

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Aplikace metod analýzy tvaru lastur sladkovodního mlže
(*Unio crassus*) pro bioindikaci stavu povrchových vod**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Hana Zuzáková

Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: Ing. Karel Douda, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Aplikace metod analýzy tvaru lastur sladkovodního mlže (*Unio crassus*) pro bioindikaci stavu povrchových vod" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Karlu Doudovi, vedoucímu mé diplomové práce, za jeho trpělivost, rady a zkušenosti od něj získané. Poděkování dále náleží Tadeuszovi Zajacovi a Katarzyně Zajac za poskytnutí lastur *Unio crassus* pro analýzu.

Aplikace metod analýzy tvaru lastur sladkovodního mlže (*Unio crassus*) pro bioindikaci stavu povrchových vod

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá tvarovou plasticitou sladkovodního mlže velevruba tupého (*Unio crassus*), jehož schránky byly shromážděny v různých povodí Polska, Litvy, Bulharska, Rumunska a Ukrajiny. Konkrétně se jedná o 28 různých toků a 793 nasbíraných jedinců. Hodnoty naměřené v bakalářské práci pomocí klasické morfometrické analýzy byly v této studii rozšířeny o další datovou sadu a analyzovány pomocí nových parametrů a přístupů. Každý jedinec byl analyzován pomocí Fourierovi eliptické analýzy obrysu v počítačovém programu Shape 1.3. Výsledky z analýzy hlavních komponent (PCA) získané tímto způsobem vypovídají o charakteru tvaru schránek, resp. zda se jedná o protáhlost či zakulacenost tvaru schránek. Další šetření těchto PCA hodnot prokazuje jejich souvislost s růstem lastury a signifikantní výsledky na různých lokalitách i parametrech. Práce také dokazuje rozdílnou rychlost růstu mlžů *Unio crassus* na různých tocích. Dále jsou posuzovány závislosti a vlivy různého využití území v povodí na tvar schránek jedinců. Typy pokryvu povodí a průměrná nadmořská výška byly zjištěny GIS analýzami. Třídy pokryvu „Corine Land Cover classes“ byly rozděleny do třech základních kategorií (zástavba, zalesnění, zemědělství), se kterými je dále pracováno. Ze statistického šetření vyplývají vztahy mezi PCA hodnotami, naměřenými velikostmi, rezidui, procentuálním zastoupením jednotlivých pokryvů a průměrnými nadmořskými výškami. V práci je potvrzena významná souvislost ve vztahu zástavby s průměrnou reziduální hodnotou poměru délky a výšky (L/H), kde je v povodích s větším procentem zastavění větší množství živin ovlivňující ovalnost schránek. Nadmořská výška také souvisí s poměrem L/H, v jejím případě byla nulová hypotéza zamítnuta a je tak zřejmý její vliv. Výsledky práce ukazují, že existuje významná souvislost mezi tvarovými (růstovými) charakteristikami schránek studovaného druhu *Unio crassus* a podmínkami využití území v povodí.

Klíčová slova: *Unio crassus*, lastura, Fourierova morfometrická analýza, GIS, land-cover, říční toky

Application of the methods for analysis of the shell shape of freshwater mussel (*Unio crassus*) for the bioindication of surface water status

Summary

This thesis deals with shape plasticity of the freshwater *Bivalvia* (*Unio crassus*), whose shells were collected in different locations of Poland, Lithuania, Bulgaria, Romania and Ukraine. Specifically, there are 28 different flows and 793 collected individuals. The values measured in bachelor thesis using classical morphometric analysis were extended by new dataset and analyzed with the use of novel parameters and approaches.

Each individual was analyzed using the Fourier elliptic contour analysis in the Shape 1.3 computer program. The results of principal component analysis (PCA) obtained in this way account for the character shape of the shells, respectively whether it is the elongation or roundness of the shape. Further analysis of these PCA scores demonstrates their relationship to growth of shells and significant results on different localities and parameters. The thesis demonstrates the different growth rate of *Unio crassus* on different rivers too. Furthermore, the dependencies and influence of different land cover in watershed uses on the shape of the individual are assessed. The types of river basin land cover and average altitude were identified by GIS analysis. Cover classes "Corine Land Cover Classes" were separate into three basic categories (development, forest areas, agriculture). The statistical analysis shows the relationships between PCA score, measured sizes, residuals, proportion of land-use categories and average altitudes. Significant relationship was recorded between the urban development and average residual value of the length / height ratio (L / H), where in the basins with a higher percentage of the buildup the quantity of nutrients affecting the ovality of the shells. The altitude also influenced the L / H ratio, in which case the zero hypothesis was rejected and its effect is obvious. The results of the work show that there is a significant relationship between the shape (growth) characteristics of the shells of the studied species *Unio crassus* and the conditions and land use in the catchment area.

Keywords: *Unio crassus*, seashell, Fourier morphometric analysis, GIS, land-cover, river flows

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíl práce	2
3	Literární rešerše	2
3.1	Vliv pokryvu povodí na vodní ekosystémy	2
3.2	Vliv vodního prostředí	3
3.3	Antropogenní vliv ve studovaných oblastech	5
3.4	Fourierova morfometrická analýza	7
4	Metodika a materiál.....	9
4.1.1	Porovnání základních velikostních proměnných	9
4.1.2	Shape 1.3.	10
4.1.3	ArcGis	11
5	VÝSLEDKY	13
5.1	Vztahové závislosti mezi délkou, výškou a délko-výškovým poměrem.....	13
5.2	Vyhodnocení růstu ve vztahu k věku.....	14
5.3	Vyhodnocení růstu na jednotlivých lokalitách	15
5.4	Tvarové parametry, Shape 1.3.....	21
5.5	Charakter povodí a Land cover.....	24
6	Diskuze	38
6.1	Vyhodnocení růstu	38
6.2	Vyhodnocení zpracování vstupních dat v podobě fotografií.....	39
6.3	Vyhodnocení pokryvu povodí	40
7	Závěr.....	43
8	Literatura	44
9	Seznam zkratk.....	49
10	Přílohy	50

1 Úvod

Unio crassus neboli velevrub tupý je druh sladkovodního mlže vyskytující se v čistých a tekoucích vodách, kde obývá koryta s kvalitními dnovými nánosy bahna, šterku či písku (Hlaváč, 2006). Jedná se o poměrně velkého zástupce řádu Unionoida, zpravidla se jeho délka pohybuje v rozmezí 50 až 70 mm, výška v rozmezí 30 až 40 mm a tloušťka bývá 25 až 35 mm (Beran, 2002, Kupka a Horsák, 2013), přičemž rozměry se mohou vzájemně lišit mezi jednotlivými populacemi tohoto druhu (Bauer a Wächtler, 2001). Ještě na počátku 20. století býval *U. crassus* jedním z nejčastějších sladkovodních druhů svého řádu ve střední Evropě (Denic et al., 2014). Ovšem za několik posledních desítek let, byly zejména vlivem antropogenní činnosti, například znečišťováním řek toxickými látkami nebo intenzifikací průmyslu a zemědělství, počty jeho jedinců i celé populace výrazně snižovány a oslabovány, a to v takové míře, že se *U. crassus* stal jedním z celosvětově ohrožených druhů sladkovodních mlžů. Dle červeného seznamu IUCN (Red list IUCN) je označován, jako tzv. „téměř ohrožený“ druh (NT) a v České republice je v červeném seznamu uváděn jako druh „ohrožený“ (EN) (Fet a Popov, 2007). Vzhledem k takto vysokému ohrožení musí *U. crassus* vykazovat značnou tvarovou plasticitu a variabilitu, která má přímý vliv na přežití tohoto taxonu. Populace je v důsledku toho tvořena jedinci s různorodým tvarem, rozdílnou délkou, hmotností, tloušťkou schránky a odlišné bývají také jejich maximální doby životnosti. K této celkové variabilitě dochází i v rámci stejného toku (Hochwald, 2001). Výrazná citlivost *U. crassus* a vysoké nároky, které klade na své prostředí, nám umožňují na něj nahlížet jako na významný biologický indikátor (bioindikátor) kvality povrchových tekoucích vod (Bauer a Wächtler, 2001). V této práci je zjišťován předpokládaný vliv různě využívaného území ve sledovaných oblastech povodí na životní podmínky mlže *U. crassus*, jeho růst a délku života. Na základě těchto dat je dále posouzena možnost bioindikace stavu povrchových vod pomocí analýzy lastur sladkovodních mlžů se zaměřením na morfologickou variabilitu druhu *Unio crassus* v modelovém území. Práce navazuje na již obhájenou bakalářskou práci (Zuzáková, 2016). Zde je používán obdobný přístup s rozdílem většího množství vstupních dat. Zásadní rozdíl je v použití jiné morfometrické analýzy, původní klasická metoda je nahrazena Fourierovou obrysovou analýzou. Zpracování tzv. „land coverů“ v programu ArcGis u zkoumaných toků je upřesněno souřadnicovými body místa sběru jedinců na reálném vyznačeném povodí, přičemž v předešlé práci bylo povodí určeno pouze „bufferem“ o velikost odmocniny délky toků. Větší množství dat a využití analýzy obrysu tvaru spolu s přesnějšími „land covery“, poskytuje nové výsledky a umožňuje větší rozsah testování.

2 Vědecká hypotéza a cíl práce

Cílem práce je s pomocí Fourierovi eliptické analýzy obrysu schránek a zároveň s využitím GIS analýzy zjistit a zhodnotit potenciální vliv různě využívaného území v povodí na jedince druhu *Unio crassus*.

Hypotéza předpokládá, že na základě analýzy růstových vlastností lastur sladkovodních mlžů je možné identifikovat stav vybraných charakteristik prostředí v povodí vodního toku.

3 Literární rešerše

Sladkovodní mlži jsou známy jako nejcitlivější složka sladkovodní fauny (Wilcove a Master, 2005). Toto tvrzení platí pro všechny druhy, ale obzvláště pak pro říčního mlže taxonu *Unio crassus* Philipsson 1788 (Unionidae, Mollusca), který hraje důležitou roli ve sladkovodním ekosystému a je považován za klíčový druh (Richter et al., 2016). Tento zástupce rodu *Unio* se vyskytuje téměř po celé Evropě, nalezneme jej ve střední, jihovýchodní i severní Evropě, od západní části Francie až po východní část Ruska (Lopes-Lima et al., 2017). Nicméně četnost jeho výskytu je velmi nízká, z tohoto důvodu, jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, patří mezi ohrožené druhy. Jeho zástupci trpí zejména lidskými zásahy, které ovlivňují kvalitu vodního prostředí a v nich vyskytujících se biotopů. Především se jedná o zvýšenou urbanizaci v oblasti povodí, zemědělskou činnost, těžbu a zpracování dřeva i těžbu říčního sedimentu (Kenderov a Sashov, 2017). Dále je také výskyt *U. crassus* ovlivněn přirozeným charakterem vodního prostředí a složením rybního společenstva (Taeubert et al., 2012).

3.1 Vliv pokryvu povodí na vodní ekosystémy

Na vodní ekosystémy je vyvíjen tlak okolním pokryvem území. Různé využití povodí může způsobovat rozdíly a změny v původním makrohabitu, který dále ovlivňuje složení taxonů žijících v těchto zalesněných, zastavěných a zemědělsky využívaných oblastech. V evropském měřítku má nejvíce negativní dopad zástavba spojená s průmyslovými oblastmi, s těžbou a městskou zástavbou (Carlson et al., 2013).

Antropogenní činnost je víceméně v každé zemi podobná, nicméně mezi nejvíce limitující faktory patří podélné a technické přestavby koryt a další stavby realizované napříč těchto toků. Jejich vlivem dochází k narušení morfologického a ekologického stavu koryt jako je například ztráta tvaru, ztráta přirozených rozměrů a rozsahů, zejména hloubky, která se umělými

úpravami zvětšuje a stává se tak dalším eliminujícím faktorem pro některé vodní organismy žijících v tekoucích vodách. Velké množství úprav na tocích vzniká s cílem vybudování protipovodňových odtoků, díky kterým v oblastech zasažených přivalovými dešti dochází k rychlejšímu ústupu vody. Zároveň však tyto úpravy napomáhají k odvodňování půdy, vedou ke zhoršení samočisticích procesů a také ke změně průtokového režimu, který způsobuje ztíženou migraci vodních organismů (Singr, 2014).

Podstatný vliv na vodní ekosystém mají také zemědělské plochy, velmi záleží na konkrétnosti jejich využití, zda se jedná o pastviny, louky nebo orné půdy, dále záleží také na typu kultivace a intenzitě hnojení. V případě pastvin se jedná o pozitivní účinky na bezobratlou faunu, stejně tak jako u zalesněných ploch (Wasson et al., 2010).

Při studiu pokryvu je také nezbytné uvažovat geografickou polohu dané řeky. U jižněji položených zemí a menších toků je důležitý vztah mezi klimatem a využitím půdy. Při nízkých srážkách lze očekávat snížení hladin vodních ploch pod hodnoty, které jsou nutné pro přežití taxonu. Pokud se v přímém dosahu či blízkém okolí vyskytují zemědělské plochy a průmyslové zástavby, v řečištích i tocích se sníženou hladinou vody, dochází ke zvyšování koncentrací toxických a nevhodných látek (Santos et al., 2015). Mezi tyto látky patří mimo jiné dusičnany, které se v povrchových vodách vyskytují přirozeně, jsou jedny ze čtyř hlavních aniontů, avšak vlivem antropogenní činnosti dochází k navyšování jejich koncentrace. Hlavními zdroji dusičnanů jsou v současné době odpadní vody, odpady ze zemědělství a splachy ze zemědělsky obdělávaných půd, které jsou hnojeny dusíkatými hnojivy. Ke zvýšené koncentraci v povrchových vodách přispívají také dusičnany atmosférických vod (Pitter, 2015). Následky expozice mohou být u organismů odlišné, od slabých fyziologických změn až po těžké toxické stavy. Limitní koncentrace pro *Unio crassus* jsou popsány v následující kapitole 3.2. (Velíšek, 2014).

3.2 Vliv vodního prostředí

Důležitým kritériem pro výskyt vodních organismů je chemické složení vod. Základními aniontovými makrokomponenty jsou hydrogenuhličitan, sírany, chloridy a dusičnany. Podstatný význam je v současné době přisuzován právě dusičnanům (NO_3^-), které se v povrchových vodách pohybují v řádech jednotek až desítek $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3^- . Naměřené hodnoty se mohou významně lišit v různých částech toku, horní části zpravidla obsahují nižší koncentrace NO_3^- (Pitter, 2015). Jejich vliv se liší v závislosti na druhu a věku organismu,

na koncentraci NO_3^- , a délce expozice (Velíšek, 2014). U druhu *Unio crassus* je uváděna maximální limitní koncentrace $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3^-$, u vyšších hodnot dochází k narušení jedinců a k jejich úhynu (Köhler, 2006, Zettler a Jueg, 2007, Douda, 2011). Několik prací však zmiňuje rozdílné maximální obsahy dusičnanů pro přežití tohoto druhu, a to až $5,6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Galová, 2013, Denic et al., 2014). Ve srovnání s *U. crassus* vykazuje perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) několikanásobně nižší hranici, a to $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. (Bauer, 1988). V důsledku překročení hranice, dochází u vodních organismů ke změně pigmentu na takové formy, které nejsou schopny přenášet kyslík (Camargo a Alonso, 2006, Douda, 2011). Populace v dobrém stavu (zdravý podíl mladých jedinců) obývají vodní toky s výrazně vyšší úrovní organického uhlíku ($0,7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} > \text{TOC} > 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) (Hus et al., 2006). Chemickým znečištěním vod, dochází ke snížení biologické rozmanitosti, v případě rodu *Unio* jako filtrátora planktonu je znečištění dalším eliminačním faktorem. Populace *U. crassus* upřednostňují toky bez eutrofizace a bez znečištění, vhodné pH vody je zásadité (alkalické, $\text{pH} > 7$), oligotrofní vody nejsou preferovány kvůli nedostatku živin (Hus et al., 2006). Taktéž o kvalitě života rozhoduje salinita vody, pokud se její koncentrace pohybuje nad hranicí 3 ‰, tvoří neobyvatelné prostředí. Prospívající koncentrace je okolo 1,5 ‰, podílí se také na zvýšení hmotnosti jedinců (Ercan a Tarkan, 2014).

Rychlost růstu a tvar lastury jsou výrazně ovlivňovány také makrohabitem a říčním sedimentem (Zieritz et al., 2014). Rychlejší nárůst hmoty a hrubý, vrásčitéjší povrch lastur je zaznamenán u jemného sedimentu, naopak v přítomnosti hrubšího substrátu získávají schránky jemnější charakter. V případě skalnatých koryt se velikost mlže značně liší, dorsálního oblouku a samotné schránky jsou podstatně větší, než je tomu u toků s klidnou vodou (Zajac et al., 2018). Morfologické vlastnosti lastur jsou také ovlivňovány podélným profilem řeky, pokud je místo výskytu v horní části toku, je schránka spíše podlouhlá, zatímco populace v nižší části řeky mají více zaoblený tvar (Scholz, 2013).

Nepříznivý vliv na chráněné druhy velevrubů mají i přítomné přehrad a hráze. Abundance druhu vzhledem ke vzdálenosti od přehrad se liší. Krátká vzdálenost od nádrže znamená větší proudovou rychlost vody, tudíž menší početnost jedinců. Testování probíhalo na řece Psel na Ukrajině, kde místa u hráze prokazovaly abundanci do 85 jedinců, zatímco úseky vzdálené 30 a více kilometrů prokazují výsledek 175 a více jedinců (Babko a Kuzmina, 2009). Velký podíl na početnosti taxonu *U. crassus* a jeho podmínkách výskytu ve vodním prostředí má správné složení a hustota hostitelského rybiho společenstva, které je velice důležitým faktorem pro rozmnožování (Stoeckl et al., 2015).

Na žábrech a ploutvích hostitelských ryb probíhá krátká parazitická fáze s larválním stádiem tzv. glochidiem (Ollson, 2012). Doposud byla kompatibilita mezi těmito mži a hostitelskou rybou studována pouze na druhové úrovni, nicméně nové poznatky naznačují, že tento vztah může být vysoce specifický pro různé vnitrodruhové populace (Douda et al., 2014). Znalosti interakce *U. crassus* s hostitelskými druhy jsou klíčové pro rozvoj účinných ochranných strategií, které jsou rozdílné na každém toku. Nejvhodnějšími hostitelskými druhy ve střední Evropě jsou jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*), střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) či vranka obecná (*Cottus gobio*) (Douda et al., 2012).

Naopak nevhodnými hostiteli jsou plotice obecná (*Rutilus rutilus*) a hořavka duhová (*Rhodeus sericeus*), které vykazují především mrtvá a nijak nebo nedostatečně vyvinutá stadia glochidií (Tatoj et al., 2017). V průběhu parazitní fáze při vývoji a metamorfóze hraje důležitou roli teplota vody, která také ovlivňuje procento mortality. V závislosti na teplotě vody a druhu hostitele trvá metamorfóza z glochidia na mladistvé jedince po dobu 20 až 50 dní. Teplota by tak měla být brána v úvahu při ochraně jednotlivých druhů (Taeubert et al., 2012).

3.3 Antropogenní vliv ve studovaných oblastech

V rámci této práce byly sledovány vybrané oblasti na území Polska, Litvy, Bulharska, Rumunska a Ukrajiny.

V Bulharsku se *U. crassus* vyskytuje častěji v nízko tekoucích vodách. V řece Palakariya byl v roce 2017 zaznamenán značně vysoký výskyt populace tohoto druhu. Vliv na tamní vyhovující hustotu populace má rybí společenstvo, které je z větší části složeno z vhodných druhů, jako je střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*), jelec tloušť (*Squalius cephalus*), ostroretka stěhovavá (*Chondrostoma nasus*). I přes současně vyhovující stav je populace ohrožena vysokou antropogenní činností, zvýšenou urbanizací v oblasti povodí, zemědělskou činností, těžbou a zpracováním dřeva, těžbou říčního sedimentu i okolním znečištěním (Kenderov a Sashov, 2017), (Obr. 23).

Antropogenní činnost ovlivňuje ekosystémy a biodiverzitu po celém světě, výjimkou není ani Rumunsko, kde průmyslová infrastruktura způsobila mezi 60. - 90. lety rychlý úbytek populace *U. crassus*. Na snížení abundance populací se podílela například výstavba vodních elektráren, vypouštění odpadních vod z domácností, průmyslových podniků i ze zemědělství a celkově snížená kvalita životního prostředí. Za poslední dvě dekády, během kterých byla snaha snížit průmyslové znečištění účinnějšími právními předpisy, bylo zjištěno určité ustálení a malý nárůst populace *U. crassus*, zejména v oblasti severního Benátu a jižního Sedmíhradska (Sírbu

et al., 2012). Vysoký antropogenní nátlak je zaznamenán také v Polské oblasti Małopolska, například v povodí řeky Skawinky, která je předmětem výzkumu této práce (Obr. 22). Toky v Małopolské oblasti jsou zatíženy znečišťujícími látkami, jejichž vlivem jsou měkkýši od sebe velmi izolováni a rozptýleni. Populace s větší abundancí se nacházejí převážně na severu země, kde ve srovnání s jižněji umístěnými toky, mají jedinci značnou velikostní převahu (Hus et al., 2006). Tvzení potvrzují zjištěné velikosti a počty jedinců jak severnějších, tak z jižnějších toků této práce.

V roce 2007 bylo zkoumáno území Litvy v rámci programu Natura 2000. Na základě zjištěných výsledků byla ochrana druhu *Unio crassus* označena za nedostatečnou. Jako důvody nevyhovující ochrany byly shledány špatně identifikované ochranné oblasti, špatná koordinace správy povodí a různý výskyt bobra evropského, který stejně jako ondatra pižmová ohrožuje schránky měkkýšů. Celkový stav populace byl v této době vážný, abundance se pohybovala na 4 jedincích/m² a v některých dalších řekách byly známy skutečnosti o vymírání taxonu. Rok 2016 přinesl nové výzkumy, ze sledovaných 236 lokalit byl výskyt potvrzen ve 125 oblastech, z toho 59 lokalit bylo hodnoceno jako velmi špatné. Jedna z největších abundancí byla zaznamenána na řece Babrungas (Obr. 25). Početnost na tomto toku se pohybovala na hodnotách 186 jedinců/m² (Skujienė a Mickevičius, 2017). Obecně lze říci, že populace *U. crassus* je vzhledem ke struktuře a početnosti je mizivá a celková ochranná opatření jsou neuspokojivá. Do budoucna je nezbytné znovu přezkoumat kritéria lokací pro další biomonitoring (Skujienė a Mickevičius, 2017).

Hustota populace *U. crassus* na Ukrajině je také jednou z nejnižších populací sladkovodních mlžů. Jeho průměrný výskyt je zde pouze $3,14 \pm 0,50$ a maximum je 15 jedinců/m². Nejnižší hustota v rámci již realizovaného výzkumu ukrajinských povodí byla zaznamenána v jižním Bohu ($2,00 \pm 1,00$ jedinců/m²) a nejvyšší v západní části stejného toku ($7,00 \pm 3,00$ jedinců/m²). Podle dostupné literatury z poloviny dvacátého století se hustota populace *U. crassus* v povodí ukrajinské řeky Prut pohybovala ve vysokých hodnotách, nicméně kvůli negativním změnám v hydrocenózách se abundance populace *U. crassus* začala rychle snižovat (Янович, 2015).

3.4 Fourierova morfometrická analýza

K popisu zevnějšku různých organismů je za potřebí využít morfometrii, jedná se o vědu, která zkoumá zejména vnější tvary živých organismů a jejich částí. *Unio crassus* a další zástupci rodu *Unio* mohou být podrobeni 3 typům morfometrie (Jandáková, 2016). Jedná se o klasickou morfometrii, geometrickou morfometrii a zde použitou Fourierovu eliptickou analýzu tvaru, která analyzuje obrysy šetrněji než ostatní metody, kde je zapotřebí větší manipulace se vzorky. Ostatní zmíněné metody byly blíže popsány v bakalářské práci (Zuzáková, 2016).

Jednou z několika možných proveditelných metod morfometrie je Fourierova eliptická analýza obrysu EFA (Elliptic Fourier Analysis), která je přesnou a doposud méně využívanou metodou v morfometriích (Crampton, 1995).

Jde o zdatnou metodu, která se zabývá zejména vnějšími tvary a analyzuje konkrétní obrysy předmětů šetrněji než metody jiné, kde je zapotřebí větší manipulace se vzorky. Samotná analýza probíhá digitální formou po přesunu dat z reálných objektů do počítače. Fourierovou transformací pomocí elips a kruhů vyjádřených sinusem, cosinusem vznikne celková rekonstrukce obrazu a konečné vykreslení obrysu. Na obrysu se také podílejí harmonické proměnné, které lze popsat podle tvarové variability. Koeficienty jsou normalizovány, tak aby byly neměnné vzhledem k velikosti, rotaci a výchozímu bodu, přičemž postup je založen na první harmonické elipse (Kuhl a Giardino, 1982).

Veškeré harmonické proměnné charakterizují detaily i drobné nedokonalosti schránky. Množství těchto proměnných se liší u všech organismů. Schránka i tvar sladkovodních mlžů, má typicky jednoduchý obrys. Obvykle se tedy u mlžů využívá 8 až 14 proměnných. V této práci bylo dostačujících 10 harmonických proměnných (Zuzáková, 2016). V této analýze se rozdílnost tvaru hodnotí vůči průměrnému tvaru ze všech dat. Data jsou často stanovená na velikosti, rotaci a počátečním bodu obrysu. Při využití analýz hlavních komponent (PCA) získáme důležité hlavní komponenty, popisující tvar a trend lastury, osy PCA. Dle složitosti objektu lze nastavit těchto os více či méně. V případě *Unio crassus* byly dostačující 3 osy s nejdůležitější 1. osou (PC1), která charakterizuje protáhlost a zaoblenost tvaru.

Cílem Fourierovi analýzy je redukce a zjednodušení množiny výsledků k prostšímu dosažení rekonstrukcí původních obrysů (Jandáková, 2016).

Důležitou zmínkou je, že tato analýza obrysových morfometrických metod, může správně udávat statistická data, ale nemusí být již správně vyobrazena (Scholz, 2013). Fourierova morfometrie je vhodným nástrojem v různých vědních oborech jako je paleontologie, medicína, agronomie a biologie (Iwata a Ukai, 2002).

4 Metodika a materiál

Pro tvarové analyzování lastur *U. crassus* bylo využito celkem 792 jedinců. Schránky byly nashromážděny již dříve, a to z území Ukrajiny, Polska, Litvy, Rumunska a Bulharska. Lastury byly manuálně změřeny pomocí posuvného měřítka (šířka, délka, tloušťka) a následně došlo na fotografickou dokumentaci jednotlivých levých stran schránek (Zuzáková, 2016). Fotografování probíhalo na bílém podkladu pro požadovaný vysoký kontrast k následné úpravě snímků v programu Photofiltre 7. Snímky zde byly pomocí různých nástrojů korektovány a sloučeny do více celků s měřítkem. Těmito kroky byla dokončena příprava pro nadcházející tvarovou analýzu obrysů lastur, která byla provedena programem Shape.

4.1.1 Porovnání základních velikostních proměnných

V analýzách pro srovnání velikostních a věkových parametrů bylo využito několika bodových, krabicových grafů a testů Anovy, které mezi sebou porovnávají závislosti délky, výšky, věku a poměru L/H. Při porovnání závislosti délky na věku byla použita spojnice trendu exponenciální z důvodu nelineární závislosti. Pomocí základního spojnicového grafu byl znázorněn růst na jednotlivých lokalitách a spolu s programem Photofiltre 7 byl vytvořen komplexní graf vztahu délky a věku na lokalitách. Krabicovými grafy je řešen náhled hlavních evropských povodí, do kterých byly toky rozděleny spolu s věkem a reziduem poměru L/H. Reziduál poměru mezi délkou a výškou (L/H) byl vypočten poměrem, vydělením délky výškou a získáním této průměrné hodnoty od všech jedinců a následným odečítáním průměru od každého z jedinců. Aby mohl být věk lépe zobrazen a porovnán muselo proběhnout ošetření jedinců s vysokou korozí a nečitelností věku označených „0“ úplným vyřazením z tohoto grafu, jinak by došlo ke zkresleným výsledkům u výpočtů průměrného věku na lokalitách. Statistickou jednofaktorovou Anovou a následnou Scheffého metodou byla otestována souvislost mezi průměrným věkem a průměrným reziduálem L/H na všech hlavních povodí.

Při hodnocení rychlosti růstu bylo hodnoceno pouze prvních pět let díky velkému zastoupení jedinců do tohoto věku. Při hodnocení růstu ve vyšším věku by nebylo porovnání možné z důvodu nedostatečného počtu kusů jedinců na lokalitách.

4.1.2 Shape 1.3.

Složkový program Shape 1.3 je rozdělen na více programových sekcí. Základní nastavení a vykreslení tvarů i s měřítkem probíhalo v první sekci zvané ChainCoder, který extrahoval obrysy z vyobrazeného souboru objektů, došlo také k převodu barevného obrazu na černobílou binární škálu. Výsledné informace byly zakódovány do podoby Chain- codu v číslech od 0 do 7. V dalším kroku Chc2Nef byl řetězový kód otevřen a pomocí přednastaveného počtu harmonických funkcí (10) byl převeden do normalizovaných Fourierových deskriptorů (Příloha 1). Vzniklé elipsy jsou postaveny na 3 bodech: velikost tvaru dle přiloženého měřítka, poloha a počáteční bod elipsy (Příloha 1). Následující sekce PrintComp analyzovala hlavní komponenty (PCA), jedná se o lineární přeměnu původních znaků, charakterizovanou rozptylem. Pro tuto práci byly zvoleny pouze tři PC osy, které uvádějí nejdůležitější informace. Poslední využitý program byl PrintPrint, který vyobrazil celkovou tvarovou charakteristiku všech 3 os, na základě vypočítaných koeficientů eliptických Fourierových deskriptorů. Toto vizuální zobrazení je důležité pro porozumění morfologického průměru odchylky vyhodnocované pro každou hlavní složku (Obr. 16).

Ve statistických analýzách spojených s tvarem obrysu z programu Shape 1.3. byla testována pouze osa PC1, která charakterizuje tvar lastury nejpřesněji. V programu Microsoft Excel bylo vytvořeno několik bodových grafů informujících o závislosti na několika velikostních proměnných. Jedná se o vztah vlivu s délkou, výškou, poměrem délky a výšky a s hodnotou věku. V grafech byla použita lineární přímka znázorňující klesající či rostoucí trend spolu s hodnotou spolehlivosti R. Dalšími využitými grafy byly krabicové, u kterých byla osa PC1 přiřazena k jednotlivým tokům či hlavním evropským povodím. Ke všem tokům byly také vytvořeny průměrná rezidua PC1 k pozdějšímu porovnání s procentuálním pokryvem země. Při těchto porovnání bylo využito korelace Pearsonova výpočtu r (1) a statistického zjištění hodnot p (pravděpodobnosti ve srovnání s hladinou významnosti $\alpha=0,05$).

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})\cdot(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2\cdot\sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

4.1.3 ArcGis

Znamé souřadnice místa sběru jedinců byly vloženy do podkladu světové mapy a dále k nim byly staženy vrstvy digitálního modelu terénu (DMT) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) z webového portálu EarthExplorer. DMT SRTM byl vypracován organizacemi NASA a NGA ve spolupráci s německými a italskými kosmickými agenturami. Účelem bylo změření nadmořských výšek celého povrchu Země v gridu. Tento model terénu je nabízen v rastrové podobě pro Evropu o velikosti cca 90 x 60 metrů.

Vymezení povodí

SRTM představuje model povrchu, proto bylo potřeba tento model upravit, aby byl hydrologicky přesný (odstranit prohlubně, krátery atd.), k tomuto účelu posloužila funkce FILL. Byla tak zajištěna výplň a spojitost rastru pro nepřerušované říční sítě a správné vymezení povodí. Z hydrologicky přesného modelu terénu byl nástrojem FLOW DIRECTION (FD) vytvořen rastr směru odtoku. Konkrétní hodnota buňky rastru představuje směr odtoku (1 východ, 2 jihovýchod, 4 jih, 8 jihozápad ...).

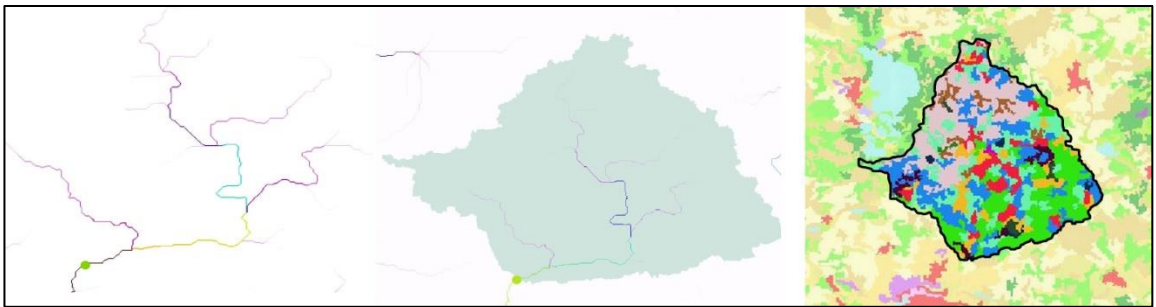
Směr konkrétní buňky je určován z nadmořských výšek sousedních hodnot. Směr odtoku je veden do sousední buňky s nejnižší hodnotou výšky. FLOW ACCUMULATION (FA) je jedním z dalších využitých nástrojů, který spolu s DMT a vytvořeným FD umožnil vypočtení akumulace vody v daném území. Hodnoty buněk rastru znázorňují počet buněk, ze kterých se voda vlévá právě do těchto buněk (Obr. 1). Tento produkt byl využíván k úpravě polohy závěrových bodů náleží, pokud neležely v řečišti z modelu SRTM. Konečné vykreslení povodí k závěrovému bodu (souřadnice sběru) vzniklo funkcí WATERSHED (Obr. 1). Vstupními daty pro tuto funkci byly rastry směru odtoku a bod náleží (závěrový bod). V oblasti vyznačeného povodí byla zjištěna také průměrná, maximální a minimální nadmořská výška přes ZONAL STATISTICS AS TABLE. Vstupní vrstvy představovaly DMT a rastry povodí vzniklých pomocí funkce WATERSHED.

Land Cover v zájmových povodích

K získání informací o krajinném pokryvu země byla využita rastrová vrstva Corine Land Cover 2012 (1pixel= 100x100 m) popisující 44 tříd zemského pokryvu pro Evropskou Unii (Příloha 3). Projekt Corine Land Cover si klade za cíl tvorbu databáze krajinných pokryvů celé Evropy s jednotnou metodikou a s pravidelnou aktualizací databáze (Beranová, 2011).

CLC není vytvářen pro Ukrajinu, a tak byla použita databáze Euroasia Land Cover (1 pixel= 1x1 km). Tato databáze vznikla jako součást Global Land Cover Charakterization z družicových dat. Použitá vrstva byla IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme), popisující 17 tříd krajinného pokryvu.

Podle jednotlivých povodí byly oříznuty vrstvy krajinného pokryvu pomocí funkce EXTRACT BY MASK (Obr. 1). V atributové tabulce těchto oříznutých rastrů byl uveden počet jednotlivých pixelů v každé třídě. Díky tomu, že je známá rozloha pixelů v obou vrstvách krajinného pokryvu je možné z počtu pixelů zjistit rozlohu jednotlivých tříd v povodích. Výsledky zastoupení jednotlivých tříd povodí byly z Arc GISu exportovány do programu Excel, kde byly přepočítány na plošné zastoupení v km² a zastoupení procentuální. Veškeré třídy byly rozřazeny do 8 kategorií (Tab. 3). K následnému statistickému zpracování bylo využito pouze tři kategorií (umělé zástavby a průmysl spolu s celkovým zalesněním a zemědělskými plochami).



Obr. 1: Ukázka použitých funkcí: Flow accumulation, watershed, extract by mask

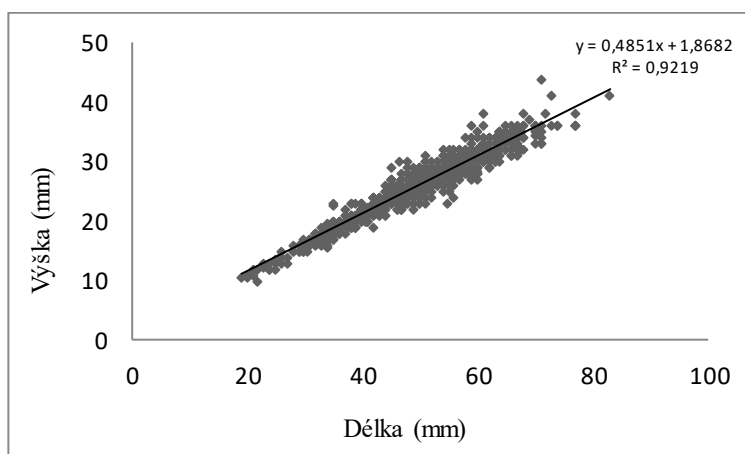
Statistické vyhodnocení výstupů získaných z gisové analýzy, bylo hodnoceno bodovými grafy vždy ve vztahu závislosti vybraného pokryvu (zástavba, lesy, zemědělství) či nadmořské výšky s velikostními proměnnými, konkrétně průměrným reziduem poměru délky/výšky a průměrem na ose PC1. U testování pokryvu byla dále využita jednoduchá statistická nelineární regrese, použita byla konkrétně pro zkoumaný vztah mezi zástavbou, nadmořskou výškou a průměrným reziduem L/H.

5 VÝSLEDKY

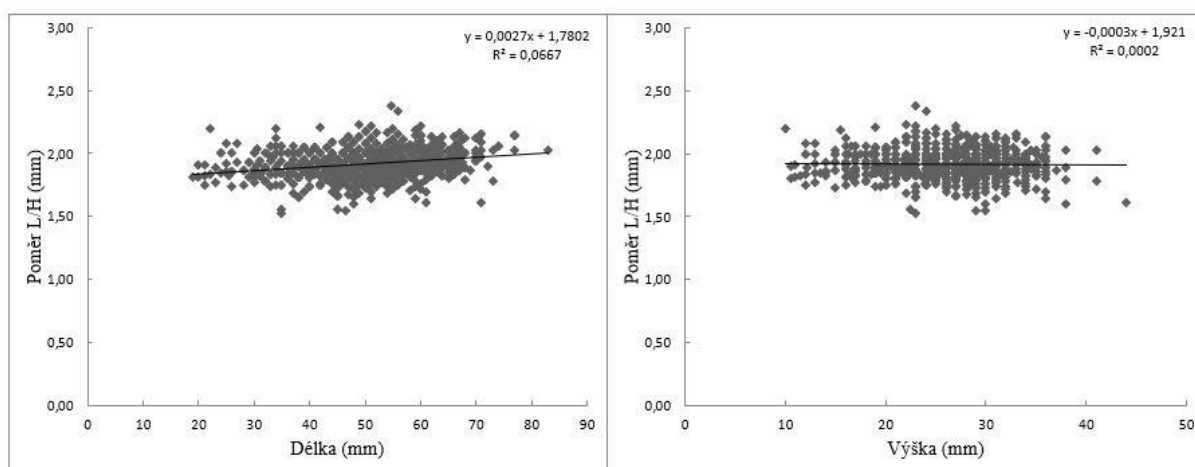
5.1 Vztahové závislosti mezi délkou, výškou a délko-výškovým poměrem

Pro přesnou formulaci výsledků je zapotřebí uvědomit si vzájemný průběh základních proměnných funkcí v tomto případě délky a výšky spolu s lineární funkcí délko-výškového poměru (L/H). Základní proměnné jsou vzájemně korelovány (lineárně):

délka s výškou ($R^2 = 0,92$), délka s poměrem L/H ($R^2 = 0,0667$), výška s poměrem L/H ($R^2 = 0,0002$). Tyto vztahové závislosti jsou zobrazeny na následujících grafech (Obr. 2 a Obr. 3).



Obr. 2: Zobrazení korelační závislosti délky (mm) a výšky (mm), $cor = 92,19$

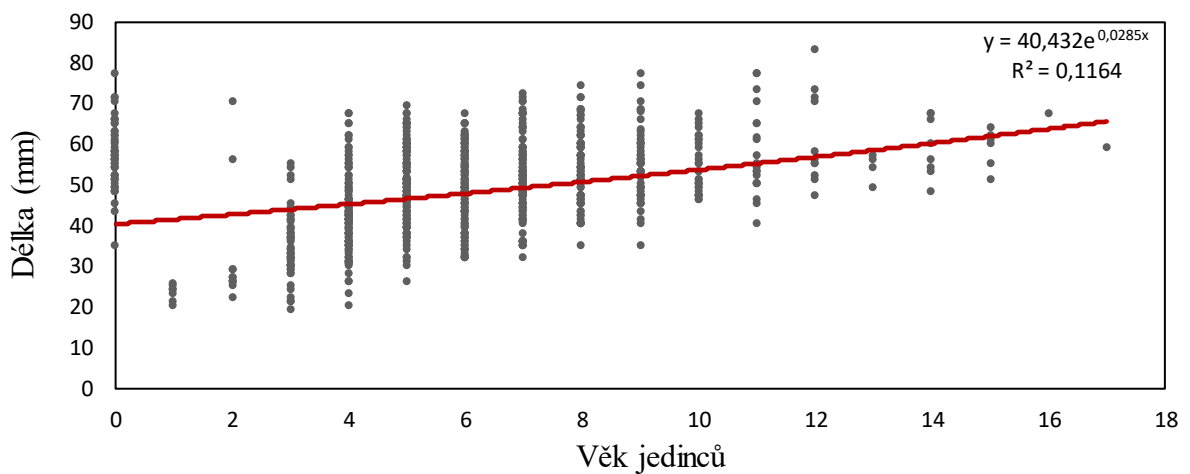


Obr. 3: Zobrazení korelační závislosti: - délky L (mm) a poměru L/H (mm), $cor = 6,67$
- výšky H (mm) a poměru L/H (mm), $cor = 0,02$

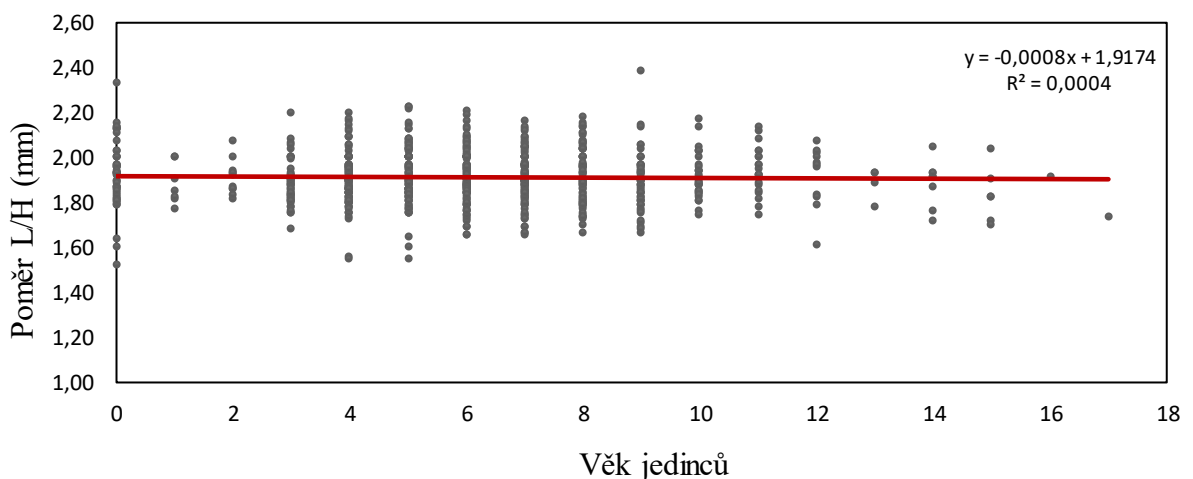
Vysoká, skoro 100% závislost v podobě přímé úměrnosti je pozorována pouze u vztahu délky a výšky (Obr.:2), tzn. čím je větší délka, tím je větší také výška a opačně.

5.2 Vyhodnocení růstu ve vztahu k věku

Z počátku byla testována závislost velikostního délkového parametru schránek na věku jedinců *U. crassus*. Podle zjištěné nelineární závislosti byla vybrána a použita exponenciální spojnice trendu, která naznačuje důležité procento ($R^2 = 0,1164$) závislosti délky na věku (Obr. 4). Dále byl testován poměr délky a šířky (L/H) v závislosti na věku jedinců. V tomto případě se jednalo o lineární nezávislost vyobrazenou vodorovnou přímkou (Obr. 5).



Obr. 4: Závislost délky na věku jedinců *U. crassus*

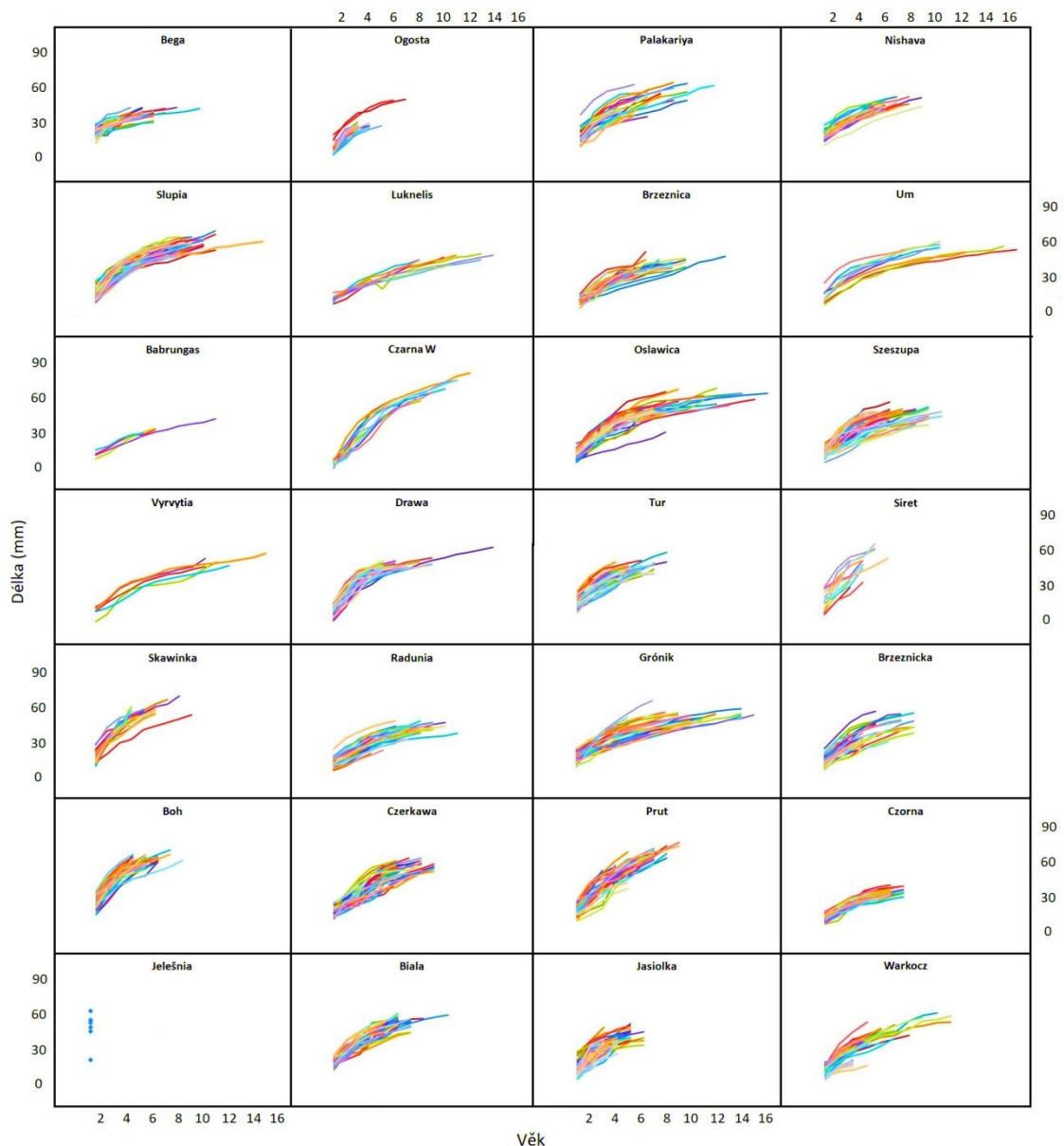


Obr. 5: Závislost poměru L/H na věku jedinců *U. crassus*

Komentář: Body ležící na věkové hodnotě 0 jsou jedinci, jejichž lastury podléhaly korozi a věk byl nečitelný. Ve vztahu věku a poměru velikostí nedochází k ovlivnění a závislosti.

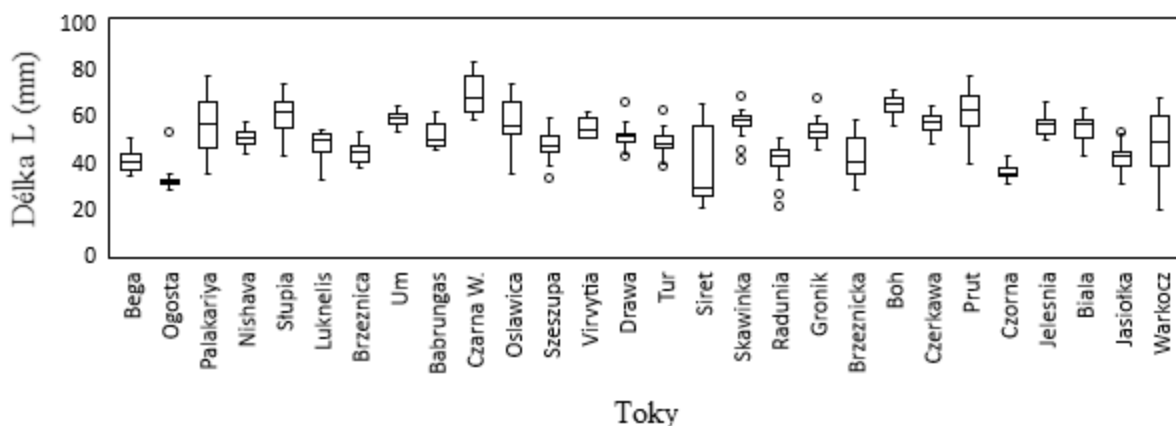
5.3 Vyhodnocení růstu na jednotlivých lokalitách

V každé lokalitě žijí jedinci *U. crassus* různého věku a různé délky lastury, přičemž růst těchto mlžů je rozdílný v závislosti na oblastech výskytu. Tento jev je znázorněn na následujícím grafu (Obr. 6). Nelze tedy interpretovat: čím starší jedinec, tím je délka schránky větší. Graf také znázorňuje počet jedinců na lokalitě, jejich nárůst v daném období a rozptyl přírůstových křivek.

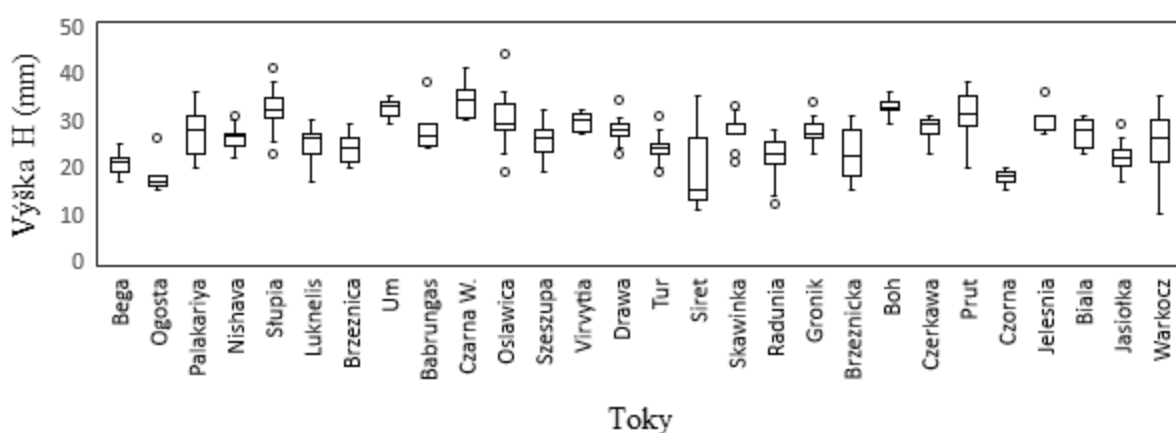


Obr. 6: Závislost délky jedinců *Unio crassus* na jejich věku

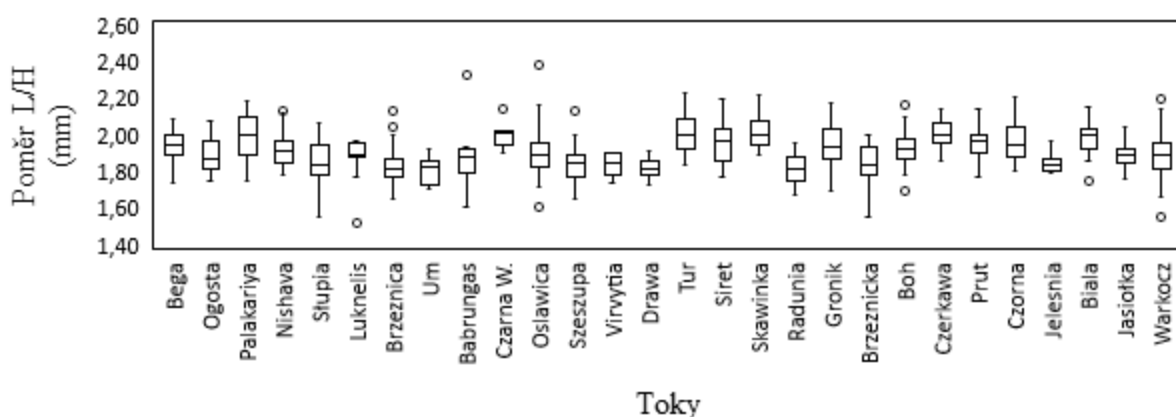
Komentář: Řeka Jeleśnia je v grafu vykreslena pouhými body, a to z důvodu zřetelné koroze jedinců a nečitelnosti přírůstových zinných linií (věku). Body značí pouze délku lastury.



Obr. 7: Vyobrazení délek jedinců *U. crassus* v jednotlivých lokalitách



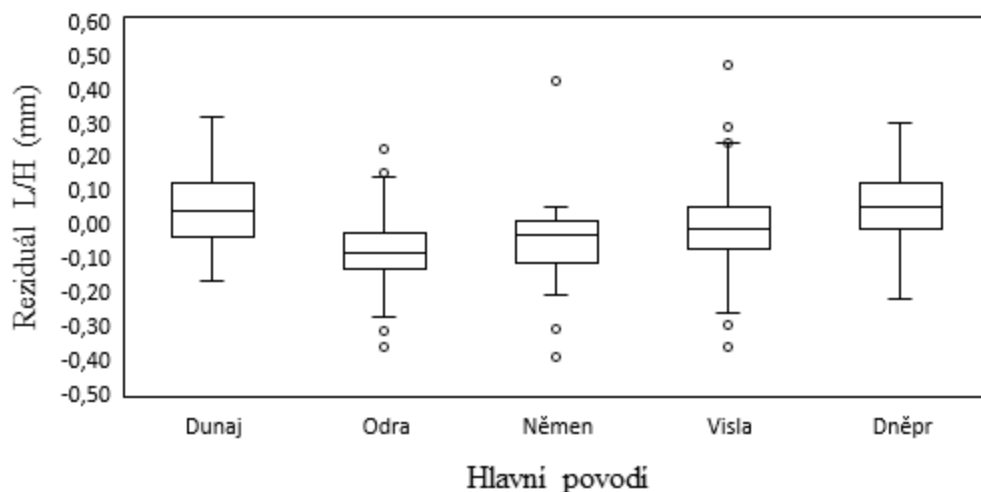
Obr. 8: Vyobrazení výšky lastur v jednotlivých lokalitách



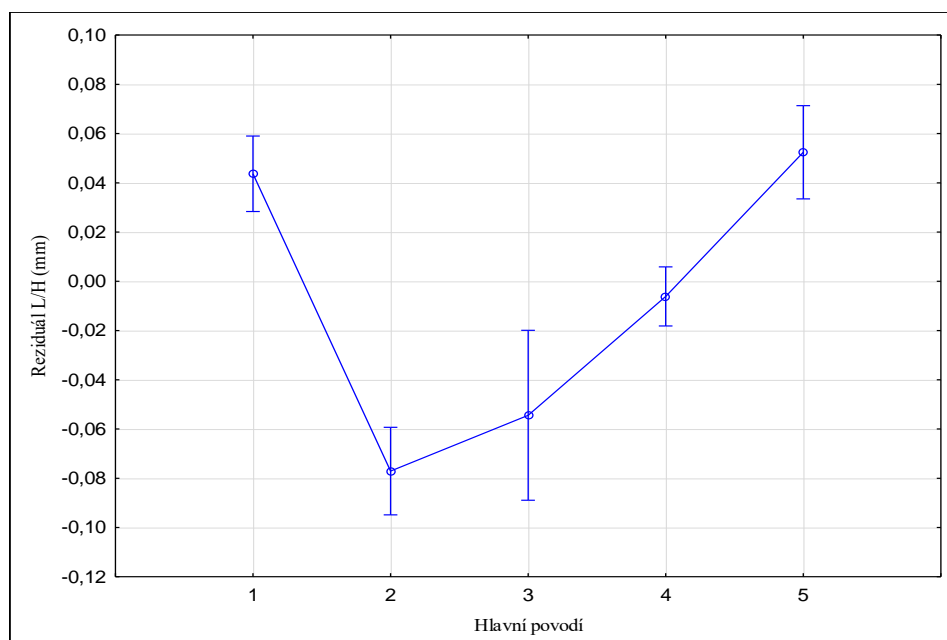
Obr. 9: Vyobrazení parametru poměru délky a výšky (L/H) v jednotlivých lokalitách

Krabicové grafy na Obr. 7 – Obr. 9 znázorňují jednotlivé délkové parametry délku L, výšku H a společný poměr mezi nimi na jednotlivých evropských tocích. Nejvyšších délek dosahuje řeka Czarna w. a největšího délkového rozptylu řeka Siret a Warkocz.

V následujících krabicových grafech a grafech statistického šetření Anovy jsou jednotlivé toky přiřazeny k hlavním evropským povodím, čímž je znázorněn rozptyl velikostí a věku lastur *Unio crassus* v daných oblastech, který současně potvrzuje teorii vyššího dožití v severněji ležících zemí, konkrétně se jedná o povodí Němen a tedy toky ležící v Litvě. Průměrný věk nasbíraných schránek pro tuto oblast je 9,1 let s nejstaršími jedinci 17, 15 a 14 let.



Obr. 10: Průměrný reziduál poměru L/H jedinců *Unio crassus* v hlavních evropských povodích



Obr. 11: Graf statistického vyhodnocení Anova

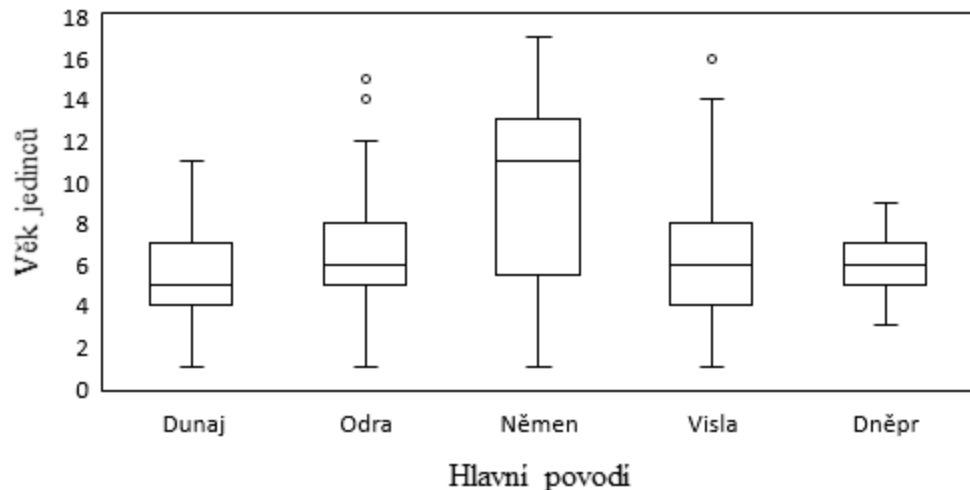
Komentář: 1... Dunaj, 2...Odra, 3...Němen, 4...Visla, 5...Dněpr

Tab. 1: Statistické vyhodnocení Anovy mezi povodím a reziduálem L/H

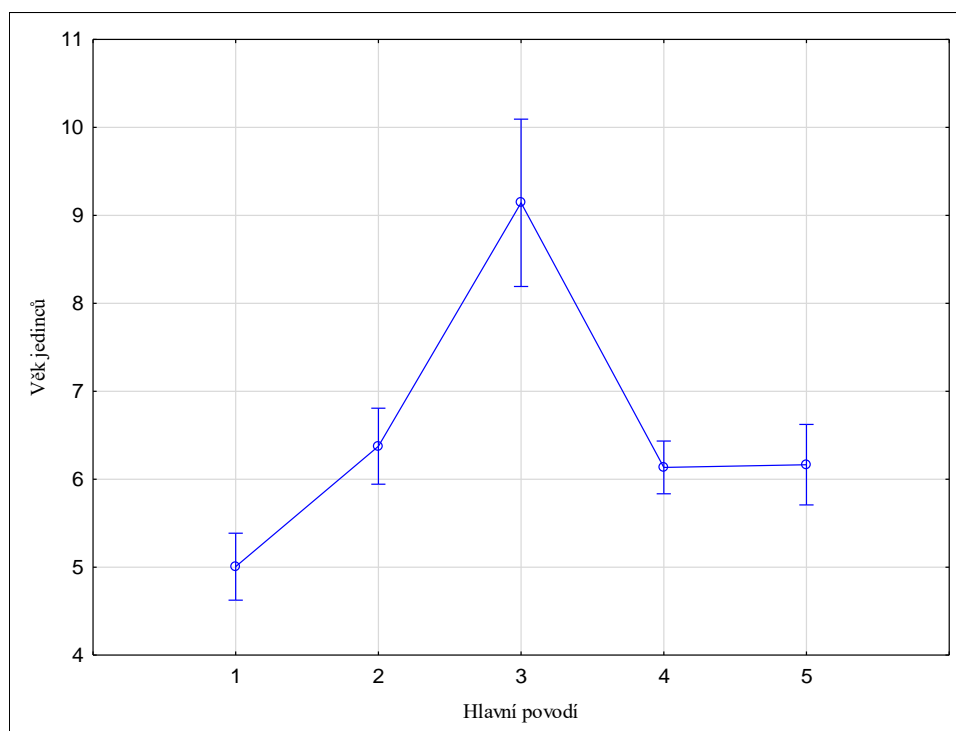
Č. buňky	Povodí	Scheffého test				
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	Dunaj		0,000000	0,000038	0,000054	0,973993
2	Odra	0,000000		0,858824	0,000000	0,000000
3	Němen	0,000038	0,858824		0,152111	0,000013
4	Visla	0,000054	0,000000	0,152111		0,000033
5	Dněpr	0,973993	0,000000	0,000013	0,000033	

H_0 pro vyhodnocení Anovy předpokládá, že reziduální hodnoty poměru L/H se neliší na jednotlivých povodích.

Při vyhodnocení jednofaktorové Anovy byla hodnota pravděpodobnosti p (0,00001) menší než zvolená hladina významnosti α (0,05), zamítli jsme tedy nulovou hypotézu a bylo potřeba provést další šetření v podobě Scheffého testu (Tab. 1). Zjištěn byl statisticky nevýznamný rozdíl mezi povodími Dunaje a Dněpru, Němenu a Odry, Visly a Němenu. Ostatní možnosti mezi sebou tvoří statisticky významný rozdíl ($p < \alpha$) a tudíž se jejich reziduální hodnoty poměru L/H liší na daných lokalitách (Obr. 11) (Tab. 1).



Obr. 12: Rozptyl věku jedinců *U. crassus* v hlavních evropských povodích



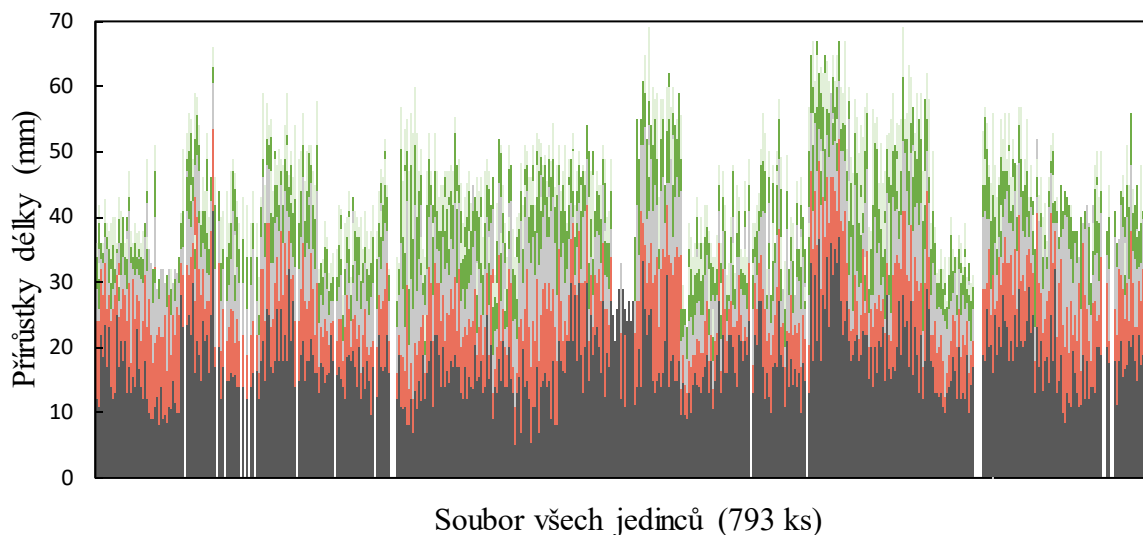
Obr. 13: Graf statistického vyhodnocení Anova

Komentář: 1... Dunaj, 2...Odra, 3...Němen, 4...Visla, 5...Dněpr

Tab. 2: Statistické vyhodnocení Anovy mezi povodím a věkem jedinců

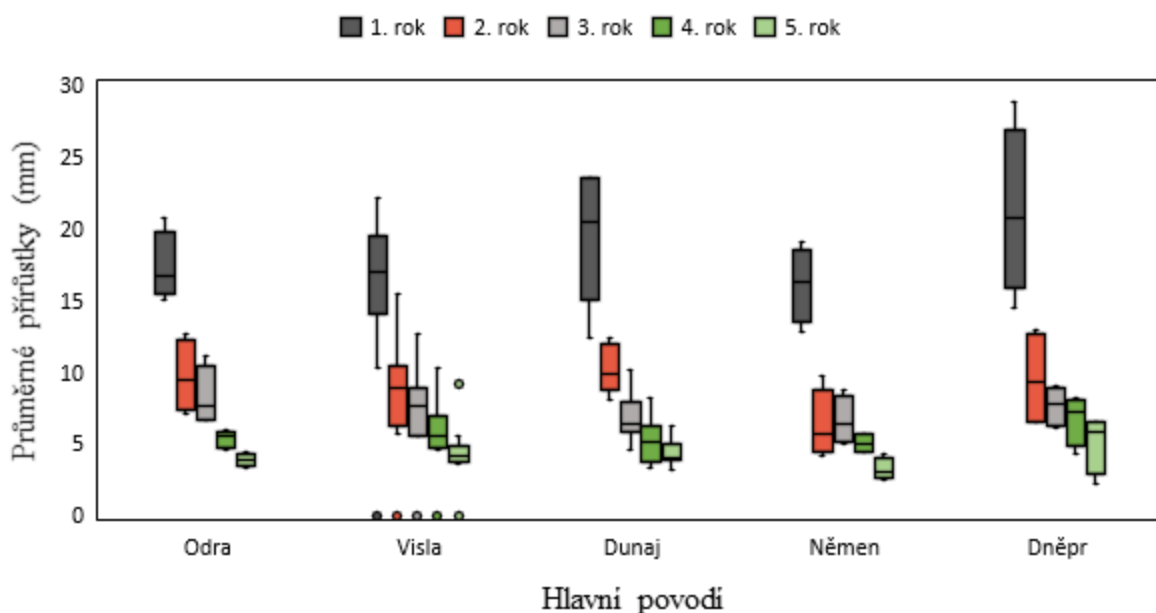
Č. buňky	Povodí	Scheffeho test				
		{1} (5,0057)	{2} (6,3750)	{3} (9,1429)	{4} (6,1348)	{5} (6,1653)
1	Dunaj		0,000248	0,000000	0,000368	0,005844
2	Odra	0,000248		0,000024	0,937631	0,980057
3	Němen	0,000000	0,000024		0,000001	0,000005
4	Visla	0,000368	0,937631	0,000001		0,999982
5	Dněpr	0,005844	0,980057	0,000005	0,999982	

H_0 pro vyhodnocení Anovy předpokládá, že věk jedinců nemá souvislost s danými povodími. Při počátečním vyhodnocení jednofaktorové Anovy F testu byla zjištěna hodnota pravděpodobnosti p (0,00000) menší než zvolená hladina významnosti α (0,05), zamítli jsme tedy nulovou hypotézu a provedli navazující testování Scheffeho metody (Tab. 2). Zjištěn byl statisticky nevýznamný rozdíl mezi povodími Visly a Odry, Dněpru a Odry, Dněpru a Visly. Ostatní možnosti mezi sebou tvoří statisticky významný rozdíl ($p < \alpha$) a tudíž je věk lastur ovlivňován danými povodími (Obr. 13), (Tab. 2).



Obr. 14: Zobrazení přírůstků délky všech jedinců *U. crassus* (pouze do 5 let)

Komentář: přírůstek v mm za: ■ 1. rok, ■ 2. rok, ■ 3. rok, ■ 4. rok, ■ 5. rok

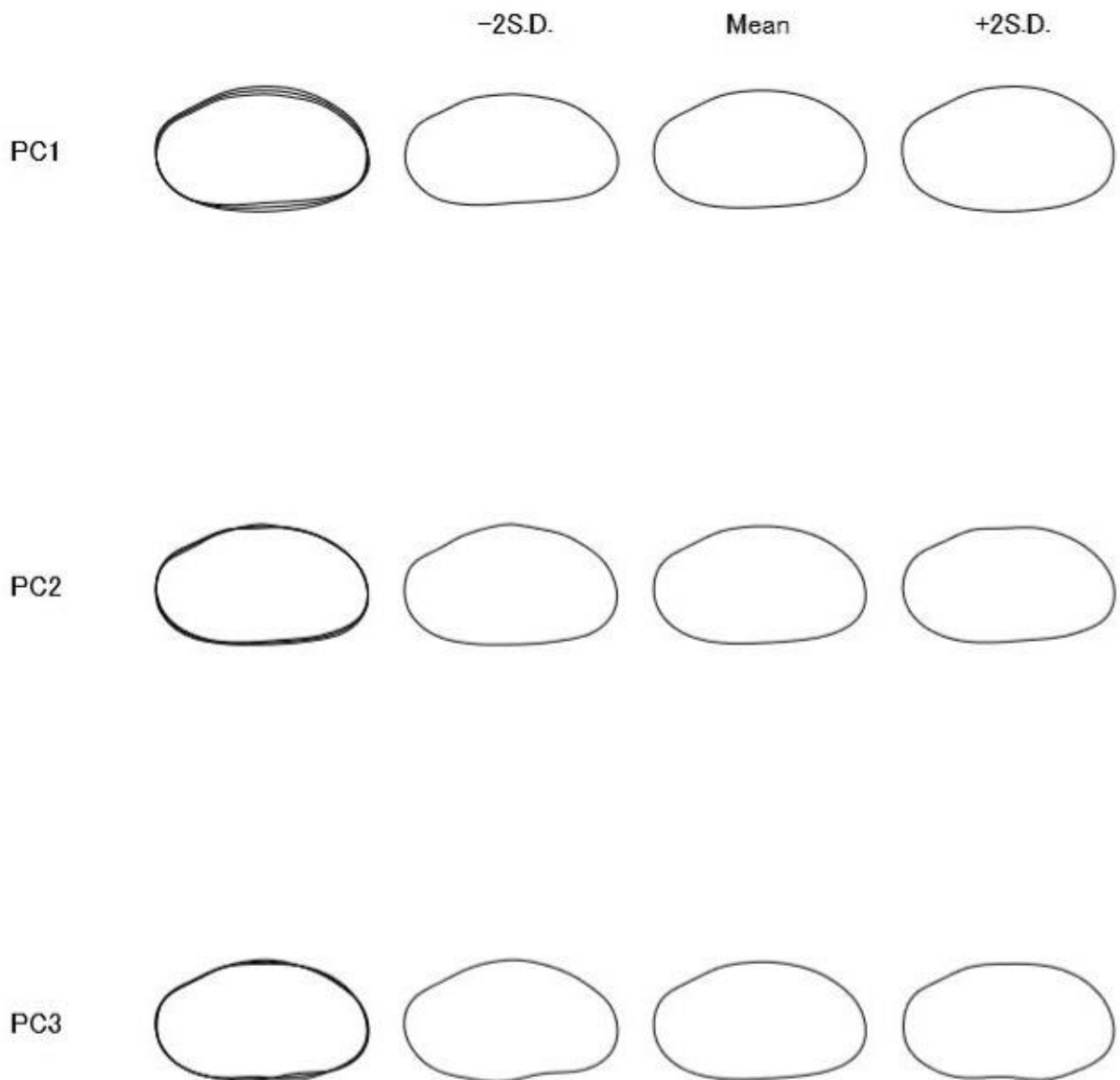


Obr. 15: Průměrné přírůstky *U. crassus* na všech lokalitách přiřazených do hlavních povodí

Na Obr. 14 a Obr. 15 je patrné postupné snižování přírůstku délky (zimní přírůstkové linie) v každém následujícím roce. Největší nárůst jedinců *U. crassus* je tedy ve všech hlavních povodí v 1. roce. Do průměrných přírůstků nebyly započítány zkorodované vzorky s nečitelnou hodnotou věku. Z důvodu velkého množství dat s různověkým rozpětím, byl jako poslední přírůstkový rok vybrán 5. rok. Tohoto věku dosahuje většina testovaných jedinců, s vyšším věkem se jejich počty postupně snižují.

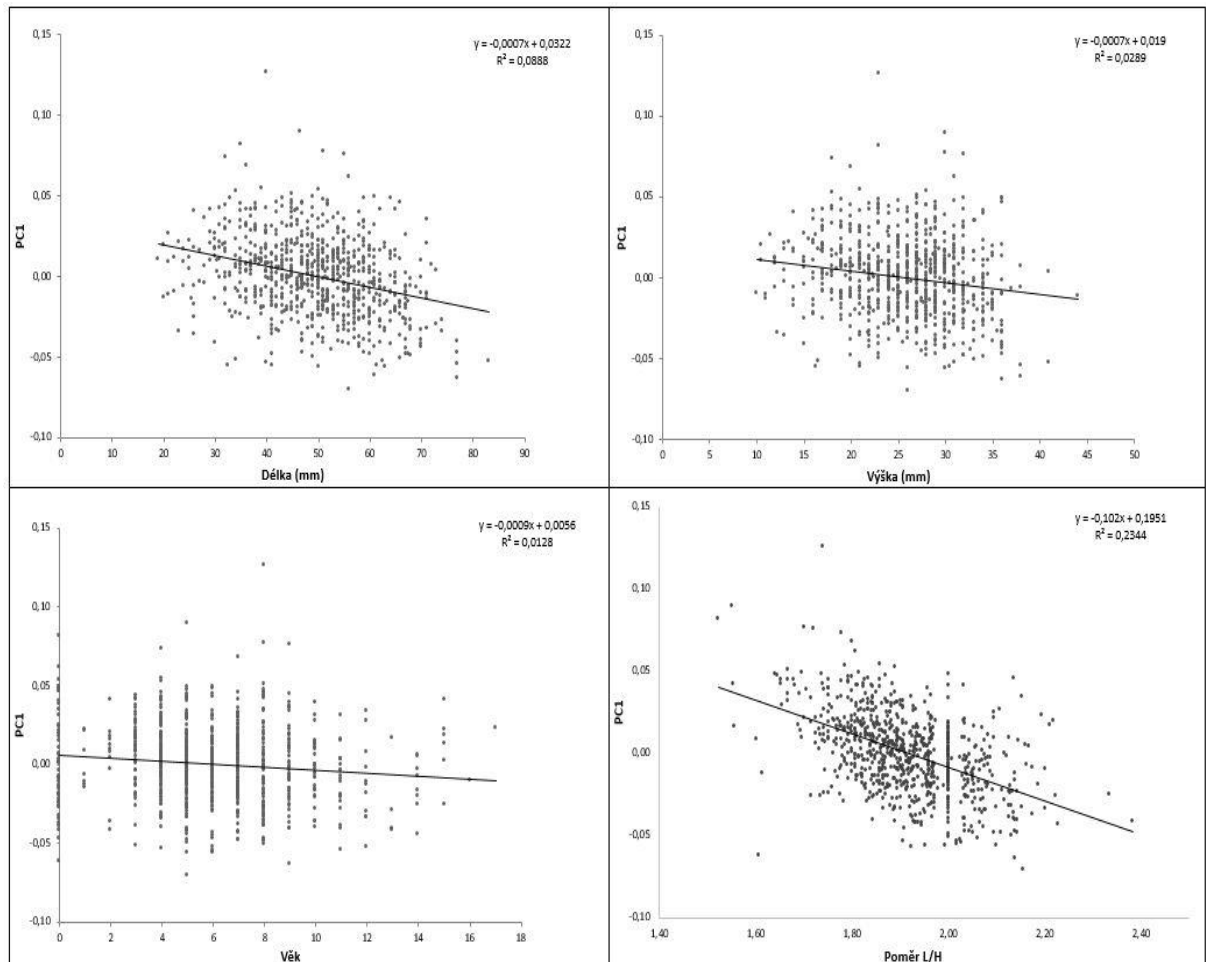
5.4 Tvarové parametry, Shape 1.3

Z Fourierovi analýzy PCA koeficientů byly získány 3 hlavní komponenty (osy PC1, PC2 a PC3). Tyto osy popisují tvarovou variabilitu v charakteristikách kulatosti/prodlouženosti (PC1), vyklenutosti na hřbetní straně (PC2) a neforemnosti/vyklenutosti po okrajích schránky (PC3). Sloupce označené $-2S.D.$, Mean a $+2S.D.$ popisují průměrné tvary a obrysy se směrodatnými odchylkami pro osy PC. První neoznačený sloupec vykresluje rozdílné, překrývající obrysy (Obr. 16).



Obr. 16: Zobrazení křivek hlavních komponent při ose PC1- PC3

Nejpřesnější komponenta, resp. osa PC1 byla testována v závislosti na velikostní proměnné (délka, výška, poměr L/H) a věku všech jedinců (Obr. 17). Jak již bylo zmíněno osa PC1 charakterizuje protaženost a zakulacenost lastur.

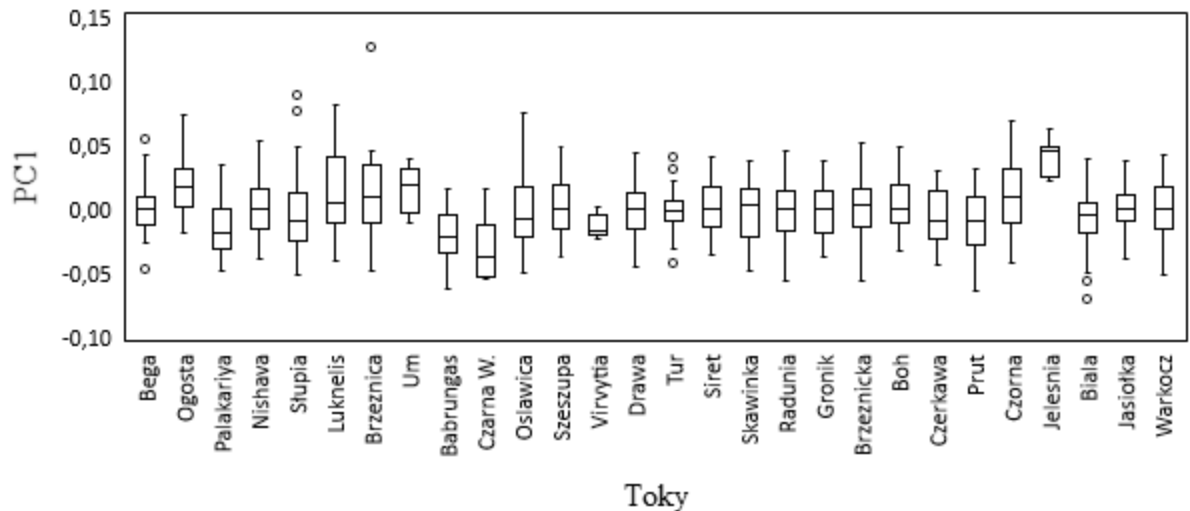


Obr. 17: Závislost osy PC1 na velikostní a věkové charakteristice *U. crassus*

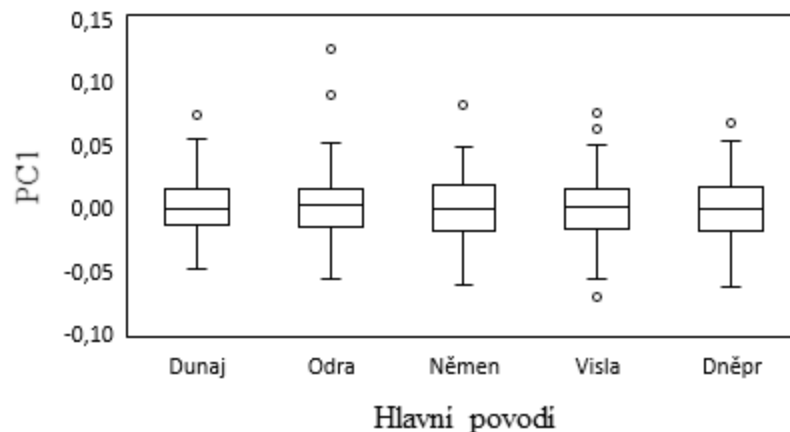
Komentář: délka...L (mm), výška...H (mm), poměr délka a výška...L/H (mm)

Z Obr. 17 je patrné, že největší závislost 23,4 % představuje závislost osy PC1 na poměru L/H, zároveň se ve stejném porovnání projevuje přesně poloviční poměr mezi délkou a výškou lastury v hodnotě L/H 2. Čím je větší poměr mezi L/H, tím prokazuje schránka menší zakulacenost a větší protaženost, při opačných hodnotách je schránka méně protáhlá. Ostatní grafy charakterizuje regresní přímka s pozvolným sklonem. Nejnižší souvislost je naopak pozorována mezi osou PC1 a věkem, kde je trend zanedbatelný. Charakter kulatosti či protaženosti není ovlivněn stářím lastury.

Na následujících grafech je znázorněn rozsah hodnot osy PC1 v jednotlivých tocích. Jedinec *Unio crassus* s nejvyšší hodnotou PC (0,1264) se našel v polské řece Brzeznici a jedinec s nejnižší hodnotou na řece Biala, taktéž v Polsku. Medián většiny řek je staven na stejné či velmi podobné úrovni (Obr. 18) Všechna hlavní evropská povodí znázorňují víceméně stejné rozsahy PC, výjimkou je velmi vysoký bod v případě povodí Odry, kde je jedinec vyhodnocen jako velmi zakulacený (tok Brzeznica) (Obr. 19)



Obr. 18: Zobrazení rozptylu osy PC1 v jednotlivých tocích



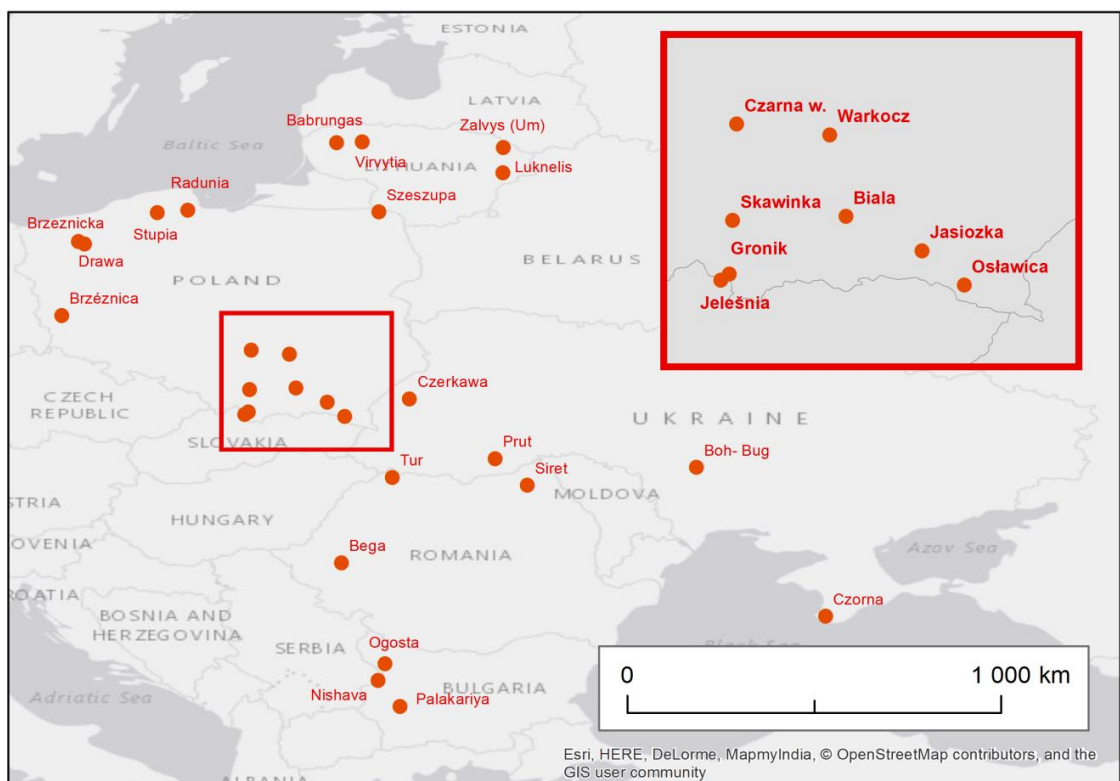
Obr. 19: Zobrazení rozptylu osy PC1 v hlavních evropských povodích

Komentář: boxploty jsou zobrazeny pomocí mediánu (střední hodnoty), 25% a 75% kvartilových hodnot a bodových extrémů v kladných i záporných hodnotách (○)

5.5 Charakter povodí a Land cover

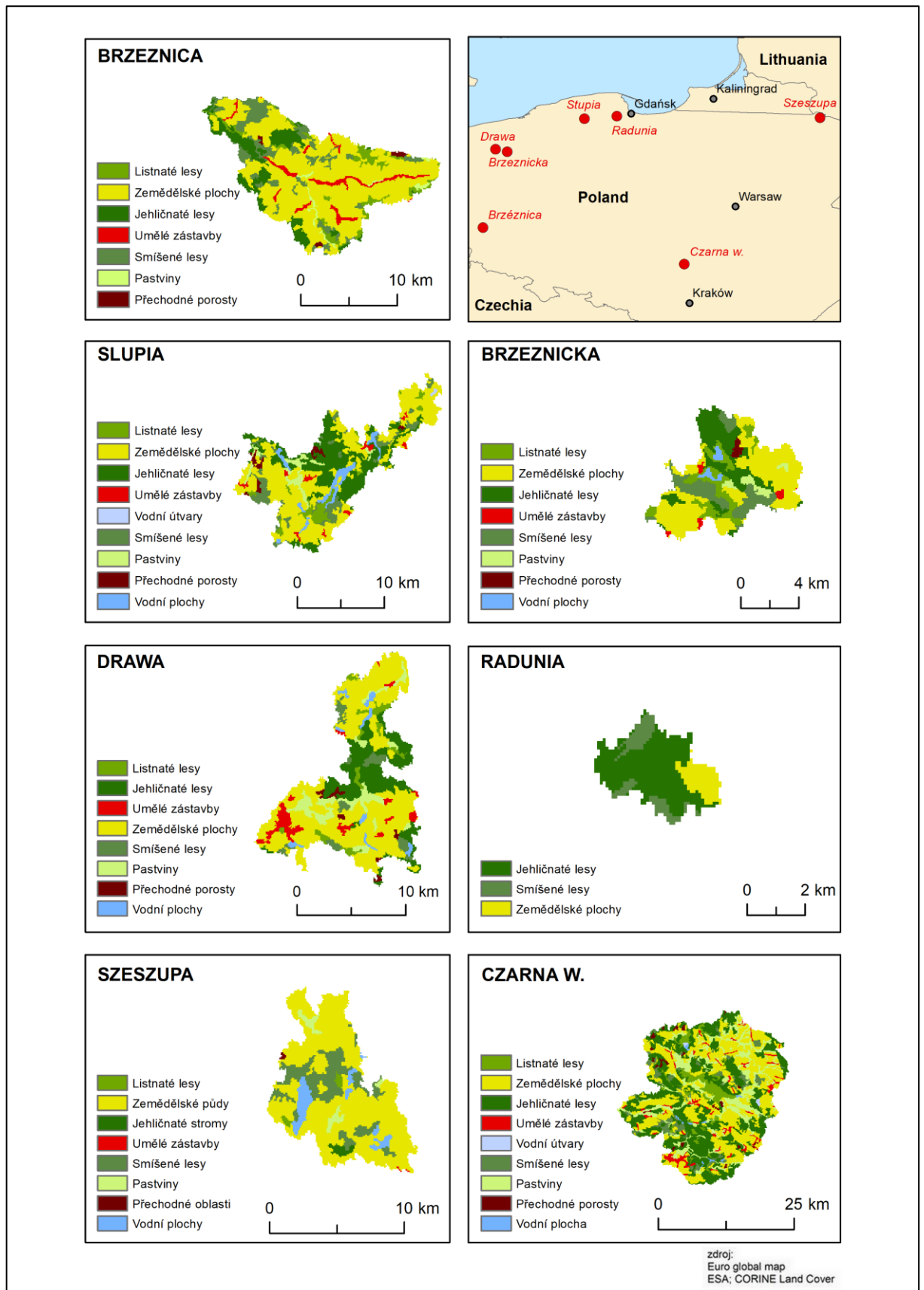
Do studie okolního prostředí bylo zahrnuto 28 řek z Evropské unie a Ukrajiny (Obr. 20). U třech toků na území Polska, konkrétně Biala, Skawinka, Czarna W. nejsou známy souřadnice místa sběru lastur, proto byla do výzkumu zahrnuta celá délka těchto řek až do svého ústí. U většiny zpracovaných povodí je zjištěna zemědělská plocha jako nadpoloviční pokryv povrchu výřezů. Orná půda a další plochy pro zemědělskou činnost tvoří zejména velké procento pokrytí u Ukrajinských toků, jedná se až o 94 %.

Jednotlivé sledované toky byly rozřazeny do 5 hlavních evropských povodí (příloha 2). Toky nacházející se v Polsku spadají do povodí Odry (4) a Visly (10). Veškeré řeky v Bulharsku a Rumunsku náleží do povodí Dunaje (6). Litevské toky náleží němenskému povodí (4) a ukrajinské řeky patří do povodí Dněpru (4).



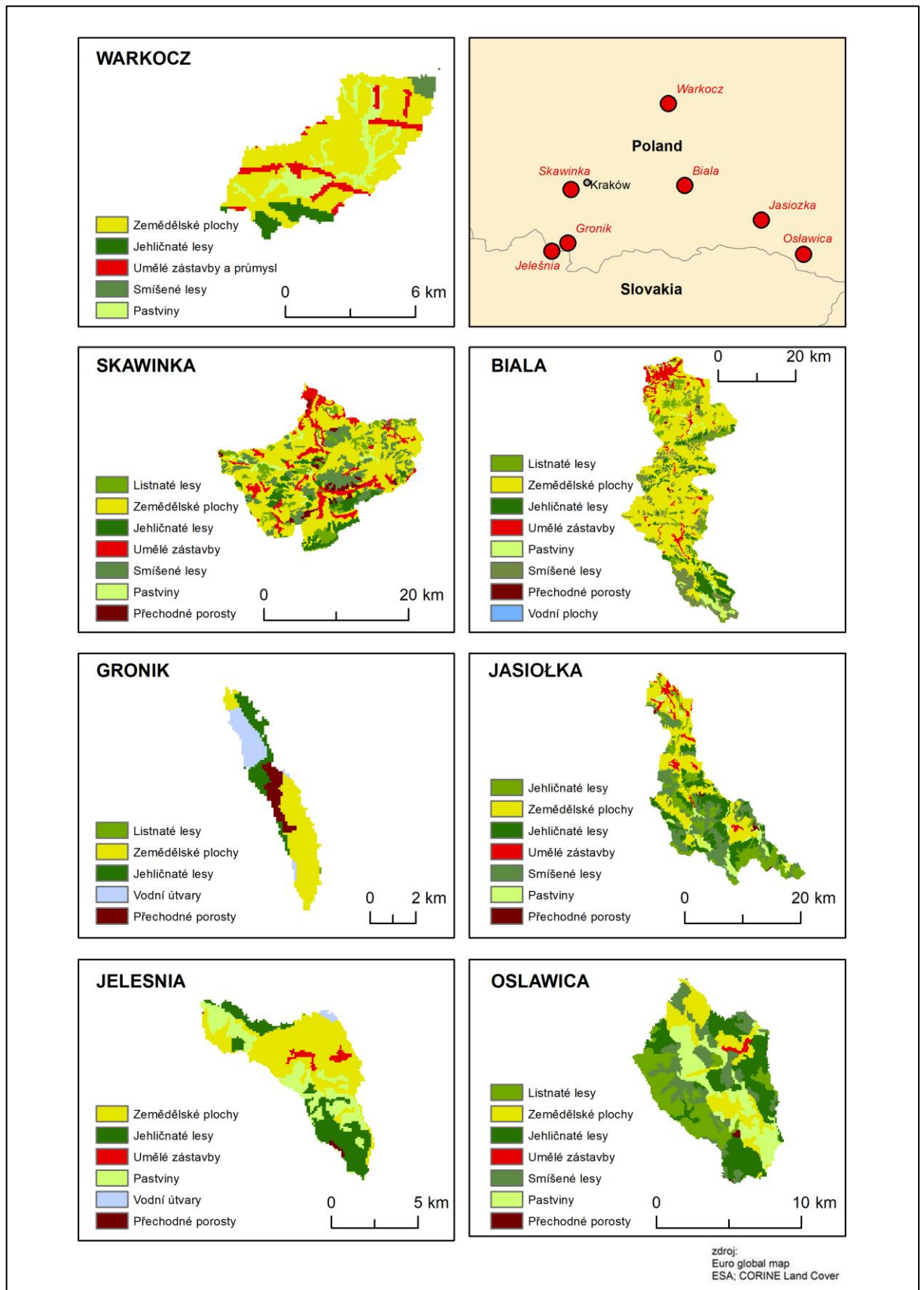
Obr. 20: Zobrazení lokace studovaných toků

Polsko



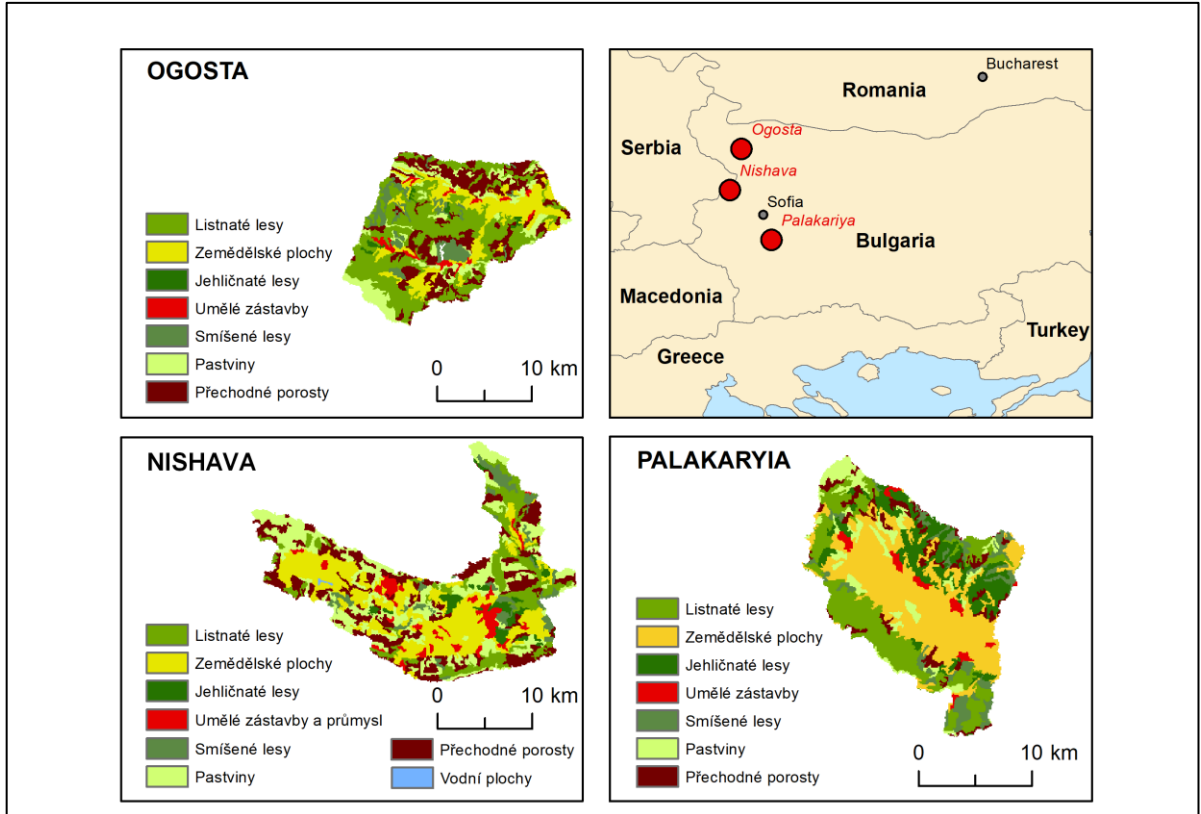
Obr. 21: Sledované toky na území Polska, I. část

Polsko



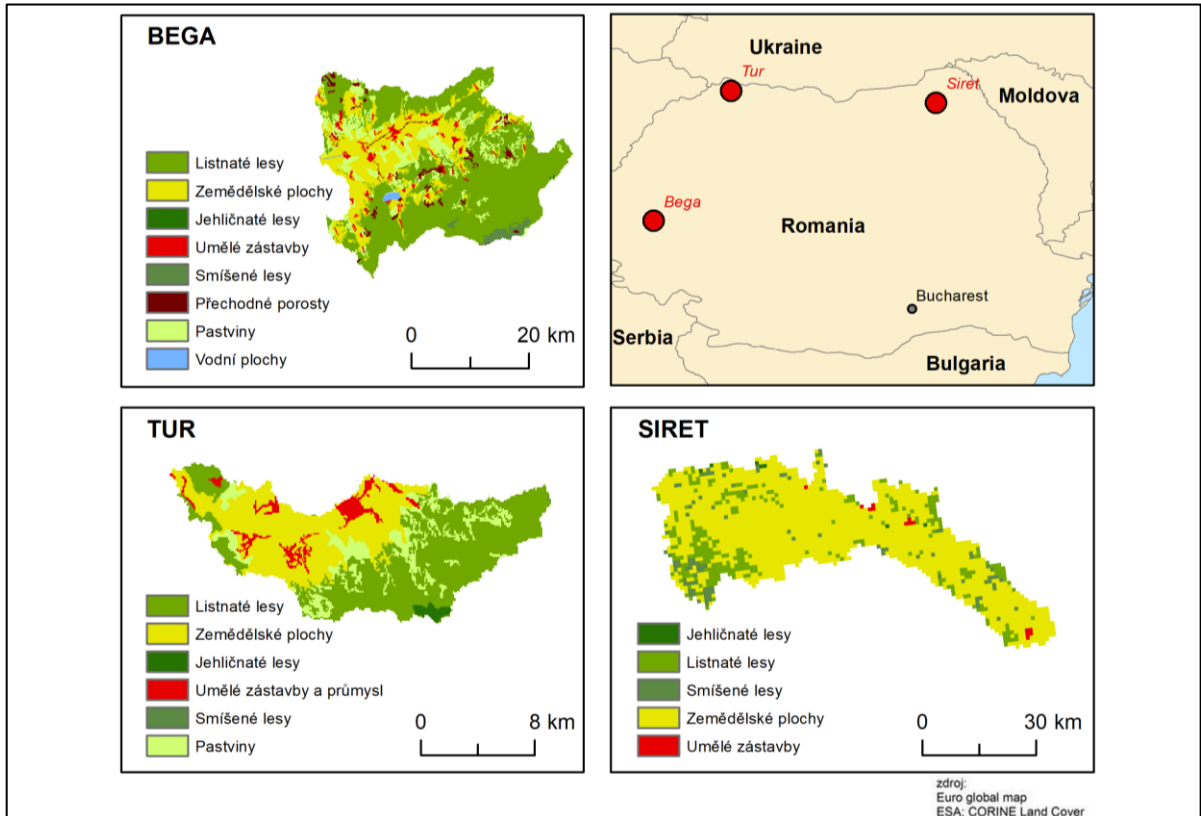
Obr. 22: Sledované toky na území Polska, II. část

Bulharsko

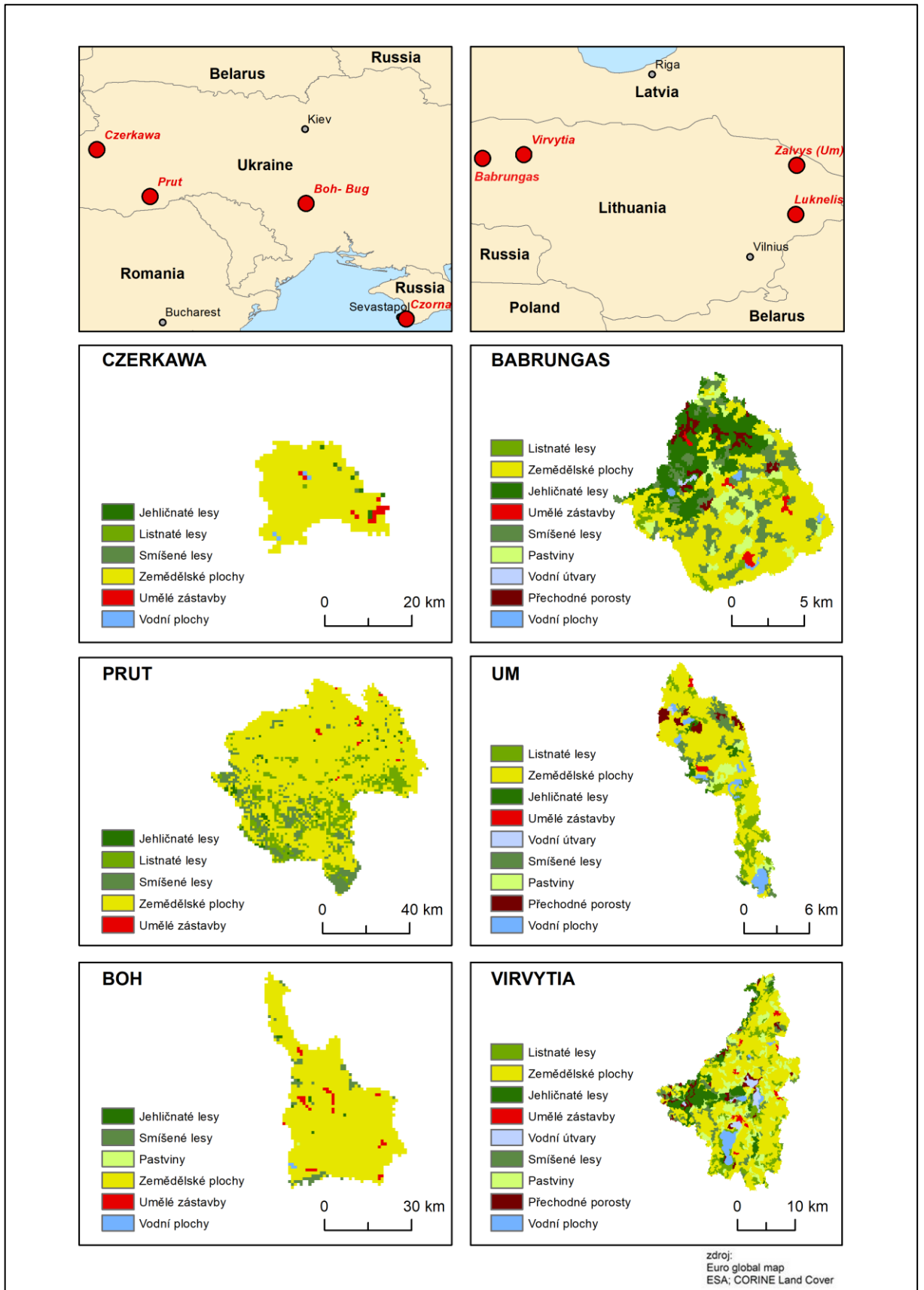


Obr. 23: Sledované toky na území Bulharska

Rumunsko



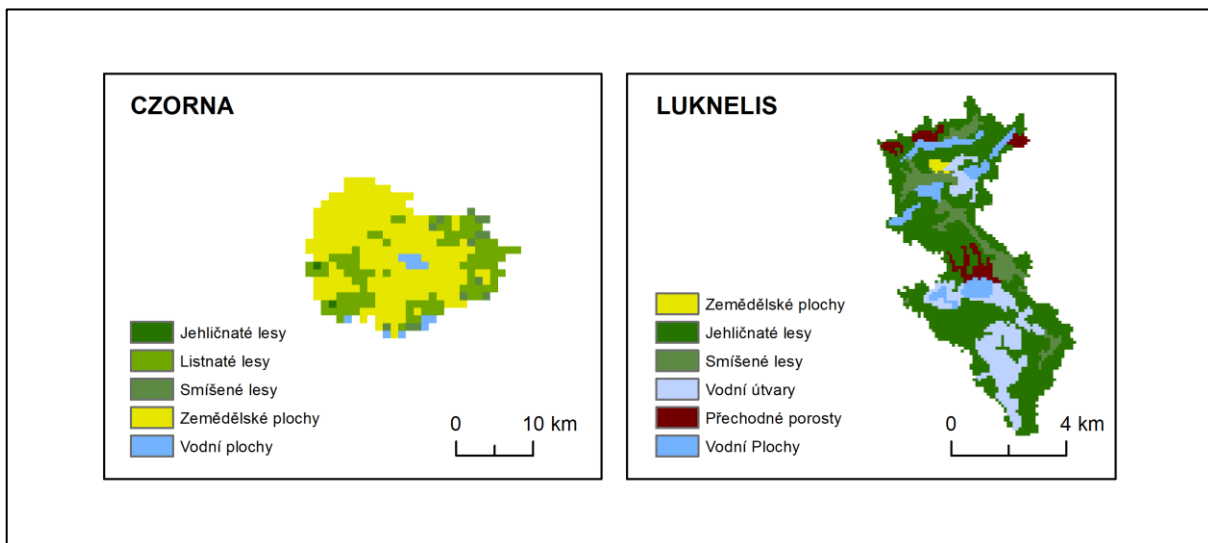
Obr. 24: Sledované toky na území Rumunska



Obr. 25: Sledované toky na území Ukrajiny a Litvy

Krym

Litva



Obr. 26: Sledované toky na území Krymu a Litvy

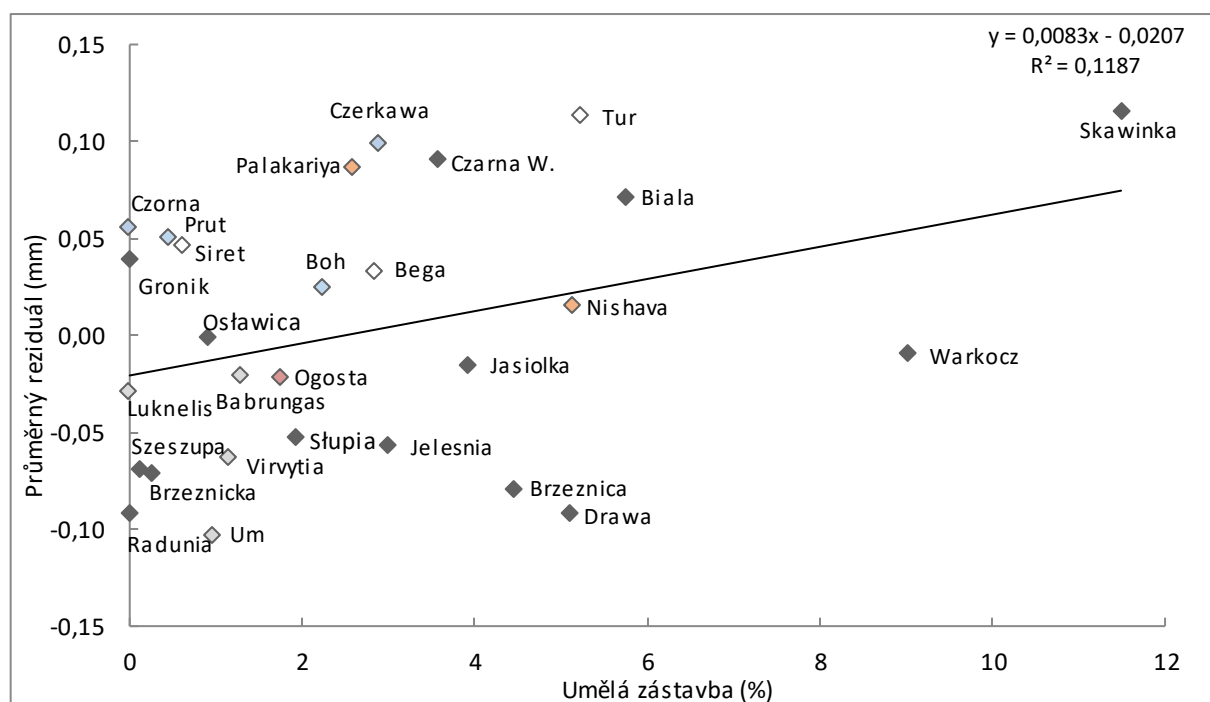
Polská řeka Radunia je tvořena zejména lesním pokryvem, a to z 84 %. Toky na Ukrajině jak v západní, tak i jižní části země jsou tvořeny vysokým procentem pokryvu zemědělské plochy a půdy. Celá povodí toků Boh a toku Czerkawa jsou tvořeny 93,29 % a 94 % tohoto pokryvu. Nejvíce vodních ploch zaujímá povodí Litevské řeky Luknelis (24 %), kterému také patří nejnižší zastoupení zemědělské půdy (<1 %). Nejvyšší průměrná nadmořská výška, současně s nejvyšším bodem 2189 m. n. m., byla zjištěna u toku Palakariya, který se nachází na západě Bulharska. Naopak nejnižší výškový průměr 113 m. n. m. vlastní polská řeka Brzeznicka. Nejnižší bod s výškou 19 m. n. m. se nachází na území Krymu. Veškeré číselné výstupy z ArcGisu jsou zobrazeny v Tab. 3.

Tab. 3: Výstupy krajinných pokryvů a výšek

	Toky	Rozloha povodí Km ²	Zástavba a průmysl		Přechodné lesní p.		Smíšené lesy		Jehličnaté lesy		Listnaté lesy		Zemědělské plochy		Pastviny		Vodní útvary		Nadmořská výška (m. n. m.)	
			Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	min	max
Polsko	Stupia	177,72	3,41	1,92	3,39	1,91	16,04	9,03	46,34	26,07	8,26	4,65	84,19	47,37	7,44	4,19	8,65	4,87	106	260
	Brzeznica	193,56	8,59	4,44	1,37	0,71	22,27	11,51	21,72	11,22	11,56	5,97	125,11	64,64	2,94	1,52	0		88	201
	Czarna Wlosz	636,46	22,67	3,57	7,94	1,25	32,36	5,08	214,38	33,68	31,2	4,9	230,46	36,21	93,22	14,65	4,23	0,66	197	365
	Ostawica	83,52	0,75	0,9	0,27	0,32	16,21	19,41	20,81	24,92	15,83	18,95	14,54	17,41	15,11	18,09	0		446	847
	Szeszupa	82,77	0,08	0,1	0,16	0,19	14,32	17,3	1,06	1,28	0,86	1,04	58,74	70,97	2,46	2,97	5,09	6,15	143	293
	Drawa	147,62	7,51	5,09	1,91	1,29	7,11	4,82	28,64	19,4	5,97	4,04	80,44	54,49	12,37	8,38	3,67	2,49	95	185
	Skawinka	337,34	38,75	11,49	8,72	2,58	51,79	15,35	26,28	7,79	28	8,3	175,82	52,12	7,98	2,37	0		200	729
	Radunia	9,34	0		0		1,67	17,88	6,2	66,38	0		1,47	15,74	0		0		138	235
	Gronik	12,36	0		1,55	12,54	0		2,38	19,26	0,03	0,24	6	48,54	0		2,4	19,42	640	785
	Brzeznicka	54,36	0,89	0,24	0,67	1,23	8,23	15,14	11,03	20,29	6,89	12,67	23,79	43,76	1,79	3,29	1,07	1,97	67	176
	Jeleśnia	41,74	1,25	2,99	0,25	0,6	0		9,78	23,43	0		20,25	48,51	9,8	23,48	0,41	0,98	640	1169
	Biala	992,32	57	5,74	3,66	0,37	127,87	12,88	98,88	9,96	66,14	6,66	604,96	60,93	34,17	3,44	0,25	0,03	181	994
	Jasiolka	334,59	13,1	3,92	1,96	0,59	79,38	23,72	58,1	17,36	59,7	17,84	102,02	30,49	20,33	6,08	0		258	863
	Warkocz	37,58	3,39	9,02	0		0,97	2,58	2,58	6,87	0		24,8	65,99	5,84	15,54	0		256	597
Rumunsko	Tur	167,91	8,77	5,22	0		0,05	0,03	1,99	1,19	76,9	45,8	64,4	38,35	15,8	9,41	0		131	1191
	Siret	2268	14	0,62	0		98	4,32	7	0,31	320	14,11	1829	80,64	0		0		244	1369
	Bega	938,93	26,66	2,84	22,6	2,41	15,18	1,62	0,3	0,03	528,61	56,31	227,37	24,22	113,99	12,14	4,12	0,44	119	1370
Bulharsko	Ogosta	265,39	4,6	1,75	55,63	21,11	18,94	7,19	2,99	1,13	101,45	38,49	69,86	26,51	9,65	3,66	0		216	2003
	Palakariya	256,4	6,65	2,59	17,77	6,93	20,14	7,85	37,67	14,69	56,73	22,13	108,23	42,21	9,21	3,59	0		898	2189
	Nishava	354,33	18,2	5,13	72,7	20,52	21,5	6,07	13,17	3,72	49,54	13,98	163,11	46,03	14,95	4,22	0,43	0,12	504	1953
Litva	Luknelis	36,59	0		1,79	4,89	3,53	9,65	22,34	61,05	0		0,24	0,66	0		8,69	23,75	141	182
	Zalvys (Um)	87,41	0,85	0,97	3,5	4	8,99	10,28	2,33	2,67	9,91	11,34	51,9	59,38	4,33	4,95	5,6	6,41	100	202
	Babrungas	121,52	1,57	1,29	4,06	3,34	20,73	17,06	24,91	20,5	3,34	2,75	55,79	45,91	9,71	7,99	1,41	1,16	113	200
	Virytia	437,01	5,08	1,16	13,31	3,05	29,45	6,74	45,5	10,41	39,15	8,96	226,38	51,8	56,44	12,92	21,7	4,97	107	228
Ukrajina	Boh- Bug	1610	36	2,24	0		60	3,73	8	0,5	0		1502	93,29	0		4	0,25	72	289
	Czerkawa	486	14	2,88	0		3	0,62	7	1,44	1	0,21	457	94,03	0		4	0,82	259	414
	Prut	5263	24	0,46	0		514	9,77	67	1,27	696	13,22	3962	75,28	0		0		169	2043
	Czorna	370	0		0		14	3,78	2	0,54	103	27,84	239	64,59	0		12	3,24	19	1120

Komentář: Nepřítomnost daného pokryvu je značena „0“

Obr. 27 až Obr. 30 popisují trend hlavních tvarových charakteristik schránek v závislosti na využitém území v povodí. Pro názornost jsou body jednotlivých toků vyznačeny odlišnými barvami podle zemí, ve kterých se vyskytují.



Obr. 27: Umělá zástavba jednotlivých povodí ve vztahu k velikosti rezidua L/H

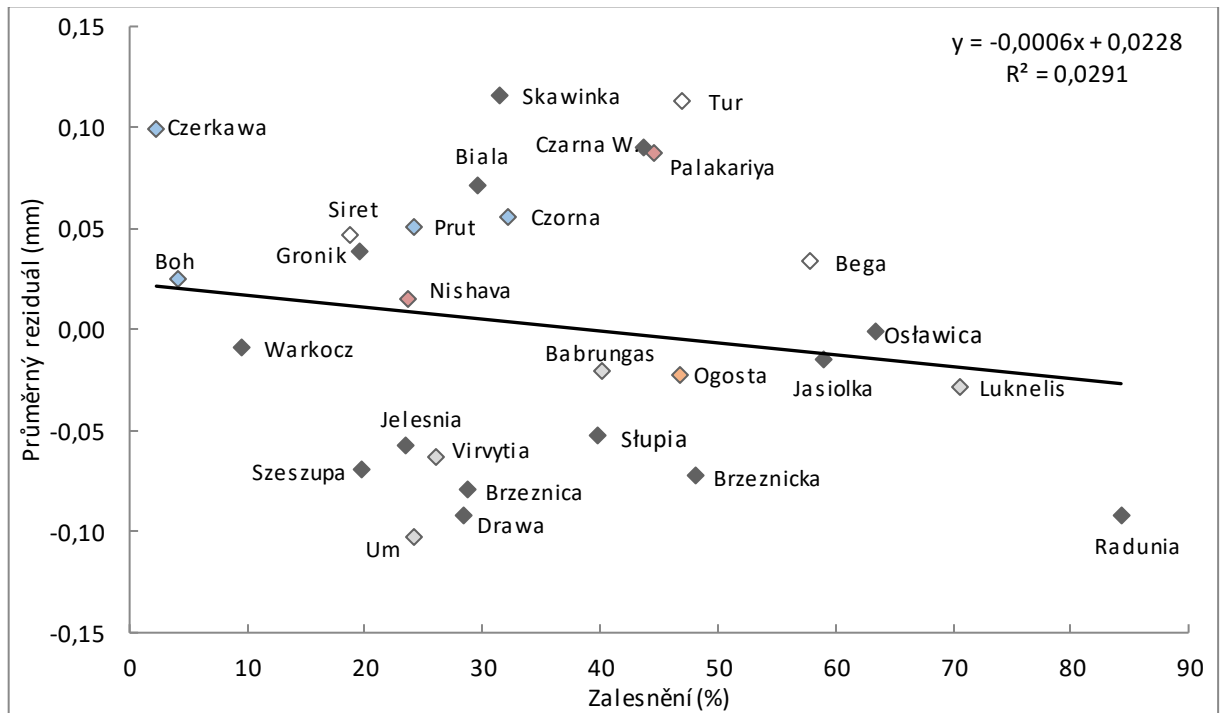
Komentář: ◆ Polsko, ◇ Rumunsko, ◆ Bulharsko, ◆ Litva, ◆ Ukrajina, L= délka, H= šířka

Tab. 4: Regrese závislé proměnné hodnoty průměrného rezidua L/H na zástavbě

28 lokalit	Výsledky regrese se závislou proměnnou					
	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t (26)	p-hodn.
Abs.člen			-0,020704	0,017228	-1,20174	0,240295
Zástavba (%)	0,344504	0,184111	0,008296	0,004433	1,87118	0,072615

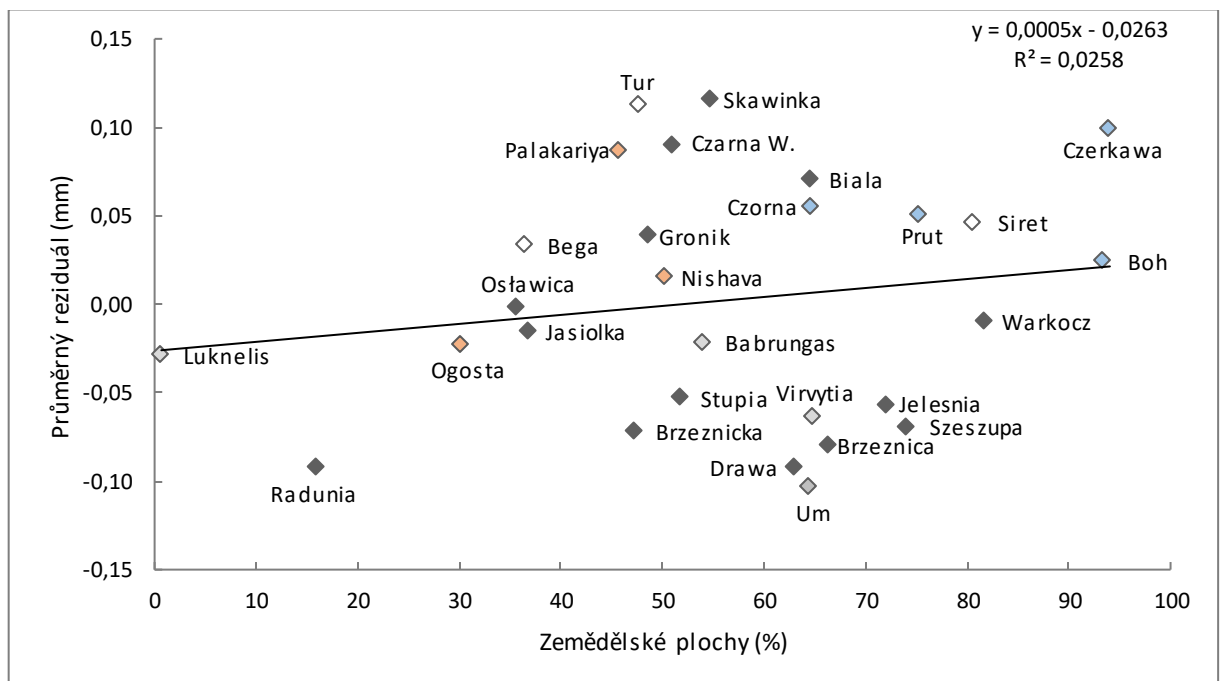
Mezi průměrným reziduem poměru L/H a zastavěnou plochou se vyskytuje závislost ($R^2 = 0,1187$), lze tedy konstatovat, že oblasti s vyšším procentem zástavby obsahují více živin a ovlivňují tak růst lastur do kulatějšího tvaru. Při nižší zástavbě jsou schránky naopak podlouhlejší (Obr. 27). H_0 = procentuální zástavba nemá vliv na rezidua L/H. Potvrzujeme H_0 , zástavba v povodí nemá vliv na tento parametr. Nelze ani ovšem tvrdit, že zástavba nemůže mít

vliv na velikostní poměr *Unio crassus*, pouze námi studované oblasti jsou velice málo zastavěné. Většina lokalit nepřesahuje 3% zastavění.



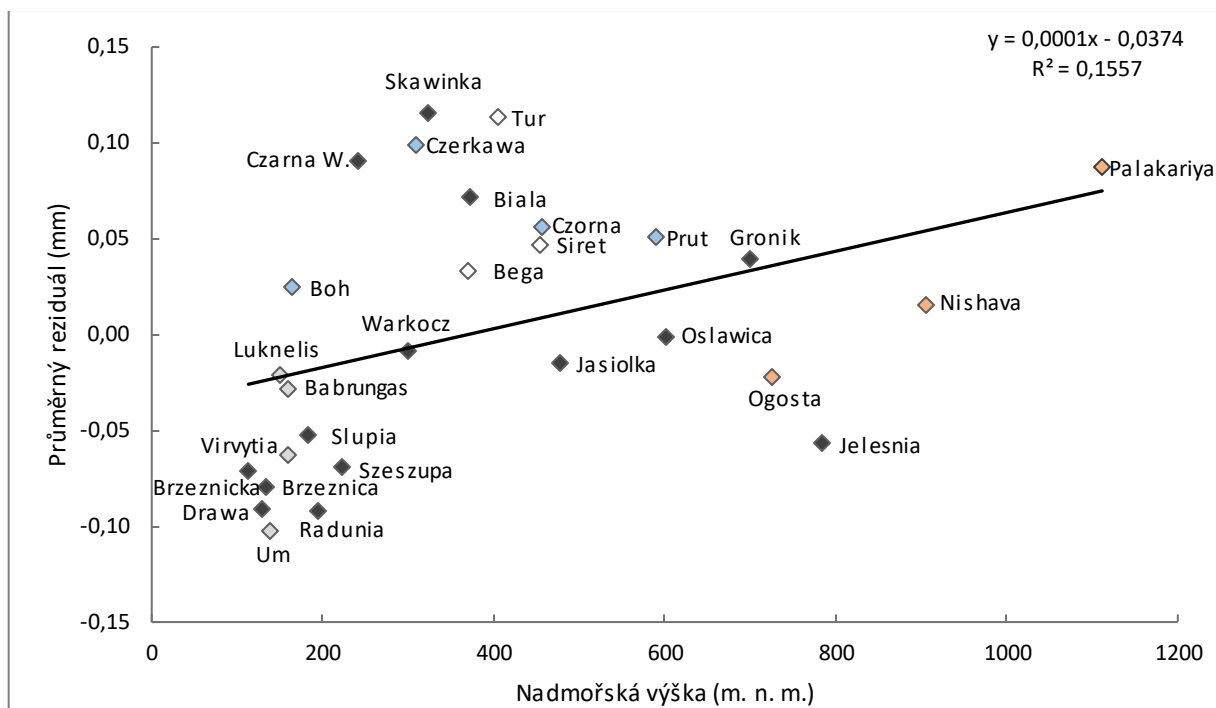
Obr. 28: Celkové zalesnění jednotlivých povodí ve vztahu k velikosti rezidua L/H

Komentář: ◆ Polsko, ◇ Rumunsko, ◆ Bulharsko, ◆ Litva, ◆ Ukrajina, L= délka, H= šířka



Obr. 29: Celkové zemědělství jednotlivých povodí ve vztahu k velikosti rezidua L/H

Komentář: ◆ Polsko, ◇ Rumunsko, ◆ Bulharsko, ◆ Litva, ◆ Ukrajina, L= délka, H= šířka



Obr. 30: Zobrazení nadmořské výšky s průměrným reziduem L/H (mm)

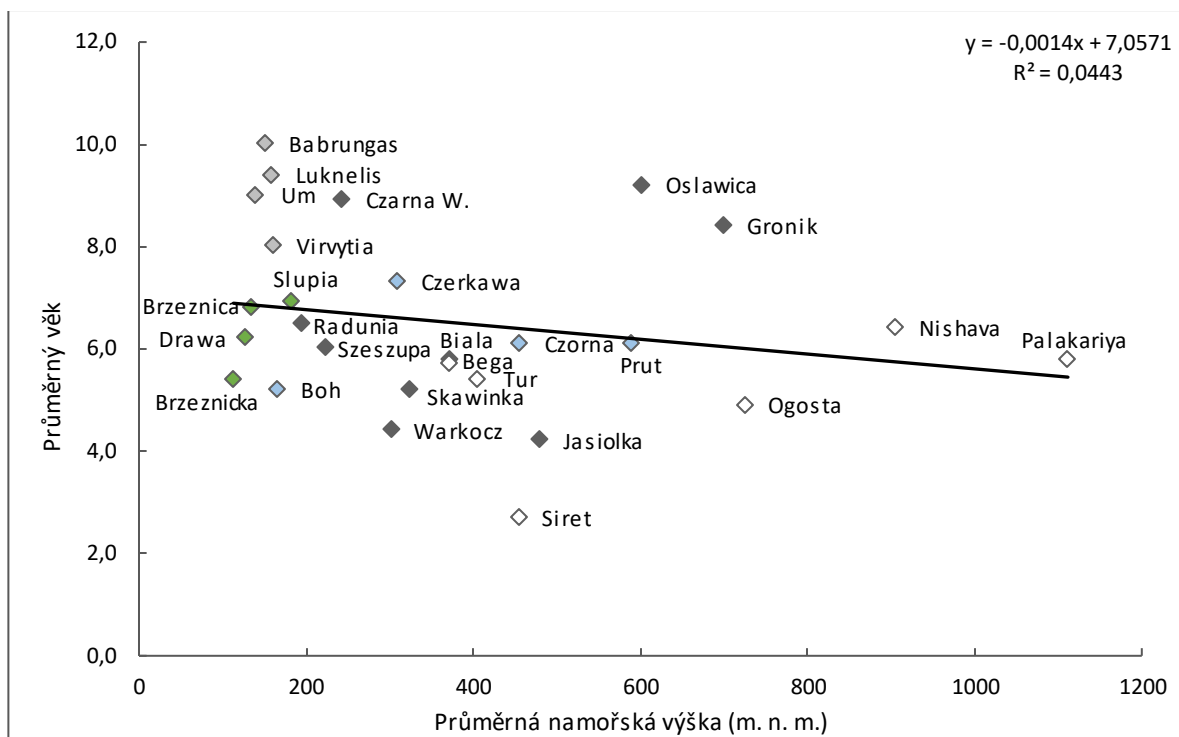
Komentář: ◆ Polsko, ◇ Rumunsko, ◆ Bulharsko, ◆ Litva, ◆ Ukrajina, L= délka, H= šířka

Tab. 5: Regrese parametru průměrného rezidua L/H na nadmořské výšce

28 lokalit	Výsledky regrese se závislou proměnnou					
	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t (26)	p-hodn.
Abs.člen			-0,037362	0,021596	-1,73005	0,095477
Nadmořská výška (m. n. m.)	0,394584	0,180203	0,000101	0,000046	2,18966	0,037718

Vztah nadmořské výšky s velikostí schránek vypovídá o signifikantní souvislosti a o 15 % závislosti (Obr. 30). H_0 : nadmořská výška nemá vliv na reziduální poměr délky a výšky. Z důvodu menší p (0,037718) hodnoty, než je hodnota hladiny významnosti α (0,05) zamítáme H_0 , průměrný reziduál L/H je nadmořskou výškou ovlivňován (Tab. 5).

U všech čtyř grafů (Obr. 27 až Obr. 30) vztahu pokryvu a tvaru lastur vystupují veškeré toky Ukrajiny a Rumunska nad spojnicí trendu znázorňující pokles či nárůst hodnot. Nejnižší souvislost se projevila u pokryvu zemědělských ploch ($p= 0,414134$) a zalesněných ploch ($p= 0,385798$). H_0 tedy potvrzujeme, vliv zalesnění a zemědělství v daných lokalitách není.



Obr. 31: Zobrazení průměrné nadmořské výšky v souvislosti s průměrným věkem jedinců

Komentář: hlavní povodí ♦ Visla, ◆ Odra, ◇ Dunaj, ◆ Němen, ◆ Dněpr, řeka Jelešnia není v grafu uvedena z důvodu nečitelnosti stáří lastur.

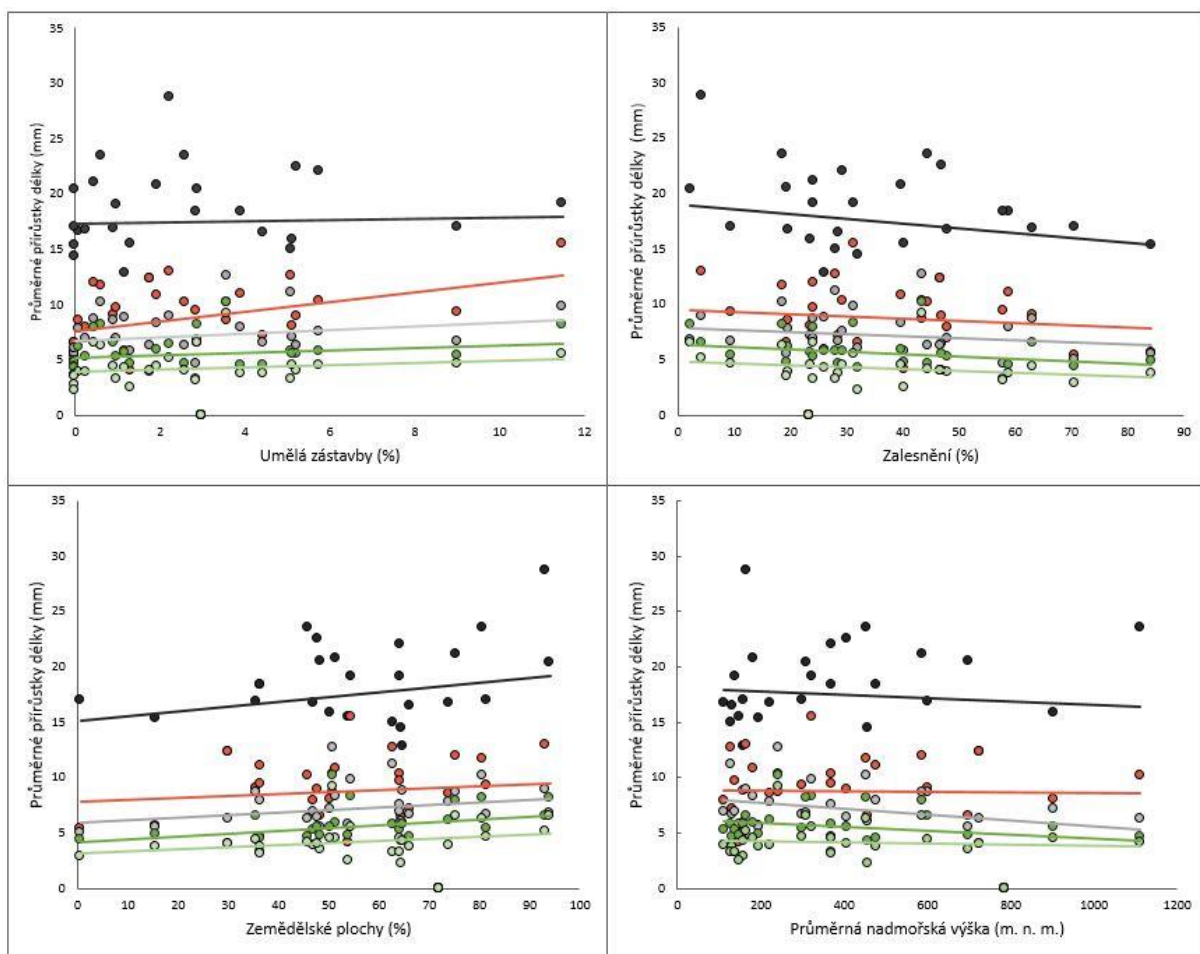
Tab. 6: Regrese parametru průměrného věku jedinců na nadmořské výšce

28 lokalit	Výsledky regrese se závislou proměnnou: Průměrný věk					
	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t (26)	p-hodn.
Abs.člen			7,330036	0,696704	10,52101	0,000000
Prům. nadmořská výška (m. n. m.)	-0,334151	0,184843	-0,002691	0,001489	-1,80775	0,082229

Graf souvislosti průměrného věku a nadmořské výšky (viz Obr. 31) vykazuje spolehlivost $R^2 = 0,0443$. Jedná se o nízkou souvislost mezi těmito parametry, která je dále prošetřena jednoduchou nelineární regresí statistiky (Tab. 6).

H_0 : Průměrný věk není ovlivňován nadmořskou výškou.

Pravděpodobnost (p) je větší než hladina významnosti (α). Nulovou hypotézu potvrzujeme, tudíž průměrný věk jedinců na zkoumaných lokalitách není ovlivněn nadmořskou výškou (Tab. 6).



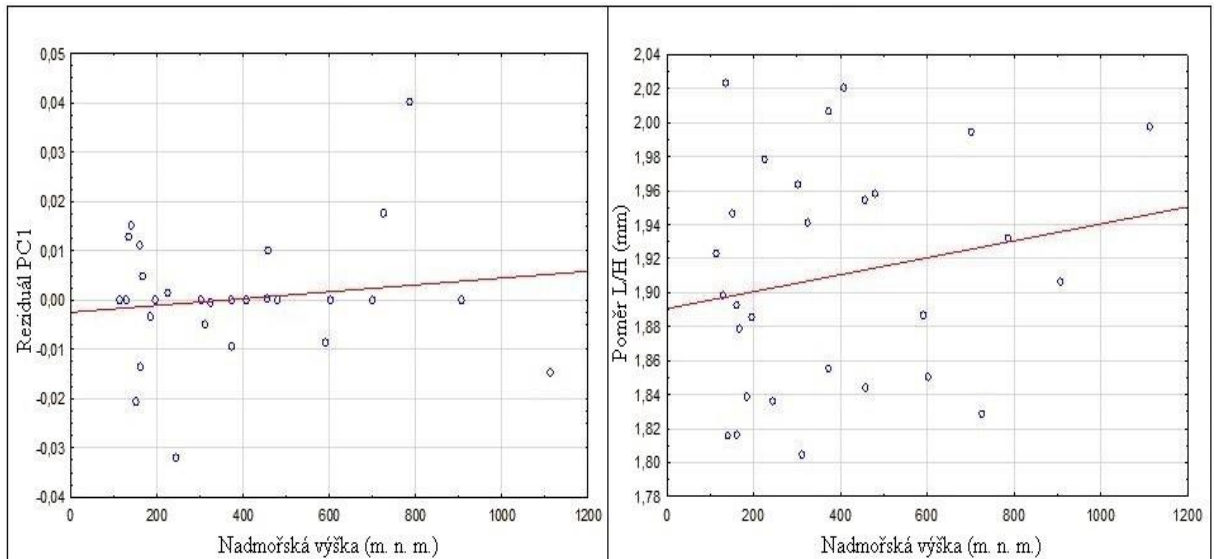
Obr. 32: Zobrazení průměrných přírůstků *Unio Crassus* do 5 let ve vztahu s procentuálním zastoupením pokryvů a nadmořské výšky

Komentář: závislost v ● 1. roce, ● 2. roce, ● 3. roce, ● 4. roce, ● 5. roce

Tab. 7: Výsledky závislostí z Obr. 32

Druh pokryvu	Hodnota spolehlivosti R^2				
	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok	5. rok
Umělé zástavby	0,0009	0,1481	0,0375	0,0262	0,0321
Zalesněné plochy	0,0282	0,0138	0,0224	0,0513	0,0409
Zemědělské plochy	0,0322	0,0149	0,0422	0,0797	0,0614

Nejvyšší závislost je patrná u pokryvu umělé zástavby a růstu *Unio Crassus* ve druhém roce, naopak nejnižší závislost se vyskytuje u stejného pokryvu v prvním roce. Průměrné přírůstky jsou ve čtvrtém roce závislé na procentu zemědělských ploch.



Obr. 33: Zobrazení závislosti průměrného rezidua hodnot osy PC1 a poměru délky k výšce L/H na nadmořské výšce ve všech lokalitách

Na základě reziduálu osy PC1, poměru L/H a nadmořské výšky byl vypočten Pearsonův koeficient pro lineární závislosti a pravděpodobnost hodnoty p. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8: Hodnoty korelačního koeficientu PC1, nadmořské výšky a pokryvů

Korelováno s nadmořskou výškou	Pearsonův korelační koeficient	Pravděpodobnost hodnota p ($\alpha = 0,05$)
Reziduál PC1	0,1405578	0,475595
Poměr L/H	0,1946345	0,037718
Korelace reziduálu PC1	Pearsonův korelační koeficient	Pravděpodobnost hodnota p ($\alpha = 0,05$)
Pokryv umělé zástavby	-0,0621527	0,753376
Pokryv zalesněných ploch	-0,0624942	0,752063
Pokryv zemědělských ploch	-0,0052780	0,978756

Hodnoty pravděpodobnosti „p“ jsou ve většině případech vyšší než hladina významnosti „ α “, tudíž nulové hypotézy přijímáme a definujeme, že vliv nadmořské výšky nemá významný vliv na průměrný reziduál osy PC1. Znovu se zde potvrdil vliv nadmořské výšky na růstový poměr L/H, který byl testován ve výše uvedeném grafu v podobě průměrného rezidua L/H (Obr. 30). $p > \alpha (0,05) = H_0$ potvrzujeme

U pokryvů ploch lze podle korelace konstatovat vztah s nízkou závislostí PC1. Avšak nulovou hypotézu potvrzujeme a neexistuje závislost mezi těmito parametry. Hodnoty spolehlivosti u všech tří typů pokryvu nepřekračují hodnotu $R^2 0,0039 = 0,39 \%$.

6 Diskuze

6.1 Vyhodnocení růstu

Při vyhodnocování základních velikostních proměnných byla porovnávána délka, výška a poměr mezi délkou a výškou (L/H) spolu s věkem lastur *Unio crassus*. Rozměry schránek, resp. zmíněné velikosti délek, výšek i poměrů L/H se liší v každé ze sledovaných lokalit, což je důsledkem různého charakteru povodí a říčního sedimentu, který dle několika zdrojů ovlivňuje růst schránek (Newell a Hidu, 1982, Zimmerman a de Szalay, 2007, Hornbach et al., 2010).

Ve studii byla také sledována souvislost mezi věkem jedinců a danými lokalitami, která potvrdila v dostupné literatuře zmiňovanou teorii o vyšším dožívání taxonu v severněji ležících zemích, kde jsou chladnější vody a růst jedinců je tak pomalejší (Bauer, 1992). Nejseverněji ležící zemí tohoto výzkumu je Litva a k ní náležící povodí Němen, které se prokazuje nejstaršími jedinci.

Nejčastěji se zmíněné testované projeví jako nelineární závislé. Pokud vyhodnotíme vztah mezi délkou a věkem jedinců charakterizovaným exponenciální spojnicí trendu, zjistíme malou závislost délky schránky na věku *Unio crassus*. S přibývajícím věkem mohou být sice schránky větší, ale nejedná se o pravidlo. Jejich celková délka zásadně je ovlivněna počáteční rychlostí růstu, která je nejvyšší v prvních třech letech života (viz Obr. 14) (Seed, 1973). S postupem přibývajících let se zimní přírůstkové linie lastur snižují až o několik milimetrů. Tento zpomalující růst byl potvrzen a znázorněn v kapitole 5.3 krabicovým grafem na Obr. 15 ve všech zkoumaných lokalitách a koresponduje tak s historickou (Seed, 1973) i současnou literaturou (Nagel et al., 2015).

Kromě tohoto zjištěného postupně klesajícího přírůstu délky, byla také zjištěna na každém toku rozdílná rychlost růstu. V prvním roce byla nejvyšší rychlost zaznamenána u jedinců z řeky Boh (35-37 mm/rok), u řeky Palakariya dokonce 41 mm/rok. Ve druhém roce byly pozorovány nejvyšší přírůstky u zástupců z řek Siret a Palakariya, zatímco ve třetím roce měl největší přírůstek 21,4 mm/rok jedinec z rumunské řeky Siretu. Většina rychlých růstů byla zaznamenána v jižněji položených oblastech, resp. v Bulharsku, Rumunku a jižní Ukrajině, je proto zřejmé, že růst je ovlivňován mírně teplejšími vodami, které pozitivně působí na růst jedinců (Cataldo et al., 2005).

Růst jedinců *Unio crassus* je celkově velmi plastický a variabilní, například zástupci o velikosti 40 mm mohou dosahovat staří od 2 do 14 let. Toto zjištění tedy potvrzuje hypotézu nepodstatné závislosti délky na věku (Nagel et al., 2015). Lineární závislost se projevuje mezi

poměrem délky a výšky, kde se jedná téměř o 95% závislost těchto dvou parametrů. Obě dvě proměnné se navzájem ovlivňují, s narůstající délkou se zvětšuje také výška schránky.

6.2 Vyhodnocení zpracování vstupních dat v podobě fotografií

Z důvodu jednoduchých tvarů lastur *Unio crassus* byla jako vhodná morfometrická metoda zvolena Fourierova eliptická analýza (EFA), která charakterizuje obrysy schránek detailně s následnou vizualizací a srovnáním celé skupiny jedinců a odráží tak jejich celkové tvary (Costa et al., 2010) Získání vstupních dat pro toto šetření není nijak složité. Jedná se o pořizování fotodokumentace levé strany schránky, společně s měřítkem a je možné jej pořídít jak na živých, tak na neživých jedincích, což může být mimo jiné také určitou výhodou při práci v terénu. Díky této šetrné metodě a pevnosti schránek nedochází k deformaci tvaru (Costa et al., 2010)

Pro správné vyhodnocení obrysů byly studovaní jedinci podrobeni digitálnímu šetření, během kterého byly vymazány okolní nečistoty, zamaskovány praskliny či vysoce kontrastní koroze. Jako výstupy z Fourierovy analýzy byly vytvořeny vizualizace a získány výsledky v podobě proměnných PCA os pro každého z jedinců. Pro pozorování vztahu s velikostními proměnnými byla využita pouze osa PC1, která je nejdůležitější osou pro popis obrysu. Popisuje až 70 % tvaru, konkrétně prodlouženost a zakulacenost schránky (Jandáková, 2016).

Výsledky mezi osou PC1, délkou, výškou a poměrem L/H těchto schránek prokazují souvislost osy na těchto proměnných. Nejvyšší závislost osy PC1 je na velikostním poměru délky a výšky, kde je korelační koeficient 0,2344 (23,44 %). Lze tak říci, že tento poměr tvoří největší část variability osy a obrysový tvar schránek je dosti závislý právě na poměrové délce a výšce. S měněním se poměrem LH dochází také ke změně hodnot osy PC1. Naopak u závislosti PC1 tvaru na věku jedince není prokázána nějak velká závislost, která by mohla tvar schránky ovlivnit. Věkově starší jedinci nemusí být z pravidla charakterizováni větší zaobleností či protažeností, záleží na více ovlivňujících faktorech dohromady. Pokud se zaměříme na hodnoty osy ve vztahu k jednotlivým lokalitám, lze vidět podobné střední hodnoty, ale také signifikantní rozdílnost v horních či spodních kvartilech i v extrémních hodnotách na každém toku.

Kvalita vody i kvalita okolního prostředí jsou na každém toku různé a vliv lokalit na tvar lastur je více než zřejmý. Nicméně i přes značnou rozdílnost lokalit lze najít toky, které jsou tvarovou variabilitou velmi podobné. V našem případě se jedná o 3 až 4 toky z odlišných zemí (Siret - Rumunsko, Gronik - Polsko a Palakariya - Bulharsko). Při zařazení jednotlivých lokalit sběru do hlavních evropských povodí se rozptýl PC1 hodnot sduzuje a je víceméně stejný.

6.3 Vyhodnocení pokryvu povodí

Dle zjištěných výsledků se jedinci druhu *Unio crassus* vyskytovaly v oblastech s menším procentem zástavby a průmyslu, kde většina lokalit z daleka nepřekročila hranici 5 % zastavění. Výsledek tak odpovídá teorii a ostatním studiím o zástavbě a s ní spojenou umělou úpravou koryt a vodních elektráren snižujících abundanci populací tohoto taxonu (Sîrbu et al., 2012, Singr, 2014). Kromě snižujícího se výskytu ve vysoce zastavěných, znečištěných a průmyslově využívaných oblastech povodí (Douda a Beran, 2009), lze konstatovat dle výsledků dispozici růstu schránek jedinců do kulatosti s rostoucím zastavěním a osídlením. S větším využitím průmyslu a osídlením se do vody dostává více amonných iontů, fosfátů a živin, tvary přeživších jedinců jsou tak kulatější.

Plochy s umělou zástavbou i průmyslové zóny se mohou nabízet jako trend dlouhodobých změn do budoucna, ke kterým by bylo vhodné přihlížet v plánování ochrany managementu druhu. Ve srovnání procentuálního zalesnění a průměrného rezidua poměru délky a výšky je souvislost mezi těmito parametry nízká. Problém ovšem může tvořit typ porostů. Jehličnaté lesy mají vyšší půdní kyselost oproti listnatým lesům (Zývalová, 2017). Vhodné pH prostředí pro našeho zástupce je zásadité (<7) (Hus et al., 2006). Je zde tedy odlišná závislost oproti lesu listnatému, kde se časem opadané listy přemění na humus a půda spolu s podzemními vodami je následně obohacena prospěšnými organickými látkami působící na mlže v okolních tocích. Čistě pro porovnání závislosti pouze na listnatém lese, kde je do vody uvolňováno větší množství živin je hladina spolehlivosti několikrát vyšší $R^2=0,09016$ než u zalesnění celkového a jehličnatého, kde je závislost velmi malá (Příloha 5). Jedná se tedy o signifikantní souvislosti mezi různě zalesněnými plochami.

Ve většině námi zkoumaných povodích byla nadpoloviční většina rozlohy plochy zařazena do zemědělských půd. Výskyt jedinců tak není nikterak limitován ani v případě orných hnojených půd, kterých bylo největší procento. Co se týče závislosti velikostního poměru

schránky, nebyla potvrzena vysoká závislost na zemědělství, nemůžeme tedy hodnotit, zda celkové zemědělství působí na růst blahodárně či nikoliv, dle literatury záleží také na druhu zemědělské plochy, rozdíl může být mezi chemicky neošetřenými a nehnojenými loukami a pastvinami než u půd hnojených (Wasson et al., 2010). Zvýšené množství dusičnanů jako důsledek efektivního zemědělství se podílí na snižování populace *Unio crassus* (Köhler, 2006). Množství dusičnanů ovlivňuje každý druh sladkovodních mlžů jinak. Například *Margaritifera margaritifera* je zemědělstvím ohrožená více, její hladina pro přežití je stanovena na pouhých $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Bauer, 1988).

Signifikantní souvislost se projevuje u zjištěné průměrné nadmořské výšky a průměrného rezidua poměru. Se stoupající trendem nadmořské výšky se zvyšuje kvalita růstu vzhledem k čistším a chladnějším tokům, a větší poměr náleží spíše délkám než výškám (Bauer, 1992). Spolehlivost se zde projevila $R^2 = 0,1557$ a dále byla teorie potvrzena přijatou nulovou hypotézou otestovanou jednoduchou nelineární regresí.

Při výměně proměnné, rezidua poměru LH za průměrné reziduum osy PC1 nevyplývají nikterak podstatné souvislosti se zjištěnými typy pokryvů. U všech tří typů lineárního vztahu míry korelace v intervalu $\langle -1,1 \rangle$ byl Pearsonův koeficient v záporných hodnotách, tudíž se jedná o jakousi souvislost parametru. Nicméně hladinou pravděpodobnosti přijímáme nulovou hypotézu s velmi nízkým či žádným vlivem.

Provedené mapové, grafické a morfometrické šetření interpretuje vztah života sladkovodních mlžů s přírodními i antropogenními podmínkami. Můžeme potvrdit, že druh je vybaven výtečnou variabilitou a plasticitou. Zvládne se přizpůsobit teplotním rozptylům i potravním podmínkám, tyto vlastnosti jsou důležité k jednoduššímu přizpůsobení se okolí (Hochwald, 2001). Závěrem této práce lze definovat morfometrické vztahy jako variabilní a přizpůsobivé daným geografickým oblastem. Celkově můžeme říci, že se jedná dosud o méně studovanou problematiku. Vztah mezi využitím povodí a faunou vodních měkkýšů může být významným faktorem pro obnovení či ochranu biologické rozmanitosti stejně jako genetická variabilita. Využití povodí tvoří důležitou část udržitelného a odpovědného zacházení u přírodních zdrojů a v životním prostředí. Pokud je znám vliv pokryvu daných povodí, lze tyto studie využít pro „rehabilitaci“ říčních ekosystémů, územní plány, biomonitoring druhů a celkový management v ochraně a udržitelnosti rozvoje (Zawal et al., 2016). Lze také konstatovat, že abiotické faktory biotopu nemají přímý vliv na zástupce *Unio*, ale nýbrž na ostatní bentické společenstvo, které dále ovlivňuje tohoto zástupce (Richter et al., 2016).

Pro lepší a účinnější ochranu populací do budoucna, by bylo dobré navrhnout větší spolupráci na mezinárodní úrovni s použitím standardizovaných protokolů a metod pro sledování a řízení evropské rozmanitosti sladkovodních mlžů. Takový přístup by přispěl nejen k ochraně této ohrožené skupiny, ale také ke zlepšení celého vodního ekosystému (Lopes-Lima et al., 2017).

7 Závěr

Tato závěrečná práce zhodnotila tvary a velikostní charakteristiky taxonu *Unio crassus* na 28 evropských tocích a 5 hlavních povodí. Analýzy byly provedeny za aplikace 793 jedinců. Cíl práce byl uskutečněn, došlo k analyzování morfometrie obrysů lastur, k vyhodnocení vztahu mezi populacemi druhu a zjištěných pokryvech v modelových povodí a k analýze základních velikostních parametrů.

Hypotéza (analýzou růstových vlastností lastur sladkovodních mlžů lze identifikovat stav vybraných charakteristik prostředí v povodí vodního toku) byla potvrzena. Nelze však jednoznačně říci, zda dokáže identifikovat povodí ve všech směrech. Vysoká závislost je jednoznačně definovatelná u nadmořské výšky, umělé zástavby s průmyslem a u listnatých lesů. Výsledek zemědělských a zalesněných ploch je nejednoznačný, v této práci byly zmíněné pokryvy brány jako celek, což může být značnou příčinou nejednoznačného výsledku. Rozdílný vliv budou mít různé kategorie jak zemědělských ploch (louka, pastva, orná půda) tak i lesů, u kterých byl vztah závislosti potvrzen u listnatých stromů.

Závěrem můžeme konstatovat, že práce ukazuje na významný potenciál bioindikace stavu povodí i toků. A jak již bylo naznačeno trendem do budoucna i přes vysokou plasticitu a přizpůsobivost druhu, by měl být začátek vyšší ochrany a studia managementu populace, než dojde k úplnému úhynu tohoto bioindikátora čistých vod a ztratíme tak jednoho z mála výborných ukazatelů jakosti a charakteru toku.

8 Literatura

- Babko, R.,Kuzmina, T. 2009. Effect of dams on hydrological parameters and the structure of benthic molluscs: case study in Dnieper river basin. *Ecohydrology & Hydrobiology* 9(2-4). 159-164.
- Bauer, G. 1988. Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in central Europe. *Biological Conservation* 45(4). 239-253.
- Bauer, G. 1992. Variation in the life span and size of the freshwater pearl mussel. *Journal of animal ecology*. 425-436.
- Bauer, G.,Wächtler, K. (2001). Ecology and evolution of the naiads. *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida*, Springer. p. 383-388.
- Beran, L. 2002. Vodní měkkýši České republiky—rozšíření a jeho změny, stanoviště, šíření, ohrožení a ochrana, červený seznam. *Sborník Přírodovědného klubu v Uherském Hradišti*. 10. 258.
- Beranová, T. 2011. Land use / land cover v jižní části suburbánního prostoru města České Budějovice. *Bakalářská práce*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. České Budějovice. 78 s.
- Camargo, J. A.,Alonso, Á. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment international* 32(6). 831-849.
- Carlson, P. E., Johnson, R. K.,McKie, B. G. 2013. Optimizing stream bioassessment: habitat, season, and the impacts of land use on benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 704(1). 363-373.
- Cataldo, D., Boltovskoy, D., Hermosa, J. L.,Canzi, C. 2005. Temperature-dependent rates of larval development in *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae). *Journal of Molluscan Studies* 71(1). 41-46.
- Costa, C., Menesatti, P., Aguzzi, J., D'Andrea, S., Antonucci, F., Rimatori, V., Pallottino, F.,Mattoccia, M. 2010. External shape differences between sympatric populations of commercial clams *Tapes decussatus* and *T. philippinarum*. *Food and Bioprocess Technology* 3(1). 43.
- Crampton, J. S. 1995. Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia* 28(2). 179-186.
- Denic, M., Stoeckl, K., Gum, B.,Geist, J. 2014. Physicochemical assessment of *Unio crassus* habitat quality in a small upland stream and implications for conservation. *Hydrobiologia* 735(1). 111-122.

- Douda, K. 2011. The environmental biology and conservation of the flagship groups of stream macroinvertebrate species in the Czech Republic. PhD Thesis. Czech university of life sciences prague Faculty of environmental sciences Praha. 54 p.
- Douda, K., Beran, L. 2009. Ochrana velevruba tupého v České republice. Ochrana přírody 64(2). 16-19.
- Douda, K., Horký, P., Bílý, M. 2012. Host limitation of the thick-shelled river mussel: identifying the threats to declining affiliate species. Animal Conservation 15(5). 536-544.
- Douda, K., Sell, J., Kubíková-Peláková, L., Horký, P., Kaczmarczyk, A., Mioduchowska, M. 2014. Host compatibility as a critical factor in management unit recognition: population-level differences in mussel–fish relationships. Journal of Applied Ecology 51(4). 1085-1095.
- Ercan, E., Tarkan, A. S. 2014. Effect of salinity on the growth and survival of the freshwater mussel, *Unio crassus*, in an environmentally disturbed river. Pakistan J. Zool 46(5). 1399-1406.
- Fet, V., Popov, A. 2007. Biogeography and ecology of Bulgaria. Springer. ISBN: 1402057814.
- Galová, M. 2013. Stanovištní preference velevruba tupého v povodí Bečvy. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta. Olomouc. 28 s.
- Hlaváč, J. 2006. Nález schránek měkkýšů v prostoru raně středověkého opevnění v Libici nad Cidlinou. Nové publikace archeologického ústavu AV ČR. Praha. 549.
- Hochwald, S. 2001. Plasticity of life-history traits in *Unio crassus*. Springer. 127-141 p.
- Hornbach, D. J., Kurth, V. J., Hove, M. C. 2010. Variation in freshwater mussel shell sculpture and shape along a river gradient. The American Midland Naturalist 164(1). 22-36.
- Hus, M., Śmiałek, M., Zając, K., Zając, T. 2006. Occurrence of *Unio Crassus* (Bivalvia, Unionidae) Depending on Water Chemistry in the Foreland of the Polish Carpathians. Polish Journal of Environmental Studies 15(1).
- Iwata, H., Ukai, Y. 2002. SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. Journal of Heredity 93(5). 384-385.
- Jandáková, M. 2016. Tvarová plasticita velevruba tupého (*Unio crassus*, Unionidae) v závislosti na lokalitě a velikostních proměnných. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta Praha. 104 s.
- Kenderov, L., Sashov, Y. 2017. Short communications new record of thick shelled river mussel *Unio crassus* (Unionidae, bivalvia) from Palakaria river, Bulgaria. 96-99.
- Köhler, R. 2006. Observations on impaired vitality of *Unio crassus* (Bivalvia: Najadae) populations in conjunction with elevated nitrate concentration in running waters. Clean–Soil, Air, Water 34(4). 346-348.
- Kuhl, F. P., Giardina, C. R. 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. Computer graphics and image processing 18(3). 236-258.

- Kupka, J.,Horsák, M. 2013. Měkkýši (Mollusca). Příroda Slezska. 188-201.
- Lopes-Lima, M., Sousa, R., Geist, J., Aldridge, D. C., Araujo, R., Bergengren, J., Bespalaya, Y., Bódis, E., Burlakova, L.,Van Damme, D. 2017. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. *Biological Reviews* 92(1). 572-607.
- Nagel, K.-O., Dumpelmann, C.,Pfeiffer, M. 2015. Effective growth cessation in adult *Unio crassus* Philipsson, 1788 (Bivalvia: Unionidae) from Germany. *Folia Malacologica* 23(4).
- Newell, C. R.,Hidu, H. 1982. The effects of sediment type on growth rate and shell allometry in the soft shelled clam *Mya arenaria* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 65(3). 285-295.
- Olsson, I. *Unio crassus* for life [online]. 2012. [2018-03-25]. Dostupné z <<http://www.ucforlife.se/>>.
- Pitter, P. 2015. Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha. 792 s. ISBN 978-80-7080-928-0.
- Richter, A., Stoeckl, K., Denic, M.,Geist, J. 2016. Association between the occurrence of the Thick-shelled River Mussel (*Unio crassus*) and macroinvertebrate, microbial, and diatom communities. *Freshwater Science* 35(3). 922-933.
- Santos, R., Fernandes, L. S., Varandas, S., Pereira, M., Sousa, R., Teixeira, A., Lopes-Lima, M., Cortes, R.,Pacheco, F. 2015. Impacts of climate change and land-use scenarios on *Margaritifera margaritifera*, an environmental indicator and endangered species. *Science of the Total Environment* 511. 477-488.
- Seed, R. 1973. Absolute and allometric growth in the mussel, *mytilus edulis* l.(mollusga bivalvia). *Journal of Molluscan Studies* 40(5). 343-357.
- Scholz, H. 2013. Disparity pattern of unionoid bivalves from Lake Malawi (East-Africa): a case study for adaptive strategies to heterogeneous environment. *Zoosystematics and Evolution* 89(2). 215-225.
- Singr, M. Úpravy toků a vodní stavby: Pozitivní činnost nebo nutné zlo? [online]. Skalice. Příroda.cz. 2014. [cit. 14-3-2018]. Dostupné z <<https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=2581>>.
- Sîrbu, I., Sîrbu, M., Benedek, A. M.,Gogolincă, I. 2012. Distribution of *Unio crassus* (bivalvia: unionidae) in Romania, related to human impact. *Tentacle* 20. 22-23.
- Skujienė, P., Algimantas,Mickevičius, S. 2017. Population Size and Structure of the Freshwater Mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in Lithuania and Implications for Conservation. International conference " Smart Bio" 18-20 May 2017, Kaunas, Lithuania: abstract book.
- Stoeckl, K., Taeubert, J. E.,Geist, J. 2015. Fish species composition and host fish density in streams of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*)–implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 25(2). 276-287.

Taeubert, J.-E., Martinez, A. M. P., Gum, B., Geist, J. 2012. The relationship between endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) and its host fishes. *Biological Conservation* 155. 94-103.

Taeubert, J. E., Gum, B., Geist, J. 2012. Host-specificity of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*, Philipsson 1788) and implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 22 (1). 36-46.

Tatoj, K., Ćmiel, A. M., Kwaśna, D., Lipińska, A. M., Zając, K., Zając, T. 2017. The endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*): a new host species for the European bitterling (*Rhodeus amarus*). *Biodiversity and Conservation* 26(5). 1217-1224.

Velíšek, J. 2014. Vodní toxikologie pro rybáře. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. České Budějovice. 600 s. ISBN 978-80-87437-89-6.

Wasson, J. G., Villeneuve, B., Itäl, A., Murray-Bligh, J., Dobiasova, M., Bacikova, S., Timm, H., Pella, H., Mengin, N., Chandesaris, A. 2010. Large-scale relationships between basin and riparian land cover and the ecological status of European rivers. *Freshwater Biology* 55(7). 1465-1482.

Wilcove, D. S., Master, L. L. 2005. How many endangered species are there in the United States? *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(8). 414-420.

Zając, K., Zając, T., Ćmiel, A. 2018. What can we infer from the shell dimensions of the thick-shelled river mussel *Unio crassus*? *Hydrobiologia* 810(1). 415-431.

Zawał, A., Lewin, I., Stępień, E., Szlauer-Łukaszewska, A., Buczyńska, E., Buczyński, P., Stryjecki, R. 2016. The influence of the landscape structure within buffer zones, catchment land use and instream environmental variables on mollusc communities in a medium-sized lowland river. *Ecological research* 31(6). 853-867.

Zettler, M. L., Jueg, U. 2007. The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the EC Habitats Directive. *Mollusca* 25(2). 165-174.

Zieritz, A., Geist, J., Gum, B. 2014. Spatio-temporal distribution patterns of three stream-dwelling freshwater mussel species: towards a strategy for representative surveys. *Hydrobiologia* 735(1). 123-136.

Zimmerman, G. F., de Szalay, F. A. 2007. Influence of unionid mussels (Mollusca: Unionidae) on sediment stability: an artificial stream study. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie* 168(4). 299-306.

Zuzáková, H. 2016. Možnosti bioindikace stavu povrchových vod pomocí analýzy lastur sladkovodních mlžů se zaměřením na morfologickou variabilitu druhu *Unio crassus*. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Praha. 49 s.

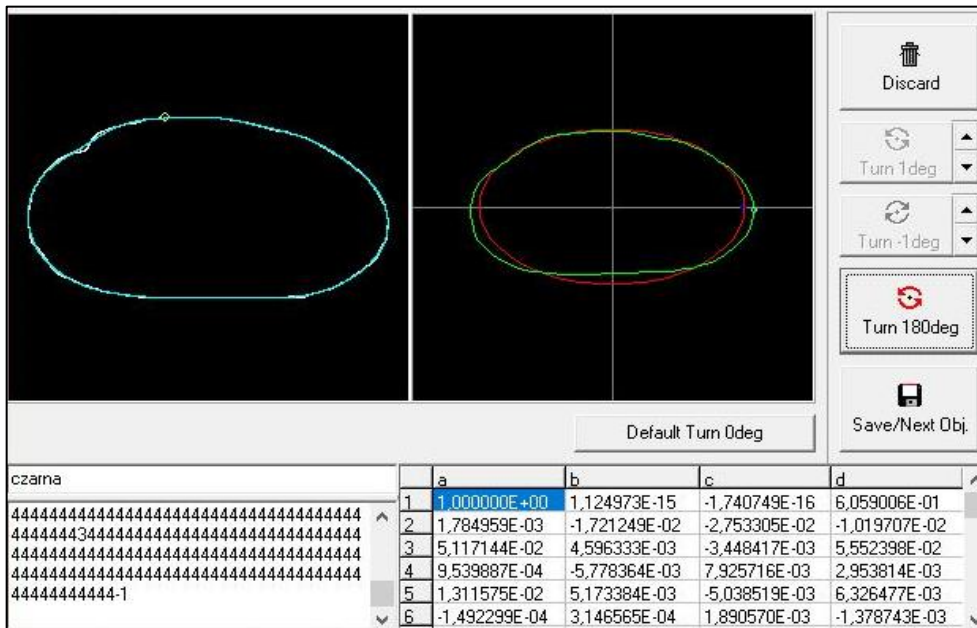
Zývalová, J. 2017. Vliv buku lesního a smrku ztepilého na zastoupení nízkomolekulárních organických kyselin a složení mikrobiálních společenstev v lesních půdách. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Praha. 60 s.

Янович, Л. 2015. Щільність населення молюсків роду *Unio* у водоймах та водотоках України як показник успішності амфіміксісу. Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки(2). 114-122.

9 Seznam zkratek

CLC	Corine land cover Půdní pokryv Země-Corine
DMT	Digital terrain model Digitální model terénu
EFA	Elliptic Fourier Analysis Fourierova eliptická analýza
FA	Flow accumulation Akumulace průtoku
FD	Flow direction Směr toku
GIS	Geographic information system Geografický informační systém
NASA	National Aeronautics and Space Administration Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency Národní geopolitická zpravodajská agentura
PCA	Principal component analysis Analýza hlavních komponent
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission Raketová radarová topografická mise
TOC	Total organic carbon Celkový organický uhlík

10 Přílohy



Příloha 1: Převod do normalizovaných Fourierových deskriptorů

Komentář: Bílá... původní obrys, modrá... obrys s 10 harmonickými, červená... první funkce harmonická, ○... počáteční bod





Příloha 2: Mapový přehled hlavních evropských povodí (<http://www.mesto-polna.cz/evropske-rozvodni/d-326966>)





Corine land cover classes

1. Artificial surfaces




1.1 Urban fabric

-  1.1.1. Continuous urban fabric
-  1.1.2. Discontinuous urban fabric



1.2 Industrial, commercial and transport units

-  1.2.1. Industrial or commercial units
-  1.2.2. Road and rail networks and associated land
-  1.2.3. Port areas
-  1.2.4. Airports

1.3 Mine, dump and construction sites




-  1.3.1. Mineral extraction sites
-  1.3.2. Dump sites
-  1.3.3. Construction sites

1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas




-  1.4.1. Green urban areas
-  1.4.2. Sport and leisure facilities

2. Agricultural areas


2.1 Arable land

-  2.1.1. Non-irrigated arable land
-  2.1.2. Permanently irrigated land
-  2.1.3. Rice fields





2.2 Permanent crops

-  2.2.1. Vineyards
-  2.2.2. Fruit trees and berry plantations
-  2.2.3. Olive groves

2.3 Pastures




-  2.3.1. Pastures

2.4 Heterogeneous agricultural areas





-  2.4.1. Annual crops associated with permanent crops
-  2.4.2. Complex cultivation patterns
-  2.4.3. Land principally occupied by agriculture
-  2.4.4. Agro-forestry areas

3. Forest and seminatural areas






3.1 Forests

-  3.1.1. Broad-leaved forest
-  3.1.2. Coniferous forest
-  3.1.3. Mixed forest

3.2 Shrub and/or herbaceous vegetation associations



-  3.2.1. Natural grassland
-  3.2.2. Moors and heathland
-  3.2.3. Sclerophyllous vegetation
-  3.2.4. Transitional woodland shrub

3.3 Open spaces with little or no vegetation




-  3.3.1. Beaches, dunes, and sand plains
-  3.3.2. Bare rock
-  3.3.3. Sparsely vegetated areas
-  3.3.4. Burnt areas
-  3.3.5. Glaciers and perpetual snow

4. Wetlands

4.1 Inland wetlands



-  4.1.1. Inland marshes
-  4.1.2. Peat bogs

4.2 Coastal wetlands




-  4.2.1. Salt marshes
-  4.2.2. Salines
-  4.2.3. Intertidal flats

5. Water bodies

5.1 Inland waters

-  5.1.1. Water courses
-  5.1.2. Water bodies

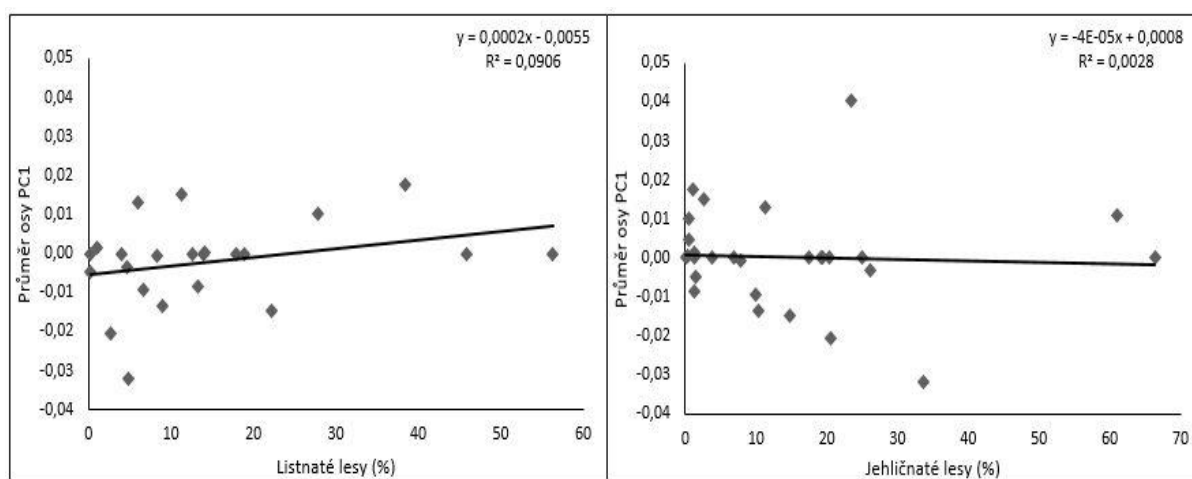
5.2 Marine waters

-  5.2.1. Coastal lagoons
-  5.2.2. Estuaries
-  5.2.3. Sea and ocean

Příloha 3: Corine-krajinný pokryv (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-2006-by-country/legend>)

	Toky	Rozloha povodí Km ²	Věk průměr	L/H průměr	PCI průměr	Reziduál L/H
Polsko	Stupia	177,72	6,9	1,8552	-0,003283124	-0,0529
	Brzeznica	193,56	6,8	1,8284	0,012903424	-0,0797
	Czarna Wlosz	636,46	8,9	1,9980	-0,031911528	0,0899
	Oslawica	83,52	9,2	1,9064	-0,000000020	-0,0017
	Szeszupa	82,77	6,0	1,8389	0,001538345	-0,0691
	Drawa	147,62	6,2	1,8162	-0,000000019	-0,0918
	Skawinka	337,34	5,2	2,0236	-0,000477257	0,1156
	Radunia	9,34	6,5	1,8157	0,000000036	-0,0924
	Gronik	12,36	8,4	1,9467	0,000000033	0,0386
	Brzeznicza	54,36	5,4	1,8360	-0,000000028	-0,0720
	Jeleśnia	41,74	0,0	1,8506	0,040176653	-0,0575
	Biala	992,32	5,8	1,9788	-0,009374504	0,0707
	Jasiolka	334,59	4,2	1,8926	0,000000012	-0,0155
	Warkocz	37,58	4,4	1,8986	0,000000023	-0,0094
Rumunsko	Tur	167,91	5,4	2,0207	0,000000038	0,1126
	Siret	2268	2,7	1,9545	0,000378549	0,0465
	Bega	938,93	5,7	1,9411	-0,000000004	0,0331
Bulharsko	Ogosta	265,39	4,9	1,8855	0,017680437	-0,0225
	Palakariya	256,4	5,8	1,9946	-0,014733711	0,0865
	Nishava	354,33	6,4	1,9232	-0,000000009	0,0151
Litva	Luknelis	36,59	9,4	1,8790	0,011112184	-0,0291
	Zalvys (Um)	87,41	9,0	1,8046	0,015221113	-0,1034
	Babrungas	121,52	10,0	1,8867	-0,020497916	-0,0214
	Virvytia	437,01	8,0	1,8443	-0,013537062	-0,0638
Ukrajina, Krym	Boh- Bug	1610	5,2	1,9322	0,004870820	0,0241
	Czerkawa	486	7,3	2,0069	-0,004870871	0,0989
	Prut	5263	6,1	1,9585	-0,008604031	0,0504
	Czorna	370	6,1	1,9635	0,010087454	0,0555

Příloha 4: Tabulka vypočtených průměrů pro grafové analýzy



Příloha 5: Zobrazení rozdílu závislosti u listnatých a jehličnatých lesů