

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



Bakalářská práce

**Substrátové preference potápníků (Dytiscidae:  
Coleoptera)**

Vypracovala: Markéta Nyklíčková  
Školitel: ing.MgA. David Boukal Ph.D.

České Budějovice 2009

Nyklíčková M., (2009): Substrátové preference potápníků (Dytiscidae: Coleoptera). [Substrate Preferences of Water Beetles (Dytiscidae: Coleoptera). Bc Thesis, in Czech.] – 40 pp, University of South Bohemia, Faculty of Science, České Budějovice, Czech Republic

Annotation: Effect of substrate colour and structure on the substrate selection of two species of water beetles was examined. These species differ in body colour and I tested if they also prefer the matching background. I also tested if the substrate has an influence on the behaviour of these two species of water beetles.

Prohlašuji, že svoji 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–v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou–elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 26.4.2009

Markéta Nyklíčková

Poděkování: Chtěla bych poděkovat ing. MgA. Davidu Boukalovi Ph.D. za cenné rady a podporu při vedení mé bakalářské práce, Bc. Janu Klečkovi za pomoc při tvorbě experimentálního uspořádání a statistickém zpracovávání výsledků.

Poděkovat bych chtěla také Mgr. Simoně Polákové za konzultace a pomoc s grafickým zpracováním výsledků.

Obsah:

<b>1. Úvod</b>	4
1.1. Funkce zbarvení živočichů	4
1.2. Charakteristika potápníků	4
<b>2. Cíle práce</b>	<b>5</b>
<b>3. Rešerše</b>	6
3.1. Uvedená literatura	6
3.2. Typy tělního zbarvení	6
3.2.1. <i>Aposematismus</i>	6
3.2.2. <i>Batesovské a Mullerovské mimikry</i>	6
3.2.3. <i>Krypse</i>	7
3.3. Preference substrátu a vliv predátora	8
3.4. Selektce pozadí a kryptické chování	9
3.5. Selektce pozadí a geny	9
3.6. Preference substrátu a změna tělní barvy	10
3.7. Výhoda preference pro predátora	10
3.8. Odhalitelnost kořisti na pozadí	11
3.9. Tabulka 1: Přehled publikovaných experimentů	12
<b>4. Materiál a metodika</b>	14
4.1. Testované charakteristiky	14
4.2. Modelové organismy	14
4.3. Experimentální uspořádání	15
4.4. Testované hypotézy	16
4.5. Použitá statistika	16
<b>5. Výsledky</b>	18
5.1. Preference substrátu	18
5.2. Vliv substrátu na aktivity potápníků	19
5.3. Preference vnější či vnitřní části akvária	21
5.4. Vliv pozorovatele	23
5.5. Vynoření se na nadechnutí	23
<b>6. Diskuze</b>	25
6.1. Vyhodnocení pokusů	26
<b>7. Seznam literatury</b>	28
<b>8. Přílohy</b>	31

# 1. Úvod

## 1.1. Funkce zbarvení živočichů

Zbarvení živočichů je využíváno různými způsoby zahrnující ochranu před predátory, komunikaci (nalezení partnera) a termoregulaci (vypořádání se s nepříznivou teplotou). Barevný vzor jedince, který odpovídá barvě substrátu, na kterém se jedinec nachází, snižuje mortalitu a přispívá k fitness jedince tím, že předchází jeho odhalení (krypse). Další typy zbarvení mohou bránit identifikaci jedince jako požitelné kořisti (mimikry), nebo to může být signál predátorovi, že kořist má obranné mechanismy (aposematismus).

## 1.2. Charakteristika potápníků

Potápníci (Coleoptera: Dytiscidae) jsou vysoce diversifikovaná skupina a obývají prakticky všechna vodní stanoviště. Jejich přirození nepřátelé jsou nejčastěji ryby, jiný velký vodní hmyz a eventuálně ptáci. Mnoho potápníků žije v pískovnách, rašeliništích či v mokřinách. Zdá se, že zbarvení těla dospělců souvisí s preferencemi stanovišť: druhy v pískovnách jsou obvykle světlé, zatímco ostatní druhy jsou většinou tmavé. Nicméně důležitost jednotlivých stanovištních charakteristik (substrát, vegetace, hloubka vody atd.) je prakticky neznámá a nikdy nebyla testována experimentálně. Určitý substrát může být preferován díky své barvě (odpovídající fenotyp jako antipredační mechanismus), struktuře nebo přítomnosti preferované kořisti. V mé práci jsem jako modelové organismy zvolila dva druhy potápníků, lišících se svým tělním zbarvením.

## 2. Cíle práce

Cílem této práce je provést rešerši literatury zabývající se substrátovou preferencí různých skupin živočichů a dále provést vlastní experimenty na testování efektů barvy substrátu a jeho struktury na výběr substrátu dvou druhů potápníků lišících se jejich barvou a stanovištěm a statisticky tyto experimenty vyhodnotit.

Pokud se barva substrátu stejně jako jeho struktura ukáže být důležitá pro výběr stanoviště potápníků, moje experimenty vyhodnotí vzájemnou důležitost těchto substrátových charakteristik. Očekávám, že světlý druh si bude vybírat světlé pozadí stejně jako v přírodě, kde je typickým obyvatelem pískoven, a tmavý druh z mokřadů si bude vybírat pozadí tmavé. Tato otázka zatím nebyla u potápníků ani jiného vodního hmyzu studována.

### **3. Rešerše**

#### **3.1. Uvedená literatura**

Provedla jsem rešerši literatury zabývající se funkcemi tělního zbarvení na vyvarování se predátora a substrátovou preferencí živočichů. Přehled článků experimentálně zkoumající substrátovou preferenci živočichů a jejich hlavních charakteristik je uveden v Tabulce 1. V rešerši jsem uvedla obecnou charakteristiku různých typů tělního zbarvení, dále substrátovou preferenci a jevy, které ji ovlivňují, jako je vliv predátora, kryptické chování, či změna tělní barvy.

#### **3.2. Typy tělního zbarvení**

##### ***3.2.1. Aposematismus***

Škodliví či nebezpeční živočichové na tuto skutečnost upozorňují jasnými, dobře viditelnými barvami a vzorováním. Tomuto úkazu se říká aposematismus–varovné zbarvení (Begon et al. 1990). Barevný vzor je aposematický, pokud je nápadný a pomáhá predátorovi identifikovat kořist jako jedince majícího obranné mechanismy, jehož se má vyvarovat. Aposematické zbarvení zlepšuje post-detekční obranu a snaží se o produkování asociace mezi barevným vzorem a pamětí predátora na předchozí setkání s touto obranou. Pro co nejlepší efektivitu musí být aposematické zbarvení snadné k odhalení, snadné k zapamatování a snadné ke spojení s obranou (Endler 1988).

##### ***3.2.2. Batesovské a Mullerovské mimikry***

Mimikry je jedno z mnoha antipredačních zařízení objevujících se v přírodě. Je to situace, ve které jeden druh, nazývaný mimik, odpovídá svojí barvou, tvarem (a)nebo chováním jinému druhu–chutná kořist (napodobenina) bude v jasné výhodě, bude-li vypadat jako druh nechutný (model). Tzv. Batesovské mimikry je velmi rozšířeným jevem. Napodobitel, spíše než by zůstal nápadným, vysílá jasné signály, které má predátor zachytit. Přežití jedinců podobných toxickému druhu je vyšší, než přežití jedinců podobných požitelným formám (Sternburg et al. 1977).

Mullerovští mimikové jsou aposematické druhy, které mají podobné varovné signály, nejznámější příklad je hmyz s podobnými barevnými vzory. Podobný varovný signál je pro mimiky výhodný, protože druhy, které se navzájem napodobují sdílejí úmrtnost (nebo získají více času na reprodukci), která je způsobená výběrem nezkušených predátorů. Selektce vede k podobnosti varovných signálů, protože běžný signál ochraňuje kořist lépe než signál, který je nový a vzácný (Ihalainen et al. 2008).

Batesovští mimikové mohou také napodobovat model, který je hůře ulovitelný a dva nebo více jedlých, ale těžko ulovitelných druhů může vyvinou společnou podobnost (Mullerovské mimikry). Tyto typy mimiker budou výhodné hlavně pokud učení o nepolapitelnosti kořisti bude pro predátory snažší, než učení o její nepoživatelnosti (Ruxton et al. 2004).

### 3.2.3. *Krypse*

K důležitým antipredačním mechanismům patří krypse: zvířata se mohou vyhnout predátorovi chováním preferujícím substrát, který co nejvíce odpovídá jejich vlastnímu tělnímu zbarvení. Navíc je kryptické zbarvení stálý, nevyčerpatelný mechanismus, který může využívat energii jen k nalezení vhodného stanoviště. Pasivní obrana je tak relativně energeticky nenáročný mechanismus, který redukuje pravděpodobnost setkání predátora a kořisti (Witz 1990). Právě riziko odhalení predátorem má vztah se stupněm podobnosti mezi kořistí a pozadím (Merilaita et al. 2001), ale zbarvení poskytující nejlepší kamufláž pro dané pozadí, nemusí být nezbytně vzorem tohoto pozadí (Merilaita & Lind 2005). Stupeň maskování zvířete také závisí na vizuálním složení pozadí. Maskování může být vylepšeno disruptivním zbarvením, což je zbarvení, které ukrývá charakteristiky kořisti, jako je např. tvar těla nebo tvar specifických částí těla, používaných predátory k objevení a identifikaci kořisti. Výhodu disruptivního i odpovídajícího zbarvení ale redukuje symetrie (Cuthill et al. 2006). Citlivost kořisti na predaci obecně klesá mezi generacemi, což ukazuje na to, že zbarvení kryptických kořistí prochází evolucí (Merilaita 2003).

Příklady kryptických živočichů jsou známy mezi různými motýly, kobylkami a obojživelníky (Belowski et al. 1990, Morey 1990, Witz 1990, Wente & Phillips 2005, Ahnesjö & Forsman 2006). Pokud je kryptické zbarvení náhodným vzorkem pozadí a

toto pozadí sestává z mnoha barevných částí, pak je tu mnoho různých možných náhodných vzorků toho samého pozadí. Tak může být mnoho různých fenotypů na tomto pozadí stejně dobrých, pokud si různé genotypy vybírají habitaty, na které jsou nejlépe adaptovány (Morey 1990), např. u žab je predace zřejmě hlavním selektivním tlakem ovlivňujícím evoluci polymorfismu (Croshaw 2005).

### 3.3. Preference substrátu a vliv predátora

Preference barevného substrátu byla zkoumána u mnoha skupin zvířat: obojživelníků, hmyzu, ryb, pavouků, ale i ještěrek a korýšů (Tabulka 1). Preference odpovídajícího substrátu bývá nejčastěji ovlivněna přítomností predátora nebo jeho chemických signálů (Wente & Phillips 2005). V této práci testovali preference zelené a hnědé rosničky *Hyla regilla*, kde zjistili preferenci pouze u zelených žab, ale v přítomnosti dravce vykazovaly preferenci pro odpovídající barvu substrátu vzorky obou skupin.

Náchylnost k predaci se může lišit mezi druhy, stádii, či pohlavími (Belowski 1990). Mezi obojživelníky je predací tlak nejvyšší u vodních juvenilních stádií, která se brání znehybněním, krypsí nebo schováním do úkrytu. Swart & Taylor (2004) vyhodnocovali preference pozadí u pulců druhu *Bufo woodhousii* a zjištění role chemických signálů, antipredačního chování a výběru substrátu v interakcích mezi pulci *Bufo woodhousii* a jejich predátorem *Belostoma lutarium*. Pulci si vybírali černé pozadí častěji při absenci chemických signálů než v jejich přítomnosti. Výsledky ukazují, že mladší pulci mohou utéct predacímu tlaku přesouváním útočiště v přítomnosti chemických signálů predátora. *Belostoma lutarium* zabíjí více pulců na černém pozadí a larvy *B. woodhousii* se zřejmě přesouvají na bílé pozadí jako odpověď na přítomnost predátora. Ahnesjö & Forsman (2006) zkoumali vliv přítomnosti predátora na chování při výběru substrátu u kobyly *Tetrix undulata*. Černé a pruhované kobyly se nelišily ve výběru substrátu před disturbancí. Ale po ohrožení predátorem výběr substrátu závisel na jejich zbarvení.



### 3.4. Selekce pozadí a kryptické chování

Vyvarování se predátora preferencí odpovídajícího substrátu doprovází také kryptické chování (Heinen 1985, Morey 1990, Croshaw 2005, Lillywhite et al. 1977). Morey (1990) ukázal, že rosnička *Pseudacris regilla* umístěná na neodpovídající substrát byla chycena hadem *Thamnophis elegans* mnohem častěji, než když se nacházela na odpovídajícím substrátu. Heinen (1985) objevil, že ropuchy *Bufo americanus* se hýbou méně, pokud odpovídají substrátu, na kterém se nachází, čímž snižují riziko, že je predátor objeví. Na kontrastním pozadí se ropuchy pohybovaly hlavně skákáním, které ačkoli je snáze odhalitelné, umožňuje zvířatům urazit velké vzdálenosti, což může být výhoda u nekryptických substrátů. Tyto výsledky podporuje také Croshaw (2005): ačkoli skokani *Rana pipiens* neukazovali žádnou preferenci substrátu, skákali méně často, když se nacházeli na tmavém půdním substrátu, kde byli lépe ukryti. Lillywhite et al. (1977) ukázal, že ještěrky si vybíraly kryptické pozadí a trávily na něm více času než na pozadí nekryptickém.

### 3.5. Selekce pozadí a geny

Výběr pozadí může být geneticky fixován (Sargent 1968, Peake 1999, Brown 1939, Heinen 1994). Sargent (1968) ukázal, že můry *Catocala antinympha* a *Campaea perlata* si i po obarvení jejich šupin ležících kolem oka kontrastní barvou vybíraly odpovídající pozadí. Peake (1999) pozoroval substrátovou preferenci juvenilních, v líhni chovaných jeseterů. Jeseteři preferovali písčiny substrát stejně jako v přírodě. Brown (1939) provedl experiment ke zjištění, jestli raci mají svou volbu pozadí upravenou podle adaptace na určitou barvu. Raci, kteří byli adaptováni na bílou barvu, měli v průměru tendenci k tomu, vybírat si bílou barvu více než raci, kteří byli adaptováni na černou barvu, nicméně si ji vybírali méně než černou. Heinen (1994) srovnával pulce *Bufo americanus* adaptované na dva typy substrátu. Pokusy na výběr pozadí ukázaly, že oba typy žab preferovaly tmavé pozadí, na kterém se nacházely v přírodě.

### 3.6. Preference substrátu a změna tělní barvy

U obojživelníků byl sledován také efekt různobarevného pozadí na dynamiku změny tělního zbarvení (Lee & Van Dragt 1986, Garcia & Sih 2003, Storfer et al. 1999). Tmavé a světlé typy rosničky *Hyla crucifer* umístěné na kontrastní pozadí rychle měnily barvu, aby odpovídaly právě obývajícimu pozadí. Pokud byly žáby umístěny na pruhovaném černobílém pozadí vybíraly si spíš černé než bílé pruhy. Protože zvířata mohla lépe odpovídat černému pozadí, zdá se, že si vybírala ne to pozadí, které nejlépe odpovídá barvě jejich kůže, ale to, kterému se mohla nejlépe přizpůsobit změnou barvy. Obecně se tmavé larvy nemohou stát dostatečně světlými, aby byly efektivně kryptické na světle zbarveném substrátu (Garcia & Sih 2003).

Existují i rozdíly ve zbarvení u mloků v rybnících s rybami a bez ryb (Garcia & Sih 2003, Storfer et al. 1999). Populace mloků vystavené rybám mají silnější antipredační chování a lépe odpovídají substrátu na pozadí (Storfer et al. 1999). Podobně různé selekční tlaky v říčkách a rybnících zřejmě řídily evoluci rozdílů velikosti a antipredačních odpovědí sesterských druhů *Ambystoma texanum* a *Ambystoma barbouri*. Larvy *A. barbouri* měly zkušenosti se silným selekčním tlakem ryb, takže ukazují silnější celkové odpovědi na ryby než *A. texanum* (Garcia & Sih 2003).

Rodolfo (1987) ukázal, že pokud byli krabi *Acanthonyx petiveri* umístěni na kontrastní barvu řasy, jedinci ukázali nové zbarvení, podobné řase, kterou se živili. To naznačuje, že krabi získávají pigment z řas, kterými se živí.

### 3.7. Výhoda preference pro predátora

Preferenci odpovídajícího pozadí nevyužívá jen potenciální kořist, ale také predátor. Heiling et al. (2005) zkoumal preference pavouka *Thomisus spectabilis*, který napadá hmyz na květinách. Tento pavouk má schopnost měnit své tělní zbarvení na barvu odpovídající květiny, takže je jejich kořist jen těžko odhalí.

### 3.8. Odhalitelnost kořisti na odpovídajícím pozadí

Tullberg et al. (2008) porovnával odhalitelnost bledě pruhovaných a červeně pruhovaných dospělců *Graphosoma lineatum* člověkem. Bledě pruhované kněžice byly hůře detekovatelné než červeně pruhované. To podporuje hypotézu, že bledé zbarvení u mladých dospělců může sloužit pro zvýšení maskování, a že ontogenetická plasticita zbarvení u dospělců souvisí s odhalitelností potenciálními predátory. Maskování zvyšují také pruhy, ty mohou přerušovat tvar těla a sloužit tak jako disruptivní zbarvení.

### 3.9. Tabulka 1: Přehled publikovaných experimentů

citace	Druh (řád)	vychozí hypotéza	pokusné uspořádání	barevný kontrast	kontrast struktury	délka pozorování	co zaznamenávali	výsledek
Ahnesjo & Forsman (2006)	<i>Tetrix undulata</i> (Insecta)	preferance barvy	5 typů substrátu, 3 arény s různou barvou substrátu	zelená/hnědá/černá/světlá/pruhované pozadí	mech/humus/uhlí/dříví/jehlice smrku	po sedm dní každých ??	polohu	Preference barvy, hlavně v přítomnosti predátora.
Belowski & Slade (1990)	12 druhů kobylek (Insecta)	vliv různých faktorů na predaci	Jednici přivázaní na vlákno	—	—	na konci dvouhodinových intervalů	přítomnost	Nebyl rozdíl v pohybu. Poměr predace se lišil mezi druhy, pohlavími, stádii a v čase.
Brown (1939)	<i>Cambarus imunnis</i> (Malacostraca)	preferance barvy	nádoba rozdělená na dvě poloviny	černá/bílá	—	??	polohu	Preference černé barvy jedinci, kteří na ni byli adaptováni.
Croshaw (2005)	<i>Rana pipiens</i> (Amphibia)	preferance barvy, kryptické chování	nádoba rozdělená na čtvrtiny se dvěma typy substrátu	hnědá/zelená, světlá/tmavá	písek/zemina	Každých ?? po dobu 30min	polohu, pohyb	Preference neprokázána. Kryptické chování ano.
Cuthill & Stevens (2006)	umělá kořist (Plastiformia)	preferance nesymetrického pozadí	umělá kořist pokrytá černými a hnědými značkami	hnědočerné disruptivní /stromové pozadí	—	dva dny po 2,4,24 a 48 hod	přeživší kořist	Symetrie je nevýhodou.
Garcia & Sih (2003)	<i>A. barbouri</i> , <i>A. texanum</i> (Amphibia)	preferance barvy, přítomnost signálů predátora	nádoba rozdělená na dvě poloviny	bílá/černá	—	každých 15min po dobu 4hod	polohu	<i>A. barbouri</i> preference v přítomnosti predátora. <i>A. texanum</i> preference bez ohledu na predátora.
Heiling & Chittka (2005)	<i>Thomisus spectabilis</i> (Arachnida)	preferance barvy	výběr mezi dvěma kopretinami na černém pozadí	bílá/žlutá	—	??	polohu	Preference barvy.
Heinen (1985)	<i>Bufo americanus</i> (Amphibia)	preferance barvy, kryptické chování	nádoba rozdělená na čtvrtiny se dvěma typy substrátu	světlá/tmavá	s vegetací/bez vegetace	2min	polohu, pohyb	Preference barvy, kryptické chování.
Heinen (1994)	<i>Bufo americanus</i> (Amphibia)	preferance barvy	1 barva substrátu, poté 2 barvy na 1/4 akvária	světlá/tmavá	písek/zemina	Každých ?? po dobu 10min	polohu, pohyb	Oba typy žab preferovaly tmavé pozadí bez ohledu na předchozí adaptaci. Kryptické chování.
Lee & Van Dragt (1986)	<i>Hyla crucifer</i> (Amphibia)	změna tělní barvy na odpovídající barvu pozadí	nádoby s jedním nebo dvěma typy substrátu	černá nebo bílá, černá/bílá	—	po 15, 30, 45, 60, 90 a 120min	změnu barvy, polohu	Změna barvy na odpovídající. Preference kryptičtějšího pozadí.

Lillywhite & Friedman (1977)	<i>Sceloporus occidentalis</i> (Reptilia)	preferance barvy	Terén: pozorování. Laboratoř: dvě obarvené větvičky	černá/bílá	—	každých 30min po dobu ??	polohu	Terénní studie:preferance barvy. Laboratorních studie:preferance barvy.
Merilaita & Lind (2005)	umělá kořist (Plastiformia)	krypticitá pozadí	umělá kořist umístěna na tabuli s čenobílým pozadím	černobílá kořist a pozadí s různou velikostí vzoru	—	do objevení kořisti, max.600s	dobu pátrání	Doba pátrání byla delší u kořisti s drobnějším vzorem či s disruptivním zbravením.
Merilaita & Lyytinen (2001)	umělá kořist (Plastiformia)	úspěšnost kompromisního vzoru v heterogenním habitatu	kořist a pozadí z bílého papíru s černým vzorem	černobílá kořist a pozadí s různou velikostí vzoru	—	do objevení kořisti, max.180s	dobu pátrání	Čas hledání stoupal s větší podobností kořisti pozadí.
Morey (1990)	<i>Pseudacris regilla</i> (Amphibia)	preferance barvy	6 částí, 3 s odstíny zelené,3 s odstíny hnědé	hnědá/zelená	—	každých 30min po dobu 5hod	polohu	Preferance barvy.
Peake (1999)	<i>Acipenser fulvescens</i> (Actinopterygii)	preferance substrátu	nádrž se čtyřmi typy substrátu	—	písek,štěrk, kameny a plastové dno	7:00-24:00, 1x za hodinu	polohu	Preferance substrátu.
Rodolfo (1987)	<i>Acanthonyx petiveri</i> (Malacostraca)	preferance barvy	dva typy řas, akvárium s řasou kontrastní barvy	červená/zelená	—	Každých ?? po 48hod	polohu	Preferance barvy, přizpůsobení se pozadí.
Sargent (1968)	<i>Campaea perlata</i> + <i>Catocala antinympha</i> (Insecta)	preferance barvy	Obarvení jedinci, válec se střídajícími se barvami	černá/bílá	—	každé ráno mezi 6:00-8:00	polohu	Výběr odpovídajícího pozadí je geneticky fixován.
Storfer & Cross (1999)	<i>A.barbouri</i> (Amphibia)	preferance barvy	3 akvária,každé s 1 substrátem	světlá/tmavá	kameny/bahno/listí	Každých ?? po 2 hod	přežívší kořist	Preferance barvy.
Swart & Taylor (2004)	<i>Bufo woodhousii</i> (Amphibia)	preferance barvy, přítomnost signálů predátora	nádoba na bíločerné konstrukci	bílá/černá	písečito-bahnitý substrát/listový opad	každých 5min po dobu 100min	polohu,pohyb	Preferance barvy, hlavně v nepřítomnosti predátora.Rozdíly v pohybu neprokázány.
Tullberg & Garaberale-Stille (2008)	<i>Graphosoma lineatum</i> (Insecta)	zvýšení efektivity maskování	4 fotografie proti pozadí se srpnovým prostředím	bledá,červená/stanoviště +pruhovaná/nepruhovaná	—	do objevení kněžice,max.12 0s	polohu	Světlý a pruhovaný vzor byl hůře detekovatelný.
Wente & Phillips (2005)	<i>Hyla regilla</i> (Amphibia)	preferance barvy	aréna rozdělená na čtvrtiny se dvěma typy substrátu	hnědá/zelená	—	každých 5min po dobu 330min	polohu	Preferance barvy jen u zelených žab.

Legenda: — data nebyla v práci zkoumána  
 ?? přesné informace nebyly v práci zmíněny

## 4. Materiál a metodika

### 4.1. Testované charakteristiky

V mé práci jsem chtěla otestovat efekt barvy a struktury substrátu na výběr substrátu dvou druhů potápníků *Potamonectes canaliculatus* (Obrázek 1) a *Ilybius subtilis* (Obrázek 2) lišících se svým tělním zbarvením. Dále jsem otestovala, jestli se u potápníků vyskytuje kryptické chování, či jestli existuje nějaký vztah mezi počtem nádechů potápníků a jejich výskytem na daném substrátu.

### 4.2. Modelové organismy

Od dubna do července 2008 jsem testovala světlého potápníka *Potamonectes canaliculatus* (Lacordaire 1835) a tmavého potápníka *Ilybius subtilis* (Erichson 1837). *P. canaliculatus* (4,8 – 5,8 mm) je především západoevropský druh vyskytující se na jihu od Portugalska do Řecka a na severu především podél atlantického pobeží do Nizozemí, Německa, jižního Švédska a Polska, známý také z Rakouska, ČR a Slovenska. V ČR nalezen poprvé až v 80. letech 20. století ve středních Čechách. V současnosti je známo větší množství lokalit druhu *P. canaliculatus* v Čechách i na Moravě a je možné, že se tento druh v ČR šíří. Osídluje čerstvě vzniklé nádrže s jílovitým nebo písčitém dnem, především bez vegetace. Je považován za typický pionýrský druh (Boukal et al. 2007).

*Ilybius subtilis* (9 – 10,7 mm) je palearktický druh rozšířený od severní Francie, Švýcarska a Rakouska na Skandinávský poloostrov a východně až na západní Sibiř.

V ČR zřejmě ostrůvkovitě po celém území. V jižní části areálu výskytu upřednostňuje malé rašelinné tůně, prameny a nádrže bohaté na rozkládající se rostlinné zbytky (Boukal et al. 2007).

### 4.3. Experimentální uspořádání

Experimenty jsem prováděla v klimaboxu ENTÚ AV ČR (stálá teplota 18°C, fotoperioda (hod.) 18/6). Pokusy jsem prováděla v časovém intervalu od 12:00-18:00 hodin. V každém experimentálním uspořádání jsem použila 8 zvířat. Testovala jsem pouze samice, abych vyloučila interakce mezi pohlavími. Samci se od samic rozpoznají tím, že mají rozšířené tarsi.

Metoda byla založena na několika pilotních experimentech uskutečněných v roce 2007. Experimenty byly provedeny ve skleněném akváriu 50 x 50 x 20 cm (délka x šířka x výška). Dno akvária bylo rozděleno na čtyři stejné čtverce. Čtverce byly naplněny dvěma typy substrátu, protější čtverce obsahovaly stejný typ substrátu. Čtverce byly dále jemněji děleny drátěnou mřížkou. Celkově bylo dno akvária rozděleno na 36 polí (každý čtverec určité barvy na dalších devět dílků). Typy substrátu jsou následující:

1. SP/TL: umělý světlý písek vs. umělé tmavé listí (oba druhy) – test umělého substrátu
2. SP/SL: umělý světlý písek vs. umělé světlé listí (*Potamonectes*) – efekt struktury
3. TP/TL: umělý tmavý písek vs. umělé tmavé listí (*Ilybius*) – efekt struktury
4. S/TP: umělý světlý vs. umělý tmavý písek (*Potamonectes*) – efekt barvy
5. S/TL: umělé světlé vs. umělé tmavé listí (*Ilybius*) – efekt barvy
6. TP/SL: umělý tmavý písek vs. umělé světlé listí (oba druhy) – efekt barvy
7. PS: světlý vs. tmavý přirozený substrát (oba druhy) – kontrolní experiment

K vyloučení efektu chemikálií, které se uvolňují z přirozeného substrátu, bylo umělé listí vyrobeno z kousků látky připevněné na drátěném pletivu. Průmyslově vyrobený sterilizovaný písek byl použit ze stejného důvodu. Tak byly redukovány rozdíly mezi typy substrátu pouze na barvu a strukturu.

V každém pokusu jsem pozorovala jednoho nakrmeného potápníka 20 minut po 5-minutové habituaci. Každých 15 sekund jsem zaznamenávala čas strávený v každém čtverci a chování brouků (3 typy plavání ve vodním sloupci, odpočinek, a vynoření se

na nadechnutí). V mé pilotní studii chování brouků nebylo viditelně ovlivněno mou přítomností.

Typy plavání byly rozděleny podle umístění brouka ve vodním sloupci:

- a) plavání 1: potápník se nacházel těsně u hladiny
- b) plavání 2: potápník se nacházel ve středu vodního sloupce
- c) plavání 3: potápník plaval u dna, nebo se ho dotýkal (chování odpovídající hledání potravy?).

Pokusy, kdy se potápník držel u okraje akvária nebo do něj dokonce narážel déle než dvě minuty, jsem z analýzy vyřadila. V těchto případech jsem usoudila, že se potápník snaží dostat z akvária pryč, takže jeho výskyt na určitém substrátu nebyl dán jeho preferencí pro tento substrát a nedal se do analýz zahrnout.

#### **4.4. Testované hypotézy**

Výchozí hypotéza, kterou jsem testovala byla, že potápníci budou preferovat pozadí odpovídající jejich tělnímu zbarvení. Kombinaci přirozeného substrátu jsem testovala proto, abych zjistila, jestli se potápníci budou chovat tak, jak očekávám. Čili jestli budou preferovat odpovídající substrát, na kterém se nacházejí v přírodě. Kombinaci umělý světlý písek a umělé tmavé listí jsem testovala, abych zjistila, jestli budou potápníci ukazovat stejné preference i na umělém substrátu. Další kombinace jsem použila na testování efektů barvy a struktury na výběr substrátu potápníků. Dále jsem předpokládala, že substrát bude mít vliv na aktivity potápníků, potápníci se budou více pohybovat na nekryptickém substrátu a na odpovídajícím substrátu se budou pohybovat méně.

#### **4.5. Použitá statistika**

Preferenci substrátu i vliv substrátu na frekvenci nádechů jsem testovala jednocestnou ANOVOU. Průkazné výsledky ve všech tabulkách jsou označeny tučným písmem.



Celkové chování ptápníků jsem analyzovala multivariační analýzou (MANOVA), která zkoumá závislost dvou a více proměnných na více nezávislých proměnných. Použila jsem testovací statistiku Wilksova Lambda, což je způsob vyjádření poměru variability mezi testovanými skupinami (Crichton 2000). Jednotlivé aktivity jsem testovala jednocestnou ANOVOU.

Vliv vnějších a vnitřních částí akvária i vliv pozorovatele na chování potápníka jsem testovala faktoriální ANOVOU. Jako vnější část jsem si definovala oblast složenou z vnějších čtverců jemnějšího dělení a vnitřní část jako oblast složenou z ostatních čtverců uvnitř oblasti, kterou ohraničovaly čtverce vnější.

Veškerá data jsem analyzovala programem STATISTICA 8.

## 5. Výsledky

Následující výsledky zahrnují analýzy preferencí substrátu, vlivu substrátu na aktivity, analýzy preferencí vnější či vnitřní části akvária a vlivu substrátu na preferenci částí akvária, analýzy vlivu pozorovatele a vlivu substrátu na frekvenci nádechů u dvou druhů potápníků *Potamonectes canaliculatus* a *Ilybius subtilis*.

### 5.1. Preference substrátu

Výsledky experimentů substrátové selekce ukazují, že u všech kombinací substrátů jak tmaví, tak světlí potápníci preferují barvu před strukturou a vybírají barvu odpovídající jejich zbarvení (Tabulka 2 a 3).

Tabulka 2: Analýzy preferencí substrátu potápníka *Potamonectes canaliculatus*

Experiment	df	F	P
PS	1,14	<b>44,77</b>	<b>1.10<sup>-5</sup></b>
S/TL	1,14	<b>36,41</b>	<b>3.10<sup>-5</sup></b>
SL/SP	1,14	<b>41,25</b>	<b>2.10<sup>-5</sup></b>
SL/TP	1,14	<b>12,1</b>	<b>0,004</b>
TL/SP	1,14	<b>21,26</b>	<b>4.10<sup>-4</sup></b>

Tabulka 3: Analýzy preferencí substrátu potápníka *Ilybius subtilis*

Experiment	df	F	P
PS	1,14	<b>611,74</b>	<b>1.10<sup>-6</sup></b>
SL/TP	1,14	<b>193,27</b>	<b>3.10<sup>-6</sup></b>
TL/SP	1,14	<b>552,83</b>	<b>5.10<sup>-4</sup></b>
S/TL	1,14	<b>25,18</b>	<b>1.10<sup>-6</sup></b>
TL/TP	1,14	<b>126,9</b>	<b>1.10<sup>-6</sup></b>

Pokud měli potápníci na výběr mezi pískem a listím stejné barvy, vybírali si substrát, který svojí strukturou odpovídal jejich přirozenému stanovišti. Pokud ale měli na výběr mezi pískem a listím opačné barvy, než byl substrát v jejich stanovišti, vybírali si pozadí, kterému odpovídali svojí barvou, bez ohledu na jeho strukturu. Takže pokud měl světlý *P.canaliculatus* na výběr mezi tmavým pískem a světlým listím, vybíral si světlé listí a naopak, pokud měl tmavý *I. subtilis* na výběr mezi světlým listím a tmavým pískem, vybíral si tmavý písek.

U potápníka *Ilybius subtilis* jsem v pokusu tmavé listí/světlý písek provedla ještě další opakování s otočeným akváriem o 90°, abych vyloučila vliv stran. I v těchto pokusech si *I. subtilis* průkazně vybíral odpovídající pozadí. Grafy preferencí substrátu obou druhů potápníků jsou uvedeny v příloze (Obrázek 5 a 6).

## 5.2. Vliv substrátu na aktivity potápníků

Nejdříve jsem testovala, celkový vliv substrátu na aktivity potápníků. Vliv substrátu na chování potápníků nebyl prokázán plošně, ale pouze u některých kombinací substrátu. Konkrétně u *Potamonectese* to byl experiment SL/TP a S/TP, u *Ilybiuse* experiment PS a SP/TL (Tabulka 4 a 5).

Tabulka 4: Vliv substrátu na chování potápníka *Potamonectes canaliculatus*

Experiment	F	P
PS	1,40	0,306
SL/TP	<b>3,83</b>	<b>0,039</b>
SP/SL	0,29	0,832
S/TP	<b>5,59</b>	<b>0,012</b>
TL/SP	2,50	0,114

Tabulka 5: Vliv substrátu na chování potápníka *Ilybius subtilis*

Experiment	F	P
PS	<b>4,99</b>	<b>0,020</b>
S/TL	0,84	0,496
SP/TL	<b>16,88</b>	<b>1.10<sup>-4</sup></b>
TP/SL	1,3	0,329
TL/TP	1,90	0,18

Tyto výsledky ukazují, že se v těchto experimentech vliv substrátu objevuje, ale neříká, které aktivity ovlivňuje konkrétně a jakým způsobem. Proto jsem dále testovala vliv substrátu na jednotlivé aktivity. U *Potamonectese* v experimentu SL/TP ovlivňoval substrát aktivity sezení a plavání 2, na světlém substrátu seděl *Potamonectes* více, než na tmavém substrátu, ale plavali více na substrátu tmavém. V experimentu S/TP a TL/SP vyšlo průkazně sezení, kdy *Potamonectes* opět seděl více na světlém substrátu (Tabulka 6). U experimentu SL/TP mi test vlivu substrátu na

všechny aktivity vyšel neprůkazný, ale celkový test je slabší než jednotlivé dílčí testy. Takže pokud je detekovatelný jen slabý vliv u některé aktivity, tak se může stát, že celkový test výjde neprůkazně. Grafy jednotlivých aktivit jsou uvedeny v příloze (Obrázek 7 – 9).

Tabulka 6: Vliv substrátu na jednotlivé aktivity druhu *Potamonectes canaliculatus*

Experiment		Typy aktivit			
		Sezení	Plavání 1	Plavání 2	Plavání 3
PS	df	1,11	1,11	1,11	1,11
	F	3,99	0,002	2,23	2,77
	P	0,071	0,963	0,163	0,124
SL/TP	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	<b>8,91</b>	0,30	<b>13,31</b>	2,67
	P	<b>0,010</b>	0,590	<b>0,003</b>	0,125
SP/SL	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	0,39	0,65	0,41	0,56
	P	0,544	0,433	0,531	0,468
S/TP	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	<b>17,42</b>	1,56	4,20	0,87
	P	<b>0,001</b>	0,232	0,060	0,366
TL/SP	df	1,13	1,13	1,13	1,13
	F	<b>6,55</b>	4,23	2,18	4,24
	p	<b>0,024</b>	0,060	0,164	0,060

U *Ilybiuse* vyšly průkazně ovlivněné v experimentu PS aktivity sezení a plavání 3, kdy *Ilybius* seděl více na tmavém a plaval více na světlém substrátu. V experimentu SP/TL bylo průkazné sezení, plavání 2 a plavání 3, potápník seděl opět více na tmavém substrátu a oba typy plavání byly průkazně častější na světlém substrátu. V experimentu TL/TP, což byla kombinace tmavé plátno/tmavý písek, bylo průkazně ovlivněno sezení a plavání 3, kdy potápník plaval více na písku a seděl více na plátně, což odpovídá preferencím struktury, kterou jsme nahrazovali jeho přirozený substrát na stanovištích (Tabulka 7). GRAFY aktivit jsou uvedeny v příloze (Obrázek 10 - 12).

Tabulka 7: Vliv substrátu na jednotlivé aktivity druhu *Ilybius subtilis*

Experiment		Typy aktivit			
		Sezení	Plavání 1	Plavání 2	Plavání 3
PS	df	1,13	1,13	1,13	1,13
	F	<b>14,55</b>	1,91	1,64	<b>15,35</b>
	P	<b>0,002</b>	0,190	0,22	<b>0,002</b>
S/TL	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	0,44	0,12	0,73	2,06
	P	0,518	0,737	0,407	0,173
SP/TL	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	<b>34,09</b>	1,39	<b>20,41</b>	<b>8,77</b>
	P	<b>4.10<sup>-5</sup></b>	0,258	<b>4.10<sup>-4</sup></b>	<b>0,010</b>
TP/SL	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	0,339	0,498	0,928	0,243
	P	0,570	0,492	0,352	0,629
TL/TP	df	1,14	1,14	1,14	1,14
	F	<b>4,66</b>	0,004	0,36	<b>6,43</b>
	P	<b>0,049</b>	0,948	0,560	<b>0,024</b>

### 5.3. Preference vnější či vnitřní části akvária

Dále jsem testovala, jestli má na výskyt potápníka vliv vnější (a)nebo vnitřní část akvária. Vnější část se skládala ze čtverců dotýkajících se okrajů akvária, vnitřní část byla ohraničena těmito vnějšími čtverci. Testovala jsem jak rozdíl výskytu potápníka ve vnější a vnitřní části akvária, tak interakce mezi částmi akvária a substrátem čili to, jestli se výskyt potápníka na vnější či vnitřní části akvária liší mezi substráty dané kombinace. Testovala jsem také vliv částí akvária na jednotlivé aktivity, ale ten vyšel neprůkazně až na výjimku u *Ilybiuse* v kombinaci substrátů světlý písek/tmavé listí u aktivit sezení a plavání 3. Vzhledem k vysokému počtu testů je možné, že jsem se dopustila chyby druhého typu.

Tabulka 8 ukazuje, že vliv vnější a vnitřní části akvária byl u *P. canaliculatus* prokázán v experimentech SL/TP, SP/SL a TL/SP. Interakce mezi částmi akvária a substráty byla pak prokázána v experimentu SP/SL. Ve všech těchto experimentech se potápník zdržoval více ve vnější části akvária než ve vnitřní části (Obrázek 13 - 15). Interakce mezi částmi akvária a substrátem ukázala, že pokud se *Potamonectes*

vyskytoval na písku, pohyboval se více ve vnější části akvária, pokud se pohyboval na listí, nepreferoval průkazně žádnou část akvária (Obrázek 14).

Tabulka 8: Rozdíl výskytu potápníka *Potamonectes canaliculatus* na vnější či vnitřní části akvária (poloha) a interakce těchto částí se substrátem

Experiment	Testování vlivů a interakcí	df	F	P
PS	poloha	1,18	3,08	0,096
	substrát*poloha	1,18	0,44	0,514
S/TP	poloha	1,26	1,03	0,319
	substrát*poloha	1,26	0,94	0,341
SL/TP	poloha	1,28	<b>4,70</b>	<b>0,039</b>
	substrát*poloha	1,28	0,12	0,733
SP/SL	poloha	1,23	<b>85,16</b>	<b>1.10<sup>-6</sup></b>
	substrát*poloha	1,23	<b>21,72</b>	<b>7.10<sup>-5</sup></b>
TL/SP	poloha	1,26	<b>18,69</b>	<b>3.10<sup>-4</sup></b>
	substrát*poloha	1,26	3,78	0,064

Tabulka 9 ukazuje, že vliv vnější a vnitřní části akvária u *Ilybiuse* byl prokázán v experimentech PS, SP/TL, TP/TL a TP/SL. Interakce mezi částmi akvária a substráty byla pak prokázána v experimentu PS, TP/TL a TP/SL. Z grafů je vidět, že i *Ilybius* se vyskytoval více ve vnější části (Obrázek 15 - 18). V interakcích mezi částí akvária a substrátem se v experimentu PS a TP/TL vyskytoval na listí více ve vnější části (Obrázek 15 a 18). V experimentu s kombinací substrátu TP/SL se *Ilybius* vyskytoval na vnější části více na písku (Obrázek 18).

Tabulka 9: Rozdíl výskytu potápníka *Ilybius subtilis* na vnější či vnitřní části akvária (poloha) a interakce těchto částí se substrátem.

Experiment	Testování vlivů a interakcí	df	F	p
PS	poloha	1,25	<b>21,06</b>	<b>1.10<sup>-4</sup></b>
	substrát*poloha	1,25	<b>16,57</b>	<b>4.10<sup>-4</sup></b>
S/TL	poloha	1,28	0,84	0,368
	substrát*poloha	1,28	0,07	0,798
SP/TL	poloha	1,27	<b>6,52</b>	<b>0,017</b>
	substrát*poloha	1,27	0,22	0,643
TP/TL	poloha	1,26	<b>40,57</b>	<b>1.10<sup>-6</sup></b>
	substrát*poloha	1,26	<b>28,17</b>	<b>1.10<sup>-5</sup></b>
TP/SL	poloha	1,28	<b>28,18</b>	<b>1.10<sup>-5</sup></b>
	substrát*poloha	1,28	<b>5,66</b>	<b>0,025</b>

#### 5.4. Vliv pozorovatele

Pro zjištění toho, jestli má nějaký vliv pozorovatel, jsme testovali vliv přední a zadní části akvária na výskyt potápníka a na interakci těchto částí akvária a substrátu. Tento vliv nám vyšel průkazně u *Potamonectese* v experimentu SL/TP, kde vyšel průkazný vliv interakce mezi substrátem a částmi akvária na výskyt potápníka, kdy pokud se potápník vyskytoval na listí, nacházel se víc v zadní části akvária (ANOVA:  $df=1,28$ ;  $F=4,87$  a  $P=0,04$ ). A v experimentu SP/SL vyšel průkazný vliv částí akvária (ANOVA:  $df=1,27$ ;  $F=15,66$  a  $P=5 \cdot 10^{-4}$ ). Při průkazném vlivu interakce mezi substrátem a částmi akvária na výskyt potápníka potápník preferoval na písku zadní část akvária (ANOVA:  $df=1,27$ ;  $F=5,74$  a  $P=0,02$ ).

U *Ilybiuse* vyšel průkazný vliv částí akvária (ANOVA:  $df=1,28$ ;  $F=27,06$  a  $P<1 \cdot 10^{-5}$ ). Průkazně vyšel i vliv interakce mezi substrátem a částmi akvária na výskyt potápníka v experimentu SP/TL, kdy potápník, pokud se vyskytoval na listí, nacházel se více v zadní části akvária (ANOVA:  $df=1,28$ ;  $F=13,91$  a  $P<8 \cdot 10^{-4}$ ). Průkazný vliv částí akvária vyšel také v experimentu TL/TP (ANOVA:  $df=1,28$ ;  $F=34,51$  a  $P<3 \cdot 10^{-6}$ ), stejně jako vliv interakce mezi substrátem a částmi akvária na výskyt potápníka, kde pokud se potápník preferoval na listí více přední část akvária (ANOVA:  $df=1,28$ ;  $F=36,22$  a  $P<2 \cdot 10^{-6}$ ).

Vliv nebyl konzistentní (u dvou kombinací substrátu z pěti) a nelze přesně určit jeho příčinu. Kromě možného vlivu pozorovatele mohou být tyto odchylky způsobeny nesourodým prostředím v okolí akvária, které by se dalo odstranit pravidelným otáčením akvária mezi pokusy. Vzhledem k vysoké průkaznosti dat preference substrátu a tím, že výsledky vlivu pozorovatele nebyly systematické, se dá soudit, že preference substrátu potápníku byla ovlivněna nanejvýš minimálně.

#### 5.5. Vynoření se na nadechnutí

Analyzovala jsem také jestli se liší střední hodnoty mezi intervaly nádechů na jednotlivých typech substrátu. Výsledky ukazují, že oba druhy potápníků se nadechovaly s delší frekvencí na přirozených substrátech (Obrázek 20 a 21). Může to

být tím, že potápníci nebyli tak stresovaní, protože se pohybovali ve známém prostředí. Ostatní typy substrátů byly umělé a proto na nich mohl být potápník více stresovaný, proto více plaval než aby se na odpovídajícím substrátu usadil a při této vyšší aktivitě také častěji vyplouval na nadechnutí. Druhá možnost je, že na umělých substrátech potápník neznámé prostředí více zkoumal a proto plaval více.



## 6.Diskuze

V této práci jsem se zaměřila na zkoumání efektu barvy a struktury na výběr substrátu u potápníků. Provedla jsem rešerši literatury a vlastní pokusy zaměřené na substrátové preference dvou druhů potápníků lišících se zbarvením, světlého *Potamonectes canaliculatus* a tmavého *Ilybius subtilis*.

V předešlých pracech byl výzkum preferencí substrátu prováděn především na obojživelnících (Wente & Phillips 2005, Croshaw 2005, Heinen 1985, Belowski 1990, Swart & Taylor 2004). Preference nebo její zvýšení zde byla často prokázána v přítomnosti predátora nebo jeho chemických signálů (Wente & Phillips 2005, Belowski 1990, Swart & Taylor 2004). U některých skupin obojživelníků doprovázelo selekci substrátu také kryptické chování, kdy se jedinci pohybovali méně na odpovídajícím pozadí (Heinen 1985, Morey 1990, Croshaw 2005).

U některých druhů zvířat se zdá, že je jejich substrátová preference geneticky fixovaná, u těchto skupin zvířat, pokud mají na výběr mezi dvěma typy substrátu, si aktivně vybírají ten kryptický. Pokud byly tyto skupiny experimentálně adaptovány na kontrastní pozadí, než na kterém se vyskytovaly v přírodě, přesto si v experimentech na substrátovou selekci vybíraly pozadí kryptické (Sargent 1968, Peake 1999). Druhá skupina živočichů je schopna přizpůsobit se tělní barvou substrátu, na kterém se nachází. Pokud jsou tedy jedinci umístěni na kontrastní pozadí, změni svoji tělní barvu na barvu odpovídající pozadí, na kterém se právě nachází (Lee & Van Dragt 1986, Garcia & Sih 2003, Storfer et al. 1999). I v tomto případě ale zvířata preferovala pozadí, kterému se mohly nejlépe přizpůsobit změnou barvy. Např. na zbarvení některých skupin mloků má vliv predační tlak ryb v rybnících, kde žijí. U těchto skupin mloků existují také různé odpovědi na přítomnost predátora podle toho, jak často se s ním setkávají na svém přirozeném stanovišti. Čím častěji, tím silnější je odpověď (Garcia & Sih 2003).

## 6.1. Vyhodnocení pokusů

Zdá se, že u dospělců potápníků souvisí zbarvení těla s preferencemi stanovišť: druhy v pískovných jsou obvykle světlé, zatímco ostatní druhy jsou většinou tmavé. Nicméně důležitost jednotlivých stanovištních charakteristik (substrát, vegetace, hloubka vody atd.) je prakticky neznámá a nikdy nebyla testována experimentálně. Určitý substrát může být preferován díky své barvě (odpovídající fenotyp, t.j. jako antipredační mechanismus), struktuře nebo přítomnosti preferované kořisti.

Moje experimenty byly navrženy k odhalení substrátové preference u dvou druhů potápníků, světlého *Potamonectes canaliculatus* a tmavého *Ilybius subtilis*. Všech pět experimentů s kombinacemi dvou typů substrátu popodřily hypotézu, že si potápníci vybírají substrát, který barvou odpovídá jejich tělnímu zbarvení. Světlí potápníci z pískovny si vybírali světlý substrát a tmaví potápníci si vybírali tmavý substrát a to jak přirozený, tak umělý. Výsledky dále naznačují, že potápníci dávají přednost substrátu odpovídající barvou před substrátem s odpovídající strukturou (experimenty umělý světlý písek vs. umělé světlé listí (*Potamonectes*) a umělý tmavý písek vs. umělé tmavé listí (*Ilybius*)). Potápníci tedy využívají spíše krypsi založenou na zbarvení než složení substrátu jako hlavního činitele výběru daného pozadí.

Nepodařilo se mi prokázat systematický vliv substrátu na aktivity. Tento vliv se objevil jen v některých experimentech (u *Potamonectese* v experimentech SL/TP a S/TP, u *Ilybiuse* v experimentech PS a SP/TL). Tyto nejednotné výsledky mohly být způsobeny možným vlivem pozorovatele či dalších činitelů prokazatelných u *Potamonectese* v experimentech SL/TP a SP/SL a u *Ilybiuse* v experimentech SP/TL a TL/TP. Právě tyto odchylky (přestože díky nekonzistentnímu působení byl jejich vliv na substrátovou preferenci potápníků minimální) mohly ovlivnit podíl a typy aktivit na jednotlivých kombinacích substrátu. Předpokládala jsem, že substrát bude mít vliv na aktivity potápníků a ti se budou více pohybovat na nekryptickém substrátu a na odpovídajícím substrátu se budou pohybovat méně. To se mi ve výše uvedených experimentech podařilo prokázat. Tento výsledek tak podporuje hypotézu, že preference substrátu a kryptické chování je způsobeno antipredačním chováním (Heinen 1985, Morey 1990).

Tyto výsledky také souvisí s tím, že na kombinaci substrátu, která byla nejbližší jejich přirozenému prostředí (PS) byla frekvence nádechů nižší. Ostatní typy substrátů byly umělé a na nich se potápník nadechoval častěji, patrně buď z důvodu většího stresu nebo proto, že na umělých substrátech potápník neznámé prostředí více zkoumal a proto byl aktivnější.

U preference vnější či vnitřní části akvária výsledky ukazují, že oba druhy potápníků preferovaly část vnější. To může být způsobeno podobnými okolnostmi jako v případě frekvence nádechů. Buď byl potápník v akváriu stresován a snažil se dostat z akvária ven anebo mohl být jev preference vnější části akvária způsoben tím, že se ho potápník snažil prozkoumávat.

K doplnění těchto výsledků, především vlivu substrátu na aktivity potápníka, by mohla sloužit další studie na preference substrátu potápníků za přítomnosti predátora. Předpokládám, že odpovědí potápníka na predátorovu přítomnost by mohla být ještě silnější preference odpovídajícího substrátu. Mohl by se také projevit silnější vliv substrátu na aktivity potápníka, který by se tak na kryptickém substrátu pohyboval méně než na substrátu nekryptickém. Jevy, u kterých předpokládám, že ovlivnily aktivity potápníka na daných kombinacích substrátu v mých experimentech (vliv pozorovatele, nesourodé okolní prostředí) by se daly odstranit např. otáčením akvária mezi pokusy a úpravou okolního prostředí akvária. Tak bychom mohli získat další důkaz preferencí potápníků pro odpovídající substrát.

## 7. Seznam literatury

Ahnesjö J. & Forsman A., 2006: Differential habitat selection by pygmy grasshopper color morphs; interactive effects of temperature and predator avoidance. *Evolutionary Ecology* 20: 235-257

Belowski G.E., Slade J.B. & Stockhoff B.A., 1990: Susceptibility to predation for different grasshoppers: an experimental study. *Ecology* 71: 624-634

Boukal D.S., Boukal M., Fikáček M., Hájek J., Klečka J., Skalický S., Šťastný J & Trávníček D., 2007: Katalog vodních brouků České republiky, Klapalekiana, 43 (Suppl.): 1-289

Brown F.A., 1939: Background selection in crayfishes. *Ecology* 20: 507-516

Crichton N., 2000: Defining and assessing competence: issues and debates. *Journal of Clinical Nursing* 9: 369-381

Croshaw D. A., 2005: Cryptic behavior is independent of dorsal color polymorphism in juvenile northern leopard frogs (*Rana pipiens*). *Journal of Herpetology* 39: 125-129

Cuthill I.C., Stevens M., Winsdor A.M.M., Walker H.J., 2006: The effects of pattern symmetry on detection of disruptive and background-matching coloration. *Behavioral Ecology* 17: 828-832

Endler J. & J. D. Greenwood, 1988: Frequency-dependent predation, crypsis and aposematic coloration. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 319: 505-523

García T.S. & Sih A., 2003: Color change and color-dependent behavior in response to predation risk in salamander sister species *Ambystoma barbouri* and *Ambystoma texanum*. *Oecologia* 137: 131–139

Heiling A.M., Chittka L., Cheng K. & Herberstein M.E., 2005: Colouration in crab spiders: substrate choice and prey attraction. *The Journal of Experimental Biology* 208: 1785-1792

Heinen J.T., 1985: Cryptic behavior in juvenile toads. *Journal of Herpetology* 19: 524-527

Heinen J.T., 1994: The Significance of color change in newly metamorphosed american toads (*Bufo americanus*). *Journal of Herpetology* 28: 87-93

Ihalainen E., Lindstrom L., Mappes J., Puolakkainen S., 2008: Can experienced birds select for Mullerian mimicry? *Behavioral Ecology* 19:362-368

Lee B., Van Dragt K. & Van Dragt R.G., 1986: Background color-matching in the spring peeper, *Hyla crucifer*. *Copeia* 1986: 109-115

Lillywhite H.B., Friedman G. & Ford N., 1977: Color matching and perch selection by lizards in recently burned chaparral. *Copeia* 1977: 115-121

Merilaita S., 2003: Visual background complexity facilitates the evolution of camouflage. *Evolution* 57: 1248-1254

Merilaita S. & Lind J., 2005: Background-matching and disruptive coloration, and the evolution of cryptic coloration. *Proc. R. Soc. B* 272: 665–670

Merilaita S., Lyytinen A. & Mappes J., 2001: Selection for cryptic coloration in a visually heterogeneous habitat. *Proceedings: Biological Sciences* 268:1925-1929

Morey S.R., 1990: Microhabitat selection and predation in the Pacific treefrog, *Pseudacris regilla*. *Journal of Herpetology* 24: 292-296

Peake S., 1999: Substrate preferences of juvenile hatchery-reared lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*. *Environmental Biology of Fishes* 56: 367-374

Rodolfo W.P., 1987: Substrate selection and decorating behavior in *Acanthonyx petiveri* related to exoskeleton color (brachyura, majidae). *Crustaceana* 52: 135-140

Ruxton G.D., Speed M. & Sherratt T.N., 2004: Evasive mimicry: when (if ever) could mimicry based on difficulty of capture evolve? *Proc. R. Soc. Lond. B* 271: 2135-2142

Sargent T.D., 1968: Cryptic moths: Effects on background selection of painting the circumocular scales. *Science, New Series* 159: 100-101

Sternburg J.G., Waldbauer G.P. & Jeffords M.R., 1977: Batesian mimicry: Selective advantage of color pattern. *Science, New Series* 195: 681-683

Storfer A., Cross J., Rush V., Caruso J. & 1999: Adaptive coloration and gene flow as a constraint to local adaptation in the streamside salamander, *Ambystoma barbouri*. *Evolution* 53: 889-898

Swart Ch.C. & Taylor R.C., 2004: Behavioral interactions between the giant water bug (*Belostoma Lutarium*) and tadpoles of *Bufo Woodhousii*. *Southeastern Naturalist* 3: 13-24

Tullberg B.S., Garaberale-Stille G., Bohlin T. & Merilata S., 2008: Seasonal ontogenetic colour plasticity in the adult striated shieldbug *Graphosoma lineatum* (Heteroptera) and its effect on detectability. *Behav Ecol Sociobiol* 62: 1389–1396

Wente W.H. & Phillips J.B., 2005: Microhabitat selection by the Pacific treefrog, *Hyla regilla*. *Animal Behaviour* 70: 279-287

Witz B.W., 1990: Antipredator mechanisms in arthropods: a twenty year literature survey. *Florida Entomologist* 73: 71-99

## 8. Přílohy

### Modelové organismy



Obrázek 1: *Potamonectes canaliculatus*



Obrázek 2: *Ilybius subtilis*

## Experimentální uspořádání

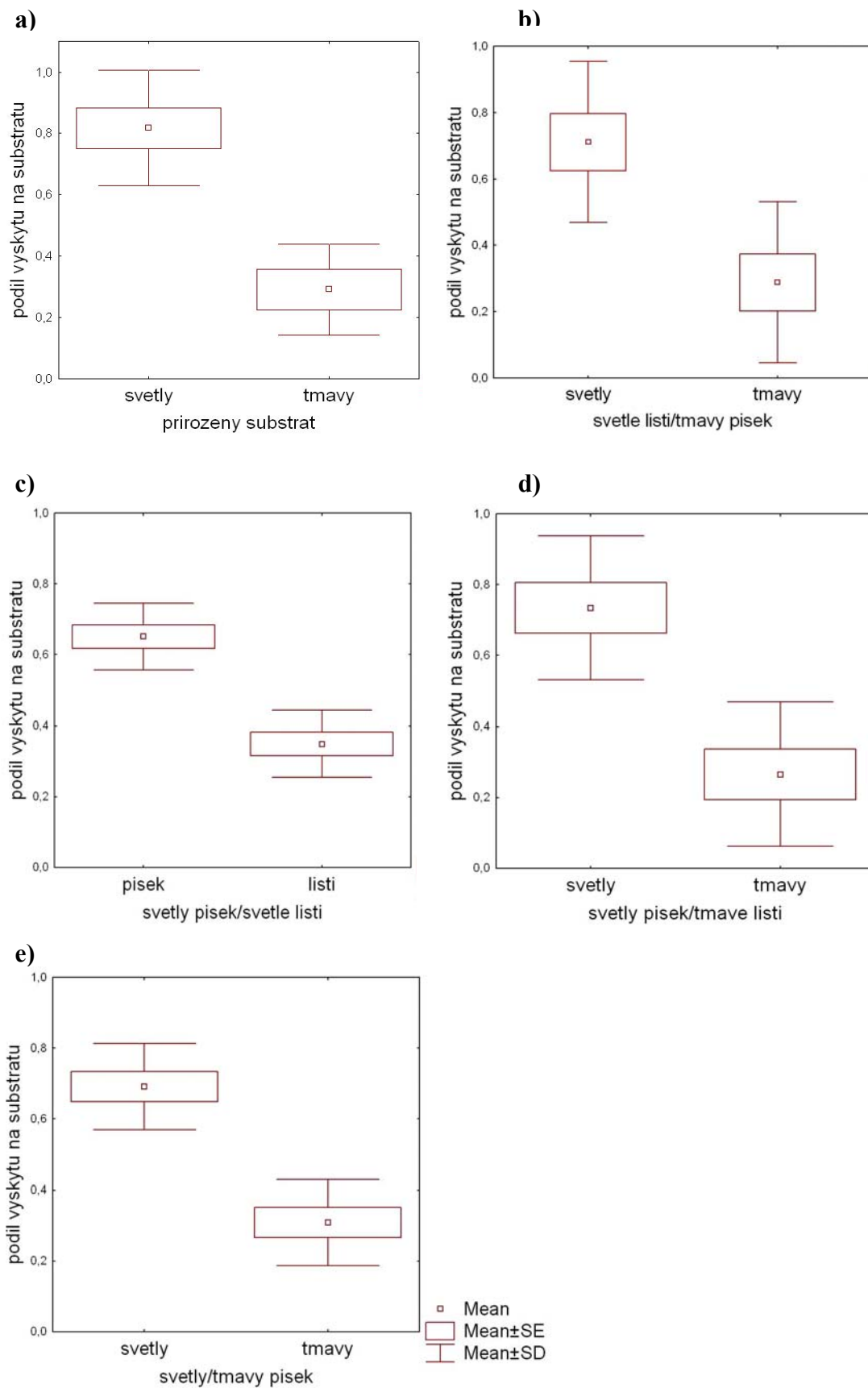


Obázek 3: Experimentální aréna s přirozeným substrátem.

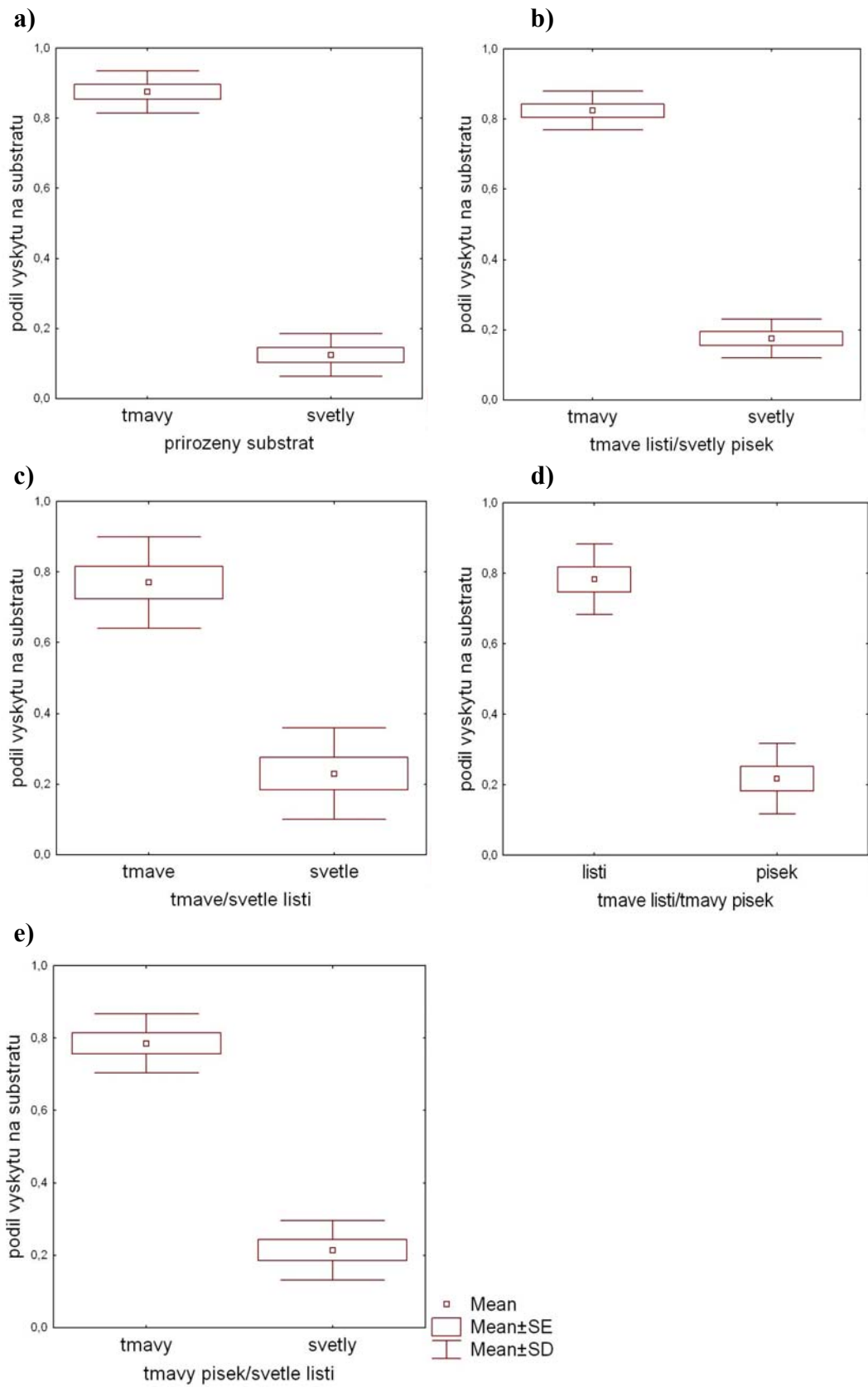


Obrázek 4: Experimentální aréna s kombinací substrátu světlé/tmavé listí. Uvnitř se nachází mřížka na jemnější dělení polí.

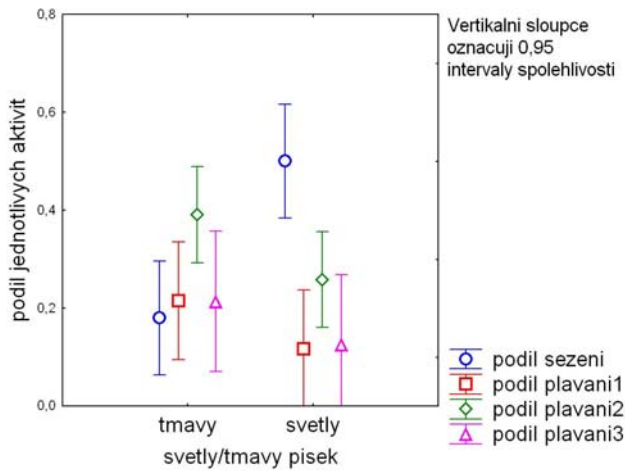




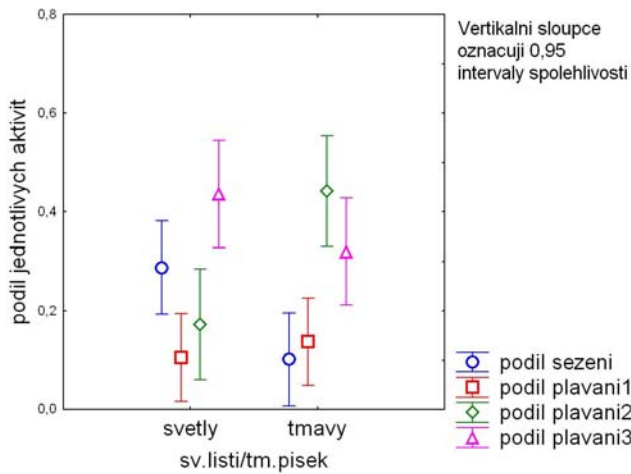
Obrázek 5: Podíl výskytu potápníka *Potamonectes canaliculatus* na všech kombinacích substrátu: a) přirozený substrát, b) světlé listí/tmavý písek, c)světlý písek/světlé listí, d)světlý písek/tmavé listí, e)světlý/tmavý písek.



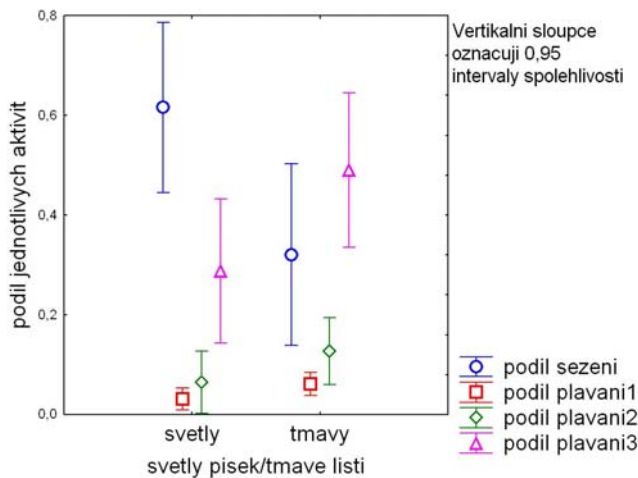
Obrázek 6: Podíl výskytu potápníka *Ilybius subtilis* na všech kombinacích substrátu: a) přirozený substrát, b) tmavé listí/světly písek, c) tmavé/světle listí, d) tmavé listí/tmavý písek, e) tmavý písek/světle listí.



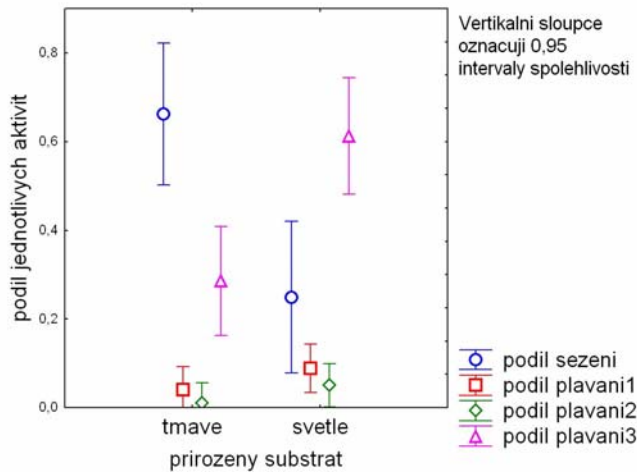
Obrázek 7: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Potamonectes canaliculatus* na substrátu světlý/tmavý písek.



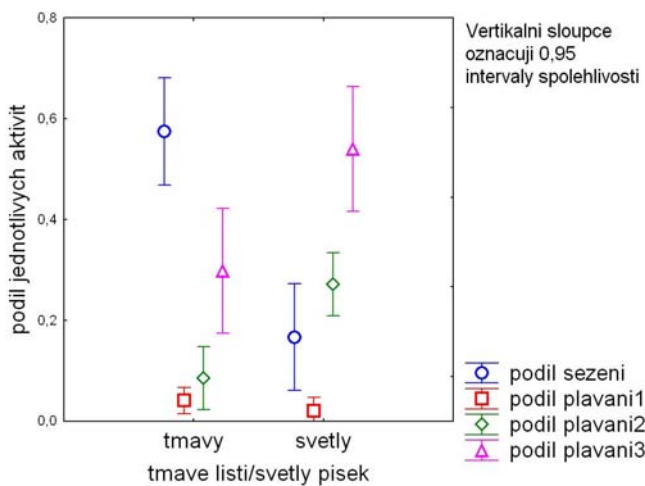
Obrázek 8: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Potamonectes canaliculatus* na substrátu světlé listí/tmavý písek.



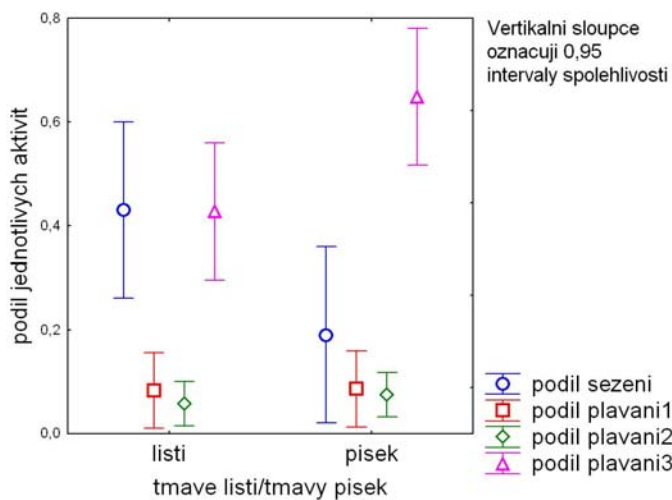
Obrázek 9: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Potamonectes canaliculatus* na substrátu světlý/tmavý písek



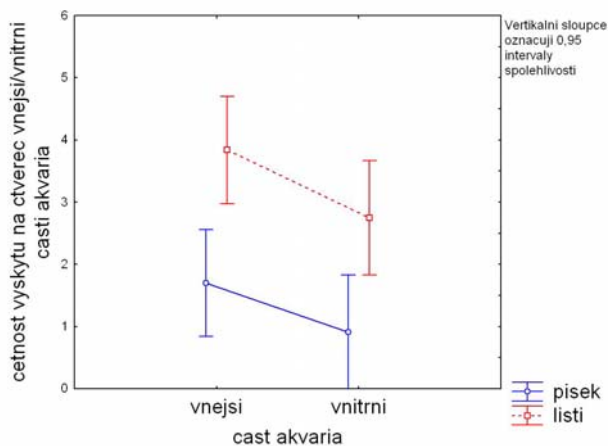
Obrázek 10: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Ilybius subtilis* na přirozeném substrátu.



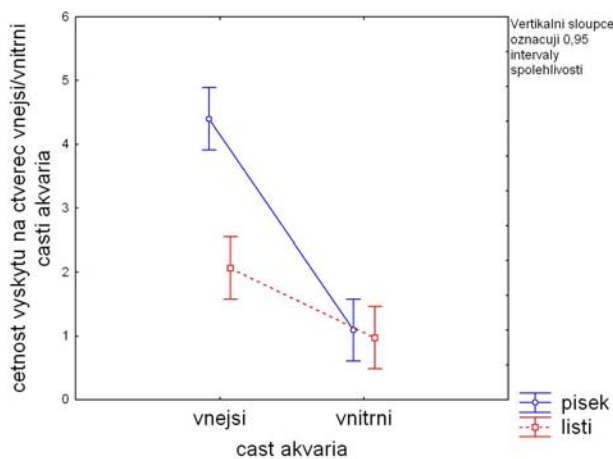
Obrázek 11: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Ilybius subtilis* na substrátu tmavé listí/světly písek.



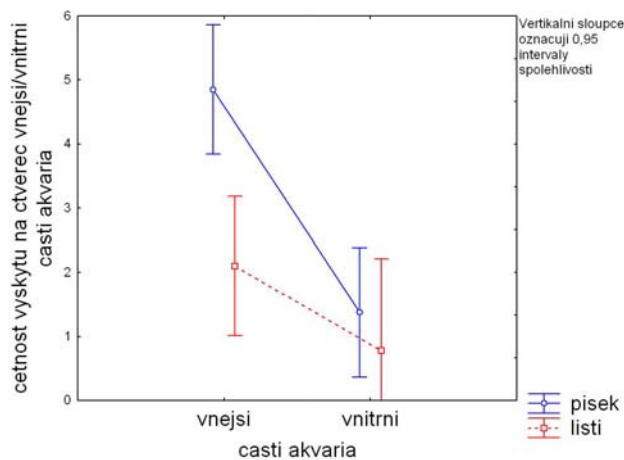
Obrázek 12: Podíl jednotlivých aktivit potápníka *Ilybius subtilis* na substrátu tmavé listí/tmavý písek.



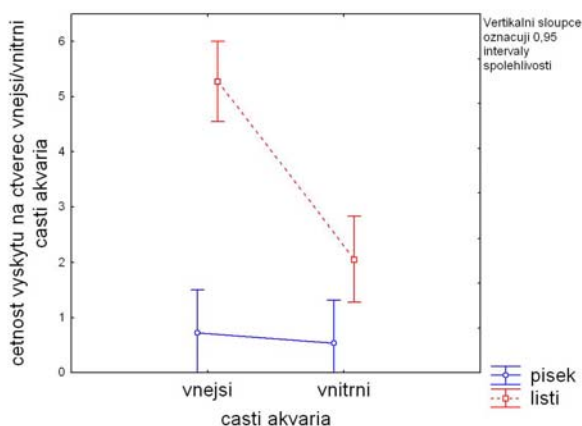
Obrázek 13: Četnost výskytu potápníka *Potamonectes canaliculatus* v průběhu celého pokusu na substrátu světlé listí/tmavý písek. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



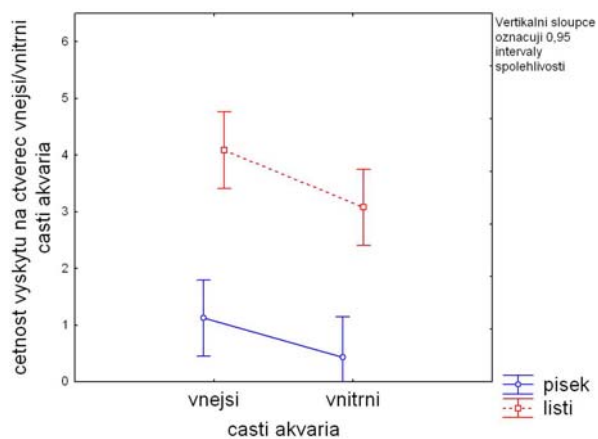
Obrázek 14: Četnost výskytu potápníka *Potamonectes canaliculatus* v průběhu celého pokusu na substrátu světlý písek/světlé listí. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



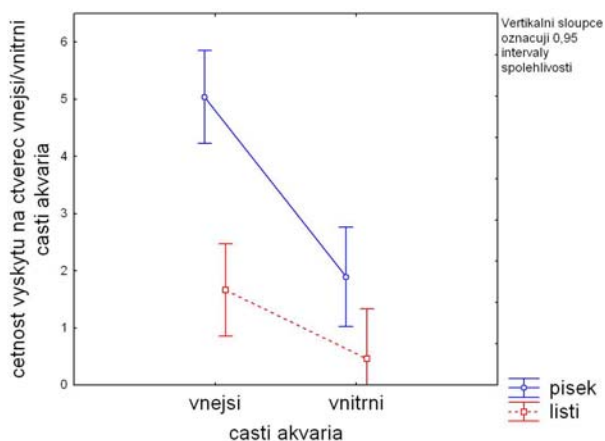
Obrázek 15: Četnost výskytu potápníka *Potamonectes canaliculatus* v průběhu celého pokusu na substrátu světlý písek/tmavé listí. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



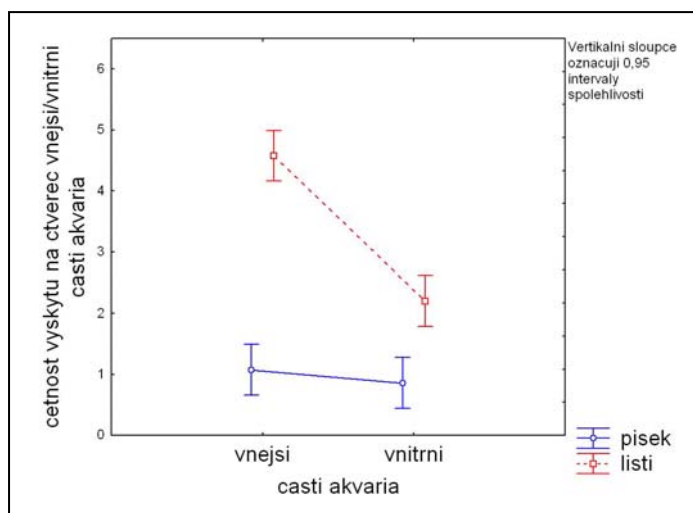
Obrázek 16: Četnost výskytu potápníka *Ilybius subtilis* v průběhu celého pokusu na přirozeném substrátu. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



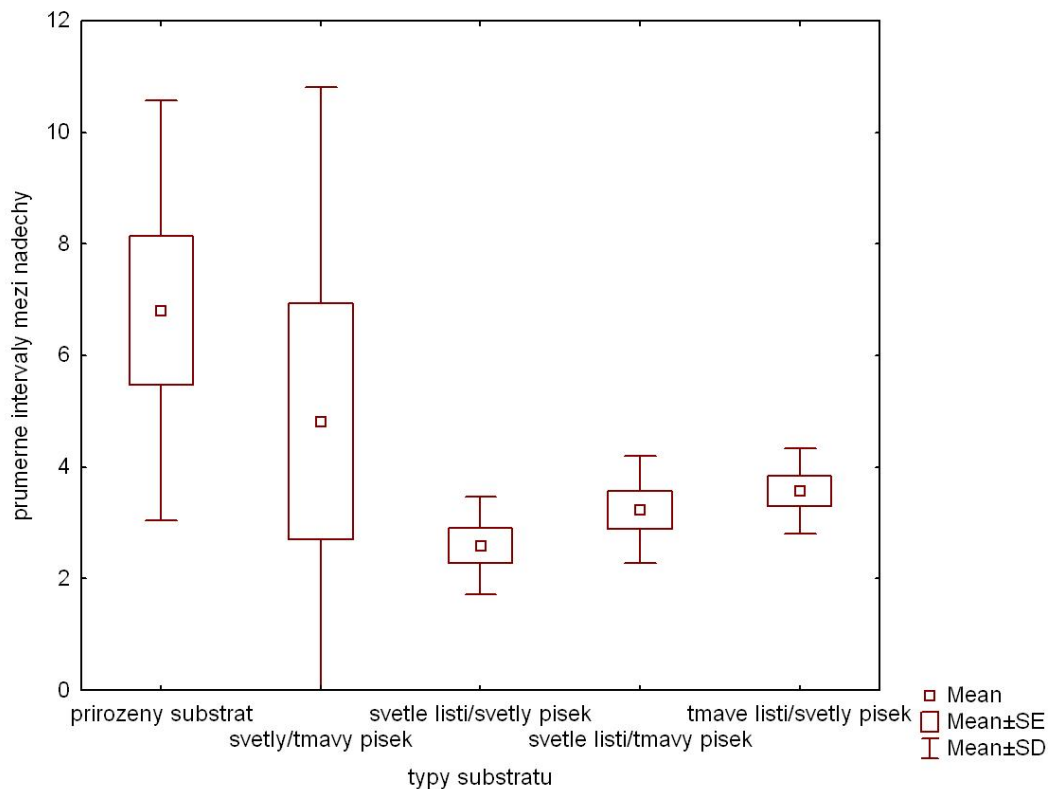
Obrázek 17: Četnost výskytu potápníka *Ilybius subtilis* v průběhu celého pokusu na substrátu tmavé listí/světlý písek. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



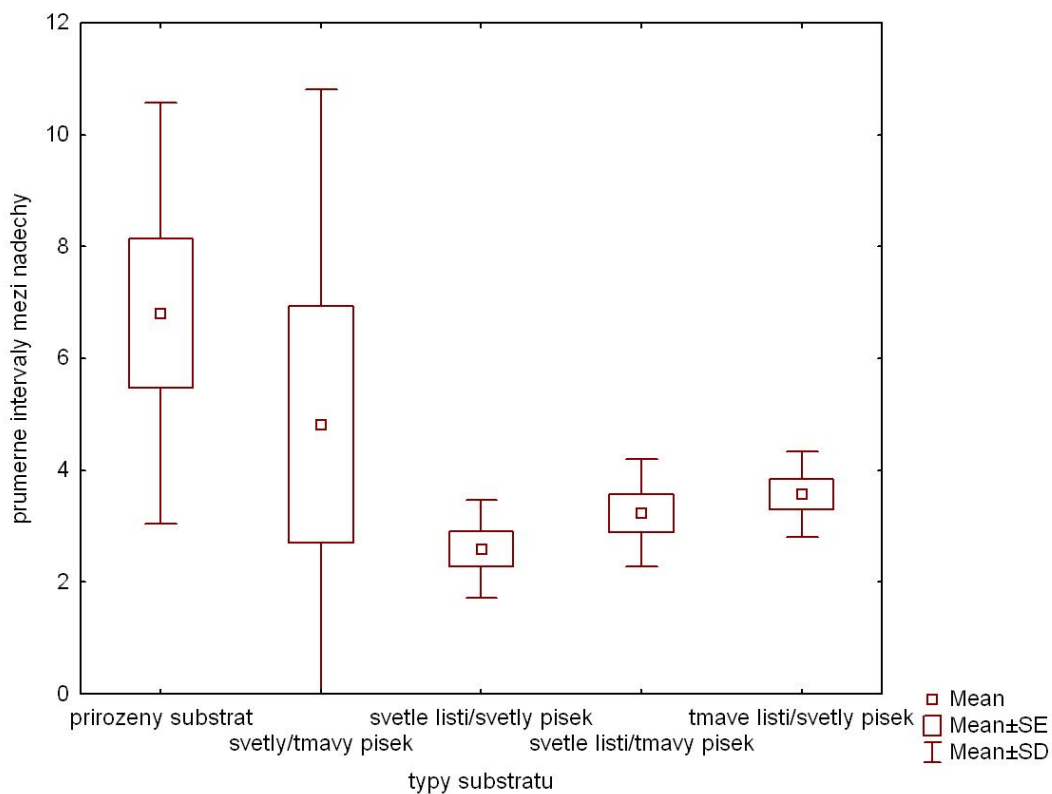
Obrázek 18: Četnost výskytu potápníka *Ilybius subtilis* v průběhu celého pokusu na substrátu tmavý písek/světlé listí. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



Obrázek 19: Četnost výskytu potápníka *Ilybius subtilis* v průběhu celého pokusu na substrátu tmavý písek/tmavé listí. Celkem 81 záznamů výskytu na 36 čtvercích (16 vnitřních a 20 vnějších).



Obrázek 20: Intervaly mezi nádechů na všech kombinacích substrátu potápníka *Potamonectes canaliculatus*.



Obrázek 21: Intervaly mezi nádechů na všech kombinacích substrátu potápníka *Ilybius subtilis*.