



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra biologie

Bakalářská práce

**Základní charakteristiky populační dynamiky ve školním akváriu  
– fekundita modelového organismu**

Vypracovala: Ivana Průžová

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

České Budějovice 2014

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikační práce Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátu.

V Milevsku 27.06.2014

Ivana Průžová

.....

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce RNDr. Tomáši Ditrichovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, zapůjčení materiálu, za pomoc, ochotu, trpělivost, čas, cenné rady a připomínky, jimiž přispěl k vypracování mé bakalářské práce.

Děkuji paní Mirce Krovové za pomoc při péči o chovy a poskytnutí technického zázemí ve školních prostorách.

Děkuji spolupracovníkům Davidu Boukalovi, Anetě Marvanové, Mileně Mikeskové, Evě Hroudové, Lucii Paulové, Pavle Šalandové, Vojtěchu Kolářovi a Zuzaně Matúšové za pomoc při péči o hladinatky.

Dále děkuji své rodině za umožnění studia, pochopení a podporu při psaní této práce.

## **Abstrakt:**

**Průžová I., 2014: Základní charakteristiky populační dynamiky ve školním akváriu – fekundita modelového organismu.** Bakalářská práce, PF JU, České Budějovice. 39 s.

Tato bakalářská práce je zaměřena na plodnost hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata*) (Heteroptera: Gerromorpha) jako zástupce modelového organismu vodního hmyzu. Hlavním úkolem bylo zjistit, jaká je fekundita *Microvelia reticulata* a porovnat ji s fekunditou jiných semiakvatických ploštic. Další náplní výzkumu bylo také zhodnotit, zda lze podobný experiment provádět ve školním prostředí.

Z výzkumu vyplynulo, že plodnost *Microvelia reticulata* je výrazně nižší než plodnost dalších druhů *Microvelia*. Stejných výsledků bylo dosaženo i v porovnání s ostatními druhy semiakvatických ploštic. Důvodem může být nezajištění příznivých podmínek během laboratorního chovu anebo zjišťování plodnosti samic již pocházejících z laboratorního chovu namísto přírodní populace.

Tento dlouhodobý experiment není vhodné aplikovat v běžném školním prostředí vzhledem k jeho velké časové a prostorové náročnosti a také vzhledem k stálým podmínkám laboratorních chovů.

**Klíčová slova:** plodnost, populace, ploštice, vajíčka, samice, *Microvelia reticulata*

Výzkum byl podpořen projektem GAČR P505/10/0096.

**Vedoucí práce:** RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

## **Abstract:**

**Průžová I., 2014: The basic characteristics of population dynamics in the school aquarium – fecundity of model organism.** Bachelor thesis, University of South Bohemia, Faculty of Education, České Budějovice. 39 pp.

This bachelor thesis is focused on fecundity of semiaquatic bug *Microvelia reticulata* (Heteroptera: Gerromorpha) as a representative model of aquatic insects organism. The main aim was to find out what is the fecundity of *Microvelia reticulata* and compare it with the fecundity of other semiaquatic bugs. Another aim was also to evaluate whether it would be possible to carry out similar experiment under a school conditions.

The research showed that fecundity of *Microvelia reticulata* is significantly lower than the fecundity of other species of *Microvelia*. The same results were achieved also in comparison to other species of semiaquatic bugs. A cause for this result can be insufficient conditions during rearing this bug, or analysis of fecundity of the laboratory reared females instead of females from natural populations.

This long-term experiment is not suitable for normal school conditions due to its enormous time and space requirements and also due to the constant conditions of laboratory breeding.

Keywords: fecundity, population, bugs, eggs, female, *Microvelia reticulata*

Research was supported by project of the Grant Agency of the Czech Republic P505/10/0096.

**Supervisor:** RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Literární přehled .....	2
2.1. Populační ekologie.....	2
2.1.1. Populace.....	2
2.1.2. Znamky populace.....	2
2.1.2.1. Hustota (denzita) populace .....	3
2.1.2.2. Rozmístění (rozptyl, disperze) populace .....	4
2.1.2.3. Růst populace .....	6
2.1.2.4. Kolísání hustoty populace.....	9
2.1.2.5. Struktura populace.....	10
2.2. Semiakvatické plošnice.....	12
2.2.1. Studovaný materiál – <i>Microvelia reticulata</i> .....	12
2.3. Plodnost.....	14
2.3.1. Sexuální a asexuální reprodukce .....	14
2.3.2. Inklusivní zdatnost .....	15
2.3.3. Vzorce plodnosti .....	15
2.3.3.1. Semelparita.....	15
2.3.3.2. Iteroparita.....	16
2.3.4. Věková specifikace.....	16
2.3.5. Závislost na hustotě .....	17
2.3.6. Kompromisy .....	18
2.3.7. Stochasticita prostředí .....	18
2.3.8. Genetické okolnosti .....	18
2.3.9. Porovnání plodnosti dalších semiakvatických plošnic .....	19
2.4. Přehled učebnic.....	24
2.4.1. Učebnice obsahující informace o plodnosti a populační ekologii .....	24
2.4.2. Učebnice neobsahující informace o plodnosti a populační ekologii.....	26
3. Metodika výzkumu plodnosti hladinatky pobřežní ( <i>Microvelia reticulata</i> ).....	27
4. Výsledky.....	30
5. Diskuse .....	34
6. Závěr.....	35
7. Seznam literatury.....	36

## 1. Úvod

Obecně lze říci, že ekologie je biologická věda zabývající se vztahy mezi organismy a vztahy mezi organismy a prostředím. Někdy bývá pojímána jako určitá forma ideologie vyjadřující kladný vztah k přírodě či jako synonymum životního prostředí. Populační ekologie, zabývající se výzkumem konkrétních populací, můžeme označit za vědní obor, který je velmi atraktivní tím, že klade speciální otázky, má vlastní problémy, používá specifické metody a podává základní informace o daných procesech. Tento jeden ze základních směrů ekologie může mít edukační význam, jelikož lze žákům či studentům demonstrovat strategie organismů v přírodě, vliv ekologických faktorů na tyto jedince a chápat struktury a dynamiky populací jako důsledek změn v přežívání a produktivnosti jednotlivců. Díky tomu, že se demekologie zabývá otázkami růstu, stárnutí, rozlišení nebo poznávání, lze tvrdit, že přispívá k dokonalejšímu poznávání přírody.

Cílem bakalářské práce je zhodnotit míru, s jakou jsou na základních školách vyučovány aspekty populační ekologie, dále určit fekunditu hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata*) v laboratorních podmínkách, srovnat s dostupnými údaji jiných semiakvatických ploštic a vyhodnotit vhodnost tohoto taxonu ke sledování populační dynamiky ve školní praxi. Bakalářská práce by měla zodpovědět tyto otázky:

Čím se zabývá populační ekologie, jak se učí a do jaké míry ji lze najít v dostupných učebnicích přírodopisu či biologie?

Jaká je fekundita *Microvelia reticulata* a její porovnání s fekunditou jiných semiakvatických ploštic?

Lze podobný experiment aplikovat v běžném školním prostředí?

## **2. Literární přehled**

### **2.1. Populační ekologie**

Studium populací je předmětem demekologie, neboli populační ekologie. Zabývá se strukturou a dynamikou populací a procesy, které tyto populace vymezují. Je vědou zaměřenou na kauzalitu populačních jevů. Těmito jevy jsou myšleny jakékoliv pozorovatelné změny (nenáhodnosti), které se vyznačují určitým charakteristickým uspořádáním znaků (Tkadlec, 2008).

Teoretickým jádrem populační ekologie je demografie, která se zabývá vztahem populačních struktur a populačního růstu. Při zjišťování vztahu mezi populační dynamikou a mechanismy regulace populací může demekologie spolupracovat např. s populační genetikou, ekologií společenstev, krajinnou ekologií či ekofyziologií (Tkadlec, 2008).

#### **2.1.1. Populace**

Organismy nežijí v přírodě jednotlivě, ale vytvářejí populace (Jelínek a Zicháček, 2002). Podle Campbella a Reece (2006) populací rozumíme soubor jedinců stejného druhu, kteří souběžně obsazují stejná území. Rosypal a kol. (2003) definuje populaci jako soubor geneticky příbuzných jedinců, kteří jsou schopni se mezi sebou křížit, mají společného předka a genotypově se podílejí na společném genofondu. Populace je také důležitou úrovní organizace živé hmoty, jelikož se na této úrovni rozhoduje o evoluci daného druhu (Tkadlec, 2008). Jelínek a Zicháček (2002) dodávají, že populací se míní výhradně jedinci stejného druhu. Myslí tím jak vajíčka, larvy a stádia, jež umožňují přežití nepříznivých podmínek, tak i dospělé.

Dle Campbella a Reece (2006) jsou jedinci v populaci ovlivňováni ekologickými faktory, vzájemně spolu interagují a spoléhají se na tytéž zdroje.

Je obecně platné, že rozmístění jedinců v populaci bývá dlouhodobě takové, aby se každý z nich mohl podílet na produkci potomstva (Jelínek a Zicháček, 2002).

#### **2.1.2. Znaky populace**

Každá populace má určité vlastnosti. Mezi nejdůležitější rysy patří její hustota a rozptýlenost (Campbell a Reece, 2006). Zicháček a Jelínek (2002) dodávají, že



populace je živým systémem, v němž jak jedinec, tak i celá skupina vykazují určité biologické vlastnosti. Populace tak mohou růst, odlišovat se, stárnout, mít určitou mortalitu, natalitu apod. Právě tyto vlastnosti zkoumá populační ekologie.

#### **2.1.2.1. Hustota (denzita) populace**

Důležitým znakem vyjadřujícím velikost populace je její hustota neboli denzita (Rosypal, 2003). Dle Campbella a Reece (2006) je to početní stav jedinců vztažený na jednotku objemu či území. Rosypal (2003) dodává, že se může také vyjádřit hmotností jako biomasa jedinců, kteří tvoří určitou populaci, a opět je vztažena na jednotku objemu, plochy nebo velikost obsazené plochy. Papáček a kol. (1997) doplňují, že hustota populací je značně rozdílná a závislá na velikosti jedince a způsobu jeho života.

Dle Campbella a Reece (2006) by se těžko dala určit velikost populace počítáním jedinců v rámci určitých hranic dané populace, proto se v některých případech uplatňuje tzv. vzdušné sčítání. Tuto metodu lze aplikovat např. při počítání slonů nebo buvolů, tedy stád velkých zvířat žijících v otevřených biotopech. Biologové mohou zvířata počítat přímo – tzn. při pohledu z letadla, nebo stádo vyfotografovat. Opakovaným sčítáním lze vysledovat jisté populační trendy.

Tato metoda je však zjevně nepoužitelná pro veliké spektrum živočichů. Pro určení jedinců v populaci existují i tzv. vzorkovací techniky (Campbell a Reece, 2006). Mezi tyto metody patří i metoda zpětných odchyť. Při prvním odchyťu se chytí reprezentativní vzorek a jedinci se označí tak, aby značkou nebyli nijak omezováni. Po označení jsou jedinci vypuštěni do přírody. Při druhém odchyťu je spočítáno, kolik chyceným jedinců má na svém těle značku. Avšak i tato metoda přináší problémy, protože některá zvířata mohou migrovat nebo uhynout. Nicméně pro určité druhy populací je stále jedinou reálnou volbou pro zjištění velikosti populace (Townsend a kol., 2010). Hlavním předpokladem užití této metody je podmínka, aby každý označený jedinec měl stejnou pravděpodobnost být chycen stejně jako jedinec neoznačený (Campbell a Reece, 2006).

Dle Campbella a Reece (2006) se populační velikost spočítá dle následujícího vzorce:

$$N = \frac{\text{počet označených jedinců v prvním odchytu} * \text{celkový počet v druhém odchytu}}{\text{počet znovu chytených jedinců v druhém odchytu}}$$

Další metodou mohou být odhady pomocí reprezentativních vzorků. Není možné spočítat např. všechny perloočky v jezeře. Lze odebrat menší vzorek jedinců, který se pak přepočte na plochu jezera. Tato metoda byla aplikována např. u výzkumu, kdy se zjišťoval počet skokanů levhartích (*Rana pipiens*) v rybnících. Zkoumalo se, zda počet souvisí s typem stanoviště v jejich okolí. Odhady počtů žab byly dle jejich intenzity kvákání na škále: „žádné“, „málo“, „více“ až po „hodně moc“. Z výsledků lze konstatovat, že abundance je vyšší v rybnících, které jsou v blízkosti rybníčků s výskytem žab a zároveň tam, kde jsou v blízkosti do 1 km vhodná stanoviště (Pope et al., 2000 in Townsend a kol., 2010).

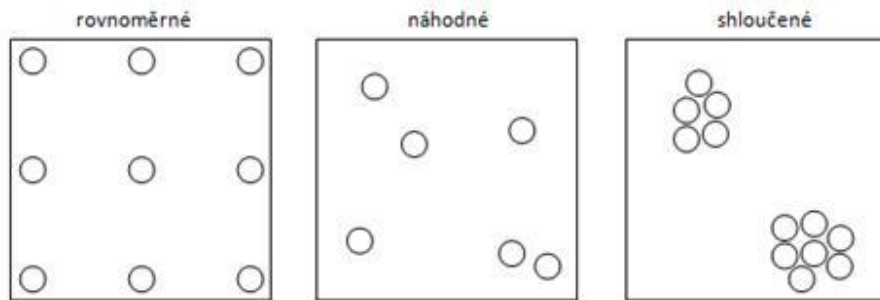
#### **2.1.2.2. Rozmístění (rozptyl, disperze) populace**

Jedinci, kteří tvoří populaci, jsou jen výjimečně rozmístěni rovnoměrně (neboli uniformně). Rovnoměrné rozmístění můžeme pozorovat u druhů, které se vyznačují silnou vnitrodruhovou konkurencí (Šlégr a kol., 2005). Rosypal (2003) doplňuje, že jde o konkurenci, kdy následkem vymírání zůstanou jednotlivé druhy v přirozené vzdálenosti od sebe. Příkladem mohou být dřeviny v přirozeném lese či kolonie korálů. Campbell a Reece (2006) dodávají, že živočichové vykazují tento rozptyl jako výsledek teritoriálního chování. Mezi jedinci v populaci dochází k přímým interakcím, některé rostliny mohou např. vylučovat chemické látky a tím zamezit rostlinám v jejich okolí klíčit či dokonce růst, aby se zbavily budoucího konkurenta o potravní zdroje.

Dalším typem je rozmístění nahloučené čili shloučení. Je to nejběžnější typ rozmístění jedinců ve skupinkách. Jednotlivé druhy vyhledávají pro svůj vývoj a růst různé typy stanovišť a rozdílné klimatické podmínky. Většinu času tráví v pro ně příznivých mikroprostředích. Příkladem může být lesní hmyz žijící ve vysoké vlhkosti pod kládami

nebo herbivorní živočichové soustředí se na území, kde rostou rostliny, jimiž se živí (Campbell a Reece, 2006).

Posledním a méně obvyklým typem je náhodná disperze. Tento profil je vzácný a příkladem mohou být např. larvy potemníka v mouce nebo rostliny na říčních náplavách (Rosypal, 2003). Typy rozmístění jedinců v populaci můžeme pozorovat na obr. 1.



**Obrázek 1: Příklady rozmístění jedinců stejné populace živočichů (převzato z Šlégr a kol., 2005).**

Při výpočtu rozptylu dochází k rozdělení areálu na jednotky, následně se spočítá průměr a variace dle následujících vzorců:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \qquad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Důležitý je poměr variace a průměru, kde dojde ke zjištění druhu rozmístění:

$$\frac{s^2}{\bar{x}} < 1 \rightarrow \textit{pravidelný}$$

$$\frac{s^2}{\bar{x}} = 1 \rightarrow \textit{náhodný}$$

$$\frac{s^2}{\bar{x}} > 1 \rightarrow \textit{shloučený}$$

Dalším rozdělením disperze, založeném na dimenzi rozmístění v prostoru, může být disperze lineární, plošná a prostorová. Lineární disperzi je možno pozorovat u druhů, jež obývají břehové porosty tekoucích vod. Jako příklad lze uvést skorce vodní na potoce. Plošná disperze je typická pro obojživelníky, plazy a hlodavce, kteří žijí přímo na nebo těsně pod zemským povrchem, a pro druhy žijící ve vodních ekosystémech a obývající dna nádrží. Prostorovou disperzi lze aplikovat u vodních obratlovců, stromových ptáků a u šplhavých savců (Jelínek a Zicháček, 2002).

### **2.1.2.3. Růst populace**

Typickými vlastnostmi populace je její růst, stárnutí i úhyn jedinců v populaci či populace celé. To se projevuje na počtu jedinců tvořících populaci (Rosypal, 2003). Zvyšování nebo snižování velikosti populace závisí na množivosti, úmrtnosti a na stěhování (Šlégr a kol., 2005).

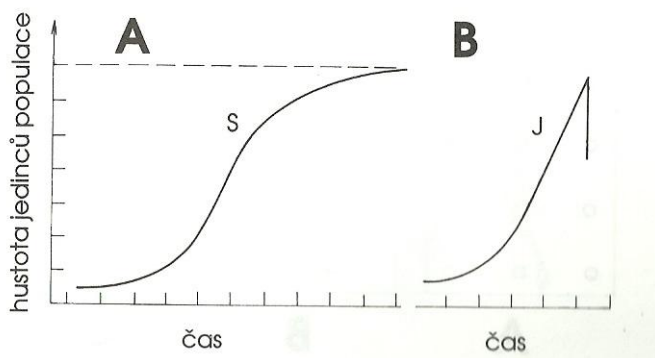
Množivost (natalita) je rozmnožovací schopnost. Pro populaci není rozhodující, zda jedinci vznikají pohlavně nebo nepohlavně. Maximální počet vajíček, mláďat či semen, který populace vyprodukuje za určitý čas, se nazývá biologický potenciál (Rosypal, 2003). Šlégr a kol. (2005) doplňují dva příklady. Samice roupa dětského je za svůj život schopna naklásť až 10 000 vajíček. Druhý příklad uvádí, že na 1 m<sup>2</sup> vrbky úzkolisté je vyprodukováno 1 400 000 semen ročně, což jsou jedinci s vysokou množivostí. Opakem může být bizon, u kterého se rodí jen 1 mládě za rok.

Úmrtnost jedinců v populaci může být u některých druhů vysoká. Příkladem může být obecně hmyz, který má během postembryonálního vývoje až 90 – 99 % úmrtnost. Mortalita je způsobena několika příčinami. První jsou nepříznivé abiotické faktory (mráz, sucho, atd.). Další příčinou jsou biotické vztahy (ulovení či poškození predátorem) a poslední je vnitrodruhová konkurence mezi jedinci stejné populace. Kompetice vzniká při nedostatku prostoru a potravy v rámci jedné populace. Zdatnější jedinci mají rychlejší růst, odebírají více zdrojů, čímž trpí jedinci kompetičně slabší. Je to tedy přirozený způsob snižování počtu stavů jedinců v populaci. V rostlinné říši se to označuje termínem samozředování populace. V živočišné říši je příkladem vytváření hájených území (teritorií) v období rozmnožování (Rosypal, 2003).

Stěhování (migrace) se může projevovat jako migrace, emigrace a imigrace (Benešová a kol., 2003). Rosypal (2003) vysvětluje, že migrace je pravidelně se opakující stěhování se zpětným návratem na původní místo. Stěhování se vyznačuje různými intervaly (denní, sezónní, víceleté) a příkladem jsou tahy lososů a úhořů mezi místy reprodukce a růstu. Dalším typem je emigrace, což je odstěhování bez návratu, např. tah lumíků. Po emigraci následuje imigrace, tedy to, že se jedinci nastěhují na místo nové, kde se jejich druh dosud nevyskytoval.

Dle Rosypala (2003) existují dvě formy grafického znázornění růstu populace, které zobrazuje obr. 2. Jedním je křivka tvaru písmene J (tzv. exponenciální), která znázorňuje, jak by populace v neomezeném prostoru s dostatkem živin a energie rostla zpočátku pomalu a neustále by se geometricky zvětšovala – rostla by exponenciálně. Šlégr a kol. (2005) dokládají příklady těchto situací. Může jím být zavlečení organismů do nového prostředí (králíka do Austrálie) nebo bakteriální epidemie (středověký mor).

Druhé schéma ve tvaru písmene S (tzv. sigmoidní) reprezentuje populaci, jež roste zpočátku pomalu, ale při dosažení hustoty populace, kdy jsou omezené zdroje živin či prostoru, populace přestane růst a zvýší se úmrtnost jedinců. Maximální počet jedinců, které je schopné prostředí uživit, formuluje nosnou kapacitu prostředí pro určitý druh (Rosypal, 2003). Papáček a kol. (1997) dodávají, že křivka tohoto tvaru je častější. Třetí fáze, kdy se růst výrazně zpomalí, se nazývá stacionární. Při této fázi dochází ke zhoršení prostředí vlivem odpadních látek a odpor prostředí proti dalšímu růstu se zvětšuje. Obecně tyto dva typy růstu jsou dost nereálné. Ve skutečnosti jsou nejčastější tlumené cykly, anebo dokonce netlumené oscilace.

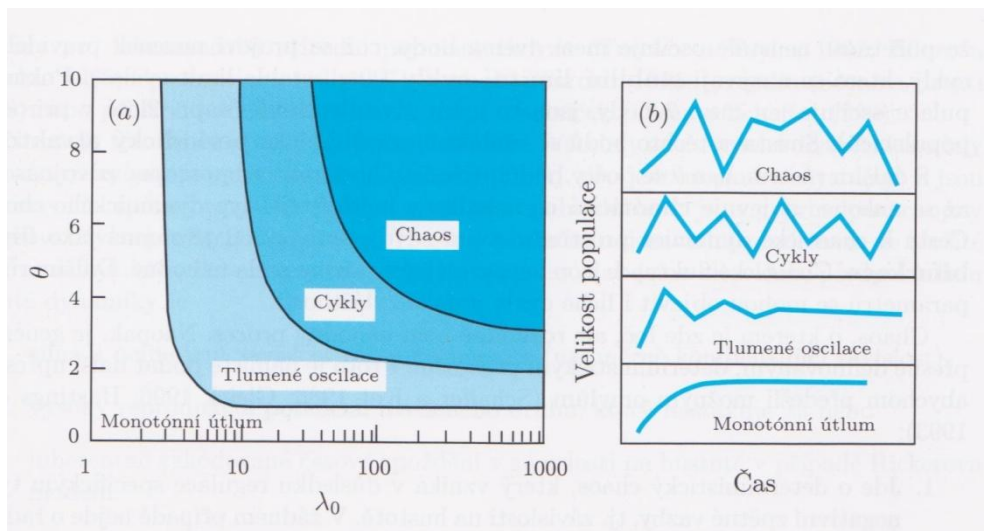


**Obrázek 2: Grafické znázornění růstových křivek (A = křivka tvaru S, B = křivka tvaru J).**

**Převzato z Papáček a kol. (1997).**

Četnosti populací se pohybují kolem určitého průměru v prostoru i čase. Jako fluktuace se označuje odklon od průměru. Nicméně pokud tyto fluktuace nesou známky pravidelnosti a může docházet k jejich předpovídání, lze je nazývat oscilacemi. Je obecně platné, že některé populace jsou stabilnější než druhé, naopak u jiných druhů dochází ke kolísání. Příkladem mohou být roky, kdy se objevuje větší počet klíšťat, v jiných letech naopak více komárů. Nicméně u jelenů či prasat dochází ke zvyšování početnosti v průběhu několika let, avšak meziroční odchylky jsou menší (Tkadlec, 2008).

Dle Tkadlece (2008) lze u populace zkoumat její povahu související s vychýlením z nosné kapacity prostředí ( $K$ ), tedy její vzdalování či vracení se. Pokud se vzdaluje, jedná se o nestabilní ekvilibrium, někdy označované jako bodový repelor. V opačném případě jde o ekvilibrium stabilní neboli bodový atraktor. Existují dva typy návratu do nosné kapacity. Prvním je typ monotónní (exponenciální, asymptotický), který je spojen s nedostatečnou kompenzací, jelikož se systém vrací ve více krocích. Druhý je typ oscilační, při němž dochází k překompenzování a systém se vrací do tlumené oscilace. Pokud se systém vrací v jednom kroku, tak vykazuje širší spektrum chování a zahrnuje dynamiky s nadměrně kompenzující závislostí.



**Obrázek 3:** Parametr na ose x charakterizuje maximální konečnou míru růstu nezávislosti na hustotě a parametr na ose y typ závislosti na hustotě (nedostatečně kompenzující, přesně kompenzující a nadměrně kompenzující). S postupným růstem obou parametrů se jednoduchá dynamika typu monotónního útlumu nebo tlumených oscilací, kde se populace sbíhají do jednoho stabilního bodu (atraktoru), mění ve složitou dynamiku populačních cyklů a chaosu (b). Tehdy se atraktor mění na repelor a atraktorem se stává soustava více bodů (May, 1975 a Morris, 1990 in Tkadlec, 2008).

#### 2.1.2.4. Kolísání hustoty populace

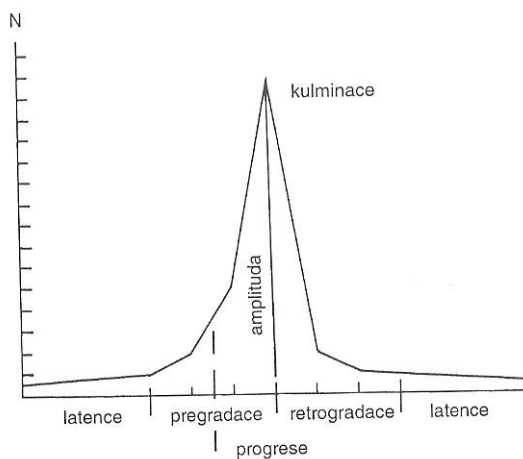
Populační hustota není stále stejná, ale mění se v čase pravidelně i nepravidelně. Příčiny jsou závislé jak na změnách vnějších podmínek (změny počasí, dravci, nemoci, potrava, dosažení nosné kapacity prostředí atd.), tak na změnách např. v plodnosti, úmrtnosti a stěhování jedinců v populaci (Rosypal, 2003).

Hustota populací podléhá tedy změnám. Z praktického hlediska lze odlišit dva typy změn – oscilaci a fluktuaci (Jelínek a Zicháček, 2002).

Změny v populaci v průběhu jednoho roku se nazývají oscilace. Projevují se především v mírném klimatickém pásu, kde dochází k projevům oscilace vlivem změny teploty, srážek a dostupnosti potravy v jednotlivých ročních obdobích. Maximum nastává po rozmnožování, minimum přichází s koncem zimy. Příkladem může být sýkora koňadra, která má během roku pouze jedno maximum (Šlégr a kol., 2005).

Změny v průběhu několika let lze vyjádřit pojmem fluktuační. Tato kolísání jsou výsledkem rozdílu natality a mortality v jednotlivých letech (Jelínek a Zicháček, 2002). Během několika let se projevují různé odchylky počasí, např. to mohou být záplavy, zima i sucha, což má vliv na populační hustotu (Šlégr a kol., 2005).

U býložravců dochází často k přemnožení (tzv. gradaci). Dle obrázku č. 4 lze pozorovat jednotlivé fáze. Po gradačním vrcholu (tzv. kulminaci) četnost populace prudce klesá, nazývá se to bodem retrogradace. Poté přichází latence neboli období snížených stavů, mírného vzrůstu – pregradace a následuje prudký růst (tzv. progrese) s novou kulminací (Jelínek a Zicháček, 2002).



**Obrázek 4: Fáze gradační křivky (N = počet jedinců). Převzato z Jelínek a Zicháček (2002).**

#### **2.1.2.5. Struktura populace**

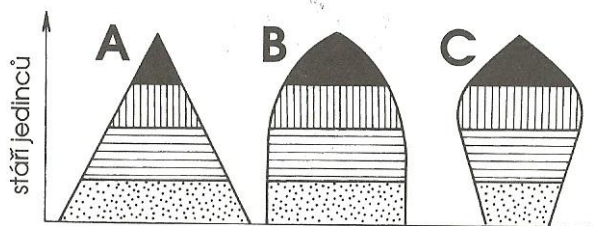
Jedinci, kteří tvoří populace, nejsou všichni stejně staří ani ve stejném vývojovém stupni. Tato nerovnocennost jedinců tvoří strukturu populace. Struktura populace se posuzuje dle následujících hledisek: dle věku, pohlaví (sexuální struktura), sociální hierarchie, hmotnosti a velikosti (Rosypal, 2003).

Nejčastěji se zjišťuje struktura věková. Záleží zde na počtu rozmnožování schopných jedinců a jedinců nedospělých, tj. starých, kteří se již rozmnožování neúčastní (Papáček a kol., 1997). Struktura je dána proporcemi jedinců v jednotlivých třídách. Jedinci stejného věku mají podobné chování, preference a hlavně podobné míry reprodukce a přežívání. Věkové třídy se mohou značit dvěma způsoby. Prvním způsobem je určení



pomocí věku  $x$  používaného v životních tabulkách a jehož rozmezí začíná na 0 nebo 1. Druhým způsobem je potom určování pomocí věkových kategorií  $i$ , které mají počátek v čísle 1. Vztah mezi věkem a věkovou třídou vyjadřuje rovnice  $x = i - 1$  (Tkadlec, 2008).

Grafické znázornění věkové struktury znázorňuje obr. 5, kde lze odlišit tři druhy populací. Tvarem pyramidy je značena perspektivní a rozvíjející se populace, stálá populace má tvar zvonu a vymírající populace lze vzhledově přirovnat k urně.



**Obrázek 5: Věkové struktury různých populací. Graficky jsou zde odděleny čtyři věkové třídy. Převzato z Papáček a kol. (1997).**

Poměr pohlaví většinou vyjadřuje počet samců ku počtu samic. Především na počtu samic je většinou závislý růst populace. Sociální strukturou jsou myšleny vztahy mezi jedinci. Lze tím myslet nadřazenost starším jedincům populace a zároveň podřazenost jedincům mladším např. u populací mrožů a lachtanů. Tato vazba souvisí s nervovou činností (Papáček a kol., 1997). Hmotnostní struktura se zjišťuje u živočichů, u nichž nelze zjistit jejich věk, například u hlodavců. Struktura velikostní je dána rozdílnou velikostí jedinců populace (Rosypal, 2003).

## 2.2. Semiakvatické ploštice

Semiakvatické ploštice (Heteroptera: Gerromorpha) obývají vody stojaté, mírně tekoucí, od sladkých, polosladkých až po slaná pobřeží i širý oceán. Některé druhy lze najít na vodní hladině, jiné v pobřežní vegetaci. Během přezimování nebo migrace mohou vodní hladinu opouštět (Andersen, 1982; Andersen, 1996 in Paulová, 2012). Obecně lze tvrdit, že druhové bohatství semiakvatického hmyzu klesá s rostoucí zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou (Aukema a Rieger, 1995; Andersen, 1996 in Paulová, 2012).

Semiakvatické ploštice většinou mají pět larválních stádií. Přezimující dospělci začínají klást vajíčka velmi brzy. Samice mohou naklást až 250 vajíček během reprodukčního období. Z vajíček se po 8-14 dnech líhnou nymfy (Spence a Andersen, 1994; Andersen, 1996 in Paulová, 2012).

Semiakvatické ploštice jsou převážně predátoři, jejich potravu tvoří nejčastěji mrtvý či topící se hmyz nebo jiní členovci (Andersen, 1996 in Paulová, 2012).

### 2.2.1. Studovaný materiál – *Microvelia reticulata*

Předmětem studie je semiakvatická ploštice hladinatka pobřežní (*Microvelia reticulata*) Burmeister, 1835 (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Gerromorpha: Veliidae). Ploštice jsou skupinou různorodou a druhově početnou. První pár křídel je přeměněn na polokrovky (hemelytry), zadní pár křídel je blanitý (Hudec a kol., 2007). Malenický a kol. (2004) dodává, že polokrovky jsou často barevné a ploštice obecně si lidé často pletou s brouky, od kterých se však liší bodavě sacím ústním ústrojím a nedokonalou proměnou.

U některých druhů ploštic se kromě forem s plně vyvinutými křídly (makropterní formy) vyskytují i formy nelétavé se zkrácenými (brachypterní), zakrnělými (mikropterní) či chybějícími křídly (forma apterní) (Hudec a kol., 2007). U *Microvelia reticulata* se většinou vyskytuje forma apterní, vzácněji potom forma makropterní (Hudec a kol., 2007).

Dle Korbela a kol. (2001) hladinatka pobřežní měří 1.4 – 1.8 mm. Vyskytuje se ve stojatých vodách Evropy, kde osídluje stanoviště při březích, jež jsou zarostlá vodními

roślinami. Hudec a kol. (2007) dodává, že *Microvelia reticulata* patří mezi vodní ploštice, které se živí dravě.

Hladinatka pobřežní je tmavé barvy, přiřazuje se jí podobnost s rašelínatkami. Nicméně oproti rašelínatkám má dvoubarevná stehna a na štítu za hlavou lze u ní pozorovat dvě skvrny cihlové barvy (Hudec a kol., 2007).

Dle výzkumu Ditricha a Papáčka (2009) byla v roce 2008 sledována populační dynamika *M. reticulata* spolu s *M. furcata* na dvou rybnících (Jarval a Motovidlo) v Jižních Čechách. Maxima populační hustoty bylo dosaženo na přelomu května a června a pak znovu v srpnu. Dle výsledků autoři usuzují na dvě až tři generace za sezónu. Většina chycených dospělců byla apterní, 3.8 % dospělců ulovených během sezony bylo makropterních.



**Obrázek č. 6: *Microvelia reticulata*. Foto: T. Ditrich.**

## 2.3. Plodnost

Organismy existují, aby se reprodukovaly. Aktuální plodnost je měřítkem rozmnožovací výkonnosti jedince nebo populace. Plodnost jako taková může být vnímána jako jeden ze dvou základních kamenů populační biologie, přičemž tím druhým je schopnost jedince přežít za účelem rozmnožování. Dohromady tvoří tzv. biologickou zdatnost (fitness) jedince. Protože plodnost většinou lze, na rozdíl od obtížně definovatelné „schopnosti přežít,“ měřit s rozumnou přesností, plodností se často fitness aproximuje. V ekologii může být plodnost popsána jednoduše jako maximální potenciální fyzická produkce jedince v průběhu jeho života, a je obvykle aplikována na samičí (spíše než samčí) produkci, ačkoliv neexistuje vlastní důvod, proč by plodnost měla být omezena na samice. Termín „reprodukční úspěch“ byl zaveden k popisu reprodukční produkce samce i samice, nicméně tento termín není ekvivalentem plodnosti, protože prvně jmenovaný je měřítkem individuálního genetického příspěvku následujícím generacím. Reprodukční úspěch se může mezi jedinci lišit díky mateřskému věku, zdatnosti potomka, různé velikosti drápů a dalším charakteristikám závislejícím na životní zkušenosti (Bradshaw a McMahon, 2008).

### 2.3.1. Sexuální a asexuální reprodukce

Koncept plodnosti by v praxi měl být aplikován rovným dílem na dva způsoby reprodukce – sexuální a asexuální. Relativně vysoká cena za sexuální reprodukci vychází z anizogamie (rozdílnosti gamet), ale sexuální výběr může tuto cenu snížit, dokonce i eliminovat. Ačkoliv neexistuje jasný rozdíl mezi plodností sexuálních a asexuálních samic stejného genotypu, rovnovážná frekvence škodlivých mutací je nižší v sexuálních populacích, obvykle zároveň s růstem zdatnosti sexuálních samic. Navzdory výhodám sexuální reprodukce, převládání klonální nebo asexuální formy rozmnožování v životních cyklech mnoha rostlinných a živočišných druhů naznačuje, že tato strategie nabízí výhody alespoň za některých okolností. Příkladem může být klonální rozmnožování, které může klonu pomoci přežít mnoho rozmnožovacích aktů, protože omezuje potenciálně katastrofické lokální vymírání spojené s omezenou disturbancí. Velké množství klonů může také zvýšit množství těl produkujících gamety a vylepšit jejich pravděpodobnost nalezení partnera, až dojde k vyvolání sexuální reprodukce. Tím pádem by změny v nevýhodách a výhodách klonů měly záviset na

sexuálním okolí jedince a stupni konkurenčního stresu vyvolaného prostředím (Bradshaw a McMahon, 2008).

### **2.3.2. Inklusivní zdatnost**

Dle Bradshaw a McMahon (2008) se myšlenka inklusivní zdatnosti stala základem moderní biologie a možná jedním z nejdůležitějších posunů vpřed v rámci evoluční biologie od doby, kdy Darwin představil teorii přirozeného výběru. Paradox, který nastává u některých jedinců v rámci snahy populace o získání příležitosti k páření, může být vysvětlen, pokud někteří jedinci pomohou s reprodukcí vlastním blízkým nepřímo. Toto chování nastává, když genetická příbuznost mezi altruistou a příjemcem ( $r$ ), vynásobená přírůstkem zdatnosti příjemce ( $b$ ), mínus náklady zdatnosti altruisty ( $c$ ), je větší než nula; tedy  $(rb - c) > 0$  (Hamiltonovo pravidlo). Díky tomu je pravděpodobnost sdílení určitého genu i pravděpodobnost, že altruistický gen bude předán do další generace, dána mírou příbuznosti mezi altruistou a příjemcem. Příkladem mohou být sterilní kasty sociálního hmyzu, jež jsou extrémním příkladem kvazi-altruismu (dělnice se vzdají reprodukce a vychovávají potomky matky). Toto se nejčastěji vyskytuje u blanokřídlých (včely, vosy a mravenci), pravděpodobně díky jejich haplodiploidnímu uspořádání chromozomů, kdy samci mají jediný pár chromozomů a vyvíjejí se z neoplozených vajíček a samice mají dva páry od každého chromozomu. Protože poté neprobíhá meióza, všechny dcery daného samce mají identické otcovské geny.

### **2.3.3. Vzorce plodnosti**

Pro popis rozmnožovacího aktu lze použít termín „parita“. Druh může přijmout různé způsoby reprodukčního načasování a frekvence v závislosti na historii svého vývoje a omezeních daných jeho současným prostředím (Bradshaw a McMahon, 2008).

#### **2.3.3.1. Semelparita**

Dle Bradshawa a McMahona (2008) se semelparní organismy rozmnožují pouze jednou za život, což může být i ve věku pouhých 20 minut u určitých druhů bakterií, několik hodin u mnohých prvoků, případně až několik týdnů, měsíců nebo let u některých druhů hmyzu a savců. Mnoho semelparních druhů je jednoletých (žijí pouze jeden rok), ale některé druhy se rozmnožují až po několika letech dospělosti. Semelparita může také poskytovat další výhody oproti iteroparitě např. co se týče velikosti těla

potomstva, což pravděpodobně vede ke zvýšenému tempu růstu a přežití nedospělců. Semelparita je u savců omezena na dvě čeledi vačnatců (vačice a kunovcovití). U některých semelparních druhů umírají pouze samci po krátkém, vysoce synchronizovaném období páření, zatímco u jiných jsou samčí úmrtí fakultativní. Vysoká míra samičí úmrtnosti, která je zapříčiněna dlouhými obdobími laktace u některých druhů také značí samičí semelparitu, na jejímž základě samci volí bet-hedgingovou strategii a dochází tak k vývoji samčí semelparity.

### **2.3.3.2. Iteroparita**

Iteroparní jsou druhy, které se rozmnožují více než jednou za život. Délka dospívání, které předchází první reprodukci, se může pohybovat od několika dní u malých korýšů do více než 100 let u některých druhů stromů. Rozmnožovací frekvence se může také markantně lišit - denně (např. tasemnice), půlročně, ročně, jednou za dva roky nebo nepravidelně (např. lidé). U mnohých iteroparních druhů existuje určitý poměr jedinců, kteří se rozmnožují pouze ve střídavých obdobích (nebo méně často), čímž předcházejí svému potenciálnímu životnímu reprodukčnímu úspěchu. Fenomén oficiálně známý jako "nízká reprodukční frekvence" je nejčastější u ektodermních obratlovců, ale byl také popsán u endotermních druhů (sýkorka lužní, racek tříprstý, plch velký). Ektotermní druhy, využívající tuto strategii, mívají k rozmnožování přidružené doplňkové aktivity (které jsou však nezávislé na plodnosti) jako migraci, sezení na vejcích a živorodost. Předpokládá se, že tato strategie by se mohla vyvinout pouze ve dvou případech: pokud už v rámci nízké reprodukční frekvence k reprodukci dojde, přinese tato daleko vyšší plodnostní užitek, než by přinesla pravidelná reprodukce, nebo pravděpodobnost přežití období mezi jednotlivými reprodukci je daleko vyšší než by byla v průběhu stejně dlouhého období v rámci strategie pravidelné reprodukce. Tím pádem může nízká reprodukční frekvence přinést vyšší průměrnou plodnost v průběhu života jedince, pokud je splněna alespoň jedna ze dvou výše zmíněných podmínek (Bradshaw a McMahon, 2008).

### **2.3.4. Věková specifikace**

U iteroparních organismů plodnost často roste s věkem po dosažení pohlavní dospělosti a ve stáří klesá. Míra reprodukce se může věkem zvyšovat, pokud jedinec s přibývajícím věkem investuje větší relativní množství zdrojů. Například míra růstu

obvykle klesá po dosažení pohlavní dospělosti, takže více zdrojů se tím pádem může nasměrovat do rozmnožování, čímž dojde ke zvýšení věkově specifické plodnosti. Termín „primiparita“ lze definovat jako věk, kdy dojde k první reprodukci. U některých druhů je tento věk konstantní, u jiných je zprostředkován prostředím. Míra zpoždění primiparity závisí na druhu využívané niky a konkrétním nastavení populace. Rostoucí plodnost lze také pozorovat u druhů, které po dosažení dospělosti už nerostou. Pokles plodnosti s věkem je často označován jako "reprodukční stárnutí". Jedna z hypotéz vysvětlujících tuto problematiku říká, že tím jak jedinec stárne, zhoršuje se vzhledem k fyzickému stárnutí míra získávání zdrojů. Plodnost stejně časem vymizí díky fyzickému stárnutí. Když je vnější úmrtnost nízká, je investice do somatických oprav na úkor omezení plodnosti výhodná, protože zvyšuje očekávanou délku dožití. Míra reprodukce je tedy nízká na počátku života, ale postupně se zvyšuje, až v pozdějším životě dosáhne maxima. Poté nevyhnutelně opět klesá kvůli fyzickému opotřebením, ke kterému v průběhu života dochází (Bradshaw a McMahon, 2008).

#### **2.3.5. Závislost na hustotě**

Podle Bradshawa a McMahona (2008) rozmnožení přílišného množství jedinců může vést k nadměrné populační hustotě a omezení zdrojů na hlavu, jako je dostupnost potravy, místa k páření a území. Za takovýchto okolností je zřejmé, že pro jedince není výhodné investovat veškerou energii do plodnosti, pokud pravděpodobnost, že se jejich potomek dožije plodného věku, je nízká. Z toho lze tvrdit, že hustota populace negativně ovlivňuje plodnost. Obecně, čím vyšší velikost populace, tím menší ať už průměrné množství vyprodukovaných potomků na matku nebo průměrná velikost potomků. Nicméně vztah mezi hustotou a plodností není nutně lineární. Například pro mnoho dlouhověkých, iteroparních druhů se negativní důsledky populační hustoty neprojeví v průměrné plodnosti, dokud populace nedosáhne maximální kapacity svého prostředí. U mnohých semelparních druhů s krátkou očekávanou dobou dožití je pravdou opak - plodnost prudce klesne, jakmile populace začne růst. Spousta rostlinných druhů například vyžaduje vysokou hustotu populace, aby přilákala pasoucí se zvířata nebo opylovače, kteří napomáhají opylení a šíření propagulí. Druh a síla závislosti na hustotě platící pro populaci má také důsledky pro věkově specifické vzorce plodnosti. Pokles vnější úmrtnosti upřednostňující vývoj omezeného reprodukčního

stárnutí je předpovídán, pouze pokud se závislost na hustotě projevuje primárně na plodnosti a bez diferencovaně klesající plodnosti v pozdějším věku.

### **2.3.6. Kompromisy**

Teorie kompromisu znamená, že se rodiče rozhodnou podstoupit určitý stupeň rizika, do kterého uvrhnou své potomky v případě ohrožení predátorem. Druhy s nízkým přežitím dospělců a vysokou plodností by měly tolerovat větší riziko spojené s predátory vzhledem k nízké pravděpodobnosti přežití a budoucí reprodukce. A naopak, druhy s vysokým přežitím dospělců a nízkou plodností by měly tolerovat méně rizika, dokonce na úkor svého potomstva. Tento základní kompromis v podstatě vyjadřuje kapacitu organismu k maximalizaci svého potenciálního životního reprodukčního úspěchu tím, že vybere nejlepší strategii, aby dosáhl nejvyšší potenciální plodnosti (Bradshaw a McMahon, 2008).

### **2.3.7. Stochasticita prostředí**

Nejtěživějším a nejnaléhavějším problémem je dnes pravděpodobně změna klimatu. Převládající stav prostředí může mít dopad na plodnost čtyřmi hlavními způsoby: změnou stavu těla matky, přežití matky, stavu těla potomstva a přežití potomstva. Tyto důsledky lze těžko číselně vyjádřit, a proto se provádí sčítání populací v odlišných věkových třídách a fázích v průběhu času a porovnání naměřených ukazatelů s danými proměnnými prostředí (Bradshaw a McMahon, 2008).

### **2.3.8. Genetické okolnosti**

Je důležité vzít v úvahu dopady příbuzenského křížení na reprodukční zdatnost. Existují silné důkazy pro tvrzení, že příbuzenské křížení snižuje reprodukci a přežití u druhů, které se přirozeně příbuzensky nepáří, a v menší míře u druhů, kde dochází k samooplodňování, přičemž nárazové nepříbuzenské páření může tyto škodlivé účinky odvrátit. Příbuzenské křížení nejen, že snižuje reprodukční zdatnost jedince, ale i populace příbuzensky zkřížených jedinců často vede k poklesu populace a zvýšené míře příbuzenského křížení. U příbuzenského křížení se často předpokládá zvýšené riziko vyhynutí populace. Méně časté příbuzenské křížení pravděpodobně vyústí v úbytek. Aby k tomuto nedocházelo, byla navržena efektivní velikost populace, a to 50 nebo více jedinců, ačkoli není obecně známo, jak velká by populace musela být, aby se



zabránilo úbytku v důsledku příbuzenského křížení dlouhodobě (Bradshaw a McMahon, 2008).

### **2.3.9. Porovnání plodnosti dalších semiakvatických ploštic**

Obecně lze říci, že většina poznatků z ekologie semiakvatických ploštic je založena pouze na výzkumech větších druhů, převážně bruslařek (Gerridae) z palearktické a nearktické oblasti (Paulová, 2012). Výzkumy plodnosti semiakvatických ploštic, zkoumány v několika zemích světa, jsou metodicky, časově i prostorově náročné. Reprodukční úspěch samců je často omezen počtem samic, které se s nimi mohou pářit, zatímco úspěch u samic je omezen počtem vajíček, které mohou vyprodukovat (Bateman, 1948 a Trivers, 1972 in Ronkainen, 2005). V následujícím textu jsou některé výzkumy popsány a na závěr je přiložena tabulka shrnující nejdůležitější výsledky.

Severoamerická bruslařka *Aquarius remigis*, kladoucí průměrně 87 vajíček za život, posloužila k potvrzení hypotézy, že větší samice kladou více vajíček (Preziosi a kol. 1996). Podstatně vyšší počet vajíček této ploštice však konstatoval Blanckenhorn (1991) – jím získané hodnoty se pohybují průměrně 113 – 270 s absolutním maximem dosahujícím téměř 400 nakladených vajíček během života. Vysokých počtů vajíček bylo dosaženo, pokud samice trávily většinu času v místech s nadbytkem potravy.

Z hlediska fekundity je k dispozici pravděpodobně nejvíce informací o bruslaře rybníčné (*Aquarius paludum*). Harada (1998) zjistil, že zatímco v normálních podmínkách s dostatkem potravy kladou samice průměrně 125 vajíček (rozsah 65 – 185), průměrný počet se snižuje na zhruba polovinu při nedostatku potravy. Podobně se zhruba na polovinu redukuje počet kladených vajíček při chovu na slané vodě (Kishi a kol. 2006). Vliv salinity však rozhodně není triviální, jak ukazují Kishi a kol. 2007 a 2009 – při kombinaci odchovu rodičovské generace a potomků na sladké vs. brakické vodě dosahovaly nejvyšší plodnosti (téměř 345 vajíček za život) samice chované na sladké vodě, stejně jako jejich rodiče. Pokud ale byly dcery rodičů ze sladké vody chovány na brakické vodě, dosahovaly významně nižší plodnosti (216 vajíček). Zhruba na polovinu je redukován počet vajíček, která kladou samice při nepřítomnosti samce (oproti situaci, kdy je samec přítomen; Ronkainen a kol. 2005). Počet kopulací a partnerů má také na plodnost této bruslařky významný vliv. Nejplodnější jsou samice

kopulující obden ve srovnání se samicemi kopulujícími každodenně, každý třetí či každý čtvrtý den (Ronkainen a kol. 2009). Ve srovnání se samicemi kopulujícími čtyřikrát se stejným samcem či dvakrát se dvěma různými samci kladou samice kopulující jednou se čtyřmi různými samci přibližně o 20 % méně vajíček (Ronkainen a kol., 2009).

Z hlediska obecného pohledu na semiakvatické ploštice přináší důležitá data Calabrese (1978). Během tohoto výzkumu byla analyzována plodnost 10 bruslařek (Gerridae). Počty nakladených vajíček, vyplývající z této studie, jsou relativně nízké (např. průměrně 29.7 již zmíněné *A. remigis* či 16 – 25.3 dalších čtyř druhů rodu *Gerris*; viz tab. 1). Důvodem však může být nevhodný design tohoto výzkumu (odchyt dospělců z terénu bez kontroly předchozích snůšek; malý počet analyzovaných jedinců – průměrně tři samice jednoho druhu) i neoptimální podmínky během výzkumu (viz Calabrese, 1978).

Kaitala (1987) vytvořila čtyři experimentální skupiny bruslařek *Gerris thoracicus* v různých teplotních podmínkách. Každá skupina se skládala z dalších tří skupin různě krmených jedinců: první (A) měla konstantně hojný počet jídla (dospělci denně dostávali nadbytek potravy), druhá (B) měla střídavou úroveň jídla (denní krmná dávka byla změněna po 10 dnech z jedné *Drosophila melanogaster* na nadbytečnou dávku potravy) a třetí skupina (C) měla konstantní potravní nedostatek. Ve všech pokusech kladly samice nejvíce vajec ve skupině s hojným počtem potravy (A) než ve skupinách s potravním nedostatkem (C). Samice *Gerris thoracicus* žily déle, když byly drženy v podmínkách s nedostatkem potravy než v podmínkách s nadbytkem potravy, u *Gerris lacustris* tomu bylo naopak. Rozmezí plodností u všech skupin jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Jeden z mála výzkumů, nezaměřený na bruslařky, přináší Muraji a Nakasuji (1988). Ve své studii zkoumali základní charakteristiky makropterních (dlouhokřídých) a apterních (bezkřídých) forem samic u tří následujících druhů ploštic: *Microvelia horvathi*, *Microvelia douglasi* a *Microvelia kyushuensis* (Veliidae). Obě hodnoty plodnosti i dlouhověkosti u *M. kyushuensis* byly větší u bezkřídle formy. Celková plodnost a denní plodnost obou forem *M. kyushuensis* byly výrazně nižší než u dalších druhů. Také u *M. horvathi* byla celková plodnost bezkřídle formy výrazně větší než formy krátkokřídle.

Celkový počet nakladených vajíček dlouhokřídlymi a bezkřídlymi samicemi *M. douglasi* nebyl statisticky významně odlišný (viz tab. 1).

Z metodologického hlediska má značnou důležitost studie vlivu rozmanitosti potravy na plodnost hladinatky *Microvelia douglasi*, kterou provedli Sonoda a kol. (1991).

**Tabulka č. 1: Údaje o plodnosti dalších druhů semiakvatických ploštic**

Druh	N	plodnost	délka života	S.E.	S.D.	Poznámka	Zdroj
<i>Aquarius paladum</i>	17	99.0	27*	-	-	Trny <sup>a</sup> odstraněny	Ronkainen a kol., 2005
<i>Aquarius paladum</i>	17	85.0	27*	-	-	Mírně zkrácené trny	Ronkainen a kol., 2005
<i>Aquarius paladum</i>	17	63.0	27*	-	-	Nepoškozené trny	Ronkainen a kol., 2005
<i>Aquarius paladum</i>	16	20.7	7	-	-	Samec přítomen každý den	Ronkainen a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	16	44.3	7	-	-	Samec přítomen každý 2. den	Ronkainen a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	16	31.4	7	-	-	Samec přítomen každý 3. den	Ronkainen a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	16	27.9	7	-	-	Samec přítomen každý 4. den	Ronkainen a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	70	344.9	32.0 - 114.0	28.6	-	F-F**	Kishi a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	67	216.1	30.0 - 116.0	24.6	-	F-B**	Kishi a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	70	325.8	22.0 - 126.0	33.7	-	B-F**	Kishi a kol., 2009
<i>Aquarius paladum</i>	62	287.5	16.0 - 139.3	39.8	-	B-B**	Kishi a kol., 2009
<i>Aquarius remigis</i>	11	29.7	-	-	40.0	-	Calabrese, 1978
<i>Aquarius remigis</i>	87	87.3	-	-	23.5	-	Preziosi a kol., 1996
<i>Aquarius remigis</i>	21	269.5	-	20.5	-		Blanckenhorn W.V., 1991
<i>Aquarius remigis</i>	21	190.7	-	26.1	-		Blanckenhorn W.V., 1991
<i>Aquarius remigis</i>	21	112.9	-	17.5	-		Blanckenhorn W.V., 1991

<i>Aquarius remigis</i>	21	245.8	-	20.7	-		Blanckenhorn W.V., 1991
<i>Aquarius remigis</i>	21	149.7	-	17.2	-		Blanckenhorn W.V., 1991
<i>Aquarius remigis</i>	21	177.6	-	32.3	-		Blanckenhorn W.V., 1991
<i>Gerris alacris</i>	1	17.0	-	-	0.0	-	Calabrese, 1978
<i>Gerris buenoi</i>	3	16.0	-	-	6.1	-	Calabrese, 1978
<i>Gerris comatus</i>	4	47.9	-	-	37.2	-	Calabrese, 1978
<i>Gerris insperatus</i>	4	25.3	-	-	2.8	-	Calabrese, 1978
<i>Gerris lacustris</i>	2	108.3 - 241.6	225.0 - 316.6	-	-	t = 22 °C	Kaitala, 1987
<i>Gerris marginatus</i>	4	16.8	-	-	9.5	-	Calabrese, 1978
<i>Gerris thoracicus</i>	3	41.6 - 116.6	233.3 - 400.0	-	-	t = 22 °C	Kaitala, 1987
<i>Gerris thoracicus</i>	3	58.3 - 300.0	241.6 - 333.3	-	-	t = 26 °C	Kaitala, 1987
<i>Gerris thoracicus</i>	3	91.6 - 291.6	183.3 - 266.6	-	-	t = 22 °C	Kaitala, 1987
<i>Limnopus canaliculatus</i>	2	121.0	-	-	59.3	-	Calabrese, 1978
<i>Limnopus dissortis</i>	2	52.0	-	-	65.0	-	Calabrese, 1978
<i>Microvelia douglasi</i>	25	352.8	74.8	15.4	-	Macropter	Muraji a Nakasuji, 1988
<i>Microvelia douglasi</i>	29	360.7	63.0	16.0	-	Apter	Muraji a Nakasuji, 1988
<i>Microvelia douglasi</i>	10	0 - 9.5	13.8 - 81.0	0.4 - 17.5	-	Stejná potrava po celý život	Sonoda a kol., 1991
<i>Microvelia douglasi</i>	99	94.9 - 189.9	37.9 - 88.9	4.5 - 13.9	-	Rozdílné potravní složky	Sonoda a kol., 1991
<i>Microvelia horvathi</i>	15	288.8	90.7	28.2	-	Macropter	Muraji a Nakasuji, 1988
<i>Microvelia horvathi</i>	20	450.3	94.7	26.0	-	Apter	Muraji a Nakasuji, 1988
<i>Microvelia kyushuensis</i>	26	169.0	74.4	9.2	-	Macropter	Muraji a Nakasuji, 1988
<i>Microvelia kyushuensis</i>	30	281.6	94.5	12.2	-	Apter	Muraji a Nakasuji, 1988

\* údaje jsou uvedené jen za prvních 27 dní života

\*\* F - sladkovodní, B - brakické vody

Pro tento pokus bylo vytvořeno pět různých skupin potravních podmínek. V první skupině (D1) byly nymfy *M. douglasi* každodenně krmeny jedním kusem octomilky *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae), v druhé skupině (D2) celkem třemi kusy *D. melanogaster*, ve třetí skupině (N1) byly krmeny jedním kusem ostruhovníka *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Fulgoromorpha: Delphacidae), nymfy ve čtvrté skupině (N3) třemi kusy *N. lugens* a v poslední skupině (D2N2) byla potrava nakombinována jako dva kusy *D. melanogaster* a dva kusy *N. lugens*.

Podstatné rozdíly byly zjištěny z hlediska mortality během larválního vývoje. Zatímco v režimech s uniformní potravou (D1; D2; N1; N2) dosahovala mortalita 76 – 84 %, při namixované potravě byla mortalita významně nižší (18 %). Kladoucích samic však bylo v každé z těchto kombinací poměrně málo (0 – 4 v různých variantách), průměrný počet nakladených vajíček byl celkově nízký (3 – 9.5) a rozdíly mezi skupinami neprůkazné.

Odlišná situace nastala, když vyvíjející se nymfy byly krmeny různorodou potravou (zmrazení nasmykání členovci – především pakomáři, mšice a pavouci). Popsané potravní režimy byly potom aplikovány až po imaginální ekdysi. Pokud byly samice krmeny uniformní potravou (D1; D2; N1; N2), byl celkový počet nakladených vajíček poměrně homogenní (95 – 112). Významně vyšších hodnot (190) dosáhla plodnost samic v potravním režimu D2N2.

Celkově lze na základě výsledků Sonody a kol. (1991) konstatovat, že různorodá potrava je pro vývoj nymf i dospělců velice důležitá, přičemž důležitější je během larválního vývoje. Tento závěr podporují i výsledky Lancianiho (1991), který zkoumal vliv různorodé potravy na vývoj vodoměrky *Hydrometra australis*.

## **2.4. Přehled učebnic**

### **2.4.1. Učebnice obsahující informace o plodnosti a populační ekologii**

Bumerl J. a kol., 1997: Biologie 2 pro střední odborné školy. Praha: SPN, 143 s.

V této učebnici je tématu populace věnováno několik stran (97 – 103). Je zde vysvětlen pojem populace, dále je zde poměrně podrobně rozebrána hustota populace, rozptyl, růst, struktura i např. křivka přežívání.

Černík V. a kol., 2004: Přírodopis 4, mineralogie a geologie se základy ekologie pro žáky základní školy (9. ročník) a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: SPN, 87 s.

Problematice pojmu populace, růstu a vymírání populace jsou dva odstavce věnovány v kapitole „Živé složky životního prostředí (biotické podmínky)“ (str. 73 – 74), jsou zde i porovnány obrázky jedince, populace, biocenózy a ekosystému.

Jelínek J., Zicháček V., 2002: Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc, 574 s.

V této učebnici je celá kapitola (str. 230 – 232) věnována populační ekologii, mluví se zde o struktuře, růstu, hustotě a rozptylu populace.

Kočárek E., 2000: Přírodopis pro 8. ročník základní školy. Nakladatelství Jinan, 74 s.

V kapitole „Rozvoj lidstva má své problémy“ (str. 89) je část věnována vysvětlení pojmu populace, růstem obyvatelstva a zmiňují se zde i pojmy jako úmrtnost a porodnost.

Kvasničková D. a kol., 1995: Poznáváme život, přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 7. ročník. Praha: Fortuna, 128 s.

Zmínka o populaci se vyskytuje v kapitole „Lidská populace“ (str. 117). Je zde definován pojem populace a jsou uvedeny zvláštnosti populace. Text je doplněn o graf křivky růstu lidské populace.

Kvasničková D., 2001: Základy ekologie. Praha: Fortuna, 104 s.

V kapitole „Lidská populace s prostředím“ (str. 62 - 63) je vysvětlení pojmu populace, jeden odstavec je věnován nerovnoměrnému vývoji jednotlivých populací a populační explozi.

Kvasničková D. a kol., 2002: Ekologický přírodopis pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 111 s.

Pojmu populace je v kapitole „Organismy a prostředí“ (str. 70) menší část. Je zde znázorněn obrázek populace.

Vaněčková I. a kol., 2006: Přírodopis 8, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Plzeň: Fraus, 128 s.

V kapitole „Lidská plemena“ (str. 52) je zmínka o mnohonásobném mísení mezi jednotlivými plemy lidské populace, což je pro lidskou společnost významným přínosem, a díky jemuž se vytváří tělesně i duševně zdravé a vyspělé populace.

#### **2.4.2. Učebnice neobsahující informace o plodnosti a populační ekologii**

Cílek V. a kol., 2000: Přírodopis IV pro 9. ročník základní školy. Praha: Scientia, 135 s.

Černík V. a Martinec Z., 1995: Přírodopis 1, zoologie 1. částko žáky základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: SPN, 117 s.

Černík V. a kol., 2004: Přírodopis 1 pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: SPN, 103 s.

Dobroruka L. J. a kol., 1999: Přírodopis I pro 6. ročník základní školy. Praha: Scientia, 127 s.

Dobroruka L. J. a kol., 2003: Přírodopis II pro 7. ročník základní školy. Praha: Scientia, 151 s.

Kočárek E., 1997: Přírodopis pro 6. ročník základní školy. Nakladatelství Jinan, 95 s.

Kočárek E., 1998: Přírodopis pro 7. ročník základní školy. Nakladatelství Jinan, 95 s.

Kvasničková D. a kol., 1997: Ekologický přírodopis pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 136 s.

Malenický M. a Vacková B., 2005: Přírodopis pro 8. ročník, učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti s.r.o., 72 s.



### **3. Metodika výzkumu plodnosti hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata*)**

Pro stanovení odhadu plodnosti hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata*) bylo využito experimentu, který zkoumal účinky umělého výběru na rychlost postembryonálního vývoje této plošnice. Podrobně celý experiment popisuje Marvanová (2013) ve své bakalářské práci. Během tohoto pokusu bylo na podzim 2011 celkem z deseti rybníků okolí Českých Budějovic (obr. 7) odchyceno množství dospělců *M. reticulata*. Po přezimování v umělých podmínkách (0°C, tma) byli na jaře 2012 rozřazeni do tří skupin – replikací selekčního experimentu. Ve všech replikacích byli vylíhnutí potomci rozřazováni dle délky vývoje do skupin s pomalým vývojem, rychlým vývojem a kontrolní skupiny (vybírané náhodně). Takto se výběr opakoval celkem čtyři generace a celý experiment probíhal od dubna 2012 do května 2013. Plodnost jedinců byla zjišťována u jedinců první generace a poté poslední.

Metodika pro stanovení odhadu plodnosti byla zvolena relativně minimalisticky. Důvodem byla především extrémní časová náročnost celého experimentu, kdy byla nutná každodenní péče o několik set či tisíc jedinců *M. reticulata*. Z tohoto důvodu nebyly sledovány jednotlivé samice, ale z experimentálních generací byly vytvořeny kohorty sestávající z variabilního počtu samic (7 – 19) a odpovídajícího množství samců. Celkové množství potomků, které bylo v jednotlivých skupinách zjištěno, bylo následně přepočítáno na jednu samici. Této metody bylo možné použít, protože mortalita kladoucích samic byla relativně nízká a především podobná ve všech analyzovaných skupinách. V některých případech, kdy 1 – 3 samice přežily o více než pět dní déle než ostatní, byla následná plodnost pouze 2 – 10 vylíhnutých nymf a díky tomuto nízkému počtu nebyly celkové výsledky nijak zásadně ovlivněny.

Dospělci pro sledování plodnosti byli umístěni do plastových kelímků (plocha dna cca 7 x 5 cm) s 2-3 cm odstáté vody. Na hladinu byly vloženy kousky polystyrenu, sloužící jako podklad pro kladení vajíček. Kelímky byly umístěny do klimatizovaného inšektária v prostorách ENTÚ BC s teplotou nastavenou na 22 °C. Protože v klimatizovaném boxu teplota kolísala v rozsahu  $\pm 1.5$  °C, byly experimentální kelímky pravidelně rotovány podél vertikálního i horizontálního gradientu (podrobněji viz Marvanová, 2013).

Fotoperioda byla v klimaboxu nastavena na podmínky dlouhého dne (18 h světlo a 6 h tma).

Všechny vyvíjející se nymfy v selekčním experimentu byly krmeny mraženými octomilkami (*Drosophila melanogaster*) a mraženým nasmýkaným hmyzem (především různé Diptera, Hemiptera a Hymenoptera). Stejným způsobem byli každodenně krmeni i dospělci vybraní pro stanovení plodnosti. Skupiny dospělců byly každý den kontrolovány, případné uhynulé kusy byly ihned odstraněny. Každodenně byl zjišťován počet nymf, všechny nymfy byly vyjmuty a spočítány. Oproti ostatním výzkumům zaměřených na plodnost (viz kapitola 2.3.9) nebyl tedy počítán počet nakladených vajíček, ale počet úspěšně vylíhnutých nymf. Důvodem byla především malá velikost vajíček *M. reticulata* dosahující jen několik desetin mm. Panovala proto obava, že by bylo možné některá vajíčka přehlédnout. Samice totiž pravidelně kladly nejen na polystyren sloužící k ovipozici, ale i na stěny plastového kelímku. Nakladená vajíčka poměrně rychle přerůstala nárůstem neidentifikovaných řas a sinic, riziko špatného určení počtu vajíček bylo proto poměrně vysoké. Naproti tomu úspěšně vylíhlé nymfy byly na hladině snadno pozorovatelné. Plodnost určená zde prezentovaným výzkumem se proto rovná součinu skutečné plodnosti a líhivosti vajíček.

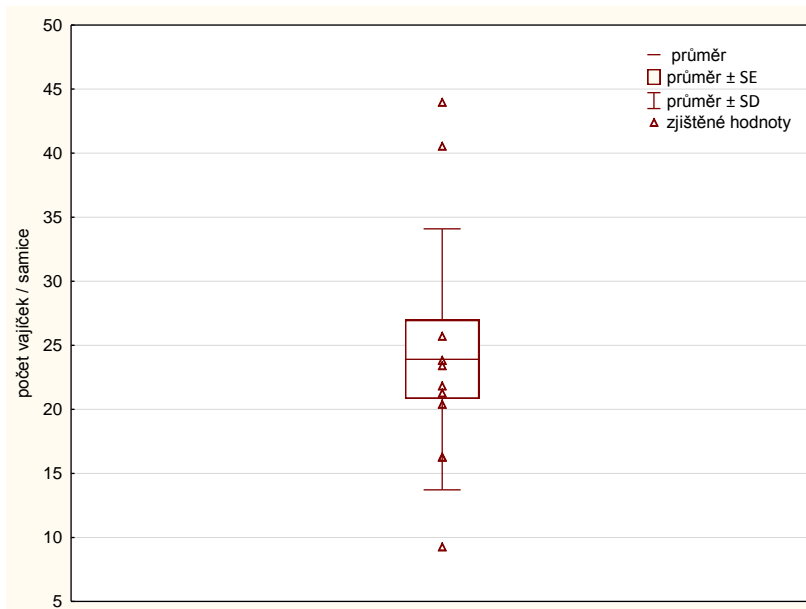
Při první části zjišťování plodnosti, monitoringu první generace selekčního experimentu, nebyl k dispozici dostatečný počet dospělců z druhé replikace (všichni dostupní dospělci této replikace byli rozděleni do „rychlé“, „kontrolní“ a „pomalé“ linie, detaily viz Marvanová, 2013). Plodnost proto byla zjišťována pouze u první a třetí replikace. Z dostupných jedinců první replikace bylo vytvořeno pět skupin po 13 jedincích (7 samic a 6 samců); z jedinců třetí replikace bylo stejným způsobem vytvořeno šest skupin. Všichni tito dospělci byli sledováni od 13. 7. 2012.

Při zjišťování plodnosti poslední, čtvrté vyselektované generace, také nebyl k dispozici dostatek dospělců pro vytvoření experimentálních skupinek všech selektovaných linií. Dostatečný počet samic byl dostupný pouze v rychlé a pomalé linii první replikace a kontrolní a rychlé linii druhé i třetí replikace. I v těchto skupinách byl však počet dostupných samic poměrně nízký. Ze sledovaných linií byly vytvořeny skupinky sestávající ze 7; 8; 8; 10 a 10 samic a podobného počtu samců. Pouze v rychlé linii první



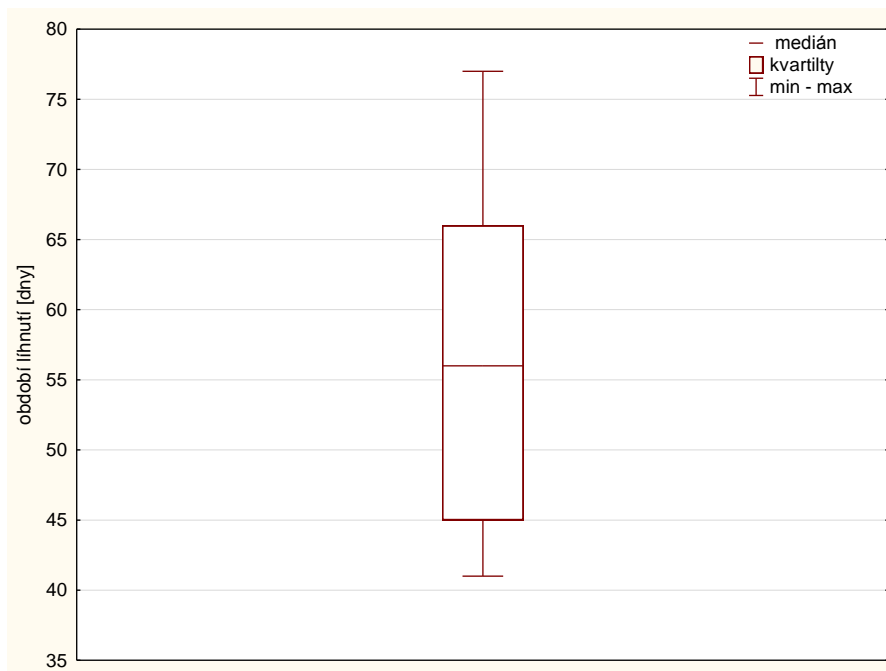
## 4. Výsledky

Při zjišťování plodnosti první vyselektované generace byly skupiny samic sledovány od 13. 7. 2012. U všech sledovaných skupin byla první nymfa zjištěna v rozmezí 22. 7. 2012 – 31. 7. 2012 (u 7 z 11 skupin v rozmezí 22. – 25. 7. 2012), pouze v jedné skupině bylo dlouhé období před ovipozicí a první nymfy se objevily až 17. 8. 2012. Poslední vylíhnuté nymfy se objevily také poměrně synchronizovaně ve všech skupinách – mezi 18. – 26. 10. 2012 v sedmi skupinách, ve třech skupinách mezi 3. – 8. 10. 2012 a pouze v jedné skupině se nymfy přestaly líhnout již 15. 9. 2014. Období líhnutí nymf se tak pohybovalo mezi 50 – 96 dny s mediánem 79 dní (obr. 8). Po období líhnutí ještě cca 30 – 35 dní přežívala poslední samice.



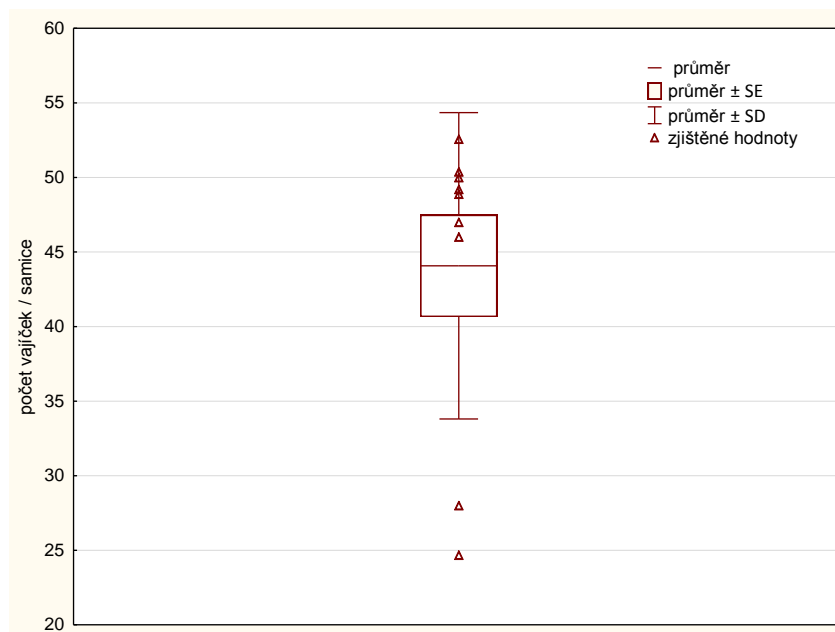
**Obr. 8.** Období líhnutí nymf v první vyselektované generaci. Ve většině skupin se nymfy líhly 70 – 90 dní.

Celková plodnost dosáhla v průměru 24 vajíček s minimálním počtem 9.3 a maximálním 44 vajíček přepočtených na jednu samici (obr. 9).



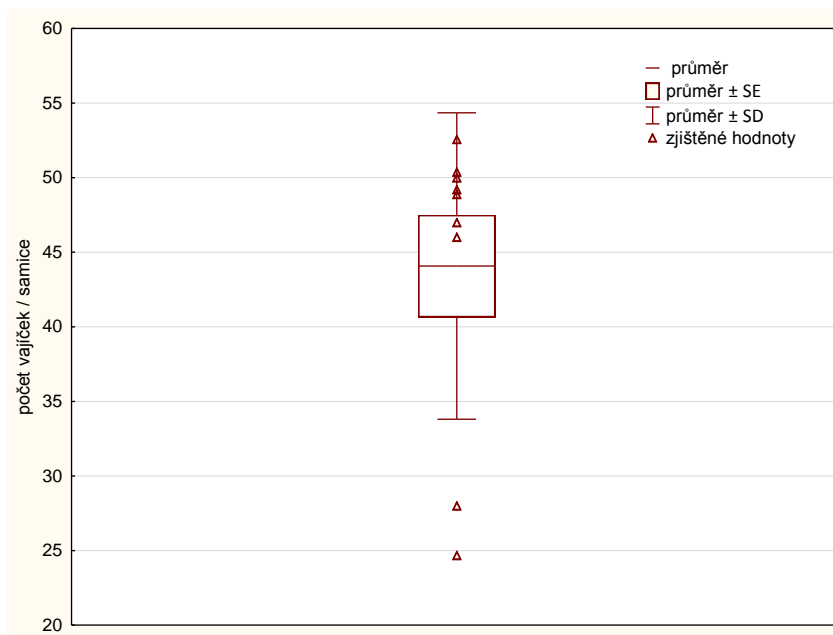
Obr. 9. Celková plodnost v první selektované generaci, přepočtená na jednu samici s vyznačením konkrétních hodnot. SE = střední chyba průměru; SD = směrodatná odchylka.

V poslední selektované generaci nebyla – zcela pochopitelně – období líhnutí nymf tak synchronizována (během selekce na délku vývoje došlo k jeho rozfázování mezi jednotlivými liniemi). Celkově se nymfy ve sledovaných liniích líhly od 16. 1. 2014 do 30. 4. 2014. Samotná délka období líhnutí se pohybovala od 41 do 77 dní s mediánem 56 (obr. 10).



**Obr. 10. Období líhnutí nymf v poslední vyselektované generaci. Ve většině skupin se nymfy líhly 45 – 65 dní.**

Počet vajíček (přepočtených na jednu samici) se pohyboval od 24.7 po 52.6 s průměrem 44 (obr. 11).



**Obr. 11.** Celková plodnost v poslední selektované generaci, přepočtená na jednu samici s vyznačením konkrétních hodnot. SE = střední chyba průměru; SD = směrodatná odchylka.

## 5. Diskuse

Zjištěné období líhnutí s mediánem kolem 80 dní v první selektované generaci je v souladu s hodnotami zjištěnými pro jiné druhy rodu *Microvelia* (Muraji a Nakasuji, 1988). Oproti jejich výsledkům, kdy postovipoziční perioda trvala většinou jen 1-3 dny, byla postovipoziční perioda zjištěná v tomto výzkumu poměrně dlouhá. Velký rozdíl byl však zjištěn v celkové plodnosti. Zatímco u tří druhů *Microvelia* se plodnost pohybovala (v průměru) od 169 do 450 vajíček (v závislosti na křídelní morfě), aktuální zjištěná plodnost *M. reticulata* dosahovala mnohem menšího počtu s průměrem 24 vajíček. V poslední selektované generaci byla zjištěná plodnost sice přibližně dvojnásobná, ani to však nedosahuje hodnot ostatních semiakvatických ploštic (viz tab. 1).

Jedním z důvodů může být zvolená metoda stanovení plodnosti, kdy v této práci byla vlastně zjišťována kombinace plodnosti a líhivosti. Pravděpodobně lze předpokládat podobnou úspěšnost při líhnutí jako má bruslařka *Tenagogonus fluviorum*, tj. cca 64 % (Arivoli a kol., 2011; data pro *Microvelia* nejsou dostupná). Ani při zvýšení aktuálně zjištěné plodnosti o polovinu však zde zjištěné hodnoty nedosahují počtů vajíček jiných semiakvatických ploštic.

Pravděpodobná příčina nízkých hodnot plodnosti je tak pravděpodobně nějakým způsobem nevyhovující nastavení laboratorních podmínek během celého experimentu. Při podobném experimentálním designu však nebyly žádné problémy s odchovem této ploštice (viz např. Čermáková, 2010 a Paulová, 2012). Jako pravděpodobný důvod se tak jeví to, že na rozdíl od předchozích experimentů se v aktuálním výzkumu nepracovalo s kladoucími samicemi z divokých populací, ale již s dospělci odchovanými v laboratoři. Je tedy možné, že se během laboratorního odchovu nedaří zajistit hladinatce *M. reticulata* ideální podmínky. Tomuto napovídá i vysoká mortalita a nízký počet vyprodukovaných jedinců během celého selekčního experimentu na sledování rychlosti vývoje *M. reticulata* (viz Marvanová, 2012).



## 6. Závěr

Plodnost zkoumaného druhu *Microvelia reticulata* byla výrazně nižší než u dalších druhů semiakvatických ploštic. Zatímco u tří druhů *Microvelia* (*M. horvathi*, *M. kyushuensis*, *M. douglasi*) byla průměrná plodnost v rozmezí 169 – 450 vajíček, u *M. reticulata* byl průměrný počet nakladených vajíček 24.

Lze konstatovat, že podobný experiment nelze v běžném školním prostředí uskutečnit z hlediska náročnosti chovu *M. reticulata*, jelikož je potřeba každodenní péče. Pokus by bylo možné uskutečnit v případě, že bychom použili jiný modelový organismus.

## 7. Seznam literatury

Andersen N. M., 1982: The Semiaquatic Bugs (Hemiptera, Gerromorpha). Phylogeny, Adaptations, Biogeography and Classification. Entomonograph, 3: 455 s.

Andersen N. M., 1996: Heteroptera Gerromorpha, Semiaquatic Bugs. In: Nilsson N. A. (Ed.): Aquatic Insects Of North Europe – A taxonomic Handbook. Apollo Books, Stenstrup, Denmark: 77 – 90 s.

Aukema B. a Rieger C., 1995: Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region, Volume 1 : Enicocephalomorpha, Dipsocoromorpha, Nepomorpha, Gerromorpha and Leptopodomorpha. Netherlands Entomological Society, The Netherlands.

Benešová M., Hamplová H., Knotová K., Lefnerová P., Sáčková I. a Satrapová H., 2003: Odmaturuj z biologie. Brno: Didaktis, str. 203.

Bateman, A. J., 1948: Intra-sexual selection in drosophila. Heredity 2: 349–368.

Blanckenhorn W. V., 1991: Fitness consequences of foraging success in water striders (*Gerris remigis*; Heteroptera: Gerridae). State University of New York, Albany, USA, pp. 46 – 55.

Bradshaw C.J.A., McMahon C.R., 2008: Population Dynamics, Fecundity. Encyclopedia of Ecology. Charles Darwin University, Darwin, NT, Australia and University of Wales Swansea, Swansea, UK, pp. 1535 – 1543.

Calabrese D. M., 1978: Life history data for ten species of waterstriders (Hemiptera: Heteroptera: Gerridae) in Connecticut. Kansas State University, Manhattan, Kansas, pp. 257 – 264.

Campbell N. A., Reece J.B., 2006: Biologie. Brno: Computer Press, str. 1151 – 1154.

Čermáková T., 2010: Vliv vybraných abiotických faktorů na křídelní polymorfismus hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata* Burmeister, 1835). Diplomová práce, školitel RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 71 s.

- Ditrich T., Papáček M., 2009: A question of voltinism of *Microvelia reticulata* (Veliidae) and *Mesovelia furcata* (Mesoveliidae) (Heteroptera: Gerromorpha) in Central Europe. University of South Bohemia, Pedagogical Faculty, České Budějovice, pp. 20 – 22.
- Hudec K., Kolibáč J., Laštůvka Z., Peňaz M. a kol., 2007: Příroda České republiky, průvodce faunou. Praha: Academia, str. 116 – 117, 120.
- Jelínek J., Zicháček V., 2002: Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc, str. 67, 230 – 232.
- Kaitala A., 1987: Dynamic life-history strategy of the waterstrider *Gerris thoracicus* as an adaptation to food and habitat variation. Dept of Zoology, University of Helsinki, Finland, pp. 124 – 131.
- Kishi, M., Fujisaki, K. & Harada, T., 2006: How do water striders, *Aquarius paludum*, react to brackish water simulated by NaCl solutions? *Naturwissenschaften*, 93, 33-37.
- Kishi, M., Harada, T. & Fujisaki, K., 2007: Dispersal and reproductive responses of the water strider, *Aquarius paludum* (Hemiptera : Gerridae), to changing NaCl concentrations. *European Journal of Entomology*, 104, 377-383
- Kishi, M., Harada, T., & Fujisaki, K., 2009: Responses of life-history traits of brackish- and freshwater populations of the water strider to NaCl *Aquarius paludum* (Hemiptera: Gerridae). *European Journal of Entomology*, 106(1): 43-48.
- Korbel L., Krejča J., 2001: Velká kniha živočichů. Bratislava, Příroda, str. 108.
- Lanciani, C.A. (1991) Laboratory Rearing of *Hydrometra-Australis* (Hemiptera, Hydrometridae). *Florida Entomologist*, 74, 356-357.
- Malenický M., Smrž J., Škoda B., 2004: Přírodopis pro 6. ročník, Botaniky 1, Zoologie 1, Učebnice pro ZŠ a nižší stupeň víceletých gymnázií. Nakladatelství České geografické společnosti s.r.o., str. 73.

Marvanová A., 2013: Lze při výuce biologie a přírodopisu demonstrovat selekci? Simulace přírodního výběru na modelovém organismu. Bakalářská práce, školitel RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 50 s.

May Rm., 1975: Biological populations obeying difference equations: stable cycles and chaos. *Journal of Theoretical Biology* 49: 511 – 524.

Morris Wf., 1990: Problems in detecting chaotic behavior in natural populations by fitting simple discrete models. *Ecology* 71: 1849 – 1862.

Muraji M., Nakasuji F., 1988: Comparative studies on life history traits of free wing dimorphic water bugs, *Microvelia* spp. Westwood (Heteroptera: Veliidae). Laboratory of Applied Entomology, Faculty of Agriculture, Okayama University, Japan, pp. 315 – 327.

Papáček M., Matěnová V., Matěna J., Soldán T., 1997: Zoologie. Praha: Scientia, str. 92, 253 – 254.

Paulová L., 2012: Vývoj, růst a variabilita jedinců semiakvatické plošnice hladinatky pobřežní (*Microvelia reticulata*) (Heteroptera: Gerromorpha: Veliidae). Diplomová práce, školitel RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 61 s.

Pope S. E., Merriam H. G., 2000: Landscape complementarity and metapopulation effects on leopard frog populations. *Ecology*, pp. 81, 2498 – 2508.

Preziosi R. F., Fairbairn D. J., Roff D. A., Brennen J. M., 1996: Body size and fecundity in the waterstrider *Aquarius remigis*: a test of Darwin's fecundity advantage hypothesis. Department of Biology, McGill University, Montreal, Quebec, Canada, pp. 424 – 431.

Rosypal S., 2003: Nový přehled biologie. Praha: Scientia, str. 625, 667 – 670

Ronkainen K., Kaitala A., Huttunen R., 2005: The Effect of Abdominal Spines on Female Mating Frequency and Fecundity in a Water Strider. *Journal of Insect Behavior*, Vol. 18, No. 5, September, pp. 619 – 630.

Ronkainen K., Kaitala A., Kivelä S. M., 2009: Polyandry, multiple mating, and female fitness in a water strider *Aquarius paludum*. *Behavioral ecology and sociobiology*, pp. 657-664.

Sonoda S., Muraji M., Nakasuji F., 1991: The Effects of Diet Combination on the Development and Fecundity of a Semi-Aquatic Insect, *Microvelia douglasi* (Heteroptera: Veliidae). Laboratory of Applied Entomology, Faculty of Agriculture, Okayama University, Tsushima, Japan, pp. 162 – 164.

Spence J. R. a Andersen N. M., 1994: Biology of Water Striders – Interactions between Systematics and Ecology. *Annual Review of Entomology*, 39: 101 – 128 s.

Šlégr J., Kislínger F., Laníková J., 2005: Ekologie pro gymnázia. Praha: Fortuna, str. 31 – 35.

Tkadlec E., 2008: Populační ekologie. Struktura, růst a dynamika populací. Olomouc, str. 3, 5, 134, 193 – 195, 305.

Townsend C. R., Begon M., Harper J. L., 2010: Základy ekologie. Univerzita Palackého v Olomouci, str. 150 – 151.

Trivers, R. L., 1972: Parental investment and sexual selection. In Campbell, B. (ed.), *Sexual Selection and the Descent of Man*, Aldine, Chicago, pp. 1871 – 1971.