

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Plodnost raka kamenáče v České republice

Bakalářská práce

Ing. Jiří Bricheín

Školitel: RNDr. Pavel Vlach, Ph.D. (Gymnázium a SOŠ Rokycany, FPE ZČU)

Garant z PřF JU: prof. RNDr. Jaroslav Vrba, CSc.

České Budějovice 2022

Brichcín, J., 2022: Plodnost raka kamenáče v České republice. [Fecundity of the stone crayfish in the Czech republic. Bc. Thesis, in Czech.] – 33 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Successful reproduction is one of the main prerequisites for the preservation of the species. This work deals with the fecundity of the critically endangered stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the area of the Czech republic. This species faces a number of threats (especially habitat degradation, crayfish plague, water pollution) that can fatally affect its population. A deeper understanding of the reproduction of this species is important and can play an important role in its conservation.

Prohlašuji, že jsem autorem této bakalářské práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích, 7. 12. 2022

.....

Ing. Jiří Brichcín

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli RNDr. Pavlovi Vlachovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při zpracování této práce. Mé díky rovněž zasluhuje prof. RNDr. Jaroslav Vrba, CSc., který se ujal pozice garanta z PřF JU. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Martině Vaňkové, která byla přítomna a nápomocna terénnímu sběru dat.

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1 Raci v Evropě.....	1
1.2 Raci v České republice.....	1
1.3 Morfologie račího těla.....	1
1.4 Rak kamenáč.....	2
1.4.1 Charakteristika druhu	2
1.4.2 Rozšíření raka kamenáče.....	3
1.4.3 Nároky na prostředí	3
1.5 Rak kamenáč – reprodukce.....	4
1.5.1 Pohlavní dospělost.....	4
1.5.2 Rozmnožování	4
1.5.3 Snůška.....	5
1.5.4 Reprodukce raka kamenáče v kontextu s ostatními druhy raků	5
1.6 Existenční hrozby.....	6
1.6.1 Račí mor	6
1.6.2 Změna klimatu.....	7
1.6.3 Vodní hospodářství a morfologie toků	7
1.7 Ochranný status raka kamenáče.....	7
2. Cíle práce	8
3. Materiál a metody	9
4. Výsledky	11
4.1 Délková struktura samic.....	11
4.2 Hmotnostní struktura samic	12
4.3 Početnost snůšek na jednotlivých tocích.....	14
4.3.1 Velikost karapaxu ve vztahu k početnosti snůšek.....	14
4.3.2 Hmotnost samic ve vztahu k početnosti snůšek	15
4.3.3 Koeficient kondice ve vztahu k početnosti snůšek.....	16
4.4 Velikost vajíček.....	16
4.4.1 Velikost karapaxu ve vztahu k velikosti vajíček.....	17
4.4.2 Hmotnost samic ve vztahu k velikosti vajíček	18
4.4.3 Koeficient kondice ve vztahu k velikosti vajíček.....	19
4.5 Početnost snůšek ve vztahu k velikosti vajíček	19
5. Diskuse.....	21
5.1 Délková struktura a hmotnostní struktura hodnocených jedinců.....	21

5.2	Pohlavní dospělost.....	21
5.3	Početnost snůšek.....	23
5.4	Velikost vajíček.....	24
5.5	Vztah početnosti snůšek a velikosti vajíček.....	25
6.	Závěr	27
7.	Seznam použité literatury.....	28

1. Úvod

1.1 Raci v Evropě

V rámci celého světa je popsáno téměř 670 druhů raků (Crandall & De Grave, 2017). Z tohoto pohledu jsou evropské vody na původní druhy raků chudé; vyskytuje se zde jen několik autochtonních druhů. Konkrétně se jedná o raka bahenního *Pontastacus leptodactylus*, raka říčního *Astacus astacus*, raka *Pontastacus pachypus*, raka bělonohého *Austropotamobius pallipes* a raka kamenáče *Austropotamobius torrentium* (Kouba et al., 2014). Nový druh raka, *Austropotamobius bihariensis*, byl popsán v Rumunsku a jedná se o sesterskou skupinu raka kamenáče (Pârvulescu, 2019).

1.2 Raci v České republice

V České republice se ve volné přírodě vyskytuje celkem 6 druhů raků (Kozák et al., 2015). Mezi raky původní se řadí rak říční. Původ raka kamenáče v ČR byl zpochybňován, tyto pochybnosti vyvrátili až Petrušek et al. (2017), kteří definitivně potvrdili jeho původ. Rak bahenní je druhem v ČR zdomácněným. Jeho výskyt je na našem území znám od 19. století (Štambergová et al., 2009).

V současné době se na území ČR vyskytují i tři druhy invazivní, původem ze Severní Ameriky. Jsou jimi rak pruhovaný *Faxonius limosus*, rak signální *Pacifastacus leniusculus* (Štambergová et al., 2009; Kozák et al., 2015) a poměrně nedávno byl zmapován výskyt i raka mramorovaného *Procambarus virginalis* (Patoka et al., 2016).

1.3 Morfologie račího těla

Tělo raků je pokryto pevným krunýřem, jehož majoritní složku tvoří chitin ve vazbě na protein v tzv. chitino-proteinovém komplexu. Krunýř je zpevněn CaCO_3 a $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Mimo výše zmíněné složky jsou v krunýři zastoupeny i volné aminokyseliny, lipidy, melanin a karotenoidy (Zarenkov, 1982 cit. v Kozák et al., 2015). Jeho obměna je zajištěna hormonálně (ekdyzonem) a je spojena s růstem raka, který je umožněn díky tomu, že k inkrustaci nového krunýře dochází až po určité době (Štambergová et al., 2009).

Raci jsou řazeni mezi desetinohé korýše (Decapoda). Charakteristické je pro ně pět párů kráčivých končetin. Celkem je však končetin 19 párů (Kozák et al., 2015). Ze všech tělních článků kromě prvního, kde jsou končetiny nahrazeny složenými očima na stopkách, a posledního (telsonu) vyrůstá po jednom páru končetin (Štambergová et al., 2009).

Tělo raků je členěno na hlavohrud' (cephalothorax) a zadeček (abdomen) (Štambergová et al., 2009). Hlavohrud' je tvořena pěti hlavovými články, na kterých jsou přítomny anteny, anteny, mandibuly a dva páry maxil, a osmi hrudními tělními články, nesoucími tři páry maxilipodů a pět párů pereopodů (kráčivých končetin). Dorzální část a laterální partie hlavohrudí jsou kryty karapaxem (hlavohrudní štít), ten zasahuje až k bázím kráčivých končetin a kaudálně vybíhá v rostrum (trnovitý výběžek). Rostrum je druhově specifické (jak svým tvarem, tak přítomností např. trnovitých struktur) a je jedním z určovacích znaků. Na dorzální straně karapaxu kaudálně za očima jsou přítomny postorbitální lišty, počet párů těchto podélných lišt je rovněž druhově odlišný (Kozák et al., 2015).

Abdomen je tvořen šesti články, z nichž každý nese pár pleopodů. U samců jsou první dva páry modifikovány v gonopody. Na pleopodech samice jsou po dobu inkubace uchycena vajíčka (Kozák et al., 2015). Na konci posledního abdominálního článku je připojen telson, společně s ostatními články abdomenu zastává lokomoční funkci (Štambergová et al., 2009).

1.4 Rak kamenáč

1.4.1 Charakteristika druhu

Délka těla samců raka kamenáče může dosahovat až 120 mm a hmotnost se může přiblížit až 55 g. Samice bývají menší, jejich délka je povětšinou v rozmezí 60–90 mm (Kozák et al., 2015). Tato velikost z něj donedávna činila nejmenší evropský druh raka (Schubart & Huber, 2006). Současné prvenství patří druhu *Austropotamobius bihariensis* (Pârvulescu, 2019).

Pro raka kamenáče je typický hladký karapax bez přítomnosti výčnělků a trnů s jedním párem postorbitálních lišt. Dalším znakem bývá označován pilovitý ventrální okraj antenální šupiny (Štambergová et al., 2009). Tento znak ale bývá dosti variabilní; počty zoubků nejsou stále a mnohdy nemusí být přítomny vůbec, v tom případě je ventrální okraj hladký (Kozák et al., 2015). Štambergová et al. (2009) uvádí, že je pro raka kamenáče charakteristické rostrum ve tvaru rovnostranného trojúhelníka. Nicméně toto tvrzení nelze brát absolutně, v rámci jednotlivých toků se tvar rostra liší (RNDr. Pavel Vlach, Ph.D., *in verb*).

Klepeta jsou ve vztahu k velikosti těla robustně stavěná a na povrchu drsná. Jejich velikost hraje ve prospěch samčího pohlaví. Odstín klepet je totožný s barvou těla, mohou tedy mít barvu tmavě zelenou, hnědou v různých odstínech nebo béžovou (Kozák et al., 2015). Kromě těchto barevných variant jsou známi i jedinci raka kamenáče s mramorovaným zbarvením (Patoka et al., 2013). Spodní strana klepet bývá světlejší než strana svrchní (Štambergová et al., 2009; Kozák et al., 2015). Variabilita zbarvení je ovlivněna například karotenoidy

přijímanými potravou (Castillo et al., 1982) nebo genetickým založením jedinců (Walker et al., 2000).

1.4.2 Rozšíření raka kamenáče

Rak kamenáč je rozšířen ve 20 státech střední a jihovýchodní Evropy (Kouba et al., 2014). Autoři Fischer & Vlach (2018) uvádějí výskyt tohoto druhu raka v České republice na 50 lokalitách. Rak kamenáč je nejvíce rozšířen především v Plzeňském a Středočeském kraji, několik lokalit je známo i v Libereckém, Ústeckém a Královehradeckém kraji (Vlach et al., 2009b).

Petrusek et al. (2017) zkoumali pomocí mitochondriální DNA původ raků na jednotlivých lokalitách. Většina populací vykazovala haplotyp Ht1 shodný s populacemi v Německu, který byl popsán autory Schubartem & Huberem (2006). Výjimku tvořila populace Lučního potoka v Podkrkonoší, kde se haplotyp ukázal být odlišným od ostatních populací v ČR. Bylo zjištěno, že raci náleží haplotypu „Logatec“ (Petrusek et al., 2017), který je znám u balkánských populací raka kamenáče (Trontelj et al., 2005). Z těchto dat je zřejmé, že raci odlišného genetického původu byli do Lučního potoka v Podkrkonoší introdukováni (Petrusek et al., 2017).

1.4.3 Nároky na prostředí

Tento druh raka preferuje malé a střední toky s hrubším podkladem, kameny a balvany, které slouží jako jeho úkryty. Pokud se na lokalitě vyskytují jílovité břehy, rak kamenáč je hojně využívá k budování nor. Menší jedinci upřednostňují mělčí partie toku, zatímco větší jedinci se mělčinám spíše vyhýbají (Vlach et al., 2009a). Pârvulescu & Zaharia (2013) ve své studii provedené v Rumunsku charakterizují vhodné toky pro kamenáče jako dostatečně zásobené kyslíkem, bez nadměrného organického znečištění, se střední rychlostí proudu a s optimální nadmořskou výškou kolem 500 m n. m. V českých podmínkách byl potvrzen výskyt raka kamenáče nejnižše na Zákolanském potoce (235 m n. m.) a nejvyšší zaznamenaná výška výskytu byla na Bílém potoce (640 m n. m.) (Vlach et al., 2009b). Ve Slovinsku byly nalezeny populace raka kamenáče v rozmezí 510–810 m n. m. (Machino, 1997). Füreder & Machino (1999) popisují populace tohoto druhu v nadmořské výšce 838–1124 m n. m. V Bulharsku byl zjištěn výskyt raka kamenáče dokonce v 1342 m n. m. (Todorov et al., 2014), nicméně autoři uvádějí, že většina lokalit byla v rozmezí 300–900 m n. m.

Rak kamenáč i rak říční jsou druhy, které vyžadují vysokou kvalitu vody. Nároky na kvalitu vody jsou u raka kamenáče a raka říčního velmi podobné, liší se jen v obsahu kyslíku a zinku

(Svobodová et al., 2012). Podobné nároky na kvalitu vody potvrzuje sympatrický výskyt těchto druhů na pěti lokalitách v ČR (Vlach et al., 2009b). Na druhou stranu jsou známy i organicky znečištěné lokality s výskytem raka kamenáče (např. Zákolanský potok). Podobně znečištěné lokality s nižší kvalitou vody způsobenou vyšším obsahem dusíku obývají i raci pruhovaní (Svobodová et al., 2012).

1.5 Rak kamenáč – reprodukce

1.5.1 Pohlavní dospělost

Obě pohlaví raka kamenáče dosahují pohlavní zralosti kolem třetího roku života. Velikost, kdy se jedinec dá považovat za pohlavně dospělého se u autorů různí. Samci pohlavně dozrávají při celkové délce těla 50 mm. U samic byla tato hranice stanovena při celkové délce těla 59–65 mm (Streissl & Hoödl, 2002), v tomto rozpětí uvádí délku těla i Hubenova et al. (2010) a také zmiňuje délku karapaxu nezbytnou pro dosažení pohlavní zralosti, která byla stanovena na 29 mm. Autoři Huber & Schubart (2005) zaznamenali však i samici se snůškou o velikosti těla 45 mm a karapaxu 22,5 mm. Na našem území byla nalezena nejmenší samice se snůškou o celkové délce těla 49 mm (Veselovský & Břichcín, 2017). Stejně velkou samici odchytila Vaňková (2020), která navíc uvedla i délku karapaxu této samice (22,5 mm).

Kromě délky těla a karapaxu je pro pohlavně dospělé samice typická přítomnost cementových žlázek, které jsou detekovatelné několik týdnů před samotnou kopulací (Dakić & Maguire, 2016).

1.5.2 Rozmnožování

Reprodukčním obdobím raka kamenáče je podzim, především říjen a listopad (Štambergová et al., 2009; Kozák et al., 2015). Při samotném aktu samec přetáčí samici na karapax a fixuje ji v této poloze klepety. Jedinci jsou tak k sobě natočeni ventrálními stranami svých těl (Štambergová et al., 2009). To umožňuje samci přilepit spermatofory k pohlavním vývodům samice, na bázi 3. páru kráčivých končetin. Poté dochází v různě dlouhém časovém horizontu ke kladení vajíček. Samice stáčí abdomen pod cephalothorax, čímž vzniká dutina. Cementové žlázy produkují sekret, kterým jsou vajíčka obalena, následně dojde k narušení spermatoforů a fúzi spermií s vajíčky (Kozák et al., 2015). Tuhnutím sekretu je zajištěno přichycení vajíček k pleopodům (Holdich & Reeve, 1988 cit. v Štambergová et al., 2009). K líhnutí juvenilních jedinců dochází na přelomu jara a léta dalšího roku a je ovlivněno teplotou vody a geografickou polohou toku (Souty-Grosset et al., 2006). Na pleopodech jsou závislí malí ráčci i po vylíhnutí, osamostatňují se po několika svlékáních (Štambergová et al., 2009).

1.5.3 Snůška

Samice nesou snůšku čítající 40–100 vajíček (Štambergová et al., 2009). Huber & Schubart (2005) udávají 63 vajíček jako průměrný počet na snůšku. Hubenova et al. (2010) zmiňuje průměrnou snůšku 78 vajíček, tuto nadprůměrnou snůšku vysvětluje dostatkem vhodných úkrytů, kterými daný bulharský tok disponuje. Ve Švýcarsku byla stanovena průměrná velikost snůšky na 48 vajíček (Stucki & Romer, 2001). Jsou ale známy i případy, kdy samice nesly vajíček více. Na území Německa byla zjištěna snůška se 110 vajíčky (Huber & Schubart, 2005), v Bulharsku byla odchycena samice se 125 vajíčky (Hubenova et al., 2010). I v Chorvatsku byla nalezena samice se snůškou přes 100 vajíček (Maguire et al., 2005), kromě toho se Chorvatsko pyšní doposud největší zdokumentovanou snůškou čítající 141 vajíček (Dakić & Maguire, 2016). Na území České republiky největší zjištěná snůška čítala 119 vajíček (Vaňková, 2020).

Podobná variabilita je i ve velikosti vajíček. Rozměry vajíček mohou být různé v rámci jednotlivých toků; na dvou odlišných tocích byly zjištěny průměrné velikosti vajíček 2,8 mm a 3,2 mm (Hubenova et al., 2010). Maguire et al. (2005) udávají rozpětí velikosti od 2,4 mm do 3,4 mm.

1.5.4 Reprodukce raka kamenáče v kontextu s ostatními druhy raků

Ačkoliv se může zdát, že početnost snůšek raka kamenáče není nikterak nízká, v porovnání s ostatními druhy raků výrazně zaostává. Snůška raka říčního obsahuje 90–260 vajíček (Souty-Grosset et al., 2006), rak bahenní nese průměrně 320 vajíček (jsou ale známy i samice s téměř 800 vajíčky) (Hosseinpour & Karimpour, 1999). Počet vajíček u snůšek invazivních druhů se pohybuje také v řádu stovek (Štambergová et al., 2009). Zajímavostí je rak mramorovaný, u kterého byla zjištěna partenogeneze. Jedna samice je tak schopna založit novou populaci (Martin et al., 2010). I tento rak dokáže produkovat početné snůšky čítající až 400 vajíček (Seitz et al., 2005).

Velikost vajíček je v porovnání s rakem říčním dosti podobná (2,8–3,1 mm) (Souty-Grosset et al., 2006). V porovnání s rakem signálním, jehož vajíčka měří kolem 2,65 mm (Huber & Schubart, 2005), nebo rakem mramorovaným, který tvoří ještě menší vajíčka (1,5–1,9 mm) (Seitz et al., 2005), jsou vajíčka raka kamenáče větší. Velikost vajíček pak ovlivňuje početnost snůšek.

V porovnání s invazivními druhy raků roste kamenáč pomaleji a déle inkubuje vajíčka (Huber & Schubart, 2005; Seitz et al., 2005; Štambergová et al., 2009). Rak kamenáč pohlavně dospívá později, kolem 3 let (Streissl & Hoödl, 2002). U raka mramorovaného se samice mohou zapojit do reprodukce již na konci prvního roku života, kdy dosahují délky 40–45 mm (Seitz et al., 2005).

Výše zmíněné ukazatele hrají ve prospěch invazivních druhů raků. Je proto důležité zabývat se reprodukcí raka kamenáče, jakožto pilířem k zachování druhu.

1.6 Existenční hrozby

1.6.1 Račí mor

Největší hrozbou pro evropské druhy raků je račí mor. Jedná se o plísňové onemocnění způsobené oomycetou *Aphanomyces astacii* (hnileček račí) (Svoboda et al., 2017). Hlavními přenašeči jsou invazivní druhy raků (v současné době jsou známy na našem území 3 druhy), kteří jsou vůči tomuto onemocnění imunní a figurují jako jeho přenašeči (Fischer & Vlach, 2018). Je zde ovšem ale daleko větší řada potenciálně nebezpečných druhů raků, chovaných v akvaristice, kteří by mohli být v případě úniku nebo úmyslného vypuštění také přenašeči (Patoka et al., 2014). Mezi další vektory ovlivňující šíření račího moru patří voda kontaminovaná sporami a také přenos trávicím traktem predátorů (Svoboda et al., 2017). Přežití *A. astacii* se liší v závislosti na teplotě. Přenos *A. astacii* prostřednictvím výkalů ryb potvrzují autoři Oidtmann et al. (2002); tedy teplota těla poikiloternních obratlovců nikterak nepoškozuje spory *A. astacii*. Problematikou přenosu tohoto patogenu u teplokrevných predátorů se zabývali Svoboda et al. (2020), kteří zjistili, že odolnost *A. astacii* vůči vysoké teplotě koreluje s genotypem tohoto patogenu. Nicméně životaschopnost *A. astacii* po expozici trávicímu traktu vydry říční a norca amerického, ani u jednoho z genotypů patogenu, prokázána nebyla. Toto zjištění má velký význam, neboť by nemělo docházet k přenosu račího moru mezi vzdálenějšími toky prostřednictvím teplokrevných predátorů.

1.6.2 Změna klimatu

Dalším faktorem ovlivňujícím přežití raka kamenáče je změna klimatických podmínek. Současné oteplování a očekávané budoucí klimatické změny mohou ovlivnit pokles hladiny toků, a tím značně redukovat životní prostor pro živočichy na vodní prostředí vázané, a také obsah kyslíku ve vodě, jehož rozpustnost ve vodě s rostoucí teplotou klesá (Moss et al., 2009) a pro raka kamenáče by tak mohl být obsah kyslíku limitující (Svobodová et al., 2012; Pârvulescu & Zaharia, 2013).

Schopnost raků odolávat vysychajícímu prostředí zmapovali Kouba et al. (2016). Bylo zjištěno, že původní druhy raků snáší tyto podmínky podstatně hůře než druhy invazivních raků. Hlavním důvodem vyšší odolnosti invazivních raků bylo budování vertikálních nor; naši původní raci nory nebudovali. Velmi odolný vysychajícímu prostředí je rak červený, který dokonce tvořil z dostupného materiálu zátky.

Záchranné transfery jsou možností, jak zmírnit dopad vysychajících toků. V tomto směru je důležité, aby byly provedeny odborně. Nezbytná je informovanost veřejnosti, aby nedocházelo k neodbornému přemísťování raků. Mohlo by totiž dojít k záměně s americkými druhy raků a k neúmyslnému šíření račího moru (Svobodová et al., 2016).

1.6.3 Vodní hospodářství a morfologie toků

Vodní toky na území ČR jsou většinou využívány rybářskými svazy. Problémem může být přerybnění některých toků, čímž by byli raci vystaveni vyššímu predančnímu tlaku. Významnější v tomto směru je ale možný přenos račího moru rybami při zarybnění, nebo rybáři a jejich vybavením při přejíždění mezi lokalitami (Fischer & Vlach, 2018).

Tvar vodních koryt bývá často upravován, pro raky bohužel nevhodně. Kromě mortality jedinců při vykonávaných úpravách je zde opět riziko přenosu račího moru, tentokrát pomocí techniky (Fischer & Vlach, 2018).

1.7 Ochranný status raka kamenáče

Rak kamenáč je zařazen na Červený seznam ohrožených druhů České republiky a je označen statutem kriticky ohroženého druhu (Vlach & Fischer, 2017). Dle zákona 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, je rak kamenáč zvláště chráněným druhem a dle vyhlášky č. 395/1992, náležící k tomuto zákonu, je i druhem kriticky ohroženým.

V měřítku Evropské unie je rak kamenáč legislativně chráněn směrnicí Rady č. 92/43/EHS, o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin.

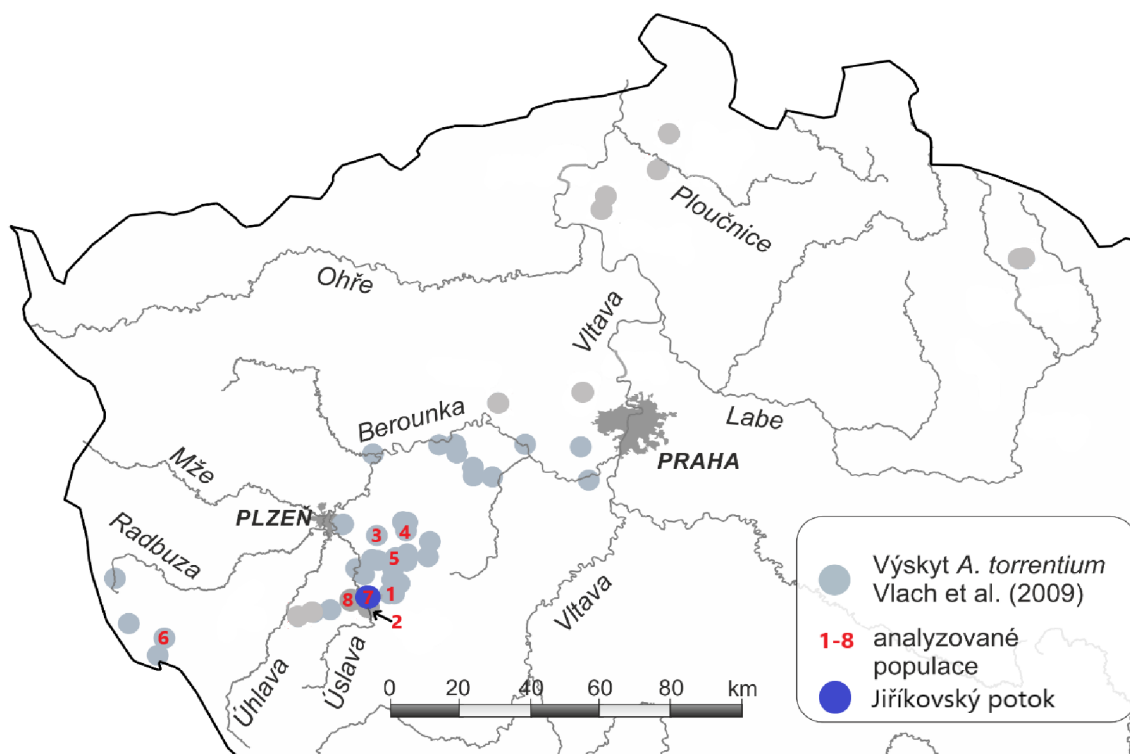
2. Cíle práce

Tato práce si klade za cíl zhodnotit plodnost raka kamenáče na vybraných lokalitách v České republice a rozšířit tak dosavadní znalosti o reprodukci tohoto druhu. Hodnocení plodnosti bude zaměřeno výhradně na samičí část populace, konkrétně na početnost jednotlivých snůšek a velikost jejich vajíček.

Cílem bude objasnit vztahy mezi velikostí karapaxu a hmotností, na straně jedné, a početností snůšek a velikostí vajíček na straně druhé. Dále budou tato data porovnávána jak s dostupnými daty hodnotícími plodnost raka kamenáče na území ČR, tak i se studii zahraničními.

3. Materiál a metody

Sběr dat proběhl na 8 vybraných tocích. Konkrétně se jednalo o Mítovský, Přešínský, Rakovský, Hůrecký, Příkosický a Chocenický potok. Dále byla data pořízena na Zubřině. Všechny tyto toky byly popsány autory Vlach et al. (2009b). Kromě těchto toků byl proveden odchyt i na Jiříkovském potoce, kde byla populace raka kamenáče objevena poměrně nedávno. Zkoumané toky jsou zobrazeny na obrázku 1 (Jiříkovský potok vyznačen modře).



Obrázek 1: Mapa České republiky s výskytem raka kamenáče (*A. torrentium*) a vyznačenými analyzovanými populacemi (převzato a upraveno z: Veselovský & Břichcín (2017)). Vysvětlivky: 1 – Mítovský potok, 2 – Přešínský potok, 3 – Rakovský potok, 4 – Hůrecký potok, 5 – Příkosický potok, 6 – Zubřina, 7 – Jiříkovský potok, 8 – Chocenický potok.

Terénní část této práce probíhala v časovém horizontu od 14. listopadu do 26. listopadu 2020 a byla zahájena na Mítovském a Přešínském potoce. Na Rakovském a Hůreckém potoce byl odchyt raků proveden 17. listopadu. Odchyt na Příkosickém potoce byl realizován 18. listopadu a o den později, tedy 19. listopadu, i na Zubřině. Data z Jiříkovského potoka byla pořízena 20. listopadu. Terénní sběr dat byl završen 26. listopadu na Chocenickém potoce. Terénní část této práce probíhala pod odborným dohledem RNDr. Pavla Vlacha, Ph.D., v rámci monitoringu raka kamenáče.

Raci byli odchytáváni metodou ručního prohledávání úkrytů s občasným použitím ruční síťky. Na lokalitách bylo většinou prohledáno přibližně 200 potenciálních úkrytů. Výjimku tvořil

Chocenický potok, kde bylo prohledáno 150 úkrytů. Na všech lokalitách se podařilo odchytit alespoň 5 samic nesoucích snůšku.

Následně bylo provedeno měření odchycených jedinců. Posuvným měřítkem byla změřena délka těla (TL) v mm a délka karapaxu (CL) v mm. Pomocí přesné pružinové váhy (výrobce Pesola AGV, rozsah 0–10 g a 0–20 g) byla zjištěna hmotnost samice po odkapání v gramech.

Počet vajíček byl u všech samic odhadnut, jako průměrná hodnota tří nezávislých počítání vajíček ve snůšce. Poté byla od každé samice odebrána dvě vajíčka, která byla umístěna do předem označené zkumavky se 70% ethanolem, pro následné měření a analýzy.

Měření vajíček bylo realizováno za pomoci binokulární lupy (Intracomicro, zvětšení 30×). Pomocí kamery (Moticam 5 5,0 MP) byly pořízeny fotografie. Následně bylo u všech snímků vajíček provedeno měření (program Motic Images Plus 2.0 ML). Každé vajíčko bylo měřeno na dvou místech a hodnoty byly zprůměrovány, aby byl omezen vliv nepravidelného tvaru vajíčka na výslednou velikost vajíčka.

Statistické vyhodnocení dat

Statistické hodnocení dat bylo prováděno na 5% hladině významnosti v programu NCSS 9. Normalita dat byla testována Shapiro-Wilkovým testem. V případě normálního rozdělení byla data analyzována jednocestnou analýzou rozptylu (ANOVA). Neparametrická Kruskal-Wallisova ANOVA byla použita v případě, že data nepocházela z normální distribuce. Pokud výše zmíněné testy shledaly statisticky významné rozdíly, byl použit Tukey-Kramerův test. Lineární regrese byla použita k analyzování vztahu velikosti těla k početnosti vajíček a velikosti vajíček, a také v případě vztahu početnosti vajíček k velikosti vajíček. Snůšky vyhodnocené jako poškozené (v rámci této práce byly tvořeny méně než 28 vajíčky) byly vyjmuty z analýz zabývajících se hodnocením CL, hmotnosti, koeficientu kondice a velikosti vajíček ve vztahu k početnosti snůšek.

Pro analýzu vztahu koeficientu kondice k početnosti snůšek a velikosti vajíček a vztahu početnosti vajíček k velikosti vajíček v rámci jednotlivých toků byla rovněž použita lineární regrese. Získané výsledky jednotlivých toků pak byly sumarizovány do grafu v programu Microsoft Excel.

Výpočet koeficientu kondice byl proveden dle vzorce:

$$K = (\text{hmotnost (g)} / \text{délka (mm)}^3) \times 100000$$

4. Výsledky

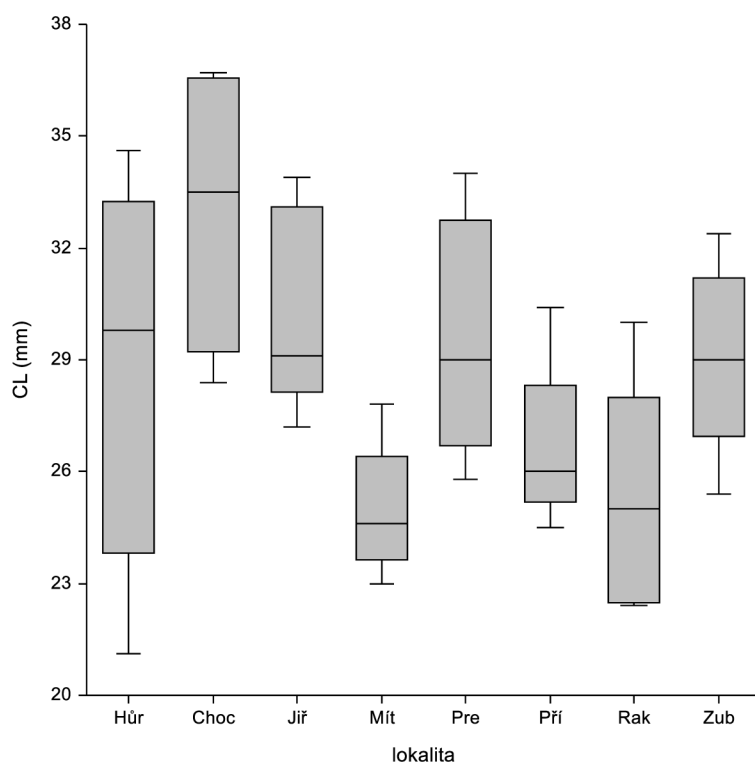
Předmětem této práce jsou data z 8 vybraných toků v České republice. Celkem se podařilo odchytit 50 samic nesoucích snůšku. Pro analýzu velikosti vajíček bylo každé samici odebráno po dvou vajíčkách (až na jeden případ, kdy byla odebrána vajíčka 3). Soubor vajíček pro analýzu tedy obsahoval 101 vajíček.

4.1 Délková struktura samic

Průměrná délka těla (TL) všech samic s vajíčky byla 58,6 mm. V rámci jednotlivých toků se průměrné TL pohybovaly od 50,7 mm (samice odchycené na Mítovském potoce) do 68,5 mm (samice z Chocenického potoka). Největší samice byla odchycena právě v Chocenickém potoce, její délka dosahovala 76,0 mm. Nejmenší samice, s délkou 44,0 mm, byla odchycena na Hůreckém potoce.

V rámci analyzování délkové struktury byla hodnocena délka karapaxu (CL). Průměrná CL dosahovala 28,4 mm. V rámci jednotlivých toků se průměrné délky karapaxu pohybovaly od 24,9 mm (samice odchycené na Mítovském potoce) do 33,0 mm (samice z Chocenického potoka). Největší délka karapaxu (36,7 mm) byla zmapována na Chocenickém potoce. Samice s nejmenší CL byla odchycena na Hůreckém potoce (21,1 mm).

Pomocí Shapiro-Wilkova testu bylo ověřeno, že délky karapaxu samic pocházejí z normální distribuce ($p = 0,33$). Nicméně v obecné rovině nelze předpokládat na tocích normální délkovou distribuci (neboť metoda odchyty je selektivní ve prospěch větším jedincům a naopak menší jedinci v dlouhodobě prosperující populaci početně převažují nad jedinci staršími, RNDr. Pavel Vlach, Ph.D., *in verb*). Byla proto použita Kruskal-Wallis ANOVA. Tímto testem byly zjištěny statisticky významné rozdíly v délce karapaxu mezi jednotlivými lokalitami ($H = 19,12$, $p < 0,01$). Byly shledány rozdíly v délkách karapaxu mezi Chocenickým (průměr CL 33,0 mm) a Mítovským potokem (průměr CL 24,9 mm), Chocenickým a Příkosickým potokem (průměr CL 26,8 mm) a rovněž mezi Chocenickým a Rakovským potokem (průměr CL 25,7 mm) (Tukey-Kramerův test, kritická hodnota 4,51). Délka karapaxu samic na jednotlivých tocích je zřejmá z obrázku 2.

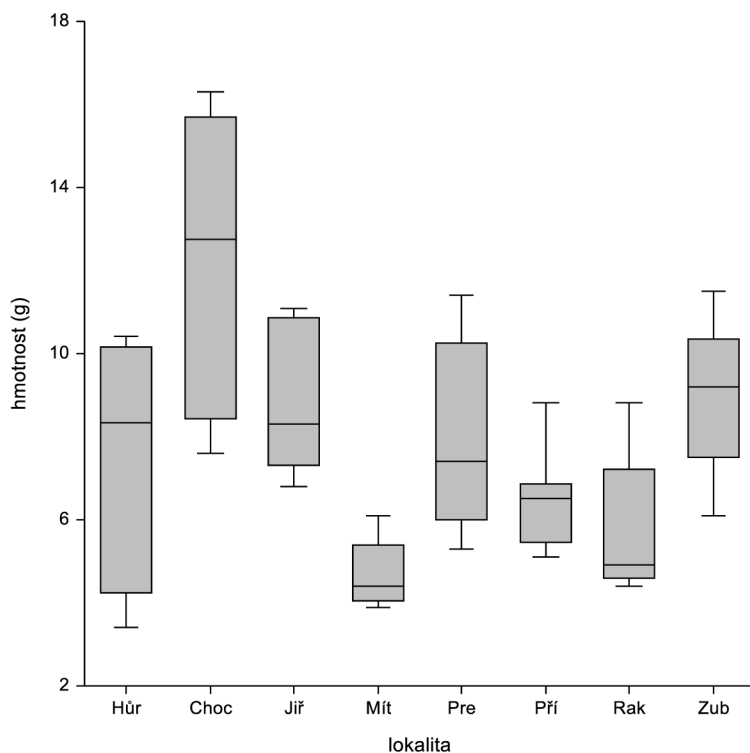


Obrázek 2: Boxploty demonstrující distribuci délek karapaxů (CL) pozorovaných samic v jednotlivých tocích (medián, první a třetí kvartil (interkvartilové rozpětí – IQR), nejbližší nižší hodnota než je $1,5 \times IQR$ a nejbližší vyšší hodnota než je $-1,5 \times IQR$): osa x...lokalita (zkratky jednotlivých toků uvedeny v části Materiál a metody), osa y...délka karapaxů (CL) v mm.

4.2 Hmotnostní struktura samic

Průměrná hmotnost všech samic byla 7,7 g. V rámci jednotlivých toků se průměrné hmotnosti pohybovaly od 4,7 g (samice odchycené na Mítovském potoce) do 12,3 g (samice odchycené na Chocenickém potoce). Nejtěžší samice byla odchycena na Chocenickém potoce, její hmotnost dosahovala 16,3 g. Nejmenší analyzovaná samice byla odchycena na Hůreckém potoce s hmotností 3,4 g. Zjištěné rozdíly mezi toky jsou statisticky významné (Kruskal-Wallis ANOVA, $H = 23,75$, $p < 0,01$).

Významné rozdíly ve hmotnosti byly zaznamenány mezi Chocenickým (průměr 12,3 g) a Hůreckým potokem (průměr 7,4 g), Chocenickým a Mítovským potokem (průměr 4,7 g), Chocenickým a Přešínským potokem (průměr 8,0 g), Chocenickým a Příkosickým potokem (průměr 6,4 g), a také mezi Chocenickým a Rakovským potokem (průměr 6,0 g) (Tukey-Kramerův test, kritická hodnota 4,51). Hmotnostní struktura je patrná z obrázku 3.



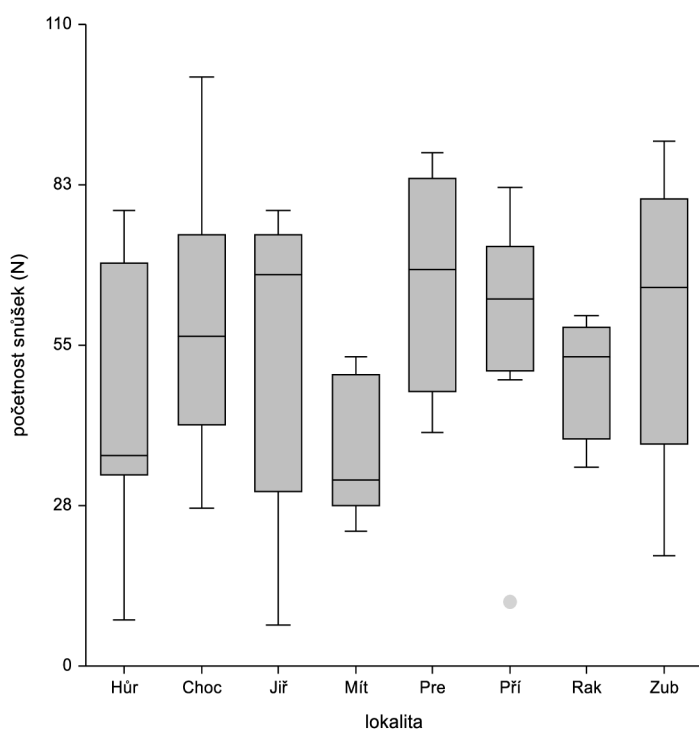
Obrázek 3: Boxploty demonstrující distribuci hmotností pozorovaných samic v jednotlivých tocích (medián, první a třetí kvartil (interkvartilové rozpětí – IQR), nejbližší nižší hodnota než je $1,5 \times \text{IQR}$ a nejbližší vyšší hodnota než je $-1,5 \times \text{IQR}$): osa x...lokalita (zkratky jednotlivých toků uvedeny v části Materiál a metody), osa y...hmotnosti samic v g.

Koeficient kondice

Koeficient kondice byl vypočítán pro každou samici z délky karapaxu a její hmotnosti. Propojení těchto dvou proměnných poskytuje lepší pohled na výživový stav samic.

4.3 Početnost snůšek na jednotlivých tocích

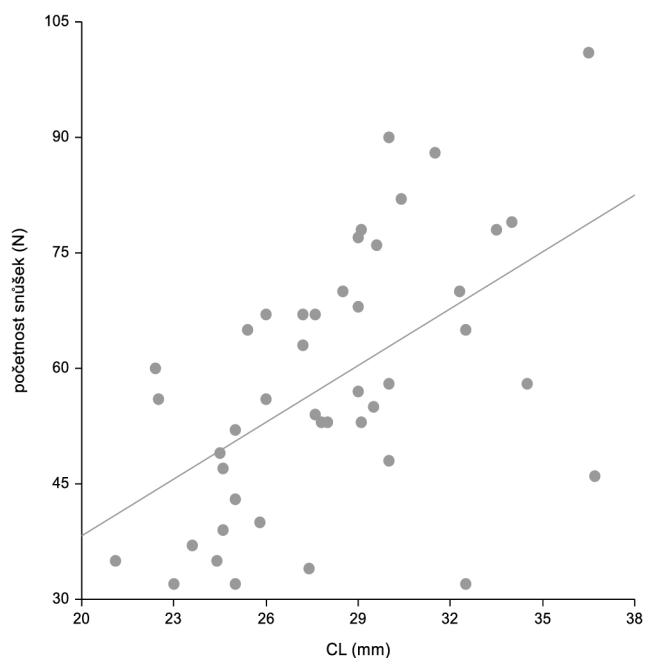
Velikost snůšek se v souboru analyzovaných samic pohybovala od 7 do 101 vajíček. V rámci jednotlivých toků se průměrná velikost snůšky pohybovala v rozmezí 37–66 vajíček. Největší průměrná snůška byla zjištěna na Přešínském potoce (66 vajíček), naopak nejmenší průměrná snůška byla zmapována na Mítovském potoce (37 vajíček), nicméně nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly (ANOVA, $F = 1,13$, $p = 0,36$). Vztah početnosti snůšek v rámci jednotlivých toků je patrný z obrázku 4.



Obrázek 4: Boxploty znázorňující vztah početnosti snůšek k jednotlivým tokům (medián, první a třetí kvartil (interkvartilové rozpětí – IQR), nejbližší nižší hodnota než je $1,5 \times \text{IQR}$ a nejbližší vyšší hodnota než je $-1,5 \times \text{IQR}$): osa x...lokalita (zkratky jednotlivých toků uvedeny v části Materiál a metody), osa y... početnost snůšek (N).

4.3.1 Velikost karapaxu ve vztahu k početnosti snůšek

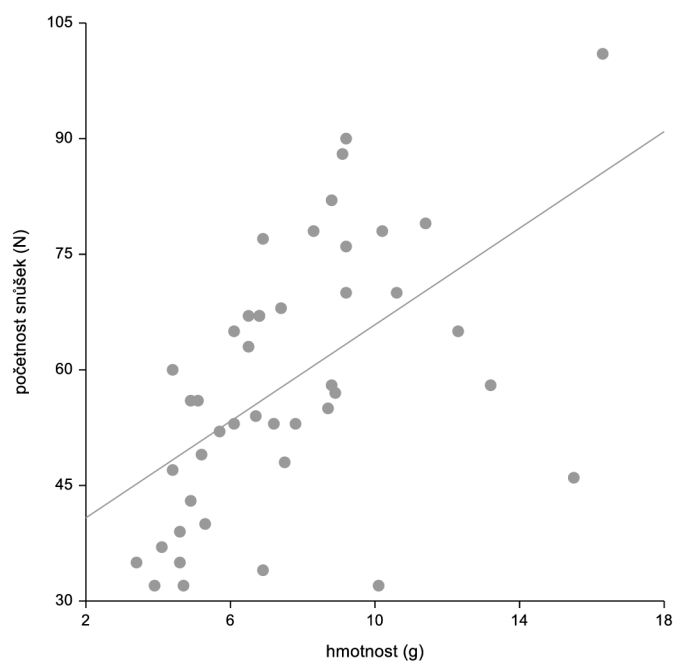
Analýzou vztahu délky karapaxu k početnosti snůšek byl zaznamenán pozitivní trend ($y = 2,462x - 11,0264$; $t = 4,146$; $p < 0,01$). Je tedy průkazné, že samice s větším karapaxem vytvářejí početnější snůšky. Tento vztah je zobrazen na obrázku 5.



Obrázek 5: Vztah mezi délkou karapaxu (CL) samic (v mm, osa x) a početností snůšek (N, osa y).

4.3.2 Hmotnost samic ve vztahu k početnosti snůšek

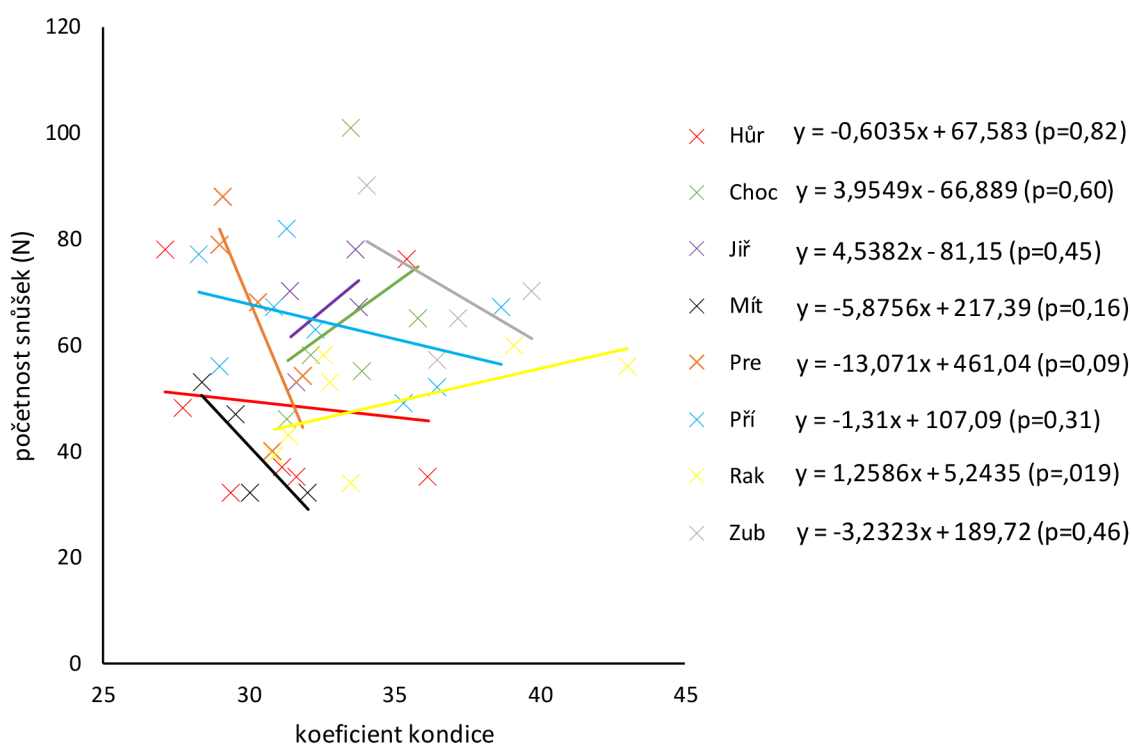
Pozitivní korelace byla zjištěna i v případě hodnocení hmotnosti samic k početnosti snůšek ($y = 3,1376x + 34,4636$; $t = 4,207$; $p < 0,01$). Tento vztah je patrný z obrázku 6. Graf demonstruje fakt, že těžší samice produkují početnější snůšky.



Obrázek 6: Vztah mezi hmotností samic (v g, osa x) a početností snůšek (N, osa y).

4.3.3 Koeficient kondice ve vztahu k početnosti snůšek

V rámci jednotlivých toků byla početnost snůšek vztažena ke koeficientu kondice, který operuje jak s hmotností, tak délkou karapaxu. Na žádném z toků nebyla zjištěna statisticky významná závislost mezi početností snůšek a koeficientem kondice. Zmíněný vztah na jednotlivých tocích demonstruje obrázek 7.

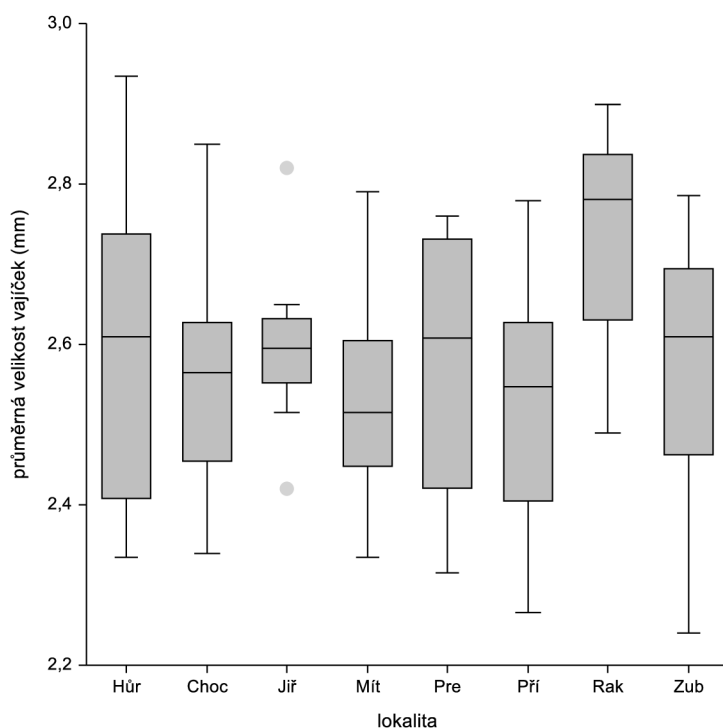


Obrázek 7: Vztah mezi koeficientem kondice (osa x) a početností snůšek (N, osa y).

4.4 Velikost vajíček

Průměrná velikost všech analyzovaných vajíček byla 2,59 mm. V rámci jednotlivých toků se velikost vajíček pohybovala mezi 2,52–2,74 mm. Nejvyšší průměrná velikost vajíček byla zaznamenána na Rakovském potoce (2,74 mm). Nejmenší průměrná velikost vajíček byla zjištěna na Příkosickém potoce (2,52 mm), této hodnotě se velmi blíží i Mítovský potok (2,53 mm). Největší vajíčko měřilo 2,94 mm a bylo odebráno samici z Hůreckého potoka (TL 67,6 mm, CL 32,5 mm, snůška 32 vajíček). Nejmenší vajíčko (2,24 mm) nesl abdomen samice ze Zubřiny (TL 64,0 mm, CL 30,0 mm, snůška 90 vajíček). Byly zaznamenány statisticky významné rozdíly v průměrné velikosti vajíček v rámci jednotlivých toků (ANOVA, $F = 3,01$, $p < 0,01$). Významné rozdíly ve velikosti vajíček byly zaznamenány mezi Rakovským (průměrná velikost vajíček 2,74 mm) a Chocenickým potokem (průměrná velikost vajíček

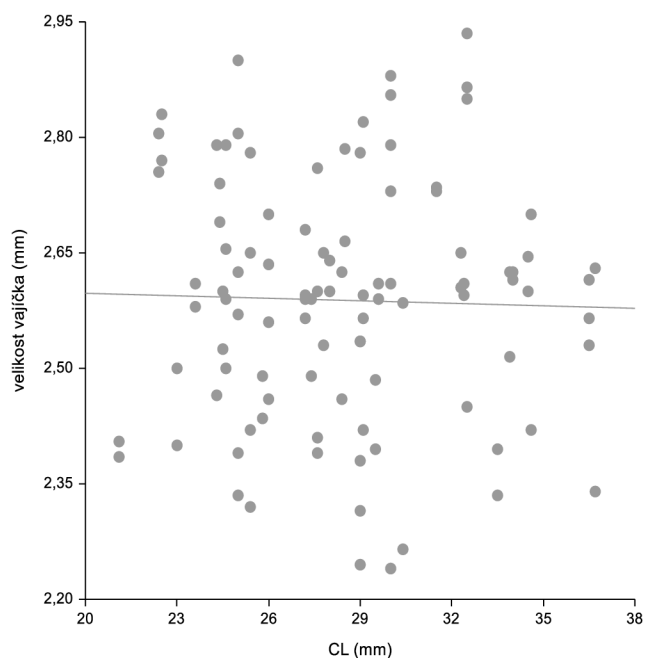
2,55 mm), Rakovským a Mítovským potokem (průměrná velikost vajíček 2,53 mm) a mezi Rakovským a Příkosickým potokem (průměrná velikost vajíček 2,52 mm) (Tukey-Kramerův test, kritická hodnota 4,39). Průměrná velikost vajíček v rámci jednotlivých toků je zřejmá z obrázku 8.



Obrázek 8: Boxploty znázorňující průměrnou velikost vajíček ve vztahu k jednotlivým tokům (medián, první a třetí kvartil (interkvartilové rozpětí – IQR), nejbližší nižší hodnota než je $1,5 \times \text{IQR}$ a nejbližší vyšší hodnota než je $-1,5 \times \text{IQR}$): osa x...lokalita (zkratky jednotlivých toků uvedeny v části Materiál a metody), osa y...průměrná velikost vajíček (mm).

4.4.1 Velikost karapaxu ve vztahu k velikosti vajíček

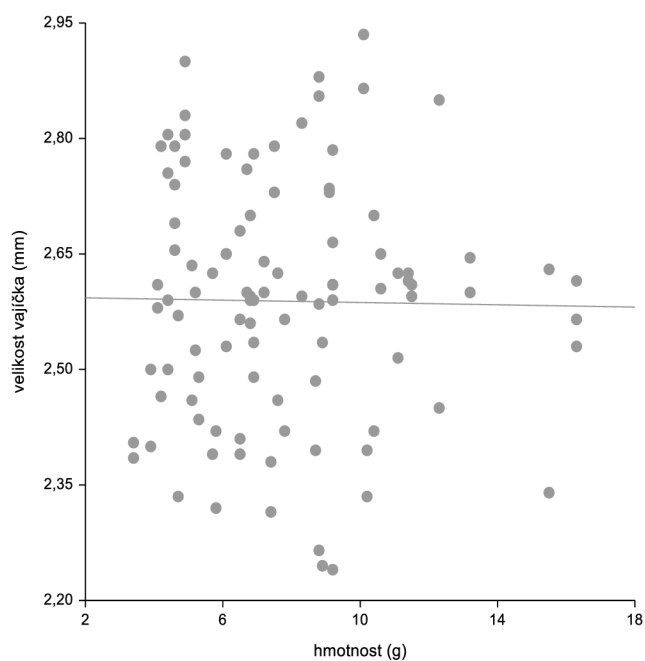
Závislost mezi velikostí vajíček a velikostí karapaxu samic nebyla prokázána ($y = -0,0011 + 2,6197x$; $t = -0,2645$; $p = 0,79$). To je patrné i z obrázku 9.



Obrázek 9: Vztah mezi délkou karapaxu (CL) samic (v mm, osa x) a velikostí vajíček (v mm, osa y).

4.4.2 Hmotnost samic ve vztahu k velikosti vajíček

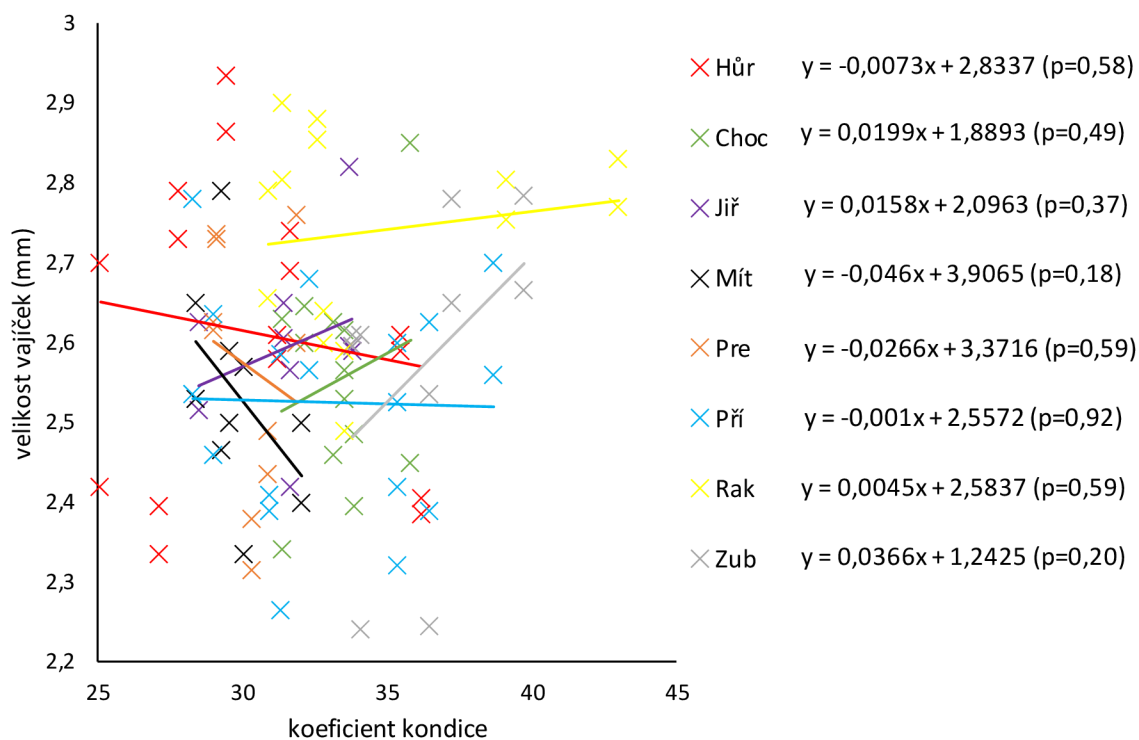
Ani v případě vztahu velikosti vajíček a hmotnosti samic nebyla korelace mezi daty prokázána ($y = -0,0008x + 2,5953$; $t = -0,1558$; $p = 0,88$). Vztah mezi velikostí vajíček a hmotností je patrný z obrázku 10.



Obrázek 10: Vztah mezi hmotnostmi samic (v g, osa x) a velikostí vajíček (v mm, osa y).

4.4.3 Koeficient kondice ve vztahu k velikosti vajíček

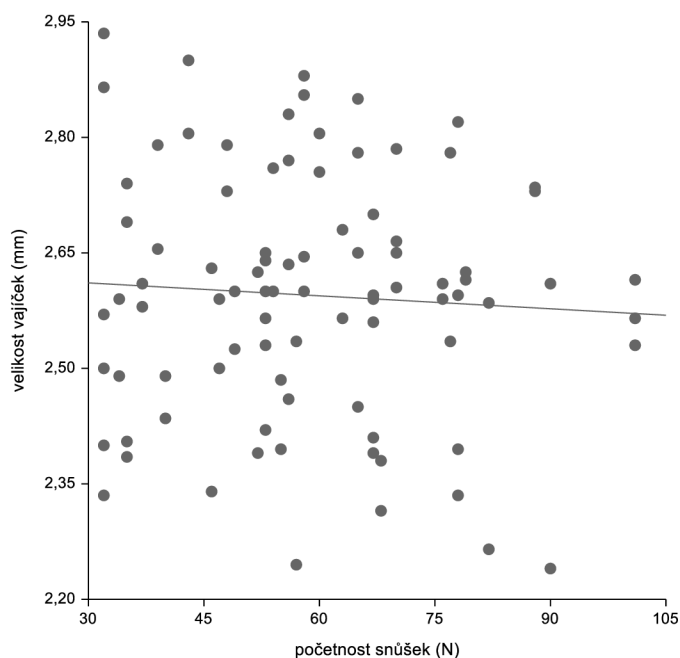
Koeficient kondice ve vztahu k velikosti vajíček byl zkoumán v rámci jednotlivých toků. Ani v tomto případě se nepodařilo prokázat statisticky významnou závislost proměnných na žádné z lokalit. Jednotlivé křivky daných toků jsou zobrazeny na obrázku 11.



Obrázek 11: Vztah koeficientu kondice (osa x) a velikosti vajíček (v mm, osa y).

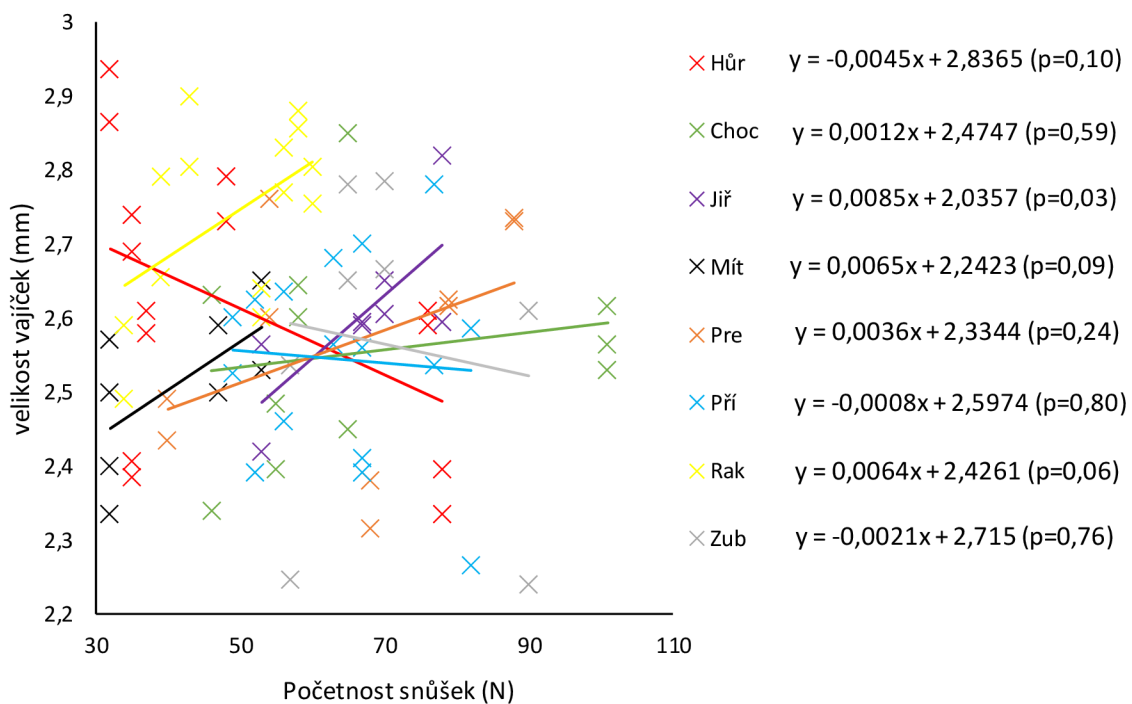
4.5 Početnost snůšek ve vztahu k velikosti vajíček

Hodnocením vztahu početnosti snůšek v závislosti na velikosti vajíček rovněž nebyla prokázána korelace ($y = -0,0006x + 2,6276$; $t = -0,5697$; $p = 0,57$). To je patrné z obrázku 12.



Obrázek 12: Vztah mezi početností snůšek (N, osa x) a velikostí vajíček (v mm, osa y).

Vztah velikosti snůšek a velikosti vajíček byl vyhodnocován i v rámci jednotlivých toků. Na Jiříkovském potoce byla zjištěna pozitivní korelace mezi velikostí vajíček a početností snůšek. V případě ostatních toků nebyla závislost mezi proměnnými potvrzena, jak je patrné z obrázku 13.



Obrázek 13: Vztah mezi početností snůšek (N, osa x) a velikostí vajíček (v mm, osa y).

5. Diskuse

V této práci byla v mnoha rovinách zkoumána plodnost raka kamenáče, kriticky ohroženého druhu na našem území. Na celkem osmi tocích v Plzeňském kraji bylo odchyceno 50 samic raka kamenáče se snůškami. Ze zaznamenaných dat byla blíže zkoumána délková a hmotnostní struktura samic, vztah mezi počtem vajíček a velikostí těla samice, vztah mezi velikostí vajíček a velikostí těla samice a také vztah početnosti snůšek a velikosti vajíček.

5.1 Délková struktura a hmotnostní struktura hodnocených jedinců

Analýzou délky hodnocených samic byly zjištěny rozdíly v délkové struktuře. Konkrétně mezi Chocenickým a Mítovským potokem, Chocenickým a Příkosickým potokem, a taktéž mezi Chocenickým a Rakovským potokem. Rozdíly mezi toky byly zaznamenány i v případě hmotnostní struktury. Odlišnosti byly zaznamenány mezi Chocenickým a Hůreckým potokem, Chocenickým a Mítovským potokem, Chocenickým a Přešinským potokem, Chocenickým a Příkosickým potokem, a také mezi Chocenickým a Rakovským potokem.

Velikost jedinců na toku ovlivňují jak biotické faktory, jako jsou množství a kvalita potravy (Parkyn et al., 2002) a denzita populace (Maguire & Klobučar, 2011), tak i faktory abiotické, například teplota vody nebo obsah vápníku ve vodě (Hammond et al., 2006). Maguire & Klobučar (2011) zmiňují rozdílnou aktivitu jedinců v závislosti na velikosti, pohlaví a ročním období. Konkrétně samice s délkou těla 60–80 mm vykazují na podzim vyšší aktivitu oproti menším a větším samicím. Na velikosti a složení souboru analyzovaných jedinců má významný podíl i metodika odchyty. O tom svědčí i fakt, že při hodnocení délkové struktury samic byla data Shapiro-Wilkovým testem vyhodnocena jako normálně distribuovaná. Ačkoli velikostní struktura jedinců na tocích normálně distribuovaná není (menších jedinců je více) (RNDr. Pavel Vlach, Ph.D., *in verb*). V rámci této práce byla zvolena metoda ručního prohledávání úkrytů za pomoci sítí. Tato metoda je běžně aplikovanou a ve svých pracích ji použili i Streissl & Hoödl (2002), Huber & Schubart (2005) a Vlach et al. (2009a). Velikost jedinců je ovlivňována mnoha výše zmíněnými faktory, proto není překvapivé, že mezi jednotlivými toky byly shledány rozdíly.

5.2 Pohlavní dospělost

Pohlavní dospělost lze hodnotit ve více rovinách. První možností, jak identifikovat pohlavně dospělou samici, jsou cementové žlázy. Jejich tvorba předchází samotnému aktu páření a lze tedy identifikovat pohlavně dospělou samici před tím, než dojde k naklazení vajíček.

Nicméně žádná metoda nelze brát absolutně; jsou známy případy absence snůšek u samic raka říčního s vyvinutými cementovými žlázkami (Taugbøl & Skurdal, 1989). Není tedy důvod, proč by analogický scénář nemohl platit i v případě raka kamenáče.

Další používanou metodou pro určení pohlavní dospělosti je délka karapaxu. V rámci této práce byla zjištěna délka CL v intervalu 21,1–36,7 mm. Obdobné výsledky prezentuje i Vaňková (2020), která zaznamenala délku CL v rozmezí 21,7–37,5 mm. V případě zahraničních studií byla zjištěna CL dospělých samic v intervalu 28,6–31,5 mm (Streissl & Hoödl, 2002), obdobné hodnoty (27,5–30,0 mm) zjistili ve svém souboru Huber & Schubart (2005).

Kromě délky karapaxu bývá pohlavní dospělost vztahována i k délce těla. V případě této práce byly zjištěny pohlavně dospělé samice s délkou těla v intervalu 44,0–76,0 mm. Stanovení této hranice bylo zkoumáno již několika autory, ovšem s odlišnými závěry. Německá studie autorů Huber & Schubart (2005) popisuje nejmenší pohlavně dospělou samici o délce těla 45 mm, nicméně rozmezí pohlavní dospělosti autoři stanovili na 59–65 mm. Stejnou hodnotu, 59–65 mm, interpretují i Streissl & Hoödl (2002) ve studii provedené v Rakousku. Chorvatské studie zaznamenaly nejmenší samici s vajíčky o délce 54,0 mm (Maguire et al., 2005), 65,5 mm (Maguire et al., 2002) a téměř totožnou délku, 64,2 mm, zmapovali Dakić & Maguire (2016).

V případě české populace raka kamenáče byly zjištěny menší pohlavně dospělé samice. Jak v rámci této práce (44,0 mm), tak i v práci Vaňkové (2020) (44,4 mm). Velikost jedince, při které je pohlavně dospělý, může být ovlivněna mnoha faktory, například dostupností potravy, hustotou populace, nebo teplotou vody (Woodlock & Reynolds, 1988). Rovněž by tato délka mohla být ovlivněna genetickým založením jedinců, jak uvádí Petrussek et al. (2017), raci v západních Čechách náleží stejnému haplotypu jako raci v Bavorsku, kde autoři Huber & Schubart (2005) zaznamenali podobně velkou samici s vajíčky (45 mm). Tuto hypotézu podporuje i zjištění autorů Veselovského & Břichcína (2017), kteří u populace raka kamenáče v Lučním potoce v Krkonoších, náležící balkánskému haplotypu (Petrussek et al., 2017), zjistili odlišný délko-hmotnostní růst a rovněž nadprůměrně velká vajíčka. Tyto odchylky mohou být dány do jisté míry samozřejmě odlišnými podmínkami na lokalitě, nicméně vliv genetického založení nemůže být vyloučen.

Woodlock & Reynolds (1988) přisuzují dosažení pohlavní dospělosti faktorům prostředí, v závislosti na jejich změně se může délka nezbytná pro dosažení pohlavní dospělosti jedinců v rámci let měnit.

5.3 Početnost snůšek

V rámci této práce byly zjištěny snůšky od 7 do 101 vajíček. Tato data korespondují s prací autorů Maguire et al. (2005), kterým se podařilo zmapovat samici se 104 vajíčky. Samici s dosud nejpočetnější snůškou 141 vajíček odchytili v Chorvatsku Dakić & Maguire (2016). Samici se snůškou nad 100 vajíček se podařilo odchytil i v Německu (Huber & Schubart, 2005) a Bulharsku (Hubenova et al., 2010). Tuto hranici se povedlo překonat i v České republice, a to hned několikrát (Vaňková, 2020).

Kromě velikosti snůšky jsou rovněž důležité počty vajíček zdárně inkubovaných. Grandjean et al. (2000) zaznamenali, u *A. pallipes*, v časovém horizontu 5 měsíců ztrátu vajíček. Snůšky čítaly 55 % vajíček počátečního počtu. Bylo zjištěno, že 40 % samic v době před líhnutím neneslo už žádná vajíčka, to autoři vysvětlují vysokou denzitou populace. V případě chorvatské populace raka kamenáče autoři Hubenova et al. (2010) odhadují ztrátu vajíček při inkubaci přesahující 50 %. Na českých tocích byly zaznamenány ztráty vajíček v průběhu inkubace v rozmezí 6–76 % (Vaňková, 2022). Bylo zjištěno, že u větších samic dochází častěji ke ztrátám vajíček (Grandjean et al., 2000). Tento trend podporují i data této práce. Při porovnání délky samic, které nesly neúplné snůšky, s průměrnou délkou analyzovaného souboru (58,6 mm), je patrné následující zjištění. Z celkem 6 porušených snůšek patřily 4 snůšky samicím, které byly větší než zmíněný průměr (60,0–70,4 mm).

Snůšky vyhodnocené jako poškozené (v tomto případě byly tvořeny méně než 28 vajíčky) byly vyjmuty z analýz zabývajících se hodnocením CL a hmotnosti ve vztahu k početnosti snůšek. V případě vztahu velikosti snůšek k CL byla zjištěna pozitivní korelace. Pozitivní trend mezi proměnnými byl zaznamenán i v ostatních studiích jak na stejném druhu (Vaňková, 2020), tak i na jiných druzích raků (Vasileva et al., 2006; Scalici & Gibertini, 2011). V rámci hodnocení velikosti těla ve vztahu k početnosti snůšek bývá místo CL někdy používána délka těla. Pozitivní trend mezi délkou těla a početností snůšek prezentují i Maguire et al. (2002) a Maguire et al. (2005).

Výrazněji než s CL korelovala velikost snůšek s hmotností samic. V hmotnosti je ovšem zahrnuta jak hmotnost samotných samic, tak i hmotnost vajíček. Pro vajíčka raka kamenáče o velikosti 2,8 mm byla hmotnost stanovena na 0,013 g (Hubenova et al., 2010). Aydin et al. (2015) analyzovali hmotnost vajíček u *A. leptodactylus*, hmotnost 0,0123 g byla zjištěna pro vajíčka o velikosti 2,64 mm. Průměrná velikost vajíček v této práci byla 2,59 mm, odchylka ve velikosti není nikterak velká a lze předpokládat, že by hmotnost vajíček raka

kamenáče byla podobná. Protože těžší samice produkují více vajíček, je vztah početnosti snůšky a hmotnosti silnější, než je tomu u vztahu početnosti snůšky a karapaxu.

Početnost snůšek byla hodnocena i ve vztahu ke koeficientu kondice. Tento koeficient zahrnuje jak hmotnost jedince, tak i délku jeho karapaxu, což umožňuje komplexnější pohled na výživový stav, se kterým reprodukce bezesporu souvisí. V rámci toků se nepodařilo prokázat statisticky významná závislost mezi koeficientem kondice a početností snůšek. To je zajímavé, neboť jak je popsáno výše, byla zaznamenána pozitivní korelace početnosti snůšek a délky karapaxu, i hmotnosti samice a dalo by se tedy přepokládat, že stejný trend bude patrný i v rámci jednotlivých toků. Z obrázku 7 je patrné, že se vztahy mezi koeficientem kondice a početností snůšek lišily. Na Přešinském a Mítovském potoce bylo zjištěno, že samice s vyšším koeficientem kondice (samice s relativně vyšší hmotností) produkují méně početné snůšky. To je patrné i na Příkosickém a Hůreckém potoce a na Zubřině. Na Jiříkovském a Chocenickém potoce bylo zjištěno, že samice s vyšším koeficientem kondice produkovaly početnější snůšky. V případě Jiříkovského potoka mohl být sklon přímky způsoben úzkým rozptylem dat. Odlišné výsledky v rámci toků mohou souviset s různými reprodukčními strategiemi (viz dále).

5.4 Velikost vajíček

Velikost vajíček se v rámci této práce pohybovala od 2,24 mm do 2,94 mm. Tyto hodnoty jsou v souladu s ostatními studiemi. Velikost vajíček 2,4–3,4 mm zaznamenali Maguire et al. (2005). Vaňková (2020) vyhodnotila velikost vajíček v rozmezí 2,11–2,89 mm. Velmi podobné výsledky (2,16–2,97 mm) prezentuje i Dakić & Maguire (2016). Větší vajíčka (2,7–3,7 mm) změřili Veselovský & Brichcín (2017). Huber & Schubart (2005) zkoumali velikost vajíček na počátku a na konci inkubace. Zjištěné hodnoty na podzim (2,47 mm) a na jaře (2,91 mm) poukazují na růst vajíček v průběhu inkubace. Hubenova et al. (2010) uvádí odlišnou velikost vajíček na porovnávaných lokalitách 2,8 mm a 3,2 mm, zároveň tyto hodnoty vztahují k teplotě vody, která byla v případě větších vajíček vyšší. Opačný názor mají Scalici & Gibertini (2011), kteří žádný trend růstu nepozorovali. Výsledky těchto analýz může ovlivnit jak velikost vajíček, která se v rámci jedné snůšky mnohdy výrazně liší (viz níže), tak i nepravidelný tvar vajíček. Není proto jednoduché dospět k zcela jednotným závěrům.

Na jednotlivých tocích byla zjištěna průměrná velikost vajíček v rozmezí 2,52–2,74 mm. Statisticky významné rozdíly byly shledány v případě Rakovského potoka (2,74 mm)

a Chocenickeho potoka (2,55 mm), Rakovskeho a Mitovskeho potoka (2,53 mm) a Rakovskeho a Prikosickeho potoka (2,52 mm).

Variabilita ve velikosti vajickek byla zjistiena nejen mezi snuskami, ale i mezi vajicky jedne snusky. Nejextremnejším príkladem jsou vajicka odebrana samici z Chocenickeho potoka, jejichz velikost se lišila o 0,4 mm (2,45 a 2,85 mm). Rozdil ve velikostech popisují i Veselovský & Brichcín (2017), kteří zaznamenali v rámci jedne snusky hodnoty v intervalu 3–3,29 mm. Data Vaňkové (2020) jsou rovněž v souladu s tímto zjištěním, kde velikost v rámci jedne snusky byla 2,27–2,50 mm.

Korelace mezi CL a velikostí vajickek nebyla prokazána. To je v rozporu se zjištěním Vaňkové (2020), která uvádí, že společně s velikostí samice roste i velikost vajickek. Stejně tak nebyla prokazána závislost velikosti vajickek na hmotnosti samice. Pozitivní trend ve vztahu velikosti vajickek a hmotnosti pozorovali Veselovský & Brichcín (2017). V rámci jednotlivých toků nebyla prokazána korelace mezi velikostí vajickek a koeficientem kondice.

5.5 Vztah početnosti snůšek a velikosti vajickek

Vztahem mezi velikostí vajickek a početností snusky se zabývali Dakić & Maguire (2016), kteří prezentují negativní korelaci mezi proměnnými. V rámci této práce nebyla korelace mezi velikostí vajickek a početností snůšek prokazána. Z obrázku 12 je však patrné, že početnější snusky jsou tvořeny menšími vajicky. Při hodnocení závislosti na jednotlivých tocích byla zjištěna statisticky významná pozitivní korelace pouze na Jiřikovském potoce. V případě ostatních toků byly zaznamenány jak pozitivní, tak negativní vztahy, které ovšem nebyly statisticky významné. Vysvětlení odlišností v rámci toků může spočívat v odlišných reprodukčních strategiích.

Galeotti et al. (2006) vztahují velikost vajickek k morfometrickým parametrům samců. Samice po kopulaci s menšími samci s velkými klepety produkují méně větších vajickek. V případě větších samců s menšími klepety samice tvoří více menších vajickek. Preferenci samců s velkými klepety lze vysvětlit tím, že mají větší úspěšnost v soubojích s ostatními samci a také dokáží samici při kopulaci lépe fixovat a mohou tak být úspěšnější (Snedden, 1990). Dalším faktorem ovlivňujícím velikost vajickek by mohl být výživový stav samic (Sáez-Royuela et al., 2006).

Vaňková (2020) se ve své práci zabývala problematikou vztahu velikosti vajickek a početnosti snůšek. Zajímavé jsou výsledky na tocích, které byly hodnoceny i v rámci této práce. Konkrétně se jednalo o Mitovský a Prikosický potok a Zubřinu. Vaňková (2020) uvádí

na třech zmíněných tocích pozitivní vztah mezi velikostí vajíček a početností snůšek. V rámci této práce se výsledky shodovaly jen částečně; na Mítovském potoce byly početnější snůšky tvořeny většími vajíčky. V případě Příkosického potoka a Zubřiny byly početnější snůšky tvořeny menšími vajíčky. Z pohledu jednotlivých toků nelze meziročně předpokládat dramatické změny v podmínkách, které na tocích panují. Tyto meziroční odlišnosti by bylo možné vysvětlit vlivem samců, jak popisují Galeotti et al. (2006). Další možnou interpretací je, že reprodukční strategie samic je individuální a výsledný trend toku je dán souborem odchycených jedinců.

Jak již bylo popsáno výše, na velikosti vajíček a početnosti snůšek se podílí více faktorů a nelze proto s přesností určit, jakou měrou jednotlivé parametry do reprodukční strategie samic zasahují.

6. Závěr

Předkládaná bakalářská práce hodnotila z mnoha směrů plodnost raka kamenáče na vybraných osmi tocích v České republice. Předmětem výzkumu bylo celkem 50 samic nesoucích snůšku.

Pohlavní dospělost samic byla stanovena na základě přítomnosti snůšky. Nejmenší pohlavně dospělá samice byla odchycena na Hůreckém potoce (TL 44,0 mm, CL 21,1 mm, hmotnost 3,4 g).

Byla zjištěna pozitivní korelace mezi početností snůšek a délkou karapaxu samic. Tento vztah byl ještě silnější ve vztahu početnosti snůšek a hmotnosti samic. Při hodnocení velikosti vajíček ve vztahu k velikosti karapaxu a hmotnosti nebylo prokázáno, že by větší a těžší samice nesly větší vajíčka. Vyhodnocením vztahu velikosti vajíček a početnosti snůšek rovněž nebyla prokázána statisticky významná závislost. V rámci toků byl zaznamenán průkazný pozitivní trend tohoto vztahu na Jiříkovském potoce.

Výsledky této práce rozšiřují současné poznatky o plodnosti raka kamenáče na našem území a mohou tak posloužit hlubšímu porozumění této problematiky. V rámci dalších studií by bylo vhodné zaměřit se i na ostatní, méně prozkoumané, části reprodukce, tj. kolik vajíček je skutečně donošeno do fáze líhnutí, jaká je úspěšnost líhnutí a co tyto dílčí části reprodukčního cyklu ovlivňuje.

7. Seznam použité literatury

- Aydin, H., Harlioğlu, M. M., & Deniz, T. (2015). An investigation on the population parameters of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* esch., 1823) in Lake İznik (Bursa). *Turkish Journal of Zoology*, 39(4), 660–668.
- Castillo, R., Nègre-Sadargues, G., & Lenel, R. (1982). General Survey of the Carotenoids in Crustacea. *Carotenoid Chemistry and Biochemistry*, 211–224.
- Crandall, K. A., & De Grave, S. (2017). An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*, 37(5), 615–653.
- Dakić, L., & Maguire, I. (2016). Year cycle and morphometrical characteristics of *Austropotamobius torrentium* from two karstic rivers in Croatia. *Natura Croatica*, 25(1), 87–100.
- Fischer, D., & Vlach, P. (2018). Hlavní příčiny ohrožení raka kamenáče na území ČR. *Ochrana přírody*, 2–5.
- Füreder, L., & Machino, Y. (1999). Past and present crayfish situations in Tyrol (Austria and Northern Italy). *Freshwater Crayfish*, 12(1), 751–764.
- Galeotti, P., Rubolini, D., Fea, G., Ghia, D., Nardi, P. A., Gherardi, F., & Fasola, M. (2006). Female freshwater crayfish adjust egg and clutch size in relation to multiple male traits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1590), 1105–1110.
- Grandjean, F., Cornuault, B., Archambault, S., Bramard, M., & Otrebsky, G. (2000). Life history and population biology of the white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes* *pallipes*, in a brook from the poitou-charentes region (France). *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 73(356), 55–70.
- Hammond, K. S., Hollows, J. W., Townsend, C. R., & Lokman, P. M. (2006). Effects of temperature and water calcium concentration on growth, survival and moulting of freshwater crayfish, *Paranephrops zealandicus*. *Aquaculture*, 251(2–4), 271–279.
- Hosseinpour, N., & Karimpour, M. (1999). A preliminary study on fecundity of fresh water crayfish (*Astacus leptodactylus*) in Arass water reservoir, IR Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 1(2), 1–9.
- Hubenova, T., Vasileva, P., & Zaikov, A. (2010). Fecundity of stone crayfish

- Austropotamobius torrentium from two different populations. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(3), 387–393.
- Huber, M. G. J., & Schubart, C. D. (2005). Distribution and reproductive biology of *Austropotamobius torrentium* in Bavaria and documentation of a contact zone with the alien crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, (376-377), 759–776.
- Kouba, A., Petrusek, A., & Kozák, P. (2014). Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: Update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 413.
- Kouba, A., Tikal, J., Cisar, P., Vesely, L., Fort, M., Priborsky, J., Patoka, J., & Buric, M. (2016). The significance of droughts for hyporheic dwellers: Evidence from freshwater crayfish. *Scientific Reports*, 6, 1–7.
- Kozák, P., Duris, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E., & Policar, T. (2015). *Crayfish Biology and Culture*. University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Fisheries and Protection of Waters, Vodňany.
- Maguire, I., Erben, R., Klobučar, G. I. V., & Lajtner, J. (2002). Year cycle of *Austropotamobius torrentium* (Schrank) in streams on Medvednica Mountain (Croatia). *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 367, 943–957.
- Maguire, I., & Klobučar, G. (2011). Structure en taille, taille à la maturité, croissance et indice de condition de l'écrevisse des torrents (*Austropotamobius torrentium*) dans le nord-ouest de la Croatie. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (401), 12.
- Maguire, I., Klobučar, G. I. V., & Erben, R. (2005). The relationship between female size and egg size in the freshwater crayfish *Austropotamobius torrentium*. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, (376-377), 777–785.
- Machino, Y. (1997). Crayfish of the upper Soca and upper Sava rivers, Slovenia. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (347), 721–729.
- Martin, P., Dorn, N. J., Kawai, T., van der Heiden, C., & Scholtz, G. (2010). The enigmatic Marmorokrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). *Contributions to Zoology*, 79(3), 107–118.
- Moss, B., Hering, D., Green, A. J., Aidoud, A., Becares, E., Beklioglu, M., Bennion, H., Boix, D., Brucet, S., Carvalho, L., Clement, B., Davidson, T., Declerck, S., Dobson, M., van Donk,

- E., Dudley, B., Feuchtmayr, H., Friberg, N., Grenouillet, G., Hillebrand, H., Hobaek, A., Irvine, K., Jeppesen, E., Johnson, E., Jones, I., Kernan, M., Lauridsen, T. L., Manca, M., Meerhoff, M., Olafsson, J., Ormerod, S., Papastergiadou, E., Penning, W. E., Ptacnik, R., Quintana, X., Sandin, L., Seferlis, M., Simpson, G., Triga, C., Verschoor, A. M., Verdonschot P. F. M., & Weyhenmeyer, G. A. (2009). Climate Change and the Future of Freshwater Biodiversity in Europe: A Primer for Policy-Makers. *Freshwater Reviews*, 2(2), 103–130.
- Oidtmann, B., Heitz, E., Rogers, D., & Hoffmann, R. W. (2002). Transmission of crayfish plague. *Diseases of Aquatic Organisms*, 52(2), 159–167.
- Parkyn, S. M., Collier, K. J., & Hicks, B. J. (2002). Growth and population dynamics of crayfish *Paranephrops planifrons* in streams within native forest and pastoral land uses. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36(4), 847–862.
- Pârvulescu, L., & Zaharia, C. (2013). Current limitations of the stone crayfish distribution in Romania: Implications for its conservation status. *Limnologica*, 43(3), 143–150.
- Pârvulescu, L. (2019). Introducing a new Austropotamobius crayfish species (Crustacea, Decapoda, Astacidae): A miocene endemism of the Apuseni Mountains, Romania. *Zoologischer Anzeiger*, 279, 94–102.
- Patoka, J., Buřič, M., Kolář, V., Bláha, M., Petrůl, M., Franta, P., Tropek, R., Kalous, L., Petrussek, A., & Kouba, A. (2016). Predictions of marbled crayfish establishment in conurbations fulfilled: Evidences from the Czech Republic. *Biologia*, 71(12), 1380–1385.
- Patoka, J., Kalous, L., & Kopecký, O. (2014). Risk assessment of the crayfish pet trade based on data from the Czech Republic. *Biological Invasions*, 16(12), 2489–2494.
- Patoka, J., Římalová-Kadlecová, K., Bílý, M., & Kořčo, J. (2013). Frequency of new marble-colored morph in wild population of *Austropotamobius torrentium* (Decapoda: Astacidae). *Biologia (Poland)*, 68(4), 707–711.
- Petrusek, A., Pešek, P., Leština, D., Martin, P., Fischer, D., Kozák, P., & Vlach, P. (2017). Mitochondrial DNA provides evidence of a double origin for the stone crayfish *Austropotamobius torrentium* in the Elbe basin. *Limnologica*, 62, 77–83.
- Sáez-Royuela, M., Carral, J. M., Celada, J., Pérez, J. R., & González, A. (2006). Pleopodal egg production of the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes* Lereboullet under laboratory conditions: relationship between egg number, egg diameter and female size. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380–381), 1207–1214.

- Scalici, M., & Gibertini, G. (2011). Reproduction in the threatened crayfish *Austropotamobius pallipes* (Decapoda, Astacidae) in the Licenza brook basin (central Italy). *Italian Journal of Zoology*, 78(2), 198–208.
- Seitz, R., Vilpoux, K., Hopp, U., Harzsch, S., & Maier, G. (2005). Ontogeny of the Marmorkrebs (marbled crayfish): A parthenogenetic crayfish with unknown origin and phylogenetic position. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology*, 303(5), 393–405.
- Schubart, C. D., & Huber, M. G. J. (2006). Genetic comparisons of German populations of the stone crayfish, *Austropotamobius torrentium* (Crustacea: Astacidae). *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, (380–381), 1018–1028.
- Snedden, W. A. (1990). Determinants of male mating success in the temperate crayfish *Orconectes rusticus*: chela size and sperm competition. *Behaviour*, 115(1–2), 100–113.
- Souty-Grosset, C., Holdrich, D. M., Noël, P. Y., Reynolds, J. D. & Haffner, P. (eds.) (2006). *Atlas of Crayfish in Europe*. Patrimoines Naturels 64. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Streissl, F., & Hoödl, W. (2002). Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia*, 477, 201–208.
- Stucki, T. P., & Romer, J. (2001). Will *Astacus leptodactylus* displace *Astacus* and *Austropotamobius torrentium* in Lake Ägeri, Switzerland? *Aquatic Sciences*, 63(4), 477–489.
- Svoboda, J., Mrugała, A., Kozubíková-Balcarová, E., & Petrusek, A. (2017). Hosts and transmission of the crayfish plague pathogen *Aphanomyces astaci*: a review. *Journal of Fish Diseases*, 40(1), 127–140.
- Svoboda, J., Fischer, D., Kozubíková-Balcarová, E., Šťásková, A., Brůčková, M., Kouba, A., & Petrusek, A. (2020). Experimental evaluation of the potential for crayfish plague transmission through the digestive system of warm-blooded predators. *Journal of Fish Diseases*, 43(1), 129–138.
- Svobodová, J., Douda, K., Štambergová, M., Pícek, J., Vlach, P., & Fischer, D. (2012). The relationship between water quality and indigenous and alien crayfish distribution in the Czech Republic: Patterns and conservation implications. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(6), 776–786.

- Svobodová, J., Fischer, D., Svobodová, E. V. A., & Vlach, P. (2016). Periodické vysychání toků: další faktor negativně ovlivňující populace našich raků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 58(3), 34–38.
- Štambergová, M., Svobodová, J., & Kozubíková, E. (2009). Raci v České republice. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Taugbøl, T., & Skurdal, J. (1989). Effect of indoor, culture conditions on maturation and fecundity of wild-caught female noble crayfish, *Astacus astacus* L. *Aquaculture*, 81(1), 1–12.
- Todorov, M., Antonova, V., Hubenov, Z., Ihtimanska, M., Kenderov, L., Trichkova, T., & Deltshev, C. (2014). Distribution and current status of stone crayfish populations *Austropotamobius torrentium* (Decapoda: Astacidae) in Natura 2000 protected areas in Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 66(2), 181–202.
- Trontelj, P., MacHino, Y., & Sket, B. (2005). Phylogenetic and phylogeographic relationships in the crayfish genus *Austropotamobius* inferred from mitochondrial COI gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 34(1), 212–226.
- Vaňková, M. (2020). Fekundita raka kamenáče (*A. torrentium*) na vybraných tocích České republiky. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta pedagogická, Plzeň.
- Vaňková, M. (2022). Reprodukční úspěšnost raka kamenáče: Jaká je úmrtnost vajec během prezimování? Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta pedagogická, Plzeň.
- Vasileva, P., Zaikov, A., & Hubenova, T. (2006). Investigation on Fecundity and Egg Size in Cultured and Natural Crayfish Population of *Astacus leptodactylus* Esch. in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 12, 208–217.
- Veselovský, M., & Brichcín, J. (2017). Fekundita raka kamenáče (*Austropotamobius torrentium*) v České republice. Středoškolská odborná činnost. Gymnázium Blovice, Blovice.
- Vlach, P., Fischer, D., & Hulec, L. (2009a). Microhabitat preferences of the stone crayfish *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 394–395, 15.
- Vlach, P., Hulec, L., & Fischer, D. (2009b). Recent distribution, population densities and ecological requirements of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the Czech Republic. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 394–395, 13.

Vlach P., Fischer D., (2017). Desetinožci (Decapoda). – In: Hejda R., Farkač J. & Chobot K. [eds], Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí (Red List of threatened species of the Czech Republic. Invertebrates), *Příroda*, Praha, 36, 98–102.

Walker, M. L., Austin, C. M., & Meewan, M. (2000). Evidence for the inheritance of a blue variant of the Australian fresh-water crayfish *Cherax destructor* (Decapoda: Parastacidae) as an autosomal recessive. *Journal of Crustacean Biology*, 20(1), 25–30.

Woodlock, B., & Reynolds, J. D. (1988). Reproduction in an Irish lake population of the crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lerehoullet). *Freshwater Biology*, 19(1), 79–86.