

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta pedagogická

Centrum biologie, geověd a envigogiky

**Reprodukční úspěšnost raka kamenáče: jaká je  
úmrtínost vajec během přezimování?**

Diplomová práce

**Bc. Martina Vaňková**

*Učitelství biologie pro SŠ (maior) – Učitelství chemie pro SŠ (minor)*

Vedoucí práce: RNDr. Pavel Vlach, Ph.D.

**Plzeň 2022**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a uvedených zdrojů informací.

V Plzni, 30. června 2022

.....  
vlastnoruční podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kdo se podíleli na realizaci této práce. Velký dík patří RNDr. Pavlu Vlachovi, Ph.D., kterému vůbec vděčím za možnost se na takové práci podílet. Samozřejmě mu také děkuji za odborné vedení práce, cenné připomínky a pomoc při zpracování. Dále děkuji dnes již Ing. Jiřímu Břichcínovi, za pomoc při odchytu raků, přípravě i kontrole klecí. Vážím si jeho urputnosti při otáčení kamenů a děkuji mu i za možnost zhlédnout, jak chytá raky do pytle od brambor (který byl pro doplnění využit z důvodu akutního nedostatku adekvátního vybavení a nikoli proto, že má Ing. Břichcín vystudovanou FZT JČU).

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce bylo prohloubit znalosti o reprodukci raka kamenáče v České republice. Studie byla provedena na 10 tocích s využitím klecového experimentu. Práce hodnotí především mortalitu samic a jejich snůšek v průběhu inkubace. Dále se zaměřuje zejména na hodnocení jejich líhnivosti, díky níž můžeme mnohem přesněji odhadnout velikosti populací na jednotlivých tocích. Nezáleží totiž kolik samice vyprodukuje vajíček, jako spíše na tom, kolik ráčat se z nich reálně vylíhne.

**Klíčová slova:** rak kamenáč, reprodukce, vajíčka, snůška, mortalita, líhnivost, inkubace

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis was to deepen the knowledge about the reproduction of the stone crayfish in the Czech Republic. The study was conducted on 10 streams using the cage experiment tool. The mortality of females and especially their eggs is evaluated in the thesis. Subsequently, the focus is on the evaluation of their hatchability, thanks to which we are able to estimate the size of particular populations more precisely. After all, it does not matter how many eggs a female produces, but rather how many juveniles actually hatch.

**Key words:** stone crayfish, reproduction, eggs, clutch, mortality, hatchability, incubation

## Obsah

1	Úvod.....	3
1.1	Biologie raků.....	4
1.1.1	Stavba těla .....	4
1.1.2	Růst.....	6
1.1.3	Reprodukce.....	7
1.1.3.1	Pohlavní zralost.....	7
1.1.3.2	Rozmnožování .....	8
1.1.3.3	Inkubace.....	9
1.1.3.4	Ontogeneze .....	10
1.2	Taxonomie .....	11
1.2.1	Raci v ČR .....	11
1.2.1.1	Rak signální .....	11
1.2.1.2	Rak pruhovaný.....	12
1.2.1.3	Rak mramorovaný.....	13
1.2.1.4	Rak bahenní .....	14
1.2.1.5	Rak říční.....	14
1.2.1.6	Rak kamenáč.....	15
1.3	Ohrožení.....	16
1.4	Cíl.....	16
2	Materiál a metody.....	18
2.1	Charakteristika toků.....	18
2.1.1	Zubřina .....	18
2.1.2	Mítovský potok a jeho levý přítok.....	18
2.1.3	Přešínský potok .....	19
2.1.4	Chocenický potok.....	19
2.1.5	Rakovský potok .....	20
2.1.6	Hůrecký potok .....	20
2.1.7	Příkosický potok.....	20
2.1.8	Skořický potok.....	21
2.1.9	Mešenský potok.....	21
2.2	Průběh experimentu .....	22
2.3	Vyhodnocení dat .....	22
3	Výsledky.....	24
3.1	Délková a hmotnostní struktura .....	24

3.2	Počet vajíček ve snůšce.....	25
3.2.1	Vztah mezi počtem vajíček a délkou karapaxu, resp. hmotností.....	26
3.3	Klecový experiment.....	28
3.3.1	Délková a hmotnostní struktura.....	28
3.3.2	Počet vajíček ve snůšce .....	29
3.3.3	Mortalita samic .....	30
3.3.4	Mortalita vajíček.....	30
3.3.5	Líhňivost.....	33
4	Diskuze.....	35
4.1	Délková a hmotnostní struktura .....	35
4.1.1	Délková a hmotnostní struktura samic se snůškou.....	35
4.2	Počet vajíček ve snůšce.....	37
4.2.1	Vztah mezi počtem vajíček a délkou karapaxu .....	37
4.3	Klecový experiment.....	38
4.3.1	Mortalita samic .....	38
4.3.2	Mortalita vajíček.....	39
4.3.3	Líhňivost.....	41
5	Závěr.....	43
6	Resumé.....	44
7	Cizojazyčné resumé.....	44
8	Seznam literatury.....	45

# 1 Úvod

Raky řadíme mezi velké bentické makrofágy. Jejich přítomnost je často pojena s výskytem dalších ohrožených živočichů. Proto o nich v této souvislosti často hovoříme jako o tzv. deštníkových druzích (Kozák et al. 2015), a tudíž dlouhotrvajících indikátorech zdravého ekosystému (Füreder et al. 2003). Bioindikační funkce raků je však vnímána mnohem kritičtěji, neboť raci jsou méně citliví ke změnám přírodních podmínek, než jak se původně myslelo. Dokáží totiž obsadit poměrně širokou ekologickou niku (Svobodová et al. 2008; Vlach et al. 2012). Jejich vliv na biodiverzitu je však nezpochybnitelný. Jedná se o konzumenty bezobratlých, detritu a řas. Navíc jsou sami složkou potravy ryb a různých vodních predátorů (Füreder et al. 2006 cit. Kozák et al. 2015).

Obývají jak tekoucí, tak i stojaté vody (Kozák et al. 2015). Upřednostňují především horní části toků (Souty-Grosset et al. 2006), které nejsou takovou měrou ovlivněny činností člověka (Římalová et al. 2014). Jejich výskyt je závislý na vícero faktorech. Podléhá teplotě, chemismu vody, úživnosti prostředí, znečištění, predaci, nebo i početnosti a druhovém složení rybního osazenstva (Fischer et al. 2004). Aby byli v takových podmínkách schopni přežít, disponují schopností hledat úkryty, resp. vytvářet nory (Horwitz & Richardson 1986 cit. Guo et al. 2019).

Zejména nory jsou podstatné pro ochranu před predátory a umožňují ustát různé environmentální extrémny, jako např. vysoké teploty nebo dehydrataci (Huner & Barr 1991 cit. Barbaresi et al. 2004). Nejdůležitějším faktorem, před kterým se však neukryjí, je patrně kvalita vody, která má potenciál negativně ovlivnit jejich populační charakteristiky (Füreder et al. 2003). Znečištěná voda dokáže potenciálně oslabit celkovou odolnost populace, často ještě v kombinaci s dalšími faktory (Svobodová et al. 2016).

Čelí ale i konkurenčnímu tlaku. Raci žijí obvykle ve velkých populacích a souboje bývají na denním pořádku (Nystrom 2002 cit. Breithaupt 2010). V důsledku tohoto neustálého soupeření vzniká hierarchie (Goessmann et al. 2000). Dominantní jedinci mají posléze výhodu v podobě lepší dostupnosti úkrytů, potravy a partnerů při rozmnožování (Belanger & Moore 2006).

## 1.1 Biologie raků

### 1.1.1 Stavba těla

Tělo raků je diverzifikováno do 20 segmentů, jejichž soubory tvoří 3 základní části jedince – hlava (cephalom), hrud' (thorax) a zadeček (abdomen) (McLay & van den Brink 2016). Jelikož jsou však hlava s hrudí kryty pevným chitinovým krunýřem – karapaxem, bývá soubor těchto dvou tělních částí v literatuře souhrnně nazýván hlavohrud' (cephalothorax) (Kozák et al. 2015; McLay & van den Brink 2016).

Karapax kryje pouze svrchní část hlavohrudí, její boky a dosahuje až k bázím končetin na ventrální straně těla. Spodní část zůstává měkká. Na hlavové části karapaxu rozlišujeme u raků tzv. rostrum, které tvarem připomíná trojúhelník, a které se nachází v oblasti mezi dvěma složenýma očima v bezprostřední části hlavy, kde slouží přímo k ochraně jedince při čelním útoku (Kozák et al. 2015).

Za očima raků nalezneme 1–2 páry postorbitálních lišt. Přechod mezi hlavovou a hrudní částí karapaxu značí tzv. týlní brázda, charakteristická svým prohnutím v kaudálním směru (Kozák et al. 2015). Na hrudní partii karapaxu do očí bijí dvě typické podélné rýhy – žábrosrdeční švy, jež vymezují tu část karapaxu jedince, která bývá přirostlá k tělu (Štambergová et al. 2009). Boky karapaxu kryjí žaberní komory – prostory, v nichž se nacházejí žábry. Na bázi nohou tvoří tělo s karapaxem úzkou šterbinu, která umožňuje průchod proudící vody k žábrám (Kozák et al. 2015).

Abdomen raků je zpravidla tvořen ze 6 článků, jež jsou mezi sebou po stranách propojeny pomocí pohyblivých kloubů. Mezi samotnými články se navíc nachází měkká membrána (Kozák et al. 2015). Abdominální články jsou rovněž shora kryty pevnými destičkami (Štambergová et al. 2009). Dle proporcí abdominální části těla lze u dospělého jedince usoudit na jeho pohlaví, neboť samice mívají zadeček zpravidla rozšířený. Bývá tímto stylem uzpůsobený na období, kdy samice schraňují snůšku vajíček. Na zadní okraj 6. zadečkového článku nasedá poslední článek račího těla – telson, na jehož spodní straně se navíc nachází řitní otvor. Telson však na základě svého charakteru není považován za pravý tělní článek.

Raci disponují poměrně velkým množstvím končetin širokého spektra. Základ tvoří dvouvětevná končetina, skládající se z endopoditu a exopoditu, kde exopodit bývá buďto redukován, nebo zcela chybí. Prvními končetinami hlavy jsou anteny. Skládají se ze série



kruhovitých článků spojených membránou a obsahují čichové tyčinky – estetasky. Dále se podílejí na udržení rovnováhy a hmatu. Bazální část antenul zároveň slouží i jako podpora očí. Za antenulami následují mnohem delší anteny, sloužící primárně k hmatu. Po tykadlech přichází na řadu samotný ústní aparát raků, který je tvořen jedním párem kusadel a dvěma páry čelistí. Mandibuly (kusadla) se nacházejí po stranách ústního otvoru přímo za svrchním pyskem. Na jejich konci se nachází makadlo, které obstarává hmat a umožňuje manipulaci s potravou. Maxily (čelisti) potravu hlavně přidržují a podávají ji mandibulám (Kozák et al. 2015).

První 3 hrudní páry před kráčivými končetinami bývají nazývány maxilipody. Jejich úděl je prostý – napomáhají maxilám v manipulaci s potravou. Kráčivé končetiny, tzv. pereopody, se vyskytují na 4.–8. hrudním článku. Jedná se tedy celkem o 5 párů jednovětvých končetin, na jejichž kyčelním článku se vždy nachází epipodit s žábrou, exponovanou v již zmíněných žaberních komorách. První pár je přeměněn v charakteristická klepeta, která jsou využitelná zejména v soubojích a při rozmnožování (Kozák et al. 2015). Druhý a třetí pár je rovněž zakončen klepety, byť mnohem menšími než v případě páru předchozího. Čtvrtý a pátý pár již klepeta postrádá a disponuje pouze malým drápkem (Štambergová et al. 2009). Pereopody jsou schopny autotomie, což propůjčuje rakům alespoň částečnou ochranu před predátory (Zarenkov 1982 cit. Kozák et al. 2015). Končetina je poté relativně rychle nahrazena novou, nicméně již zpravidla nedosahuje původních rozměrů (Štambergová et al. 2009).

K abdomenu je membránou připojeno celkem 5 párů pleopodů, které jsou ve srovnání s pereopody znatelně slabší. Raná stádia je využívají při plavání, u starších jedinců především pomáhají přivádět k žaberním komorám vodu. U samců jsou první dva páry přeměněny v tzv. gonopody a slouží ke kopulaci. Samicím naopak tyto páry standardně zakrňují. U samic mají však pleopody stěžejní funkci v období reprodukce. Nakladená vajíčka jsou k pleopodálním nožkám připojena a jejich pohybem jim je i zajištěn dostatečný přísun kyslíku (Kozák et al. 2015). Končetiny 6. zadečkového článku jsou přeměněny v uropody a slouží k vylučování (Štambergová et al. 2009). Směřují dozadu a spolu s telsonem tvoří veslovitý orgán, který umožňuje v případě ohrožení reaktivní pohyb vzad (Kozák et al. 2015).

### 1.1.2 Růst

Růst raků je značně limitovaný. Přírůstek je podstatně závislý na věku jedince a postupem času se zmenšuje. Proto může být někdy poněkud obtížné přesně stanovit věk raka (McLay & van den Brink 2016).

Na růst má vliv hned několik faktorů. Podstatná je už jen samotná teplota (Lowery 1988 cit. Parkyn et al. 2002). Mezi další impakty patří například potravní dostupnost nebo kompetice při obsazování úkrytů (Figler et al. 1999 cit. Alcorlo et al. 2008).

Časově je omezen pouze na období svlékání, ekdyzi. Mnohovrstevný exoskelet, jímž raci disponují, je totiž pevný, inkrustovaný solemi vápníku. Výjimku tvoří okolí kloubů, kde je měkký a relativně flexibilní, což je podstatné pro pohyblivost jedince. Svlékání však umožňuje nejen růst, ale poskytuje i možnost pro opravu poničených částí, resp. růst ztracených končetin (McLay & van den Brink 2016).

Energeticky je velmi náročné. Spotřebovává se při něm výrazně tuková tkáň v hepatopankreatu. Raci mají totiž z logických důvodů v tomto období značně omezený způsob příjmu potravy. Zároveň vykazují specifické chování (Kozák et al. 2015). Před svlékáním bývají zpravidla méně aktivní a omezují se na vyhledávání úkrytů, jež jim mohou poskytnout mechanickou ochranu (McLay & van den Brink 2016). Stará kutikula při ekdyzi totiž praská a nová zůstává ještě nějaký čas měkká, než dojde k její inkrustaci (Štambergová et al. 2009). K ní slouží gastrolity, které se nacházejí mezi kutikulou a pokožkovými buňkami stěny žaludku. Částečně jsou tvořeny z minerálů, které se uvolňují při odbourávání kutikuly staré a z části je tvoří minerály přijaté z prostředí (Kozák et al. 2015).

Měkcí raci především leží na povrchu, jelikož nejsou v tomto období schopni opory o vlastní končetiny (McLay & van den Brink 2016), což je činí značně zranitelnými. A proto aby zároveň jedinci v tomto období nemuseli čelit intraspecifické predaci, bývá zpravidla svlékání v dané populaci synchronizováno (Lowery 1988 cit. Maguire et al. 2002). Pohlavně zralí samci se svlékají dvakrát za rok, zatímco samice pouze jednou (Holdich & Black 2007). U samic k tomu dochází brzy z jara, a to poté, co se od nich odpojí jejich nezávislí potomci (Scudamore 1948 cit. Buřič et al. 2010).

### 1.1.3 Reprodukce

Raci se rozmnožují v období mezi svlékáním (Breithaupt 2010). Jedná se o gonochoristy, při jejichž vývoji postrádáme larvální stádium, na rozdíl od jiných druhů korýšů (McLay & van den Brink 2016). Obě pohlaví jsou polygamní – páří se s větším množstvím partnerů, čímž zvyšují svou celkovou reprodukční úspěšnost (Bretman et al. 2009 cit. Kubec et al. 2019).

#### 1.1.3.1 Pohlavní zralost

Determinace pohlavně zralých jedinců může standardně probíhat několika způsoby. V literatuře totiž hodnocení zralosti jedinců neprobíhá zcela jednotně. Může být stanovena dle velikosti, při níž 50 % samic nese vajíčka. Častá je i determinace na základě přítomnosti cementových žlázek (Grandjean et al. 1997a). Jedním ze znaků je i rozšiřování abdomenu u samic (Vlach & Valdmanová 2015). To může být patrné ještě před dosažením dospělosti (Grandjean et al. 1997b). Díky rozšířenému abdomenu se zvyšuje celková prostorová kapacita pro vajíčka a jejich uchycení (Grandjean et al. 1997b; Maguire et al. 2002; Maguire et al. 2005).

Samozřejmě jsme schopni odlišit i pohlavně zralé samce. Jedním z podstatných znaků jsou klepeta, která po dosažení dospělosti rostou alometricky (Streissl & Hödl 2002). Dalším klíčovým znakem jsou změny na gonádách (Scalici & Gibertini 2011). Bílé zbarvení kopulačních nožek například značí přítomnost spermatu (Reynolds et al. 1992). Podstatnou charakteristikou pohlavně zralého jedince může být i chování samců vůči samicím (McLay & van den Brink 2016).

Počátek pohlavní zralosti se však může lišit populace od populace. Je zcela běžné, že se objevují geografické variety ve velikosti samic na prahu dosažení dospělosti. Velmi totiž závisí na lokálních environmentálních podmínkách, které se zároveň mohou lišit i rok od roku (Reynolds 1988 cit. Grandjean et al. 1997a). Za příhodných přírodních podmínek byli zaznamenáni větší dospělí jedinci než v habitatech s extrémně vysokou hustotou populací, problematickou dostupností potravy nebo zhoršenou kvalitou vody (Nyström & Granéli 1996 cit. Maguire & Klobučar 2011). S tím poté souzní i tvrzení, že spouštěčem pohlavní zralosti může být stres. Ten může být podstatný zejména v případě marginálních populací, kde umožňuje mnohem menším samicím vstoupit do reprodukce (Reynolds et al. 1992).

Rozdíly jsou i v případě jednotlivých pohlaví. U samic může být počátek pohlavní zralosti zřetelný dříve než v případě samců. Z hlediska funkčnosti však samci dozrávají mnohem dříve (Grandjean et al. 1997a).

### 1.1.3.2 Rozmnožování

Začátek reprodukční sezóny je standardně determinován poklesem teploty vody a změnou fotoperiody ke konci léta (Reynolds 2002 cit. González et al. 2009; Scalici & Gibertini 2011).

Před samotným pářením dochází ke krátké výměně taktilních a olfaktorických signálů mezi jedinci (Acquistapace et al. 2002). Samec následně svými klepety přetáčí samici na záda a vkládá ji spermatofoxy, které následně ve vodě ztvrdnou, na sternum do oblasti mezi 7. a 8. hrudním článkem (Holdich 2002 cit. Kozák et al. 2015). Poměrně jasně z toho vyplývá, že velikost klepet může být v reprodukčním období poměrně klíčová. Není však důležitá jen pro samce. Benefítovat z velikosti klepet dokáže i samice, která díky nim dokáže samce při kopulaci odmítnout (Buřič et al. 2010).

Samice raků z čeledi *Cambaridae* disponují na rozdíl od *Astacidae* zajímavou anatomickou zvláštností, kterou je tzv. semenná schránka (*annulus ventralis*), jejíž tvar je proměnlivý v závislosti na konkrétním druhu. Samice jsou zde schopny schraňovat spermatofoxy, pocházející dokonce od několika různých samců, což ve finále může vést i k vícero paternitám jedné snůšky a větší variabilitě potomstva. Spermatofoxy zde dokáží skladovat i několik měsíců (McLay & van den Brink 2016).

Klást vajíčka většinou samice začíná teprve po několika hodinách až dnech (Faller et al. 2006). Kladení probíhá standardně v noci a trvá 2–3 hodiny (Kozák et al. 2015). Před ovulací samice očišťuje spodní stranu těla a pleopody (Gherardi 2002 cit. Kozák et al. 2015). Zpočátku ohne svůj abdomen směrem k hrudi, čímž vytvoří uzavřený prostor. Následně začne produkovat sekret z cementových žlázek, který ho celý vyplní. Sekret disponuje schopností rozpouštět obaly spermatoforů, z nichž se začínají uvolňovat nepohyblivé spermie. Poté se samice přetáčí na záda a vytlačuje vajíčka, která se mísí se hmotou v komoře a která jsou zde oplodněna. Oplodněná vajíčka jsou nakonec upevněna stopkou k pleopodům samice, kde setrvávají několik měsíců do vylíhnutí, resp. následujícího svlékání samice (Vogt 2002 cit. Kozák et al. 2015).

### 1.1.3.3 Inkubace

Rodičovská péče je v průřezu mezi jednotlivými druhy zcela uniformní. Samice v průběhu inkubace vajíčka čistí a odumřelé kusy odstraňuje; samci se spíše nezúčastňují (Hazlett 1983 cit. Burton et al. 2007). Samice jsou v tuto dobu také výrazně méně aktivní (Maguire et al. 2005). V průběhu inkubace totiž zpravidla dochází ke značným ztrátám (Kozák et al. 2006). Ty bývají zapříčiněny různými faktory.

Zaznamenána byla vysoká mortalita embryí, připojených k samici. Velmi často dochází i ke ztrátám ze samotných pleopodů (Matthews & Reynolds 1995 cit. Pérez et al. 1999). Jedním ze závažných problémů může být houbová infekce, kde houbová vlákna z již neživotaschopných vajíček mohou prorůst až do těch zdravých (Celada et al. 2004; González et al. 2009). Problematické je samozřejmě i úmrtí samice nesoucí vajíčka (Arrignon 1981 cit. Pérez et al. 1999). Agresivní interakce mohou poškodit nejen samici, ale i snůšku (Reynolds et al. 1992). V podstatě jakákoli disturbance, mezi něž patří i zásah člověka, může být pro snůšku potenciálně nebezpečná (Celada et al. 2004; Kozák et al. 2006).

K největším ztrátám však dochází teprve v období kolem líhnutí (Matthews & Reynolds 1995 cit. Pérez et al. 1999). Samozřejmě se může objevit i kompletní ztráta snůšky. Ta bývá většinou přisuzována chabému uchycení vajíček k pleopodům samice při kladení (Reynolds et al. 1992). Zejména malé samice mívají problém donosit snůšku až do líhnutí (Reynolds cit. Maguire et al. 2002). Rizikové může dokonce být i přehuštění vajíček ve snůšce (Grandjean et al. 2000).

Plodnost raků je všeobecně proporční záležitost a může se signifikantně lišit nejen mezi jednotlivými druhy, ale i populacemi, a to z důvodu různorodosti přírodních podmínek jednotlivých habitatů (Skurdal & Taugbøl 2002 cit. Maguire et al. 2005). Dokonce i v rámci jedné populace se plodnost může lišit rok od roku. Samice jsou navíc schopny přeskočit reprodukční sezónu, ačkoli za příhodných podmínek jsou schopny vyprodukovat snůšku každý rok (Reynolds et al. 1992). Poměrně podstatné však je, do jaké míry se samice dokáže dopředu zásobit (Skurdal et al. 2011). Relativně nízká plodnost může být zapříčiněna chladem nebo nedostačující potravinní dostupností (Neveu 2007). Dalším z faktorů může být i dostupnost úkrytů (Hubenova et al. 2010).

Velikost snůšky závisí ale i na velikosti vajíček. Ta je rovněž podmíněna faktory, jako je dostupnost potravy nebo teplota vody (Hubenova et al. 2010). Nárůst ve velikosti vajíček se projevuje sníženou plodností (Carral et al. 2004 cit. Maguire et al. 2005). Důležitá může

být i samotná populace raků, dále rok páření, embryonální stádium nebo velikost samice (Sáez-Royuela et al. 2006). Ve zhoršených podmínkách mohou samice vyprodukovat menší počet větších potomků (Parker & Begon 1986 cit. Skurdal et al. 2011), kteří mají následně mnohem lepší vyhlídky na přežití (Kamler 2005). U dlouho žijících druhů může být s přibývajícím věkem samice zaznamenána snižující se plodnost (Momot 1984 cit. Sáez-Royuela et al. 2006).

#### **1.1.3.4 Ontogeneze**

Pro vývoj vajec je velmi podstatná teplota vody (Carral et al. 1992 cit. Policar et al. 2004). V zimním období, kdy je výrazně snižena, dochází ke zpomalení až zastavení embryonálního vývoje – diapauze, která je mnohem výhodnější pro větší počet zárodků a napomáhá lepšímu přežití vylíhnutým jedincům. Dochází při ní k synchronizaci embryonálního vývoje (Taugbøl et al. 1987 cit. Kozák et al. 2015).

Ohledně zvětšování velikosti vajíček v průběhu inkubace nepanuje v literatuře úplná shoda. Některé studie zaznamenaly jejich zvětšení (Alcorlo et al. 2008; Pawlos et al. 2010; Winnicki et al. 2004), jiné nikoli (Scalici & Gibertini 2011).

Inkubace zpravidla trvá do jara následujícího roku (Skurdal & Tagbøl 2002 cit. Kozák et al. 2015). Před zahájením líhnutí má samice tendence pohybovat se proti proudu, patrně aby se vyhnula případnému driftu juvenilních jedinců po proudu (Light 2003 cit. Huber & Schubart 2005). Doba líhnutí může být ovlivněna samotným habitatem. V potocích lokalizovaných v lese bylo zaznamenáno trochu opožděnější líhnutí než v případě populací, jež se vyskytují ve volné krajině (McLay & van den Brink 2016).

Období po vylíhnutí je pro juvenilní jedince náročné, jelikož se musejí adaptovat na nové životní podmínky (Blake & Hart 1993 cit. Policar et al. 2004). První stádium je lecitotrofní, imobilní a zůstává připojeno k pleopodům samice (McLay & van den Brink 2016) po dobu 7–14 dní v závislosti na teplotě. Jedinci se mezitím musejí stát nezávislými, dokud samice znovu nezačne přijímat potravu (Reynolds et al. 1992). Nicméně i tak zaznamenáváme vysokou mortalitu juvenilních jedinců v jejich prvních měsících života (González et al. 2009). Samice například často kanibalizují na potomstvu jiných samic (Mathews 2011; Reynolds et al. 1992).

Čas osamostatnění jedince se však mírně liší v závislosti na příslušnosti k dané čeledi. Raci z čeledi *Astacidae* jsou autonomními ve druhém vývojovém stádiu, hned po prvním

svlékání, kdežto severoameričtí raci z čeledi *Cambaridae* jsou nezávislí až ve vývojovém stádiu, které mu následuje (Reynolds 2002 cit. Kozák et al. 2015).

## 1.2 Taxonomie

Raci patří mezi korýše (Crustacea) z řádu Desetinožců (Decapoda). Jejich sladkovodní druhy členíme zpravidla dle příslušnosti k dané polokouli na 2 nadčeledi – Astacoidea na severní a Parastacoidea na jižní (Crandall & De Grave 2017; Kozák et al. 2015).

Nadčeledi Parastacoidea přísluší pouze čeleď *Parastacidae*. V případě Astacoidea ale rozlišujeme hned 4 čeledi: *Astacidae*, *Cambaridae*, *Cambaroididae* a *Cricoidoscelosidae*, přičemž nejvíce dominují první dvě (Crandall & De Grave 2017).

V severní Americe nalezneme jak zástupce *Astacidae*, tak *Cambaridae* (Hobbs 1989 cit. Kozák et al. 2015). Jejich areály se však nepřekrývají – jakýsi předěl mezi nimi tvoří pohoří Skalistých hor. Valná část Asie je prakticky bez raků, byť jsme schopni nalézt populace i v západní části kontinentu. Jedná se však zejména o druhy expandované z Evropy. Výjimku tvoří Turecko, oblast u Kaspického moře, Dálný východ nebo na východě Japonsko a Korea. V Evropě jsou mezi původní druhy řazeni pouze zástupci čeledi *Astacidae* (Kozák et al. 2015).

### 1.2.1 Raci v ČR

Na území České republiky bylo zatím zaznamenáno celkem 6 druhů raků (Kozák et al. 2015; Patoka et al. 2016). Za zcela původní zde však můžeme považovat pouze dva z nich (Fischer & Vlach 2018). Ty řadíme do čeledi *Astacidae* společně s dalšími dvěma nepůvodními druhy.

#### 1.2.1.1 Rak signální

Mezi patrně nejznámější invazní druhy raků patří rak signální (*Pacifastacus leniusculus*). Jedná se o relativně velký druh raka, který může dosahovat hmotnosti až 250 g a dožívá se až 20 let. Jeho cephalothorax je hladký, na bocích bez trnů a disponuje 2 páry postorbitálních lišt. Svrchní strana těla je světle až tmavě hnědá. Klepeta jsou hladká a na jejich kloubu na svrchní straně se zpravidla objevují velké bílé až tyrkysové skvrny. Spodní strana klepet je sytě červená (Kozák et al. 2015).

Jeho primární areál se rozkládá mezi Tichým oceánem a Skalistými horami (Taylor et al. 2007), kde obývá jak velké řeky, tak i malé potoky a přírodní jezera. Do Evropy byl

introdukován roku 1959. Na naše území se však dostal až v 80. letech ze Švédska, a to kvůli zamýšlené tržní produkci (Fischer et al. 2004). V současnosti je však jeho výskyt omezen pouze na několik lokalit (Chobot 2006; Petrusek et al. 2006).

Preferuje spíše chladnější vody, ačkoli v až příliš chladných lokalitách neprosperuje. Ve svém sekundárním areálu je k nalezení dokonce i v rybnících. Jeho typickou činností je hloubení nor v březích vodních toků a nádrží, což je problematické především u tekoucích vod, kde svou činností výrazně přispívá k erozi břehů (Kozák et al. 2015).

Dospělosti zpravidla dosahuje mezi 2. a 3. rokem (Abrahamsson 1971 cit. Kozák et al. 2015). Rozmnožování se většinou udává v říjnu (Söderback 1995 cit. Kozák et al. 2015) a samice nakladou mezi 100–400 vajíčky (Kirjavainen & Westman 1999 cit. Kozák et al. 2015). V porovnání s našim původním druhem, rakem kamenáčem, jsou však vajíčka raka signálního menší a lépe nahuštěná ve snůšce. Rovněž disponuje značnou kompetitivní výhodou – líhne se dříve než naše původní druhy, a dokonce i rychleji roste (Huber & Schubart 2005).

#### **1.2.1.2 Rak pruhovaný**

Poměrně rozšířeným invazním druhem je rak pruhovaný (*Faxonius limosus*) z čeledi *Cambaridae*. Jeho zbarvení je variabilní – spektrum se pohybuje od tmavě hnědé po olivově zelenou. Spodní strana těla je světle žlutá. Rozlišovacím znakem jsou hnědočervené pruhy na abdominálních člancích (Kozák et al. 2015) nebo oranžové zbarvení špiček klepet, které je ohraničené tmavým proužkem. Cephalothorax raka pruhovaného je relativně úzký a hladký. Pouze na bocích a za týlní brázdou disponuje karapax ostnatými trny (Holdich et al. 2006 cit. Kozák et al. 2015). V hlavové části nalezneme pouze 1 pár postorbitálních lišt a dlouhé rostrum (Kozák et al. 2015).

Pochází z východní části severní Ameriky a do Evropy se dostal již roku 1890, konkrétně do Polska, kde měl sloužit jako náhrada po račím morem zdecimovaných populací (Kossakowski 1966 cit. Petrusek et al. 2006). Na naše území se dostal přirozenou migrací proti proudu řeky Labe z Německa (Petrusek et al. 2006). Další šíření druhu však bylo primárně zapříčiněno lidskou činností. Jeho výskyt je vázán na tekoucí i stojaté vody (Kozák et al. 2015). Preferuje měkká dna s vrstvou sedimentu, kterou využívá k zahrabávání se (Petrusek et al. 2006). Jako úkryty využívá i nory a kořenový systém (Holdich & Black 2007). Svou činností tak přispívá k erozi břehů a dna (Statzner et al. 2000).



Dospívá ve druhém roce života (Hamr 2002 cit. Kozák et al. 2015). Páření probíhá na podzim (Holdich et al. 2006 cit. Kozák et al. 2015), spermatofory si však samice dokáže uskladnit v semenné schránce až do jara následujícího roku (Vogt 2002 cit. Kozák et al. 2015), kdy zároveň dochází i ke kladení (Hamr 2002 cit. Kozák et al. 2015). Samice vyprodukuje až 400 vajíček. Velikost snůšky je však značně variabilní. Inkubace raka pruhovaného je zároveň velmi krátká. Trvá přibližně 3 týdny, což umožňuje samici vyprodukovat až 2 snůšky ročně – v brzkém a pozdním létě, a druhu poměrně rychle kolonizovat nová území (Holdich & Black 2007).

V případě tohoto druhu byla dokonce zaznamenána i schopnost fakultativní apomixie. Byla však zaregistrována pouze za laboratorních podmínek, a i když byla jednotlivá pohlaví v průběhu experimentu fyzicky oddělená, chemické komunikaci samců se samicemi zabráněno nebylo (Buřič et al. 2011).

### **1.2.1.3 Rak mramorovaný**

Rak mramorovaný (*Procambarus virginalis*, *Cambaridae*) je partenogenetickou formou raka mramorového (*Procambarus fallax*) (Martin et al. 2010). Dorůstá nejčastěji do 10 cm a v laboratorních podmínkách se dožívá 2 let. Jeho vzhled je v podstatě nezaměnitelný. Typickým mramorovaným zbarvením karapaxu, podle kterého nese své jméno, disponují především jedinci z akvarijního chovu. Ve volné přírodě jsou boky karapaxu a abdomen posety hlavně hnědými a zelenými skvrnami (Lyko 2017).

Stejně jako u raka pruhovaného, nalezneme u raka mramorovaného pouze 1 pár postorbitalních lišt. Jeho cephalothorax je hladký a trny se objevují pouze za týlní brázdou. Klepeta jsou malá a jen slabě zrnitá. (Kozák et al. 2015).

Obývá stojaté i tekoucí vody a vytváří jednoduché nory (Hendrix & Lottus 2000 cit. Kozák et al. 2015). První zmínka o tomto druhu na našem území pochází z roku 2016, kdy byla jeho první populace objevena v Praze na Proseku. Druhá byla zaznamenána hned v témže roce v severních Čechách. Jednalo se o zcela oddělené populace. Nabízí se proto myšlenka, že původci jsou jedinci, pocházející z akvarijního chovu (Patoka et al. 2016).

Vzhledem k jeho krátkému životnímu cyklu, rak mramorovaný dospívá již mezi 25.–35. týdnem života a samice dokáže naklást až 270 vajíček. Menší samice jich pak zvládnou až 150 (Vogt et al. 2004). Jejich inkubace je navíc relativně krátká (Seitz et al. 2005). Zároveň dokáže vyprodukovat celou škálu různých fenotypů svých potomků, byť se jinak

jedná o geneticky zcela identické klony (Vogt 2008). Ačkoli byla partenogeneze zaznamenána už u raka pruhovaného, rak mramorovaný disponuje určitým specifíkem. Jedinci raka mramorovaného jsou triploidní, v důsledku čehož dochází k jeho reprodukční izolaci od sympatrických pohlavně se rozmnožujících příbuzných jedinců (Lyko 2017).

Navíc nebyli zaznamenáni žádní samci tohoto druhu (Patoka et al. 2016). I díky tomu se jedná o velmi efektivní vektor invaze. Jedna samice potenciálně dokáže založit novou populaci (Scholtz et al. 2003).

#### **1.2.1.4 Rak bahenní**

Rak bahenní (*Pontastacus leptodactylus*) se dožívá více než 10 let a standardně dorůstá kolem 15 cm (Holdich et al. 2006 cit. Kozák et al. 2015). Disponuje úzkým cephalothoraxem, jehož boky a svrchní strana jsou pokryty trnitými hrbolky. V hlavové části jsou patrné 2 páry postorbitálních lišt a dlouhý rostrum. Klepeta jsou charakteristicky dlouhá a úzká. Jejich svrchní strana je stejně zbarvená jako tělo, na rozdíl od spodní strany, která je světle žlutá (Kozák et al. 2015).

Jeho původ je udáván v Pontokaspické oblasti (Kouba et al. 2014) a do Čech byl introdukován z Haliče ve druhé polovině 19. století (Fischer et al. 2004). Dnes je však již považován za přirozenou část naší fauny (Kozubíková et al. 2006). Jeho výskyt na našem území je nicméně spíše ostrůvkovitý. Obývá hlubší i mělká jezera, velké řeky i menší potoky (Kozák et al. 2015), a jak jeho název napovídá, snáší i zabahněnější lokality (Chobot 2006).

Dospělosti dosahuje mezi 3. a 4. rokem života (Skurdal & Taugbøl 2002 cit. Kozák et al. 2015) a samice dokáží v jedné snůšce vyprodukovat i 200 vajíček (Stucki & Romer 2001).

#### **1.2.1.5 Rak říční**

Prvním z našich původních druhů je rak říční (*Astacus astacus*). Jedná se o relativně velký druh raka, který dorůstá až 15 cm. Výjimečně nalezneme i jedince o velikosti 20 cm. Hřbetní strana těla raka říčního je hnědá. V hlavové části nalezneme dlouhý rostrum a 2 páry postorbitálních lišt. Klepeta raka říčního jsou velmi robustní. Jejich svrchní strana je hrboilatá, zbarvená jako zbytek těla, zespodu sytě červená (Kozák et al. 2015).

Na našem území je distribuce tohoto druhu rovnoměrná (Chobot 2006). Obývá různě velké potoky, řeky i stojaté vody (Dyk 1977 cit. Kozák et al. 2015). Vytváří si mělké nory, nejčastěji v jílovitých březích. Preferuje zejména břehy porostlé vegetací, zpevněné kořeny stromů. Dále jako úkryty využívá velké kameny (Kozák et al. 2015).

Reprodukční sezóna raka říčního začíná na podzim (Faller et al. 2006). Samice zvládne v průměru vyprodukovat až 150 vajíček (Stucki & Romer 2001). Ve srovnání s invazními raky je tedy plodnost raka říčního signifikantně nižší.

#### 1.2.1.6 Rak kamenáč

Rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium*), který je zároveň předmětem předkládané práce, je našim druhým a rovněž posledním autochtonním rakiem. Jedná se o nejmenší a nejpomaleji rostoucí druh. Dospělí jedinci mohou dosahovat velikosti až 10 cm (Kozák et al. 2015) a zpravidla se dožívají více než 10 let (Holdich et al. 2006 cit. Maguire & Klobučar 2011). Svrchní strana těla kamenáče je většinou hnědá, spodní výrazně světlejší. Cephalothorax je jemně zrnitý, bez výrazných trnů. V hlavové části nalezneme 1 pár postorbitálních lišt a krátké, tupé rostrum. Kamenáč navíc disponuje nemalými drsnými klepety, která jsou zespodu zpravidla béžová (Kozák et al. 2015).

Na našem území bylo zaznamenáno již více než 50 lokalit, kde byl výskyt raka kamenáče potvrzen. Jeho centrum je soustředěno především ve středních a západních Čechách (Fischer & Vlach 2018). Další populace byly nalezeny i v severních Čechách (Vlach et al. 2009).

Vyskytuje se v potocích a malých říčkách horských a podhorských oblastí (Římalová et al. 2014). Vyhledává přirozeně meandrující toky s proměnlivou hloubkou a šířkou toku (Huber & Schubart 2005; Kozák et al. 2015). Právě taková variabilita toku je pro raka kamenáče podstatná, neboť má významný vliv na hustotu jeho populací (Weinländer & Füreder 2010). Zásadní vliv na abundanci raků na toku má tedy i regulace daného toku a jeho pobřežní vegetace (Dakic & Maguire 2016).

Vhodný habitat pro raka kamenáče obvykle koreluje s výskytem některých druhů hmyzu v larválním stádiu, jako jsou jepice, pošvatky nebo chrostíci (Weinländer & Füreder 2010). Preferuje kamenitý až balvanitý substrát, kde vyhledává úkryty pod kameny (Fischer et al. 2004). Výjimečně vytváří nory v jílovitých březích (Kozák et al. 2015).

Byť poměrně dlouhou dobu převládala myšlenka, že kamenáč ke svému životu vyžaduje habitaty s velmi dobrou kvalitou vody, ukázalo se, že jeho tolerance ke znečištění je mnohem větší (Huber & Schubart 2005; Svobodová et al. 2008). Jeho poměrně široká tolerance se objevuje i v případě dalších fyzikálních a chemických parametrů prostředí (Vlach et al. 2012). Velmi snadno totiž vytváří své různé geografické variety (Laurent 1988 cit. Fischer et al. 2004).

Na lokalitách s vhodnými podmínkami dospívá většinou ve třetím roce života. Jedná se o K-stratéga (Kozák et al. 2015). Samice dokážou v reprodukčním období vyprodukovat snůšku s až 100 vajíčky (Štambergová et al. 2009).

### 1.3 Ohrožení

Naše původní druhy jsou ohroženy hned několika faktory. Na populace raků má například vliv nevhodné zemědělské obhospodařování nebo zanesení koryta rybničním bahnem (Fischer & Vlach 2018). To může pocházet z blízkých chovných nádrží, které rovněž zvyšují pravděpodobnost eutrofizace vody. Zásadní jsou i zásahy do přirozených koryt, které mohou v určitých případech vést k nedostatku úkrytů nebo zrychlení proudění vody, jež znemožňuje rakům pohyb v korytě (Fischer et al. 2004). Problematická je samozřejmě i predace. Často se v tomto kontextu hovoří o predaci nepůvodním norkem americkým (*Neovison vison*) (Fischer et al. 2009). Velký význam má i predace rybami, vydrou říční (*Lutra lutra*) nebo třeba ondatrou pižmovou (*Ondatra zibethicus*) (Kozák et al. 2015).

Vážným problémem jsou invazní druhy raků. Oproti původním druhům disponují několika zásadními výhodami – bývají aktivní ve dne i v noci (Bubb et al. 2006), agresivnější (Souty-Grosset et al. 2006), plodnější (Chybowski 2013), více adaptovatelné, a svou činností tudíž vytlačují druhy původní. Navíc se jedná zpravidla o přenašeče infekce račího moru, jelikož v důsledku společné koevoluce parazita a hostitele (Kozák et al. 2015) dokáže jejich metabolismus růst původce inhibovat. Navzdory tomu však parazit přežívá a do vody stále uvolňuje své zoospory, které napadají další jedince (Kozubíková et al. 2008).

Tato infekce představuje podstatnou hrozbu pro naše původní raky. Pro autochtonní evropské druhy je totiž fatální (Alderman et al. 1987 cit. Kozubíková-Balcarová et al. 2014). Račí mor způsobuje oomyceta *Aphanomyces astaci* z řádu Saprolegniales, která prorůstá do kutikuly, v níž vytváří široce rozvětvené mycelium (Kozák et al. 2015). Nedokáže však přežít delší dobu bez raka, jakožto svého hostitele (Kozubíková et al. 2008). *A. astaci* je dokonce tak adaptovaný na sladkovodní raky, že není schopen přežít na jiném hostiteli, či v jiném prostředí (Söderhäll & Cerenius 1999 cit. Kozubikova et al. 2009).

### 1.4 Cíl

Předkládaná práce si klade za cíl rozšířit poznatky o reprodukční biologii raka kamenáče. Navazuje tak na nepublikované práce Veselovský & Brichcín (2017) a Vaňková (2020), přičemž se zaměřuje na další aspekt hodnocení plodnosti raků. Dílčími cíli je poté stanovit,

do jaké míry jsou samice schopny přežít přezimování a dále zhodnotit mortalitu vajíček během inkubace a jejich líhnivost.

Práce má potenciál v přesnějším odhadu velikostí populací na jednotlivých tocích a poskytuje další data pro tvorbu záchranného programu pro raka kamenáče. Práce vznikla v rámci monitoringu raka kamenáče pod vedením RNDr. Pavla Vlacha, Ph.D.

## **2 Materiál a metody**

Sběr dat probíhal na celkem 10 tocích během dvou reprodukčních sezón. V prvním roce byl sběr dat prováděn na 6 potocích mezi 14. a 19. listopadem 2020. Jednalo se o Zubřinu, Mítovský, Přešínský, Rakovský, Hůrecký a Příkosický potok. Druhý rok experiment probíhal pouze na 4 tocích: Chocenickém, levém přítoku Mítovského, Skořickém a Mešenském. Sběr zde probíhal 27. a 28. října 2021.

### **2.1 Charakteristika toků**

#### **2.1.1 Zubřina**

Potok Zubřina řadíme do povodí řeky Radbuzy. Pramení nedaleko hranic s Německem u obce Pasečnice (552 m. n. m.) v Plzeňském kraji, kde dále protéká městem Domažlice a po 33,1 km se u obce Staňkov (355 m. n. m.) vlévá do Radbuzy. Svou rozlohou zabírá plochu 213,7 km<sup>2</sup> (Vlček et al. 1984). Tok se vyznačuje zejména sympatrickým výskytem raka kamenáče s našim druhým autochtonním rakem – rakem říčním (Vlach et al. 2009). Sběr dat byl realizován na napřímeném úseku potoka u železničního mostu (viz obr. 1), nedaleko obce Havlovice. Na tomto úseku byla poté umístěna i klec se samicemi. Souřadnice: S 49°25'6.729", V 12°53'7.859".

#### **2.1.2 Mítovský potok a jeho levý přítok**

Mítovský potok spadá do povodí Úslavy. Pramení 1,5 km severovýchodně od obce Chynín, která se nachází jihovýchodním směrem od Spáleného Poříčí, v 672 m. n. m. Délka toku činí 8,6 km. U obce Hořehledy se pak potok vlévá do Bradavy v nadmořské výšce 444 m. n. m. (Vlček et al. 1984). I na tomto toku byl zaznamenán sympatrický výskyt raka kamenáče s rakem říčním (Vlach et al. 2009). Sběr raků probíhal zhruba 1 km východně od obce Nové Mitrovce na souřadnicích S 49°34'32.384" a V°13°41'41.408" (viz obr. 2).

Levý přítok Mítovského potoka pramení v 660 m. n. m. západním směrem od obce Nové Mitrovce a za obcí Mítov se po 4,3 km vlévá do Mítovského potoka v 560 m. n. m. Na toku byl rovněž zaregistrován sympatrický výskyt s rakem říčním (Vlach et al. 2009). Sběr dat proběhl před ústím nedaleko lomu Mítov na souřadnicích S 49°35'27.558" a V 13°39'22.114".



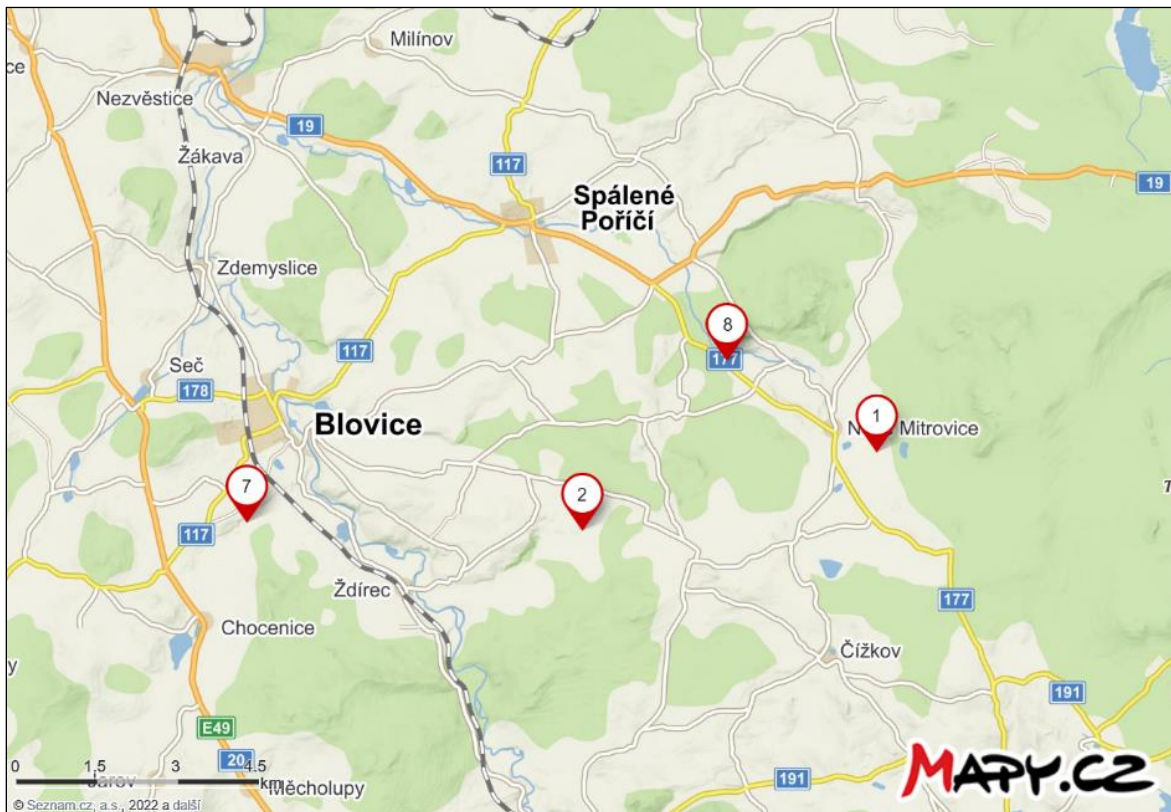
**Obr. 1:** Mapa zobrazuje umístění klece na Zubříně. Číslo značky reflektuje pořadí, v němž byly klece na lokalitách umístěny (zdroj: mapy.cz).

### 2.1.3 Přešínský potok

I Přešínský potok řadíme do povodí řeky Úslavy. Pramení ve 485 m. n. m. severně od obce Přešín a ústí po 5,5 km ve 395 m. n. m. zprava do Úslavy v obci Ždírec (Vlach et al. 2009). Sběr raků proběhl východně od obce Louňová na souřadnicích S 49°33'45.092", V 13°37'7.024".

### 2.1.4 Chocenický potok

Chocenický potok pramení 0,5 km severně od Jarova ve 491 m. n. m. Spadá do povodí řeky Úslavy, do níž se i vlévá po 7,4 km v Blovicích (380 m. n. m.). Potok zabírá celkovou plochu 25,7 km<sup>2</sup> (Vlček et al. 1984). Klec byla umístěna jihozápadně od Blovic na souřadnicích S 49°33'50.604 a V 13°31'54.092".



**Obr. 2:** Mapa s vyznačenými lokalitami, resp. místy s umístěnými klecemi (1 – Mítovský, 2 – Přešínský, 7 – Chocenický, 8 – LP Mítovský). Číslo lokality reflektuje pořadí, ve kterém byly klece na lokalitách umístěny (zdroj: mapy.cz).

### 2.1.5 Rakovský potok

Rakovský potok pramení u obce Raková na Rokycansku v nadmořské výšce 451 m. n. m. Řadíme ho do povodí Klabavy, do níž se po 5,3 km vlévá zleva v Rokycanech ve výšce 352 m. n. m. (Vlach et al. 2009). Sběr raků proběhl jižně od Rokycan, východně od obce Němčičky (viz obr. 3) na souřadnicích S 49°43'24.491'' a V 13°34'49.215''.

### 2.1.6 Hůrecký potok

I Hůrecký potok patří do povodí Klabavy. Pramení východně od obce Hůrky ve výšce 573 m.n. m. Čítá 6,7 km a v obci Svojkovice, které se nacházejí severovýchodně od Rokycan, se zleva vlévá do Holoubkovského potoka ve 393 m. n. m. (Vlach et al. 2009). Data byla získána z úseku u obce Hůrky na souřadnicích S 49°44'41.031'' , V 13°41'5.179''.

### 2.1.7 Příkosický potok

Příkosický potok je dalším z vybraných toků, který spadá do povodí Klabavy. Pramení v obci Příkosice v nadmořské výšce 500 m. n. m. Měří 3,5 km, po kterých se v obci Mirošov vlévá zleva do Skořického potoka (435 m. n. m.). Tok je charakteristický sympatrickým



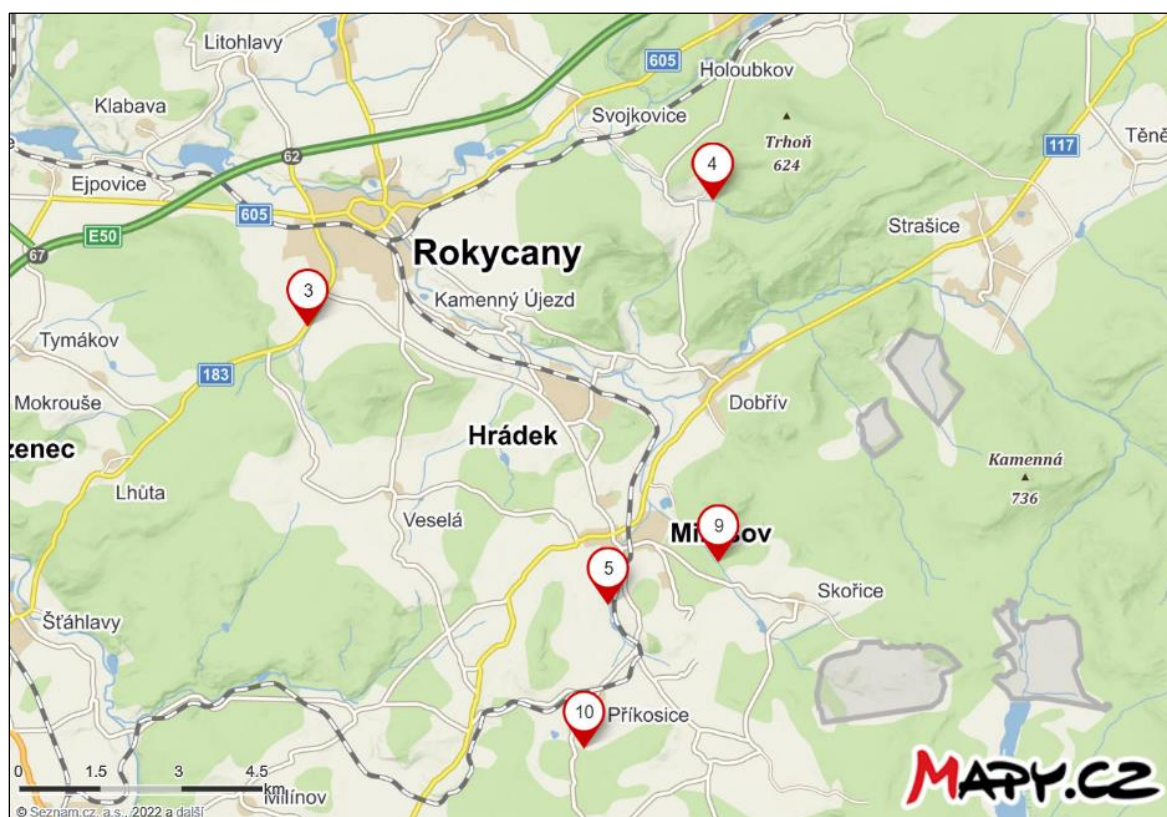
výskytem raka kamenáče s rakem říčním (Vlach et al. 2009). Sběr dat byl proveden jižně od Mirošova, pod rybníkem Pohodák na souřadnicích S 49°40'37.616" a V 13°39'28.465".

### 2.1.8 Skořický potok

Skořický potok, spadající do povodí Klabavy, pramení na jižním svahu Okrouhlíku, jihovýchodně od obce Skořice v 665 m. n. m. Tok zabírá celkovou plochu 35,3 km<sup>2</sup> a po 10 km ústí z levé strany do Klabavy na severu od Skořice v 405 m. n. m. (Vlček et al. 1984). Data byla získána východně od Mirošova na souřadnicích S 49°41'3.539" a V 13°41'10.801".

### 2.1.9 Mešenský potok

Mešenský, nebo také Kornatický potok pramení u obce Trokavec v 595 m. n. m. a řadíme jej do povodí řeky Úslavy, do níž se také po 16,2 km i zprava vlévá v obci Štáhlavice v 352 m. n. m. (Vlček et al. 1984). Na toku byla v roce 2015 zaznamenána přítomnost račího moru (Svobodová et al. 2016). Raci byli odchyceni jižně od Příkosic nad Příkosickým rybníkem. Souřadnice sběru: S 49°39'11.700" a V 13°39'6.394".



**Obr. 3:** Na mapě jsou znázorněny lokality, kde byly umístěny klece (3 – Rakovský, 4 – Hůrecký, 5 – Příkosický, 9 – Skořický, 10 – Mešenský). Čísla lokalit respektují pořadí, v němž proběhl sběr dat na jednotlivých tocích (zdroj: mapy.cz).

## 2.2 Průběh experimentu

K odchytu jedinců byl využit jak sběr ruční, tak i s pomocí sítě. Využitý způsob odchytu raků závisel na konkrétní morfologii toku, rychlosti proudění vody a její hloubce. Na každé lokalitě bylo vždy prohledáno celkem 200 úkrytů. Výjimku tvořil pouze Hůrecký a Chocenický potok, na kterém jich bylo prohledáno jen 150. Na každé lokalitě byl odchycen co největší počet jedinců, byť důraz byl především kladen na samice nesoucí vajíčka. U všech jedinců bylo stanoveno pohlaví a následně byly změřeny jejich tělesné parametry – délka těla (TL v mm), délka karapaxu (CL v mm) a hmotnost (v g). U samic byla zhodnocena plodnost dle přítomnosti cementových žlázek a samicím s vajíčky byla vždy přepočítána snůška, a to 3 nezávislými přepočítáními (hodnoty byly následně zprůměrovány). Zároveň byla zhodnocena i její úplnost.

Ze samic, jež nesly snůšku byly na každé lokalitě vybrány 4, které byly nakonec separovaně umístěny do klece z perforovaného duralu. Pro přehlednost byla samicím přiřazena čísla od 1 do 4 po směru proudu a to tak, že nejvýše položená samice na toku disponovala číslem 1.

Pro klec bylo vždy nalezeno vhodné místo, dostatečně hluboké tak, aby byla posléze uzavřená klec zcela ponořená. Před umístěním samic byla klec vhodně připravena – její dno bylo pokryto drobnými kameny a nahnilým opadem. Na to byly položeny větší kameny, které měly sloužit jako úkryt. Teprve poté bylo možné vložit samice. Klec byla nakonec uzavřena, zajištěna a zatížena kameny. Samice byly takto v klecích ponechány až do jarního líhnutí.

Na jaře probíhala kontrola jednotlivých klecí (11.–22. 6. 2021, resp. 28. 5.–19. 6. 2022). Samice byly znovu přeměřeny, u jejich snůšek bylo zhodnoceno, zda již dochází k líhnutí, či nikoli a vajíčka byla třikrát přepočítána, stejně tak později po jejich vylíhnutí juvenilní jedinci (22.–27. 6. 2021, resp. 3.–25. 6. 2022).

## 2.3 Vyhodnocení dat

Statistická analýza získaných dat byla provedena v programu NCSS 9. Všechny testy byly vyhodnoceny na hladině významnosti 95 %. Rozložení dat bylo analyzováno Kolmogorov-Smirnovovým testem. Při normálním rozložení dat ( $P > 0,05$ ) bylo následně provedeno vyhodnocení jednocestnou parametrickou analýzou rozptylu (ANOVA) a Tukey-Kramerovým testem. Naopak při nenormálním rozdělení ( $P < 0,05$ ) byla data vyhodnocena neparametrickou Kruskal-Wallis ANOVA analýzou.

Vztahy mezi délkou karapaxu, resp. hmotností samic a počtem vajíček byly vyhodnoceny v programu MS Excel 2019. Z tohoto hodnocení byly vyřazeny samice, jejichž snůšky byly označeny jako neúplné.

Data z klecového experimentu byla vyhodnocena neparametrickou Kruskal-Wallis ANOVA analýzou, resp. jednocestnou parametrickou analýzou (ANOVA) – v závislosti na rozložení dat, a lineární regresí v programu NCSS 9. Mortalita byla poté vyhodnocena jako podíl zemřelých samic a samic z klecí. Líhivost byla následně vyhodnocena jako podíl počtu jedinců, kteří se vylíhli z červenové snůšky.

### 3 Výsledky

Data byla získána na celkem 10 tocích v západních Čechách: Zubřině, Hůreckém, Rakovském, Skořickém, Příkosickém, Mešenském, Přešínském, Chocenickém, Mítovském potoce a jeho levém přítoku.

Poměr pohlaví na jednotlivých tocích se významně nelišil – vyjímaje Hůrecký potok, kde byl zaznamenán výraznější nepoměr (18 samic, 8 samců) – a byl rovnocenný. Odchyceno bylo celkem 136 samic, přičemž snůšku neslo pouze 55 jedinců. Z tohoto počtu bylo 7 snůšek shledáno jako neúplných. Pro klecový experiment bylo následně vybráno celkem 40 samic.

#### 3.1 Délková a hmotnostní struktura

Průměrná velikost odchycených samic dosahovala 45,3 mm TL a 21,8 mm CL. Zcela nejmenší samice pocházela z Přešínského potoka a měřila 18,8 mm TL a 9,0 mm CL (0,3 g). Naopak největší samice byla nalezena na Hůreckém potoce, přičemž dosahovala 70,4 mm TL a 34,6 mm CL (10,4 g).

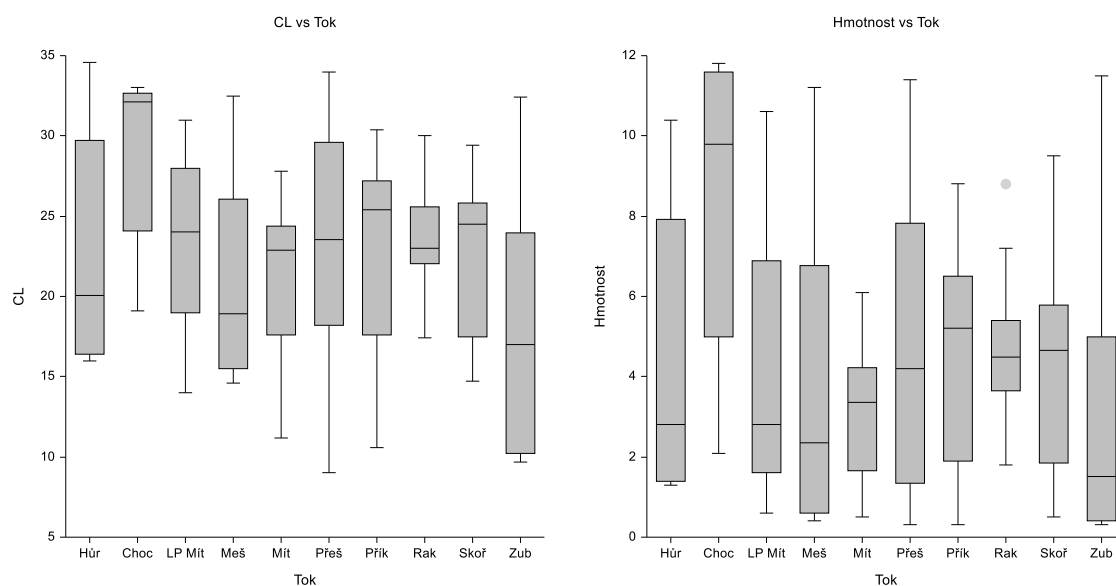
Samice s vajíčky v průměru dosahovaly 27,7 mm CL a 57,5 mm TL. Nejmenší samice se snůškou měřila 21,1 mm CL a 44 mm TL (3,4 g, 33 vajíček) a pocházela z Hůreckého potoka. Ta největší dosahovala 34,6 mm CL a 70,4 mm TL (10,4 g). Jednalo se tedy zároveň o zcela největší odchycenou samici, jak již bylo zmíněno výše. Její snůška však čítala pouhých 8 vajíček a byla vyhodnocena jako neúplná. Zbylá vajíčka navíc jevila známky plísňové infekce.

Rozložení dat délek karapaxu samic na jednotlivých tocích bylo vyhodnoceno jako normální. Jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) prokázala signifikantní rozdíly v datech ( $P = 0,021$ ) – rozdíl byl Tukey-Kramerovým testem shledán mezi Chocenickým potokem (průměr 29,1 mm) a Zubřinou (průměr 17,7 mm) (kritická hodnota 4,56).

Průměrná hmotnost samic čítala 4,1 g. Nejlehčí samice pocházela z Přešínského potoka (0,3 g, 9 mm CL, 18,8 mm TL). Naopak nejtěžší samice byla zaregistrována na potoce Chocenickém (11,8 g, 32,1 mm CL, 66,9 mm TL, 8 vaj.). Tato samice je zároveň největší odchycenou samicí (viz výše).

I v případě hmotnosti byla data rozložena normálně. Zde analýza rozptylu ukázala rovněž na rozdíly ( $P = 0,046$ ). Tukey-Kramerův test konkrétně vyhodnotil rozdíly mezi Chocenickým potokem (průměr 8,6 g) a Zubřinou (průměr 3,1 g), resp. Mítovským potokem

(průměr 2,9 g) (kritická hodnota 4,56). Délková a hmotnostní struktura samic na jednotlivých tocích je znázorněna na obr. 4.

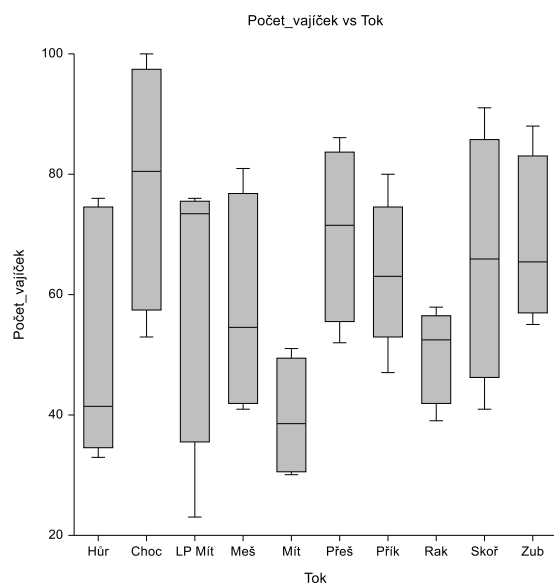


**Obr. 4:** Rozložení délek karapaxu (CL v mm, vlevo) a hmotností (v g, vpravo) samic na jednotlivých lokalitách (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $3 \times \text{IQR}$ ): osa x – toky, osa y – délka karapaxu (CL v mm, vlevo) a hmotnost (v gramech, vpravo).

### 3.2 Počet vajíček ve snůšce

Při hodnocení početnosti vajíček na jednotlivých lokalitách byly vyřazeny samice, jejichž snůška byla při sběru dat označena jako neúplná. Průměrný počet vajíček ve snůšce byl 60. Podrobnější popis z hlediska jednotlivých lokalit poskytuje Tab. 1. Zcela nejmenší snůška byla zaregistrována na levém přítoku Mítovského potoka u samice s 27,7 mm CL a 57,5 mm TL (6,9 g, 23 vaj.). Ta největší pocházela od samice z Chocenického potoka (100 vaj., 32,3 mm CL, 66,0 mm TL, 11,4 g).

Data početnosti vajíček ve snůšce byla vyhodnocena jako normálně rozložená. Při analýze rozptylu (ANOVA) poté nebyly shledány žádné rozdíly mezi jednotlivými toky ( $P = 0,052$ ). Rozložení počtu vajíček na jednotlivých tocích je patrné z obr. 5.



**Obr. 5:** Velikosti snůšek na jednotlivých lokalitách (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $-3 \times \text{IQR}$ ): osa x – toky, osa y – počet vajíček.

**Tab. 1:** Tabulka znázorňuje počty samic (N), průměr ( $\bar{x}$ ), medián (Med), minimální (Min) a maximální (Max) počet vajíček na jednotlivých lokalitách. Tabulka nezahrnuje samice s neúplnou snůškou.

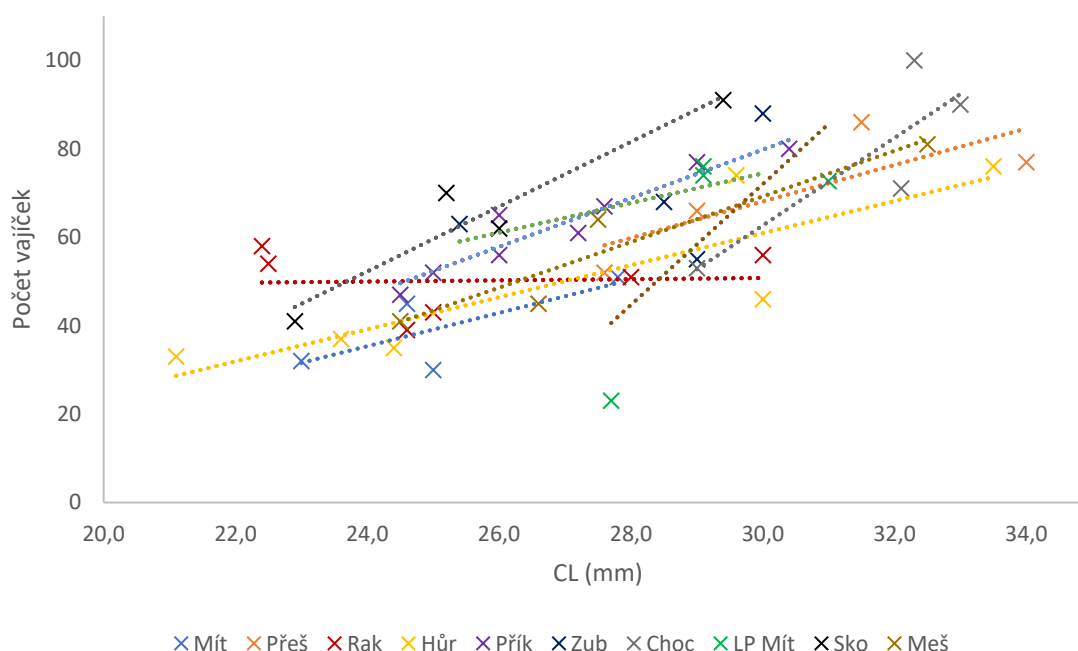
Tok	N	$\bar{x}$	Med	Min	Max
Hůrecký potok	6	50	42	33	76
Chocenský potok	4	79	81	53	100
LP Mítovského potok	4	61	73	23	76
Mešenský potok	4	58	55	41	81
Mítovský potok	4	40	39	30	51
Přešínský potok	4	70	72	52	86
Příkosický potok	8	63	63	47	80
Rakovský potok	6	50	53	39	58
Skořický potok	4	66	66	41	91
Zubřina	4	69	66	55	88
Celkem	48	60	60	23	100

### 3.2.1 Vztah mezi počtem vajíček a délkou karapaxu, resp. hmotností

Vyjma Rakovského potoka byla na všech lokalitách nalezena pozitivní korelace mezi délkou karapaxu (CL) a počtem vajíček. Jedna z nejsilnějších korelací byla shledána na levém přítoku Mítovského potoka. Velmi silná korelace je patrná i na Přešínském a Skořickém potoce. Veškeré závislosti jsou patrné z grafu na obr. 6. Rovnice přímek jednotlivých toků jsou obsaženy v tab 2.

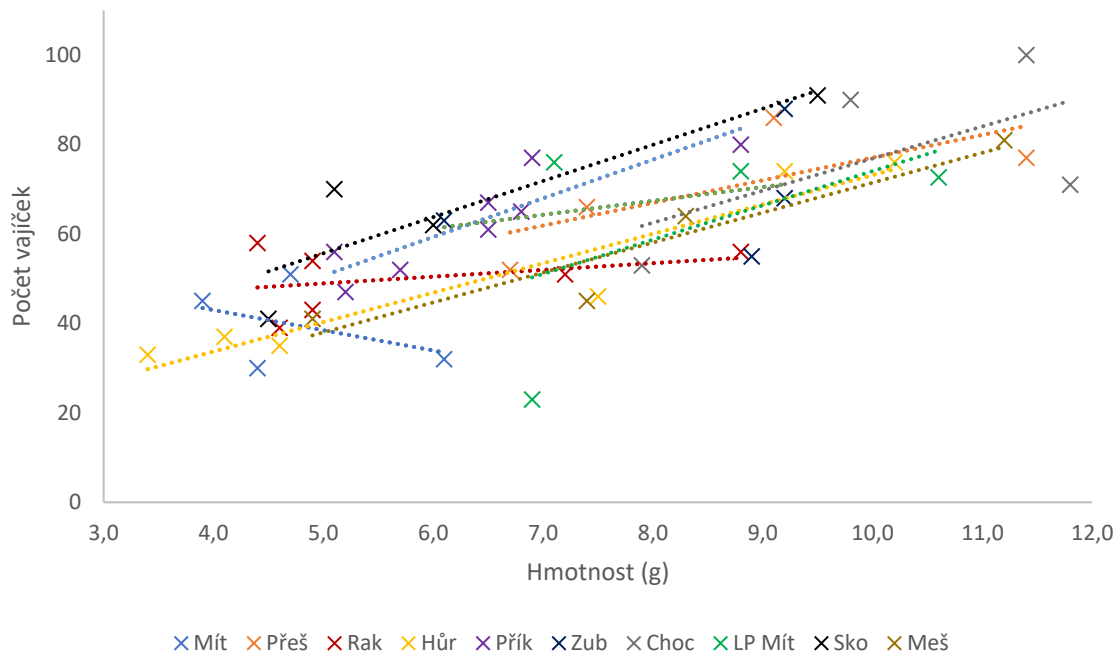
**Tab. 2:** Vztahy mezi délkou karapaxu (CL), resp. hmotností samic a počtem vajíček (y – počet vajíček, x – délka karapaxu v mm, resp. hmotnost v g).

Tok	Rovnice přímky – CL	Rovnice přímky – hmotnost
Mítovský potok	$y = 3,7625x - 54,94$	$y = -4,5173x + 61,07$
Přešínský potok	$y = 4,1274x - 55,738$	$y = 5,0685x + 26,407$
Rakovský potok	$y = 0,134x + 46,76$	$y = 1,5081x + 41,419$
Hůrecký potok	$y = 3,625x - 47,831$	$y = 6,5771x + 7,4152$
Příkosický potok	$y = 5,4909x - 84,924$	$y = 8,6503x + 7,4384$
Zubřina	$y = 3,3496x - 26,041$	$y = 3,0984x + 42,628$
Chocenický potok	$y = 9,9049x - 234,49$	$y = 7,1818x + 5,0662$
LP Mítovského potoka	$y = 13,647x - 337,4$	$y = 7,6652x - 2,5875$
Skořický potok	$y = 7,325x - 123,53$	$y = 8,0893x + 15,24$
Mešenský potok	$y = 5,1576x - 85,502$	$y = 6,6954x + 4,5214$



**Obr. 6:** Vztah mezi délkou karapaxu (CL v mm, osa x) a počtem vajíček (osa y) na jednotlivých tocích.

Při vyhodnocování vztahu mezi hmotností samic a počtem vajíček vyzněla pozitivní korelace mezi jednotlivými parametry na většině toků. Jedinou výjimku tvořil Mítovský potok, kdy byla shledána negativní korelace mezi proměnnými. Veškeré závislosti jsou zobrazeny na obr. 7. Rovnice přímek pro jednotlivé lokality jsou patrné v tab. 2.



**Obr. 7:** Vztah mezi hmotnostmi samic (g, osa x) a počtem vajíček (osa y) na jednotlivých tocích.

### 3.3 Klecový experiment

#### 3.3.1 Délková a hmotnostní struktura

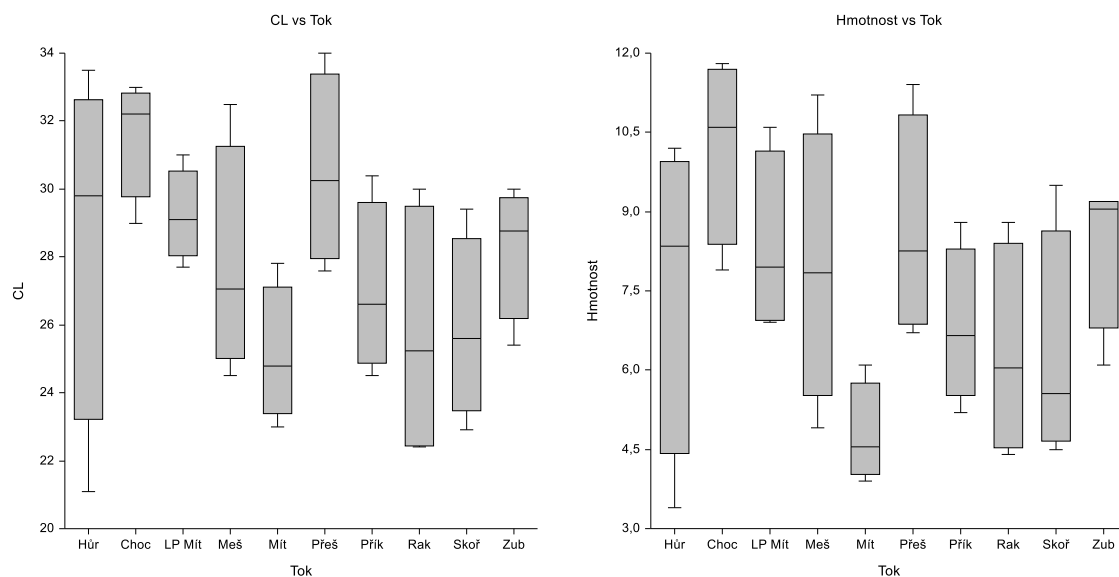
Průměrná délka karapaxu samic v klecích čítala 28,0 mm CL a 58,1 mm TL. Nejmenší samice pocházela z Hůreckého potoka a dosahovala 21,1 mm CL a 44,0 mm TL (3,4 g, 33 vaj.). Nejdelší karapax byl naměřen u samice z Přešínského potoka a dosahoval 34,0 mm CL (65,9 mm TL, 11,4 g, 77 vaj.). Co se týče celkové délky těla (TL), zcela největší samice pocházela z Mešenského potoka. Její tělo měřilo 69,0 mm (32,5 mm CL, 11,2 g, 81 vaj.).

Rozložení dat délek karapaxu u samic v klecích bylo vyhodnoceno jako normální. Analýza rozptylu (ANOVA) však nenalezla signifikantní rozdíly mezi jednotlivými toky ( $P = 0,072$ ). Rozložení délek karapaxu na jednotlivých tocích je znázorněno na obr. 8.

Průměrná hmotnost samic byla 7,5 g. Nejnižší byla zjištěna u samice z Hůreckého potoka, a to 3,4 g – jednalo se zároveň i o zcela nejmenší samici klecového experimentu (viz výše). Nejtěžší samice pocházela z Chocenickeho potoka a vážila 11,8 g (32,1 mm CL, 66,9 mm TL, 71 vaj.).

I v případě hmotnosti bylo zaregistrováno normální rozložení dat. Jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) ukázala na signifikantní rozdíly mezi daty ( $P = 0,041$ ). Tukey-Kramerův test shledal rozdíly mezi Mítovským (průměr 10,2 g) a Chocenickeým potokem (průměr 4,7 g) (kritická hodnota 4,82). Rozložení dat je patrné z obr. 8.



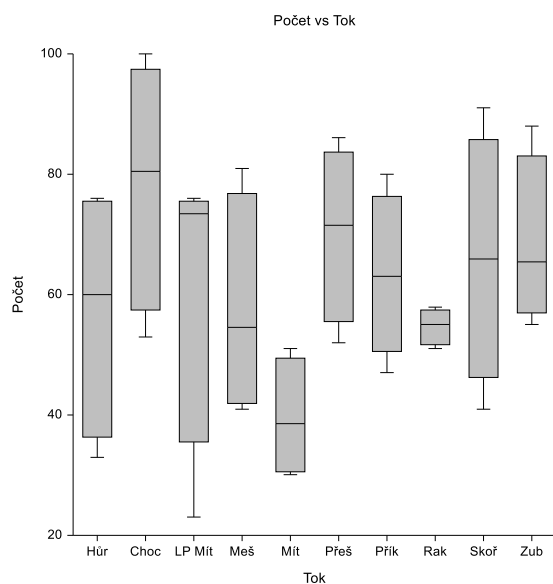


**Obr. 8:** Rozložení délek karapaxu (CL v mm, vlevo) a hmotnosti (v g, vpravo) samic v klecích (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times$  IQR, nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times$  IQR): osa x – toky, osa y – délka karapaxu (CL, vlevo) a hmotnost (vpravo).

### 3.3.2 Počet vajíček ve snůšce

Rozložení dat počtu vajíček na jednotlivých tocích bylo vyhodnoceno jako nenormální. Kruskal-Wallis ANOVA nenalezla v souboru významné odlišnosti ( $P = 0,232$ ,  $H = 11,66$ ). Počet vajíček na jednotlivých tocích je znázorněn na obr. 9.

Samice v klecích nesly snůšku, která v mediánu čítala 63 vajíček. Nejmenší snůška obsahovala 23 vajíček a pocházela ze samice z levého přítoku Mítovského potoka (27,7 mm CL, 57,5 mm TL, 6,9 g). Největší snůška byla napočítána u samice z Choceníckého potoka, a to 100 vajíček (32,3 mm CL, 66,0 mm TL, 11,4 g).



**Obr. 9:** Počty vajíček samic v klecích na jednotlivých tocích (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times$  IQR, nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times$  IQR): osa x – toky, osa y – počet vajíček.

### 3.3.3 Mortalita samic

Mortalita samic byla hodnocena na 30 jedincích. Nebyly započítány samice, které utekly během manipulace s klecemi a dále samice z klecí, které byly v průběhu experimentu odcizeny – celkem tedy 10 samic. Během experimentu byly nalezeny ostatky celkem 6 samic. Hodnota mortality tedy činila 0,2. Nejvyšší mortalita byla zaznamenána na Chocenicím potoce, kde došlo k úhynu 2 samic. Po 1 samici došlo k úhynu i na Mítovském, Skořickém, Mešenském a levém přítoku Mítovského potoka.

### 3.3.4 Mortalita vajíček

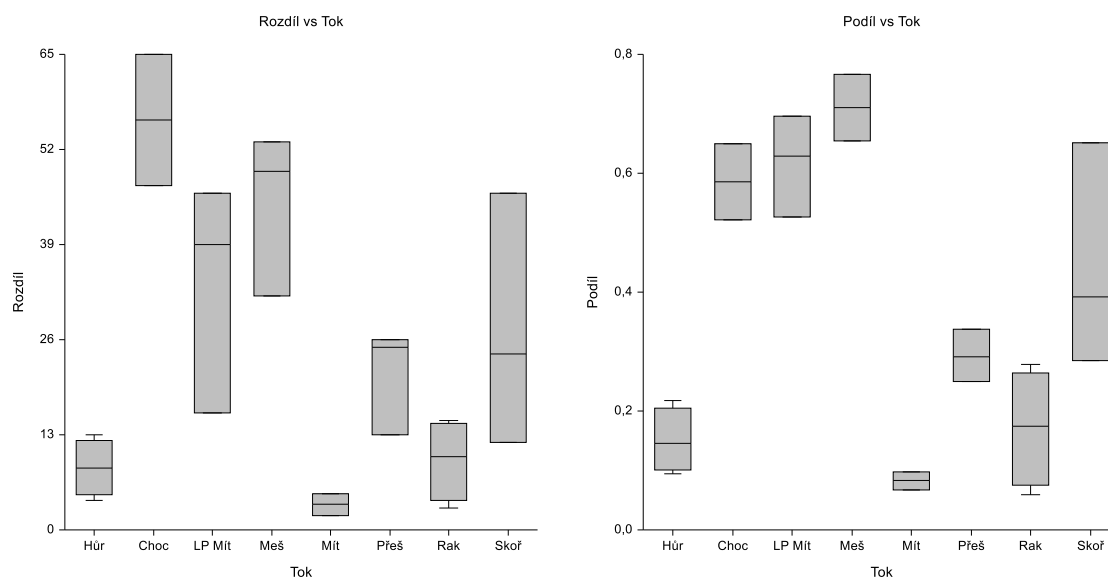
Jelikož došlo v různých fázích experimentu ke ztrátám na životech, byla mortalita vajíček hodnocena pouze na samicích, které se prokazatelně zvládly dožít líhnutí, tzn. u 24 jedinců. Úbytek vajíček se pohyboval mezi 2 a 65 vajíčky. Procentuální úbytek oproti podzimním hodnotám poté činil 5,9–76,6 % z původní velikosti snůšky. V průběhu experimentu nebyla zaznamenána úplná ztráta snůšky.

**Tab. 3:** Medián úbytku vajíček a podílů úbytku na jednotlivých tocích; N – počet samic, které se dožily líhnutí.

Tok	N	Medián úbytku	Průměr podílů
Hůrecký	4	8,5	0,151
Chocenický	2	56	0,586
LP Mítovský	3	39	0,617
Mešenský	3	49	0,710
Mítovský	2	4	0,082
Přešínský	3	25	0,293
Rakovský	4	10	0,171
Skořický	3	24	0,443

Kruskal-Wallis ANOVA vyhodnotila rozdíly v úbytku na jednotlivých tocích jako statisticky významné ( $P = 0,010$ ,  $H = 18,41$ ). Medián úbytku na jednotlivých tocích vyjadřuje tab. 3. Rozdíl v úbytku je znázorněn na obr. 10.

I podíl úbytku na jednotlivých tocích po vyhodnocení jednocestnou parametrickou analýzou rozptylu (ANOVA) jevil signifikantní odlišnosti mezi lokalitami ( $P = 0,000$ ). Tukey-Kramerův test vyhodnotil statisticky významné rozdíly mezi většinou lokalit. Průměr podílů úbytku na jednotlivých tocích zobrazuje tab. 3. Podíl úbytku je dále znázorněn na obr. 10.

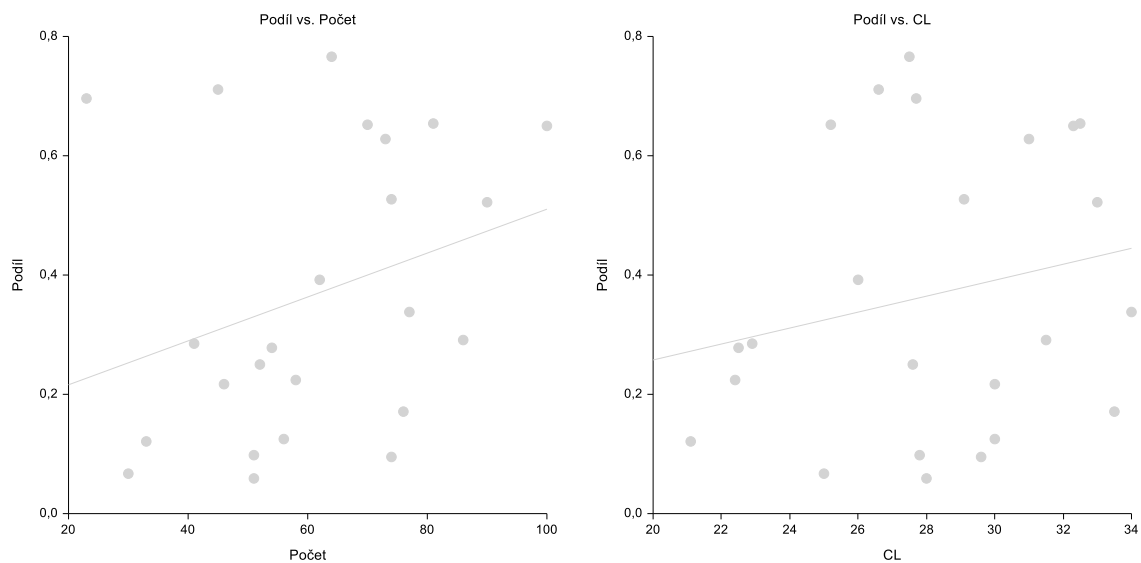


**Obr. 10:** Rozdíl úbytku vajíček (vlevo) a podíl úbytku vajíček (vpravo) na jednotlivých tocích (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times IQR$ , nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times IQR$ ): osa x – toky, osa y – podíl úbytku.

Během hodnocení mortality vajíček bylo zaregistrováno, že větší samice ztratily přes zimní měsíce více vajíček. Při vyhodnocení vztahu mezi podílem úbytku vajíček a velikostí

podzimní snůšky sice vypsala pozitivní korelace mezi proměnnými ( $y = 0,1429 + 0,0037x$ ,  $t = 1,4843$ ,  $P > 0,05$ ), nebyla však statisticky významná. Vývoj trendu je patrný z obr. 11.

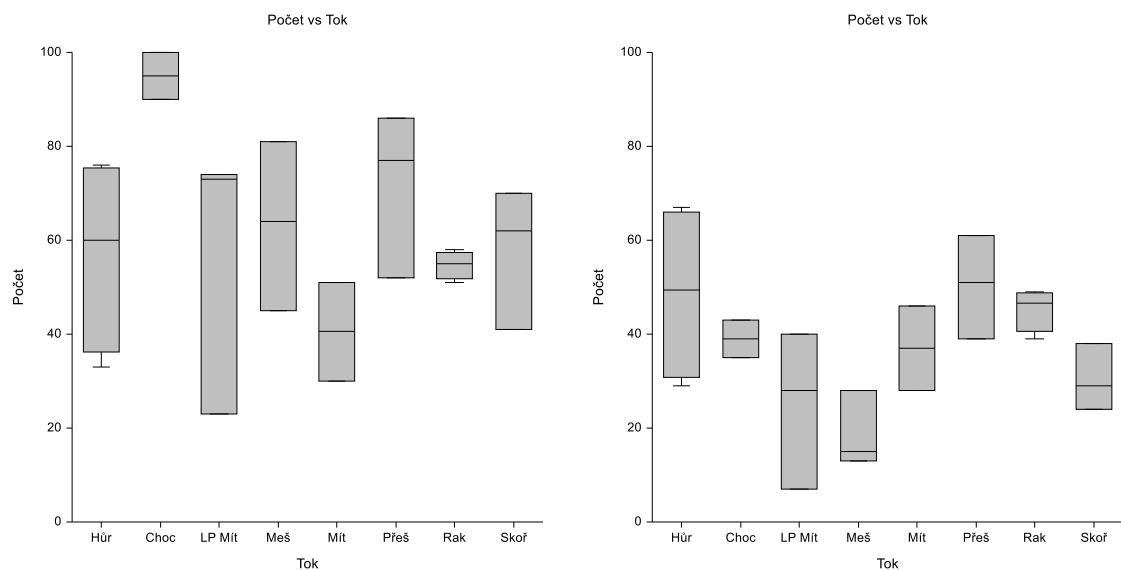
Pozitivní trend, byť slabšího rázu, byl zjištěn i při hodnocení vztahu mezi podílem úbytku vajíček a velikostí samice ( $y = -0,0093 + 0,0134x$ ,  $t = 1,0004$ ,  $P > 0,05$ ). Ani tento vztah však nebyl signifikantní. Nelze tedy s jistotou říci, že se zvyšujícím se počtem vajíček ve snůšce a s velikostí samice, roste celková mortalita vajíček během inkubace.



**Obr. 11:** Vlevo vztah mezi počtem vajíček v podzimní snůšce (osa x) a podílem úbytku (osa y) a vpravo vztah mezi velikostí samice (CL v mm, osa x) a podílem úbytku (osa y).

Vyjmeme-li ze souboru dat samice, resp. snůšky samic, které se nedožily líhnutí, a zhodnotíme jejich početnost, zjistíme, že po vyhodnocení jednocestnou parametrickou analýzou ANOVA, nejsou v souboru dat z podzimních měsíců signifikantní odlišnosti ( $P = 0,174$ ).

Pokud však stejným způsobem vyhodnotíme snůšky samic před jarním líhnutím, nalezneme v souboru dat významné odlišnosti ( $P = 0,040$ ). Tukey-Kramerův test však neshledal rozdíly žádné (kritická hodnota 4,90). Rozložení dat podzimních i jarních snůšek je patrné z obr. 12.



**Obr. 12:** Počty vajíček na podzim (vlevo) a před líhnutím (vpravo) na jednotlivých tocích (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $1,5 \times \text{IQR}$ ): osa x – toky, osa y – počet vajíček na podzim (vlevo), resp. podíl úbytku (vpravo).

### 3.3.5 Líhivost

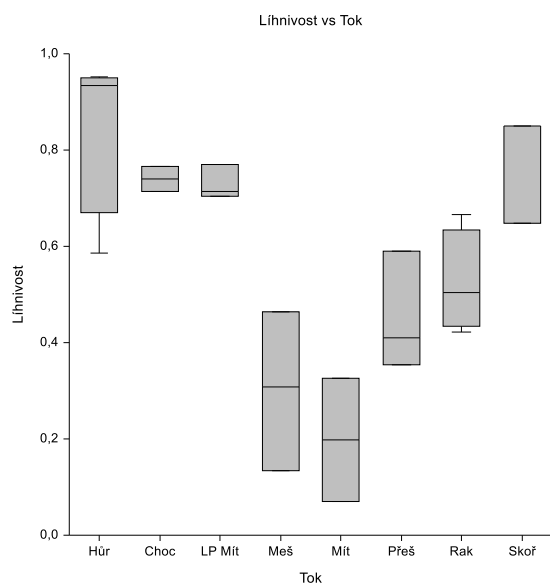
Nejmenší počet vylíhlých jedinců byl zaznamenán hned u dvou samic. Jedna pocházela z Mítovského potoka, druhá z Mešenského. Jejich abdomen čítal celé 2 jedince – líhivost byla u těchto samic stanovena takto: 7,1 % pro samici z Mítovského (zároveň také zcela nejnižší líhivost z celého souboru dat) a 13,3 % pro samici z Mešenského.

Pokud se podíváme na největší počet vylíhlých jedinců, zjistíme, že byl shledán na Hůreckém potoce (62 mlád'at). Líhivost u této samice byla stanovena na hodnotu 92,5 %. Jelikož však největší počet vylíhlých jedinců automaticky neznamená nejvyšší líhivost, zaměříme se i na největší hodnotu tohoto parametru. Zcela nejvyšší líhivost byla zaznamenána rovněž na samici z Hůreckého potoka – dosahovala hodnoty 95,2 %. Zmiňovaná samice donosila celkem 60 jedinců.

Jednocestnou parametrickou analýzou rozptylu (ANOVA) byly mezi jednotlivými toky shledány významné rozdíly v líhivosti ( $P = 0,000$ ). Po vyhodnocení Tukey-Kramerovým testem vplynuly rozdíly mezi většinou toků (kritická hodnota 4,90). Průměrnou líhivost na jednotlivých tocích vyjadřuje tab. 4. Rozložení dat je znázorněno na obr. 13.

**Tab. 4:** Zjištěná líhnivost na jednotlivých tocích.

Tok	Průměrný počet vylíhlých	Průměrná líhnivost
Hůrecký	43	0,851
Chocenický	29	0,740
LP Mítovský	17	0,729
Mešenský	6	0,301
Mítovský	9	0,198
Přešínský	23	0,451
Rakovský	24	0,524
Skořický	24	0,782



**Obr. 13:** Líhnivost vajíček na jednotlivých lokalitách: (medián, interkvartilové rozpětí – IQR, nejbližší nižší hodnota než  $1,5 \times \text{IQR}$ , nejbližší vyšší hodnota než  $-1,5 \times \text{IQR}$ ): osa x – toky, osa y – líhnivost.

## 4 Diskuze

Předkládaná diplomová práce studuje plodnost kriticky ohroženého raka kamenáče, přičemž primárně hodnotí mortalitu vajíček během přezimování a následně jejich líhivost. Výzkum byl proveden na 10 lokalitách v Plzeňském kraji. Bylo odchyceno celkem 136 samic tohoto druhu, snůška však byla shledána pouze u 55 jedinců. Samotný experiment byl uskutečněn na 40 samicích.

### 4.1 Délková a hmotnostní struktura

Z výsledků vyplynulo, že rozložení délek karapaxu (CL) a hmotností samic ve vzorku bylo normální, byť rozložení jedinců v populaci paradoxně normální není. Větší a dominantnější jedinci mají dle Bergman a Moore (2003) v Breithaupt (2010) výhodu ve formě lepší dostupnosti úkrytů a potravy. Tudíž jsou schopni výrazně konkurovat menším a zároveň méně hmotným jedincům, kteří z tohoto důvodu začnou na lokalitě převládat. Odráží se zde ale cíl předkládané práce, tj. zhodnotit plodnost samic raka kamenáče. Odchyt byl tedy primárně zacílen na větší samice, které už potenciálně mohly vyprodukovat snůšku. Ty menší však přesto nebyly opomíjeny, a pravděpodobně z tohoto důvodu bylo rozložení následně vyhodnoceno jako normální.

Při hodnocení rozložení délkových struktur a hmotností vyplynuly signifikantní rozdíly mezi některými lokalitami. V případě délkových struktur se jednalo o odlišnosti mezi Chocenickým potokem a Zubřinou. Stejně tomu bylo i v případě hmotnosti, kde se navíc objevil rozdíl i mezi Chocenickým a Mítovským potokem. Tyto rozdíly budou pravděpodobně korelovat s různorodostí podmínek na daných lokalitách.

Na velikost jedinců má totiž zásadní vliv potravní dostupnost a konkurence o úkryty (Figler et al. 1999 cit. Alcorlo et al. 2008). Dalšími faktory je např. všeobecně hustota populací, která souvisí právě s již zmíněnou konkurencí, anebo kvalita vody, jak uvádějí Huner & Romaine (1978) v Maguire & Klobučar (2011). Ti se zároveň zmiňují, že za vhodných přírodních podmínek můžeme pozorovat větší dospělé jedince. Lze tedy předpokládat, že na podobě zkoumaného vzorku se minimálně z části podepsala kvalita daného prostředí.

#### 4.1.1 Délková a hmotnostní struktura samic se snůškou

Zaměříme-li se na velikost, resp. hmotnost samic, nesoucích vajíčka, zjistíme, že se data pohybovala v rozmezí 21,1–32,3 mm CL, resp. 6,9–11,4 g. To je v souladu i s jinými

pracemi. Huber & Schubart (2005) uvádějí, že velikost samic se v jejich studii pohybovala v rozmezí 22,5–44,5 mm CL.

Hubenova et al. (2010) hodnotili plodnost především vzhledem k celkové délce těla (TL). Měli bychom tedy hodnoty porovnat s odpovídajícími daty této práce, tj. 44–70,4 mm TL. Ve studii Hubenova et al. (2010) se velikosti samic pohybovaly mezi 62 mm TL (7,1 g) a 94 mm TL (24,4 g) v oblasti Dospat a 64–83 mm TL (resp. 7,7–22,5 g) v oblasti Mrachenik. Pohlavní zralost dle nich nastala při dosažení 29 mm CL.

Obdobná data získali i Streissl & Hödl (2002), jejichž plodné samice se velikostně pohybovaly mezi 61 a 93 mm TL. I ve studii Maguire & Klobučar (2011) samice dosahovaly dospělosti při 60 mm TL. U Maguire et al. (2002) dosahovala nejmenší samice s vajíčky 54 mm TL.

Lze tedy říci, že námi získaná data jsou v souladu, byť je potřeba poukázat na 1–2centimetrový rozdíl u nejmenších plodných samic ve zmíněných pracích. Jak již ale bylo zmíněno výše, pokud na lokalitě panují příhodné podmínky, pohlavně zralí jedinci dosahují větších rozměrů (Huner & Romaine 1978 cit. Maguire & Klobučar 2011). V podobném duchu se o problematice zmiňují Reynolds et al. (2013), kteří zjistili, že proporce pohlavně zralých samic během let paralelně vzrostla se zvyšujícími se teplotami a extrémními fluktuacemi rok od roku. Obdobného názoru jsou i Grandjean et al. (1997a), kteří uvádějí, že geografické variety ve velikostech samic na prahu dosažení dospělosti vycházejí z teploty vody, hojnosti potravy nebo hustoty populace.

Scalici & Gibertini (2011) studovali plodnost raka bělonohého (*Austropotamobius pallipes*). Zjistili, že kompletní pohlavní zralost samic nastává při dosažení 23 mm CL. Úplný vývoj gonád však pozorovali už při 18 mm CL. Být se jedná o jiný druh raka, lze vyvodit, že při dosažení dospělosti hraje velikost jedince důležitou roli. Není však z podivu, že se v některých pracích objevují pohlavně zralé samice, jejichž karapax dosahuje velmi malých rozměrů.

Reynolds et al. (1992) uvádějí, že stres může v některých okrajových populacích vyvolat u menších samic počátek pohlavní zralosti. Ten se poté může ve vztahu k environmentálním faktorům lišit rok od roku (Reynolds 1988 cit. Grandjean et al. 1997a).

V případě raka kamenáče Huber & Schubart (2005) uvádějí jako nejmenší odchycenou samici jedince o 22,5 mm CL (45 mm TL, 63 vajíček). Menší plodná samice byla



zaregistrována v nepublikované práci Vaňková (2020). Nejmenší samice zde dosahovala 21,7 mm CL (49 mm TL, 52 vajíček). Zcela nejmenší samice se snůškou v této práci dosahovala 21,1 mm CL (44 mm TL) a vážila 3,4 g – její snůška čítala 33 vajíček. Jedná se tedy zároveň o nejmenší plodnou samici v porovnání se zmíněnými pracemi.

## **4.2 Počet vajíček ve snůšce**

Početnost vajíček ve snůškách byla hodnocena na celkem 48 samicích. Vyřazeny byly ty, jejichž snůška byla zjevně porušená. Množství vajíček v této práci se pohybovalo mezi 23 a 100. Průměrná velikost snůšky čítala 60 vajíček.

Velikost snůšky je v souladu s Huber & Schubart (2005), kteří uvádějí průměrnou hodnotu  $62,9 \pm 19,4$ . Jejich výzkumný vzorek byl však menší – 25 samic. Největší snůšku udávají o velikosti 110 vajíček, což je rovněž v souladu s daty této práce.

Získaná data souzní i s prací Hubenova et al. (2010), kde se počet vajíček v oblasti Dospat v říjnu pohyboval mezi 49 a 100 vajíčky (s průměrem 75 vajíček na samici).

Bohl (1989) v Hubenova et al. (2010) tvrdí, že ve standardních evropských populacích raka kamenáče se snůška pohybuje mezi 50 a 100 vajíčky. Stěží ale samice dosáhnou snůšky o velikosti 60 vajíček. Nicméně variabilita v počtu vajíček závisí například na dané populaci, roku páření, velikosti samice nebo embryonálním stádiu (Sáez-Royuela et al. 2006). Na čem však rovněž závisí, je i velikost vajíček, jak uvádějí Huner & Lundqvist (1991) ve Scalici & Gibertini (2011).

Rozdíly v plodnosti rok od roku poté závisí na environmentálních faktorech, resp. trofických podmínkách (Reynolds 2002 cit. Sáez-Royuela et al. 2006). Dalším faktorem může být i hustota populací na toku, která na plodnost může působit negativně (Alcorlo et al. 2008; Morrissy 1970 cit. Grandjean et al. 2000).

### **4.2.1 Vztah mezi počtem vajíček a délkou karapaxu**

Na všech tocích, kromě Rakovského, byla shledána pozitivní korelace mezi velikostí samice a počtem vajíček. Toto zjištění je ve shodě i s jinými pracemi. Maguire et al. (2005) shledali pozitivní korelaci mezi počtem vajíček a velikostí samice, stejně jako další studie (Chybowski 2013; Maguire et al. 2002; Sáez-Royuela et al. 2006; Skurdal et al. 2011; Vaňková 2020). V rozporu je ale např. Huber & Schubart (2005) nebo Dakic & Maguire (2016), kteří neshledali žádnou korelaci mezi velikostí samice a snůšky.

Dle Reynolds et al. (1992) je však vztah mezi počtem vajíček a velikostí těla determinován zejména prostředím. Například vysoké teploty mohou na produkci vajíček působit negativně, jelikož energie samic je v tom případě více alokována metabolismu, jak tvrdí Taugbøl & Skurdal (1989). To se pak může projevit na síle korelace.

Variabilita v síle korelace může být poté vztažena i k různému počtu analyzovaných jedinců, populací, reprodukčních sezón nebo fázi embryonálního vývoje (Carral et al. 2004 cit. Maguire et al. 2005).

### **4.3 Klecový experiment**

Obdobně jako v případě celého souboru dat bylo rozložení délkových struktur, resp. hmotností na jednotlivých tocích vyhodnoceno jako normální. To by mohlo být zapříčiněno selektivitou při výběru samic pro klecový experiment (např. podmínka neporušené snůšky).

Co se týče početnosti vajíček ve snůšce u samic klecového experimentu byla data na rozdíl od celého vzorku rozložena nenormálně, odlišnosti však nebyly statisticky významné. Nenormální rozložení dat je z logiky věci na toku standardní. Vezmeme-li totiž v potaz, že s velikostí samice, roste i velikost snůšky (viz výše), získaná data korespondují s variabilitou jedinců na toku z hlediska délkové struktury.

#### **4.3.1 Mortalita samic**

Z celkového počtu 30 samic se 6 jedinců nedožilo líhnutí – mortalita dosáhla 20 %. Zjištěná hodnota koresponduje s daty Brewis & Bowler (1983), kteří udávají mortalitu samic raka bělonohého v rozmezí 1,3–22,68 %.

Ke ztrátám došlo na těchto tocích: Mítovském, Skořickém, Chocenicím, Mešenském a levém přítoku Mítovského. Na Mítovském potoce došlo těsně před líhnutím v období mezi 22. a 27. červnem 2021 v důsledku nepříznivého počasí ke splavení klece o cca 20 m. To s největší pravděpodobností způsobilo úmrtí jedné ze samic.

Jelikož byly samice umístěny separovaně v klecích, veškeré jejich interakce byly omezeny pouze na organismy, které byly schopny se protáhnout skrze otvory v kleci. Na Skořickém a Mešenském potoce byly v klecích nalezeny střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*), ať už mrtvé či živé. Téměř na všech tocích byly v klecích nalezeny menší jedinci raka kamenáče.

Na Chocenicím a Skořickém potoce byly z mrtvých samic (celkem 3) nalezeny buď pouze klepeta, nebo čistě jen karapax – k úmrtí jedinců, i přes jejich izolovanost, tedy došlo patrně v důsledku predace.

#### **4.3.2 Mortalita vajíček**

Mortalita vajíček dosahovala 5,9–76,6 % původní velikosti snůšky. K nejmenšímu úbytku došlo na Mítovském potoce, kde v průměru dosahoval 8,2 %. Je však potřeba zmínit, že mortalita byla na Mítovském potoce hodnocena pouze na dvou samicích. Naopak největší hodnota byla zaznamenána na potoce Mešenském, kde mortalita dosahovala průměrně 71 %.

Získaná data korespondují s prací Hubenova et al. (2010), kde zaznamenali ztrátu větší než 50 %. V jedné z oblastí, kde prováděli výzkum na raku kamenáči – Dospat – zjistili průměrnou velikost snůšky v říjnu po naklazení 75 vajíček na samici, kdežto na přelomu května a června udávají průměr 29 vajíček.

Získaná data jsou v souladu i s dalšími pracemi, a to i na jiných druzích, než je rak kamenáč. Ve studii Neveu (2007) autoři zaregistrovali u raka bělonohého průměrnou ztrátu 51,6–62 % vajíček. Problematikou u stejného druhu se zabývali i Grandjean et al. (2000). Průměrný počet vajíček klesl z 55 (v prosinci) na 30 (v květnu) – což rovněž koresponduje s našimi daty.

V literatuře bývá standardně udávána ztráta kolem 50 %. Získaná data však ukazují, že mortalita vajíček může být mnohem vyšší. O tak vysokých ztrátách se zmiňují i Henryon & Purvis (2000) v Aydın & Dilek (2004) nebo Pérez et al. (1999), kteří vysokou mortalitu dávají do kontextu s dlouhou dobou inkubace.

Co však může ovlivnit délku inkubace? Primárně závisí na konkrétním druhu raka, neboť se např. liší počtem reprodukčních cyklů za rok (Kozák et al. 2015; Pérez et al. 1999; Reynolds et al. 1992). Dále do problematiky vstupují environmentální faktory. McLay & van den Brink (2016) například uvádějí, že k opožděnějšímu líhnutí dochází především v lesních habitatech, na rozdíl od těch lokalizovaných ve volné krajině. Mikroklima daného habitatu totiž neovlivňuje pouze páření, ale i líhnutí, a to i rok od roku (Scalici & Gibertini 2011).

Základním faktorem je teplota vody, jak uvádí Celada et al. (1988) v Policar et al. (2004). Ve shodě je i Abrahamsson (1972) ve Skurdal et al. (2011). Průměrné teploty kolem 15 °C

jsou dle nich podstatné pro dokončení reprodukčního cyklu. Naopak nižší teploty prodlužují inkubaci a odkládají líhnutí (Aydin & Dilek 2004). Se zvyšujícími se teplotami je potřeba více energie (Taugbøl & Skurdal 1989), přičemž aktivita raků roste (Ackerfors 1999 cit. Dakic & Maguire 2016). V důsledku toho potřebují přijímat dostatečné množství potravy (Brown & Bowler 1977 cit. Faller et al. 2006). Mateřská péče poté poskytuje samici značné nevýhody – jak již bylo zmíněno, je energeticky náročná, samice se nemohou svlékat a jedinci všeobecně jeví sníženou mobilitu (Burton et al. 2007). Je proto potřeba, aby se při zvýšení teplot mláďata z vajíček vylíhli.

V naší práci nebyla zaznamenána úplná ztráta snůšky. To je v rozporu s některými studiemi. Například Neveu (2007) uvádějí, že snůšku ztratilo 38–45 % samic. Obdobná data poskytují i Grandjean et al. (2000), kteří zaznamenali kompletní ztrátu u 40 % samic.

Jak již ale bylo zmíněno výše, samice byly umístěny v klecích a jejich jediná interakce byla limitována na organismy, které byly schopny proniknout přes otvory v kleci. To mohlo částečně eliminovat ztráty vycházející z agresivních kontaktů, které jsou jedním z faktorů, podílejících se na ztrátách vajíček, jak uvádí Reynolds (2002) v Maguire et al. (2002).

To vyvolává otázku – které další faktory zapříčiňují ztrátu vajíček? Reynolds (2002) v Kozák et al. (2006) uvádí, že ke ztrátám často dochází v důsledku špatného uchycení samotných vajíček na pleopodech samic. Mezi další faktory patří i jakékoli disturbance – např. houbová infekce (Reynolds 2002 cit. Maguire et al. 2002).

Samice také pravidelně odstraňuje odumřelá vajíčka (Hazlett 1983 cit. Burton et al. 2007; Celada et al. 2004). Ty jsou totiž potenciálním zdrojem právě zmiňované houbové infekce, která může ohrozit vajíčka zdravá (Celada et al. 2004; González et al. 2009). Dalším faktorem je i kanibalismus – samice totiž dokáží pozřít vajíčka jiných samic (Reynolds et al. 1992).

Reynolds v Maguire et al. (2002) tvrdí, že malé samice zřídka donosí vajíčka do líhnutí. To bude vycházet z předpokladu, že menší samice zpravidla nesou méně vajíček (Maguire et al. 2002; Maguire et al. 2005). To je však lehce v rozporu s Grandjean et al. (2000), kteří zaznamenali, že větší samice ztrácely vajíčka snáze. Z našeho hodnocení sice vyplynul pozitivní trend mezi podílem úbytku vajíček a velikostí podzimní snůšky, resp. karapaxu (CL) – výsledek byl však statisticky nevýznamný.

Naše studie bohužel trpí výrazným nedostatkem dat. Byť výzkum probíhal na 10 tocích s celkem 40 samicemi, došlo během experimentu k poměrně velkým ztrátám z řad jedinců, ať už z důvodu úmrtí samic, jejich ztráty při manipulaci s klecí anebo rovnou při odcizení klecí.

Z logiky věci však větší úbytek vajíček u větších samic dává smysl. Rozměrnější samice mívají zpravidla i větší snůšky (Maguire et al. 2002; Maguire et al. 2005). Vajíčka v takové snůšce jsou velmi nahuštěná a jakýkoli pohyb samice, či manipulace se samicí je logicky pro snůšku rizikovější.

Po vyřazení samic, které během experimentu zemřely nebo zmizely a opětovném vyhodnocení dat početnosti podzimních snůšek analýzou rozptylu, nebyly mezi toky shledány významné odlišnosti. Co je však zajímavější, při hodnocení jarních snůšek stejným způsobem jednocestná analýza rozptylu shledala odlišnosti mezi toky. Paradoxně však Tukey-Kramerův test nenašel mezi lokalitami rozdíly. To bude patrně zapříčiněno tím, že výsledná hodnota ANOVA analýzy byla velmi blízko hladiny významnosti ( $P = 0,05$ ), tedy  $P = 0,040$ .

### **4.3.3 Líhnivost**

Líhnivost dosahovala 7,1–95,2 %. Při jejím hodnocení vyplynulo, že nejnižší hodnoty byly zaznamenány v případě dvou toků – Mítovského a Mešenského. Je proto potřeba dát tato data do kontextu.

V případě Mítovského potoka se poměrně zásadní událost stala mezi 22. a 27. červnem 2021, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3.1. V tomto časovém rozmezí došlo ke splavení klece vlivem nepříznivého počasí, které způsobilo zvednutí hladiny vody a zvýšení rychlosti proudění. Nejenže při této události zemřela jedna ze samic, ale u zbývajících došlo ke ztrátám, co se týče vajíček, resp. mlád'at.

U Mešenského potoka se na líhnivost pravděpodobně negativně podepsala doba, kdy došlo ke kontrole klece. Je totiž velmi obtížné stanovit přesný čas líhnutí, a byť pravidelné kontroly klecí probíhaly od vylíhnutí prvních jedinců běžně po 3–4 dnech, stejně došlo na Mešenském potoce k nálezům velmi malého počtu mlád'at. Po vylíhnutí se totiž juvenilní jedinci velmi snadno odpojují od pleopodů samic.

Už dříve bylo zmíněno tvrzení Matthews & Reynolds (1995) v Pérez et al. (1999), kteří uvádějí, že největší ztráty byly zaznamenány v období kolem líhnutí. Toto tvrzení tedy

neplatí pouze pro ztrátu vajíček, ale i vylíhlých mlád'at. Kdyby došlo ke kontrole klece na Mešenském potoce o den dříve, líhivost by byla pravděpodobně vyhodnocena jako vyšší.

Pomineme-li tedy Mítovský a Mešenský potok, shledáme, že průměrná líhivost na zbylých tocích dosahuje velmi vysokých hodnot (45,1–85,1 %). Které faktory však mohou líhivost ovlivnit?

Reynolds et al. (1992) ve své práci zaznamenali i neoplozená vajíčka, která nejevila žádné buněčné dělení. Z takových vajíček se logicky nemohou vylíhnout žádní jedinci. Pokud se v každé snůšce objevuje část neoplozených vajíček, můžeme je považovat za jeden z faktorů, který na líhivost působí negativně. Významně ji však ovlivňují i jakékoli disturbance (Reynolds 2002 cit. Maguire et al. 2002).

Byť studií o líhivosti raků je poskrovnu, můžeme předkládanou práci porovnat se studií Holdich & Black (2007), kteří v případě raka pruhovaného zaznamenali, že ze snůšek, které čítaly 31–372 vajíček, se vylíhlo 30–100 juvenilních jedinců, což je zcela v souladu s našimi daty.

Některé studie však věnují zvýšenou pozornost především umělé inkubaci vajec (Celada et al. 2004; González et al. 2009; Policar et al. 2004). Policar et al. (2004) při umělé inkubaci vyhodnotili u raka říčního její nižší úspěšnost než v přírodních podmínkách. Ve shodě s nimi je i Fedotov (1993) v Policar et al. (2004). Jak tvrdí Celada et al. (2004) i González et al. (2009), mrtvá vajíčka bývají obvykle napadena houbovou infekcí, která velmi snadno amplifikuje do okolních zdravých vajíček.

Ačkoli můžeme líhivost na většině analyzovaných lokalit shledat téměř jako extrémní, vylíhlí jedinci stále nemají vyhráno, neboť v prvních měsících samostatného života bývá u mlád'at zaznamenána jejich vysoká mortalita (González et al. 2009).

## 5 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na plodnost kriticky ohroženého raka kamenáče v České republice. Cílem předkládané práce bylo především zhodnotit mortalitu samic a jejich snůšek v průběhu přezimování a dále líhnivost vajíček v klecovém experimentu. Výzkum probíhal na 10 tocích se 40 samicemi, ovšem v důsledku odcizení dvou klecí a ztráty některých samic byl výsledný výzkumný vzorek limitován na 30 jedinců.

V průběhu experimentu byla zaznamenána 20% mortalita samic, a to z vícero důvodů. Některé ze samic uhynuly přirozeně, některé v důsledku predace a jedna dokonce při splavení klece za nepříznivého počasí.

Velikosti snůšek v klecovém experimentu se zpočátku pohybovaly mezi 23 a 100 vajíčky. V jarních měsících bylo toto rozpětí logicky nižší, tj. 7–67 vajíček, pokud budeme počítat pouze se samicemi, které se dožily líhnutí. Výsledná mortalita vajíček činila 5,9–76,6 % z původní velikosti snůšky. Byť se jedná o poměrně velké rozpětí úbytku, je potřeba zmínit, že vysoká mortalita může být pojena i s dlouhou dobou inkubace. Na snůšky v průběhu inkubace dále působí synergicky celá řada faktorů, která má vliv na jejich úbytek.

Po vylíhnutí bylo napočítáno 2–62 mlád'at. Líhnivost se pohybovala v relativně širokém rozpětí: 7,1–95,2 %. Výrazně nízké hodnoty se objevily na Mítovském a Mešenském potoce. Na prvním zmiňovaném toku však došlo k poškození snůšek, resp. odpojení mlád'at v důsledku zmiňované nepřízně počasí. Na Mešenském potoce zase k opožděné kontrole klece, takže část juvenilních jedinců už se stihla oddělit od matky. Bez těchto dvou toků líhnivost přesahovala 35 %, což bychom mohli považovat za relativně vysokou hodnotu vzhledem faktorům, které na vajíčka působí.

Jelikož je výzkum značně limitován množstvím samic s vajíčky na jednotlivých lokalitách, které je obtížné v podzimních měsících odchytnit, studie trpí výrazným nedostatkem dat a bylo by zcela příhodné ji zopakovat na větším počtu samic a toků, abychom mohli potvrdit či vyvrátit některé hypotézy (např. zda větší samice skutečně jeví vyšší mortalitu vajíček). Nicméně i přesto práce, jakožto první svého druhu na našem území, poskytuje důležitá data, která nahlíží na další aspekty plodnosti tohoto druhu a udává směr budoucího výzkumu raka kamenáče.

## 6 Resumé

Diplomová práce se zaměřuje na plodnost kriticky ohroženého raka kamenáče, kterou studuje na celkem 10 tocích během dvou reprodukčních sezón. Jejím cílem bylo především zhodnotit přežívání samic a jejich snůšek v průběhu inkubace v zimních měsících, a dále vyhodnotit líhivost zbylých vajíček. Ze získaných dat vyplynulo, že mortalita samic dosahovala 20 %, přičemž část jich zemřela v důsledku predace. Snůšky v podzimních měsících čítaly 23–100 vajíček, kdežto na jaře pouhých 7–67. Mortalita vajíček se v naší práci pohybovala mezi 5,9 a 76,6 %, což souzní i s dalšími obdobnými pracemi. Velké rozpětí v úmrtnosti souvisí s celou řadou faktorů, které během inkubace působí jak na samici, tak samotnou snůšku. Obdobně široké rozpětí dat bylo následně zaznamenáno i v případě líhivosti, která se pohybovala mezi 7,1 a 95,2 %. Nízká hodnota líhivosti však vycházela buď z nepředvídatelných událostí vyvolaných nepřízní počasí nebo opožděnou kontrolou analyzovaných samic. Zjištěnou líhivost lze tak i přesto považovat za vysokou.

## 7 Cizojazyčné resumé

The diploma thesis focuses on the fecundity of the critically endangered stone crayfish, which is studied on a sample of 10 streams during two reproductive seasons. Its main objective was to assess the survival of females and their eggs during the winter incubation period, and to evaluate egg hatchability. The data gathered showed that female mortality reached 20 %, with some females dying as a result of predation. The clutches in autumn contained 23–100 eggs, while only 7–67 eggs were counted in spring. Egg mortality in this study varied between 5,9 and 76,6 %, consistent with other related papers. The wide range in mortality is related to a number of factors that affect both the female and the clutch during incubation. A similarly wide distribution of data was subsequently observed for hatchability, which ranged between 7,1 and 95,2 %. Nevertheless, the low hatchability value was due to either unpredictable events caused by severe weather or delayed control of the analysed females. However, the observed hatchability can still be considered high.



## 8 Seznam literatury

- Acquistapace, P., Aquiloni, L., Hazlett, B. A. a Gherardi, F. Multimodal communication in crayfish: sex recognition during mate search by male *Austropotamobius pallipes*. *Canadian Journal of Zoology*. 2002, **80**(11), 2041-2045.
- Alcorlo, P., Geiger, W. a Otero, M. Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology*. 2008, **173**(3), 197.
- Aydın, H. a Dilek, M. K. Effects of different water temperatures on the hatching time and survival rates of the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* (Esch., 1823) eggs. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2004, **4**(2).
- Barbaresi, S., Tricarico, E. a Gherardi, F. Factors inducing the intense burrowing activity of the red-swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, an invasive species. *Naturwissenschaften*. 2004, **91**(7), 342-345.
- Belanger, R. M. a Moore, P. A. The use of the major chelae by reproductive male crayfish (*Orconectes rusticus*) for discrimination of female odours. *Behaviour*. 2006, 713-731.
- Breithaupt, T. Chemical communication in crayfish. *Chemical communication in crustaceans*. 2010, p. 257-276.
- Brewis, J. a Bowler, K. A study of the dynamics of a natural population of the freshwater crayfish, *Austropotamobius pallipes*. *Freshwater Biology*. 1983, **13**(5), 443-452.
- Bubb, D. H., Thom, T. J. a Lucas, M. C. Movement, dispersal and refuge use of co-occurring introduced and native crayfish. *Freshwater Biology*. 2006, **51**(7), 1359-1368.
- Burton, T., Knott, B., Judge, D., Vercoe, P. a Brearley, A. Embryonic and juvenile attachment structures in *Cherax cainii* (Decapoda: Parastacidae): Implications for maternal care. *The American midland naturalist*. 2007, **157**(1), 127-136.
- Buřič, M., Hulák, M., Kouba, A., Petrusek, A. a Kozák, P. A successful crayfish invader is capable of facultative parthenogenesis: a novel reproductive mode in decapod crustaceans. *PLoS One*. 2011, **6**(5), e20281.
- Buřič, M., Kouba, A. a Kozák, P. Intra-sex dimorphism in crayfish females. *Zoology*. 2010, **113**(5), 301-307.
- Celada, J., Carral, J., Sáez-Royuela, M., Melendre, P. a Aguilera, A. Effects of different antifungal treatments on artificial incubation of the astacid crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) eggs. *Aquaculture*. 2004, **239**(1-4), 249-259.
- Crandall, K. A. a De Grave, S. An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*. 2017, **37**(5), 615-653.
- Dakic, L. a Maguire, I. Year cycle and morphometrical characteristics of *Austropotamobius torrentium* from two karstic rivers in Croatia. *Natura Croatica*. 2016, **25**(1), 87.
- Faller, M., Maguire, I. a Klobučar, G. Annual activity of the noble crayfish (*Astacus astacus*) in the Orłjava River (Croatia). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2006, (383), 23-40.

- Fischer, D., Bádr, V., Vlach, P. a Fischerová, J. Nové poznatky o rozšíření raka kamenáče v Čechách. *Živa*. 2004, **52**(90), 2.
- Fischer, D., Pavlucik, P., Sedlacek, F. a Salek, M. Predation of the alien American mink, *Mustela vison* on native crayfish in middle-sized streams in central and western Bohemia. *Folia Zoologica*. 2009, **58**(1), 45.
- Fischer, D. a Vlach, P. Hlavní příčiny ohrožení raka kamenáče na území ČR. *Ochrana přírody*. 2018, 2-5.
- Füreder, L., Oberkofler, B., Hanel, R., Leiter, J. a Thaler, B. The freshwater crayfish *Austropotamobius palipes* in South Tyrol: Heritage species and bioindicator. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2003, (370-371), 79-95.
- Goessmann, C., Hemelrijk, C. a Huber, R. The formation and maintenance of crayfish hierarchies: behavioral and self-structuring properties. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2000, **48**(6), 418-428.
- González, R., Celada, J. D., García, V., González, Á., Carral, J. M. a Sáez-Royuela, M. The artificial incubation of crayfish eggs: review and report from an experimental study concerning the effects of offspring origin (maternal or artificial incubation) on the survival and growth of juvenile signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*, *Astacidae*). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2009, **19**(2), 167-176.
- Grandjean, F., Cornuault, B., Archambault, S., Bramard, M. a Otrebsky, G. Life history and population biology of the white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes pallipes*, in a brook from the Poitou-Charentes region (France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2000, (356), 55-70.
- Grandjean, F., Romain, D., Souty-Grosset, C. a Mocquard, J. Size at sexual maturity and morphometric variability in three populations of *Austropotamobius pallipes pallipes* (Lereboullet, 1858) according to a restocking strategy. *Crustaceana*. 1997a, 454-468.
- Grandjean, F., Souty-Grosset, C., Avila-Zarza, C., Romain, D., Bramard, M. a Mocquard, J. Morphometry, sexual dimorphism and size at maturity of the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes pallipes* (Lereboullet) from a wild French population at Deux-Sèvres (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana*. 1997b, **70**(1), 31-44.
- Guo, W., Kubec, J., Veselý, L., Hossain, M. S., Buřič, M., McClain, R. a Kouba, A. High air humidity is sufficient for successful egg incubation and early post-embryonic development in the marbled crayfish (*Procambarus virginalis*). *Freshwater Biology*. 2019, **64**(9), 1603-1612.
- Holdich, D. a Black, J. The spiny-cheek crayfish, *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817)[Crustacea: Decapoda: *Cambaridae*], digs into the UK. *Aquatic Invasions*. 2007, **2**(1), 1-15.
- Hubenova, T., Vasileva, P. a Zaikov, A. Fecundity of stone crayfish *Austropotamobius torrentium* from two different populations in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2010, **16**(3), 387-393.
- Huber, M. a Schubart, C. Distribution and reproductive biology of *Austropotamobius torrentium* in Bavaria and documentation of a contact zone with the alien crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2005, (376-377), 759-776.

- Chobot, K. Mapování raků v AOPK ČR. *Ochrana přírody*. 2006, **61**(2), 57-59.
- Chybowski, Ł. Absolute fecundity of two populations of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Fisheries & Aquatic Life*. 2013, **21**(4), 357-362.
- Kamler, E. Parent–egg–progeny relationships in teleost fishes: an energetics perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2005, **15**(4), 399-421.
- Kouba, A., Petrusek, A. a Kozák, P. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2014, (413), 05.
- Kozák, P., Buřič, M. a Policar, T. The fecundity, time of egg development and juvenile production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) under controlled conditions. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2006, (380-381), 1171-1182.
- Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E. a Policar, T. *Biologie a chov raků*. Edition ed.: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2015. ISBN 807514032X.
- Kozubíková-Balcarová, E., Beran, L., Ďuriš, Z., Fischer, D., Horká, I., Svobodová, J. a Petrusek, A. Status and recovery of indigenous crayfish populations after recent crayfish plague outbreaks in the Czech Republic. *Ethology Ecology & Evolution*. 2014, **26**(2-3), 299-319.
- Kozubikova, E., Filipová, L., Kozák, P., Ďuriš, Z., Martín, M., Diéguez-Uribeondo, J., Oidtmann, B. a Petrusek, A. Prevalence of the crayfish plague pathogen *Aphanomyces astaci* in invasive American crayfishes in the Czech Republic. *Conservation Biology*. 2009, **23**(5), 1204-1213.
- Kozubíková, E., Petrusek, A., Duris, Z., Kozák, P., Geiger, S., Hoffmann, R. a Oidtmann, B. The crayfish plague in the Czech Republic-Review of recent suspect cases and a pilot detection study. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2006, (380-381), 1313-1323.
- Kozubíková, E., Petrusek, A., Ďuriš, Z., Martín, M., Diéguez-Uribeondo, J. a Oidtmann, B. The old menace is back: recent crayfish plague outbreaks in the Czech Republic. *Aquaculture*. 2008, **274**(2-4), 208-217.
- Kubec, J., Kouba, A. a Buřič, M. Communication, behaviour, and decision making in crayfish: a review. *Zoologischer Anzeiger*. 2019, **278**, 28-37.
- Lyko, F. The marbled crayfish (Decapoda: *Cambaridae*) represents an independent new species. *Zootaxa*. 2017, **4363**(4), 544–552-544–552.
- Maguire, I., Erben, R., Klobučar, G. a Lajtner, J. Year cycle of *Austropotamobius torrentium* (Schrank) in streams on Medvednica mountain (Croatia). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2002, (367), 943-957.
- Maguire, I. a Klobučar, G. Size structure, maturity size, growth and condition index of stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in North-West Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2011, (401), 12.
- Maguire, I., Klobučar, G. a Erben, R. The relationship between female size and egg size in the freshwater crayfish *Austropotamobius torrentium*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2005, (376-377), 777-785.

- Martin, P., Dorn, N. J., Kawai, T., van der Heiden, C. a Scholtz, G. The enigmatic Marmorcrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). *Contributions to Zoology*. 2010, **79**(3), 107-118.
- Mathews, L. M. Mother—offspring recognition and kin-preferential behaviour in the crayfish *Orconectes limosus*. *Behaviour*. 2011, 71-87.
- McLay, C. L. a van den Brink, A. M. Crayfish growth and reproduction. *Biology and ecology of crayfish*. 2016, 62-116.
- Neveu, A. Annual variability in reproduction of the white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*): implications for survival. *Acta Oecologica*. 2007, **32**(1), 67-76.
- Parkyn, S. M., Collier, K. J. a Hicks, B. J. 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*. 2002, **36**(4), 847-862.
- Patoka, J., Buřič, M., Kolář, V., Bláha, M., Petrtýl, M., Franta, P., Tropek, R., Kalous, L., Petrušek, A. a Kouba, A. Predictions of marbled crayfish establishment in conurbations fulfilled: evidences from the Czech Republic. *Biologia*. 2016, **71**(12), 1380-1385.
- Pawlos, D., Formicki, K., Korzelecka-Orkisz, A. a Winnicki, A. Hatching process in the signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852)(Decapoda, Astacidae). *Crustaceana*. 2010, 1167-1180.
- Pérez, J. R., Carral, J. M., Celada, J. D., Muñoz, C., Sáez-Royuela, M. a. a Antolín, J. I. The possibilities for artificial incubation of white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet) eggs: comparison between maternal and artificial incubation. *Aquaculture*. 1999, **170**(1), 29-35.
- Petrušek, A., Filipová, L., Ďuriš, Z., Horká, I., Kozák, P., Polícar, T., Štambergová, M. a Kučera, Z. Distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) in the Czech Republic. Past and present. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2006, (380-381), 903-918.
- Polícar, T., Simon, V. a Kozák, P. Egg incubation in the noble crayfish (*Astacus astacus* L.): The effect of controlled laboratory and outdoor ambient condition on hatching success, growth and survival rate of juveniles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2004, (372-373), 411-423.
- Reynolds, J., Celada, J., Carral, J. a Matthews, M. Reproduction of astacid crayfish in captivity—current developments and implications for culture, with special reference to Ireland and Spain. *Invertebrate Reproduction & Development*. 1992, **22**(1-3), 253-265.
- Reynolds, J., Souty-Grosset, C. a Richardson, A. Ecological roles of crayfish in freshwater and terrestrial habitats. *Freshwater Crayfish*. 2013, **19**(2), 197-218.
- Římalová, K., Douda, K. a Štambergová, M. Species-specific pattern of crayfish distribution within a river network relates to habitat degradation: implications for conservation. *Biodiversity and conservation*. 2014, **23**(13), 3301-3317.
- Sáez-Royuela, M., Carral, J., Celada, J., Pérez, J. a González, A. 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*. 2006, (380-381), 1207-1214.

- Scalici, M. a Gibertini, G. Reproduction in the threatened crayfish *Austropotamobius pallipes* (Decapoda, Astacidae) in the Licenza brook basin (central Italy). *Italian journal of zoology*. 2011, **78**(2), 198-208.
- Seitz, R., Vilpoux, K., Hopp, U., Harzsch, S. a Maier, G. Ontogeny of the Marmorkrebs (marbled crayfish): a parthenogenetic crayfish with unknown origin and phylogenetic position. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology*. 2005, **303**(5), 393-405.
- Scholtz, G., Braband, A., Tolley, L., Reimann, A., Mittmann, B., Lukhaup, C., Steuerwald, F. a Vogt, G. Parthenogenesis in an outsider crayfish. *Nature*. 2003, **421**(6925), 806-806.
- Skurdal, J., Hessen, D., Garnås, E. a Vøllestad, L. Fluctuating fecundity parameters and reproductive investment in crayfish: driven by climate or chaos? *Freshwater Biology*. 2011, **56**(2), 335-341.
- Souty-Grosset, C., Holdich, D., Noel, P., Reynolds, J. a Haffner, P. *Atlas of crayfish in Europe*. Edition ed.: Muséum national d'Histoire naturelle, 2006.
- Statzner, B., Fievet, E., Champagne, J. Y., Morel, R. a Herouin, E. Crayfish as geomorphic agents and ecosystem engineers: biological behavior affects sand and gravel erosion in experimental streams. *Limnology and Oceanography*. 2000, **45**(5), 1030-1040.
- Streissl, F. a Hödl, W. Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia*. 2002, **477**(1-3), 201-208.
- Stucki, T. P. a Romer, J. Will *Astacus leptodactylus* displace *Astacus astacus* and *Austropotamobius torrentium* in Lake Ägeri, Switzerland? *Aquatic sciences*. 2001, **63**(4), 477-489.
- Svobodová, J., Fischer, D., Svobodová, E. a Vlach, P. Periodické vysychání toků: další faktor negativně ovlivňující populace našich raků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, **58**(3), 34-38.
- Svobodová, J., Štambergová, M., Vlach, P., Píček, J., Douda, K. a Beránková, M. Vliv jakosti vody na populace raků v České republice – porovnání s legislativou ČR. *Vodní hospodářství*. 2008, **12**, 1-5.
- Štambergová, M., Svobodová, J. a Kozubíková, E. *Raci v České republice*. Edition ed.: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2009. ISBN 8087051785.
- Taugbøl, T. a Skurdal, J. Effect of indoor, culture conditions on maturation and fecundity of wild-caught female noble crayfish, *Astacus astacus* L. *Aquaculture*. 1989, **81**(1), 1-12.
- Taylor, C. A., Schuster, G. A., Cooper, J. E., DiStefano, R. J., Eversole, A. G., Hamr, P., Hobbs III, H. H., Robison, H. W., Skelton, C. E. a Thoma, R. F. A reassessment of the conservation status of crayfishes of the United States and Canada after 10+ years of increased awareness. *Fisheries*. 2007, **32**(8), 372-389.
- Vaňková, M. Fekundita raka kamenáče (*A. torrentium*) na vybraných tocích České republiky. Bakalářská práce ZČU, 2020.
- Veselovský, M. a Brichcín, J. Fekundita raka kamenáče (*Austropotamobius torrentium*) v České republice. SOČ Gymnázium Blovice, 2017.

- Vlach, P., Hulec, L. a Fischer, D. Recent distribution, population densities and ecological requirements of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the Czech Republic. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2009, (394-395), 13.
- Vlach, P., Svobodová, J. a Fischer, D. Stone crayfish in the Czech Republic: how does its population density depend on basic chemical and physical properties of water? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2012, (407), 05.
- Vlach, P. a Valdmanová, L. Morphometry of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the Czech Republic: allometry and sexual dimorphism. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2015, (416), 16.
- Vlček, V., Kestránek, J., Kříž, H., Novotný, S. a Piše, J. *Zeměpisný lexikon ČSR–Vodní toky a nádrže*. Academia, Praha, 1984, 1.
- Vogt, G. The marbled crayfish: a new model organism for research on development, epigenetics and evolutionary biology. *Journal of Zoology*. 2008, **276**(1), 1-13.
- Vogt, G., Tolley, L. a Scholtz, G. Life stages and reproductive components of the Marmorkrebs (marbled crayfish), the first parthenogenetic decapod crustacean. *Journal of morphology*. 2004, **261**(3), 286-311.
- Weinländer, M. a Füreder, L. The ecology and habitat requirements of *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) in small forest streams in Carinthia (Austria). *Freshwater Crayfish*. 2010, **17**, 221-226.
- Winnicki, A., Pawlos, D., Formicki, K. a Smietana, P. On selected morphomechanical characteristics of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) eggs during incubation. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2004, (372-373), 431-438.