

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Přírodovědecká fakulta**

**Faktory ovlivňující plodnosti planktonních korýšů v rybnících**

Diplomová práce

**Bc. Hana Nováková**

Školitel: RNDr. Michal Šorf, Ph.D.

Odborný konzultant: Mgr. Jana Zemanová

České Budějovice 2020

Nováková, H., 2020: Faktory ovlivňující plodnosti planktonních korýšů v rybnících. [Factors affecting the fertility of planktonic crustaceans in fishponds: Mgr. Thesis, in Czech.] 54 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

**Anotace:**

Literární rešerše se zabývá faktory ovlivňujícími plodnosti planktonních korýšů v rybnících. Plodnosti zooplanktonu, abiotické a biotické podmínky prostředí byly zkoumány na rybnících Dehtář, Klec, Kvítkovický a Rod v roce 2018. Zpracovaná data popisují a vyhodnocují faktory, které jsou zásadní pro plodnost dominantních druhů planktonních korýšů zkoumaných rybníků.

**Annotation:**

Literature review deals with factors influencing fertility of planktonic crustaceans in fishponds. Zooplankton fertility alongside with abiotic and biotic conditions were investigated in the Dehtář, Klec, Kvítkovický and Rod fishponds in 2018. The obtained dataset describes and evaluates factors that are essential for the fertility of dominant species of planktonic crustaceans of the studied fishponds.

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji diplomovou 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 diplomové práce, a to v nezkrácené podobě 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 výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne .....

Bc. Hana Nováková

### **Poděkování:**

Velmi ráda bych poděkovala svému školiteli RNDr. Michalu Šorfovi, Ph.D. a odborné konzultantce Mgr. Janě Zemanové za trpělivost, vstřícnost a poskytnutí odborných rad při vedení této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat prof. RNDr. Jaroslavu Vrbovi, CSc. a Mgr. Kateřině Kocourkové za poskytnuté rady a materiály, které mi pomohly při vypracovávání této práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, příteli Ladislavu Šimovi a kamarádce Michaele Novotné za poskytování podpory při mém studiu.

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Literární rešerše.....	3
1.1 Historie vývoje rybníčních ekosystémů.....	3
1.2 Aktuální stav rybníčních ekosystémů .....	4
1.3 Živiny v rybnících.....	7
1.4 Sezónní dynamika zooplanktonu .....	8
1.5 Rozmnožovací strategie zooplanktonu .....	9
1.6 Faktory ovlivňující plodnosti zooplanktonu .....	11
1.6.1 Teplota a koncentrace živin.....	11
1.6.2 Vliv rybí obsádky .....	13
4. Hypotézy .....	15
5. Metodika.....	16
1.7 Popis lokalit .....	16
1.8 Odběr a zpracování vzorků .....	17
1.8.1 Podmínky prostředí .....	19
6. Výsledky.....	20
1.9 Podmínky prostředí.....	21
1.10 Dehtář.....	22
1.11 Klec .....	27
1.12 Kvítkovický .....	31
1.13 Rod.....	35
1.14 Vliv parametrů prostředí .....	39
7. Diskuze.....	40
1.15 Plodnosti vybraných druhů planktonní korýšů .....	41
8. Závěr.....	44
9. Literatura .....	45
10. Přílohy .....	51

# 1 Úvod

Rybníky představují významný biotop, který je pro českou krajinu typický. Tvoří unikátní typ ekosystémů, jejichž sledování přináší velmi cenné informace týkající se změn a vývoje naší krajiny. Rybníkářství má v Českých zemích svou bohatou historii a jeho počátky sahají už do středověku. Od té doby prošlo mnohými změnami, které určovaly jeho dnešní ráz. Údaje o vývoji českého rybníkářství jsou cenné obzvláště pro možnost sledování a usměrňování vývoje rybníčního ekosystému.

Rybníky jsou umělé vodní nádrže využívané k chovu ryb. Postupný vývoj rybníkářství a hospodaření v okolním prostředí formovalo rybníky do jejich dnešní podoby eutrofních až hypertrofních ekosystémů. Pro fungování celé rybníční biocenózy je velmi důležitý zooplankton, který transformuje toky látek a energie z primárních producentů do vyšších trofických úrovní. Mezi tři hlavní skupiny zooplanktonu patří perloočky (Cladocera), klanonožci (Copepoda) – dále se rozlišující na buchanky (Cyclopoida) a vznášivky (Calanoida) a neméně důležití vírníci (Rotifera). V této diplomové práci jsem se zabývala perloočkami a klanonožci.

Jednu z hlavních složek sladkovodního zooplanktonu představují již zmíněné perloočky. Několik málo druhů sladkovodních perlooček se živí jako dravci, většina z nich se však živí filtrováním drobných planktonních organismů, především bakterií, prvoků a fytoplanktonu. Zejména hrotnatky jsou díky své velikosti a filtračnímu tlaku účinnými eliminátory biomasy fytoplanktonu (Sommer et al., 2012). Není divu, že jsou považovány za tzv. *keystone species* – klíčové druhy, jehož přítomnost ovlivňuje fungování celého ekosystému.

Plodnosti těchto sladkovodních korýšů jsou ovlivňovány hned několika faktory, mezi které patří jak abiotičtí, tak i biotičtí činitelé. Významný vliv na reprodukci perlooček má rybí obsádka. Její velikost a struktura se významně podílí na složení a velikosti společenstva rybníčního zooplanktonu.

## 2 Cíle práce

- ▶ Vyhodnotit sezónní dynamiku dominantních druhů korýšů v rybnících: Dehtář, Rod, Kvítkovický a Klec.
- ▶ Zpracovat plodnosti (počet a stadia vajíček/embryí) u planktonních korýšů vybraných rybníků.
- ▶ Popsat faktory ovlivňující životní cykly planktonních korýšů.
- ▶ Nalézt faktory, které významně ovlivňují množství produkovaných vajíček/embryí.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Historie vývoje rybníčních ekosystémů

V české krajině nemáme mnoho přirozených jezer, tyto ekosystémy jsou zde nahrazovány rybníky. Vedle přírodních procesů jsou rybníky nepochybně ovlivňovány člověkem a způsobem jeho hospodaření.

Historie zakládání rybníků sahá už do středověku. Cílem jejich vzniku bylo především soustředit vodu do níže položených lokalit za účelem vytvoření zásobárny vody. Rybí produkce zprvu nebyla cíleně navyšována. Ve 14. století začaly být rybníky využívány pro produkci ryb. Dlouhou dobu byly ryby chovány bez použití intenzifikačních opatření, tj. vápnění, hnojení a krmení. Protože ani zemědělství nebylo v té době tak intenzivní, jak ho známe dnes, splach živin z okolního prostředí nebyl pro rybníky dostačujícím zdrojem živin. Postupně docházelo k vyčerpání živin a snížení úživnosti rybníků (Příkryl, 1996; Pechar a Baxa, 2016).

Od poloviny 19. století docházelo k velmi postupnému zvyšování úživnosti rybníků. Obsah živin v rybnících byl na přelomu 19. a 20. století stále ještě nízký. Rybníční biocenóza většiny rybníků byla podobná mělkým mezotrofním jezerům. Postupné navyšování trofické úrovně rybníků bylo výhodné pro velké perloočky rodu *Daphnia*. Perloočky dokáží účinně využít živiny z primární produkce – fytoplanktonu. Představují důležitý transformační článek trofických sítí, díky němuž se živiny dostávají na vyšší trofickou úroveň, což se promítne i do produkce ryb (Potužák et al., 2007). Produkce ryb byla stejně jako ostatní rybníční biocenóza limitována především nedostatkem živin. Vliv rybí obsádky na plankton a ostatní biocenózu lze jen těžko určit, pravděpodobně ale nebyl tak velký jako limitace živinami. Rybníky byly řízené především zdola – tzv. *bottom-up* regulací, kdy je ekosystém ovlivňován množstvím a dostupností zdrojů pro vyšší potravní hladiny a kompeticí o tyto zdroje (Šusta, 1997). Alkalita, koncentrace fosforu a uhlíku dosahovaly velmi nízkých hodnot. Hodnoty pH se pohybovaly okolo 6 (Pechar, 2015). Od konce 19. století bylo zaváděno vápnění a hnojení rybníků, což se projevilo mírným nárůstem produkce ryb (Šusta, 1997). Ve 30. letech 20. století byly obsádky ryb v porovnání s dnešní dobou nízké, ale druhově pestré. Produkce ryb dosahovala jen přibližně 50 kg.ha<sup>-1</sup>, zatímco v současnosti se průměrně pohybuje okolo 500 kg.ha<sup>-1</sup> a to především u kapra obecného (Pechar, 2015). Pro rybníky byla typická vysoká průhlednost vody, pravidelný vysoký pokryv makrovegetací a bohatý bentos.

Od poloviny 20. století došlo k další intenzifikaci zemědělství i chovu ryb. Na základě těchto skutečností došlo k výrazné změně rybničních ekosystémů. Zvýšeným používáním minerálních hnojiv, vápnění a krmení postupně docházelo k nárůstu rybích obsádek, zejména kapra. Nárůst rybí obsádky vedl ke zhoršení průhlednosti vody a následnému potlačení submerzní makrovegetace. Rybí obsádky byly v té době nižší než nyní (celková produkce ryb asi 10 000 tun v roce 1970 vs. 20 000 tun v roce 2010) a stále ještě umožňovaly existenci velkých perlooček rodu *Daphnia* po celou vegetační sezónu, a to asi v 50 % rybníků (Kolektiv, 2015). Zároveň velký filtrující zooplankton stále ještě limitoval rozvoj fytoplanktonu (Pechar et al., 2002). V 50. až 70. letech bylo dosaženo rovnováhy mezi úrovní živin a produkčním potenciálem rybníka. Byla zaznamenána vysoká účinnost produkčních procesů rybníků a nejvyšší nárůst produkce ryb (Kořínek et al. 1987; Potužák et al. 2007).

K dalšímu navyšování produkce ryb a následnému nárůstu eutrofizace došlo v 70. – 80. letech 20. století (obr.1). Ryby se začaly přikrmovat granulami a obilím. Minerální hnojiva byla postupně zcela nahrazena organickými hnojivy. Docházelo k navyšování přísunů čistého dusíku a fosforu. Jejich koncentrace dosahovaly v některých případech až 130 kg N.ha<sup>-1</sup> a 22 kg P.ha<sup>-1</sup> za rok (Pechar, 2015). Při zvyšující se míře eutrofizace se stává chování celého rybničního ekosystému (i zooplanktonu) hůře předvídatelné (Scheffer a Van Nes, 2013).

Ke změně v užívání vysokého množství organického hnojení rybníků došlo přibližně od poloviny 90. let. Pokles zemědělské produkce spojený s poklesem produkce statkových hnojiv a úsilí o snahu zlepšit kvalitu vod vedly ke snížení užívání statkových hnojiv přibližně o polovinu. Rybníky zatím na tuto změnu nestačily zareagovat. To je pravděpodobně způsobeno vysokou zásobou živin v sedimentech a neustálou dotací živin z okolní zemědělské krajiny (Pechar a Baxa, 2016).

### **3.2 Aktuální stav rybničních ekosystémů**

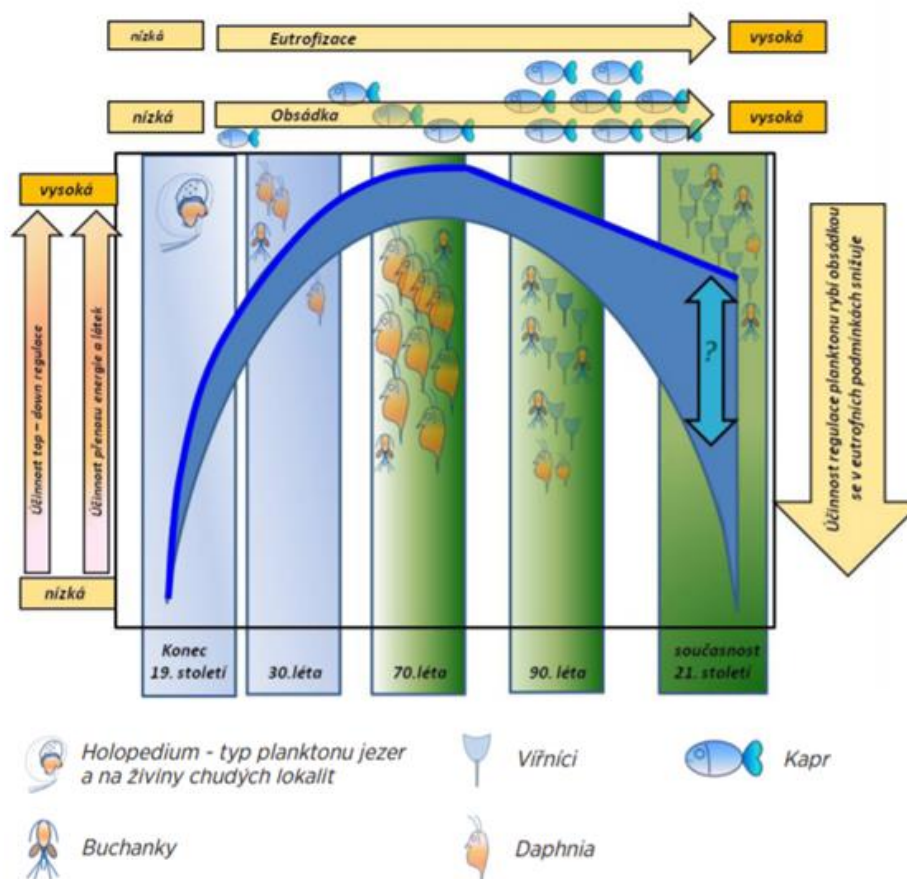
V naší krajině jsou dnes převážně silně eutrofizované rybníky s výrazným podílem přikrmování ryb. Kapr obecný tvoří naprostou dominantu chovaných ryb u nás. Eutrofie až hypertrofie rybníků je způsobena dnešním rybářským hospodařením, enormním přísunem živin vlivem hnojení, splachem z povodí a vysokými zásobami živin v sedimentu. Každý zásah do rybničních ekosystémů ovlivňuje a transformuje zooplankton. Zvláště pak další navyšování živin pomocí hnojení, intenzifikace zemědělství a navyšování rybích obsádek.



Vysoká trofie rybníků se projevuje vysokým nárůstem fytoplanktonu a sinic, zejména v letním období, kolísáním hodnot pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku. Takové vodní plochy mají vlivem výkyvů nestabilní charakter. Řasy a sinice jsou přes den fotosynteticky aktivní a v noci dýchají, svým způsobem života ovlivňují koncentraci rozpuštěného kyslíku a pH vody. Kyslíkový režim je dále ovlivňován přísunem velkého množství statkových hnojiv (Pechar, 2015).

Současné udržování rybníků s vysokou rybí obsádkou vede ke zvýšení rybí predace na zooplankton (obr.1). Žrací tlak ryb ovlivňuje zejména velké druhy perlooček, pro ryby dobře viditelné (Brooks a Dodson, 1965). Filtrační rychlost menších druhů zooplanktonu není tak vysoká, protože velikost filtračního aparátu nedosahuje takových rozměrů jako u větších druhů perlooček. Přefiltrovaný objem roste přibližně s druhou mocninou velikosti těla perlooček (Knoechel a Holtby, 1986). To se projevuje zvýšeným rozvojem fytoplanktonu. pH vody může vlivem fotosyntetické aktivity fytoplanktonu dosahovat až hodnot kolem 10. Výkyvy hodnot pH k vysokým hodnotám jsou typické právě pro jarní období. Respirace se při nižších teplotách oproti fotosyntéze značně zpomaluje. Proto je respirace v zimě a brzkém jaře významně nižší, a tudíž dochází právě v tomto období k výkyvům pH směrem k vysokým hodnotám. Pokud hodnota pH vzroste až na 10, může zapříčinit např. žaberní nekrózy ryb (Pechar, 2015).

Další zvýšený nárůst fytoplanktonu nastává v létě. Rybí obsádka eliminuje velké zástupce zooplanktonu. Filtrační potenciál menších jedinců je nižší a nastává tak další rozvoj fytoplanktonu. Také zvýšený přísun živin z okolního prostředí a sedimentů podporuje nárůst biomasy fytoplanktonu. Respirační procesy ve dně, litorálu a celém vodním sloupci zvyšují svou intenzitu a dochází ke snižování hodnot pH i přes vysokou biomasu fytoplanktonu. V důsledku vysoké intenzity respirace může i během jediné noci poklesnout koncentrace kyslíku na kritickou hodnotu, a následně dojít k úhynu rybí obsádky. Růst biomasy fytoplanktonu se postupně stává limitovaný živinami. Toto období je příznivé pro rozvoj sinic (Pechar, 2015).



Obr.1: Schéma znázorňující změny ve struktuře a početnosti zooplanktonu spojené s navyšováním rybních obsádek v čase. Modrá až zelená barva sloupců znázorňuje postupný nárůst biomasy fytoplanktonu. Modrá křivka zobrazuje účinnost využití primární produkce do vyšších trofických úrovní (produkce ryb). Nejvyšší účinnost vyvrcholila v 70. letech 20 století. Modře vyznačená plocha pod křivkou znázorňuje pravděpodobnou míru variability a nejistoty v účinnosti regulace *top-down*, která se snižuje vlivem narůstající úživnosti rybníků. Zároveň se však zvyšuje i míra nejistoty (převzato z Pechar a Baxa, 2016).

Dnešním trendem je snaha omezit enormní přísun živin do vodního prostředí. Rybníky však na tuto změnu reagují velmi pozvolna. Stále vysoký obsah živin v sedimentech způsobuje, že míra eutrofizace zůstává posledních dvacet let stejná, rozhodně se však nezvyšuje. Zajímavé je, že se poměrně často vyskytují situace, kdy struktura zooplanktonu neodpovídá regulaci shora. Tzv. *top-down* regulace neboli ovlivnění shora (predací) působí selektivně na druhy z nižších potravních hladin, což ovlivňuje druhové složení společenstva (Hrbáček 1959, 1962). Byl zaznamenán výskyt velkých filtrujících perlooček i v přítomnosti vysoké rybní obsádky. Stejně tak byl pozorován velký rozvoj fytoplanktonu, i když je v nádrži přítomná vysoká populace velkých perlooček (Pechar a Baxa, 2016). Tento stav je zapříčiněn skutečností, že účinnost *top-down* regulace klesá nejen v případě oligotrofie, ale i v podmínkách hypertrofie (Carney, 1990). Velká část

primární produkce je využita v tzv. mikrobiální smyčce. Organické látky produkované organismy či uvolněné z jejich mrtvých těl jsou zapojovány do systému díky bakteriím. Tyto bakterie jsou dále požírány bičíkovci a prvoky (Fenchel, 2008). Často však dochází k tomu, že je fytoplankton zastoupen především sinicemi a řasami, které jsou pro herbivorní zooplankton nepoživatelné a primární produkce je využita především v mikrobiální smyčce. Účinnost přenosu energie z primárních producentů do ryb je tak omezena. Stejně tak se přenos živin a energie neděje v podmínkách, kdy herbivorní zooplankton v prostředí chybí. Živiny se tak nedostávají do vyšších trofických úrovní, a to má vliv také na produkci ryb (Fenchel, 2008). Biomasa fytoplanktonu často koreluje s počty bakterií (Straškrabová et al., 1996). Fytoplankton také vede kompetici o fosfor s heterotrofními bakteriemi (Šimek et al., 2006). Vysoká biomasa fytoplanktonu je doprovázena vznikem vegetačního zákalu, který částečně omezuje průnik světla do hlubších vrstev nádrže. Potlačení fotosyntézy ve spodních vrstvách nádrže způsobuje anoxii u dna (Potužák a Duras, 2013). Rybníky jsou bohaté na organismy mikrobiální smyčky, která dále prohlubuje anoxie (Šimek et al., 2019).

### 3.3 Živiny v rybnících

V současnosti je zde zooplankton zastoupen spíše menšími jedinci (Potužák et al., 2007). Vysoká eutrofizace, změny ve struktuře a početnosti zooplanktonu a časté výkyvy abiotických podmínek vedou k nižší produktivitě rybníků (Barica, 1993). Změny klimatu představují další možnou hrozbu zhoršující eutrofizaci rybníků. Ačkoliv se tímto problémem zabývá celá řada vědců, neexistuje zatím žádné shrnutí jednoznačných předpovědí o dopadech změn klimatu. Předpokládá se však, že klimatické změny ještě posílí eutrofizaci rybníků a navýší biomasu sinic (Jeppesen et al., 2014).

Přímá eutrofizace je od nepaměti přirozenou vlastností rybníků a je do únosné meze nutná pro rybniční hospodaření. Nepřímá eutrofizace (splach z okolního prostředí) trvá více než padesát let. Rybníky jsou od nepaměti přirozené rezervoáry fosforu a dusíku, které slouží k regulaci toku látek a energie. V rybnících dochází k biologickým procesům a přeměnám látek. Látky, které sem přitékají se zde zdržují a vstupují do potravních vztahů. Chov rybích obsádek a procesy s ním spojené vedou k dalšímu zintenzivnění koloběhu látek (Potužák a Duras, 2015). Vysoké rybí obsádky mají často za následek dominanci vířníků nad ostatním zooplanktonem. Vířníci mají oproti perloočkám menší vliv na biomasu fytoplanktonu, jehož biomasa může být proto velmi vysoká. Postupně tak může docházet ke snižování průhlednosti vody. Planktonní řasy a sinice se stávají dominantní složkou rybníků.

Svou fotosyntetickou činností přispívají ke zvyšování hodnot pH. Nedostatek volného CO<sub>2</sub> a prohlubování rozdílu mezi silně okysličenou vrstvou u hladiny a prakticky anoxickou vrstvou dna zvyšuje intenzitu rozkladných procesů v sedimentu, což může způsobovat další uvolňování fosforu do vodního sloupce. V těchto případech se paradoxně stává limitujícím prvkem dusík, který je denitrifikován při rozkladu v anoxických podmínkách nádrže (Pechar, 2015).

### 3.4 Sezónní dynamika zooplanktonu

Sezónní změny klimatických podmínek jsou spojeny s kvantitativními a kvalitativními změnami ve struktuře planktonu. Tyto změny jsou do určité míry pravidelné každý rok. Popis těchto změn byl zachycen v tzv. PEG modelu (Plankton Ecology Group) (Sommer et al., 1986, 2012). Jedná se o slovní popis sezónních změn planktonu stojatých vod mírného pásma. Jednotlivé změny jsou zachyceny v bodech, které se však v závislosti na typu stojaté vody mohou měnit. Úspěšnost reprodukce zooplanktonu závisí na druhovém složení fytoplanktonu (Gliwicz a Siedlar, 1980).

Na začátku jarního období se začínají prodlužovat dny a přibývá množství dopadajícího záření. Roztátím ledové pokrývky a postupným ohříváním horních vrstev nádrže dochází k promíchávání celého vodního sloupce. Jarní cirkulace s sebou přináší velkou dostupnost živin, což podporuje zvýšený nárůst fytoplanktonu (Sommer et al., 1986, 2012). V nádrži dominují rychle rostoucí řasy, zejména skrytěnky a rozsivky. Vysoká dostupnost malých řas přispívá k nárůstu herbivorního zooplanktonu. Žrací tlak zooplanktonu stále roste a biomasa fytoplanktonu se nestačí obnovovat. Prudké snížení biomasy fytoplanktonu má za následek tzv. fázi čiré vody. Zooplankton limitovaný dostupností potravy snižuje svou velikost i plodnost. Ke snížení populační hustoty a biomasy přispívají také planktivorní ryby. Snížení průměrné velikosti herbivorního zooplanktonu má za následek zvýšení biomasy fytoplanktonu. Díky nelimitující hladině živin se zvyšuje také druhové složení fytoplanktonu (Sommer et al., 1986, 2012). Objevují se větší druhy jako například koloniální rozsivky, obrněnky, sinice a zelené řasy (Hartman et al., 2005). Vysoká biomasa fytoplanktonu se stává limitovaná fosforem. Kvůli selektivní herbivorii převládají v nádrži pro zooplankton nepoživatelné řasy.

Pro rozsivky je velmi důležitý křemík, protože ho využívají na stavbu svých schránek. Když dojde k vyčerpání křemíku jsou rozsivky nahrazeny velkými obrněnkami nebo sinicemi. Dále dochází ke spotřebování dusíku, což přispívá k výskytu vláknitých sinic,

kteří dokáží dusík fixovat. Podzim přináší promíchání celého vodního sloupce, teplota v celé nádrži značně poklesne. Rozvíjí se fytoplankton lépe adaptovaný na přicházející změny (rozsivky, jednobuněčné a vláknité řasy). Snížení rybí predace a zvýšení dostupnosti potravy přinese zvýšení herbivorního zooplanktonu na podzimní maximum (Sommer et al., 1986, 2012). Nedostatečný přísun slunečního záření a následné snížení primární produkce s sebou přináší poslední fázi uzavírající cyklus – zimní stagnaci. U herbivorního zooplanktonu vlivem nízkých teplot a nedostatku potravy klesá plodnost a může docházet k vytváření dormantních stadií (Ebert, 2005).

### 3.5 Rozmnožovací strategie zooplanktonu

Sladkovodní zooplankton lze rozdělit do tří hlavních skupin, mezi něž patří perloočky (Cladocera), klanonožci (Copepoda) – dělí se dále na buchanky (Cyclopoida) a vznášivky (Calanoida) a v neposlední řadě vířníci (Rotifera).

#### Klanonožci (Copepoda)

Zastoupení těchto drobných korýšů je hojně především v mořských biotopech. Druhová skladba sladkovodních druhů je oproti mořským zástupcům poměrně nízká. Většina klanonožců se rozmnožuje gamogeneticky. Samci předávají samicím spermie ve spermatoforech. Samice pak nosí oplodněná vajíčka v ovisacích (váčky při těle samice) dokud se nevylíhnou. Zatímco samice buchank mají dva ovisaky, vznášivky mají pouze jeden. Embryonální vývoj vajíček je závislý na teplotě okolního prostředí. Jejich vývoj je nepřímý a musí projít jedenácti vývojovými stadii. Z vajíček se po čase líhnou naupliové larvy, které prochází šesti vývojovými stadii. Naupliové larvy mají nesegmentované tělo a jsou jen málo pohyblivé, jejich vzhled se od dospělců značně liší. Sedmé vývojové stadium je již kopepoditové. Počet tělních článků kopepoditů se zvyšuje při každé ekdyzi a jedinci se již začínají podobat dospělcům (Moss, 2010). Ve čtvrtém nebo pátém stadiu kopepoditového vývoje mohou buchanky tvořit diapauzující stadia (Vijverberg, 1977).

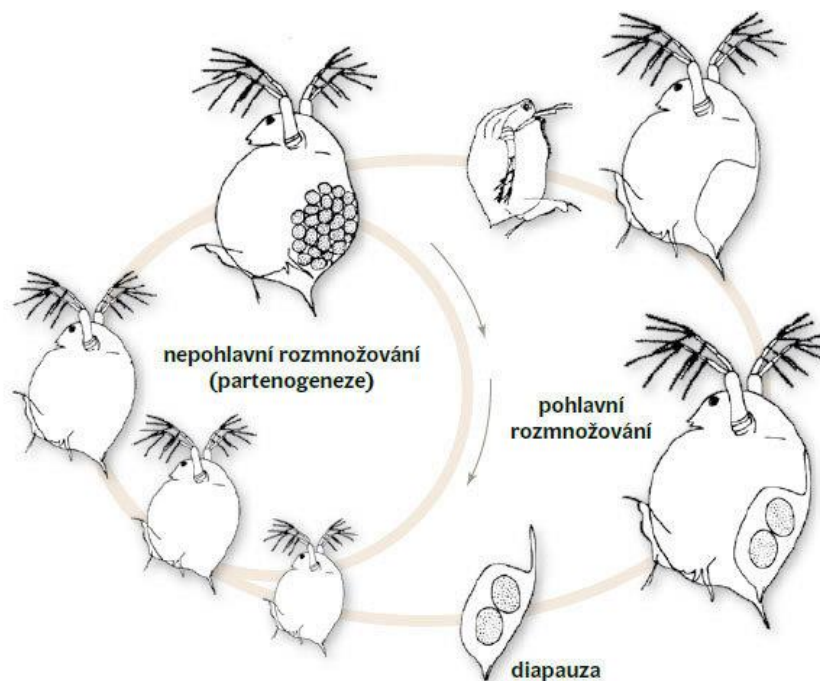
#### Perloočky (Cladocera)

Typickými zástupci jsou perloočky rodu *Daphnia*. Tito planktonní korýši jsou svým způsobem přijímání potravy – filtrací – velmi důležitým článkem potravních řetězců. Kromě své potravní specializace také tvoří důležitou součást potravy mnoha ryb, což jen prohlubuje

důležitost jejich existence nejen z pohledu ekologie. Také jejich schopnost rychle se rozmnožovat za příznivých abiotických podmínek, a naopak účinně přečkávat nepříznivé podmínky v dormantních stádiích poukazuje na jejich výjimečnost (Sed'a a Petrušek, 2011).

Pro rozmnožování perlooček je typická cyklická rodozměna (obr. 2). Perloočky střídají partenogenetické a gamogenetické rozmnožování. Tato strategie střídání pohlavního a nepohlavního rozmnožování s možností využití diapauzy se pro perloočky ukázala jako velmi efektivní. Dokáží tak účinně využít hojné – příznivé období, ale i možnosti pohlavního rozmnožování v proměnlivém prostředí a výhod s ním spojených. V příznivých podmínkách volí samice rychlý partenogenetický způsob rozmnožování (Petrušek, 2010). Tento typ nepohlavního rozmnožování dá vzniknout geneticky identickým jedincům, kteří v něm při příznivých podmínkách pokračují. Vývoj embryí je přímý a probíhá v zárodečném prostoru samice. Tímto způsobem se samice rozmnožují po většinu vegetačního období (Ebert, 2005).

Se zhoršujícími se podmínkami prostředí (vysoká populační hustota, zkracování denní periody, nízká teplota, nedostatek potravy) dochází k pohlavnímu rozmnožování a následné produkci trvalých vajíček. Tento typ rozmnožování je důležitý zejména kvůli možnosti zvýšení genetické variability. Partenogeneticky se množící samice mohou začít kromě identických dcer plodit i samečky. Pohlavní rozmnožování dá vzniknout diploidním vajíčkům, která jsou uložena v tzv. efípiu (sedélku) samice. Efípia obvykle obsahují dvě taková vajíčka. Sedélka jsou silně chitinizovaná a melanizovaná pouzdra velmi odolná vůči vlivům okolního prostředí. Efípia se životaschopnými vajíčky přetrvávají v sedimentech až v řádu staletí, představují tak rezervoár celých generací perlooček (Ebert, 2005; Radzikowski, 2013).



Obr. 2: Schéma znázorňující rozmnožovací strategie perlooček popsané v textu výše (převzato z Petrušek, 2010).

### 3.6 Faktory ovlivňující plodnosti zooplanktonu

Plodnost zooplanktonu je ovlivňována podmínkami okolního prostředí, v němž se dané organismy nachází. Důležitou roli zde hrají abiotické podmínky jako je teplota, dostupnost živin, průhlednost atd. Vedle abiotických činitelů je pro sezónní rozvoj zooplanktonu limitující také hustota a složení rybí obsádky.

#### 3.6.1 Teplota a koncentrace živin

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující kvantitativní i kvalitativní složení zooplanktonu je teplota. Zdrojem tepla ve vodách je infračervená oblast slunečního záření. Průnikem tepelného záření do vody dochází k ohřevu horních vrstev vody. Studená voda díky vyšší hustotě zůstává v letním období u dna a vzniká tak tepelné rozvrstvení stojatých vod – stratifikace. Proces stratifikace je často narušován činností větru. Stratifikace odděluje jednotlivé vrstvy vody dle hustoty a teploty. Svrchní prohřátá vrstva, často míchána větrem, se nazývá epilimnion. Jedná se o nejteplejší vrstvu vody v nádrži. Z počátku jara je tato vrstva slabá, ale postupem času dochází k jejímu prohlubování. Další vrstva se nazývá metalimnion. Tato tzv. skočná vrstva (termoklina) je charakteristická prudkým poklesem teploty. Hluboké vody tvoří poslední vrstvu zvanou hypolimnion, zde se nachází studené masy vod (Kalff, 2002). Rybníky jsou polymiktické nádrže a k jejich promíchávání dochází velice často. V letních měsících zde může vlivem silných bouřek či zvýšenou činností větru

docházet až k destratifikaci vodního sloupce. V průběhu léta se zde vytvoří stratifikace a cirkulace několikrát. Dochází zde k prohrátí celého vodního sloupce (Kalff, 2002; Duras et al., 2015).

Česká republika se díky svému postavení nachází v mírném podnebném pásu, který je charakteristický střídáním ročních období. V zimě mohou teploty poklesnout až pod bod mrazu a na vodních nádržích se může tvořit ledová pokrývka. Pro přežití vodních organismů je klíčová hustotní anomálie vody. Voda má maximální hustotu při 4°C. Led má menší hustotu než voda, což způsobuje, že plave na hladině. V zimním období proto zůstává teplejší voda (s teplotou blízko 4°C) v hlubších vrstvách nádrže. Tato voda umožňuje přežití vodních organismů. Vzniklý led také funguje jako izolace vody pod ním před další ztrátou tepla (Kalff, 2002).

Zimní období negativně ovlivňuje biomasu zooplanktonu. Již na podzim započne vertikální promíchávání a ochlazování celého vodního sloupce (Lellák a Kubiček, 1992). Teplota okolního prostředí je důležitý parametr, který přímo ovlivňuje průběh somatického vývoje embryí zooplanktonu (Rinke a Petzoldt, 2003). Snížení teploty vody k 4°C zpomaluje metabolismus všech vodních organismů. Za takových podmínek se produkce potomstva zooplanktonu výrazně snižuje nebo zcela chybí (Lampert et al., 2010). Bottrell (1975) testoval vliv teploty na embryonální vývoj osmi druhů perlooček a jednoho druhu klanonožců. Uvedl, že snížení teploty způsobilo prodloužení délky embryonálního vývoje u všech testovaných druhů zooplanktonu. Somatický vývoj embryí *Daphnia pulex* trval při teplotě 2-4 °C přibližně 26 dní. Při teplotě 20 °C trval embryonální vývoj téhož druhu pouze 2,6 dne. Dále bylo zjištěno, že embrya vyvíjející se při vyšší teplotě byla větší než embrya, která se vyvíjela při nižších teplotách (Esslová, 1959). Vývoj embryí perlooček je obecně delší než vývoj vajíček klanonožců (Bottrell, 1975).

Teplota ovlivňuje zejména počáteční embryonální vývoj perlooček, zatímco koncentrace živin je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících velikost perlooček samotných i velikost jejich snůšek (Rinke a Petzoldt, 2003). Dle Kocha se snížená koncentrace živin vykazuje zvýšenou úmrtností, zvýšením doby potřebné pro vývoj embryí a zmenšením velikostí embryí (Koch et al., 2017). Snížená dostupnost potravy se projevuje zejména v zimních měsících, kdy se kvůli nedostatku světla snižuje primární produkce – tedy i dostupnost potravy pro herbivorní zooplankton (Lampert et al., 2010). Protože jsou rybníky polymiktické a poměrně často podléhají destratifikaci jsou zde zejména v letních měsících



promíchávány spodní vody (bohaté na živiny) s celým vodním sloupcem. Živiny se tak dostávají do celého vodního sloupce, což může podpořit rozvoj biomasy fytoplanktonu (Duras et al., 2015).

### 3.6.2 Vliv rybí obsádky

Abundance i druhové složení zooplanktonu v rybnících je ovlivněno složením rybí obsádky a vyžíráním tlakem, který na zooplankton vyvíjí. V nádrži s vysokou rybí obsádkou převažují klanonožci, vířníci a drobné perloočky. Nádrž se pak vyznačuje malou průhledností vody, protože menší perloočky nejsou tak účinnými filtrátory (Hartman et al., 2005).

Bylo zjištěno, že v rybnících s intenzivní rybníční akvakulturou je biodiverzita zooplanktonu nižší, než v podmínkách s nízkou či střední hospodářskou výkonností. To je způsobeno udržováním vodní vegetace a dostatečnou nabídkou potravy (Příkryl, 1996). Perloočky představují pro ryby dobře viditelnou a výživnou potravu. Mohou být rybami zcela vyžrány a nahrazeny vířníky nebo menšími druhy – pro ryby hůře viditelnými (Macháček, 2001). Perloočky jsou schopné rozpoznat přítomnost planktonožravých ryb pomocí kairomonů (Macháček, 2001). Pokud perloočky zjistí přítomnost ryb, dorůstají samice menších velikostí a plodí menší snůšky embryí. Menší jedinci, plodící další malé potomstvo mají vyšší šanci uniknout predátorovi, který si jich nemusí všimnout (Brooks a Dodson, 1965). Zároveň vykazují samice ohrožené rybí predací snahu reprodukovat se co možná nejrychleji (Reede a Ringelberg 1995; Macháček, 2001).

Protože se ryby při hledání potravy orientují především vizuálně, hraje velkou roli nápadnost kořisti (Li et al., 1985). Například kopulující páry klanonožců se stávají pro ryby více nápadnými, stejně jako samice nesoucí ovisaky (Maier et al., 2000). Bylo prokázáno, že samice perlooček s embryi ve vyšším vývojovém stadiu jsou více ohrožené rybí predací. Predátory pravděpodobně upoutají samice s embryi, u kterých jsou již dobře vyvinutá pigmentová očka. Populace perlooček vystavená silné rybí predaci je více zastoupena samicemi s embryi v nižších stupních vývoje (Zemanová et al., 2019). Stejně tak jsou více ohrožené samice s efipii (Mellors, 1975).

Bylo také prokázáno, že zooplankton využívá jako prostředek k obraně vertikální migraci ve vodním sloupci. Gliwicz (1986) zkoumal populace klanonožců *Cyclops abyssorum*. Zjistil, že vertikální migrace klanonožců není patrná v nádržích bez ryb, zatímco

v nádržích obsazenými rybami je zcela zřejmá. Zooplankton se tak vyhýbá planktonožravým rybám (Gliwicz, 1986).

V českých rybnících je chován především kapr obecný (*Cyprius carpio*), jehož chov se osvědčil hlavně díky jeho rychlému růstu a všežravosti (Hartman et al., 2005). Chov kapra není náročný na kvalitu vody. V současné době je posuzován i vliv plevelných ryb na zooplankton. Termínem plevelné ryby se rozumí takové, které nemají v rybnících hospodářský význam a ubírají potravu rybám chovným. Zejména pak u invazní ryby střevličky východní (*Pseudorasbora parva*), která se stala velmi úspěšná v kompetici o zooplankton s chovnými rybami. Do Evropy byla neúmyslně zavlečena v šedesátých letech minulého století, kdy byla poprvé odhalena v Rumunsku. Do střední Evropy se dostala přibližně v 80. letech 20. století. V ekosystémech, kde se vyskytuje, byl již v minulosti prokázán její destruktivní vliv na zooplankton (Gerstmeier a Romig, 2003) Přítomnost střevličky východní v rybníku prokazatelně eliminuje zooplankton, zejména pak perloočky (Musil et al. 2014).

## 4 Hypotézy

- V jarních měsících budou planktonní koryši vlivem zvýšené dostupnosti potravy dosahovat nejvyšších plodností.
- V letních měsících bude zooplankton ovlivněn predčním tlakem ryb, jejíž vliv zapříčiní snižování plodností, abundancí i velikostí zooplanktonu. Lze předpokládat, že díky velikostně selektivní predaci ryb budou potlačeny velké druhy perlooček, které budou následně zastoupeny menšími jedinci.
- Předpokládáme také silně eliminující vliv plevelných ryb na zooplankton, obzvláště pak střevličky východní, jejíž významný vliv se již v minulosti prokázal.
- Dále lze očekávat pokles v zastoupení vyšších vývojových stadií embryí, a to zejména v letních měsících.

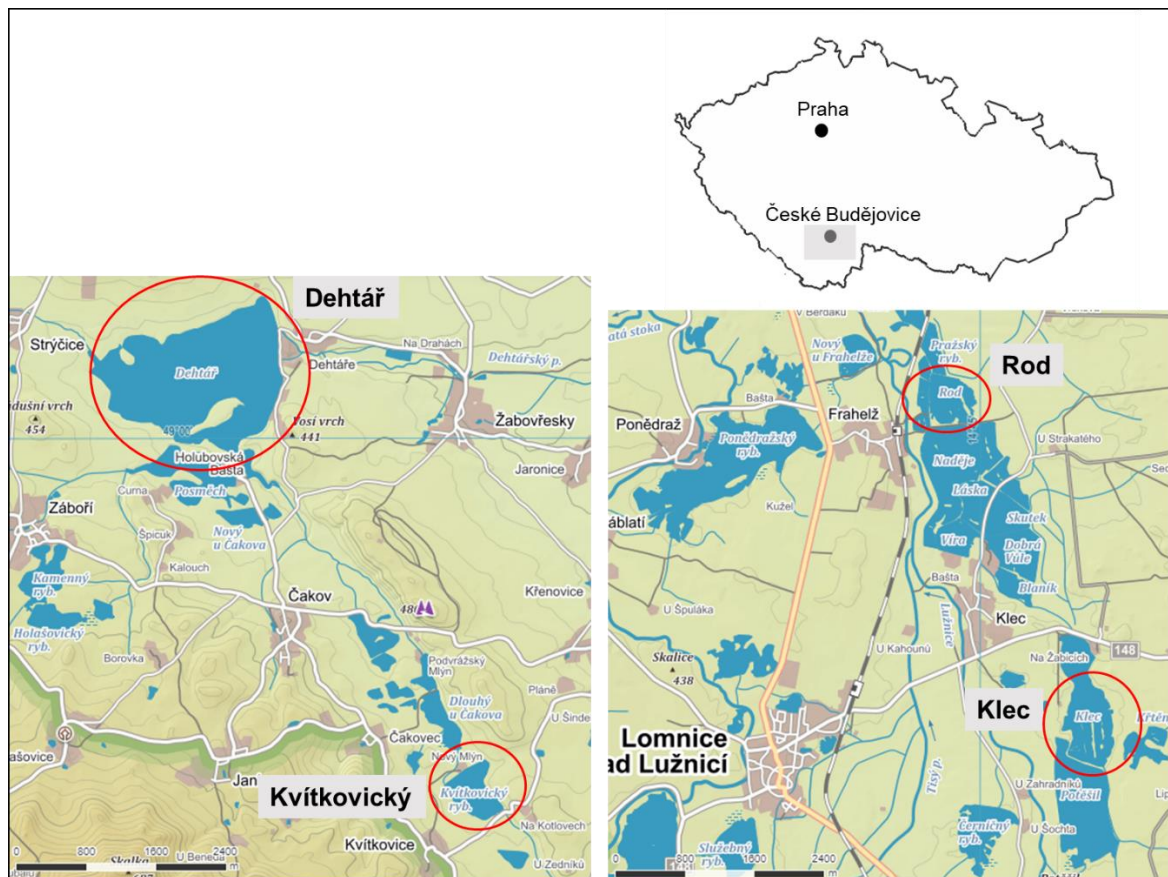
## 5 Metodika

### 5.1 Popis lokalit

Odběry probíhaly na rybnících Dehtář, Rod, Klec a Kvítkovický. Rybník Dehtář (49.006N, 14.294E) se nachází asi 15 km západně od Českých Budějovic u obce Žabovřesky. Díky své rozloze (228 ha) je desátým největším rybníkem České republiky. Rybník obklopuje sypaná hráz dlouhá asi 234 m. Maximální hloubka tohoto rybníka činí 5 m a celkový objem vody je 6,5 mil. m<sup>3</sup>. Hlavním přítokem Dehtáře je Dehtářský potok pramenící nedaleko Lhenic. Dehtář je dvouhorkový rybník využívaný především k chovu ryb – nejčastěji kapra.

Druhým odběrovým rybníkem byl Rod (49.121N, 14.745E). Rod je součástí Nadějské rybníční soustavy a jeho plocha je desetinná oproti Dehtáři, činí 22 ha. Maximální hloubka tohoto rybníka je 1,3 m. Nachází se v okrese Tábor v CHKO Třeboňsko a je součástí přírodní rezervace Rod. Litorální porosty rákosin tvořené především zblochanem vodním (*Glyceria maxima*) poskytují zázemí mnoha druhům vodního ptactva. Rod je jednohorkový rybník s výrazně sníženou rybí obsádkou nastavenou pro potřeby ochrany přírody. Rybí obsádka není zcela ustálená a v poslední době se střídala meliorační obsádka kapra s obsádkou tvořenou piscivorními druhy, zejména candátem. V roce 2018 byl hlavní nasazenou rybou lín obecný.

Dalším odběrovým místem byl rybník Klec (49.090N, 14.767E) nacházející se u stejnojmenné obce. Maximální hloubka rybníku je 2 m a rozloha rybníku je 64 ha. Tento jednohorkový rybník je určený k chovu tržního kapra. Posledním místem odběru byl rybník Kvítkovický (48.963N, 14.337E) o rozloze 24 ha. Maximální hloubka Kvítkovického rybníku je 3 m. Nachází se asi 10 km severovýchodně od obce Kvítkovice. Kvítkovický rybník je jednohorkový a chová se zde tržní kapr.



Obr. 3: Mapa odběrových rybníků Dehtář, Klec, Kvítkovický, Rod.

## 5.2 Odběr a zpracování vzorků

Vzorky byly odebírány v měsíčních intervalech od dubna do září 2018. Zooplankton byl na každém rybníce odebírán na 5 místech v rámci podélného transektu ve volné vodě. Na každém místě byl odebrán jeden objem van Dornova odběráku (1 m, 6,4 l) od hladiny do 1 metru hloubky volné vody. Jednotlivé objemy van Dornova odběráku byly převedeny do plastového sudu o objemu 50 l. Na břehu byly ze sudu odebrány vzorky mikrobiálního společenstva, fytoplanktonu a vířníků. Vzorek planktonních korýšů byl odebrán za stálého, ale opatrného míchání vody v sudu přes planktonní síť o velikosti oček 200  $\mu\text{m}$ . Výsledný objem byl vždy 30 l. Korýši byli zafixováni cukerným formaldehydem v konečné koncentraci 4,5% formaldehydu a 4,2% cukru.

Ze vzorku určeného k analýze plodností byl odsát větší díl supernatantu pomocí odsávačky. Zbylá část byla kvantitativně převedena do Petriho misky označené linkami a naředěna destilovanou vodou. Se vzorkem bylo zacházeno opatrně, aby nedocházelo

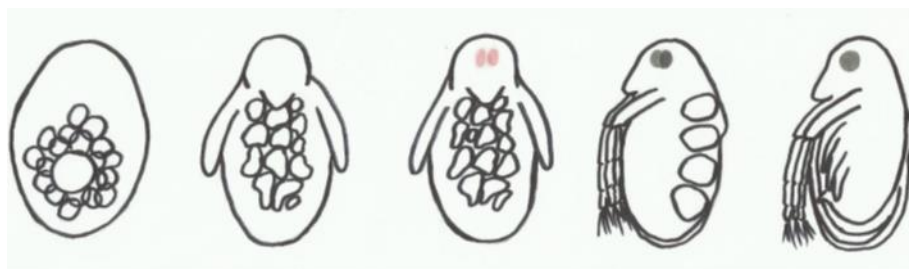
k uvolnění embryí ze zárodečných prostor perlooček a odpadnutí ovisaků buchaneč a vznášivek.

K analýze plodností byly vybírány samice s vajíčky či embryi v zárodečném prostoru samice. Jednalo se o perloočky *Daphnia* gr. *longispina*, *Daphnia ambigua/parvula* a *Daphnia pulicaria/pulex*, buchanky *Cyclops vicinus* a vznášivky *Eudiaptomus gracilis*. Hrotnatky byly určovány do druhové úrovně, ale pro zpracování jsem kvůli možné nejistotě při determinaci, vzájemné blízkosti z hlediska bionomie druhů a jejich relativně nízké frekvenci ve vzorcích spojila *D. ambigua* a *D. parvula* a zároveň *D. pulicaria* a *D. pulex* do jednoho směsného taxonu.

Pokud byl ve vzorku dostatečný počet jedinců, byly samice vybírány náhodně do počtu 20. Ve vzorcích s nedostačujícím počtem jedinců byli vybráni všichni přítomní jedinci. Počet zpracovaných jedinců je uveden u všech prezentovaných grafů.

Vybrané samice byly opatrně uchopeny pinzetou za antény či antenuly a následně přeneseny na podložní sklíčka do kapky vody. Dále byl pomocí mikroskopu při zvětšení min. 40x zjišťován druh a velikost těl (*longitudo corporis*, LC). Klanonožci byli měřeni od vrcholu hlavy po konec posledního zadečkového článku. U perlooček byla navíc zjišťována délka spiný (*longitudo spinalis*, LS), jejíž vyhodnocení ale není součástí diplomové práce. Následně byl pomocí stereomikroskopu určen počet vajíček případně vývojové stadium u embryí perlooček. Embrya perloočky byla vybrána ze zárodečného prostoru samice, následně spočtena a zařazena do jednoho z pěti vývojových stadií (obr. 4). Kritérium, podle kterého byla embrya rozřazena do jednotlivých vývojových stadií, bylo inspirováno prací Esslové (1959) od nejméně vyvinutého (1) po nejvíce vyvinuté (5). První vývojové stadium tvoří pouze oválek s tukovými kapénkami. U druhého stadia jsou již diferencované antény a hlava. Pro třetí stadium jsou typické světle červené oči, které jsou jeho hlavním určovacím znamením. Ve čtvrtém stadiu mají embrya již dobře rozlišené jednotlivé části těla. Oči nejsou červené, ale černé a jsou částečně srostlé (připomínají činky). Páté vývojové stadium je nápadně podobné dospělci, má zcela diferencované tělo a jedno černé oko.

U klanonožců byly odděleny ovisaky pomocí jehliček následně byla oddělena a spočtena jednotlivá vajíčka. Vývojová stadia u klanonožců nebyla zjišťována.



Obr. 4: Schéma jednotlivých vývojových stadií zjišťovaných u embryí *D. gr. longispina* (převzato ze Zemanová, 2015).

### 5.2.1 Podmínky prostředí

Kromě vzorků odebíraných k analýze abundancí a plodností byly také měřeny hodnoty dalších podmínek prostředí. Chemické analýzy živin a dalších parametrů byly stanoveny standardními metodami v akreditované laboratoři ENKI, o.p.s. Z dostupných naměřených parametrů byly pro potřeby diplomové práce použity následující: průhlednost, vodivost, TN – veškerý dusík, TP – veškerý fosfor, DOC – rozpuštěný organický uhlík a DRP – rozpuštěný reaktivní fosfor. Kromě těchto parametrů jsem hodnotila vztah s rybí obsádkou pomocí tzv. Fish biomass indexu (FBI, viz dále).

Kapr obecný tvořil v rybnících Dehtář, Klec a Kvítkovický 84-95% biomasy při výlovu. U rybníka Rod byl dominantní nasazenou rybou lín obecný (81% biomasy). Výchozí data pro obsádku byly údaje o hospodaření vedené rybníkářem (Rybářství Třeboň, a.s. a Rybářství Hluboká CZ, s.r.o.). Z dat o násadě a výlovu rybníka byla vypočítána specifická rychlost růstu a z ní odvozena biomasa ryb v průběhu sezóny. Pro lepší porovnatelnost různě velkých ryb byl zvolen FBI, tj. poměr biomasy a druhé odmocniny abundance. „FBI obsádky“ je tedy odhad predáčního tlaku ryb na základě dominantního nasazeného druhu (kapa nebo lína). V měsíčních intervalech byl pomocí vrhací sítě proveden i odhad abundance a biomasy drobných planktivorních ryb. Tato data jsou prezentována jako „FBI plevelných ryb“.

Získaná data byla také použita do modelu mnohonásobné regrese, která byla provedena ve statistickém balíku Statistica 13 (TIBCO Software Inc., 2018).

## 6 Výsledky

V období od dubna do září roku 2018 byl sledován vývoj abundancí, plodností a velikostí dominantních druhů planktonních korýšů v rybnících Dehtář, Rod, Klec a Kvítkovický. Sledovanými taxony byly buchanky *C. vicinus*, vznášivky *E. gracilis* a hrotnatky *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*. U hrotnatek *D. gr. longispina* byla navíc zjišťována vývojová stadia embryí. Dále byly monitorovány fyzikálně-chemické parametry rybníků, biomasa fytoplanktonu a ryby.



## 6.1 Podmínky prostředí

Nejvyšší průhlednost byla zaznamenána u rybníka Rod (>130 cm v dubnu), naopak nejnižší u Kvítkovického rybníka (15 cm v srpnu) a Rodu (15 cm v srpnu) (Tab.1). V rybníce Rod byla naměřena nejnižší koncentrace chlorofylu *a* (3,46 µg/l v dubnu) ze všech zkoumaných rybníků. Nejvyšší koncentrace chlorofylu *a* (696 µg/l) byla naměřena v Rodu v měsíci srpen. Zároveň byla v Dehtáři zjištěná nejvyšší FBI obsádky i plevelných ryb oproti zbývajícím rybníkům (Tab. 1). Oproti tomu nejnižších hodnot dosahovalo FBI obsádky i plevelných ryb v rybníce Rod.

Tab. 1: Tabulka hodnot mediánu, minima a maxima biomas kapra a plevelných ryb a naměřených fyzikálně chemických parametrů rybníků Dehtář, Klec, Kvítkovický a Rod pro období roku 2018. TN – veškerý dusík, TP – veškerý fosfor, DOC – rozpuštěný organický uhlík, DRP – rozpuštěný reaktivní fosfor, FBI obsádky – poměr biomasy a druhé odmocniny abundance rybí obsádky nasazených ryb, FBI plevelných ryb – poměr biomasy a druhé odmocniny abundance plevelných ryb.

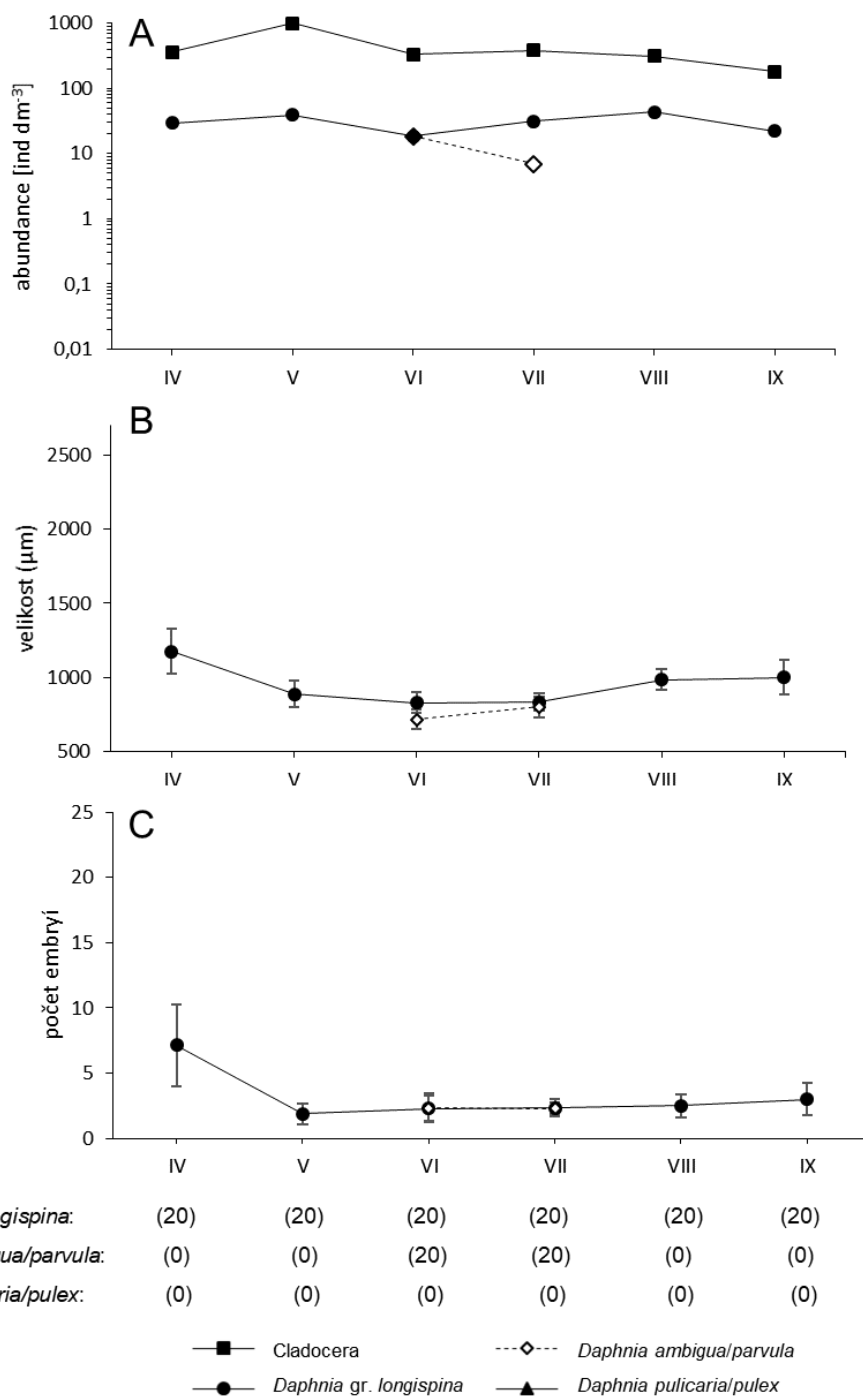
Měřené parametry	Dehtář	Klec	Kvítkovický	Rod
průhlednost (cm)	40 (35 – 65)	32,5 (20 – 90)	27,5 (15 – 35)	50 (15 – 130)
vodivost (µS.cm <sup>-1</sup> )	333,5 (323 – 338)	214 (201 – 229)	344 (313 – 372)	222,5 (207 – 246)
TN (mg.l <sup>-1</sup> )	2,26 (1,79 – 4,35)	3,36 (1,57 – 7,77)	3,04 (2,03 – 4,87)	3,42 (1,40 – 8,77)
TP (mg.l <sup>-1</sup> )	0,23 (0,15 – 0,30)	0,25 (0,13 – 0,39)	0,34 (0,2 – 0,61)	0,22 (0,12 – 0,43)
DOC (mg.l <sup>-1</sup> )	19,79 (17,82 – 22,35)	16,44 (12,46 – 20,71)	19,31 (15,58 – 22,67)	21,5 (17,98 – 26,56)
DRP (mg.l <sup>-1</sup> )	0,013 (0,001 – 0,031)	0,011 (0,001 – 0,021)	0,05 (0,014 – 0,422)	0,013 (0,008 – 0,028)
chlorofyl <i>a</i> (µg.l <sup>-1</sup> )	87,6 (65,0 – 161,5)	188,1 (61,0 – 376,1)	140,2 (89,0 – 327,7)	149,8 (3,4 – 696,0)
FBI obsádky	35,5 (26,0 – 48,3)	20,2 (11,6 – 38,9)	21,8 (10,2 – 39,4)	4,2 (2,3 – 7,2)
FBI plev. ryb	0,5 (0,4 – 0,9)	0,4 (0,1 – 0,7)	0,3 (0,1 – 0,4)	0,2 (0,1 – 0,6)

Pozn. k FBI plev. ryb – hlavní druhy zastoupených plevelných ryb: střevlička východní (*Pseudorasbora parva*) (zejména Kvítkovický a Rod), ježdík obecný (*Gymnocephalus cernuus*), okoun říční (*Perca fluviatilis*), plotice obecná (*Rutilus rutilus*), perlín ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*).

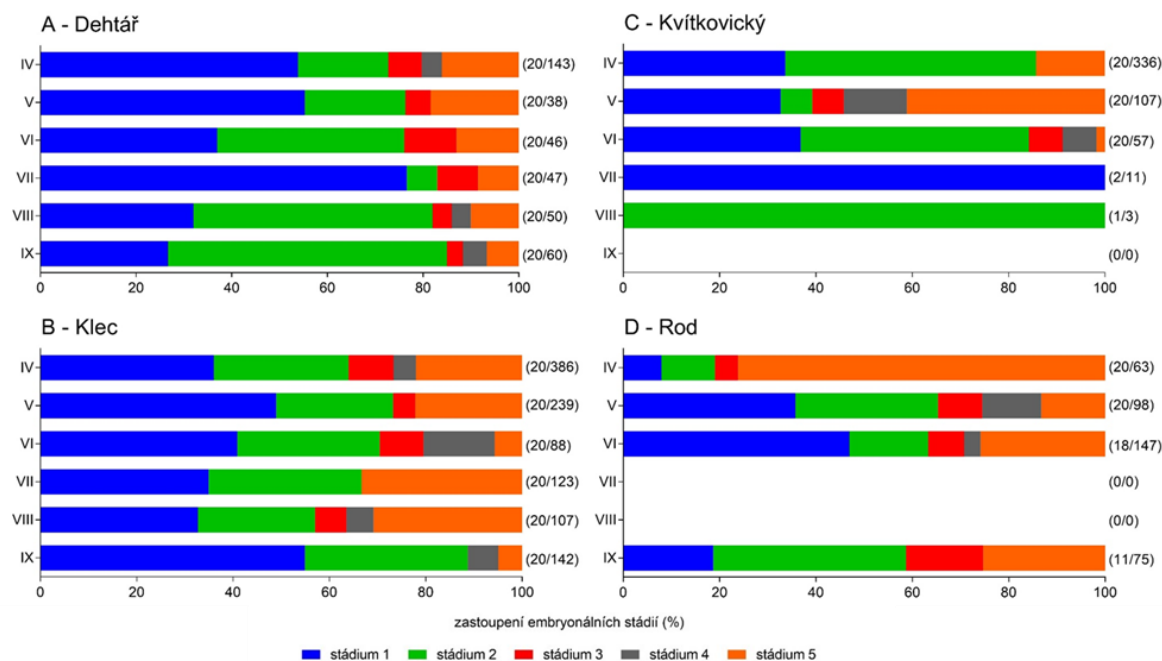
## 6.2 Dehtář

### Dehtář – *Daphnia*

Nejvyšší abundance perlooček ( $990 \text{ ind.dm}^{-3}$ ) byla zaznamenána v květnu (obr. 5A). V rybníce Dehtář byly zachyceny pouze hrotnatky *D. gr. longispina* a *D. ambigua/parvula*. *D. gr. longispina* byla nacházena po celé zkoumané období; oproti tomu *D. ambigua/parvula* pouze v červnu a červenci. Hrotnatka *D. gr. longispina* měla průběh abundancí v sezóně velmi podobný celkové abundanci perlooček. Nejvyšších velikostí dosahovaly samice hrotnatek *D. gr. longispina* v dubnu (obr. 5B). V následujících měsících se jejich velikost snížila a mírně vzrostla až v srpnu. Průměrné počty embryí korelovaly s velikostí těla hrotnatek. Nejvyšší průměrný počet embryí u náhodně vybraných jedinců byl zaznamenán rovněž v dubnu. V květnu počet embryí klesl a dále se jen mírně navyšoval, nikdy však nedosahoval takových hodnot jako na začátku sezóny (obr. 6A). Počty embryí obou druhů se nelišily. V červenci převládala embrya ve vývojovém stadiu 1. Kromě dubna byla u samic zaznamenána všechna vývojová stadia embryí pouze v srpnu a září. Obecným trendem u všech odběrů byl vysoký výskyt stadií 1 a 2. Nejméně zastoupené stadium embryí bylo 4 (obr. 6).



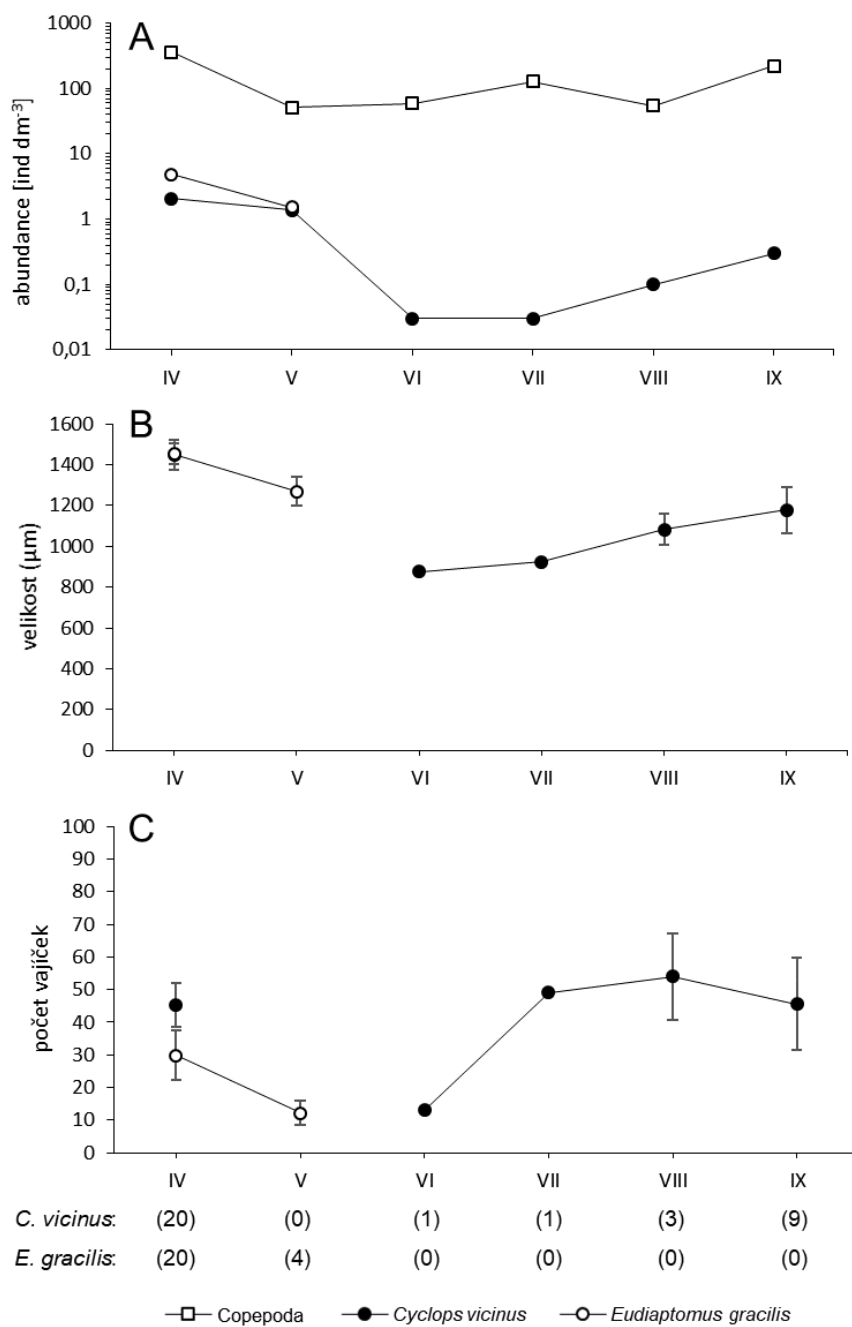
Obr. 5: Rybník Dehtář A – celkové abundance perlooček a samic hrotnatek (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těla (μm) perlooček *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*, C – průměrný počet embryí *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*. V dolní části je uveden počet analyzovaných samic perlooček v daném měsíci.



Obr. 6: Procentuální podíl zastoupení jednotlivých vývojových stádií u embryí *D. gr. longispina* za období roku 2018. A – Dehtář, B – Klec, C – Kvítkovický, D – Rod. Na pravé straně každého grafu je uveden počet změřených samic/celkový počet embryí v samicích pro konkrétní měsíc.

## Dehtář – Copepoda

Nejvyšší abundance *C. vicinus* a *E. gracilis* byly zaznamenány v dubnu (obr. 7A). Také nejvyšších velikostí dosahovaly buchanky *C. vicinus* v dubnu. V květnu nebyly nalezené žádné buchanky s vajíčky. Samice vznášivky *E. gracilis* s vajíčky byly nalezeny jen v dubnu a květnu (obr. 7C).

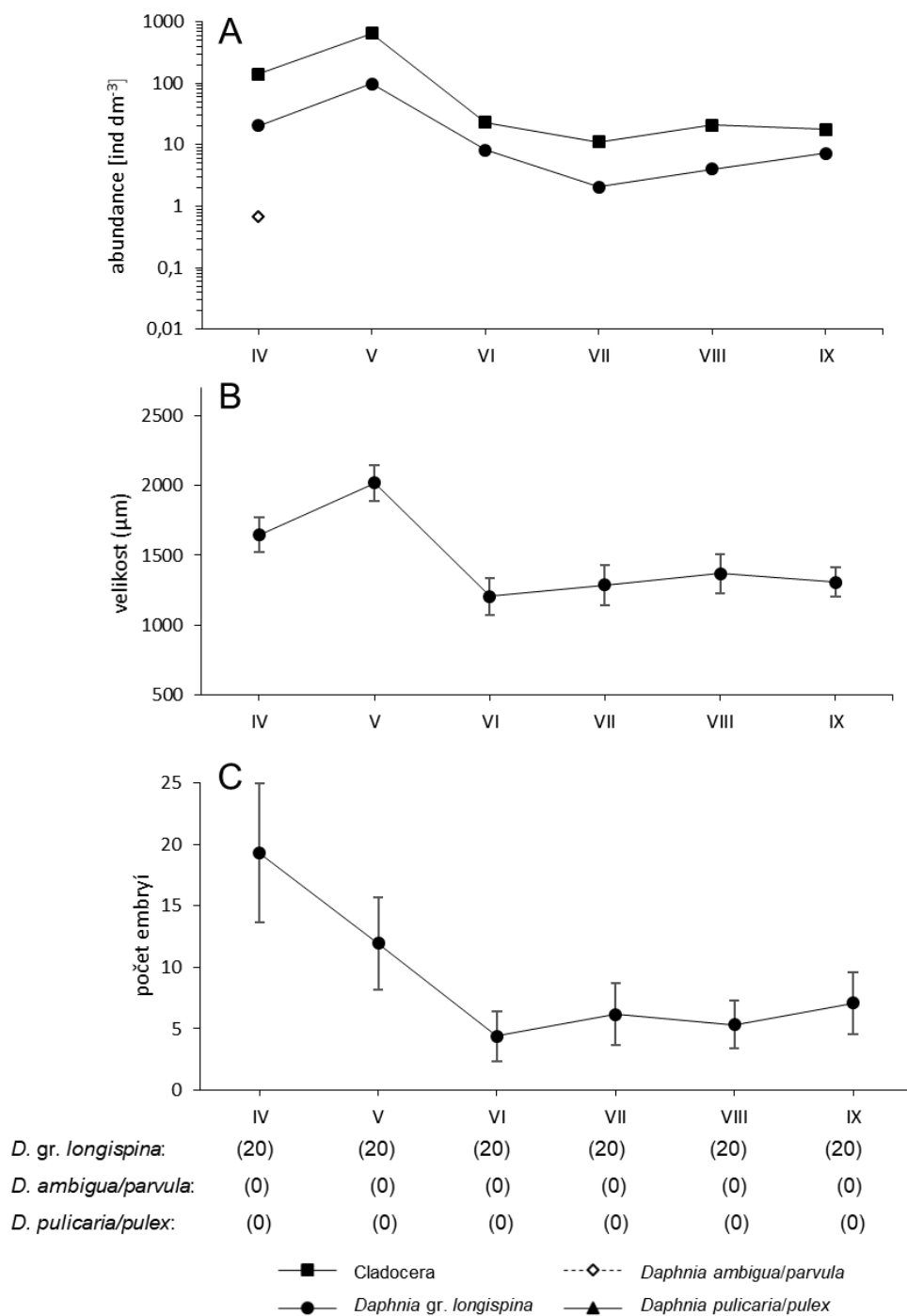


Obr. 7: Rybník Dehtář A – abundance klanonožců (kopepoditová stadia a dospělci) *C. vicinus* a *E. gracilis* (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těl (μm) buchanky *C. vicinus* a vznášivky *E. gracilis*, C – průměrný počet vajíček náhodně vybraných jedinců *C. vicinus* a *E. gracilis*. V dolní části je uveden počet změřených samic klanonožců v konkrétním měsíci.

### 6.3 Klec

#### Klec – *Daphnia*

Nejvyšší abundance a velikost perlooček byla zaznamenána v květnu (obr. 8A, B). V Kleci byly ve zkoumaném období nacházeny s vajíčky pouze samice *D. gr. longispina* (obr. 8C). V červnu se velikost hrotnatek značně snížila a k mírnému zvýšení velikosti došlo v červenci a srpnu. Vysoký počet embryí zaznamenaný v dubnu byl zastoupen výrazným počtem embryí stadia 1, 2 a 5 (obr. 6B). V tomto měsíci bylo také zjištěno nejvíce embryí na samici. V Kleci bylo po celé zkoumané období zachyceno nejvíce embryí ze všech čtyř zkoumaných rybníků, vzhledem k počtu zkoumaných samic.

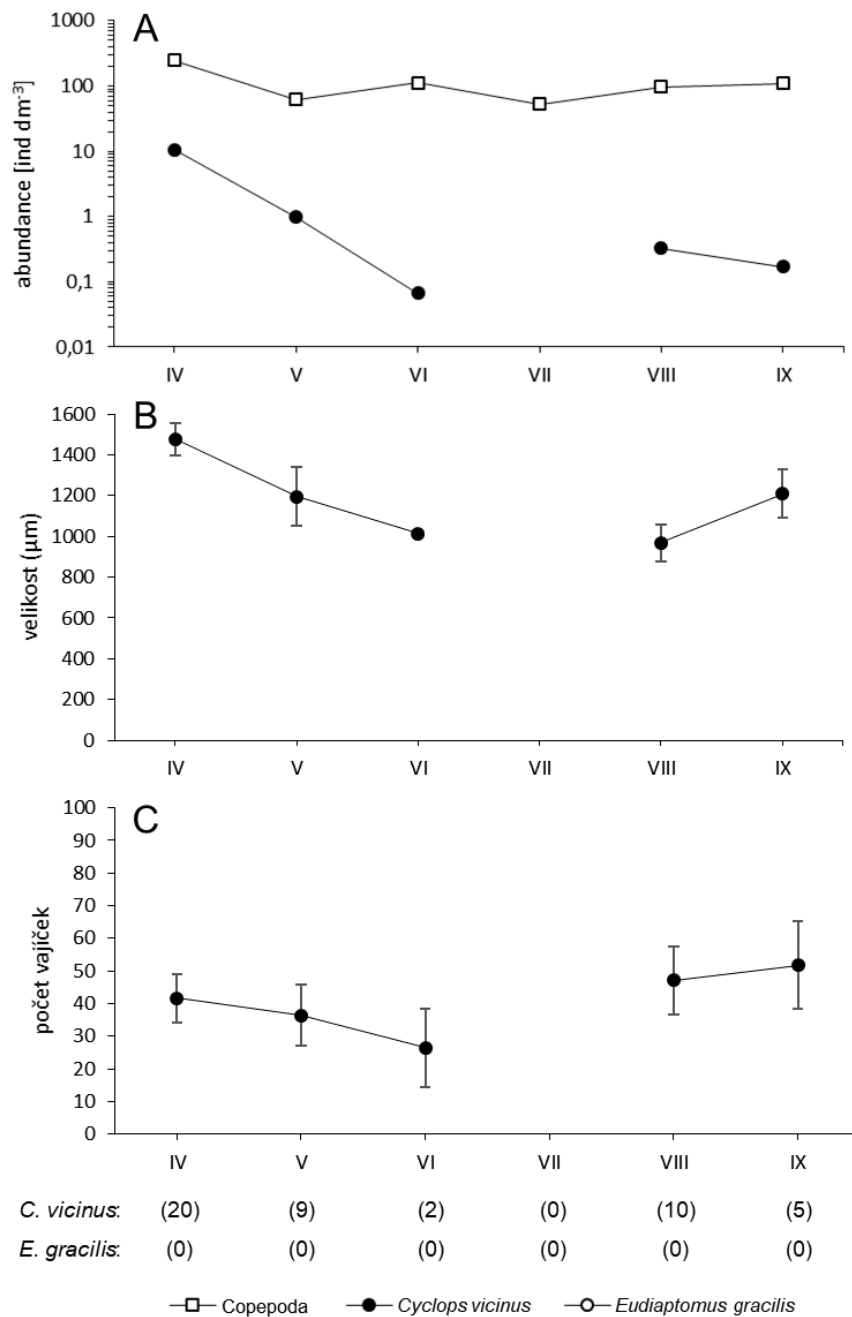


Obr. 8: Rybník Klec A – celkové abundance perlooček a samic hrotnatek (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těla (μm) perlooček *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*, C – průměrný počet embryí *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*. V dolní části je uveden počet analyzovaných samic perlooček v daném měsíci.



## Klec – Copepoda

Nejvyšších velikostí dosahovaly samice buchaneček v dubnu (obr. 9A). V následujících měsících docházelo k poklesu abundancí i velikostí *C. vicinus*. V měsíci červenci nebyly zachyceny žádné samice *C. vicinus* s vajíčky. Nejvíce vajíček bylo zaznamenáno v září (obr. 9C). Vznášivky s vajíčky nebyly od dubna do září v rybníku Klec zaznamenány.



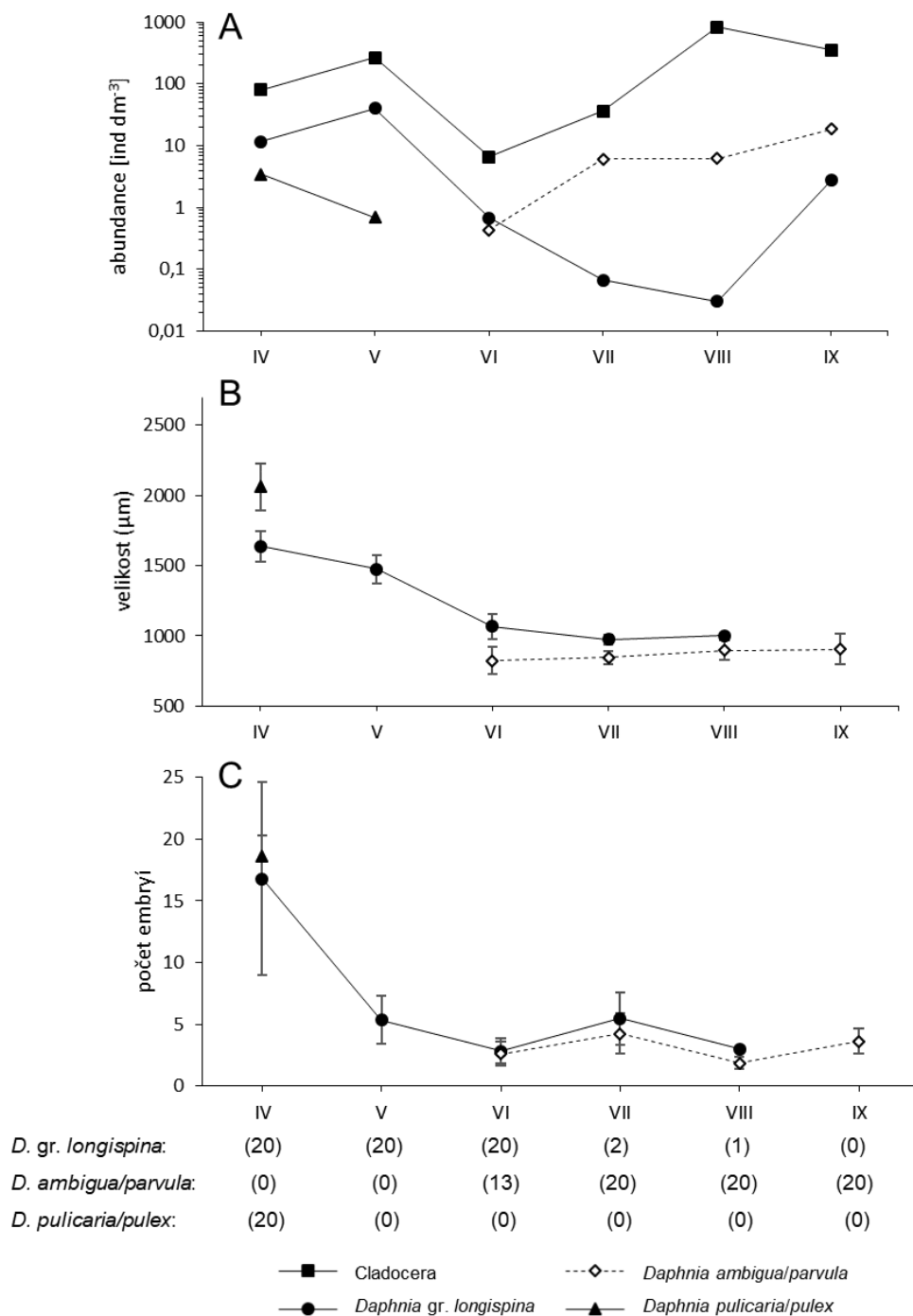
Obr. 9: Rybník Klec A – abundance klanonožců (kopepoditová stadia a dospělci), *C. vicinus* a *E. gracilis* (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těl (μm) buchanky *C. vicinus* a vznášivky *E. gracilis*, C – průměrný počet vajíček náhodně vybraných jedinců *C. vicinus* a *E. gracilis*. V dolní části je uveden počet změřených samic klanonožců v konkrétním měsíci.

## 6.4 Kvítkovický

### Kvítkovický – *Daphnia*

V Kvítkovickém rybníku byly zachyceny všechny tři druhy hrotnatek (obr. 10A). Nejvyšší průměrný počet embryí *D. gr. longispina* na samici byl zaznamenán v dubnu stejně jako největší velikosti samic (obr. 10B, C). S dalším sezónním vývojem docházelo u obou zjišťovaných parametrů k nápadnému snižování. Samice *D. ambigua/parvula* byly zachyceny od června do září, s nejvyšší abundancí v září. Samice *D. pulicaria/pulex* s vajíčky byly zachyceny pouze v dubnu.

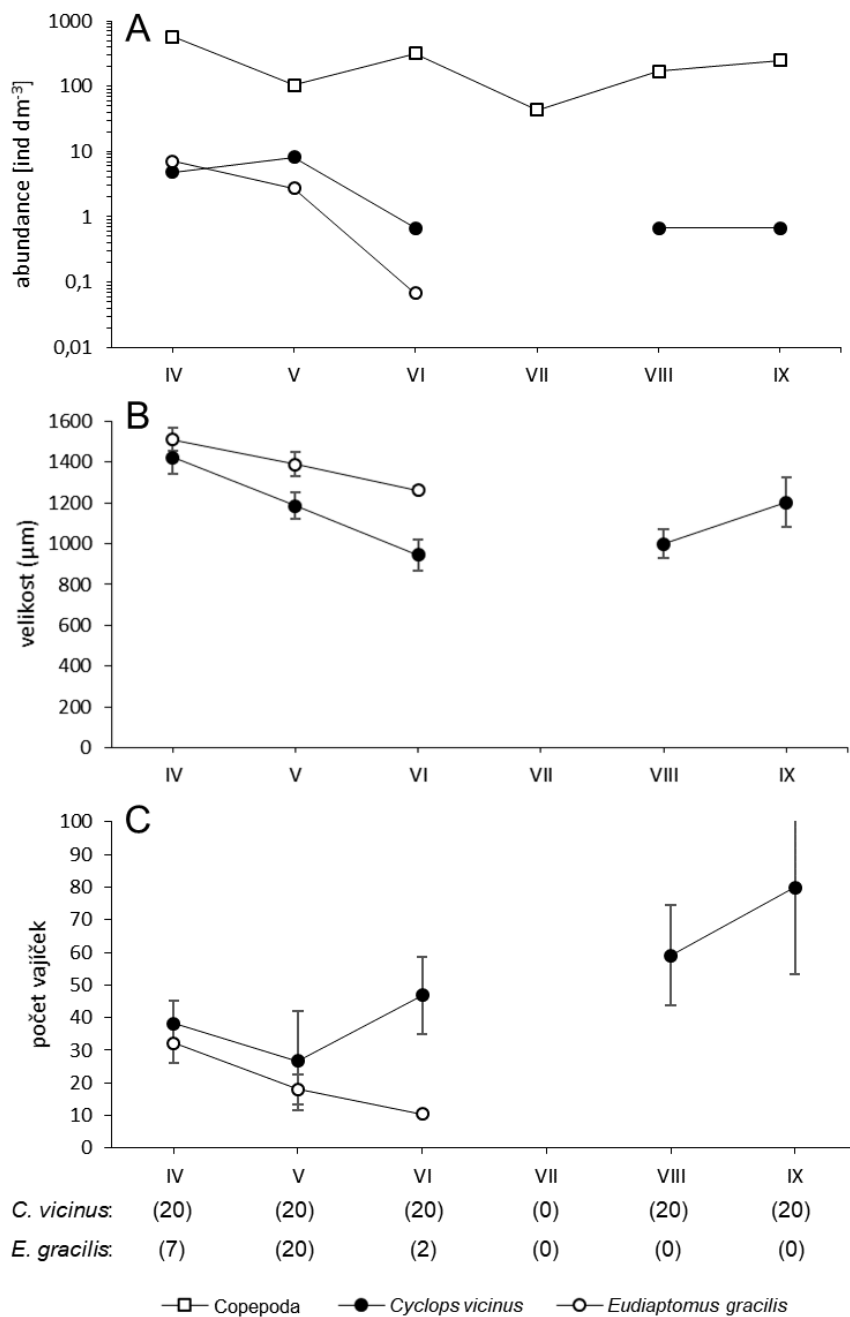
V dubnu byla u *D. gr. longispina* nejvíce zastoupena stadia 1 a 2 (obr. 6C). Zároveň zde byl zachycen nejvyšší počet embryí v samicích ze všech zkoumaných měsíců. Počet embryí i zastoupení vývojových stadií se postupně snižoval. V červenci bylo zachyceno jen 11 embryí ve dvou samicích ve vývojovém stadiu 1. V srpnu pak jen jediná samice se třemi embryi ve vývojovém stadiu 2. V září nebyly zachyceny žádné samice *D. gr. longispina* s embryi.



Obr. 10: Rybník Kvítkovický A – celkové abundance perlooček a samic hrotnatek (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těla (μm) perlooček *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*, C – průměrný počet embryí *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*. V dolní části je uveden počet analyzovaných samic v daném měsíci.

### Kvítkovický – Copepoda

V Kvítkovickém rybníku nebyla v červenci zachycena žádná samice *C. vicinus* s vajíčky (obr. 11C). Nejvyšších velikostí dosahovaly samice *C. vicinus* v dubnu naopak nejnižších v červnu a srpnu (obr. 11B). Nejvíce vajíček na samici byl zaznamenán v září, v tomto měsíci byly ale také největší odchylky. Samice vznášivky *E. gracilis* byly v Kvítkovickém rybníce nalezeny pouze v dubnu, květnu a červnu.

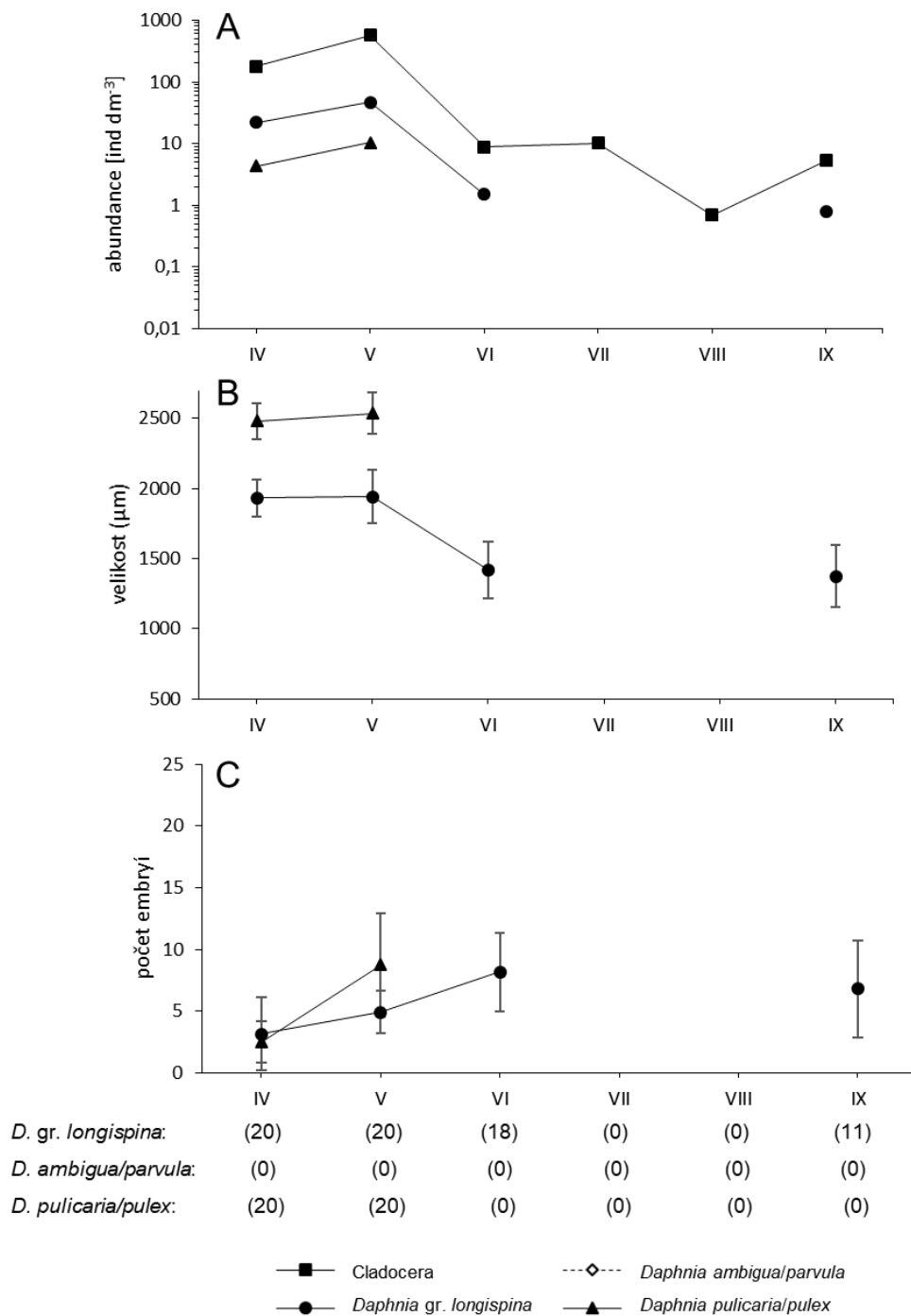


Obr. 11: Rybník Kvítkovický A – abundance klanonožců (kopepoditová stadia a dospělci), *C. vicinus* a *E. gracilis* (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těl (μm) buchanky *C. vicinus* a vznášivky *E. gracilis*, C – průměrný počet vajíček náhodně vybraných jedinců *C. vicinus* a *E. gracilis*. V dolní části je uveden počet změřených samic klanonožců v konkrétním měsíci.

## 6.5 Rod

### Rod – *Daphnia*

Hrotnatky *D. gr longispina* i *D. pulicaria/pulex* dosahovaly nejvyšších abundancí v květnu (obr. 12A). Samice hrotnatky *D. gr. longispina* s vajíčky byly nalezeny v měsících duben, květen, červen a září (obr. 12C). Ve všech čtyřech měsících jsou u průměrných počtů embryí pozorovány vysoké odchylky. Nejvíce embryí bylo pozorováno v červnu. V měsících duben a květen byly také pozorovány samice *D. pulicaria/pulex*. Samice *D. ambigua/parvula* nebyly zachyceny. V dubnu bylo pozorováno nejvíce samic s embryi ve stadiu 5 (obr. 6D). Nejvyšší počet embryí byl zjištěn v červnu. V červenci a srpnu nebyly zachyceny žádné samice s embryi.

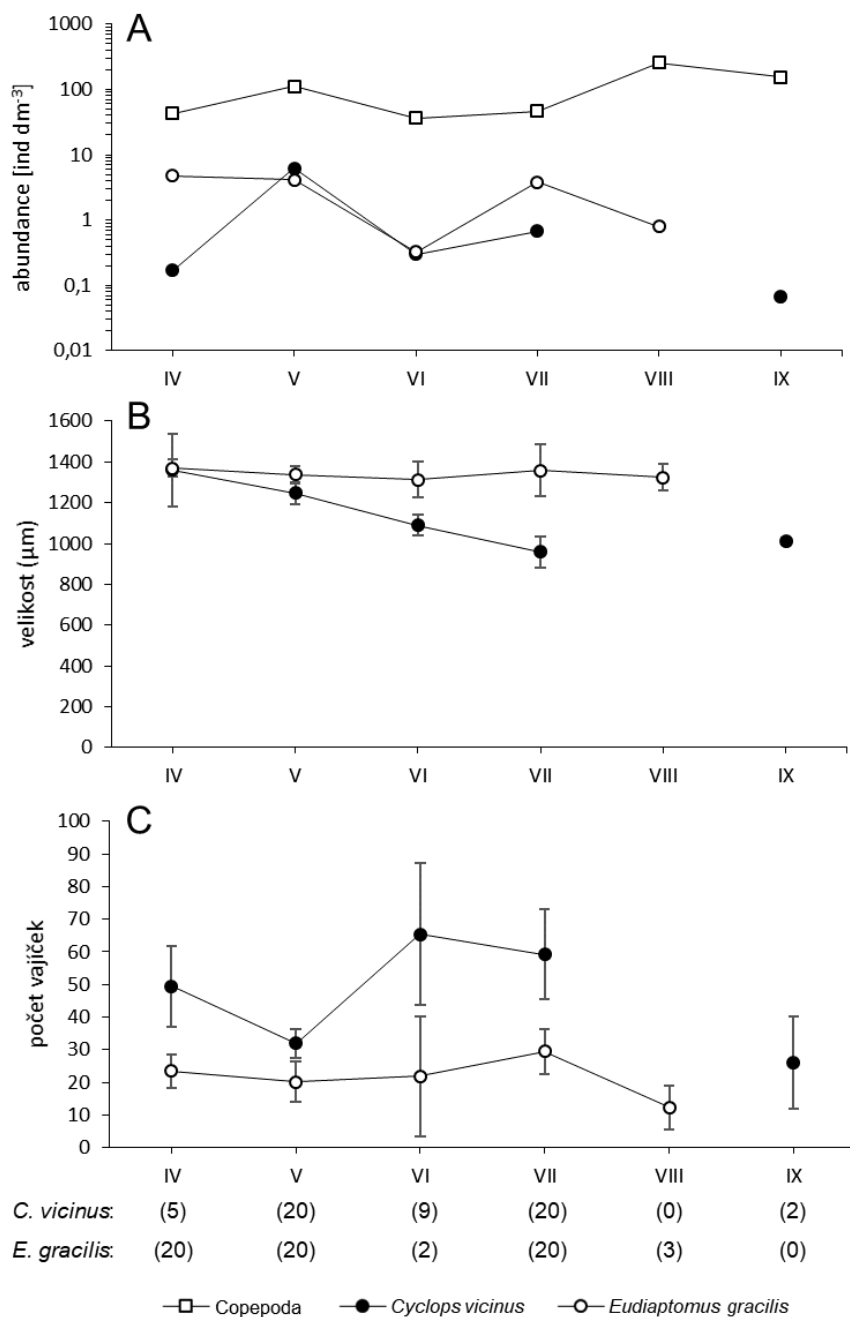


Obr. 12: Rybník Rod A – celkové abundance perlooček a samic hrotnatek (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těla (μm) perlooček *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*, C – průměrný počet embryí *D. gr. longispina*, *D. ambigua/parvula* a *D. pulicaria/pulex*. V dolní části je uveden počet analyzovaných samic perlooček v daném měsíci.



## Rod – Copepoda

Velikosti samic *C. vicinus* se od dubna snižovaly (obr. 13B). Nejvyšší počet vajíček na samici byl zaznamenán v červnu, avšak s největší odchylkou (obr. 13C). V měsíci srpnu nebyly přítomné žádné samice s vajíčky. Velikosti samic *E. gracilis* s vajíčky se pohybovaly okolo podobné hodnoty od dubna do srpna. V září nebyly zjištěny žádné samice *E. gracilis* s vajíčky. Nejvyšší počet embryí připadala na červenec.



Obr. 13: Rybník Rod A – abundance klanonožců (kopepoditová stadia a dospělci), *C. vicinus* a *E. gracilis* (ind.dm<sup>-3</sup>), B – průměrná velikost těl (μm) buchanky *C. vicinus* a vznášivky *E. gracilis*, C – průměrný počet vajíček náhodně vybraných jedinců *C. vicinus* a *E. gracilis*. V dolní části je uveden počet změřených samic klanonožců v konkrétním měsíci.

## 6.6 Vliv parametrů prostředí

Do mnohonásobné regrese (Tab. 2) vstoupily proměnné z Tab.1: průhlednost, vodivost, TN, TP, DOC, DRP, chlorofyl *a*, FBI obsádky a FBI plevelných ryb. Na abundance, velikosti i plodnosti *D. gr. longispina* měly vliv všechny faktory vstupující do mnohonásobné regrese. Průkazný vztah jsem našla mezi průhledností a plodností *D. gr. longispina*, mezi koncentrací chlorofylu *a* a plodností *D. gr. longispina* a mezi FBI plevelných ryb a velikostí *D. gr. longispina* (Tab. P-1). U *C. vicinus* měly vliv všechny faktory vstupující do mnohonásobné regrese na abundance. Žádný konkrétní faktor však nebyl průkazný (Tab. P-2). U vznášivky *E. gracilis* nebylo pro sestavení modelu mnohonásobné regrese k dispozici dostatečné množství dat (Tab. P-3).

Tab. 2: Mnohonásobná regrese vybraných proměnných pro abundance, velikosti a plodnosti u *D. gr. longispina*, *C. vicinus* a *E. gracilis*. Data byla analyzována pro rybník Dehtář, Klec, Kvítkovický a Rod. adj.  $R^2$  – koeficient determinace, F – testované kritérium, df – počet stupňů volnosti, p – pravděpodobnost. Pro velikost a plodnosti vznášivky není k dispozici dostatečné množství dat pro tvorbu modelu.

		adj. $R^2$	F	df	p
<i>D. gr. longispina</i>					
	abundance	0,589	4,02	9, 10	0,02
	velikost	0,739	6,04	9, 7	0,014
	plodnost	0,687	4,91	9, 7	0,024
<i>C. vicinus</i>					
	abundance	0,676	5,40	9, 10	0,007
	velikost	0,052	1,09	9, 6	0,475
	plodnost	-0,150	0,78	9, 6	0,644
<i>E. gracilis</i>					
	abundance	0,285	1,84	9, 10	0,178

## 7 Diskuze

Sezónní vývoj planktonu ve zkoumaných rybnících potvrzuje revidovaný PEG model pro eutrofní vody s vysokými obsádkami (Sommer et al., 2012). Fáze čiré vody (Sommer et al., 2012) nastala ve sledovaných rybnících v dubnu – květnu. Tuto skutečnosti nám v měsíci květnu potvrdily vysoké hodnoty abundancí perlooček v tomto měsíci (obr. 5A, 8A, 10A, 12A) a naopak nízké koncentrace chlorofylu *a*; Dehtář – 68  $\mu\text{g/l}$ , Klec - 67  $\mu\text{g/l}$ , Kvítkovický – 94  $\mu\text{g/l}$ , Rod – 32 Tab. 1). V květnu již docházelo k snižování plodností, ale abundance se začaly snižovat až v následujících měsících. Pokles abundancí a velikostí filtrujícího zooplanktonu, zejména pak hrotnatek, vedlo k rychlému nárůstu biomasy fytoplanktonu v letních měsících (Tab. 1, obr. 5A, 8A, 10A, 12A). Zároveň se v letních měsících snižovala průhlednost vody (Tab.1). Nárůst biomasy fytoplanktonu v létě lze doložit vysokými koncentracemi chlorofylu *a* (Tab. 1). Tyto koncentrace dosahovaly vysokých hodnot zejména v červenci. Například v Kleci byla v červenci naměřena koncentrace 391  $\mu\text{g/l}$ , která je v porovnání s květnem 67  $\mu\text{g/l}$  téměř šestinásobná (Tab. 1). Plodnosti *D. gr. longispina* byly průkazně ovlivněny průhledností a množstvím chlorofylu *a* (Tab. 2, Tab. P-1).

I v těchto živinami zásobených ekosystémech však může docházet k jejich potencionální limitaci. Poukazují na to hodnoty DRP. Přestože jsou hodnoty TN a TP v rybnících poměrně vysoké, hodnota DRP je nízká (Tab. 1). I přes to dosahovaly koncentrace chlorofylu *a* v letních měsících vysokých hodnot (Tab. 1). V tomto případě může hrát důležitou roli mikrobiální smyčka (Šimek et al., 2019).

Scheffer (1998) uvádí, že v rybnících lze spolehlivě zachytit několik stabilních ekologických stavů. Jedná se o tzv. období čiré vody a zakalený (turbidní) stav s vysokou biomasou fytoplanktonu. Turbidní situace byla v rybnících pozorována v letních měsících. V červnu došlo k prudkému snížení abundancí perlooček, které bylo patrně způsobeno predací ryb (obr. 5A, 8A, 10A, 12A). Také bylo zaznamenáno snížení velikostí hrotnatek (obr. 5B, 8B, 10B, 12B), což potvrzuje teorii selektivní predace ryb na zooplankton (Jeppesen et al., 2004).

Na počátku sezóny nepřijímají ryby vlivem nízkých teplot tolik potravy, což umožňuje i přítomnost větších hrotnatek (Adámek et al., 2008). Tato skutečnost byla podložena přítomností velkých jedinců hrotnatek v jarních měsících (obr. 5B, 8B, 10B, 12B). Tržní kapr byl chován ve všech zkoumaných rybnících, kromě Rodu, kde byl místo něj vysazen lín. Kromě kapra byly ve zkoumaných rybnících přítomné i populace plevelných

ryb (Tab. 1). V Kvítkovickém rybníku byla přítomna především střevlička východní (*Pseudorasbora parva*). V Rodu byla kromě vysazeného lína přítomna i střevlička východní a ježdík obecný (*Gymnocephalus cernuus*). V rybníku Klec byl okoun říční (*Perca fluviatilis*), plotice obecná (*Rutilus rutilus*) a ježdík. U Dehtáře to byl perlín ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*), ježdík a plotice.

Nejvyšší aktivitu vykazuje kapr vlivem zvyšující se teploty na jaře a v létě. Zároveň je ale známo, že při vysokých teplotách se snižuje rozpustnost plynů ve vodě, tedy i kyslíku, který je pro přežití ryb životně důležitý. Yako et al., (1996) uvádí, že kapr (nad 2 kg), který je v porovnání s drobnými planktivorními rybami mnohem větší, už není tak účinným zooplanktofágem. Menší ryby mají výrazně hustší síť žaberních tyčinek než velký kapr, který proto častěji konzumuje bentos (Sibbing, 1988). Drobné planktivorní ryby měly průkazný vliv na velikosti hrotnatek (Tab. 2, Tab. P-1). Jako zásadní se ukázal pro zooplankton rybníků výskyt nepůvodní střevličky východní, která se stala úspěšným kompetitorem chovaných ryb (Adámek a Kouřil, 1996). Střevlička byla zaznamenána v rybnících Kvítkovický a Rod. V Kvítkovickém rybníku byly eliminovány velké samice *D. pulicaria/pulex* s vajíčky a nahrazeny mnohem menšími druhy (*D. ambigua/parvula*) (obr. 10). V Rodu v červenci a v srpnu samice hrotnatek zcela chyběly (obr.12). Obsádka ryb nebyla v Rodu vysoká (Tab. 1), niku zde chybějících ryb obsadila střevlička východní, která prakticky znemožňuje výskyt velkých hrotnatek v rybnících. V tomto případě dochází k nahrazení hrotnatek menšími druhy zooplanktonu. Hojně jsou například zastoupena kopepoditová stadia klanonožců (zvláště buchanek) (Potužák a Duras, 2013).

## 7.1 Plodnosti vybraných druhů planktonní korýšů

Perloočky většinou využívají rychlý partenogenetický způsob rozmnožování. Esslová (1959) uvádí, že vývoj hrotnatek při teplotě 20 °C trvá přibližně 2,6 dne. Oproti tomu je vývoj klanonožců nepřímý a značně komplikovaný, protože musí projít jedenácti vývojovými stadii, často také tvoří diapauzující stadia (Moss, 2010). Samice klanonožců s vajíčky byly v průběhu sezóny často vyžrány (obr. 7C, 9C, 11C, 13C), protože mohou být pro ryby nápadnější než jedinci bez vajíček, což je pro jejich výskyt ve spojení s pomalým vývojem značně liminující (Maier et al., 2000). Z abundancí klanonožců (obr. 7A, 9A, 11A, 13A) je zřejmé, že klanonožci byli zastoupeni spíše samci a kopepoditovými stadii než samicemi. Na druhou stranu díky zastoupení mnoha vývojových stadií a větší mobilitě mohou klanonožci přežívat i při vysokých obsádkách ryb. V rybnících je však často pozorován plankton složený převážně ze samců.

Kromě Rodu, kde byly zachyceny samice s vajíčky *E. gracilis* téměř po celé zkoumané období (obr. 13) bylo z klanonožců zachyceno více samic buchank než vznášivek. Klanonožci nosí svá vajíčka v ovisacích. Vznášivky měly oproti buchankám méně vajíček, což je zřejmé i z grafů plodností (obr. 7C, 9C, 11C, 13C). Tato skutečnost může vzhledem k dlouhé době vývoje vysvětlovat, proč jsou samice *E. gracilis* s vajíčky zachyceny méně než samice *C. vicinus*.

Nejvyšší plodnosti ve všech zkoumaných rybnících (kromě Rodu) byly u hrotnatek zaznamenány v dubnu (obr. 6). V jarním období herbivorní zooplankton prosperuje, protože má dostatek živin a vliv rybího predátora není zatím tak devastující jako v letních měsících. (Sommer et al., 2012). Výjimku tvoří rybník Rod, kde bylo nejvíce embryí v samicích zaznamenáno v červnu (obr. 6D). V dubnu a v květnu zde byly velmi nízké koncentrace chlorofylu *a* (3,4 a 32,2  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ). V červenci a srpnu zde naopak nebyly zachyceny žádné samice s embryi, což mohlo být způsobeno právě silným predáčním tlakem ze strany ryb a snížením dostupnosti živin (Sommer et al., 2012). Plodnosti hrotnatek se od jara snižovaly (obr. 6A, C, B, D). Samice hrotnatek regulují při snížení dostupnosti a kvality potravy počty svých embryí (Urabe a Sterner, 2001). V rybnících Kvítkovický a Rod byly samice s embryi v průběhu sezóny úplně vyžrány.

V dubnu a květnu byly v Rodu přítomny velké hrotnatky *D. pulex/pulicaria*, které byly v následujících měsících vyžrány a nahrazeny menšími jedinci (obr. 12B, C). V Rodu byly zachyceny samice menších druhů zooplanktonu s vajíčky téměř po celé zkoumané období (obr. 13). Plodnosti a abundance samic *E. gracilis* a *C. vicinus* výrazně poklesly v srpnu (samice *C. vicinus* v tomto měsíci nebyly zjištěny), kdy byly zcela vyžrány i samice hrotnatek s vajíčky. Ryby se po vyžráních velkých hrotnatek v červenci pravděpodobně zaměřily na vyžírání dalších dostupných druhů menšího zooplanktonu, který byl v srpnu značně potlačen. Za selektivní vyžírání zooplanktonu je pravděpodobně zodpovědná střevlička východní.

V rybníce Dehtář byly zaznamenány nejvyšší hodnoty FBI obsádky (Tab. 1). V době odběrů zde byl chován tržní kapr ve druhém horku. Po celou vegetační sezónu zde však byly pozorovány populace menších samic hrotnatek s malým počtem embryí (obr. 5B, C). Nedošlo zde ani k úplnému vyžráním samic hrotnatek jako v Rodu a Kvítkovickém rybníku. Po celou dobu zkoumaného období byly zjištěny samice *D. gr. longispina* s embryi. V měsících červnu a červenci pak i menší samice *D. ambigua/parvula* s embryi (obr. 5C).

Skutečnost, že v Dehtáři a Kleci byla po celou vegetační sezónu přítomna populace menších hrotnatek s embryi může poukazovat na to, že potravní chování kapra není závislé jen na konzumaci hrotnatek a umožňuje tak existenci menším jedincům. Kapr v průběhu sezóny nedovolí hrotnatkám vyrůst do takových rozměrů jako na jaře, zároveň je ale úplně nevyžere. Predační tlak ryb mohl být také oslaben díky zvýšenému přísunu krmiv do tohoto rybníku (Potužák a Duras, 2013).

U samic *D. gr. longispina* byla navíc zjišťována vývojová stadia embryí (obr. 6A, B, C, D). Dle Zemanové (2019) by v letních měsících vlivem intenzivní rybí predace mohla být eliminována embrya ve stadiu 3–5 kvůli své nápadnosti. V Kvítkovickém nebyla vyšší vývojová stadia nalezena od července (obr. 6C, D), v Rodu nebyly v červenci nalezeny žádné samice s embryi. V Dehtáři převažovala embrya v nižším vývojovém stadiu po celé zkoumané období (obr. 6A). Klec disponovala v červenci a srpnu poměrně početným zastoupením pátého stadia, stále ale byla nižší vývojová stadia početnější (obr. 6B).

Z analýzy plodností je zřejmé, že nejméně zastoupená stadia byla 3 a 4. Doba potřebná pro vývoj stadia 3 je nejkratší, proto mohlo být embryí v tomto stadiu zachyceno nejméně (Esslová, 1959). Na počátku vzorkování – v dubnu bylo rybnících Dehtář a Klec nejvíce zastoupeno stadium 1 (obr. 6A, B), v Kvítkovickém rybníku převažovalo v tomto měsíci stadium 2. V Rodu převažovalo v dubnu stadium 5 (obr. 6C, D). Nejvíce embryí na samici ze všech zkoumaných rybníků bylo v rybníku Klec (obr. 6B).

## 8 Závěr

- V jarních měsících byly abundance celkového počtu perlooček nejvyšší, protože měly dostatek potravy a nečelily výraznému predančnímu tlaku. Na jaře byly také zjištěny nejvyšší plodnosti samic *D. gr. longispina*.
- Ve všech zkoumaných rybnících dosahovaly perloočky nejvyšších abundancí v květnu. Vysoké abundance spolu se zvýšenou velikostí perlooček zapříčinily nástup fáze čiré vody v jarních měsících.
- V letních měsících byl zooplankton limitovaný predací nasazených i plevelných ryb. Predanční tlak (zřejmě zejména plevelných, tj. drobných planktivorních) ryb vedl ke snížení velikostí i abundancí hrotnatek.
- Velikosti perlooček se od jara snižovaly a byly průkazně ovlivněny plevelnými rybami. Na počátku jara byly v rybnících přítomny velké hrotnatky s vajíčky. V letních měsících převládali menší jedinci. Nejmenší změny velikostí byly zaznamenány v Dehtáři.
- Plodnosti *D.gr. longispina* byly průkazně ovlivněny průhledností vody a koncentrací chlorofylu *a*.
- Byl zaznamenán zvýšený predanční tlak plevelných ryb zejména pak střevličky východní v rybnících Rod a Kvítkovický.
- Vyšší vývojová stadia embryí u hrotnatky *D. gr. longispina* byla v letních měsících nacházena méně často než nižší vývojová stadia. V rybnících Rod a Kvítkovický došlo v létě k úplné eliminaci samic hrotnatek s embryi.
- Zkoumané rybníky se od sebe liší nejrůznějšími měřenými parametry. Každý z nich je proto jedinečný a vykazuje individuální odlišnosti např. v načasování různých fází sezónní dynamiky planktonu.



## 9 Literatura

- Adámek Z., Kouřil, J., 1996. Nepůvodní druhy ryb posledních let v České republice z hlediska původní ichtyofauny. In: Lusk, S., Halačka, K. [eds.] Biodiverzita Icthyofauny České republiky I. UKE AV ČR. Brno, 34-41.
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2008. Aplikovaná hydrobiologie. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, 256 s. ISBN 978-80-85887-79-2.
- Barica J., 1993. Ecosystem stability and sustainability: a lesson from algae. Verh Internat Verein Limnol 25, 307-311.
- Bottrell, H. H., 1975. Generation time, length of life, instar duration and frequency of moulting, and their relationship to temperature in eight species of Cladocera from the River Thames, Reading. Oecologia, 19, 129-140.
- Brooks, J. L., Dodson, S. I.; 1965. Predation, body size, and composition of plankton. Science, 150, 28-35.
- Carney, J. H., 1990. A general hypothesis for the strength of food web interactions in relation to trophic state. - Verh Internat Verein Limnol 24, 487-49.
- Duras, J., Potužák, J., Marcel, M., Pechar, L., 2015. Rybníky a jakost vody. Vodní hospodářství, 65 (7), 16-24.
- Ebert, D., 2005. Ecology, epidemiology, and evolution of parasitism in *Daphnia* [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=Books>.
- Esslová, M., 1959. Embryonální vývoj parthenogenetických vajíček perloočky *Daphnia pulex* (Embryonic development of parthenogenetic eggs of *Daphnia pulex*). Věstník Československé zoologické společnosti (Acta Societatis Zoologicae Bohemoslovenicae), 23, 80-88.
- Fenchel, T., 2008. The microbial loop – 25 years later. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 366 (1-2), 99-103.

- Gerstmeier, R., Romig, T., 2003. Sladkovodní ryby Evropy: pro přátele přírody a sportovní rybáře. Praha: Víkend. Rybářství, 366 s. ISBN 80-7222-307-0.
- Gliwicz M. Z., 1986. Predation and the evolution of vertical migration in zooplankton. *Nature*, 320, 746-748.
- Gliwicz, Z. M., Siedlar, E., 1980. Food size selection and seasonal succession of filter-feeding zooplankton in eutrophic lake.-*Ekol. Pol.* 25: 179-225.
- Hartman, P., Přikryl, I., Štědranský, E., 2005. *Hydrobiologie. 3., přeprac. vyd.* Praha: Informatorium, 359 s. ISBN 80-7333-046-6.
- Hrbáček J., 1959. Density of the fish population as a factor influencing the distribution and speciation of the species in the genus *Daphnia*. In: Hewer H.R. & Riley N.D. (eds.) 1958: Proceedings of 15th International Congress of Zoology, London, July, 27, 794-795.
- Hrbáček, J., 1962. Species composition and the amount of the zooplankton in relation to the fish stock; *Rozpravy Československé akademie věd*, 10, 116.
- Jeppesen, E., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Fenger-Grøn, M., Bramm, M. E., Sandby, K., Møller, P. H., Rasmussen, H. U., 2004. Impact of fish predation on cladoceran body weight distribution and zooplankton grazing in lakes during winter. *Freshwater Biology*, 49, 432-447.
- Jeppesen, E., Meerhoff, M., Davidson T., A., et al., 2014. Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes. *Journal of Limnology*, 73, 88-111.
- Kalff, J., 2002. *Limnology: inland water ecosystems.* Prentice Hall, Upper Saddle River, 592 s. ISBN 0-13-033775-7.
- Knoechel, R., Holtby, L. B., 1986. Cladoceran filtering rate: body length relationships for bacterial and large algal particles. *Limnology and Oceanography*, 31(1), 195-199.
- Koch, J., Bui, T. T., Belleza, E.L., Brinkmann, M., Hollert, H., Breitholtz, M., 2017. Temperature and food quantity effects on the harpacticoid copepod *Nitocra spinipes*: Combining in vivo bioassays with population modeling. *PLOS ONE*, 12 (3).

- Kol. autorů, 2015. České rybníky a rybářství ve 20. století. České Budějovice: Rybářské sdružení České republiky, 335 s. ISBN 9788087699065.
- Kořínek, V., Fott, J., Fuksa, J., Lellák, J., Pražáková, M., 1987. Carp ponds of central Europe. - In: Michael R. G., (ed), Managed aquatic ecosystems.- Ecosystems of the World, vol 29. Elsevier, Amsterdam, 29-63.
- Lampert, W., Lampert, K. H., Larsson, P., 2010. Coexisting overwintering strategies in *Daphnia pulex*: A test of genetic differences and growth responses. *Limnology and Oceanography*, 55, 1893-1900.
- Lellák, J., Kubíček, F., 1992. Hydrobiologie. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 257 s. ISBN 80-7066-530-0.
- Li, K. T., Wetterer, J. K., Hairston, N. G., 1985. Fish size, visual resolution, and prey selectivity. *Ecology* 66 (6), 1729-1735.
- Macháček, J., 2001. Chemické signály k sebeobraně perlooček. *Vesmír*, 80, 629.
- Maier, G., Berger, I., Burghard, W., Nassal, B., 2000. Is mating of copepods associated with increased risk of predation? *Journal of Plankton Research* 22(10), 1977-1987.
- Mellors, W. K., 1975. Selective predation of ephippial *Daphnia* and resistance of ephippial eggs to digestion. *Ecology*, 56, 974-98.
- Moss, B., 2010. Ecology of freshwaters: a view for the twenty-first century. 4th ed. Hoboken, NJ: J. Wiley, 470 s. ISBN 978-1-4443-3474-6.
- Musil, M., Novotná, K., Potužák, J., Hůda, J., Pechar, L., 2014. Impact of topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) on production of common carp (*Cyprinus carpio*) – question of natural food structure. *Biologia* 69 (12), 1757-1769.
- Pechar, L., Příkryl, I., Faina, R., 2002. Hydrobiological evaluation of Třeboň fishponds since the end of 19th century.- In: Květ J., Jeník J. & Soukupová L. (eds.): Freshwater Wetlands and Their Sustainable Future: A Case Study of the Třeboň Basin Biosphere Reserve, Czech Republic.- Man and the Biosphere Series 28, UNESCO & The Parthenon Paris, 31-62.
- Pechar, L., 2015. Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek. *Vodní hospodářství*, 65(7), 1-6.

- Pechar, L., Baxa, M., 2016. Vztah rybářského hospodaření a fungování rybníční biocenózy. Fórum ochrany přírody 03/2016, 15-18.
- Petrusek, A., 2010. "Modelka Daphnia. Perloočky jako modelové organismy v biologii." Vesmír 89, 470-473.
- Potužák, J., Duras, J., 2015. Retence živin v rybnících – význam, hodnocení a možnosti jejího využití. Vodní hospodářství, 65 (7), 6-15.
- Potužák, J., Duras, J., 2013. Vliv struktury planktonu na efektivitu rybí produkce v eutrofních a hypertrofních rybnících. Chov ryb a kvality vody II. Sborník referátů Rybářské sdružení České republiky, 21. 22. únor 2013, České Budějovice, Česká republika, Urbánek M. (Edit.). 43-52 s. ISBN: 978-80-87699-02-07.
- Potužák, J., Hůda, J., Pechar L., 2007. Changes in fish production effectivity in eutrophic fishponds – impact of zooplankton structure. Aquaculture International 15 (3-4), 201-210.
- Přikryl, I., 1996. Vývoj hospodaření na českých rybnících a jeho odraz ve struktuře zooplanktonu, jako možného kritéria biologické hodnoty rybníků. - In: Flajšhans, M.(ed.), Sborník vědeckých prací k 75. výročí založení VÚRH, 151-164.
- Radzikowski, J., 2013. Resistance of dormant stages of planktonic invertebrates to adverse environmental conditions. Journal of Plankton Research, 35(4), 707-723.
- Reede, T., Ringelberg, J., 1995. The influence of a fish exudate on two clones of the hybrid *Daphnia galeata* × *hyalina*. Hydrobiologia, 307, 207-212.
- Rinke, K., Petzoldt, T., 2003. Modelling the effects of temperature and food on individual growth and reproduction of *Daphnia* and their consequences on the population level. Limnologia, 33 (4), 293-304.
- Sed'a, J., Petrusek, A., 2011. *Daphnia* as a model organism in limnology and aquatic biology: introductory remarks. Journal of Limnology, 70 (2), 337-344.
- Scheffer, M., Van Nes, E. H., 2013. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. Hydrobiologia (2007), 584, 455-466.

- Scheffer, M., 1998. Ecology of shallow lakes. – Chapman and Hall, London, 357 s. ISBN 978-1-4020-2306-4.
- Sibbing, F. A., 1988. Specialization and limitations in the utilization of food resources by the carp, *Cyprinus carpio*: a study of oral food processing. *Env. Biol. Fish.*, 22, 161-178.
- Sommer, U., Adrian, R., Domis, L. S., Elser, J. J., Gaedke, U., Ibelings, B., Jeppesen, E., Lüring, M., Molinero, J. C., Mooij, W. M., Donk, E., Winder, M., 2012. Beyond the plankton ecology group (PEG) model: mechanisms driving plankton succession. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic*, 43, 429-48.
- Sommer, U., Gliwicz Z. M., Lampert, W., Duncan, A., 1986. The PEG-Model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, 106, 433-471.
- Straškrabová, V. a kolektiv, 1996. Mikrobiální ekologie vody. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, Ministerstvo životního prostředí v ČR, 119 s. ISBN 80-85368-88-9.
- Šimek, K., Grujčić, V., Nedoma, J., et al., 2019. Microbial food webs in hypertrophic fishponds: Omnivorous ciliate taxa are major protistan bacterivores. *Limnology and Oceanography*, 64(5), 2295-2309.
- Šimek, K., Horňák, K., Jezbera, J., Nedoma, J., Vrba, J., Straškrabová, V., Macek, M., Dolan J. R., Hahn M. W., 2006. Maximum growth rates and the possible life strategies of different bacterioplankton groups in relation to phosphorus availability in a freshwater reservoir. *Environmental Microbiology*, 8, 1613-1624.
- Šusta, J., 1997. Výživa kapra a jeho družiny rybníčné, nové základy rybochovu rybníčního. *Carpio*, Třeboň, 180 s. ISBN: 80-901945-2-2.
- TIBCO Software Inc., 2018. Statistica (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.
- Urabe, J., Sterner, R.W., 2001: Contrasting effects of different types of resource depletion on life-history traits in *Daphnia*. *Functional Ecology*, 15, 165-174.
- Vijverberg, J., 1977. Population structure, life histories and abundance of copepods in Tjeukemeer, the Netherlands. *Freshwater Biology* 7(6), 579-597.

- Yako, L. A., Dettmers, J. M., Stein, R. A., 1996. Feeding preference of omnivorous gizzard shad as influenced by fish size and zooplankton density. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 125, 753-759.
- Zemanová, J., 2015. Vliv rybí predace a litorální vegetace na strukturu a chování zooplanktonu. Magisterská diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 1-53.
- Zemanová, J., Šorf, M., Hejzlar, J., Šorfová, V., Vrba, J., 2019. Planktivorous fish positively select *Daphnia* bearing advanced embryos. *Marine and Freshwater Research*, 1323-1650.

## **10 Přílohy**

Tab. P-1: Výsledky analýzy mnohonásobné regrese testující vliv uvedených parametrů na abundance, velikost a plodnost perlooček *D. gr. longispina*. Průkazné vlivy faktorů jsou znázorněny tučně.

<i>Daphnia</i> <i>gr. longispina</i>	abundance				velikost				plodnost			
	b*	b	t	p	b*	b	t	p	b*	b	t	p
průhlednost	0,748	2,290	1,33	0,212	1,173	0,620	2,35	0,051	<b>1,578</b>	<b>1,321</b>	<b>2,89</b>	<b>0,023</b>
vodivost	-0,379	-2,533	-0,91	0,383	-0,251	-0,288	-0,68	0,516	0,147	0,267	0,37	0,725
TN	-0,008	-0,034	-0,02	0,988	0,896	0,665	1,86	0,105	0,694	0,816	1,31	0,230
TP	0,172	2,952	0,54	0,604	-0,254	-0,728	-0,82	0,442	-0,287	-1,301	-0,84	0,428
DOC	0,112	1,237	0,29	0,778	0,357	0,726	1,18	0,277	-0,092	-0,296	-0,28	0,789
DRP	0,345	7,123	1,12	0,290	0,414	1,356	1,51	0,174	0,418	2,163	1,39	0,206
chlorofyl <i>a</i>	-0,383	-0,764	-0,64	0,538	0,624	0,230	1,17	0,280	<b>1,699</b>	<b>0,992</b>	<b>2,91</b>	<b>0,023</b>
FBI kapr	0,603	1,160	1,63	0,134	0,146	0,051	0,44	0,672	-0,383	-0,213	-1,06	0,325
FBI plev. ryby	0,153	1,313	0,44	0,667	<b>-1,103</b>	<b>-1,541</b>	<b>-2,65</b>	<b>0,033</b>	-0,581	-1,286	-1,28	0,242



Tab. P-2: Výsledky analýzy mnohonásobné regrese testující vliv uvedených parametrů na abundance, velikost a plodnost buchanek *C. vicinus*. Průkazné vlivy faktorů jsou znázorněny tučně.

<i>Cyclops vicinus</i>	abundance				velikost				plodnost			
	b*	b	t	p	b*	b	t	p	b*	b	t	p
průhlednost	-0,287	-0,350	-0,58	0,577	0,840	0,192	0,76	0,476	0,705	0,629	0,58	0,584
vodivost	-0,058	-0,154	-0,16	0,878	-0,531	-0,262	-0,42	0,688	1,750	3,361	1,26	0,255
TN	0,527	0,838	1,11	0,292	1,132	0,347	1,02	0,347	1,737	2,069	1,42	0,205
TP	0,141	0,961	0,49	0,631	-0,866	-1,050	-1,28	0,248	0,106	0,502	0,14	0,891
DOC	0,157	0,691	0,46	0,655	0,661	0,569	0,68	0,523	-0,778	-2,608	-0,72	0,496
DRP	0,399	3,267	1,45	0,177	1,177	1,582	1,47	0,192	-0,835	-4,368	-0,95	0,380
chlorofyl <i>a</i>	-1,140	-0,903	-2,13	0,058	-0,328	-0,056	-0,32	0,757	0,787	0,518	0,71	0,507
FBI kapr	-0,068	-0,052	-0,21	0,840	0,815	0,108	0,78	0,464	-0,958	-0,493	-0,83	0,436
FBI plev. ryby	-0,359	-1,223	-1,17	0,269	-0,727	-0,416	-1,12	0,307	-0,469	-1,046	-0,65	0,537

Tab. P-3: Výsledky analýzy mnohonásobné regrese testující vliv uvedených parametrů na abundance vznášivek *E. gracilis*. Průkazné vlivy faktorů jsou znázorněny tučně. Pro velikosti a plodnosti vznášivek nebylo k dispozici dostatečné množství pozorování.

<i>Eudiaptomus gracilis</i>	abundance				velikost				plodnost			
	b*	b	t	p	b*	b	t	p	b*	b	t	p
průhlednost	-0,609	-0,678	-0,82	0,429								
vodivost	0,172	0,417	0,31	0,760								
TN	0,253	0,368	0,36	0,727								
TP	0,0578	0,361	0,14	0,894								
DOC	-0,112	-0,449	-0,22	0,830								
DRP	0,161	1,210	0,40	0,701								
chlorofyl <i>a</i>	-0,883	-0,639	-1,11	0,292								
FBI kapr	-0,882	-0,617	-1,81	0,101								
FBI plev. ryby	0,217	0,674	0,48	0,645								