part of sub-Saharan Africa.

Worldwide distributed barbels belong to family Cyprinidae. Barbels have evolved into many different lineages and endemic species. These endemic species are very poorly described so it is important to gain new taxonomic data from these unknown areas.

The aim of my thesis was to identify main shape characters of interspecies form variability of genus *Barbus* by using methods of geometric morphometry. This new morphometric approach is often discussed a broadly used recently.

As the most important exterior differential character different proportion of body length and body height has been evaluated by analysis. Another significant factor, which influenced form differences among analysed groups, has been indicated: variable length of tail peduncle, relative length of head, displacement of fish position and different length of their basis. In the analysis was not found any morphological character, which would be able specifically separate all species.

Results of geometric morphometry analysis reflect that some species of these genera in this area are very uniformly in shape. Some of them are less specific and their shape variability intervenes in characteristics of another groups.

Keywords: Angola, *Barbus*, geometric morphometrics, shape variability

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. CÍL PRÁCE	8
3. PŘEHLED LITERATURY	9
3.1 ANGOLA – ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	9
3.2 CHARAKTERISTIKA PROVINCE BIÉ.....	11
3.3 VODNÍ ZDROJE V PROVINCI BIÉ.....	12
3.4 AFRICKÁ ICHTYOFAUNA	14
3.5 ZAŘAZENÍ A POPIS RODU BARBUS	19
3.5.1 <i>SYSTEMATICKÉ ZAŘAZENÍ:</i>	19
3.5.2 <i>MÁLOOSTNÍ</i>	19
3.5.3 <i>KAPROVITÍ</i>	21
3.5.4 <i>PARMY</i>	22
3.6 MORFOMETRIE.....	26
3.6.1 <i>TYPY MORFOMETRICKÝCH ANALÝZ</i>	27
3.6.2 <i>TRADIČNÍ MORFOMETRIE</i>	32
3.6.3 <i>GEOMETRICKÁ MORFOMETRIE</i>	33
3.6.4 <i>Superpoziční metody</i>	34
3.6.5 <i>Deformační metody</i>	37
4. MATERIÁL A METODIKA	39
4.1 ZÍSKÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ MATERIÁLU	39
4.1.1 <i>Získání a zpracování fotografií</i>	39
4.1.2 <i>Získání dat z fotografií</i>	43
4.2 TESTOVÁNÍ VARIABILITY DAT	45
5. VÝSLEDKY	47
5.1 CELKOVÁ TVAROVÁ VARIABILITA HODNOCENÍ LINÍ.....	47
5.1.1 <i>Analýza hlavních komponent</i>	47
5.1.2 <i>Kanonická variační analýza</i>	52
6. DISKUSE	54
7. ZÁVĚR	57
8. POUŽITÁ LITERATURA:	58

1. ÚVOD

Africký kontinent má velice rozmanitou druhovou diverzitu. To platí také o místní ichtyofaně, která je druhově velmi bohatá, ale je jen velmi málo zmapována. Mnoho místních druhů tak zřejmě dosud čeká na své objevení. Ani v Angole tomu není jinak. Obzvláště díky několik desetiletí trvající občanské válce se výzkumy zabývající se populacemi ryb v této oblasti zcela zastavily. Jen velmi malý počet autorů na toto téma publikoval. Bylo by proto vhodné rozšířit současné taxonomické poznatky z těchto zatím jen spoře probádaných lokalit.

Rozvoj výpočetní techniky umožnil poměrně nové morfometrické metodě – geometrické morfometrii, aby se dostala do popředí zájmu a dále se slibně rozvíjela. V posledních letech se objevuje mnoho odborných publikací zabývajících se problematikou metod geometrické morfometrie a jejím využitím v rozličných vědních disciplínách. V oboru ichtyologie a rybářství se využití těchto nových metod jeví jako velmi efektivní nástroj.

2. CÍL PRÁCE

Cílem této práce je odhalit a kvantifikovat morfologické rozdíly mezi jednotlivými druhy rodu parma (*Barbus*) na území provincie Bié v Angole. Identifikovat důležité rozlišovací znaky mezi skupinami těchto ryb na základě statistického vyhodnocení dat získaných pomocí geometrické morfometrie.

3. PŘEHLED LITERATURY

3.1 ANGOLA – ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Angolská Republika (viz Obr. 1) s hlavním městem Luandou leží na jihozápadě Afriky u břehů Atlantského oceánu (Klíma, 2003). Rozloha této země tvoří celkem 1 246 700 km² (Klíma, 2008). Výškový profil se zdvihá od moře směrem do vnitrozemí, kde se rozprostírá rozsáhlá náhorní plošina. Na severu země se rozkládají převážně pralesy, zatímco na jihu pouště (viz Obr. 2). Přirozeně tedy množství srážek klesá od severu k jihu, celkové podnebí je horké (Košínař a Šára, 2002).

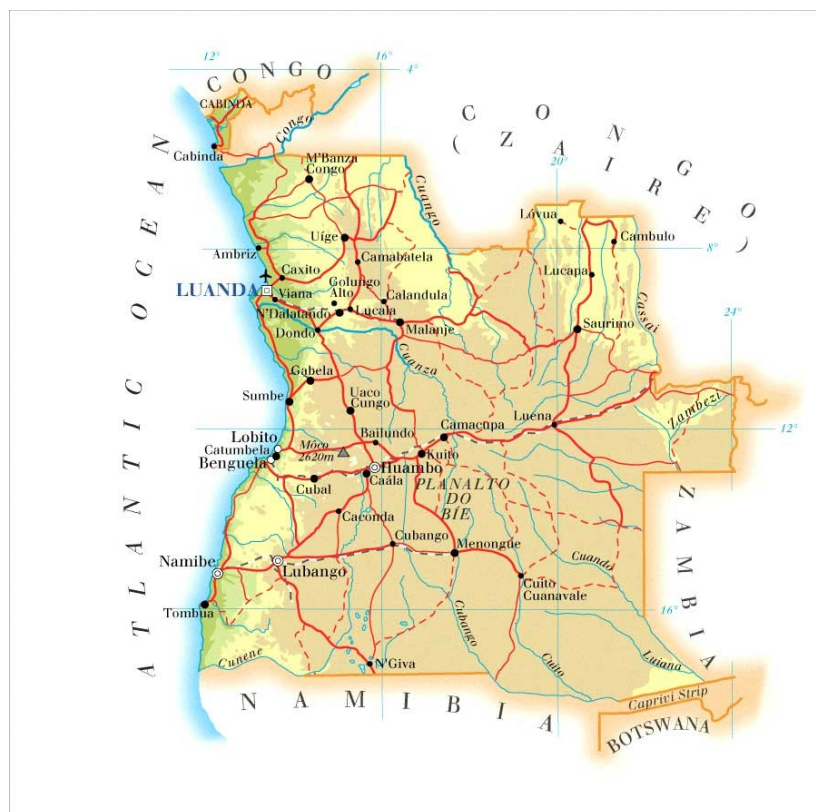
Angola je rozvojový stát, jehož hlavním zdrojem zisků je těžba ropy a diamantů a vývoz zemědělských produktů. Významné místo také zaujímá rybolov (Košínař a Šára, 2002). V čele této demokratické republiky stojí prezident (José dos Santos) (www.bussinessinfo.cz, 2010). Země je rozdělena na 18 provincií a celkem čítá 12,5 milionu obyvatel (04/2008 dle CIA).



Obr. 1. Poloha Angoly (<http://www.worldatlas.com/webimage/countrys/africa/ao.htm>)

Angola byla téměř po celou dobu své historie pod nadvládou Portugalců (od 15. století). Byli to z velké části právě oni, kdo ustanovil hranice dnešní Angoly. Podnikli mnoho výzkumných vědeckých expedic a celé angolské území podrobně zmapovali. Po zrušení otroctví (1878) začali na území státu budovat lepší infrastrukturu (především železnici). Angola poměrně dobře prosperovala. Roku 1975 byla vyhlášena nezávislým státem.

Naneštěstí byla celá země zpustošena čtyřicet let trvající občanskou válkou, která znemožnila veškerý rozvoj. Vzdělávání místního obyvatelstva bylo také během války zásadně zredukováno (Klíma, 2008). Válečný konflikt byl ukončen až roku 2002. V následujícím roce Institut tropů a subtropů ČZU v Praze založil v rámci české rozvojové pomoci v provincii Bié Středisko zemědělského vzdělání (Klíma, 2008).



Obr. 2. Angola (<http://www.google.cz/imgres>)

3.2 CHARAKTERISTIKA PROVINCE BIÉ

Provincie Bié se nachází v centru Angoly. Leží na náhorní plošině ve výšce 1 500 m.n.m. Na jejím území pramení důležité Angolské i Africké vodní toky. Klima je zde teplé, humidní. Průměrná roční teplota je 26 °C (Caetano *et al.*, 2009).

Provincie byla založena kolem roku 1750. Její rozloha činí 71 000 km², hlavním městem je Kuito, čítající půl milionu obyvatel. Celkový počet obyvatel celé provincie se pohybuje okolo jednoho a půl milionu lidí, což z ní činí nejlidnatější část Angoly. Polovina z nich žije ve čtyřech velkých městech a druhá polovina žije ve vesnicích skládajících se průměrně z padesáti rodin. Převažujícím etnikem je zde kmen *Ovimbundu* (Klíma, 2008).

Hlavním zdrojem potravin v této oblasti je převážně zemědělská produkce malých rodinných farem – *fazend*, na kterých je uplatňována kombinovaná metoda živočišné a rostlinné výroby. Znalosti z oblasti zemědělství jsou předávány mezi generacemi. Na území Camacupa je typický lov ryb na řekách Kwanza a Kukena (Caetano *et al.*, 2009).

Provincie Bié je jednou z oblastí nejvíce zasažených občanskou válkou. Zničena je téměř veškerá infrastruktura. Mnohé oblasti jsou stále silně zaminované. To značně omezuje možnosti jakýchkoliv výzkumných aktivit (Caetano *et al.*, 2009).

3.3 VODNÍ ZDROJE V PROVINCII BIÉ

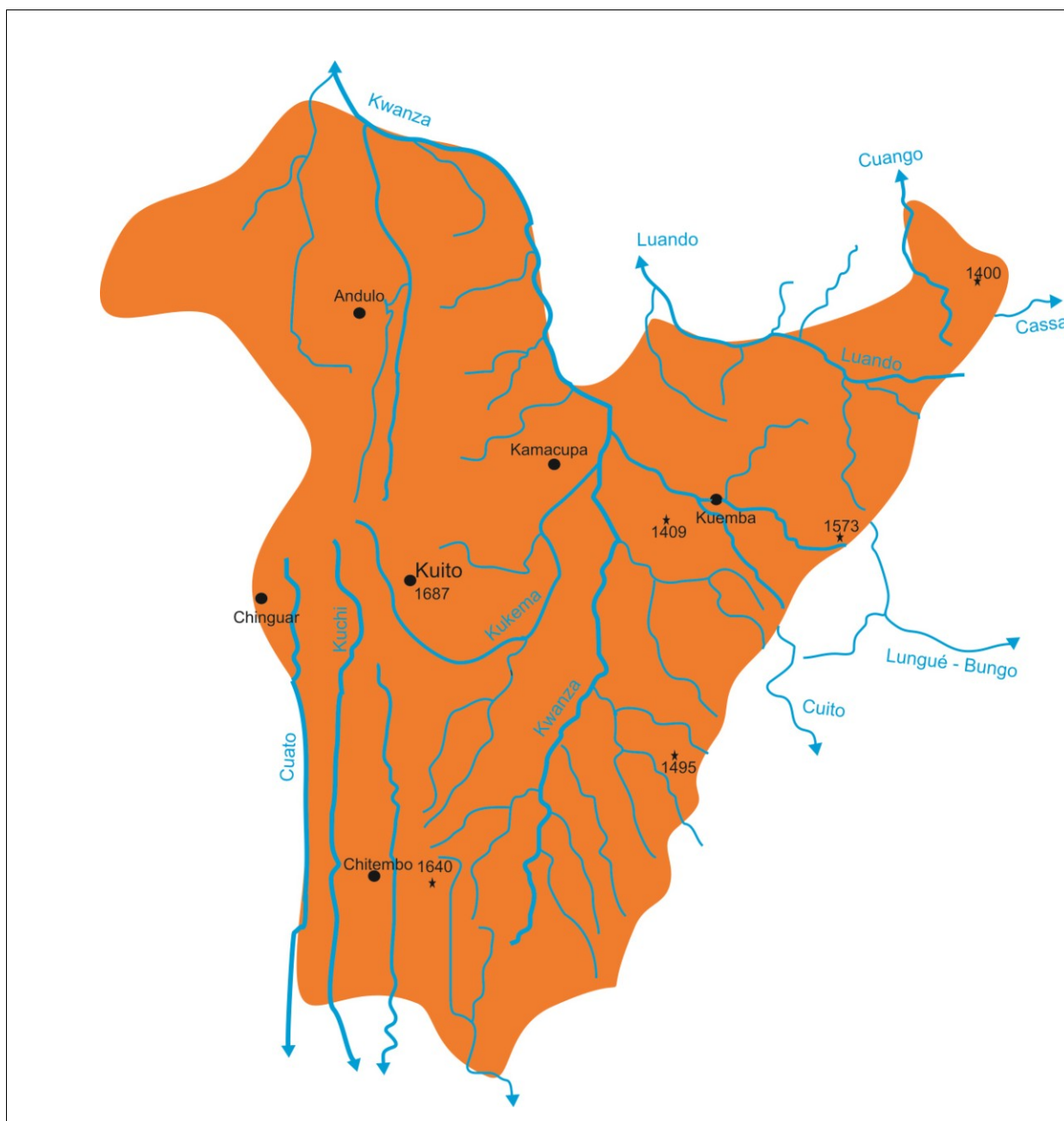
Vrchovina v centru Angoly, na které se provincie Bié rozprostírá, je významným prameništěm celé subsaharské Afriky. Některé z významných řek, které zde pramení, ústí do Atlantického oceánu (Kwanza, Kongo, Kunene), jiné do Indického oceánu (Zambezi) nebo se v poušti Kalahari v místech geologických zlomů vsakují do písku (Okavango). Hlavními říčními systémy této provincie jsou řeky Kwanza a Okavango (viz Obr.3) (Košinář a Šára, 2002; Caetano *et al.*2009).

V této oblasti jsou vodní zdroje velmi chudé na živiny. To je zapříčiněno vysokou nadmořskou výškou (kolem 1 500 m.n.m) a skutečností, že zde není přítomen výrazný zdroj přísunu organického ani anorganického materiálu do vodního ekosystému. Proto mají tyto vodní zdroje většinou oligotrofní charakter s nízkým obsahem látek nezbytných pro biologickou produkci. Tím je dána i nízká konduktivita vodního prostředí. PH se pohybuje okolo neutrální hodnoty 7 (Caetano *et al.*2009). Nízké počty populací vodních živočichů (obratlovců i bezobratlých) lze přičítat kombinaci působení všech těchto vlivů.

Geologický profil toku těchto řek tvoří mnoho přirozených i umělých bariér, které znemožňují migraci a vzájemný kontakt skupin vodních organismů. Tato nucená separace způsobuje různé směry v jejich dlouhodobém vývoji a vede ke zvýšení místní biodiverzity (Kuedikuenda and Xaver, 2009). V porovnání se současnou druhovou diverzitou rybích populací je ichtiofauna Afriky poměrně druhově chudá a variabilita ryb v tekoucích vodách je nižší. Musíme však brát v potaz, že na území Afriky zůstává velký počet oblastí stále ještě neprozkoumaných a také vysoký stupeň endemismu africké ichtyofauny. To platí i v samotné Angole, kde bylo doposud popsáno něco přes 250 druhů sladkovodních ryb (Skelton, 2001). Především řeky Kongo a Zambezi jsou bohaté na počet rybích druhů a po celém jejich povodí je rozvinuté rybářství mnohdy i průmyslově zaměřené (Košinář a Šára, 2002).

K narušení rovnováhy přirozených vodních ekosystémů dochází mimo jiné neselektivními způsoby lovu. Současný stav rybích populací není ohrožován jen zvýšeným loveckým tlakem, ale i ostatními prvky lidské činnosti (průmyslové znečištění, intenzifikace zemědělství, regulace a kanalizace toků, zvyšující se spotřeba vody pro zavlažování, odlesnění a vyplavování půdní vegetace zvyšující půdní erozi a splavy půdy) (Caetano *et al.*

2009). Významné hydroenergetické zásoby byly využívány na sklonku koloniální doby, dnes se přehrady rekonstruují (Klíma, 2008).



Obr. 3. Mapa hydrologické sítě v provincii Bié (<http://unimaps.com/sitemap.html>)

3.4 AFRICKÁ ICHTYOFAUNA

Rozšíření ryb v řekách, jezerech a dalších vodních plochách (viz Obr. 2) vždy zajímalo přírodovědce, ichthyology a další badatele, kteří se zajímali o africkou faunu. V polovině 19. století vznikaly jedny z prvních záznamů o rozšíření a zastoupení afrických ryb na tomto kontinentu. Byly uvedeny v Güntherových komentářích datovaných roku 1880. Ty přinesly první systematicky získané a sepsané znalosti o rozšíření afrických sladkovodních ryb prezentované roku 1905 Boulengerem. Následovaly další studie například od Pellegrina (1912), na které navazují v 70. letech 20. století Max Poll (1973) a Roberts (1975), kteří shrnuli veškeré dostupné informace a znalosti o rozšíření sladkovodních ryb v této lokalitě.

Chování ryb v tropických řekách je ovlivňováno především změnami výšky vodní hladiny, které jsou závislé na sezónních deštích. V rovníkové oblasti je přísun ročních srážek vyrovnaný. S rostoucí zeměpisnou šířkou na jih i na sever jsou deště více sezónní (zvláště v Africe je to dobře vidět – tzv. mirror image efekt). Deště následuje intenzivně zářící slunce, takže povodně přicházejí v nejteplejších obdobích v roce.

Rovníkový srážkový režim podporuje růst deštných pralesů. Na pastvinách ve vyšších zeměpisných šířkách (provincie Bié) sezónně vznikají ohromné zaplavené plochy.

Některé řeky dosahují maximální výšky hladiny dvakrát ročně. V tocích v okolí rovníku to může být způsobeno vrcholy srážkových amplitud typických pro tuto oblast. V rozsáhlém povodí řeky Zair je to způsobeno hlavně přítoky, které sahají daleko na sever i na jih od záplavových oblastí rovníku v odlišných ročních obdobích. Niger má také dvě záplavové vlny ročně. Jedna se nazývá „bílá povodeň“ a je způsobena deští. Druhá se nazývá „černá povodeň“ a pochází z vodopádů horního Nigeru, které trvá nějaký čas než se do dolního toku řeky dostane.

Většina potěru říčních ryb vzniká na začátku povodňové sezóny. Povodně zapříčiňují explosivní růst organismů vhodných k potravě. Mladé ryby jsou tak v nejprogresivnějším vývinu a vzniklá vegetace poskytuje ochranu proti predátorům. Růst je největší v sezóně s nejvyšší hladinou. Vytvořené zásoby tuků pomáhají překonat rybám sezónu sucha, když musí ustoupit do řek nebo musí přežít v savanských tůňích, kde mají velmi málo potravy.

Takže reprodukce, krmení a růst probíhá během povodňového cyklu. Takovýto typ sezónního vývoje usnadňuje určení stáří a dosahovaných rozměrů ryb oproti rovníkovým jezerům, kde se potěr nachází v různých obdobích a vývoj zde probíhá více kontinuálně během celého roku. S vyšší zeměpisnou šířkou je životní prostředí více sezónní. Všechny tyto aspekty mají vliv na vývoj ryb (Lowe McConnell, 1975, 1979).

Sběr dat z mnoha různých studií nám odhaluje obecnou skladbu hlavních potravinových zdrojů pro místní ryby. V zalesněných částech horních toků řek jsou to produkty lesa (zelené zbytky suchozemských rostlin, hmyz a pavouci), které tvoří základ potravního cyklu.

V širších a hlubších částech řek jsou důležitým krmivem pro ryby především bentičtí bezobratlí. Záplavové pláne poskytují sezónně bohaté a různorodé krmivo rostlinného i živočišného původu. Rybí populace jsou tak vedeny k využívání takového sezónního nárůstu produkce potravin, jaké je pro ně v danou dobu vhodné a dostupné.

Kde jsou řeky přehrazeny jezery, tam je hlavní složkou potravy plankton (fyto a zooplankton) a je doplňován na dně žijícími červy a larvami hmyzu, které poskytují rybám zvyklým na život v dané lokalitě vhodný doplněk stravy.

Teplotní rozvrstvení ve stálých vodách vede k tomu, že u dna je méně kyslíku a tím se ryby nemohou živit bentickými organismy, na které jsou zvyklé v řekách (Lowe McConnell, 1975, 1979).

Stávající ekologické studie v lidmi vytvořených vodních dílech odhalují způsoby, jak se z říčních ryb stávají ryby stojatých vod. Některé říční ryby mizí z rybníkové fauny v pravidelném sledu. To proto, že se nemohou přizpůsobit změnám potravní nabídky (například odříznutím odkysličenou hlubokou vodou od bentické potravy), a nebo nemohou už dále migrovat proti proudu, aby se třeli. Jezera lákají mnohé druhy k objevení nových zdrojů potravy a nových příznivějších podmínek. Když se jezero stabilizuje, tak se mohou objevit a rozšířit nové druhy. Tak se pravděpodobně usídlily různé zatoulané druhy, které se zde zabydleli, pokud našly vhodné ekologické podmínky (například *Alestes lateralis* v jezeře Kariba, který se třel na kořenech plovoucích vodních rostlin) (Balon, 1974).

Změna klimatu a vývoj osídlení vede ke změnám v rybích komunitách. Byly zaznamenány druhy, které se objevují v místech, které mohou podpořit pouze několik druhů

(ekologicky jednoduché vody, často s nepravidelnou zásobou potravin). Mezi ně patří *Barbus*, *Clarias*, *Anguillid*, *Tilapias* a další cichlidy (Roberts, 1975).

Souhrn všech různých vztahů mezi druhy mění podmínky životního prostředí. Studie o těchto vztazích jsou ve stádiu zrodu, ale Matthes (1964) ukazuje dobrý příklad ekologických podmínek povolujících soužití velkému množství komplexních rybích komunit ve středním toku Zairu.

Dle Polla (1980) platí pro rozšíření ryb v Africe tyto zásady: koncentrace iontů je vyšší v jezerech než v řekách, které více vyhovují cichlidám než kaprovitým druhům: řeky jsou obecně více zkalené než jezera: smysly kaprovitých zástupců ryb jsou dobře vyvinuté k životu v kalných vodách, zatímco cichlidy jsou jinak orientovány a jejich život v hlubokých jezerech zapříčinil dobrý rozvoj orgánů postranní čáry.

V Africe se vyskytuje přes 2000 známých původních druhů sladkovodních ryb. Řada dalších nových skupin ještě čeká na své objevení a zařazení. Sladkovodním rybám dominují po celém světě paprskoploutví a africká kontinentální ichtyofauna není výjimkou. Afrika je jediným kontinentem, kde jsou zastoupeny všechny tři skupiny Cypriniformes, Characiformes a Siluriformes najednou. Nad to se v afrických řekách a přístavech nachází neobyčejný výběr archaických a fylogeneticky izolovaných převážně endemických skupin ryb. To platí i o afrických jezerech. Ve střední Africe je většina jezer tropických. Vyznačují se výraznou druhovou diverzitou endemických rybích populací. Ve větších hlubších jezerech jsou to především cichlidy (Boulenger, 1905). V Africe existují základní rozdíly mezi složením fauny afrického hlavního říčního systému (Niger, Zaire, Zambezi) a východoafrických velkých jezer (Victoriino, Tanganika, Malawi), ve kterých cichlidy dominují (Poll, 1973).

Boulenger (1905-1915) rozdělil tropickou Afriku na tři významné části: megapotamijský sub-region, východní sub-region a jižní sub-region. Megapotamie zahrnuje všechny významné tropické řeky a jezera daleko na jih až k Zambezi. Je zde zaznamenána vysoká druhová diverzita. Východní sub-region tvoří řeky v údolích a puklinách k východu od Etiopie až k Zambezi. Jižní sub-region tvoří řeky jižně od Zambezi. Pro východní a jižní sub-region je typická výrazně chudší fauna než je tomu v sub-regionu megapotamijském. Uvedené rozdělení regionů používali i mnozí další a sloužilo jim především k určení

ichtyofauny na daných územích. Rozdělení území a sledování rybích populací slouží především k popisným a komparativním účelům.

Angola je řazena v Boulangerově rozdělení, které později upravil Pellegrin, do megapotamijského sub-regionu do rovníkové sekce. Na konci 60. let se nejvíce o angolské ryby zajímal a své znalosti ve svých pracích publikoval Max Poll (1967). Jeho studie z tohoto období je jedinečná velikostí území, které postihuje. Zaznamenal v angolském povodí 265 rybích druhů patřících do 18 čeledí. Z nich jsou nejdůležitější především: Kneridae, Mormyridae, Citharidae, Cyprinidae, Bagridae, Claridae, Mochocidae, Amphillidae, Cyprinodontidae a Cichlidae. Třicet z těchto čeledí bylo identifikováno v řece Kwanza. Avšak výzkumy z posledních let (Silva, 2003) určily v této důležité angolské řece 54 čeledí spadajících do 14 řádů. Ačkoli Poll odvedl nepochybně úctyhodný kus práce při popisu afrických ryb, dokazuje to, jak málo je angolská i celá africká ichthyofauna ještě málo probádána. Avšak z toho, co už zjištěno bylo, je zřejmé, že je velmi bohatá, druhově rozmanitá a zahrnuje početné množství endemických druhů. Je rozšířena na sladkovodních plochách pokrývajících území o velikosti 2 000 km², na kterém jsou zastoupeny všechny charakteristiky vodních ploch (stálé toky řek, jezera, zátoky i bažinatá území). Akvakultura se zde rozvíjí kvůli potřebě snadno obnovitelných potravinových zdrojů. Mezi vhodné kulturní čeledi patří i *Cyprinidae* a *Cichlidae*.

Cyprinidae (kaprovití) jsou jedny z nejvíce rozšířených sladkovodních rybích skupin v Africe. Zahrnuje několik extrémně velkých a obecně geograficky rozšířených druhů, ale také množství menších skupin této čeledi. Nachází se v nejvýchodnějších a nejzápadnějších africko-tropických říčních systémech. Kaprovité ryby jsou nejpočetnější čeledí od Nilu a Senegalu až k nejnižněji se nacházejícím řekám na kontinentu. Cyprinidae se také vyskytují v celém Magrebském regionu. (Doplet, 1958; Bailey, 1969; Bowmaker *et al.*, 1978). Boulenger, Greenwood, Pellegrin a Roberts poukázali na větší podobnost mezi faunou severozápadní Afriky a Magrebského regionu s Evropou než s oblastí tropické Afriky. Tyto poznatky jsou zvláště platné pro kaprovité ryby, které zahrnují rody jako je například *Barbus*. Dumont v roce 1982 poukazuje na saharskou vodní faunu a dokazuje významný vliv pohoří Atlas na izolaci magrebských vodních ekosystémů od oblasti tropické Afriky.

Ohodnocení znaků rozšíření druhů je obtížné z důvodu nepřehlednosti a nejasnosti vztahů a druhových vazeb mezi jednotlivými poddruhy. Například většina kaprovitých ryb

v Africe je začleňována do dvou velkých skupin (*Barbus a Labeo*), v nichž jsou vnitřní vztahy velmi málo objasněny. Obě tyto skupiny jsou rozšířeny v celé tropické Africe, ale je prokazatelné, že tyto druhy jsou polyfyleticky shodné (Banister, 1973).

Kaprovitých druhů je v Africe velké množství (475 druhů ve 23 rodech) většinou se živících zelenými částmi vodní flóry. Tuto čeleď zastupuje rod *Barbus*, jehož některé poddruhy je velmi obtížné od sebe rozeznat a jsou často endemické v určitých částech říčních systémů (Greenwood, 1976).

Systematické zařazení různých skupin palem je definováno neuspokojivě a je dosud zkoumáno. Pamy jsou velmi početným rodem a jsou k nalezení po celém africkém kontinentu včetně Magrebského regionu. Druhy tohoto rodu dominují říční fauně jižní, jihovýchodní a východní Afriky. Pamy jsou pravděpodobně jediný opravdový pan-africký druh. Žádné jiné rybí populace nebyly nikdy tak široce rozšířeny v tropické Africe (Poll 1973). V některých případech je rozdělení druhů omezeno pouze na velké a malé druhy.

Z výzkumů je evidentní, že se ve východní a jižní Africe nachází relativně více velkých palem, než se jich nachází v západních kanálech. Malé druhy jsou relativně více početné ve východní a jižní Africe než v západní (Banister, 1973).

Paprsoploutví a většina archaických skupin patří do primární skupiny ryb. Jsou zásadně sladkovodní a fyziologicky netolerantní na slanou mořskou vodu. Jejich rozšíření přináší řadu důkazů původního spojení s pevninou. Velmi zajímavou adaptací je anaerobní dýchání některých archaických rodů těchto ryb (Roberts, 1975).

3.5 ZAŘAZENÍ A POPIS RODU BARBUS

3.5.1 SYSTEMATICKÉ ZAŘAZENÍ:

Říše: *Animalia* (živočichové)

Kmen: *Chordata* (strunatci)

Podkmen: *Vertebrata* (obratlovci)

Třída: *Actinopterygii* (paprskoploutví)

Řád: *Cypriniformes* (máloostní)

Čeleď: *Cyprinidae* (kaprovití)

Rod: *Barbus* (parmy)

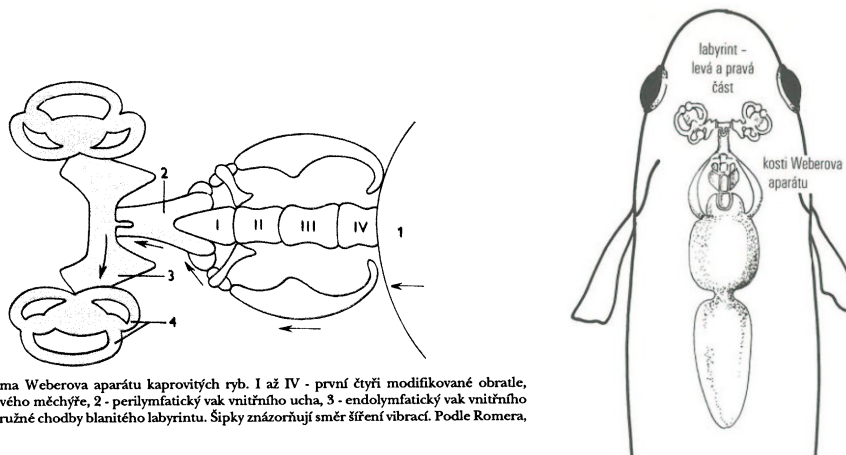
(Anděra, 2003)

3.5.2 MÁLOOSTNÍ

Jedná se o jeden z nejpočetnějších rybích řádů rozšířených ve sladkých vodách téměř po celém světě (Evropa, Asie, Afrika, Severní a Střední Amerika). Zahrnuje 5 čeledí s celkem 2 662 druhy. Mezi jeho zástupci nalezneme mnoho hospodářsky významných druhů (Kapr obecný *Cyprinus carpio*, Tolstolobik bílý *Hypophthalmichthys molitrix* karas, obecný *Carassius carassius* aj.) (Hanel, 1998).

Hlavními znaky zástupců tohoto řádu jsou především (viz Obr. 7):

Weberův aparát, který zdokonaluje sluchové vnímání. Je umístěn mezi plynový měchýř a labyrint, na který je napojený (viz Obr. 4 a 5) (Militz, 1997).

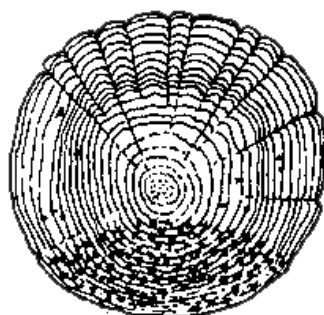


Obr. 56: Schéma Weberova aparátu kaprovitých ryb. I až IV - první čtyři modifikované obratle, 1 - stěna plynového měchýře, 2 - perilymfatický vak vnitřního ucha, 3 - endolymfatický vak vnitřního ucha, 4 - polokružné chodby blanitého labyrintu. Šípky znázorňují směr šíření vibrací. Podle Romera, 1971.

Obr. 4 a 5. Weberův aparát (Militz, 1997)

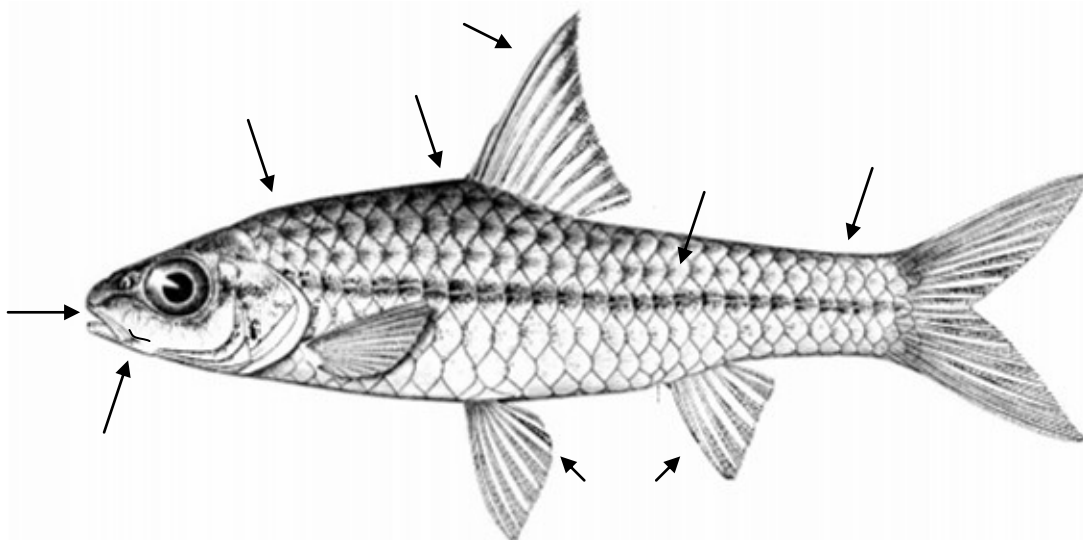
Dalšími významnými znaky jsou spojení dvoudílného plynového měchýře kanálkem se střevem (*duktus pneumaticus*), bezzubá ústa s vysunovatelnou horní čelistí a požerákové zuby, které jsou umístěny na pátém žaberním oblouku.

Tělo pokrývají cykloidní šupiny nebo je holé a šupiny úplně chybějí. Hlava je vždy lysá. Cykloidní šupiny jsou vývojově starší a mají hladký vnější povrch (Miller, 1996). Rostou spolu s rybou, proto jich můžeme využít k určování stáří jedinců (viz Obr. 6) (Militz, 1997).



Obr. 6. Cykloidní šupina (Miller, 1996)

Ploutve jsou bez trnů a ostnů. Paprsky ploutví jsou měkké. Ojediněle může být první paprsek zesílen. Důležitá je také absence tukové ploutvičky (Hanel, 1998).

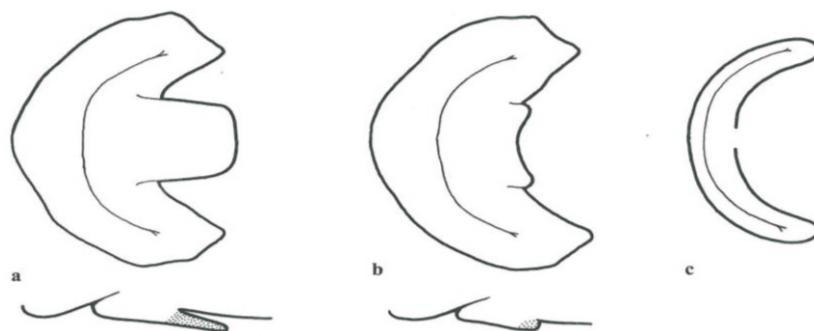


Obr. 7. Významné znaky máloostných (Poll, 1967, upraveno)

3.5.3 KAPROVITÍ

Kaprovití tvoří nejrozsáhlejší sladkovodní čeleď ryb, druhou největší čeleď obratlovců. Areál rozšíření je obrovský a zahrnuje především sladké vody. Jen vzácně pronikají do brakických či slaných vod (např. jelec Brandtův *Leuciscus brandti*). Jsou rozšířeny na všech kontinentech, kromě pólů, Jižní Ameriky a Austrálie, kde se však také vyskytují vinou umělého vysazení (viz Obr. 9). V ČR bylo dosud zaznamenáno 31 druhů (Militz, 1997).

Pro kaprovité ryby jsou velmi typická trychtýřovitá vysunovatelná (protraktilní) ústa, která jsou často opatřena jedním až dvěma páry vousků. Specifická struktura úst je využívána k odlišení jednotlivých druhů (viz Obr. 8) (Freyhof and Kottelat, 2007). Požerákové zuby na pátém žaberním oblouku vyrůstají nanejvýš ve třech řadách, přičemž v jedné jich není víc než osm. Jsou opatřeny žvýkací ploškou, která je rohovitá či měkká (Hanel, 1998).



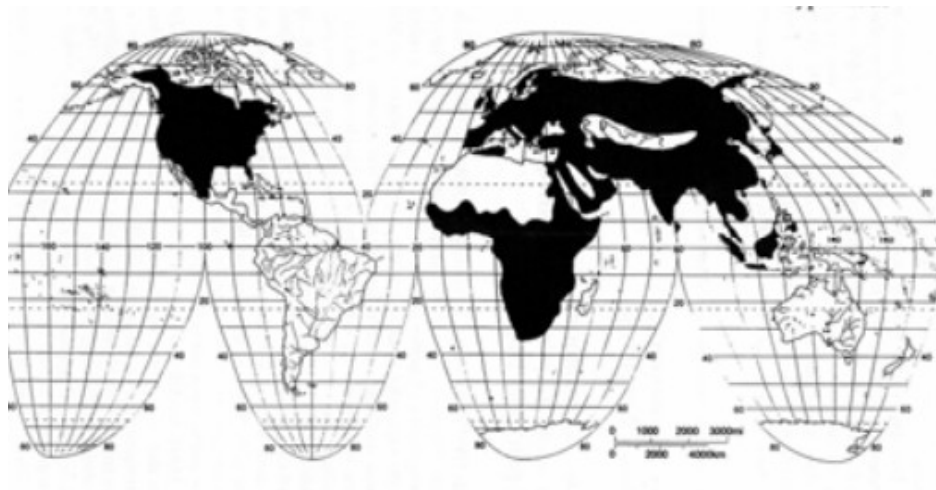
Obr. 8. Typy spodních úst ryb rodu *Barbus* a) s vysutým lalokem b) se zkráceným lalokem c) tenké, nemodifikované; spodní pohled (Freyhof and Kottelat, 2007)

Není vytvořen žaludek. Ten je nahrazen pouze rozšířeným střevem. Jsou to převážně všežravci (Militz, 1997). Téměř všechny druhy hledají potravu na dně nebo na rostlinách (Anděra, 2003).

V době tření se zejména u samců objevuje nápadná tzv. třecí vyrážka. Rozmnožují se kladením jiker. O potomstvo se z pravidla nestarají.

Nejstarší nalezené zkameněliny kaprovitých pocházejí ze starších třetihor. Řada druhů je důležitá z hlediska rybiho průmyslu (ročně se v průměru vylovilo celosvětově přes 5,7

milionů tun kaprovitých ryb) i sportovního rybaření. Menší druhy ryb jsou často chovány v akváriích. Do Červeného seznamu IUCN je celkem zařazeno 158 druhů kaprovitých ryb.



Obr. 9. Původní areál rozšíření čeledi Cyprinidae (Freyhof and Kottelat, 2007)

3.5.4 PARMY

Parmy obývají všechny typy sladkých vod, od rychle tekoucích horských potoků až po rozličné tůně (Anděra, 2003). Je to nejrozšířenější rod ryb. Vyskytují se po celém světě. Kde nebyly původními obyvateli, tam byly vysazeny uměle.

V Africe jsou parmy zastoupeny přibližně 300 druhy, z toho se jich v Jižní Africe vyskytuje asi kolem 50 druhů, čímž v této oblasti tvoří nejpočetnější rybí skupinu (Skeleton, 2001).

Parmy mají obvykle vřetenovitá protáhlá štíhlá těla s rovnou břišní linií a jen mírně vyklenutým hřbetem. Hlava je zakončena výrazným klínovitým rypcem a dobře pohyblivými spodními ústy s masitými pysky (Militz, 1997). Na pátém žaberním oblouku mají tři řady požerákových zubů uspořádaných podle vzorce 2.3.5 – 5.3.2 (viz. Obr. 10) Velmi důležitým znakem jsou dva páry fousů vyrůstající na horním pysku (Skeleton, 2001).



Obr. 10. Požerákové zuby parmy (Militz, 1997)

Ploutve na spodní straně těla jsou relativně krátké. Hřbetní ploutev je jen jedna a je posazena uprostřed těla. Má 7 až 11 tvrdých paprsků, první a nejdelší z nich je zkostnatělý a na zadním okraji pilovitý. Řitní ploutev má paprsků obvykle 5 (Anděra, 2003). Velmi často lze zaznamenat vykrojenou nesouměrnou ocasní ploutev s dolním lalokem delším než horním (Militz, 1997). Postraní čára probíhá prostředkem těla po celé délce a je zakončena na středu ocasu.

Parmy dosahují různých délek i hmotností. Nejmenší je 18 mm malá africká parmička drobná (*Barboides gracilit*), naopak až dvoumetrové délky dosahuje asijská parma štítkovitá (*Bambus esocinus*) (Skelton, 2001).

Tento rod ryb se zdržuje především v hejnech poblíž dna. Živí se drobnými živočichy především larválními stádii hmyzu, měkkýši, korýši, rybím potěrem a také zelenými řasami a vodními rostlinami (Militz, 1997). Tyto ryby jsou aktivní hlavně v noci (Diesener *et al.*, 1998).

V době tření dospělých jedinců jsou jikry i mlíčí parem jedovaté. Počet jiker se pohybuje od 3 000 do 9 000, doba jejich vývoje je 10 až 15 dnů. Po vykulení z lepivých žlutavých jiker procházejí volná embrya klidovým obdobím, v němž tráví svůj žloutkový váček (Militz, 1997). U samců se v období tření objevuje tzv. třecí vyrážka v podobě bílých uzlíků převážně v oblasti hlavy (viz Obr. 11) (Anděra, 2003).



Obr. 11. Třecí vyrážka parem (foto: Vajglová)

Parmy se dožívají přibližně 18 let (Anděra, 2003). Vyskytují se na celém území Evropy v prokysličených průzračných vodách s písčitým a kamenitým dnem – tzv. parmová pásma řek (Militz, 1997). Evropské parmy jsou si díky bezbariérovým tokům řek (až do relativně nedávné doby z pohledu fylogenetického vývoje) na celém kontinentu velmi podobné a všechny polyploidní (4N) (Freyhof and Kottelat, 2007). Známa je také jejich zlatá varianta (Anděra, 2003).

Africké parmy se od sebe liší vnějšími morfologickými znaky, jako je počet paprsků na ploutvích, velikost v dospělém věku (Banister, 1973, 1978; Lévêque *et al.*, 1990; Skeleton *et al.*, 1991), tak vnitřními jako počtem požerákových zubů a žeberních kostí (Karavan, 1971). Jejich taxonomie, především v Africe, je zatím nejasná a vyžaduje celkovou charakterizaci hlavních znaků a následnou reorganizaci (Doadrio *et al.*, 1995). Například Karaman (1971) stanovil dvě hlavní skupiny afrických palem: „malé“ a „velké“. Odlišnost je zjevná především v dospělém věku jedinců, kdy je rozdílná velikost zřejmá. Zatímco Almara (1984) tyto parmy rozdělil do sedmi odlišných skupin.

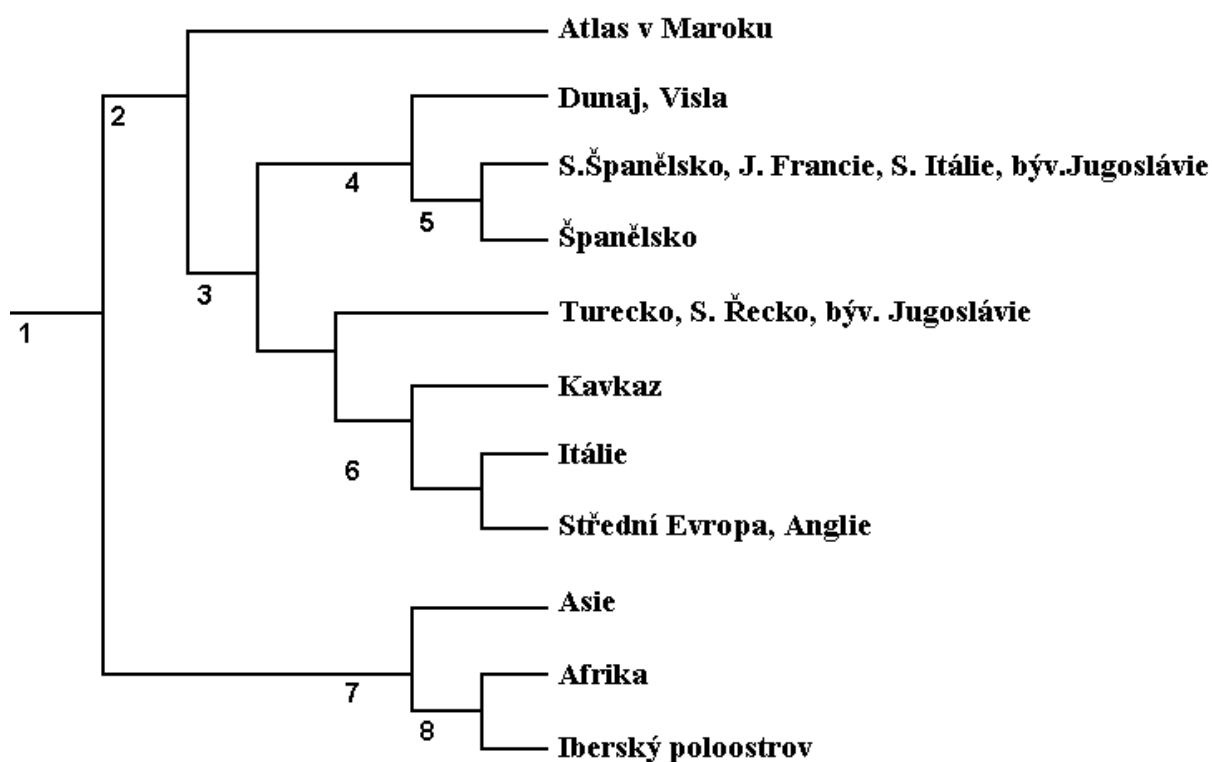
Pro parmy původem z afrického kontinentu je typická diploidní sada chromosomů (2N) na rozdíl od jejich evropských příbuzných s polyploidním počtem chromosomů (4N). Rozšíření tohoto karyotypu je potvrzeno výzkumy. Znalosti o výskytu tohoto karyotypu z hlediska geografického rozšíření i z hlediska evolučního vývoje linií v této skupině ryb, speciálně v Africe, nejsou zatím ani zdaleka kompletní (Doadrio, 1990).

Význam palem je poměrně velmi rozsáhlý. Je to hojně využívaný druh z průmyslového hlediska, s dobrou ekonomickou výtěžností. Hodí se i k hromadným akvakulturním odchovům. Jiné druhy tohoto rodu jsou velmi oblíbeným úlovkem sportovních rybářů. Menší druhy jsou pak často využívány jako okrasné akvarijní rybky (Skelton, 2001).

Podle biogeografických modelů, založených na fosilních nálezích, mají parmy původ ve východní Asii, odkud se později rozšířily přes Blízký východ a Balkán do Evropy. Odtud se stěhovaly dále přes Iberský poloostrov až do severní Afriky (Banarescu, 1973). V tom, kdy došlo k této rozsáhlé migraci, se názory liší. Nicméně to bylo někdy během středního miocénu a pleistocénu (Kosswig, 1973), nebo oligocénu (Almaça, 1976). Almaça (1988) se

domnívá, že v době rozšíření do Evropy existovaly dva různé druhy palem, ze kterých se postupně vyvinuly dnešní Evropské a Asijské druhy (viz Kladogram 1).

Spřízněnost afrických sladkovodních ryb s jihoamerickými a asijskými byla naznačována již dlouho. Důkazy o tomto názoru přinesly až rybí paraziti, kteří se u nich vyskytují. K jejich vzájemnému kontaktu došlo v dávných dobách, kdy byly tyto tři kontinenty blíže u sebe (Howes, 1980).



Kladogram 1. Hypotetické příbuzenské vztahy mezi druhy rodu parma z odlišných lokalit

Důležité známé mezníky: 1) Vyzdvižení Uralu (před 35 – 25 miliony let) 2) Gibraltarský průliv (35 – 25 m.l.) 3) Parathetys (20 – 17 m.l.) 4) Hory na Balkánu (23-12 m.l.) 5) Výstup Pyrenejí (23-12 m.l.) 6) Parathetys (3,5 – 2,5 m.l.) 7) Rudé moře (17-15 m.l.) 8) Gibraltarský průliv (6-5 m.l.) (Platnick and Nelson, 1978)

3.6 MORFOMETRIE

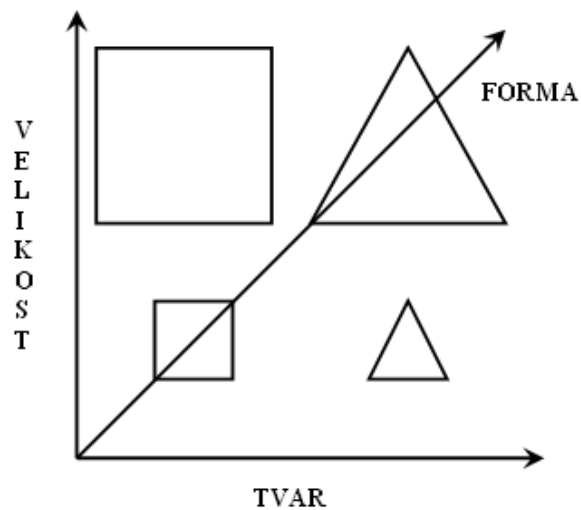
Tato již po staletí známá disciplína se zabývá měřením délek a tvarů a jejich vzájemným porovnáváním. V našem případě jde o studium tvarové různorodosti biologických materiálů. Její snahou je tato naměřená kvantitativní data dále statisticky zpracovat (Richtsmeier *et al.*, 2002). Morfometrie vyjadřuje tvar kvantitativně a umožňuje tak jeho hodnocení pomocí matematických a statistických analýz. Výstupem morfologické studie bývají tabulky a matice čísel. Tím se liší od morfologických studií, pro které je typické kvalitativní hodnocení a výstupem bývají obrázky nebo detailní popisy struktur. Proto není snadné si pod těmito číselnými výstupy něco konkrétního představit, jde tak spíše o abstraktní povědomí (Zelditch *et al.*, 2004).

Charakteristika tvaru

Tvar je výchozí morfometrickou hodnotou. Z hlediska biologie je výsledný tvar organismu ovlivněn především genotypem (soubor genů, který určuje normu reakce organismu v odlišných podmínkách prostředí) a působením okolních vnějších vlivů v daném prostředí (Zima *et al.*, 2004).

Z pohledu geometrického pojetí tvaru jde o vlastnost objektu, která je nezávislá na jeho poloze, velikosti a orientaci (Slice, 2005; Bookstein, 1997; Zelditch *et al.*, 2004). Z toho vyplývá, že manipulací objektu v prostoru neovlivníme jeho tvar.

Celková forma určitého objektu je rozložena na tvarovou a velikostní složku (viz Graf 1). Pak tedy mohou mít dva objekty různý tvar nebo velikost. Když se liší oběma těmito složkami, potom jsou to objekty odlišné formy (Richtsmeier *et al.*, 2002).



Graf 1. Závislost formy objektu na jeho tvaru a velikosti (Richtsmeier *et al.*, 2002).

3.6.1 TYPY MORFOMETRICKÝCH ANALÝZ

V morfometrických analýzách jsou tvarové vlastnosti objektů (viz Obr. 12) vyjádřeny hodnotami proměnných. K získání těchto dat reprezentujících analyzovaný soubor jsou z pravidla používány následující měrné veličiny.

Ty se od sebe navzájem liší v mnoha skutečnostech. Je to především postup získávání těchto dat, množství a kvalita informací, které o objektu vypovídají a rozdílné popisované veličiny. Avšak všechna vstupní data morfometrických analýz by měla splňovat určité požadavky, aby byl výsledek dané analýzy co nejpřesnější.

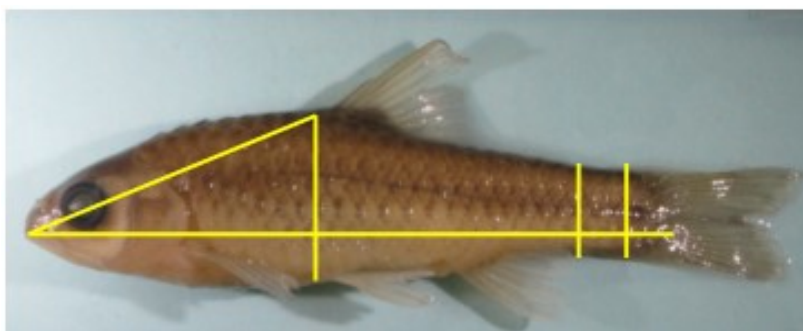
Data zaznamenaná na různých objektech souboru by měla být vzájemně srovnatelná. Opakovaná měření jednoho objektu se musí vždy mezi sebou shodovat. Zaznamenaná data by měla mít určitý vědecký význam. Určovaný objekt má být danou veličinou popsán co nejdůležitěji. Takto získaná data je možné použít v dalších navazujících analýzách bez opětovného detailního zkoumání určeného materiálu (Zelditch *et al.*, 2004).



Obr. 12. Analyzovaný objekt (foto autorka)

1) Délkové míry

Lineární přímé nebo projektivní vzdálenosti mezi dvěma body jsou stále ještě nejčastěji používanou proměnnou v oboru morfometrie. Nedostatkem tohoto souboru hodnot je, že zakreslují i informaci o velikosti, kterou se při studiu tvaru snažíme eliminovat (viz Obr. 13) (Mazurová a kol, 2002).

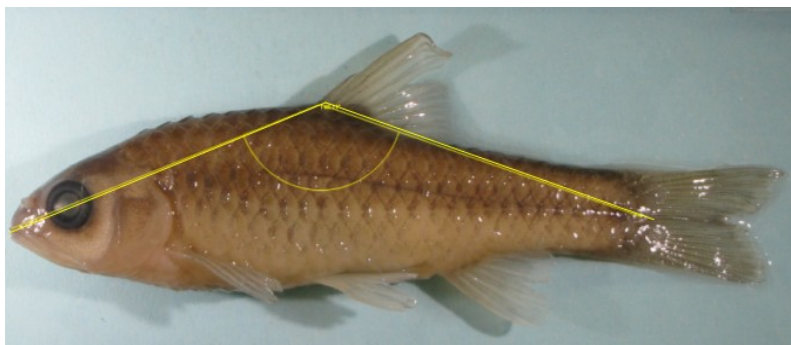


Obr. 13. Objekt analyzovaný pomocí délkových měr (foto a úprava autorka)

2) Úhly a indexy

Úhly a indexy řadíme mezi tzv. relativní míry, které informaci o velikosti objektu nenesou. Zpravidla jde o úhly měřené mezi dvěma lineárními mírami nebo tělesnými rovinami. Při kombinaci úhlů s lineárními mírami, lze zpětně rekonstruovat vzájemnou polohu bodů. To sebou však nese znovu problematickou informaci o velikosti.

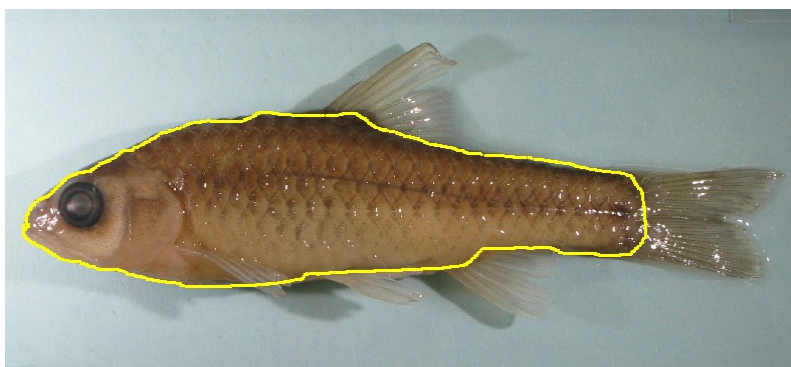
Indexy není možné přímo změřit, jde o vyjádření poměru dvou rozdílných měr k sobě na vzájem a proto z nich také nemůžeme původní míry odečíst (viz Obr. 14) (Mazurová a kol., 2002; Zelditch *et al.*, 2004).



Obr. 14. Objekt analyzovaný pomocí velikosti úhlů (foto a úprava autorka)

3) Kontury

V tomto případě jde o vyznačení obrysově linie celého objektu. Výhodou zde je informace o celé kontuře daného materiálu. Linie přesně kopíruje původní tvar, který může být následně analyzován jako celek. Nevýhodou je poměrně pracné zpracování a časově náročné zpracování (viz Obr. 15) (Slice, 2005).



Obr. 15. Objekt analyzovaný pomocí konturové linie (foto a úprava autorka)

4) Význačné body

Význačné body – tzv. landmarky, jsou taková místa na studovaném objektu, která jsou vždy přesně definovatelná. Bývají to zpravidla průsečíky více linií nebo ostré tvarové proměny. Tyto body by měly být v geometrické podstatě mezi zkoumanými objekty homologické (Richtsmeier *et al.*, 2002).

Metody založené na analýze význačných bodů jsou podstatou geometrické morfometrie. Stěžejní proměnné jsou získány až z analýzy. Z toho důvodu není nutná znalost relevantních rozměrů již před vlastní analýzou. Tyto body jsou schopny v určité míře obsáhnout celou formu pozorovaného objektu (Zelditch *et al.*, 2004).

Při této metodě analyzujeme celkovou konfiguraci významných bodů a známe pouze výsledky analýzy pro tyto dané body a jejich vzájemné postavení. Jakékoli závěry týkající se oblastí ležících mezi význačnými body jsou pouhé dohady (Richtsmeier *et al.*, 2002).

V podstatě jde o převod těchto orientačně významných bodů do systému souřadnic.

Jejich poloha na objektu je ve dvourozměrném prostoru zaznamenána dvojicí karteziánských souřadnic x a y (v trojrozměrném prostoru x, y, z), které tvoří prostorovou mapu relativního umístění zvolených bodů v prostoru (viz Obr. 16). Tyto souřadnice digitalizovaných bodů z pravidla bývají pro každý objekt odlišné (Slice, 2005). Takto zpracované význačné body, resp. jejich souřadnice, obsahují informaci nejen o tvaru a velikosti (formě) objektu, ale také jeho polohu a orientaci v soustavě souřadnic během vlastní digitalizace.

Výběr konkrétních bodů by měl být před vlastní analýzou pečlivě uvážen, aby dostatečně popisovaly studovaný objekt (Richtsmeier *et al.*, 2002). A musí být zároveň přihlédnuto k možné chybě měření, která se vztahuje k typu odebíraných dat, technice analýzy a kvalitě měřících přístrojů (Valeri *et al.*, 1998). Zároveň by vybrané body měly splňovat tyto následující podmínky:

- a) **Homologie** – dodržení tohoto pravidla je pro analýzu zásadní. Vybrané body musí vzájemně korespondovat z hlediska funkce a anatomie v rámci srovnávaných objektů. Body, které nejsou striktně homologií, se označují jako částečné význačné body nebo také „semilandmarky“.
- b) **Relativní stálost pozic** – tvary zkoumaných objektů by se neměly příliš lišit. Případně volit takové body, které by na některých objektech byly těžko rozeznatelné, překrývaly se nebo dokonce zcela chyběly.
- c) **Dostatečné pokrytí** – k zachycení změny tvaru je toto pravidlo velmi důležité. Nemáme-li dostatečné množství dat, změny nezachytíme. Musíme se proto snažit pokrýt celou formu objektu.
- d) **Opakovatelnost** – zvolené body musí být i při opětovné lokalizaci umístěny na totéž místo.
- e) **Koplanarita bodů** – je třeba brát v úvahu, že se často pracuje s trojrozměrnými objekty v pouze dvojrozměrném prostoru. Proto je třeba dbát na standardní nastavení techniky u všech měřených objektů a jejich vhodnou konstantní orientaci kolmo k aparátu, aby se zabránilo deformaci obrazu (Zelditch *et al.*, 2004).

Pro názornější představu o preciznosti či relevanci užitých bodů navrhl Fred Brookstein (1991) jednoduchou kategorizaci význačných bodů. Rozdělil je do tří kategorií, podle kvality jimi nesené informace. Protože z různých důvodů se musí výše uvedená pravidla poněkud omezit, tak tyto body ztrácejí na kvalitě vypovídajících hodnot. Je to však spíše orientační rozdělení a ve statistických výpočtech nemá váhu.

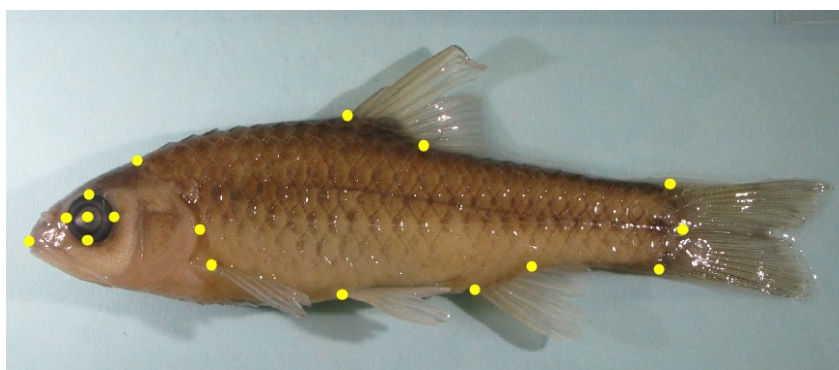
Landmarky prvního typu jsou optimální, přesně definované struktury. S ohledem na morfologii objektu a informace o jejich poloze jsou naprosto nediskutabilní. Jeho poloha je vymezena okolními strukturami a jejich místy styku.

Druhý typ nebývá lokalizován s takovou dokonalou přesností. Nevztahují se většinou ke spojnicí linií, ale bývá charakterizován jako maximum nebo minimum určité křivky. Například začátek nějaké struktury nebo vyklenutí.

Posledním třetím typem jsou landmarky, které jsou vztaženy k nějakému jinému bodu. Například nejvzdálenější místo v určité struktuře od tohoto bodu.

Konfigurace význačných bodů vstupují do analýzy ve formě konfigurační matice $k \times p$. Počet řádků matice (k) odpovídá počtu bodů konfigurace a počet sloupců (p) odpovídá počtu rozměrů, ve kterých jsou body zaznamenány. Dalším možným vstupem je řadový vektor, tvořený jedním řádkem o $k \times p$ hodnotách (Richtsmeier *et al.*, 2002; Slice, 2005).

K početným postupům vyhodnocujícím analýzu pomocí význačných bodů je dnes k dispozici řada specializovaných programů (Richtsmeier *et al.*, 2002).



Obr. 16. Objekt analyzovaný pomocí význačných bodů (foto a úprava autorka)

3.6.2 TRADIČNÍ MORFOMETRIE

Původnější a také mnohem rozšířenější jsou metody „klasické“ vícerozměrné statistiky, navazující na základy moderní biometrie. Jde zde především o měření tradičních morfometrických proměnných, jako jsou lineární vzdálenosti, poměry a úhly (Slice, 2005).

Ve své typické podobě jsou tradiční techniky vícerozměrné analýzy dat (regrese, faktorová, shluková a diskriminační analýza, analýza hlavních komponent, aj.) založeny na obecných principech maticové algebry a mají širší využití v zcela odlišných vědních disciplínách (Zima a kol., 2004).

Naměřená data jsou odebírána převážně ručně a může se zde výrazně projevit vliv lidského faktoru (Mazurová a kol., 2002) a také působení konzervačního činidla (pokud je zkoumaný materiál konzervován). Výsledky jsou v podobě čísel a grafů jako lineární kombinace naměřených proměnných. Ze vzniklé datové matice však není možné zpětná rekonstrukce tvaru originálních naměřených dat.

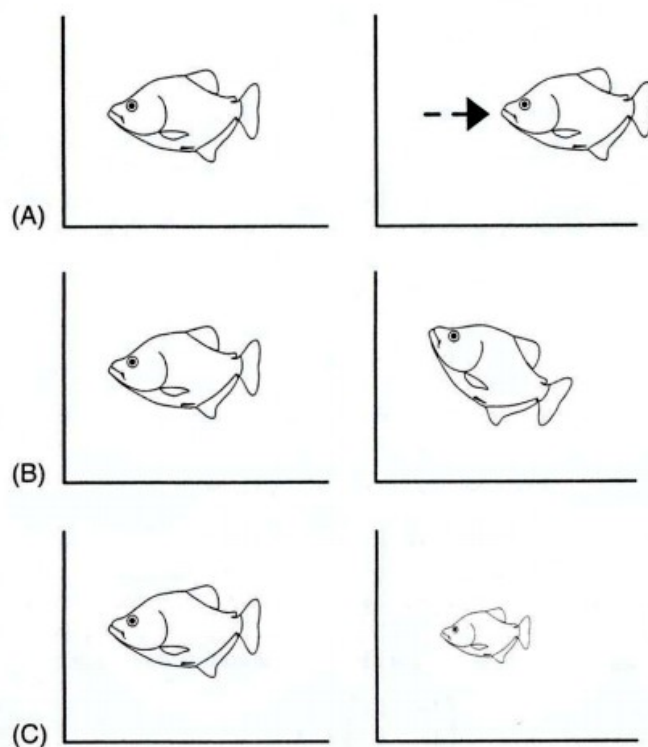
Mnoho nedostatků tradičních morfometrických metod řeší právě geometrická morfometrie. Vysoký stupeň korelace analyzovaných měř s velikostí zkoumaného objektu, nebo jejich korelace mezi sebou navzájem. Sporná je homologie lineárních vzdáleností, které nejsou určeny homologickými body. Jako jsou například největší a nejmenší délka. A neschopnost tradičních měř dokonale zachytit tvar analyzovaného objektu (Zelditch *et al.*, 2004).

Na měřené objekty biologického původu neplatí klasická geometrická pravidla, proto jsou klasickými měrami těžko zachytitelné. Jsou mnohem komplikovanější, často nepravidelné, a proto nejsou univerzálně geometricky definovatelné. Dalším nedostatkem lineárních měř je absence informace o jejich poloze navzájem. Tudíž nenesou žádnou informaci vypovídající o tvaru měřeného objektu. Proto ho není možné úplně zhodnotit a porovnat s tvary ostatních objektů a také jej není možné převést do vizuální podoby. To lze řešit pouze zvýšeným množstvím naměřených vzdáleností a jejich systematizací. Což zvyšuje časové a pracovní nároky a narůstá s rostoucí složitostí tvaru objektu.(Adams *et al.*, 2004).

3.6.3 GEOMETRICKÁ MORFOMETRIE

Tato poměrně nová metoda eliminuje mnoho nepříznivých vlivů, které se objevují u tradičních morfometrických metod. Umožňuje sledovat tvarové změny bez ohledu na absolutní rozměry objektu. Pro své analýzy využívá nahrazení určitých veličin koordinát význačných bodů a jejich transformace. Její velkou výhodou je, že vyhovuje jak účelům detailního popisu a statistické analýze, tak i účelům vizualizace a interpretace výsledků (Zelditch *et al.*, 2004).

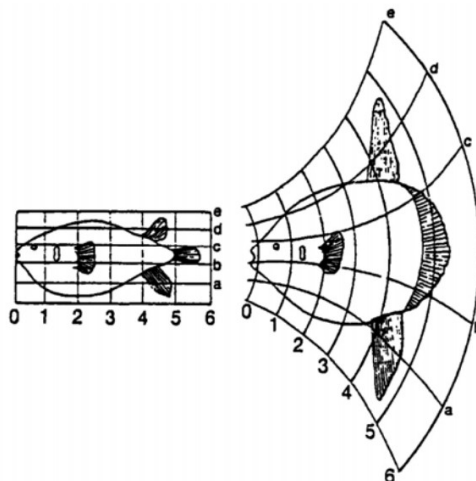
Tvar je v geometrické morfometrii definován jako „*Veškerá geometrická informace, která zůstane po odstranění efektu pozice, velikosti a rotace.*“ (viz Obr. 17) (Kendal, 1997). Z toho vyplývá, že po takovýchto úpravách zůstanou pouze rozdíly ve tvaru. A to je podstatou geometrické morfometrie.



Obr. 17. Operace v geometrické morfometrii, které neovlivňují tvar zkoumaného objektu (A) posun (B) rotace (C) změna měřítka (Zelditch *et al.*, 2004)

První poznatky o této metodě zveřejnil v roce 1917 britský biolog D'Arcy W. Thomson ve své knize O růstu a formě (originál „On Grow and Form“), kde se snažil popsat

rozmanitost živočišných tvarů na základě matematických pravidel za použití souřadnicových mřížek a jejich transformace na základě proměnlivosti tvarů srovnávaných živočichů (viz Obr. 18).



Obr. 18. Aplikace souřadnicové sítě transformuje tvar těla ježika (*Diodon*) na tělo měsíčníka (*Mola*) (Thomson, 1917).

Dalším významným současníkem Thomsona zabývajícím se geometrickou morfometrií byl britský matematik a fyzik Sir Donald Aylmer Fischer, kterého do těchto nových analýz zasvětil jeden ze zakladatelů moderní morfometrie Karl Pearson. Na jejich studijní odkazy navázalo mnoho dalších vědců zabývajících se těmito neobvyklými měřícími přístupy. Byly to například Fred Bookstein, James Rohlf a mnozí další.

Ke studiu tvaru a tvarových rozdílů objektů charakterizovaných sadami význačných bodů se využívají především superpoziční a deformační morfometrické metody. Geometrická morfometrie zahrnuje také další metody a postupy. Jejich podrobnější vysvětlení však přesahuje teoretický rámec této práce. Proto jsou níže vysvětleny jen metody relevantní v této oblasti a okrajově některé další pro doplnění.

3.6.4 Superpoziční metody

Tyto metody spočívají v umístění více konfigurací význačných bodů, pomocí matematických operací, tak aby se vzájemně překrývaly v jednom systému souřadnic. V následné operaci proběhne přesné ukotvení jedné sady do prostoru. Ta je použita jako referenční materiál. Druhá sada – cílová, je pak na tuto referenční superponována podle základních zásad geometrické morfometrie. Dojde k selekci rušivých informací (pozice,

velikost a rotace). Z rozdílného postavení odpovídajících si landmarků mezi těmito zkoumanými soubory jsou pak analýzou určeny tvarové odlišnosti daných objektů. Vzniklé superponované souřadnice se nazývají tvarovými, ty mohou být dále zpracovávány podle potřeby pomocí dalších metod. Výběr nejvhodnější metody pro analýzu je poměrně obtížný, záleží na subjektivním úsudku. Proto se doporučuje užít metod více a jejich výstupy vzájemně porovnat (Adams *et al.*, 2002; Richtsmaier *et al.*, 2002). V případě této práce byla zvolena metoda již předem použita s obdobným materiálem s pozitivními výsledky (Pettrýl, 2009).

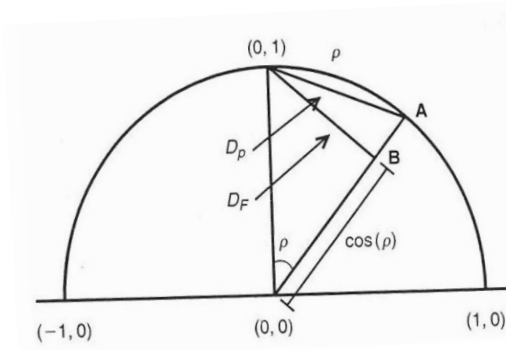
Mezi superpoziční metody řadíme metodu standardizace na základnu, metodu standardizace na klouzavou základnu, metodu prokrustovské superpozice a metodu resistantního přizpůsobení. Vzhledem k charakteru práce se dále zaměřuji jen na popis metody prokrustovské superpozice.

Prokrustovská analýza

Její název je odvozen od obra Prokrusta z řecké báje, který číhal na kolemjdoucí. Ty pak pozval na své lože, které jim bylo přirozeně krátké, a proto je obr natahoval do potřebné velikosti, aby jim lože přesně padlo.

Je to analýza založená na metodě nejmenších čtverců, kde jsou superpoziční faktory odhadnuty tak, aby se minimalizovala suma druhých mocnin vzdáleností odpovídajícími si body superponovaných konfigurací význačných bodů (Zelditch *et al.*, 2004).

Při této metodě jsou superponované konfigurace převedeny na jednotnou velikost centroidu. Objekty mající společný centroid a společnou centroidovou velikost 1, tvoří společně tzv. *pre-shape space*. Tento prostor je kruhový se středem v bodech (0,0) a každý bod na kružnici je od středu ve stejné vzdálenosti. Pak tedy dojde k pootočení každého objektu tak, aby vzdálenosti mezi odpovídajícími body byly co nejmenší – prokrustovská vzdálenost. Ještě menší vzdálenosti mezi jednotlivými homologními body nalezneme v Kendalově tvarovém prostoru. (viz Obr. 19) (Zelditch *et al.*, 2004).

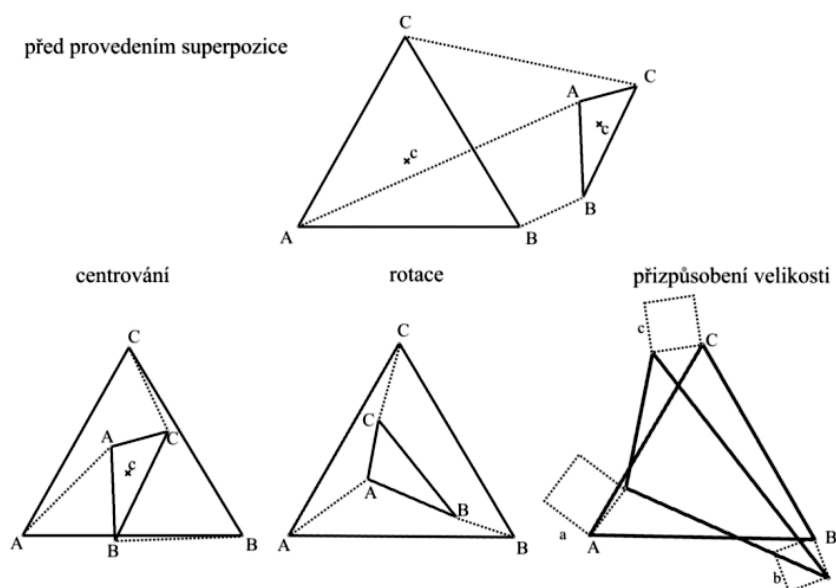


Obr. 19. Průřez tvarovým prostorem. V bodě A se nachází konfigurace trojúhelníku srovnávaná s konfigurací referenční (0,1). Tětiva mezi nimi udává prokrustovskou vzdálenost (D_p). V bodě B leží stejná konfigurace jako v bodě A, ale promítnuta do Kendallova tvarového prostoru. Její vzdálenost k referenční konfiguraci udává plná Prokrustovská vzdálenost (Zelditch *et al.*, 2004).

Prokrustovská metoda má základ ve třech základních krocích: posun, rotace a změna měřítka (viz Obr. 20).

V průběhu superpozice je umožněn pohyb všem bodům sady, a proto je přenos mezi body značně omezen.

Nevýhodou této analýzy je, že je málo robustní vůči výraznému lokalizovanému tvarovému rozdílu. Pokud se dvě sady význačných bodů od sebe odlišují výrazným posunem několika málo sousedních význačných bodů (tzv. Pinokiov efekt), má tato metoda tendenci přerozdělit část variability těchto bodů mezi body ostatní (Slice, 2005). Také jí není vhodné aplikovat na analýzu osově souměrných objektů. Nemůže totiž fixovat polohu konkrétních bodů, a proto se osy souměrnosti jednotlivých superponovaných objektů nemusí ve výsledku překrývat, což ztěžuje interpretaci výsledků (Zelditch *et al.*, 2004).



Obr. 20. Úplná prokrustovská superpozice (Zelditch *et al.*, 2004)

Výstupem prokrustovské superpozice jsou tzv. morfometrické prostory. Jedná se o tvarové souřadnice význačných bodů superponovaných konfigurací matice vzájemných vzdáleností analyzovaných objektů ve tvarovém prostoru a prokrustovská rezidua, tedy vektory směřující od význačného bodu referenční sady k odpovídajícímu bodu sady cílové (Zelditch *et al.*, 2004).

3.6.5 Deformační metody

Deformační metody mají odlišný přístup k tvarové analýze než metody superpoziční. Dva tvary jsou těmito metodami srovnávány na základě takové deformace jedné konfigurace, která umístí její význačné body do pozice jim odpovídajících význačných bodů konfigurace druhé (Richtsmeier *et al.*, 2002).

Výhodou je výstup smysluplných tvarových proměnných a možnost snadné vizualizace analyzovaných změn. Je zde možné oddělení jednotlivých složek deformace (afinní a neafinní, uniformní a neuniformní, implicitní a explicitní).

Metoda tenkých kovových plátů:

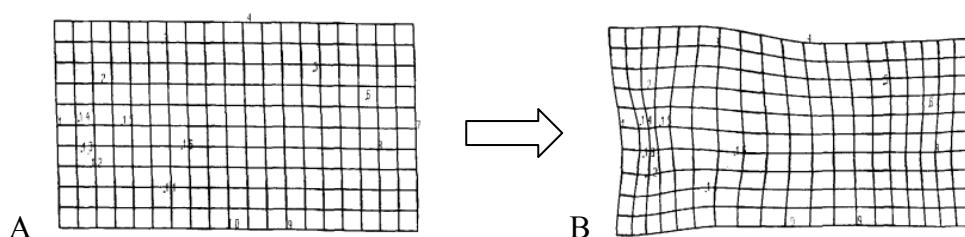
Nejnámější a zároveň také nejvýznamnější deformační metodou je metoda tenkých kovových plátů (TPS = *thin plate spline*). Jejich matematický konstrukt vychází z teorie deformace ideálního, nekonečně tenkého a velkého plátu (Jones and O'Higgins, 1998).

Jedna ze sad význačných bodů, obvykle průměrná, je zvolena konfigurací referenční. S touto sadou jsou v dalších krocích porovnávány ostatní sady souboru, označované jako cílové.

Rozdíly mezi polohou význačných bodů referenční sady a jim odpovídajících bodů sady cílové se vyjádří ve směru kolmém na plochu referenční konfigurace, v místě odpovídajícího bodu, a to pro každou osu (x , y) zvlášť.

Následně je deformován hypotetický ideální kovový plát tak, že prochází konci všech úseček umístěných ve význačných bodech referenční konfigurace. Zprohýbání plátu musí být co nejmenší, aby se minimalizovala velikost potřebné deformační energie. To znamená, že chceme dosáhnout takové deformace kovového plátu, která bude mít odpovídající výšku v jednotlivých význačných bodech a zároveň bude energeticky nejméně náročná (viz Obr. 21) (Slice, 2005; Zelditch *et al.*, 2004).

Takto naměřené hodnoty generují sérii vlastních laterálních vektorů *principl warps*, které popisují ohyby plátu (hlavní a vedlejší varpy a jejich skóre). Hlavní varpy popisují geometrické nezávislé ohyby. Konkrétní deformaci cílové konfigurace v konfiguraci referenční popisují dílčí varpy, získané z hlavních algebraickou operací. Jejich skóre je podkladem pro další statistické testy a analýzy tvarových rozdílů (PCA, CVA). Jsou to pouze abstraktní složky celkového tvarového rozdílu. Interpretovaným výsledkem tvarové analýzy jsou pak jen rozdíly ve tvaru jako celku. (Slice, 2005; Zelditch *et al.*, 2004).



Obr. 21. Deformace význačných bodů na mřížce odvozené od posunu těchto bodů z referenčního materiálu (A) na srovnávaný materiál (B) (Zelditch *et al.*, 2004)

Hlavní metody statistického vyhodnocení – PCA, CVA

Analýza hlavních komponent (PCA = *Principal Komponent Anylysis*) slouží k popisu odlišnosti tvarů mezi jedinci. Je nejjednodušší ze skupiny tzv. faktorových analýz. Metoda zjednodušuje interpretaci výsledků, protože snižuje počty proměnných na menší počet transformovaných proměnných, které jsou lineárními kombinacemi původních a jsou na sobě nezávislé. Nejdříve se snaží rozlišit směr distribuce, která popisuje největší rozdílnost hodnot. V tomto případě nalézá, v jakých částech těla dochází k nejvýraznějším změnám tvaru. Tato tzv. první komponenta (PC1) tvoří směr osy. Cílem je popsat variaci, kterou tato první komponenta tvoří. Pak je snaha o popsání zbývajících variací, které PC1 nevystihuje. Po definování hlavních komponent zjišťujeme pozici jednotlivých bodů k těmto nově určeným osám. Vzdálenosti těchto bodů od os jsou označovány jako skóre hlavních komponent. Ve výsledku se interpretují však jen ty, které zaujímají více než 5% variace. Menší množství je v biologii statisticky zanedbatelné (Zelditch *et al.*, 2004).

Kanonická analýza (CVA) se používá pro zobrazení naměřených dat v redukovaném prostoru nekorelovaných proměnných, které od sebe největším působením oddělují zkoumané objekty. Je to vlastně opačný proces, kdy se snažíme určit, do které skupiny analyzovaný vzorek nejlépe zapadá (Zelditch *et al.*, 2004).

4. MATERIÁL A METODIKA

4.1 Získání a zpracování materiálu

Veškerý analyzovaný materiál pochází z Provincie Bié v Angole. Byl nashromážděn, během let 2006 až 2008, pracovníkem ČZU v Praze, Lukášem Kalousem a jeho kolegy, kteří tuto oblast pravidelně navštěvují v rámci rozvojových projektů „Poradenství v oblasti chovu ryb a drůbeže“ a „Budování kapacit v oblasti chovu ryb a drůbeže“. Oba tyto programy realizuje Česká zemědělská univerzita v Praze.

Odlov ryb proběhl v různých lokalitách této provincie pomocí tzv. zátahových sítí. Ryby byly uloženy do 4% formaldehydu, čímž byly i usmrceny a takto konzervovány byly přivezeny do České republiky. Někteří jedinci byli zakoupeni sušení na místních tržištích (ty však bylo nutno po vyfocení vyřadit kvůli poškození sušením zkřehlých těl).

Formaldehyd byl zvolen z důvodu lepšího uchování tvarů a barev jedinců. Pro manipulaci je však tato látka nebezpečná. Proto jsem postupně převedla veškerý materiál do 75 % roztoku lihu (samotná kapalina byla o něco koncentrovanější, protože do základu 100% se zahrnuje i objem těla naložených ryb). Nejprve jsem vše propláchla dostatečným množstvím vody, poté s odstupem týdnu až deseti dnů převáděla vzorky nejprve do 30 %, pak 50 % a nakonec do 70 % roztoku lihu (Billy, 1982). S takto upraveným materiálem se mohlo začít dále nakládat dle potřeb.

V první řadě bylo zapotřebí z rybích vzorků vytřídit všechny jedince patřící k rodu *Barbus* (parma). Po jejich kompletaci jsem každého jednotlivce uložila zvlášť a opatřila číslem pro jeho snadnou identifikaci. S takto zpracovaným materiálem se již mohlo přejít k samotnému focení.

4.1.1 Získání a zpracování fotografií

Ryby byly foceny v celé své délce z profilu. Byly umístěny do polohy na pravém boku s hlavou vlevo (pro přehlednější zpracování fotografií) na světlém podkladě. Jedinci velmi

odlišných velikostí byli opatřeni svým identifikačním číslem a měřítkem pro lepší orientaci v jejich velikosti a případné využití při dalším zpracování (viz Obr. 22).



Obr. 22. Foto parmy s doplňujícími informacemi (foto autorka)

Fotografie byly pořízeny při umělém osvětlení zářivek a bodových světél. Focení proběhlo v několika vlnách v průběhu podzimu 2009 na fotoaparáty značky Fuji S 7000 a Canon 350D. Se standardizovaným nastavením na makro, fluorescenční osvětlení, bez použití blesku, s focením na samospoušť (kvůli chvění při stisku tlačítka pro focení), ISO 80 a prioritu Av.

Kvůli zachování odpovídajícího zobrazení a minimalizaci zkreslení byly jedinci foceni ze shodného statického bodu. Fotoaparát byl připevněn v konstantní výšce na stativu kolmo k focené ploše a nebylo s ním více manipulováno. Přibližování foceného objektu bylo provedeno pomocí optické mechaniky aparátu (o těchto operacích nese informace samotná digitální fotografie, proto nedochází ke zkreslení o velikosti objektu).

Bylo fotograficky zdokumentováno přesně 282 jedinců parem. Každá ryba byla focena opakovaně, kvůli možné fotografově chybě, různým stupňům přiblížení, rozostření a jiným rizikům nevyhovujícího zobrazení. Celkem bylo tedy pořízeno cca 850 fotografií.

Soubor fotografií byl pak několikrát protřídován v grafickém editoru Toner Photo Studio v. 10 (ZONER software, 2007), podle různých kritérií až zbyl nakonec jen reprezentativní vzorek vhodný pro morfometrickou analýzu. V prvním kole třídění jsem od každého jedince vybrala nejvhodnější a nejkvalitnější obrázek. Tento soubor obsahující fotodokumentaci všech číselně označených jednotlivců se základními informacemi byl

uložen a uchován pro možné upotřebení v budoucnosti. Při další následné selekci došlo k vyřazení nevhodných jedinců pro metodu geometrické morfometrie. Bylo to z důvodů deformací těla způsobených konzervací vzorku a nevhodnými podmínkami při jeho fixaci. Takto redukovaný soubor fotografií byl rozdělen do několika skupin podle předpokládané druhové příslušnosti (viz. Tab. 1). Nakonec byly vyřazeny ještě skupiny, které zastupoval nedostatečný počet jedinců s ohledem na kritéria aplikovaných statistických metod.

Číslo skupiny	Druh	Počet jedinců
1	<i>Barbus cf. radiatus</i>	22
2	<i>Barbus cf. kerstenii</i>	13
3	<i>Barbus cf. argenteus</i>	17
4	<i>Barbus cf. mattozi</i>	20
5	<i>Barbus cf. poechii</i>	24
6	<i>Barbus cf. barotseensis</i>	8
7	<i>Barbus cf. palodinosus</i>	14
8	<i>Barbus cf. afrovernayi</i>	5
Celkem		123

Tab. 1. Rozdělení zkoumaných palem do skupin (cf. = zkratka pro latinské slovo *confer* - „porovnej“)

Rozdělení do skupin:

1) *Barbus cf. radiatus* – (viz Obr. 23) spodní ústa s dvěma páry krátkých vousků, stříbřité tělo s tmavým pruhem uprostřed po celé své délce. Dorůstá 120 mm. Žije mezi vegetací u břehů proudících toků. Aktivní především v noci (Skeleton, 2001).



Obr. 23. *Barbus cf. radiatus* (foto autorka)

2) *Barbus cf. kerstenii* – (viz Obr. 24) robustní tělo hnědé barvy. Spodní ústa se dvěma páry vousků. Výrazné tmavé oči. Dorůstá 75 mm. Žije v horských potocích a při březích větších řek (Skeleton, 2001).



Obr. 24. *Barbus cf. kerstenii* (foto autorka)

3) *Barbus cf. argenteus* – (viz Obr. 25) spodní ústa se dvěma páry dlouhých vousků. Obvykle olivové či rezavě hnědé barvy. Dorůstá 190 mm. Žije v čistých horských potocích a tůňkách (Skeleton, 2001).



Obr. 25. *Barbus cf. argenteus* (foto Kalous)

4) *Barbus cf. mattozi* – (viz Obr. 26) protáhlé tělo s užšími delšími ploutvemi. Velká vysunovatelná ústa s jedním nebo dvěma páry vousků. Dorůstá až 400 mm. Vyskytuje se v chladnějších vodách řek a jejich tůňkách. Je to predátor živící se planktonními korýši a hmyzem. Na začátku léta migruje proti proudu za účelem tření (Skeleton, 2001).



Obr. 26. *Barbus cf. mattozi* (foto Kalous)

5) *Barbus cf. poechii* – (viz Obr. 27) podsaditější tělo olivově - stříbrné barvy. Ústa s dvěma páry vousků. V průběhu postranní čáry probíhá tmavší linie, na konci ocasního násadce výrazná černá skvrna. Dorůstá délky 110 mm. Žije v řekách. Živí se převážně hmyzem a drobnými organismy (Skeleton, 2001).



Obr. 27. *Barbus cf. poechii* (foto Kalous)

6) *Barbus cf. barotseensis* - (viz Obr. 28) ústa s dvěma páry vousků. V průběhu postranní čáry tmavší linie s tmavými výraznými skvrnami. Dorůstá 50 mm. Žije v rozličných říčních systémech (Skeleton, 2001).



Obr. 28. *Barbus cf. barotseensis* (foto autorka)

7) *Barbus cf. palodinosus* – (viz Obr. 29) malá ústa se dvěma páry vousků. Na hřbetní ploutvi je první tvrdý paprsek vroubkovaný. Barva těla přechází z olivové na hřbetu k stříbrné na břišní části těla. V průběhu postranní čáry probíhá tmavší linie. Dorůstá 150 mm. Žije u břehů stojatých vod mezi porostem vegetace. Živí se drobnými organismy (Skeleton, 2001).



Obr. 29. *Barbus cf. palodinosus* (foto autorka)

8) *Barbus cf. afrovernayi* – (viz Obr. 30) malá koncová ústa bez vousků. Zlaté zbarvení, v průběhu postranní čáry probíhá zeleno-hnědá linie s lila fialovými odlesky. Na konci ocasního násadce výrazná černá skvrna. Dorůstá délky 45 mm. Žije v klidných vodách s bohatou vegetací. Živí se planktonními organismy (Skeleton, 2001).



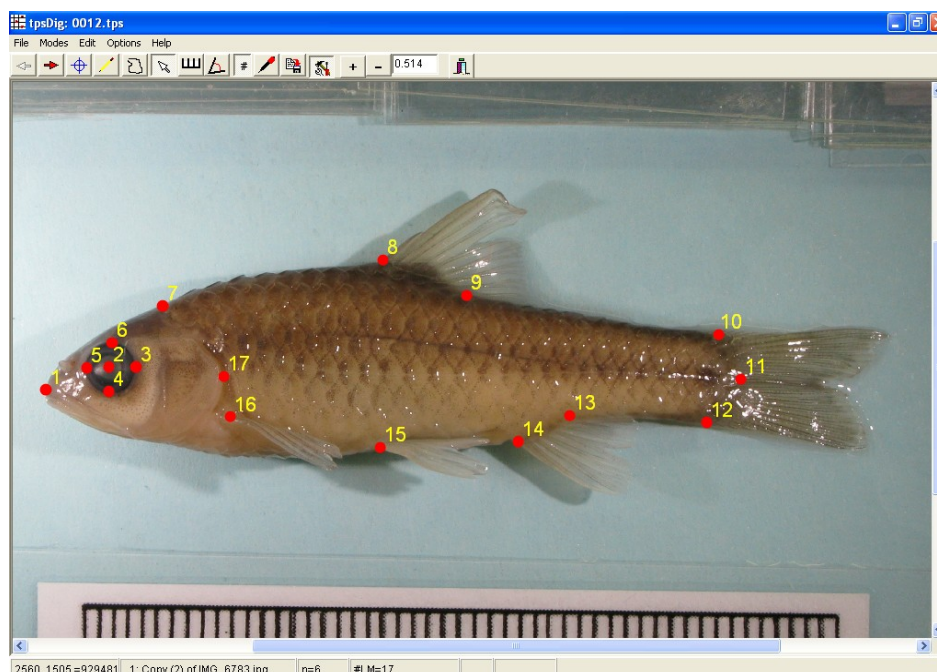
Obr. 30. *Barbus cf. afrovernayi* (foto autorka)

4.1.2 Získání dat z fotografií

Nejprve je na soubor fotografií aplikován program tpsUtil (Rohlf, 2006). Ten ze zadaných fotoadresářů vygeneruje datové soubory potřebné v následujících částech analýzy.

Po tomto prvním kroku jsou vybrané fotografie otevřeny v programu tpsDig2 (Rohlf, 2006), ve kterém dochází k postupné digitalizaci ručně vyznačovaných landmarků (viz Obr.

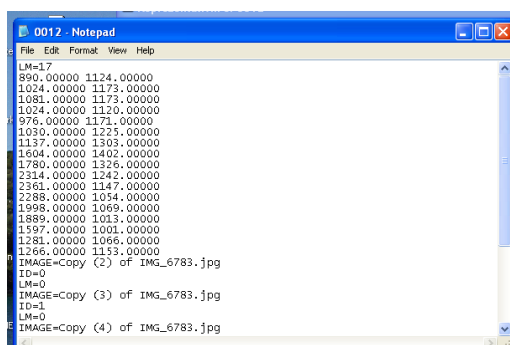
31). Bylo zvoleno a následně vyznačeno celkem 17 význačných bodů. Tak byl získán základní datový soubor nesoucí informace o přesných souřadnicích všech 17 bodů na každém z vybraných snímků (viz Obr. 32).



Obr. 31. Program tpsDig2 zobrazující 17 význačných bodů

Význačné body byly zvoleny v místě:

- 1) Absolutní konec rypce; 2) Střed oka; 3 – 6); Okrajové kontury oka; 7) Konec hlavy; 8) Počátek báze hřbetní ploutve; 9) Konec báze hřbetní ploutve; 10) Horní hranice báze ocasní ploutve; 11) Střed báze ocasní ploutve v místě pokračování smyslové čáry; 12) Spodní ohraničení báze ocasní ploutve; 13) Konec báze řitní ploutve; 14) Začátek báze řitní ploutve; 15) Počátek prvního tvrdého paprsku břišní ploutve 16) Počátek prvního tvrdého paprsku prsní ploutve; 17) Nejzazší viditelný okraj operkula



Obr. 32. Program tpsUtil zobrazující digitální podobu výše vyznačených landmarků

4.2 Testování variability dat

Jedním z kritérií pro použití metod morfometrické analýzy je testování příslušné variability digitalizovaných dat, které předchází vlastní analýze. Celý soubor 123 jedinců byl vyhodnocen programem tpsSmall (Rohlf, 2006).

Rozdělení a kategorizace skupin:

Podle druhové příslušnosti byla data pomocí textového editoru Notepad (MS 2007) uspořádána do podadresářů, kdy byly vytvořeny soubory se skupinovým kódováním. Tyto kódy jsou potřebné v průběhu celé analýzy k možnosti grafické vizualizace jedinců odděleně ve svých skupinách.

Statistické analýzy a interpretace výsledků:

Na základě výběru vhodných metod pro zpracování dat, byly pro tuto práci vybrány programy zpracovávající hodnocení dat pomocí PCA a CVA.

Digitalizované souřadnice byly převedeny do formátu *.nts z výchozího formátu *.tps pomocí programu CoordGen (Sheeds, 2002a.). Pro všechny statistické analýzy byla veškerá data ve formě prokrustovských superpozic, což bylo zvoleno při transformaci všech dat ve všech použitých GM programech jednotně. Číselné a grafické výsledky, vycházející z analýzy získaných dat v příslušných programech, byly zhodnoceny podle standardních statistických kritérií a přístupů.

Veškerou manipulaci s materiálem (kromě sběru materiálu v Angole), dokumentaci a zpracování do digitální podoby jsem obstarala sama. Se statistickým vyhodnocením digitalizovaných dat v příslušných programech proběhlo za asistence Miloslava Petřtýla z KZR na ČZU v Praze.

SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ:

TPS:

tpsUtil: generování skupinových seznamů fotografií.

tpsSmall: testování použitelnosti dat podle kritérií GM metod.

tpsDig2: byl použit k digitalizaci souřadnic landmarků určených z každé jednotlivé fotografie.

tpsSplin: slouží k výpočtu TPS (viz přehled literatury).

tpsRelw: program k výpočtu relevantních deformací.

IPM:

CoordGen: převod dat z *.tps formátu do *.nts

PCAGen: PCA pro větší počet skupin, export deformací.

CVAGen: CVA pro větší počet skupin, export deformací, permutační test, Jack-nife.

TwoGroup: testování rozdílnosti dvou skupin, F – test, permutační test.

Zoner Photo studio:

Toner v. 9: úprava fotografií.

StatSoft:

Statistica: kontrolní statistické výpočty, hodnocení normality a základních statistických charakteristik u dat použitých v analýzách.

Microsoft:

Notepad: základní operace s textovými výstupy z ostatní programů.

Excel: tvorba tabulek, matic potřebných pro analýzy, různé výpočty.

5. VÝSLEDKY

5.1 Celková tvarová variabilita hodnocení linií

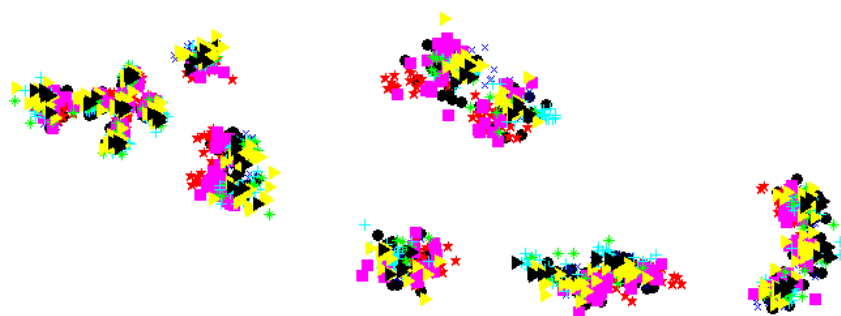
5.1.1 Analýza hlavních komponent

Analýza PCA vyhodnotila pomocí programů tpsRelw a PCAGen (Sheeds, 2002c.), že 80% celkové tvarové variability vysvětluje prvních pět hlavních komponent. První hlavní komponenta nese na změně tvaru celých 45,99%. Pouze tato první komponenta byla vyhodnocena jako statisticky významná a má tedy hlavní podíl na tvarových rozdílech mezi jednotlivými skupinami. Zbylé hlavní komponenty mají spíše doplňující charakter (viz Tab. 2).

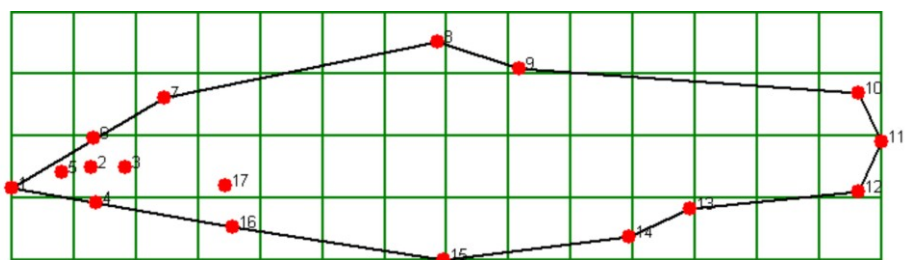
PC	%	Kum %
1	45,99	45,99
2	12,24	58,23
3	8,93	67,16
4	7,62	74,78
5	5,65	80,43

Tab. 2. Podíl prvních pěti komponent na celkové tvarové variabilitě

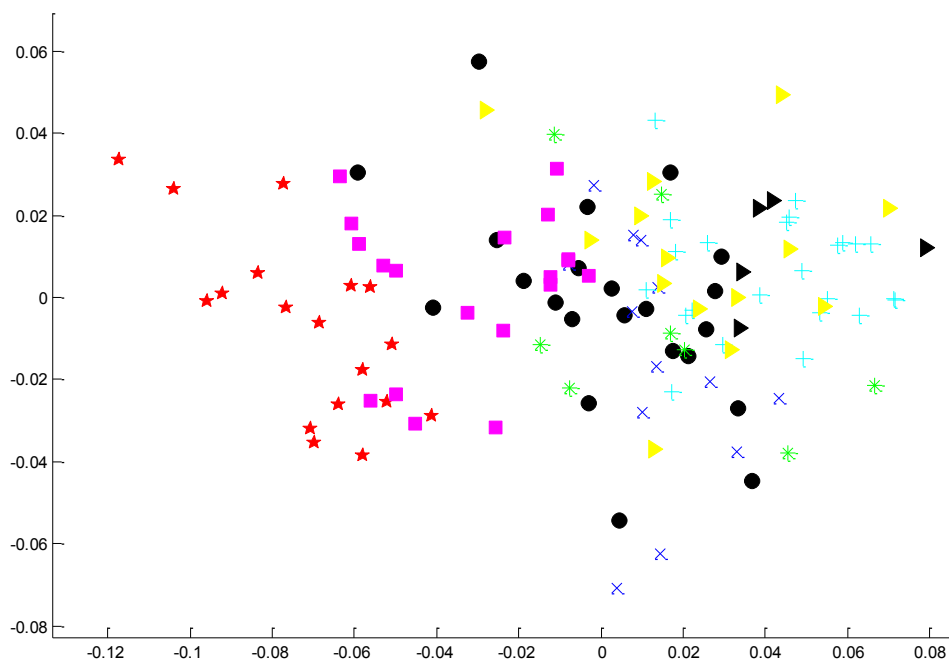
Z grafu analýzy hlavních komponent (Graf 3), který zobrazuje seskupení všech 123 jedinců pohromadě, lze snadno odečíst skupiny navzájem se tvarově významně lišící nebo jejich vzájemnou míru překryvu. Na grafu a obrázku uvedených níže je zachycen průměrný charakter tvaru (viz Graf 2, Obr. 33).



Graf 2. Zobrazení konfigurace všech význačných bodů jednotlivých skupin po prokrustovské superpozici



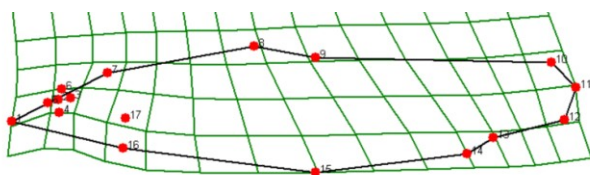
Obr. 33. Průměrný tvar vypočtený ze všech jedinců



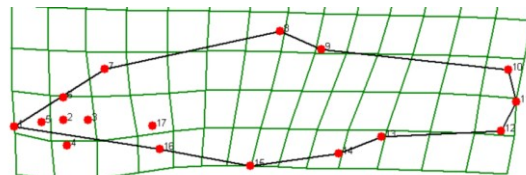
Graf 3. PCA zobrazující všech 123 jedinců, na ose y vynesena PC1, na ose x PC2

- | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| 1. <i>Barbus cf. radiatus</i> | ● | 5. <i>Barbus cf. poechii</i> | + |
| 2. <i>Barbus cf. manicensis</i> | x | 6. <i>Barbus cf. barotseensis</i> | * |
| 3. <i>Barbus cf. argenteus</i> | ★ | 7. <i>Barbus cf. palodinosus</i> | ▲ |
| 4. <i>Barbus cf. profundus</i> | ■ | 8. <i>Barbus cf. afrovernayi</i> | ▲ |

První hlavní komponenta **PC1**, podílející se na celkové variabilitě 45,99 %, vyjadřuje tvarové změny související s výškou těla, která je vyjádřena jako odchylka od průměru směrem do kladných či záporných hodnot (viz Obr. 34, 35).

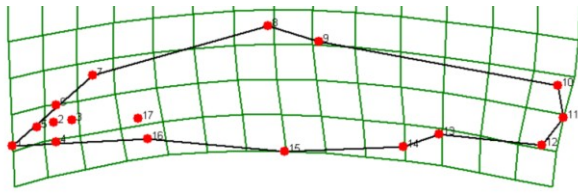


Obr. 34. PC1 záporný extrém

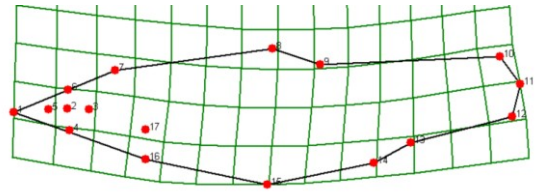


Obr. 35. PC1 kladný extrém

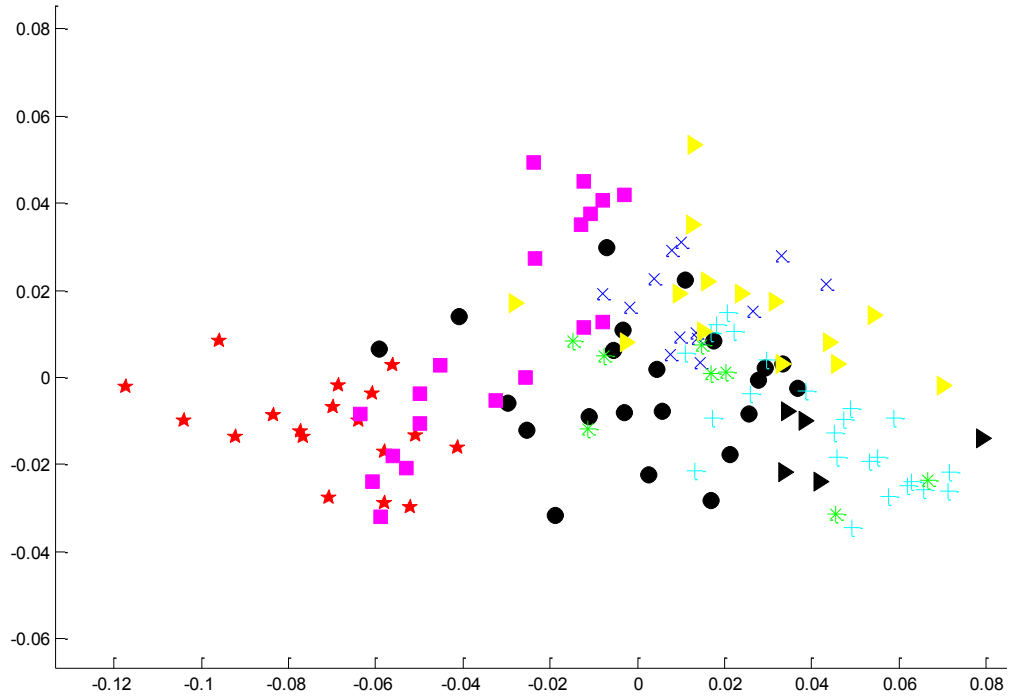
Druhá hlavní komponenta **PC2**, podílející se na celkové variabilitě 12,24%, vyjadřuje tvarové odchylky od průměru s ohledem na konkávní či konvexní zakřivení těla (viz Obr. 36, 37).



Obr. 36. PC2 záporný extrém

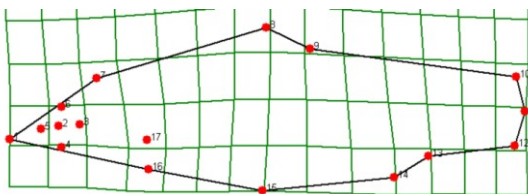


Obr. 37. PC2 kladný extrém

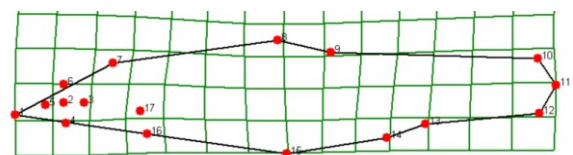


Graf 4. PCA zobrazující všech 123 jedinců, na ose y vynesena PC1, na ose x PC3

Třetí hlavní komponenta **PC3**, podílející se na celkové variabilitě 8,93%, vyjadřuje tvarovou variabilitu vztaženou k poměru délky a výšky těla a zároveň i k délce ocasního násadce, která je vyjádřena jako odchylka od průměru směrem do kladných či záporných hodnot (viz Obr. 38, 39).

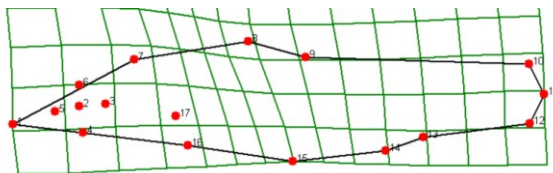


Obr. 38. PC3 záporný extrém

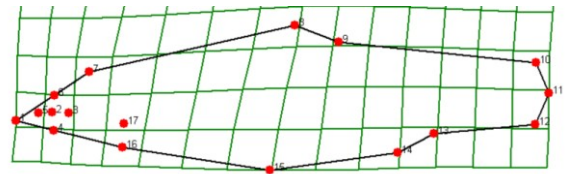


Obr. 39. PC3 kladný extrém

Čtvrtá hlavní komponenta **PC4**, podílející se na celkové variabilitě 7,62 %, vyjadřuje posazení hřbetní ploutve vzhledem k celkové stavbě těla, která je posunuta blíže k hlavě či k ocasu. Zároveň je ve významnosti této komponenty zahrnuta proměnlivá délka hlavy, vyjádřená jako odchylka od průměru směrem do kladných či záporných hodnot (viz Obr. 40, 41).

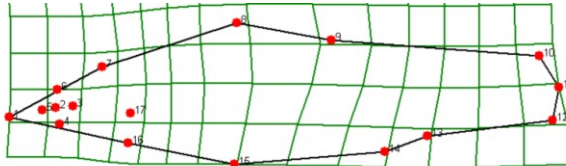


Obr. 40. PC4 záporný extrém

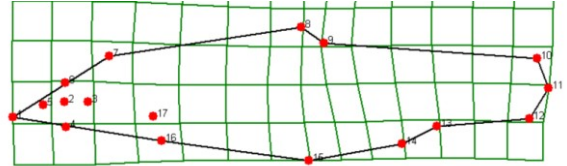


Obr. 41. PC4 kladný extrém

Pátá hlavní komponenta **PC5**, podílející se na celkové variabilitě 5,65 %, vyjadřuje tvarové změny související se změnou délky základny hřbetní a řitní ploutve a současně rozdílné postavení ploutve břišní – v záporném extrému směrem k hlavě, v kladné směrem k ocasu, vztaheným k průměrné hodnotě 0 (viz Obr. 42, 43).



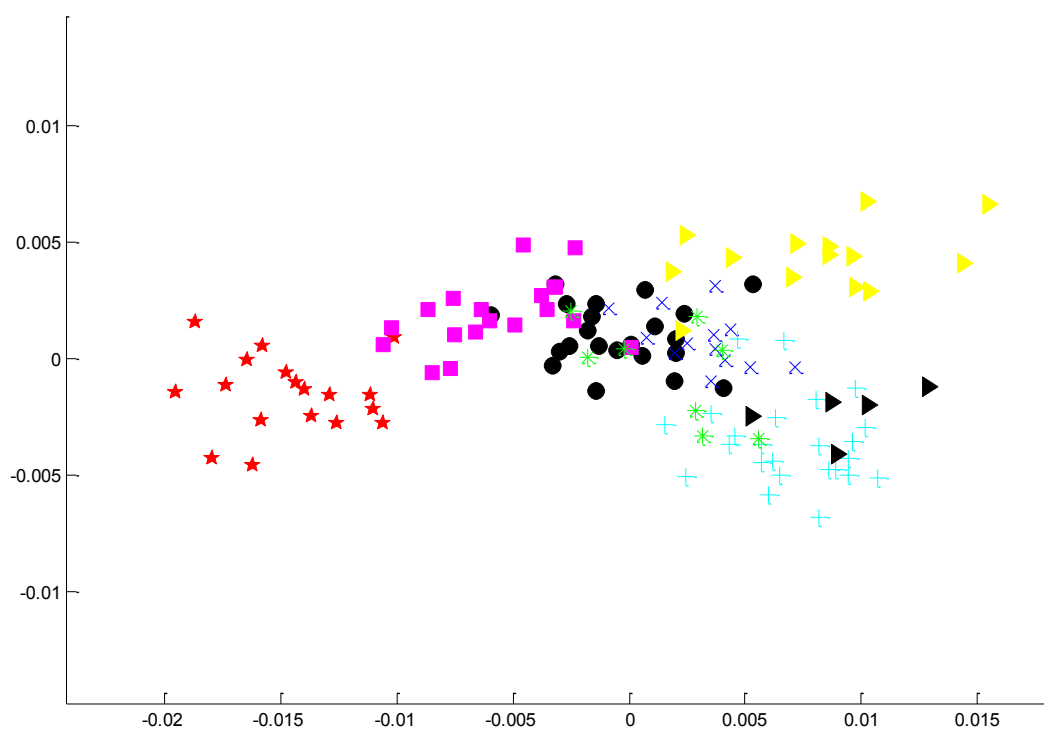
Obr. 42. PC5 záporný extrém



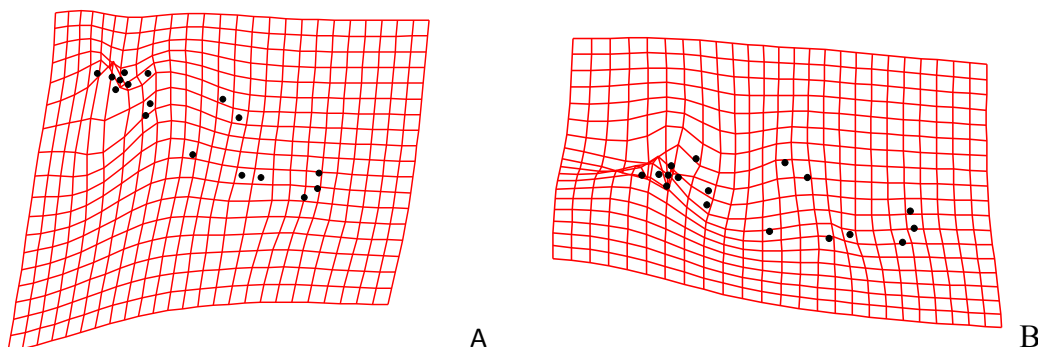
Obr. 43. PC5 kladný extrém

5.1.2 Kanonická variační analýza

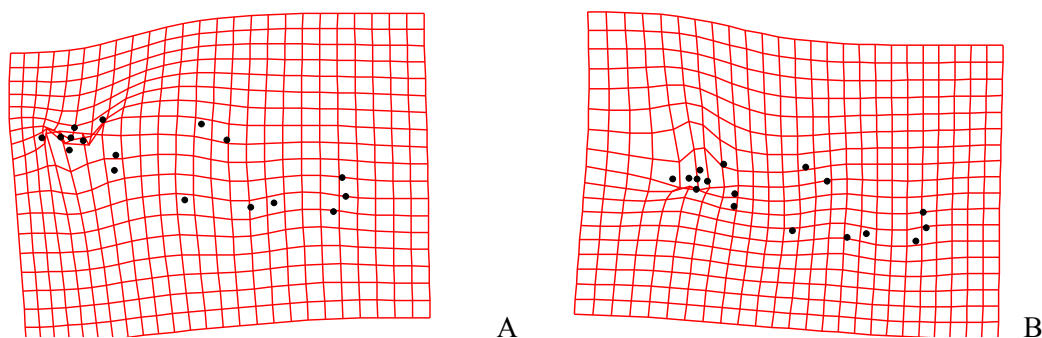
Kanonická variační analýza (CVA), vyhodnocená pomocí programu CVAGen (Sheeds, 2002b.), maximalizuje rozdíly mezi skupinami a tak indikuje rozdělení do skupin o něco zřetelněji a podrobněji než analýza PCA (viz graf 5, 6; Obr. 44, 45). Na grafu CVA (graf 5) je lépe vidět shlukování dle příslušnosti do jednotlivých skupin, má graficky lepší vypovídací hodnotu než analýza PCA. Podle CVA analýzy jsme schopni jednotlivé ryby s větší pravděpodobností správně zařadit do příslušné skupiny.



Graf 5. CVA graf zobrazující rozdělení skupin dle CV1 a CV2



Obr. 44. Deformace hlavní kanonické komponenty (CV1) – záporný extrém (A) a kladný extrém (B)



Obr. 45. Deformace hlavní kanonické komponenty (CV2) – záporný extrém (A) a kladný extrém (B)

CVA analýza je schopna vygenerovat, kteří jedinci byly na základě tvarové variability do skupiny zařazeny mylně. Z následující tabulky je zjevné (Tab. 3), že ze 123 ryb rozdělených podle pravděpodobné druhové příslušnosti do 8 skupin, by 14 jedinců z hlediska tvarové rozdílnosti mohlo příslušet skupině jiné. Podle výsledků CVA analýzy bylo v souladu s tvarovou podobností zařazeno 89% vzorků do příslušné skupiny a 11% vzorků bylo zařazeno s možnou chybou.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	19	1	0	0	1	0	1	0
2	0	13	0	0	0	0	0	0
3	0	0	17	1	0	0	0	0
4	0	0	1	17	0	1	0	0
5	0	2	0	0	19	1	0	2
6	1	0	0	0	0	7	0	0
7	1	0	0	0	0	0	13	0
8	0	0	0	0	1	0	0	4

Tab. 3. Test robustnosti shlukování podle CVA. Originální skupiny v řádcích, ve sloupcích skupiny, do kterých CVA přiřazuje „slepé“ vzorky (červeně vyznačené)

6. DISKUSE

Druhová diverzita rybích populací v Africe je velmi málo zmapována. Existuje jen malý počet publikací, zabývajících se angolskou ichtyofaunou a o oblasti provincie Bié neexistuje vůbec žádná vědecká literatura pojednávající o místních rybích zástupcích. Proto by mohla mít tato práce pozitivní přínos z hlediska charakteristiky druhů palem (*Barbus*) v této lokalitě.

Účelem mé práce bylo identifikovat hlavní znaky mezidruhové tvarové variability rodu *Barbus* pomocí metod geometrické morfometrie. Nejdůležitějším rozlišovacím znakem, z hlediska posuzování exteriéru, byl analýzou vyhodnocen rozdílný poměr délky a výšky těla zahrnutý v první hlavní komponentě (PC1). Ke stejnému závěru došel i Clabout *et al.* (2006), který v Africe zkoumal tvarovou variabilitu u 45 druhů tamních cichlid. A mezi nejpodstatnější anatomické determinační znaky určil právě poměr výšky a délky těla a variabilitu délky ocasního násadce.

Druhou hlavní komponentou (PC2) určující rozdílné tvary těla je na základě výsledků PCA analýzy konkávně či naopak konvexně prohnutý tvar těla. Tato komponenta má podíl na celkové tvarové odlišnosti 12%. Nepovažuji však takový znak za dostatečně relevantní při určování druhu. Stejně jako Marcil *et al.* (2006), který podíl na důležitosti tohoto znaku při studiu atlantské tresky obecné (*Gadus morhua* L.) vyjádřil 13%, přisuzuji toto zakřivení deformaci těl. To bylo způsobené nevhodnými podmínkami při fixaci vzorku a následnou nesprávnou manipulací a jeho uskladněním.

Třetí hlavní komponenta (PC3) vyjadřuje tvarovou variabilitu vztaženou k poměru délky a šířky těla a zároveň i k délce ocasního násadce. Stejně jako u již zmíněného Clabouta *et al.* (2006) a mnohých dalších zabývajících se touto problematikou. Tento závěr potvrzují také práce u skupin Labridae (pyskouni) (Nunes a kol., 2008), případně Serranidae (kanici) (Cavalcanti a kol., 1999).

Čtvrtá a pátá hlavní komponenta (PC4 a PC5), jsou z pohledu tvarové proměnlivosti méně významné než komponenty předešlé. Zahrnují rozdílné posazení hřbetní, břišní a řitní ploutve a jejich postavení blíže k hlavě či k ocasu. Zároveň je ve významnosti těchto komponent zahrnuta proměnlivá délka hlavy.

Většina z výše zmíněných autorů porovnávající morfologický profil ryb stejných rodů s jejich genetickou výbavou se ve svých pracích shoduje na tom, že spíše než genetickým podkladem, je morfologie těla ovlivněna vlivem okolního prostředí a způsobem života (Walker a Bell, 2000; Turan, 2004).

Například první skupina angolských palem *Barbus cf. radiatus* má prokazatelně větší oči než většina ostatních skupin. To může svědčit o způsobu života za zhoršených světelných podmínek. Při porovnání s údaji, které o tomto druhu uvádí Skelton (2001) ve své publikaci, se tento fakt potvrzuje. Daný druh je obyvatelem hustých vegetačních porostů u břehů řek a je aktivní především v noci.

Výrazně větší oči mají i jedinci skupiny č. 4 *Barbus cf. mattozi* žijící údajně v řekách a nádržích, kde bývá zpravidla kalnější voda. Velká ústa svědčí o tom, že je aktivním predátorem, schopným pozřít i větší kořist. To Skeltona potvrzuje a uvádí, že se jedná především o dospělé jedince. Dlouhé ploutve a protáhlý vřetenovitý tvar těla jsou uzpůsobeny ke snadnějšímu pohybu proti proudu řek (Skeleton, 2001).

Velikost očí, v poměru k velikosti těla, odchylovající se od průměru směrem do kladných hodnot byl určen i u skupiny č. 6 *Barbus cf. barotseensis*. Vzhledem k tomuto faktu by se dalo považovat za pravděpodobné, že tento druh žije také za nižšího přístupu světla. Dostupná literatura (Skeleton, 2001; Poll, 1973) uvádí pouze, že se vyskytuje v tekoucích řekách. S přihlédnutím k předešlému faktu a k jeho menší velikosti ploutví je možné, že se také zdržuje u břehů řek ukryt v husté vegetaci.

Parmy *Barbus cf. paludinosus* a *Barbus cf. afrovernayi*, zařazené na základě pravděpodobné druhové příslušnosti do 7. a 8. skupiny, podle celkového habitu, malých očí i ploutví, žijí u břehů stojatých čistých vod. Tato fakta potvrzuje ve své práci Skeleton (2001).

Zbylé tři skupiny (2., 3., a 5.) zahrnující *Barbus cf. kersteii*, *Barbus cf. argenteus* a *Barbus cf. poechii*, jsou podle Skeltona (2001) obyvateli horských říček, bystřin a potoků. Tomu nasvědčuje charakter jejich silnějších svalnatých těl přizpůsobených stálému náporu silného proudu. V těchto lokalitách jsou vody průzračné, proto jsou oči těchto jedinců menší v poměru k ostatním.

Druhová variabilita palem v oblasti Bié v Angole je poměrně rozmanitá. Tvarová heterogenita sledovaných jedinců se zdá být velkou měrou ovlivněna způsobem života a

tlakem okolních faktorů. Geografický profil angolských toků klade vodním organismům mnoho překážek (jak přírodních tak antropogenních) zabraňujících jejich migraci a vzájemnému kontaktu, také proto se zde vyvinulo mnoho linií směřujících různými vývojovými směry, které odráží jejich celkový morfologický habitus.

7. ZÁVĚR

- Celkem bylo nafoceno a zpracováno 242 parů z oblasti Bié v Angole, pro samotnou analýzu bylo vybráno a použito 123 jedinců rozdělených do 8 skupin podle druhové příslušnosti.
- Všechny 242 ryb je opatřeno identifikačním kódem a fotograficky zdokumentováno. V případě potřeby je díky měřítku na fotografii možné tradiční měřené charakteristiky získat dodatečně. Tyto materiály mohou být později využity k dalším analýzám či srovnání vývoje tvarové variability v časovém horizontu.
- Na základě analýz geometrické morfometrie byly pro tento soubor určeny hlavní znaky morfometrické odlišnosti. Jako nejvýznamnější komponenta (45,99 %) byla vyhodnocena změna poměru délky a výšky těla. Dalšími významnými faktory byly určeny proměnlivá délka ocasního násadce, relativní délka hlavy, posunutí postavení ploutví a rozdílná délka jejich báze.
- Pomocí vícerozměrných statistik nebyl odhalen žádný určitý morfologický znak, který by všechny tyto druhy od sebe jednoznačně odlišoval.
- Výsledky analýz GM ukazují, že některé druhy tohoto rodu jsou ve zkoumané lokalitě tvarově více uniformní (*Barbus cf. argenteus*, *Barbus cf. poechii*, *Barbus cf. profundus*, *Barbus cf. afrovernayi*), jiné jsou naopak specifikovatelné hůře a jejich tvarová variabilita zasahuje i do charakteristik jiných skupin (*Barbus cf. radiatus*, *Barbus cf. palodinosus*, *Barbus cf. manicensis*, *Barbus cf. Barotseensis*).
- Technika zachycení tvaru a popisu jeho změn prostřednictvím konfigurace význačných bodů dostatečně vystihuje morfologické rozdíly rybích populací rodu parma v Angole a je použitelným nástrojem pro porovnávání jejich odlišností a míry variability.
- Výsledky této práce poslouží další přesné identifikaci zástupců rodu parma na území provincie Bié v Angole

8. POUŽITÁ LITERATURA:

Adams, D.C., Rolf J.F., Slice D.E., 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the „revolution“. *Italian Journal of Zoology*, **71**: 5-16

Almaça, C., 1988. Remarks on the biogeography of Euro-Mediterranean *Barbus* (Cyprinidae, Pisces). *Bull. Ecol.*, **19**: 159-162

Anděra, M., 2003. Encyklopedie naší Přírody, Libri s.r.o., Praha, 367 s.

Bailey, R.G., 1969. The non- cichlid fishes of the eastward flowing rivers of Tanzania, East Africa. *Rev. Zool. Bot. Afr.*, **80** (1-2) : 170-199

Balon, E.K., 1974. Fish production of tropical ecosystem. In Lake Kariba: a man-made tropical ecosystem in Central Africa (Ed. E.K. Balon & A.G. Coche), Junk, The Hague, 249-684

Banarescu, P., 1973. Origin and affinities of the freshwater fish fauna of Europe. *Ichthyologia*, **5**: 18

Banister, K.E. & Tys Van Den Audenaerde D.F.E., 1973. La redécouverte de *Sanagia velifera* Holly, 1926. *Rev. Zool. Bot. Afr.*, **87** (1) : 181- 188

Banister, K.E., 1987. The *Barbus perince* – *Barbus neglectus* problem and review of certain Nilotic small *Barbus* species (Teleostei, Cypriniformes, Cyprinidae). *Bulletin of the British Museum of Natural History (Zoology)* **53**: 115-138

Banister, K.E. (1973). A revision of large *Barbus* (Pisces, Cyprinidae) of East and Central Africa. *Bulletin of the British Museum of Natural History (Zoology)* **26**, 1-48

Billy A.J., 1982. The effects of formalin and isopropyl alcohol on length and weight measurements of *Sarotherodon mossambicus* Trewavas. *Journal of fishery Biology*, **21**: 107-112

Boulenger, G.A., 1905. Distribution of African freshwater fishes. *Rep. Meet. Br. Assoc. Adv. Sci. (S. Afr.)*, **75**: 412-432
Boulenger, G.A., 1909-1915. *Catalogue of the freshwater fishes of Africa in the British Museum (Natural History)*. Volumes I-IV. Trustees of the British Museum (Natural History), London.

Bowmaker, A.P., Jackson P.B.N. & JUBB R.A., 1978. Freshwater fishes. In *Biogeography and ecology of Southern Africa*. (Ed. M.J.A. Werger.) : 1181-1230. *Monographie Biologicae*, **31**, Junk, The Hague

Brookstein, F.L., 1997. Morphometric tools of geometric morphometrics, Plenum Press, 131-151

Caetano João, M.A, Divišová M., Galušková, I., Horajsová, Z., Chaloupková, P., Kalous, L., Kočárek, M., Musilová, Z., Rokyta, K., Trefil, P., Výborná, M., 2009. Twapandula,

Čzu v Praze – Institut tropů a subtropů, Praha, p.70.

Cavalcanti, M. J., Monteiro, L. R., Lopes, P. R. D. 1999. Landmark-based morphometric analysis in selected species of serranid fishes (perciformes: Teleostei). *Zoological studies*, **38**: 287-294.

Clabaut, C., Bunje, P. M. E., Salzburger, W., Meyer, A., Schwenk, K. 2006. Geometric morphometric analyses provide evidence for the adaptive character of the tanganyikan cichlid fish radiations., *The Society for the Study of Evolution*. **61**: 560-578.

Copley, H., 1958. Common freshwater fishes of East Africa. H.F & G. Witherby Ltd, London.

Dumont, H.J., 1982. Relikt distribution patterns of aquatic animals: another tool in evaluating late Pleistocene climate changes in the Sahara and Sahel. *Palaeoecology of Africa and the surrounding island*, **14**: 1-24

Diesener, G., Keller, E., Koch, I., Militz, C., Schmidt, M., Schmitz, S., Sigl, A., Tererofal, F. Witt, R., 1998. Animal Encyklopedia, Munchen, Bertelsmann Lexikon Verlag, München, 160 s.

Doadrio, I., 1990. Phylogenetic relationships and classification of western palaeartic species of the genus *Barbus* (Osteichthyes, Cyprinidae), *Aquat. Living Resour.*, **3**: 265-282

Doadrio, I., Guégan, J.F., Machordom, A., Rab, P., 1995. New evidence of hexaploidy in „large“ African *Barbus* with some consideration on the origin of hexaploidy, *Journal of Fish Biology*, **47**: 192-198

Doadrio, I., Mironovsky, N., Reig, S., 1998. Geometric analysis of size and shape variation in barbel from Lake Tana (Ethiopia), *Folia Zool.*, **47**: 35-51

Freyhof, J., Kottelat, M., 2007. Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Berlin, 646 s.

Greenwood, P.H., 1976a. A review of the family Centropomidae (Pisces, Perciformes). *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.)*, **29**: 1-81

Günther, A.C.L.G., 1880. *An introduction to the study of fishes*. Adam & Charles Blacl, Edinburgh.

Hanel, L., 1998. Svět zvířat – Ryby, Albatros, Praha, 150s.

Howes, G.J., 1980. The anatomy and classification of bariliine of cyprinid fishes. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.)* **37**: 129-198

Jones, N. and O'Higgins, P., 1998. Facial growth in *Cercocebus torquatus*: an application of three-dimensional geometric morphometric techniques to the study of morphological variation. *J. Avant.*, **193**: 251-272

- Karaman, M., 1971. Süßwasserfische der Türkei. Revision der Barden Europas Vordderasiens und Nordafrikas. *Mitt. Hamburg. Zool. Mus. Inst.*, **67**, 175- 254
- Kendall, D., 1977. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, č. **9**, s. 428-430
- Klíma, J., 2003. Sručná historie států - Angola, Libri, Praha, p.100.
- Klíma, J., 2008. Dějiny států – Angola, Lidové noviny, Praha, 408 s.
- Kosswig, C., 1973. Über die Ausbreitungswege sogenannter perimediterraner Süßwasserfische. *Bonn. Zool. Beitr.*, **24**, 165-177
- Košinář, M., Šára, P., 2002. Lexikon zemí světa, Kartografie Praha a.s., Praha 2002 ISBN 80-7011-698-6, 169s.
- Kuedikuenda, S., Xavier, M.N.G., 2009. Framework report on Angola's biodiversity, Ministry of Environment of Angola, 60 s.
- Lévêque, C., Paugy, D., Teugels, G.G., 1990. *Faune des Poissons d'Eaux Douce et Saumâtre de l'Afrique de l'Ouest*. ORSTOM-MRAC eds (*Coll. Faune tropicale XXVIII*), Tome I. Paris: Tervuren
- Lowe-McConnell, R.H., 1975. *Fish communities in tropical freshwaters: their distribution, ecology and evolution*. Longman, London, 337 s.
- Lowe-McConnell, R.H., 1979. Ecological aspects of seasonality in fishes of tropical waters. *Symp. Zool. Soc Lond.*, **44**: 219-241
- 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
- Matthes, H.W., 1964. Les poissons du lac Tumba et de la région d'Ikela. Étudy systématique et écologique. *Annl. Mus. r. Afr. Cent. Sci. Zool.*, **126**: 1-204
- Mazurová, E. Jurajda, P., Zukal, J., 2002. Metodické poznámky k morfometrickým studiím v ichtyologii. Sb. Ref. V., České ichtyologické konference, Brno, s. 108-113.
- Miller, A., Stehen, H., John, P., 1996. *Zoology*, WCB/McGraw-Hill, Boston, 723 s.
- Militz, C., 1997. Sladkovodní ryby v evropských vodách – Biologie a ekologie ryb, Irar, Praha, 288 s.21
- Nunes, J., L., S., Piorski, N. M., Araújo. M. E. 2008. Phylogenetic and ecological inference of three halichoeres, (perciformes: Labridae) species through geometric morphometrics. *Cybium*, **32(2)**: 165-171.
- Platnick, N.I., Nelson, G.J., 1978. A method of analysis for historical biogeography. *Syst. Zool.* **27**, 1-16

- Pellegrin, J., 1912. Les poissons d'eau douce d'Afrique et leur distribution géographique. *Mém. Soc. Zool. Fr.*, **25**: 63-83
- Petrtyl M., 2008. Využití geometrické morfometrie a superpozičních technik pro rozlišování plemen a linií hospodářsky významných druhů ryb, *Disertační práce, KZR – FAPPZ - ČZU v Praze*, 68 s.
- Poll, M., 1967. Contribution à la faune ichthyologique de l'Angola, Companhia de diamantes de Angola (Museo de Dundo). *Publicações culturais*, **75**: 1-381
- Poll, M., 1973. Nombre et distribution géographique des poissons d'eau douce africains. *Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris*, 3e sér. (150). *Ecol. Gen.* **6**: 113-128
- Poll, M., 1980. Ethologie comparés des poissons fluviatiles et lacustres africains. *Bull. Acad. R. Belg., Cl. Sci.*, 5e sér., **66** (1980-2): 78-97
- Richtsmeier, J.T., Burke, D., Valery, C.J., Lele, S., Subhash 2002. The promise of Geometric Morphometrics. *Year book of Physical Antropology*, **45**:68-91
- Roberts, T.R., 1975. Geographical distribution of Afričan freshwater fishes. *Zool. J. Linn. Soc.*, **57**: 249-319
- Silva, S.C.P., 2003. Contribution to the study of phyloplatoon community on the angolan coast. Graduation Thesis in Biology. Department of biology of Science Fakulty, Agostinho Neto University. Luanda: 79pp.
- Skeleton, P.H., Tweddle, D., Jackson, P. B.N., 1991. Cyprinids in Africa. *In Cyprinid Fishes. Systematics, Biology and Exploitation* (Winfield, I. & Nelson, J., eds), Chapman & Hall, London, 221-239 s.
- Skelton, P.H., 2001. *Freshwater Fishes of Southern Africa*, Struik Publisher, Cape Town, 85 s.
- Slice, D.E., 2005. Modern Morphometrics. In: Slice, Denis E., ed., *Modern Morphometrics in Phycal Antropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, s. 1-45
- Sheets, D., H. 2002a. Imp: Coordgen6 - coordinate generation utility. Main St. Buffalo, NY 14208.
- Sheets, D., H. 2002b. Imp: Cvagen6 - canonical variate analysis utility. Main St. Buffalo, NY 14208.
- Sheets, D., H. 2002c. Imp: Pcagen6 - principal component analysis utility. Main St. Buffalo, NY 14208.
- Thomson, D'Arcy W., 1917. *On growth and form*. Cambridge: Cambridge University Press

Valeri, C.J., Cole, T.M., Lele, S., Richtsmeier, J.T. 1998. Capturing data from three-dimensional surfaces usány fuzzy landmarks. *American Journal of Physical Anthropology*, **107**: 113-124

Walker, J. A., Bell, M. A. 2000. Net evolutionary trajectories of body shape evolution within a microgeographic radiation of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Journal of Zoology*, 252, 293-302.

Zelditch, M. L. *et al.*, 2004. *Geometric morphometrics for biologist: a primer Amsterdam, Boston, MA: Elsevier Academic Press*

Zima, J., Macholán, M., Munclinger, P., Piálek, J., 2004. *Geometrické metody v zoologii*, Karolinum, Praha, 240 s.

Použité internetové zdroje:

<http://www.businessinfo.cz/cz/sti/angola-zakladni-informace-o-teritoriu/1/1000768/#sec3>