



## **Středoškolská technika 2016**

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

# **Morfologie raků v České republice: mezidruhové rozdíly v polygonech klepet a karapaxů**

**Milada Peřinová**

Gymnázium Blovice

Družstevní 650, 33613 Blovice

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především konzultantovi RNDr. Pavlu Vlachovi, Ph.D. za odborné vedení práce, ať již v terénu nebo při vlastním zpracování práce a její korekce věcné i stylistické. Dále děkuji spolužákovi Vojtěchu Vurmovi za vytvoření animací růstu klepet a karapaxů v programu Macromedia Flash 8.

## **Abstrakt**

Práce přináší komplexní popis délek a úhlů na karapaxu a klepetech pěti druhů raků v ČR a vzájemně je srovnává. Lineární regresí byly vypočteny vztahy mezi délkami a úhly na klepetu a karapaxu (dále rozměry) a délkou karapaxu. Tak bylo možné postihnout změny těchto rozměrů v závislosti na délce karapaxu (tj. změny v průběhu ontogeneze raků). Z těchto vztahů byla vytvořena série obrázků (a animace) popisující jednak specifický tvar klepeta a karapaxu každého z druhů a jednak jejich ontogenetické změny. Redundantní analýzou byl vybrán soubor rozměrů, který přesvědčivě dokumentuje morfologické rozdíly mezi sledovanými druhy.

## **Klíčová slova:**

rak kamenáč, rak říční, rak bahenní, rak signální, rak pruhovaný, morfologie, karapax, klepeto

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	3
Rak říční .....	3
Rak kamenáč .....	4
Rak bahenní.....	5
Rak signální.....	6
Rak pruhovaný .....	7
<b>Materiál a metody</b> .....	10
Statistické analýzy .....	11
<b>Výsledky</b> .....	13
Porovnání délkové struktury hodnocených vzorků raků .....	13
Porovnání karapaxů.....	14
Relativní délky na karapaxu samic .....	14
Relativní délky na karapaxu samců .....	16
Úhly na karapaxu samic .....	17
Úhly na karapaxu samců .....	19
Porovnání klepet.....	19
Relativní délky na klepetu samic .....	19
Relativní délky na klepetu samců .....	22
Úhly na klepetu samic .....	24
Úhly na klepetu samců .....	25
Hodnocení vztahu relativních délek a úhlů ve vztahu k délce karapaxu .....	27
Alometrie u samic .....	28
Alometrie u samců.....	28
Celkové rozdíly mezi jednotlivými druhy raků.....	29
Rozdíly mezi samicemi .....	30
Rozdíly mezi samci .....	31
<b>Diskuze a závěr</b> .....	32
Hodnocení tvaru karapaxů.....	34
Samice .....	34
Samci .....	35
Hodnocení tvaru klepet .....	36
<b>Seznam použité literatury</b> .....	39

## Úvod

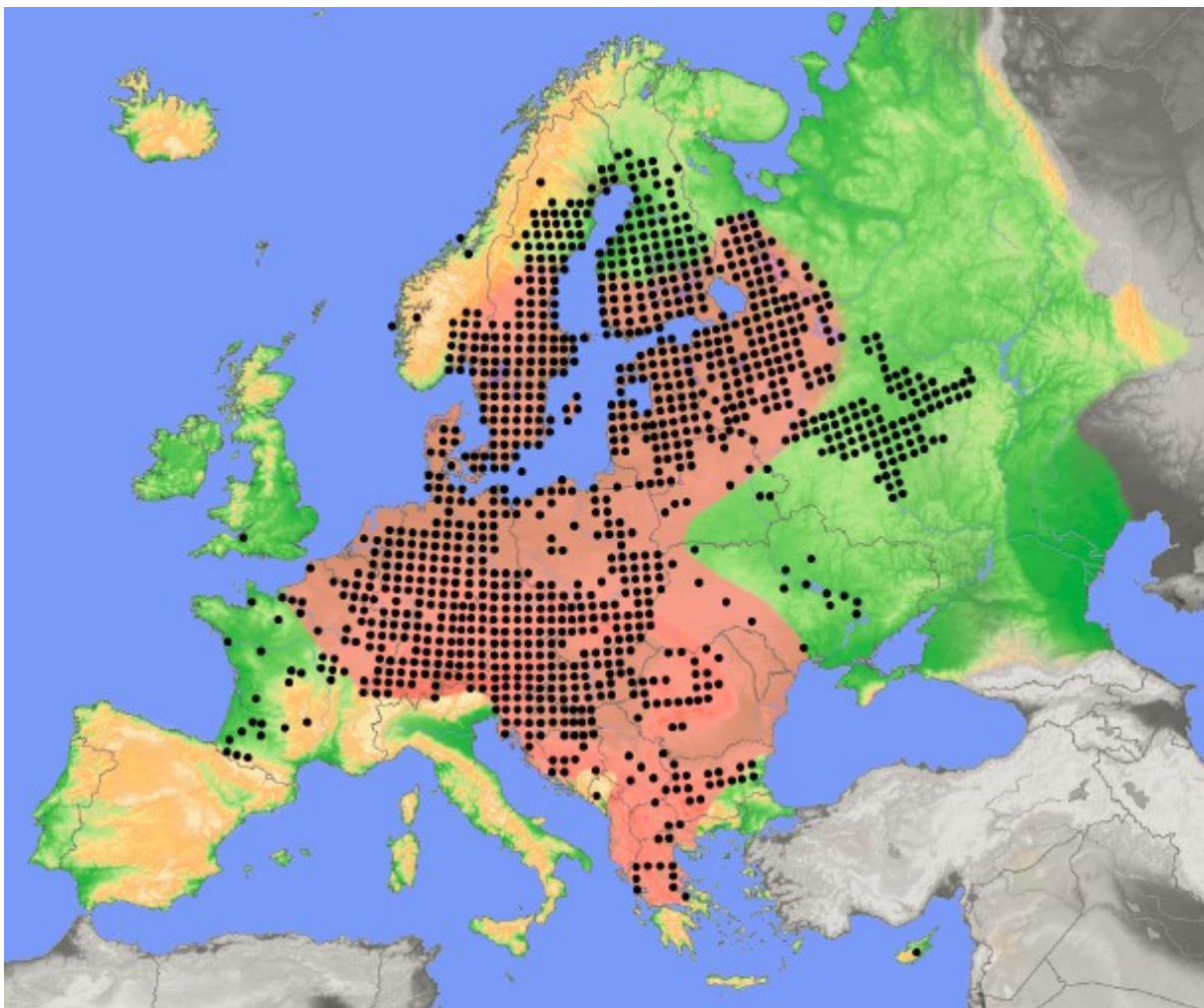
V naší zemi raci vždy patřili k organismům běžně obývajícím vodní toky, avšak jejich populace byly oslabovány ať už postupným znečišťováním vody, úpravami vodních toků např. kvůli povodním, anebo račím morem, který evropské raky ohrožuje již od 19. století (Kozák et al., 2014; Štambergová et al., 2009).

U nás jsou původními druhy rak říční (*Astacus astacus*) a rak kamenáč (*Austropotamobius torrentinum*). Račí mor, zavlečený zřejmě v polovině 19. století, zdevastoval velkou část populací původních druhů raků (Kouba et al., 2014). Proto byly provedeny pokusy o introdukci raka bahenního (*Astacus leptodactylus*), a to za účelem nahrazení původních druhů. Záhy se však ukázalo, že tento druh je na račí mor stejně citlivý, a tak byly v Evropě vysazeny severoamerické druhy – rak signální (*Pacifastacus leniusculus*) a rak pruhovaný (*Orconectes limosus*), které byly vůči račímu moru rezistentní. To, že jsou také jeho přenašeči, nebylo v době vysazení známo (Brewis, 1981; Kozák et al., 2013; Štambergová et al., 2009).

### Rak říční

Rak říční dorůstá do velikosti až 15 cm a hmotnosti 250 gramů. Zbarvení raka říčního je převážně tmavohnědé se světlejším, nejčastěji béžovým zbarvením bříška (Kozák et al., 2013). Modré zbarvení raka je vzácnější. Hlavohruď (carapax, cephalothorax) raka říčního nenese žádné výrazné trny (Kozák et al., 2013). U některých, především u rybníčních populací, se však objevuje po stranách karapaxu jeden dopředu směřující trn (Pavel Vlach, in verb). Na přední části je středně dlouhé rostrum. Nad týlní brázdou jsou dvě postorbitální lišty, jež patří k hlavním určujícím znakům. Klepeta mají zpravidla stejnou barvu jako tělo, avšak v kloubu obou prstů je charakteristické červené až ohnivě oranžové zbarvení. Prsty jsou od sebe vzdáleny mírnou mezerou. Klepeta samců jsou mnohem větší než u samic. Tomuto druhu nejvíce vyhovují chladnější potoky s kamenitým dnem a jílovitými břehy, ve kterých si raci hloubí nory. Běžně se však také vyskytuje ve stojatých vodách, rybnících, i nádržích. Na dně se ukrývají pod většími kameny, anebo v kořenovém systému stromů rostoucích na březích – nejčastěji olše a vrby, často si také hloubí nory v jílovitých březích (Kozák et al., 2013).

Rak říční se vyskytuje převážně ve střední a severní Evropě (viz obr. 1), můžeme ho také však nalézt na Balkánském poloostrově. Z původních oblastí se rozšířil i do Francie, Ukrajiny, Ruska a Finska (Kouba et al., 2014).



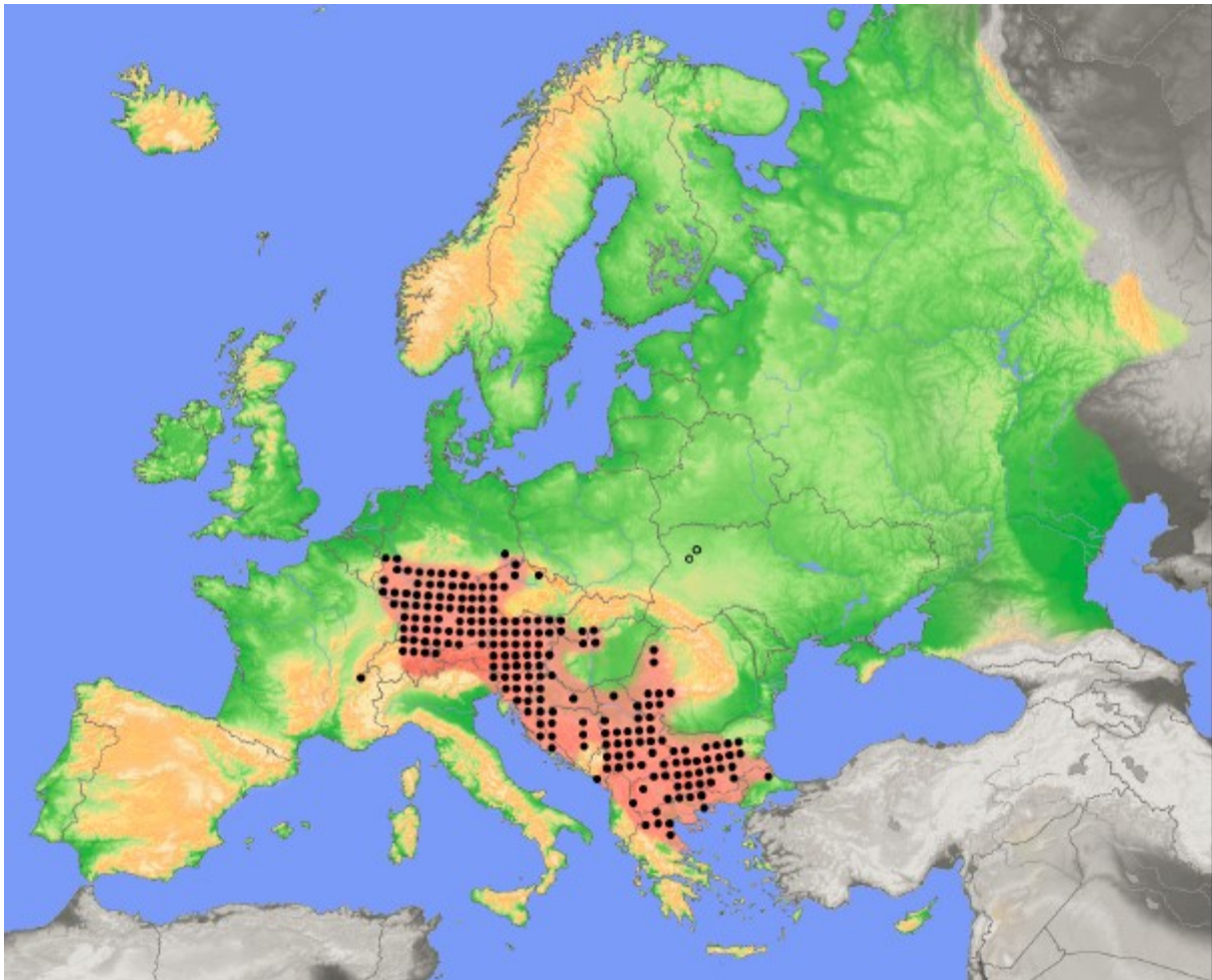
**Obr. 1** Výskyt raka říčního, původní oblasti jsou červeně zvýrazněné (Kouba et al., 2014)

### **Rak kamenáč**

Samci raka kamenáče dorůstají délky přibližně 8–10 cm, samice jsou menšího vzrůstu. Zbarvení bývá hnědé, tmavě zelené, přičemž spodní strana je světlejší. Rostrum je krátké a nad týlní brázdou je jeden pár orbitálních lišt, které jsou pro tento druh velmi charakteristické. Klepeta u samců jsou mnohem větší a robustnější než u samic. Zvláště u zdravých samců jsou silně hrbokatá se dvěma výraznými zuby, mezi nimiž je mírná mezera. Vnitřní strana obou prstů je pilovitá. Kloub klepet je obvykle červené barvy. Tento druh se vyskytuje nejčastěji v malých potocích a říčkách a kamenitým dnem, ve kterém si hledá úkryty. Znečištění těchto toků hospodářskou a jinou činností má na populaci raka kamenáče negativní vliv (Kozák et al., 2013; Streissl and Hödl, 2002).

Rak kamenáč se vyskytuje ve státech střední a jihovýchodní Evropy v povodí Dunaje a také Labe (viz obr. 2), např. v Německu, Rakousku, Maďarsku, ale i Řecku a Turecku (Kouba et al.,

2014). U nás byl ještě před 15 lety tento druh považován za téměř vyhynulý (Kozák et al., 2013), dnes je jeho výskyt potvrzen na více než 40 lokalitách (Vlach et al., 2009).



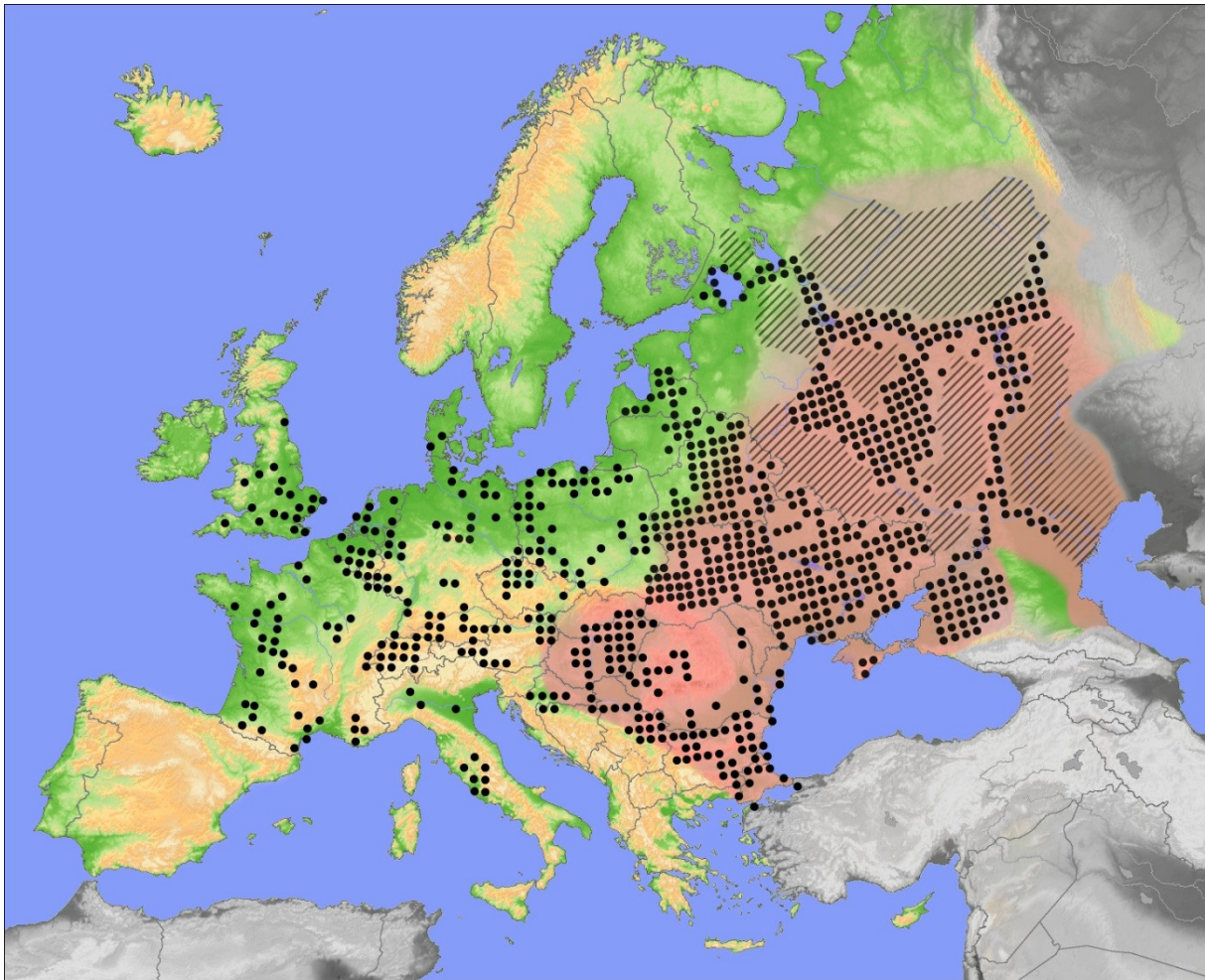
**Obr. 2** Výskyt raka kamenáče, původní oblasti jsou červeně zvýrazněné (Kouba et al., 2014)

### **Rak bahenní**

Rak bahenní patří k velkým druhům raků. Samci obvykle dorůstají do délky 15 cm, samice bývají menší. Barva těla se pohybuje od olivově zelené, hnědé, zeleno hnědé až tmavé hnědé. Na těle se může vyskytnout i černě/tmavohnědě skvrnitě zbarvení – včetně klepet. Karapax je poměrně úzký a štíhlý a nese spoustu trnů a hrbolků. Jeho tloušťka je mnohem tenčí než u ostatních druhů a při sběru hrozí snadné promáčknutí krunýře. Dlouhé rostrum má výraznou a ostrou špičku. Klepeta jsou velmi dlouhá a štíhlá. Mají zpravidla stejné zbarvení jako tělo, zespodu jsou světle žlutá a hrany nabývají růžového až červeného zbarvení (Kozák et al., 2013).

Tento rak dobře snáší bahnitě dno (nevadí mu organické zatížení), a tak ho lze nalézt i v rybnících, zatopených lomech, stojatých vodách, odkalištích a jezírkách. Rak bahenní se

vyskytuje téměř po celé Evropě kromě Pyrenejského poloostrova, Balkánského poloostrova a Skandinávie (Kouba et al., 2014), na řadě území byl však vysazen (viz obr. 3).



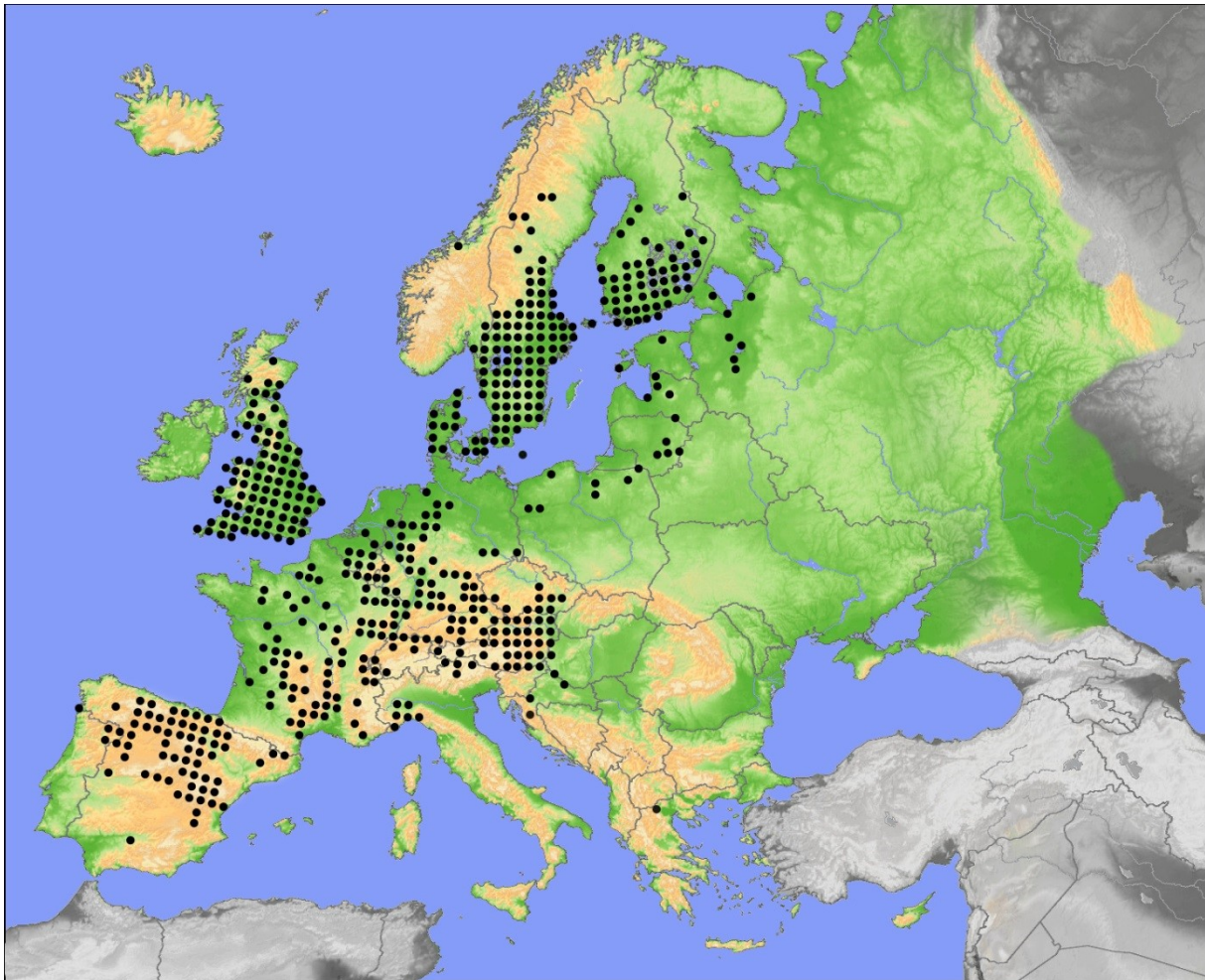
**Obr. 3** Výskyt raka bahenního, původní oblasti jsou červeně zvýrazněné (Kouba et al., 2014)

### **Rak signální**

Rak signální patří mezi větší druhy raků, neboť dorůstá do délky až 16 cm. Samice jsou menší než samci. Tělo může být zbarvené hnědě, hnědočerveně až tmavohnědě. Karapax je mohutný a bez trnů. Středně dlouhé rostrum nemá žádné hrbolky, postorbitální lišty jsou přítomny ve dvou párech. Klepeta jsou hladká a mohutná, jejich spodní strana je rudá a na svrchní straně kloubu se nachází bílá až světle modrá skvrna.

Původem severoamerický druh začal být vysazován do přírody za účelem nahrazení raka říčního, s nímž si je nejvíce podoben. To, že je přenašečem račího moru, bylo objeveno až později po jeho vysazení. Šíří se velmi rychle (samička může mít i 500 vajíček) a s ním i nákaza (Kozák et al., 2013). Rak signální se v současnosti vyskytuje na v západní a střední Evropě (viz obr. 4),

na Pyrenejském poloostrově, Britských ostrovech, Skandinávii, Pobaltí, ale byl zjištěn i v severní části Balkánského poloostrova a v Řecku (Kouba et al., 2014).



**Obr. 4** Výskyt raka signálního v Evropě (Kouba et al., 2014)

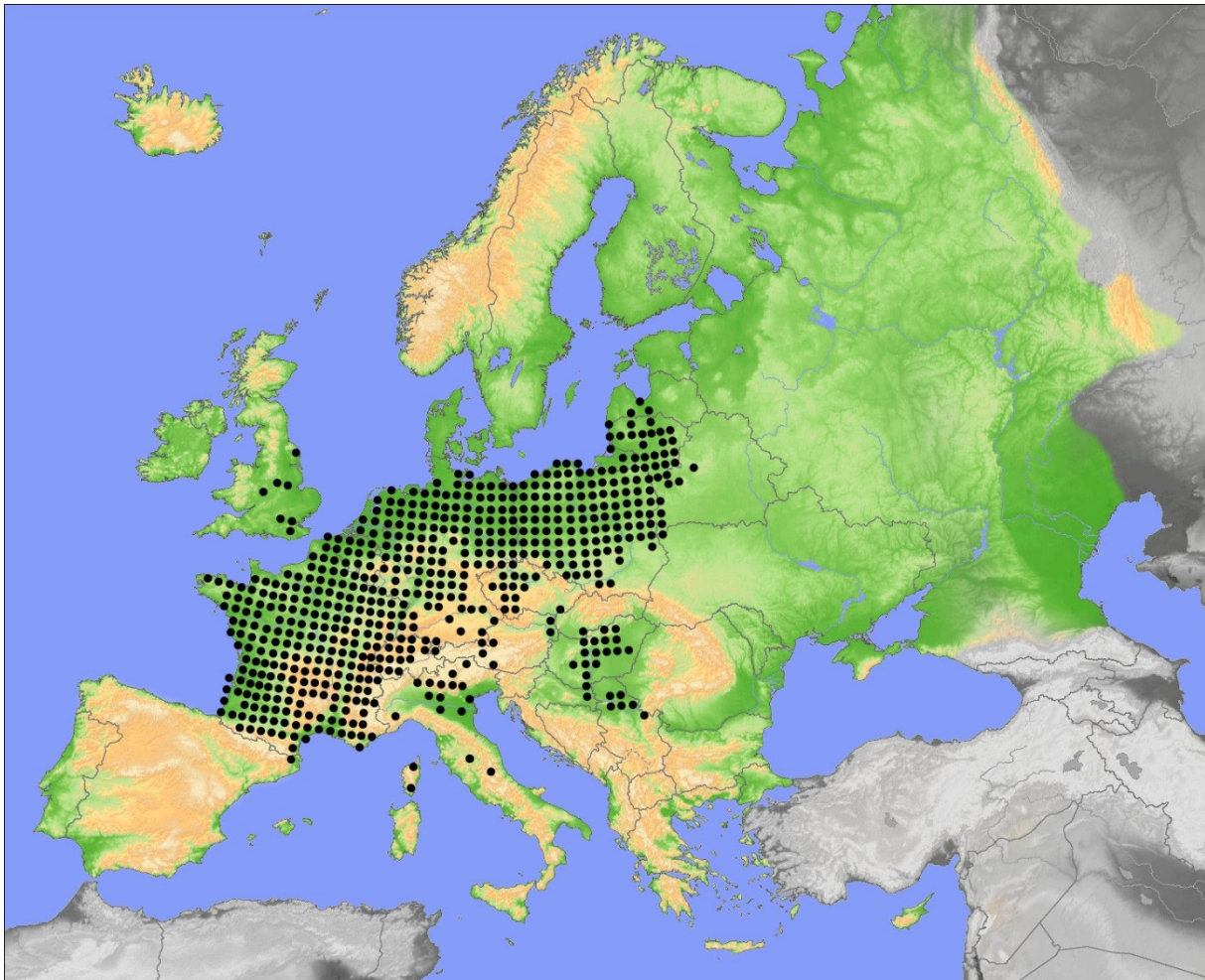
### **Rak pruhovaný**

Rak pruhovaný patří k malým druhům raků. Jeho obvyklá délka dosahuje 9–10 cm. Zbarvení druhu se pohybuje od olivově zelené až hnědé, přičemž na člancích abdomenu jsou červené proužky. Hlavohruď je štíhlá a úzká, před týlní brázdou jsou patrné výrazné ostny. Přítomen je jeden pár postorbitálních lišt. Rostrum je dlouhé s ostrými trny. Rak má malá hladká klepeta, která jsou stejně zbarvena jako tělo, zespodu jsou světle žlutá a končí ostrými zahnutými špičkami (Kozák et al., 2013).

Vyskytuje se především v řekách a stojatých vodách, jako jsou např. rybníky. V menších tocích se příliš nevyskytuje. Vyhovuje mu měkké dno, do kterého se může zahrabat. Jako druh je velmi odolný, dokáže snést velké organické i chemické znečištění a vysoušení toku (Kozák et al.,



2013). Rak pruhovaný se vyskytuje v celé západní Evropě, ale můžeme ho také nalézt i v Maďarsku, na Balkáně nebo v Itálii (Kouba et al., 2014).



**Obr. 5** Výskyt raka pruhovaného v Evropě (Kouba et al., 2014)

Morfologií raků se zabývá celá řada prací. Morfologie raka říčního je vzhledem k jeho významu zpracována asi nejpodrobněji (Huner, 1994; Papadopol and Diaconu, 1987; Sint et al., 2005; Westin and Gydemo, 1995). Nepočteně je hodnocena morfologie raka kamenáče (Kozák et al., 2002; Streissl and Hödl, 2002; Vlach and Valdmanová, 2015) nebo raka bahenního (Deniz (Bök) et al., 2013; Deniz et al., 2010). Hodnocena je i morfologie invazních druhů raků, např. raka pruhovaného (Buřič et al., 2010; Endrizzi et al., 2013; Chybowski, 2007) nebo raka signálního (Chybowski, 2014).

Kromě popisné morfologie si řada prací všímá, že rozměry (morfologie) raků se mění i s jejich věkem (Bertocchi et al., 2008; Streissl and Hödl, 2002). To je jsou zapříčiněno tím, že relativní velikost určitého rozměru se s věkem jedince mění. Tento jev se nazývá alometrie (Gayon,

2000). Existují dva koncepční rámce alometrie (Klingenberg, 1998). První byl definován Huxleym a Teissierem (Gayon, 2000). Další úhel pohledu vyjadřuje alometrii jako změny v rozměrech a tvarech mezi mladými a dospělými jedinci (Klingenberg, 1998).

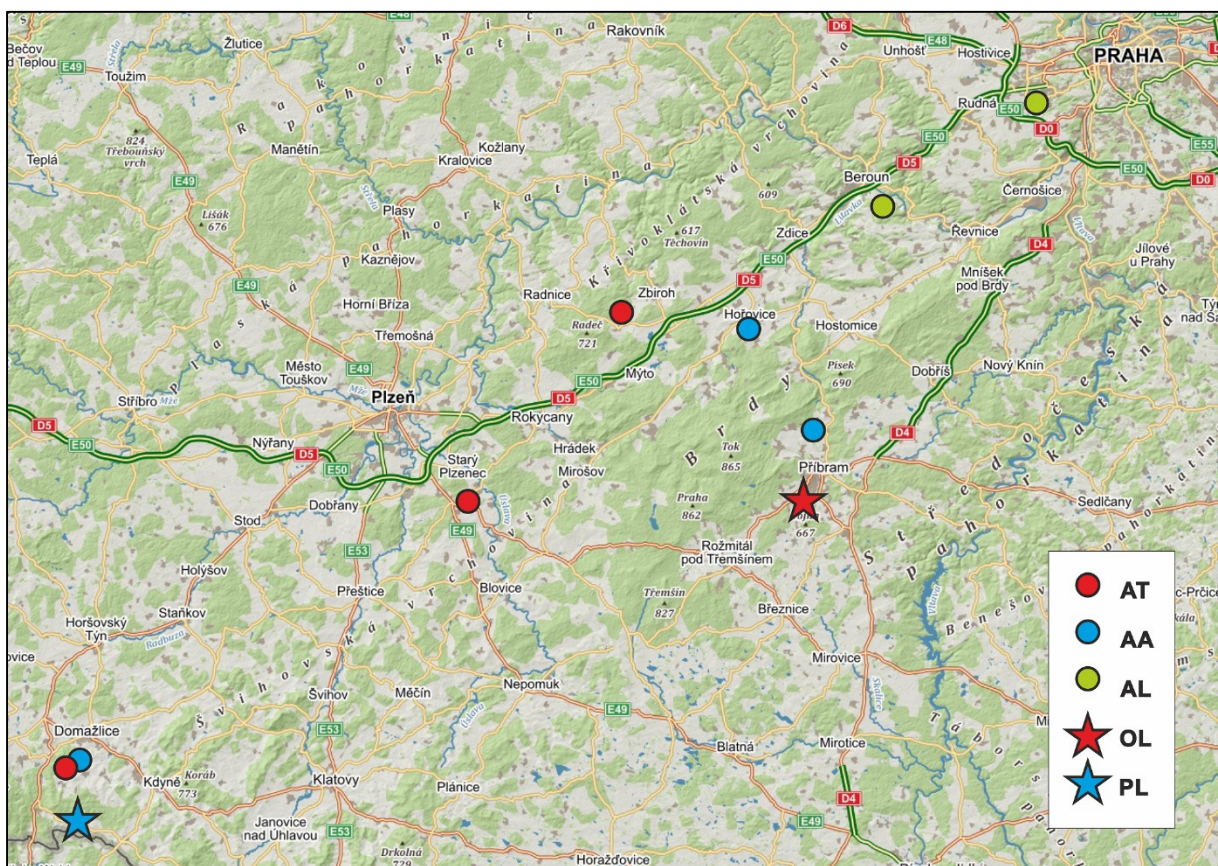
V morfologii sledovaných druhů je řada rozdílů, ty velmi často slovně popisují obecná astakologická knižní díla (Kozák et al., 2014; Souty-Grosset et al., 2006; Štambergová et al., 2009) slovně: rak kamenáč má „robustní“, rak bahenní klepeta „štíhlá“, rak pruhovaný „pinzetovitá“. V řadě těchto popisů je však mnoho subjektivity a příslušné rozměry, na jejichž základě tyto popisy vznikají, jsou pro jednotlivé druhy nekvantifikované.

*Cílem práce je tedy analyzovat naměřené délky a úhly na karapaxu a klepetech jednotlivých druhů tak, aby bylo možné zjistit, v kterých těchto parametrech se druhy nejvíce liší. Tyto nalezené znaky potom mohou sloužit i k přesnému popisu morfologie jednotlivých druhů raků.*

## Materiál a metody

V této práci byly analyzovány všechny druhy raků vyskytující se v České republice tj. rak říční, rak kamenáč, rak bahenní, rak pruhovaný a rak signální.

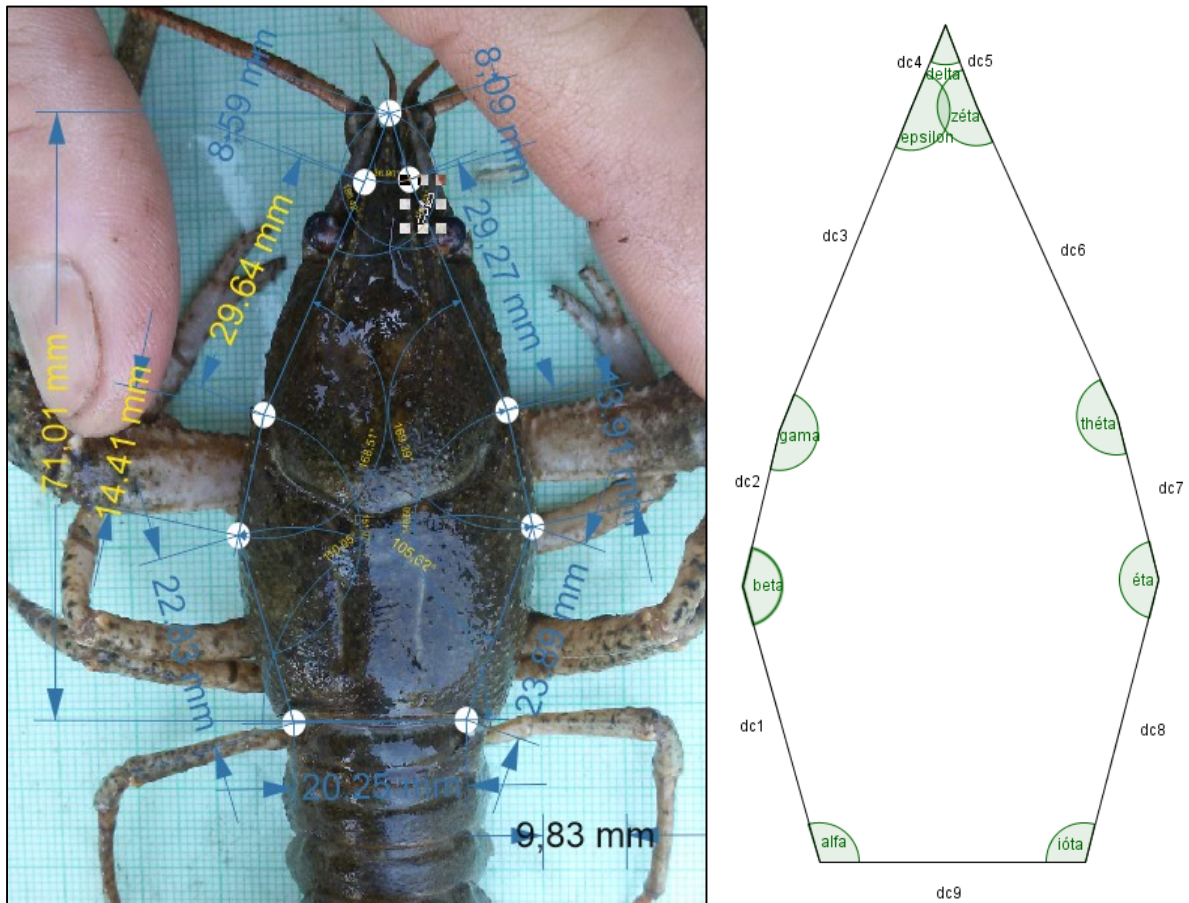
Odchyt raků byl proveden převážně ručně s pomocí ruční sítky. Celkem bylo nasbíráno 52 jedinců raka bahenního (lokalita Praha – Řeporyje, lom Kosov u Berouna), 73 jedinců raka kamenáče (Kublovský potok, Bzovský potok a Zubřina), 13 jedinců raka pruhovaného (Skalice – Vysoká Pec), 55 jedinců raka říčního (Obecnický potok, Zubřina) a 18 jedinců raka signálního (Kouba a Liščí potok).



**Obr. 7** Mapa ČR s označením lokalit, které byly použity pro analýzy (AL – rak bahenní, AA – rak říční, AT – rak kamenáč, OL – rak pruhovaný, PL – rak signální)

U každého jedince bylo určeno pohlaví, dále byla změřena jeho délka (Total Length) pomocí pravítka od špičky rostra po telson. Na milimetrovém papíře byl vyfocen karapax a pravé nebo (v případě absence nebo regenerátu) i levé klepeto. Všichni jedinci byli vypuštěni zpět na místo, kde byli nalezeni, kromě zástupců invazních druhů, kteří byli zlikvidováni v zájmu ochrany před račím morem.

Pořízené fotografie byly importovány do programu Corel Draw X6. Karapaxy jednotlivých jedinců byly převedeny na devítiúhelníky. Všechny strany a úhly byly změřeny (viz obr. 8) a převedeny do tabulky v tabulkovém procesoru. Analogicky byla klepeta převedena na osmiúhelníky. Také všechny délky i úhly v klepetu byly změřeny a přeneseny do tabulky (viz obr. 9).

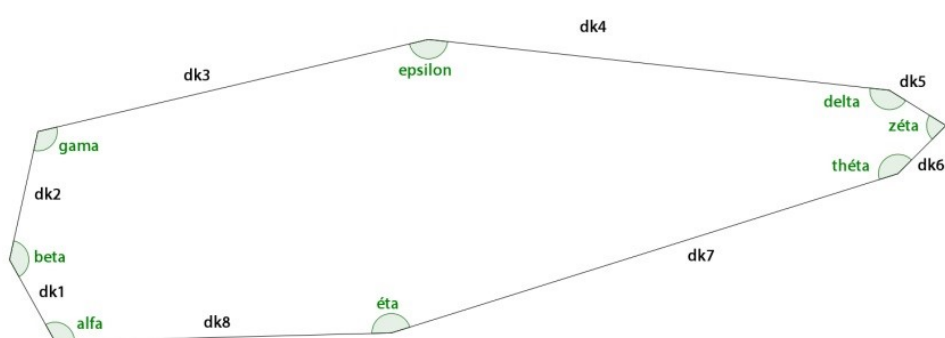
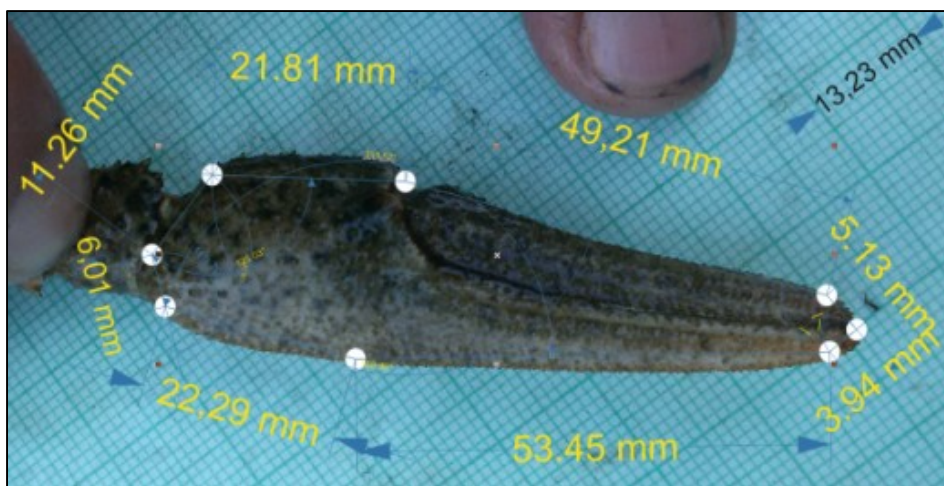


**Obr. 8** Schéma měření údajů na karapaxu zpracováním fotografií v programu Corel Draw X6

Dále byly analyzovány všechny délky v klepetu a délky *dc1–dc4* a *dc9* (a příslušné úhly) v karapaxech. Analogické délky a úhly na protilehlé straně karapaxu byly kvůli zřejmé symetrii z dalších analýz vypuštěny. Délky byly zpracovávány ve své relativní podobě, tedy vztahené k délce karapaxu každého jedince. Úhly byly zpracovávány ve svých absolutních hodnotách.

### Statistické analýzy

Všechna data byla vložena do tabulkového procesoru a dále hodnocena zvlášť pro samce a samice.



**Obr. 9** Měření v programu Corel Draw X6 (klepeto)

Nejprve byly vypočteny základní popisné charakteristiky pro všechny délky těly analyzovaných raků, stejně jako všechny naměřené hodnoty délek a úhlů pro jednotlivé druhy (průměr, dále jen  $\bar{x}$ ), minimum a maximum a směrodatná odchylka (dále jen SD).

Analyzované rozměry měly ze své podstaty normální rozdělení; to bylo navíc testováno Kolmogorov–Smirnovovým testem. V další fázi byly analýzou rozptylu (ANOVA) posuzovány rozdíly v daných rozměrech (délkách a úhlech) mezi jednotlivými druhy raků: konkrétně to byly celkové délky raků, délky a úhly karapaxů (*dc1–dc4*; *alfa–delta*) a všechny naměřené rozměry na klepetech. Analýzou rozptylu bylo možné zjistit rozdíly v jednotlivých rozměrech mezi hodnocenými druhy.

Dále byly hodnoty sledovaných znaků (relativní délky a absolutní úhly) vyneseny oproti délce karapaxu a byly hodnoceny lineární regresí; bylo sledováno, zda relativní velikost daného znaku (délky nebo úhlu) se mění se změnou velikosti raka (tzv. alometrie). Významnost byla testována t–testem (test směrnice vypočtené rovnice). Z vypočtených regresních rovnic byly

potom vypočteny „průměrné“ hodnoty daného znaku pro každý druh pro jedince s délkou karapaxu 10–60 mm. Výsledné rozměry byly zpracovány v programu GeoGebra do nákresů, které po vzájemném překrytí znázorňují postupný růst karapaxu a klepeta. Z těchto nákresů byly posléze vytvořeny animace v programu Macromedia Flash.

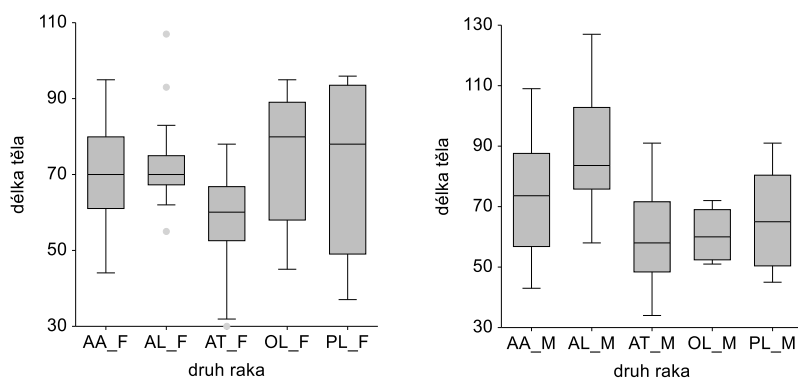
Poslední analýzou byla ordinační analýza (RDA – redundantní analýza). Tato analýza byla provedena ve snaze zjistit takovou sestavu sledovaných znaků, které jednotlivé druhy nejvíce odlišují a na základě této analýzy tyto znaky popsat. Metodou *forward selection* byla nalezena sestava znaků, které měly na výsledný model signifikantní vliv. Vliv každého parametru byl hodnocen ANOVOU (F). Celková signifikance modelu se testovala 499 permutacemi.

Všechny analýzy (kromě RDA) byly provedeny ve statistickém balíku NCSS 9.0. RDA byla provedena v programu Canoco 4.5 a její vizualizace v programu CanoDraw 4.0. Všechny analýzy byly provedeny na 0,5% hladině významnosti ( $P < 0,05$ ).

## Výsledky

### Porovnání délkové struktury hodnocených vzorků raků

Délková struktura všech samic se výrazně lišila (ANOVA,  $F=5,75$ ;  $P < 0,001$ ). Délky těla se u raka bahenního pohybovaly v rozmezí 55 až 107 ( $\bar{x}=72,6$ ;  $SD=9,863$ ) mm. Tato délka byla zároveň největší ze všech samic všech druhů. Podobné velikosti dosáhly i samice raka říčního, které v průměru dosáhly délky 69,4 (44–95;  $SD=12,65$ ), raka signálního ( $\bar{x} = 71,6$ ; 37–96;  $SD=22,6$  mm) i raka pruhovaného ( $\bar{x}=73,1$ ; 45–95;  $SD=19$  mm). Všechny tyto druhy byly delší (Tukey–Kramer test,  $P < 0,05$ ) než samice raka kamenáče. Délky se u tohoto druhu pohybovaly mezi 30–78 ( $\bar{x}=58,6$ ;  $SD=11,87$ ) mm. Délková struktura samic je patrná na obr. 10.



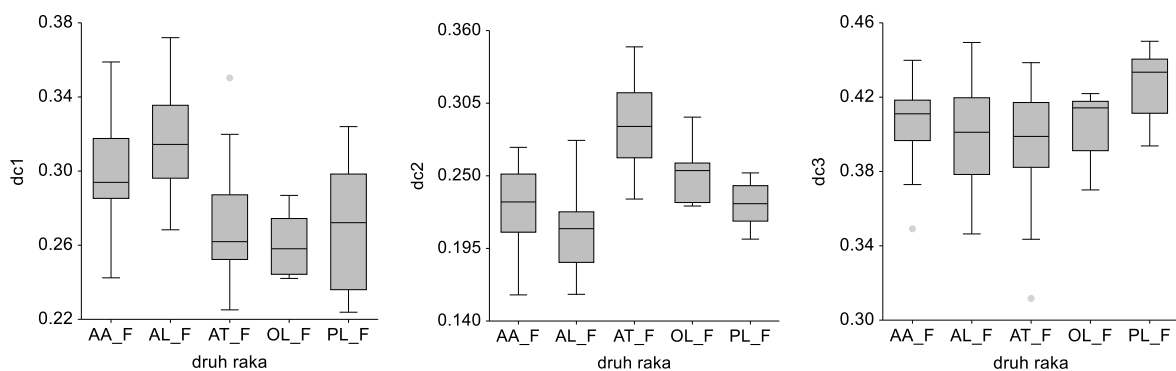
**Obr. 10** Délková struktura analyzovaného vzorku samic (vlevo) a samců (vpravo) raků

Také délková struktura samců se výrazně lišila (ANOVA,  $F=11,09$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního se délky pohybovaly v průměru 88,4 (58–127;  $SD=18,8$ ) mm. Rak bahenní byl větší než ostatní druhy raků (Tukey–Kramer test,  $P<0,05$ ). U samců raka říčního se délky pohybovaly v průměru 72,6 (43–109;  $SD=19,5$ ) mm. Rak říční byl signifikantně větší než rak kamenáč. Samci raka signálního dosáhli průměrné délky 67,1 (45–91;  $SD=16,04$ ) mm. U raka kamenáče dosahovaly délky v průměru 59,2 (34–91;  $SD=14,6$ ) mm, u podobně velkého raka pruhovaného pak 60,7 (51–72;  $SD=8,3$ ).

## Porovnání karapaxů

### Relativní délky na karapaxu samic

Relativní délka *dc1* (ve vztahu k délce karapaxu) se u jednotlivých druhů raků významně lišila (ANOVA;  $F= 17,63$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního se pohybovala v rozmezí od 0,268 – 0,372 ( $\bar{x}=0,315$ ;  $SD=0,026$ ). Podobné hodnoty dosahovala relativní délka *dc1* u raka říčního ( $\bar{x}=0,299$ ; 0,242–0,359;  $SD=0,026$ ). U obou druhů byla relativní délka *dc1* větší než u zbývajících třech druhů raků. U raka signálního dosáhla délka průměrné hodnoty 0,27 (0,223–0,324;  $SD=0,035$ ), u raka pruhovaného s 0,26 (0,242–0,287;  $SD=0,017$ ) a u raka kamenáče 0,267 (0,225–0,35;  $SD=0,0267$ ).



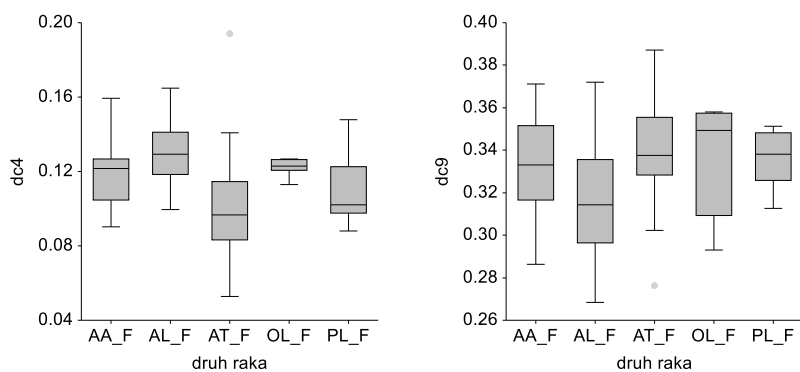
**Obr. 11** Rozdíly v délkách *dc1* (vlevo), *dc2* (uprostřed) a *dc3* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Také relativní délka *dc2* se při srovnání samic jednotlivých druhů signifikantně lišily (ANOVA,  $F=40,84$ ;  $P<0,001$ ). Největších hodnot, signifikantně vyšších než u ostatních druhů (Tukey, Kramer test,  $P<0,05$ ), dosáhla tato délka u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,289$ ; 0,232–0,348;  $SD=0,03$ ). U raka pruhovaného se relativní délka *dc2* pohybovala v průměru kolem 0,253 (0,227–0,294;

SD=0,022), u raka signálního 0,228 (0,202–0,252; SD=0,017), podobně u raka říčního 0,226 (0,16–0,271; SD=0,030). Výrazně nejnižších relativních hodnot dosáhla tato délka u raka bahenního, když se v průměru pohybovala pouze kolem 0,206 (0,16–0,277; SD=0,026).

Také relativní hodnoty *dc3* se při srovnání samic jednotlivých druhů lišily (ANOVA; F=3,31; P=0,13). Nejvyšších hodnot dosáhla tato délka u raka signálního, v průměru 0,426 (0,394–0,45; SD=0,018). Velmi podobné hodnoty měla *dc3* u raka říčního ( $\bar{x}$ =0,406; 0,349–0,44; SD=0,020) a raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,406; 0,37–0,422; SD=0,019). Nejmenší, signifikantně nižší než u raka signálního, byla *dc3* u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,394; 0,312–0,438; SD=0,029) a raka bahenního 0,399 (0,346–0,449; SD=0,026).

Signifikantně se při porovnání samic jednotlivých druhů lišily i relativní hodnoty délky *dc4* (ANOVA; F=11,49; P<0,001). Nejvyšších hodnot dosáhla u raka bahenního ( $\bar{x}$ =0,131; 0,01–0,165; SD=0,017), raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,122; 0,113–0,127; SD=0,005) a raka říčního ( $\bar{x}$ =0,118; 0,09–0,159; SD=0,016). Nižší hodnoty měla *dc4* u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,11; 0,88–0,148; SD=0,018) a především u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,099; 0,053–0,194; SD=0,026). *Dc4* u tohoto druhu raka bylo signifikantně nižší než u ostatních druhů (Tukey–Kramerův test, P<0,05).



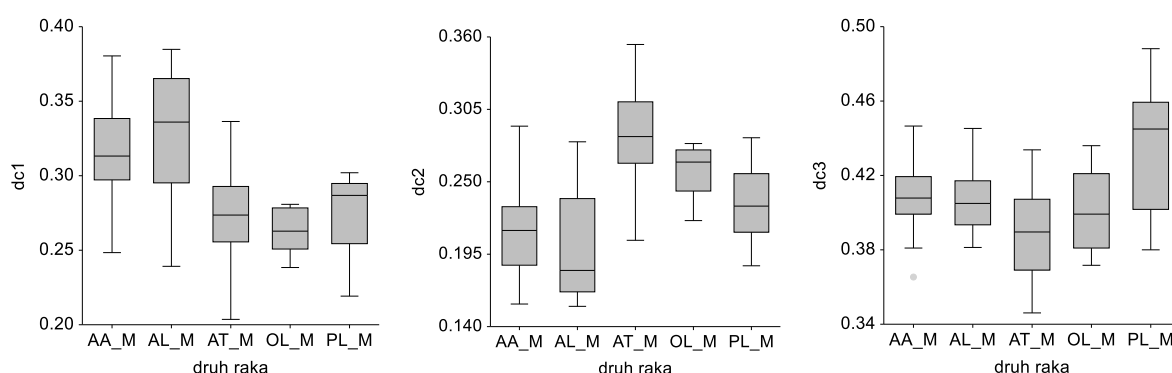
**Obr. 12** Rozdíly v délkách *dc4* (vlevo) a *dc9* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Mezidruhově se významně lišily i relativní délky *dc9* (ANOVA; F=4,95; P=0,001). Podobných hodnot dosáhla *dc9* u samic raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,34; 0,276–0,387; SD=0,023), raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,335; 0,293–0,358; SD=0,026), raka signálního ( $\bar{x}$ =0,336; 0,312–0,351; SD=0,013) i raka říčního ( $\bar{x}$ =0,332; 0,286–0,371; SD=0,023). Významně nižších hodnot (Tukey–Kramerův test, P=0,001) dosáhla *dc9* u raka bahenního ( $\bar{x}$ =0,315cm; 0,268–0,372cm; SD=0,026).



### Relativní délky na karapaxu samců

Relativní délky *dc1* (ve vztahu k délce karapaxu) se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=17,29$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního byla naměřena největší hodnota ze všech druhů 0,239–0,385, *dc1* se pohybovala v průměru 0,332 (SD=0,397). Podobné hodnoty dosáhla relativní délka *dc1* u raka říčního ( $\bar{x}=0,316$ ; 0,248–0,38; SD=0,032). U obou druhů byla relativní délka *dc1* větší než u zbývajících třech druhů raků (Tukey–Kramerův test;  $P<0,001$ ). U raka kamenáče dosáhla relativní délka *dc1* hodnoty v průměru 0,275 (0,204–0,336; SD=0,027), u raka pruhovaného v průměru 0,263 (0,238–0,28; SD= 0,016) a u raka signálního v průměru 0,274 (0,219–0,302; SD=0,027).



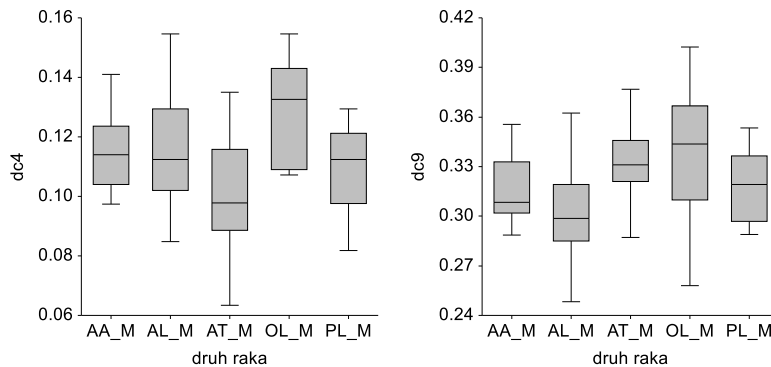
**Obr. 13** Rozdíly v délkách *dc1* (vlevo), *dc2* (uprostřed) a *dc3* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Délky *dc2* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=29,51$ ;  $P<0,001$ ). Nejnižších hodnot, signifikantně nižších než u ostatních druhů (Tukey–Kramerův test,  $P<0,001$ ), dosáhla relativní délka *dc2* u raka bahenního s průměrnou hodnotou 0,199 (0,156–0,28; SD=0,04). Podobné hodnoty dosáhla relativní délka *dc2* u raka říčního ( $\bar{x}=0,211$ ; 0,157–0,292cm; SD=0,033). Největších hodnot dosáhla relativní délka *dc2* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,287$ ; 0,205–0,354; SD=0,034). Podobných hodnot dosáhla relativní délka *dc2* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,259$ ; 0,22–0,279; SD=0,021). U raka signálního se relativní délka *dc2* pohybovala v průměru 0,234 (0,186–0,283; SD=0,029).

Také relativní délky *dc3* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=8,26$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního se délka *dc3* pohybovala v průměru 0,405 (0,381–0,445; SD=0,016). Podobných hodnot dosáhla délka *dc3* u raka říčního ( $\bar{x}=0,41$ ; 0,365–0,447; SD=0,019). O něco menších hodnot dosáhla délka *dc3* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,401$ ; 0,371–

0,436; SD=0,023). Nejmenších hodnot dosáhla délka *dc3* u raka kamenáče s minimální hodnotou 0,346–0,434 ( $\bar{x}=0,39$ ; SD=0,024). Naopak největších hodnot dosáhla délka *dc3* u raka signálního ( $\bar{x}=0,434$ ; 0,38–0,488; SD=0,036).

Relativní délky *dc4* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=5,68$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního se délka *dc4* pohybovala v průměru 0,115 (0,085–0,155; SD=0,018). Vyšší hodnoty měla délka *dc4* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,129$ ; 0,107–0,155; SD=0,018), signifikantně byla vyšší než u ostatních čtyř druhů (Tukey–Kramerův test,  $P<0,001$ ). U raka říčního dosáhla *dc4* ( $\bar{x}=0,115$ ; 0,097–0,141; SD=0,013). Podobné hodnoty dosáhla délka *dc4* u raka signálního ( $\bar{x}=0,11$ ; 0,082–0,129; SD=0,016). Nejmenších hodnot dosáhla délka *dc4* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,101$ ; 0,063–0,135; SD=0,018).



**Obr. 14** Rozdíly v délkách *dc4* (vlevo) a *dc9* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Mezidruhově se významně lišily i relativní délky *dc9* ( $F=7,28$ ;  $P<0,001$ ). U raka bahenního dosáhla délka *dc9* v průměru 0,302 nejmenších hodnot (0,248–0,362; SD=0,024). U raka kamenáče dosáhla *dc9* v průměru 0,332 (0,287–0,377; SD=0,018), nižších hodnot dosáhla *dc9* u raka říčního ( $\bar{x}=0,316$ ; 0,289–0,355; SD=0,019) a u raka signálního ( $\bar{x}=0,318$ ; 0,289–0,353cm; SD=0,022). Největší, signifikantně vyšší než u raka bahenního, byla relativní délka *dc9* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,338$ ; 0,258–0,402; SD=0,047).

### Úhly na karapaxu samic

Úhly *alfa* se při srovnání jednotlivých druhů samic významně lišily (ANOVA;  $F=2,74$ ;  $P=0,033$ ). Největší úhel *alfa* byl u raka bahenního ( $\bar{x}=104^\circ$ ), naopak nejmenší u raka pruhovaného ( $\bar{x}=100,7^\circ$ ). Zbýlé hodnoty viz tab. 1.

Také úhly *beta* se při srovnání jednotlivých druhů samic lišily (ANOVA;  $F=21,07$ ;  $P=0,001$ ). Největší hodnoty dosáhl úhel *beta* u raka pruhovaného, a to v průměru  $163,7^\circ$ . Nejmenší úhel *beta* byl u raka bahenního ( $\bar{x}=155,4^\circ$ ).

Mezidruhově se také lišily úhly *gamma* (ANOVA;  $F=25,69$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnoty dosáhl úhel *gamma* u raka bahenního ( $\bar{x}=168,6^\circ$ ), nejmenší hodnoty u raka kamenáče ( $\bar{x}=160^\circ$ ).

**Tab. 1** Úhly na karapaxu samic (vlevo) a samců (vpravo)

		AL_F	AT_F	OL_F	AA_F	PL_F	AL_M	AT_M	OL_M	AA_M	PL_M
		F=2.74; P=0.033					F=7.16; P<0.001				
alfa	min	97.3	97.6	97.6	94.8	100.0	102.5	97.9	92.2	99.0	96.6
	průměr	104.0	102.5	100.7	102.2	102.8	105.7	103.0	98.8	103.4	102.4
	max	11.7	110.7	103.4	108.7	106.1	110.7	110.5	104.5	112.1	107.3
	SD	2.8	3.0	2.8	2.8	2.0	2.3	3.1	4.8	3.0	3.1
	rozdíly	OL_F		AL_F			AT_M, OL_M	AL_M, OL_M	AA_M, AL_M, AT_M	OL_M	
beta	min	F=21.07; P<0.001					F=17.69; P<0.001				
	průměr	144.2	155.2	160.7	151.3	154.1	141.9	154.3	154.2	148.5	156.2
	max	155.4	163.6	163.7	158.8	160.9	153.2	161.8	162.0	157.1	160.7
	SD	162.5	169.2	168.2	170.4	165.7	163.1	165.7	172.2	164.8	164.0
	rozdíly	4.6	3.5	2.8	3.6	4.0	5.5	3.1	6.2	3.9	2.4
		AA_F, AT_F, OL_F, PL_F	AA_F, AL_F	AA_F, AL_F	AL_F, AT_F, OL_F	AL_F	AA_M, AT_M, OL_M, PL_M	AA_M, AL_M	AL_M	AL_M, AT_M	AL_M
gamma	min	F=25.69; P<0.001					F=16.29; P<0.001				
	průměr	161.5	151.0	163.1	161.0	163.0	157.4	153.7	162.9	161.2	161.1
	max	168.6	160.0	166.0	167.3	166.1	169.4	161.2	167.1	167.0	165.6
	SD	178.8	168.9	169.8	173.9	170.6	180.9	168.9	171.5	172.0	169.2
	rozdíly	4.6	3.9	2.3	3.3	2.6	6.2	3.3	3.4	3.0	3.0
		AT_F	AA_F, AT_F, OL_F, PL_F	AT_F	AT_F	AT_F	AT_M	AA_M, AL_M, OL_M, PL_M	AT_M	AT_M	AT_M
epsilon	min	F=5.57; P<0.001					F=3.71; P=0.008				
	průměr	170.0	165.0	167.8	168.7	169.2	172.0	158.8	170.4	163.0	163.8
	max	180.8	198.8	173.8	1757.0	171.4	180.3	177.2	177.0	178.7	171.4
	SD	195.1	178.0	176.9	188.4	173.7	185.8	190.3	180.0	187.6	177.0
	rozdíly	5.1	7.9	3.7	4.8	1.7	3.7	7.2	3.7	6.4	5.0
		OL_F, PL_F	PL_F	AL_F	AL_F, AT_F	PL_M			PL_M	AA_M, AL_M	
delta	min	F=10.55; P<0.001					F=5.91; P<0.001				
	průměr	30.8	30.8	41.6	33.4	43.9	33.5	35.8	41.8	32.8	45.8
	max	40.9	51.8	48.4	49.0	56.0	42.7	51.3	46.1	48.1	54.5
	SD	60.8	68.8	58.6	62.5	66.1	52.9	69.6	48.8	67.4	69.5
	rozdíly	7.0	9.7	6.5	7.0	6.8	5.8	8.9	2.9	7.4	8.0
		AA_F, AT_F, PL_F	AL_F	AL_F	AL_F	AT_M, PL_M	AL_M			AL_M	

Úhly *epsilon* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=5,57$ ;  $P<0,001$ ). Signifikantně vyšších hodnot dosáhl úhel *epsilon* u raka kamenáče ( $\bar{x}=198,8$ ). Nejmenší hodnoty dosáhl úhel *epsilon* u raka signálního ( $\bar{x}=171,4$ ).

Také úhly *delta* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=10,55$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnoty dosáhl úhel *delta* u raka signálního ( $\bar{x}=56^\circ$ ), naopak nejmenší hodnota byla u raka bahenního ( $\bar{x}=40,9$ ). Všechny zbylé hodnoty jsou patrné v tab. 1.

### Úhly na karapaxu samců

Úhly *alfa* se při srovnání jednotlivých druhů samců významně lišily (ANOVA;  $F=7,16$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnoty dosáhl úhel *alfa* u raka bahenního ( $\bar{x}=105,7$ ), nejmenší hodnota úhlu *alfa* byla u raka pruhovaného ( $\bar{x}=98,8^\circ$ ). Zbylé hodnoty viz tab. 1.

Také úhly *beta* se významně lišily (ANOVA;  $F=17,69$ ;  $P<0,001$ ). Největších hodnot dosáhl úhel u raka pruhovaného a to v průměru  $162^\circ$ . Nejmenší hodnoty dosáhl úhel *beta* u raka bahenního ( $\bar{x}=153,2^\circ$ ).

Signifikantně se při porovnání samců jednotlivých druhů lišil i úhel *gamma* (ANOVA;  $F=16,29$ ;  $P<0,001$ ). Signifikantně nižší hodnoty než u ostatních druhů dosáhl *gamma* u raka kamenáče ( $\bar{x}=161,2^\circ$ ). Nejvyšší hodnoty dosáhl úhel *gamma* u raka bahenního ( $\bar{x}=169,4^\circ$ ).

Také úhly *epsilon* se významně lišily (ANOVA;  $F=3,71$ ;  $P=0,008$ ). Nejvyšší hodnoty dosáhl úhel *epsilon* u raka bahenního ( $\bar{x}=180,3^\circ$ ), naopak nejmenší hodnoty u raka signálního ( $\bar{x}=171,4^\circ$ ).

Mezidruhově se také lišily úhly *delta* (ANOVA;  $F=5,91$ ;  $P<0,001$ ). Největších hodnot dosáhl úhel *delta* u raka signálního ( $\bar{x}=54,5^\circ$ ). Nejmenší hodnoty dosáhl úhel *delta* u raka bahenního a to v průměru  $42,7^\circ$ . Všechny zbylé hodnoty jsou patrné v tab. 1.

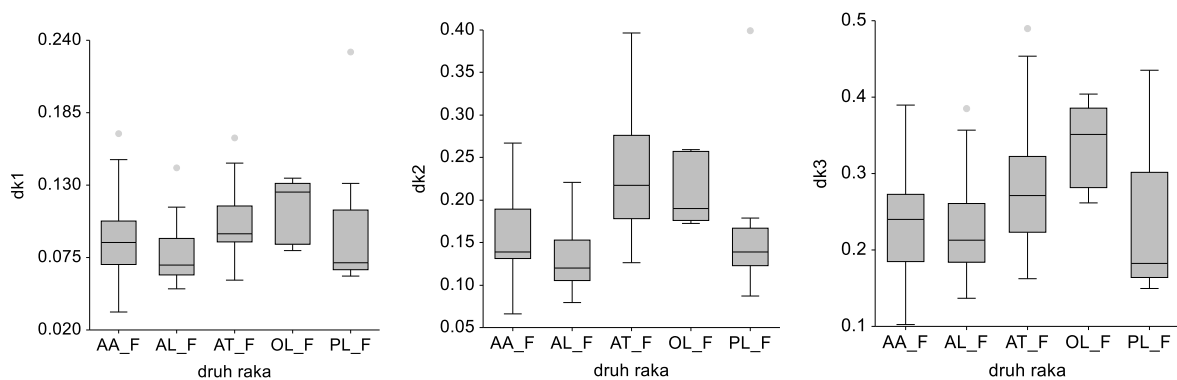
### Porovnání klepet

#### Relativní délky na klepetu samic

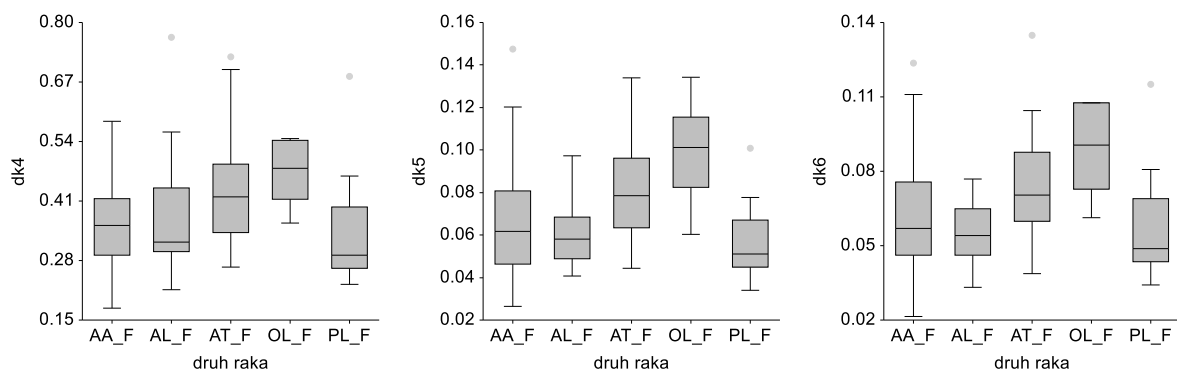
Relativní délka *dkl* (ve vztahu k délce karapaxu) se jednotlivých druhů raků významně lišila (ANOVA;  $F=4,15$ ;  $P=0,004$ ). Největších hodnot (Tukey–Kramerův test,  $P=0,004$ ) dosáhla *dkl* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,114$ ;  $0,08–0,135$ ;  $SD=0,023$ ). Hodnoty u druhů dále klesaly v následujícím pořadí – u raka říčního ( $\bar{x}=0,09$ ;  $0,034–0,169$ ;  $SD=0,032$ ), u raka signálního ( $\bar{x}=0,097$ ;

0,061–0,231; SD=0,055), u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,1$ ; 0,058–0,166; SD=0,025). Nejmenších hodnot, signifikantně nižších než u raka pruhovaného, dosáhla délka *dk1* u raka bahenního ( $\bar{x}=0,076$ ; 0,051–0,143; SD=0,02).

Také relativní délka *dk2* se při srovnání jednotlivých druhů lišila (ANOVA; F=16,10; P<0,001). Největších hodnot (Tukey–Kramerův test; P<0,001) dosáhla *dk2* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,231$ ; 0,126–0,396; SD=0,069). Nižších hodnot dosáhla *dk2* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,204$ ; 0,172–0,259; SD=0,038), u raka signálního ( $\bar{x}=0,166$ ; 0,087–0,399; SD=0,091), u raka říčního ( $\bar{x}=0,153$ ; 0,066–0,267; SD=0,047) a u raka bahenního ( $\bar{x}=0,127$ ; 0,08–0,22; SD=0,034).



**Obr. 15** Rozdíly v délkách *dk1* (vlevo), *dk2* (uprostřed) a *dk3* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků



**Obr. 16** Rozdíly v délkách *dk4* (vlevo), *dk5* (uprostřed) a *dk6* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

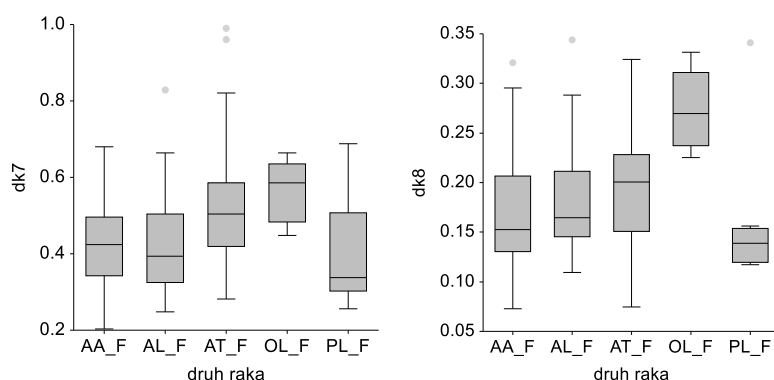
Také relativní délky *dk3* se lišily (ANOVA; F=6,07; P<0,001). Nejvyšších hodnot dosáhla délka *dk3* u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,339$ ; 0,262–0,404; SD=0,054). U raka kamenáče se *dk3* pohybovala v průměru kolem 0,286 (0,162–0,49; SD=0,079), u raka říčního v průměru kolem 0,237 (0,102–0,389; SD=0,071), podobně i u raka bahenního kolem 0,224 (0,137–0,385;

SD=0,057). Nejmenších hodnot dosáhla *dk3* u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,229; 0,149–0,435; SD=0,109).

Mezidruhově se významně lišily i relativní délky *dk4* (ANOVA; F=3,65; P=0,008). Největší hodnoty dosáhla délka *dk4* u raka pruhovaného v průměru kolem 0,481 (0,361–0,547; SD=0,072). U raka kamenáče se délka pohybovala v průměru kolem 0,432 (0,265–0,725; SD=0,125), u raka říčního v průměru kolem 0,358 (0,175–0,584; SD=0,100), podobně u raka bahenního 0,364 (0,216–0,768; SD=0,112). Nejmenší hodnota byla u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,347; 0,228–0,682; SD=0,143).

Signifikantně se při porovnání jednotlivých druhů lišily i relativní délky *dk5* (ANOVA; R=8,17; P<0,001). Největší hodnoty dosáhla délka *dk5* u raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,099; 0,06–0,134; SD=0,025). Nižší hodnoty měla *dk5* u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,082; 0,044–0,134; SD=0,021), u raka říčního ( $\bar{x}$ =0,066; 0,026–0,147; SD=0,028), u raka bahenního ( $\bar{x}$ =0,06; 0,041–0,097; SD=0,015). Nejmenší, signifikantně nižší než u raka pruhovaného (Tukey–Kramerův test; P<0,001), byla *dk5* u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,057; 0,034–0,101; SD=0,02).

Relativní délky *dk6* se při porovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA; R=7,05; P<0,001). Největší hodnoty 0,108 dosáhla délka *dk6* u raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,09; 0,108; SD=0,018). U raka kamenáče byla *dk6* v průměru 0,075 (0,039–0,135; SD=0,02), u raka říčního 0,063 (0,021–0,124; SD=0,026), podobně u raka bahenního 0,055 (0,033–0,077; SD=0,012). Nejmenší hodnoty (Tukey–Kramerův test, P<0,001) dosáhl rak signální ( $\bar{x}$ =0,058; 0,034–0,115; SD=0,025).



**Obr. 17** Rozdíly v délkách *dk7* (vlevo) a *dk8* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

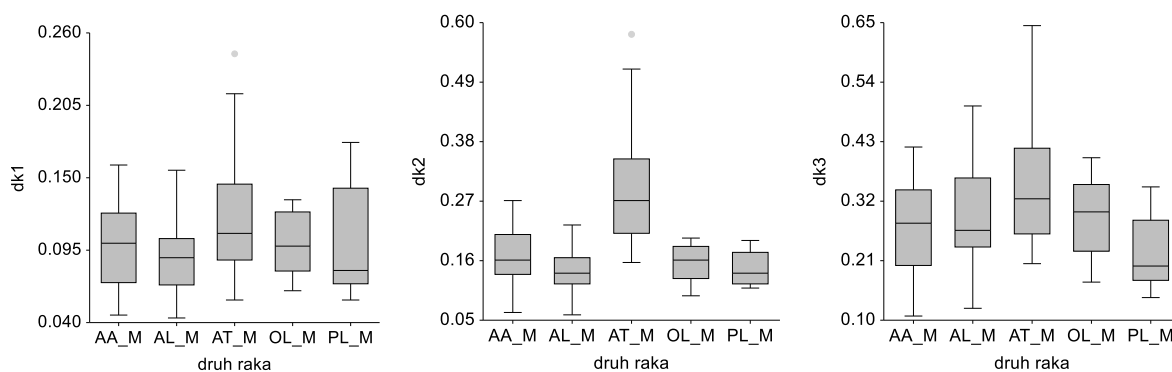
Také relativní délky *dk7* se významně lišily (ANOVA; F=4,71; P=0,002). Největších hodnot dosáhla délka *dk7* u raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,57; 0,447–0,664; SD=0,082). Nižších hodnot pak dosáhla *dk7* u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,539; 0,281–0,99; SD=0,174), u raka říčního ( $\bar{x}$ =0,428;

0,204–0,68; SD=0,119), podobně u raka bahenního ( $\bar{x}$ =0,43; 0,248–0,829; SD=0,129). Nejmenší hodnoty dosáhla délka *dk7* u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,399; 0,257–0,687; SD=0,158).

Relativní délky *dk8* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA; F=5,1; P=0,001). Výrazně nejvyšších hodnot dosáhla relativní délka *dk8* u raka pruhovaného ( $\bar{x}$ =0,27; 0,225–0,331; SD=0,04). U raka kamenáče se délka *dk8* pohybovala v průměru kolem 0,2 (0,075–0,324; SD=0,059), u raka bahenního v průměru kolem 0,185 (0,109–0,344; SD=0,056), o něco nižší u raka říčního v průměru 0,171 (0,073–0,32; SD=0,061). Nejmenší hodnoty, signifikantně nižší než u raka pruhovaného (Tukey–Kramerův test, P=0,001), dosáhla délka *dk8* u raka signálního ( $\bar{x}$ =0,158; 0,117–0,341; SD=0,07).

### Relativní délky na klepetu samců

Relativní délka *dk1* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišila (ANOVA; F=2,68; P=0,036). Největší hodnota *dk1* se pohybovala u raka kamenáče v rozmezí od 0,057 do 0,244 ( $\bar{x}$ =0,123; SD=0,046). U raka signálního se *dk1* pohybovala v průměru kolem 0,101 (0,057–0,177; SD=0,045), u raka pruhovaného v průměru kolem 0,01 (0,064–0,133; SD=0,025), u raka říčního v průměru kolem 0,099 (0,046–0,160; SD=0,032). Nejmenší hodnota *dk1* byla u raka bahenního ( $\bar{x}$ =0,093; 0,043–0,156; SD=0,031).



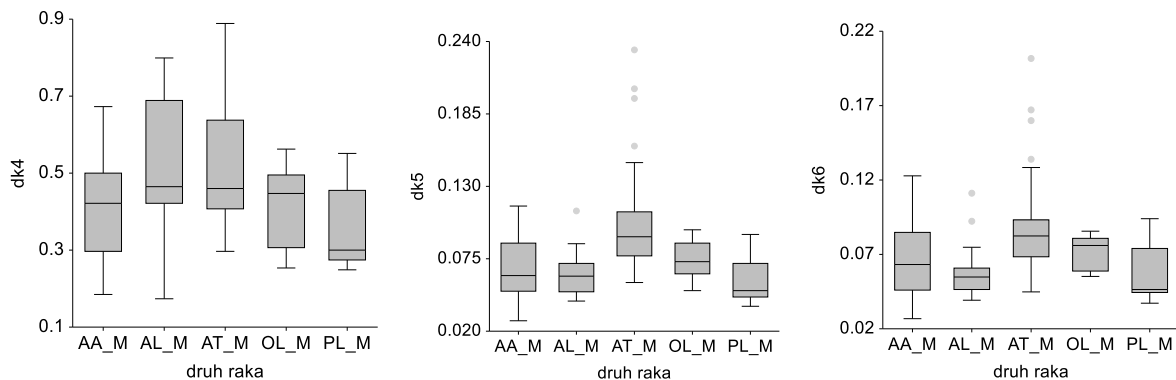
**Obr. 18** Rozdíly v délkách *dk1* (vlevo), *dk2* (uprostřed) a *dk3* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Také relativní délka *dk2* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišila (ANOVA; F=21,50; P<0,001). Největších hodnot (Tukey–Kramerův test; P<0,001), signifikantně vyšších než u ostatních druhů dosáhla délka *dk2* u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =0,292; 0,157–0,578; SD=0,099). U raka říčního se délka *dk2* pohybovala v průměru kolem 0,171 (0,064–0,271; SD=0,054), u

raka pruhovaného v průměru kolem 0,156 (0,095–0,202; SD=0,037) a u raka signálního v průměru 0,145 (0,109–0,198; SD=0,032). Podobné hodnoty měla *dk2* u raka bahenního s nejmenší průměrnou hodnotou 0,143 (0,06–0,226; SD=0,043).

Mezidruhově se také lišily i relativní délky *dk3* (ANOVA;  $F=4,98$ ;  $P=0,001$ ). Nejvyšších hodnot dosáhla délka *dk3* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,354$ ; 0,205–0,645; SD=0,110), čímž byla signifikantně vyšší (Tukey–Kramerův test;  $P=0,001$ ) než u raka signálního ( $\bar{x}=0,223$ ; 0,142–0,346; SD=0,072) a raka říčního ( $\bar{x}=0,274$ ; 0,108–0,42; SD=0,088). U raka pruhovaného dosahovala délka *dk3* v průměru 0,292 (0,170–0,4; SD= 0,079) a u raka bahenního v průměru kolem 0,289 (0,122–0,496; SD=0,084).

Také relativní délky *dk4* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA,  $F=4,31$ ;  $P=0,003$ ). Největších hodnot dosáhla délka *dk4* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,527$ ; 0,297–0,889; SD=0,162), čímž je signifikantně vyšší než rak signální a rak říční (Tukey–Kramerův text;  $P=0,003$ ). Podobných hodnot dosáhla *dk4* u raka bahenního ( $\bar{x}=0,507$ ; 0,174–0,799; SD=0,164) U raka pruhovaného dosáhla délka *dk4* v průměru kolem 0,418 (0,254–0,563; SD=0,111), u raka říčního v průměru kolem 0,41 (0,184–0,673; SD=0,131) a u raka signálního v průměru 0,35 (0,249–0,551; SD=0,114).



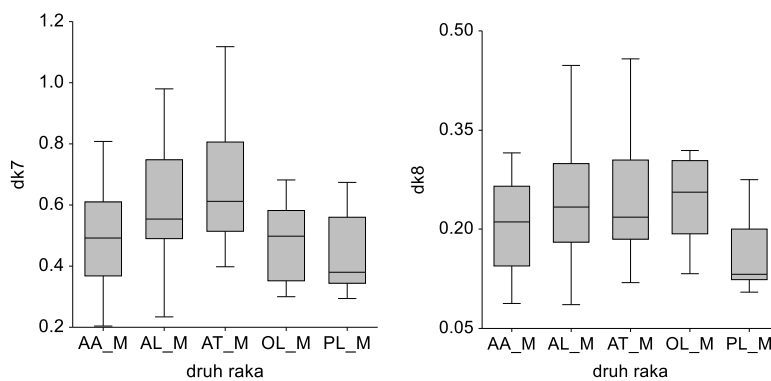
**Obr. 19** Rozdíly v délkách *dk4* (vlevo), *dk5* (uprostřed) a *dk6* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Signifikantně se při porovnání samic jednotlivých druhů lišily i relativní hodnoty délky *dk5* (ANOVA;  $F=9,17$ ;  $P<0,001$ ). Největších hodnot dosáhla délka *dk5* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,103$ ; 0,057–0,234; SD=0,04), čímž byla signifikantně vyšší než u raka říčního ( $\bar{x}=0,068$ ; 0,028–0,115; SD=0,024), raka bahenního ( $\bar{x}=0,064$ ; 0,043–0,111; SD=0,016) a raka signálního ( $\bar{x}=0,058$ ; 0,039–0,094; SD=0,018) (Tukey–Kramerův test;  $P<0,001$ ). U raka pruhovaného byla *dk5* v průměru kolem 0,074 (0,051–0,097; SD=0,016).



Relativní délky *dk6* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišily (ANOVA;  $F=6,71$ ;  $P<0,001$ ). Největších hodnot dosáhla délka *dk6* opět u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,089$ ;  $0,045-0,202$ ;  $SD=0,033$ ). U raka pruhovaného se *dk6* pohybovala v průměru kolem  $0,072$  ( $0,055-0,086$ ;  $SD=0,012$ ), u raka říčního v průměru kolem  $0,066$  ( $0,027-0,123$ ;  $SD=0,025$ ) a u raka bahenního v průměru kolem  $0,058$  ( $0,039-0,111$ ;  $SD=0,017$ ). Nejmenší hodnoty dosáhla délka *dk6* u raka signálního ( $\bar{x}=0,057$ ;  $0,037-0,094$ ;  $SD=0,021$ ).

Také relativní délky *dk7* se významně lišily (ANOVA;  $F=5,78$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnoty dosáhla délka u raka kamenáče pohybující se v průměru  $0,669$  ( $0,235-0,979$ ;  $SD=0,178$ ), čímž byla signifikantně vyšší než u raka říčního ( $\bar{x}=0,489$ ;  $0,204-0,808$ ;  $SD=0,160$ ) a raka signálního ( $\bar{x}=0,434$ ;  $0,293-0,674$ ;  $SD=0,137$ ) (Tukey–Kramerův test). U raka bahenního dosáhla v průměru hodnoty  $0,587$  ( $0,235-0,979$ ;  $SD=0,178$ ), u raka pruhovaného v průměru  $0,483$  ( $0,3-0,682$ ;  $SD=0,136$ ).



**Obr. 20** Rozdíly v délkách *dk7* (vlevo) a *dk8* (vpravo) mezi jednotlivými druhy raků

Mezidruhově se také lišily i relativní délky *dk8* (ANOVA;  $F=2,93$ ;  $P=0,025$ ). Délka *dk8* se u raka bahenního pohybovala v rozmezí  $0,086-0,447$  ( $\bar{x}=0,247$ ;  $SD=0,088$ ), podobných hodnot dosáhla *dk8* u raka kamenáče ( $\bar{x}=0,245$ ;  $0,119-0,458$ ;  $SD=0,093$ ), u raka pruhovaného ( $\bar{x}=0,246$ ;  $0,133-0,319$ ;  $SD=0,068$ ). U raka říčního dosáhla *dk8* průměru  $0,2$  ( $0,088-0,316$ ;  $SD=0,067$ ). Nejmenší hodnoty dosáhla *dk8* u raka signálního ( $\bar{x}=0,16$ ;  $0,105-0,275$ ;  $SD=0,059$ ).

### Úhly na klepetu samic

Úhly *alfa* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišily (ANOVA;  $F=4,22$ ;  $P=0,003$ ). Největší hodnotu měl v průměru úhel *alfa* u raka kamenáče ( $\bar{x}=122,1^\circ$ ), naopak nejmenší u raka říčního ( $\bar{x}=115,2^\circ$ ).

Také úhly *beta* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=15,58$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnota úhlu *beta* byla u raka říčního a to v průměru  $148^\circ$ . Nejmenší hodnoty úhlu *beta* bylo dosaženo u raka bahenního ( $\bar{x}=132,4^\circ$ ).

Mezidruhově se také lišily úhly *gamma* (ANOVA;  $F=24,24$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnotu úhlu *gamma* měl rak bahenní, v průměru  $118,4^\circ$ . Nejmenší hodnota v průměru  $104,6^\circ$  byla u raka signálního.

Úhly *epsilon* se při srovnání jednotlivých druhů raků **nelišily** (ANOVA;  $F=1,74$ ;  $P=0,147$ ).

Signifikantně se při srovnání jednotlivých druhů lišil i úhel *delta* (ANOVA;  $F=7,22$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnota byla u raka bahenního ( $\bar{x}=146,2^\circ$ ), nejmenší u raka pruhovaného a říčního ( $\bar{x}=137^\circ$ ).

Úhly *zéta* se při srovnání jednotlivých druhů raků také významně lišily (ANOVA;  $F=13,27$ ;  $P<0,001$ ). Nejvyšších hodnot dosáhl úhel *zéta* u raka signálního ( $\bar{x}=108^\circ$ ). Nejmenší, signifikantně nižší hodnoty (Tukey–Kramerův test,  $P<0,001$ ), dosáhl úhel *zéta* u raka bahenního ( $\bar{x}=89,1^\circ$ ).

Úhly *théta* se při srovnání jednotlivých druhů významně **nelišily** (ANOVA;  $F=2,42$ ;  $P=0,053$ ).

Také úhly *éta* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišily (ANOVA;  $F=4,33$ ;  $P=0,003$ ). Největší hodnoty bylo dosaženo v průměru  $166^\circ$  u raka kamenáče a raka pruhovaného. Nejmenší hodnota se pohybovala v průměru  $160,6^\circ$  u raka signálního.

### **Úhly na klepetu samců**

Úhly *alfa* se při srovnání jednotlivých druhů významně lišily (ANOVA;  $F=4,57$ ;  $P=0,002$ ). Největší hodnoty dosáhl úhel *alfa* u raka kamenáče ( $\bar{x}=122,4^\circ$ ), naopak nejmenší hodnota se pohybovala u raka pruhovaného v průměru  $110,3^\circ$ .

Také úhly *beta* se významně lišily (ANOVA;  $F=15,17$ ;  $P<0,001$ ). Největší úhel *beta* byl u raka signálního ( $\bar{x}=150,7^\circ$ ), signifikantně nižší byl nejmenší úhel *alfa* u raka bahenního ( $\bar{x}=127,6^\circ$ ).

Signifikantně se při srovnání jednotlivých druhů lišily i úhly *gamma* (ANOVA;  $F=26,45$ ,  $P<0,001$ ). Největší hodnoty, výrazně vyšší než u ostatních druhů, dosáhl úhel *gamma* u raka bahenního ( $\bar{x}=122,5^\circ$ ). Nejmenší úhel byl u raka říčního ( $\bar{x}=106^\circ$ ).

Úhly *epsilon* se při srovnání jednotlivých druhů významně **nelišily** (ANOVA; F=1,54; P=0,196).

Mezidruhově se lišily také úhly *delta* (ANOVA; F=7,18, P<0,001). Největší hodnoty dosáhl úhel *delta* v průměru 148,5° u raka bahenního, nejmenší hodnoty u raka kamenáče ( $\bar{x}$ =137°).

Úhly *zeta* se při srovnání jednotlivých druhů raků významně lišily (ANOVA; F=19,71; P<0,001). Největší hodnota úhlu *zeta* se pohybovala v průměru kolem 107,3° u raka kamenáče, naopak nejmenší hodnota byla u raka bahenního ( $\bar{x}$ =85,2°).

**Tab.2a** Úhly na klepetech samic (vlevo) a samců (vpravo) jednotlivých druhů raků

		AL_F	AT_F	OL_F	AA_F	PL_F	AL_M	AT_M	OL_M	AA_M	PL_M
		F=4.22; P=0.003					F=4.57; P=0.002				
alfa	min	104.5	110.7	107.2	107.6	106.5	11.3	106.4	104.6	107.7	104.0
	průměr	117.7	122.1	118.5	115.2	119.7	122.3	122.4	110.3	116.0	113.4
	max	132.0	142.2	129.5	123.9	135.4	139.2	152.0	115.4	125.1	126.1
	SD	7.0	7.5	8.0	4.9	9.2	6.7	13.2	4.1	4.6	7.0
	rozdíly	-	AA_F	-	AT_F	-	-	OL_M	AT_M	-	-
beta	min	F=15.58; P<0.001					F=15.17; P<0.001				
	průměr	113.0	113.8	115.9	137.0	116.3	103.3	108.0	131.7	135.5	140.4
	max	132.4	133.9	136.7	148.0	141.6	127.6	135.8	142.0	146.3	150.7
	SD	151.1	152.6	149.1	158.4	159.0	150.9	148.1	152.0	156.6	164.0
	rozdíly	8.7	8.5	11.0	6.9	13.4	10.7	11.0	8.0	6.2	10.1
		AA_F	AA_F	AA_F	AL_F,	-	AA_M,	AA_M,	AL_M	AL_M,	AL_M,
					AT_F,		AT_M,	AL_M,		AT_M	AT_M
					OL_F		OL_M,	PL_M			
							PL_M				
gama	min	F=24.24; P<0.001					F=26.45; P<0.001				
	průměr	107.4	96.2	105.6	95.8	96.1	106.6	98.1	105.4	96.5	102.5
	max	118.4	108.2	111.4	104.9	104.6	122.5	108.6	113.1	106.0	108.6
	SD	136.2	124.3	118.5	116.0	114.4	135.0	121.3	118.9	122.5	123.6
	rozdíly	7.0	6.1	3.9	4.4	5.8	7.6	5.2	5.4	5.5	6.2
		AA_F,	AL_F	AL_F	AL_F	AL_F	AA_M,	AL_M	AL_M	AL_M	AL_M
							AT_M,				
							OL_M,				
							PL_M				
epsilon	min	F=1.74; P=0.147					F=1.54; P=0.196				
	průměr	158.0	157.6	163.3	159.3	158.4	158.8	158.0	160.7	160.2	159.4
	max	165.7	165.2	167.2	165.3	162.6	166.5	165.4	164.1	165.2	162.8
	SD	174.0	176.1	172.6	173.0	170.4	175.1	176.6	167.1	176.6	165.8
	rozdíly	3.5	3.4	3.7	4.0	4.2	4.1	4.0	2.1	4.1	2.2
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Tab.2b** Úhly na klepetech samic (vlevo) a samců (vpravo) jednotlivých druhů raků

		AL_F	AT_F	OL_F	AA_F	PL_F	AL_M	AT_M	OL_M	AA_M	PL_M
delta		<b>F=7.22; P&lt;0.001</b>					<b>F=7.18; P&lt;0.001</b>				
	min	130.4	125.3	129.2	124.3	128.2	136.9	96.7	139.5	123.6	130.2
	průměr	146.2	140.4	137.0	137.0	139.9	148.5	137.0	146.0	138.7	141.0
	max	162.7	158.3	149.6	148.9	153.9	171.8	152.1	149.6	153.6	153.4
	SD	7.6	7.5	6.7	5.7	7.1	7.8	9.9	3.6	8.3	6.9
	rozdílly	AA_F, AT_F, OL_F	AL_F	AL_F	AL_F	-	AA_M, AT_M	AL_M	-	AL_M	-
zéta		<b>F=13.27; P&lt;0.001</b>					<b>F=19.71; P&lt;0.001</b>				
	min	73.0	76.7	90.3	88.5	92.0	62.8	87.6	88.1	87.7	99.0
	průměr	89.1	103.7	105.2	104.2	108.0	85.2	107.3	94.7	102.9	106.9
	max	101.5	129.1	132.4	121.5	118.5	99.6	146.9	100.2	116.6	118.9
	SD	7.8	12.2	14.5	8.4	8.3	10.5	11.0	5.1	8.8	6.0
	rozdílly	AA_F, AT_F, OL_F, PL_F	AL_F	AL_F	AL_F	AL_F	AA_M, AT_M, OL_M, PL_M	AL_M	AT_M	AL_M	AL_M
théta		<b>F=2.42; P=0.053</b>					<b>F=2.81; P=0.03</b>				
	min	131.7	125.9	116.8	129.1	130.6	135.6	127.6	129.5	132.8	132.8
	průměr	145.4	141.1	138.1	142.0	139.6	145.2	140.9	140.0	142.3	139.4
	max	160.2	163.3	149.0	163.5	150.1	155.6	150.1	144.4	157.5	146.9
	SD	6.3	7.9	10.9	7.0	6.3	5.7	5.7	5.5	5.8	5.4
	rozdílly	-	-	-	-	-	AT_M	AL_M	-	-	-
éta		<b>F=4.33; P=0.003</b>					<b>F=8.27; P&lt;0.001</b>				
	min	157.3	151.9	160.5	151.4	153.1	154.7	153.5	165.7	151.1	151.4
	průměr	162.9	166.0	166.0	162.9	160.6	162.5	162.8	169.8	162.1	157.3
	max	169.6	176.0	171.0	168.8	168.2	168.4	172.6	173.1	168.3	162.9
	SD	3.3	5.7	3.5	4.1	4.2	3.4	5.1	2.5	3.4	3.8
	rozdílly	AT_F	AA_F, AL_F, PL_F	-	AT_F	AT_F	OL_M, PL_M	OL_M, PL_M	AA_M, AT_F, AL_F, PL_F	OL_M, PL_M	AA_M, AT_F, AL_F, OL_F

Také úhly théta se při srovnání jednotlivých (ANOVA;  $F=2,81$ ;  $P=0,03$ ). Největší hodnota byla u raka bahenního ( $\bar{x}=145,2^\circ$ ). Nejmenší hodnota úhlu théta byla u raka signálního ( $\bar{x}=139,4^\circ$ ).

Úhly éta se také významně lišily (ANOVA;  $F=8,27$ ;  $P<0,001$ ). Největší hodnota úhlu éta se pohybovala u raka pruhovaného ( $\bar{x}=169,8^\circ$ ), naopak nejmenší hodnota se pohybovala v průměru  $157,3^\circ$  u raka signálního. Všechny zbylé hodnoty jsou patrné v tab. 2.

### Hodnocení vztahu relativních délek a úhlů ve vztahu k délce karapaxu

### Alometrie u samic

V délkách karapaxu u **raka bahenního** vyšla pozitivně alometrická délka  $dc3$  ( $dc3 = 0.3287 + 0.0017 \times CL$ ) negativně alometricky vyšla délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1717 - 0.0010 \times CL$ ). V úhlech karapaxu vyšel negativně alometricky úhel  $beta$  ( $beta = 170.7229 - 0.3640 \times CL$ ). V délkách klepet u raka bahenního vyšla pozitivně alometricky délka  $dk1$  ( $dk1 = 0.0200 + 0.0013 \times CL$ ),  $dk3$  ( $dk3 = 0.0538 + 0.0040 \times CL$ ),  $dk4$  ( $dk4 = -0.0650 + 0.0102 \times CL$ ),  $dk7$  ( $dk7 = -0.0269 + 0.0108 \times CL$ ) a  $dk8$  ( $dk8 = 0.0292 + 0.0037 \times CL$ ). V úhlech klepet u raka bahenního vyšel pozitivně alometricky pouze úhel  $gama$  ( $gama = 101.4896 + 0.4000 \times CL$ ).

V délkách karapaxu u **raka kamenáče** vyšla negativně alometricky délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1457 - 0.0014 \times CL$ ). V úhlech karapaxu u raka kamenáče nevyšel žádný úhel alometrický. V úhlech klepet byl pozitivně alometrický úhel  $gama$  ( $gama = 99.5149 + 0.2554 \times CL$ ) a negativně alometrický úhel  $éta$  ( $éta = 175.4096 - 0.2769 \times CL$ ).

V délkách karapaxu u **raka pruhovaného** vyšla negativně alometricky délka  $dc2$  ( $dc2 = 0.3247 - 0.0019 \times CL$ ) a pozitivně alometricky  $dc1$  ( $dc1 = 0.2298 + 0.0012 \times CL$ ). V úhlech klepet u raka pruhovaného vyšel pozitivně alometricky úhel  $zéta$  ( $zéta = 57.2822 + 1.2543 \times CL$ ) a negativně alometricky  $théta$  ( $théta = 172.9508 - 0.9131 \times CL$ ).

V úhlech karapaxu u **raka říčního** byl negativně alometrický úhel  $gama$  ( $gama = 171.5880 - 0.1227 \times CL$ ). V délkách klepet vyšla pozitivně alometrická délka  $dk3$  ( $dk3 = 0.1096 + 0.0032 \times CL$ ),  $dk4$  ( $dk4 = 0.1804 + 0.0045 \times CL$ ) a  $dk8$  ( $dk8 = 0.0472 + 0.0031 \times CL$ ).

V délkách karapaxu u **raka signálního** vyšla negativně alometricky délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1532 - 0.0011 \times CL$ ), pozitivně alometricky  $dc1$  ( $dc1 = 0.2111 + 0.0015 \times CL$ ) a  $dc9$  ( $dc9 = 0.3038 + 0.0008 \times CL$ ). V úhlech karapaxu vyšel negativně alometricky úhel  $epsilon$  ( $epsilon = 175.0513 - 0.0902 \times CL$ ) a úhel  $beta$  ( $beta = 166.9262 - 0.1494 \times CL$ ).

### Alometrie u samců

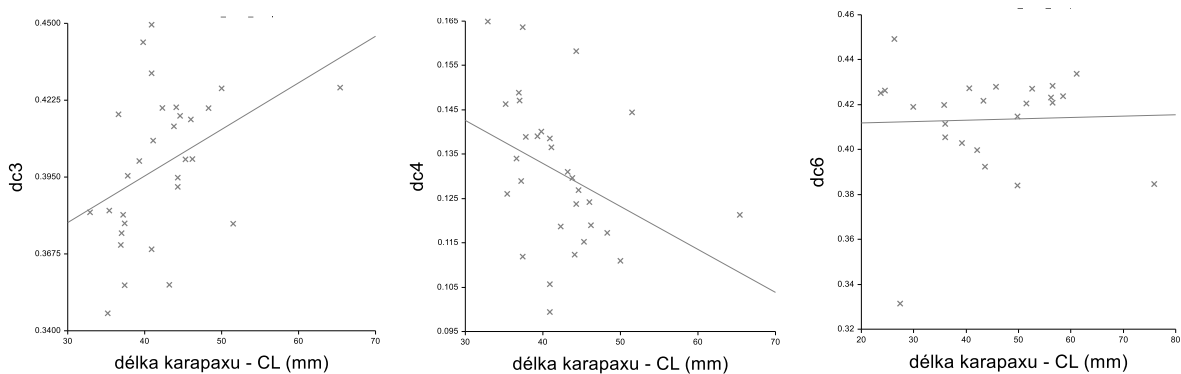
V délkách karapaxu u **raka bahenního** vyšla pozitivně alometricky délka  $dc1$  ( $dc1 = 0.2558 + 0.0014 \times CL$ ), negativně alometricky vyšla délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1514 - 0.0007 \times CL$ ). V úhlech karapaxu vyšel pozitivně alometricky úhel  $gama$  ( $gama = 160.4951 + 0.1680 \times CL$ ) i  $alfa$  ( $alfa = 105.5482 + 0.0029 \times CL$ ), negativně alometricky vyšel úhel  $beta$  ( $beta = 166.5769 - 0.2532 \times CL$ ) a  $éta$  ( $éta = 172.9388 - 0.3706 \times CL$ ). V délkách klepet vyšla pozitivně alometricky délka  $dk4$  ( $dk4 = 0.1257 + 0.0072 \times CL$ ),  $dk7$  ( $dk7 = 0.2450 + 0.0064 \times CL$ ) a  $dk8$  ( $dk8 = 0.0750 + 0.0032 \times CL$ ). Všechny úhly tohoto druhu mají izometrický růst.

V délkách karapaxu u **raka kamenáče** vyšla pozitivně alometricky délka  $dc3$  ( $dc3 = 0.3467 + 0.0013 \times CL$ ), negativně alometricky délky  $dc4$  ( $dc4 = 0.1284 - 0.0008 \times CL$ ). V úhlech karapaxu vyšel pozitivně alometricky úhel  $delta$  ( $delta = 38.4275 + 0.3758 \times CL$ ). V délkách klepet nevyšla žádná délka alometricky. V úhlech klepet vyšel pozitivně alometricky úhel  $gamma$  ( $gamma = 97.7759 + 0.3165 \times CL$ ) a negativně alometricky  $epsilon$  ( $epsilon = 171.6887 - 0.1851 \times CL$ ).

V délkách karapaxu u **raka pruhovaného** vyšla pozitivně alometricky délka  $dc1$  ( $dc1 = 0.249 + 0.0004 \times CL$ ) a  $dc3$  ( $dc3 = 0.3482 + 0.0016 \times CL$ ), naopak negativně  $dc2$  ( $dc2 = 0.2808 - 0.0007 \times CL$ ) a  $dc4$  ( $dc4 = 0.1655 - 0.0011 \times CL$ ). Pozitivně alometricky rostl též úhel  $gamma$  ( $gamma = 161.5940 + 0.1665 \times CL$ ). Díky malému počtu jedinců nejsou ale popsány alometrie signifikantní ( $t$ -test,  $P > 0,05$ ).

V délkách karapaxu u **raka říčního** vyšla pozitivní alometrie u délky  $dc1$  ( $dc1 = 0.2665 + 0.0011 \times CL$ ), negativně alometricky vyšla délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1333 - 0.0004 \times CL$ ). V úhlech karapaxu vyšel negativně alometricky úhel  $beta$  ( $beta = 160.2041 - 0.0708 \times CL$ ). V délkách klepet vyšla pozitivně alometricky délka  $dk3$  ( $dk3 = 0.1523 + 0.0027 \times CL$ ) a  $dk7$  ( $dk7 = 0.2692 + 0.0050 \times CL$ ). V úhlech klepet byl pozitivně alometrický úhel  $gamma$  ( $gamma = 93.2173 + 0.2894 \times CL$ ), negativně alometrický byl úhel  $epsilon$  ( $epsilon = 174.3819 - 0.2067 \times CL$ ) a  $eta$  ( $eta = 166.9115 - 0.1085 \times CL$ ).

V délkách karapaxu **raka signálního** rostla negativně alometricky délka  $dc4$  ( $dc4 = 0.1048 - 0.0001 \times CL$ ). V úhlech karapaxu byl negativně alometrický úhel  $beta$  ( $beta = 166.9824 - 0.1519 \times CL$ ).



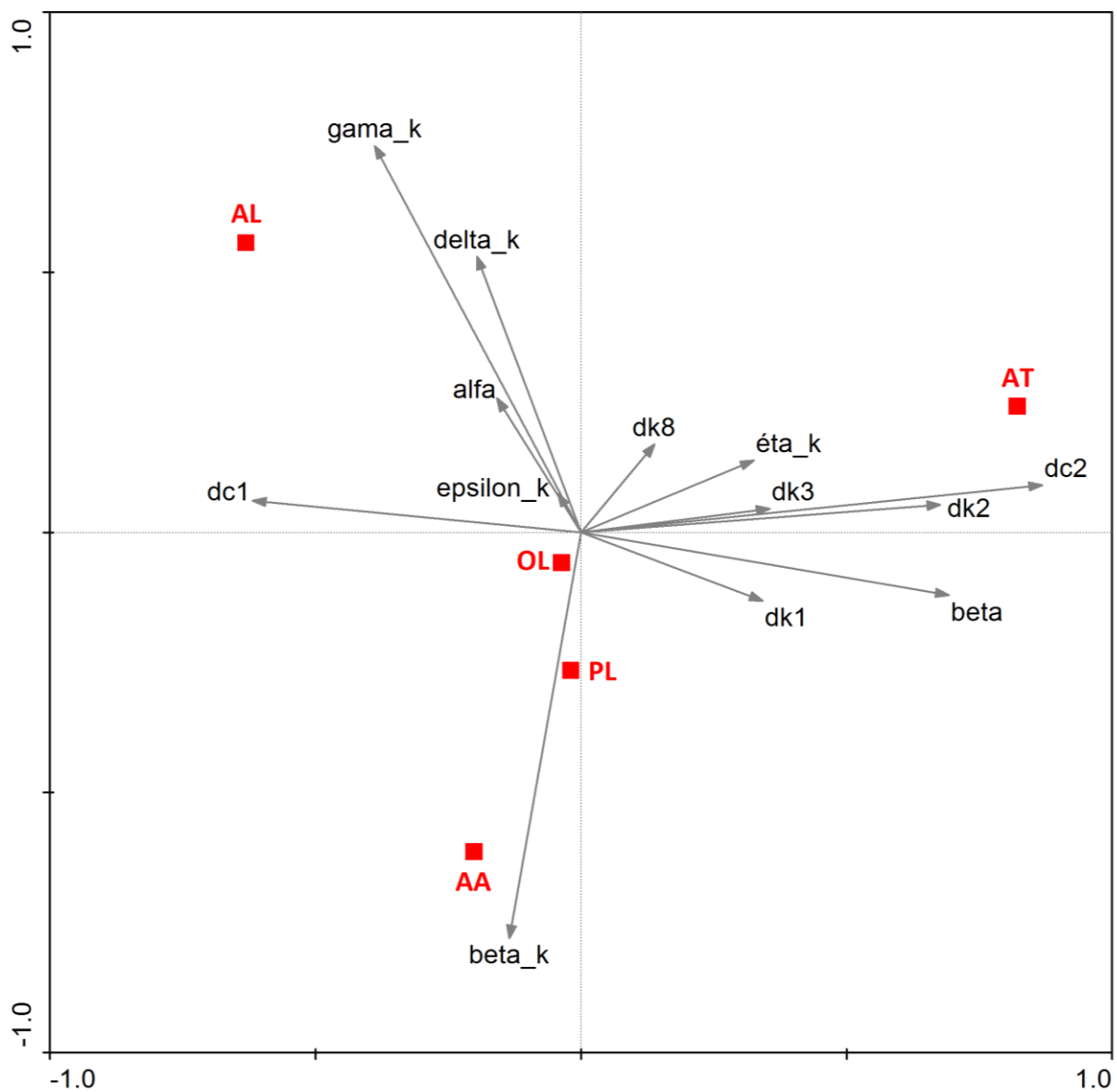
**Obr. 21** Ukázka vztahu sledovaných rozměrů k délce karapaxu: pozitivní alometrie (vlevo), negativní alometrie (uprostřed), izometrický růst (vpravo)

### Celkové rozdíly mezi jednotlivými druhy raků

Rozdíly mezi sledovanými druhy byly hodnoceny redundantní ordinační analýzou (RDA). Metodou *forward selection* byla nalezena sestava znaků, které měly na výsledný model signifikantní vliv.

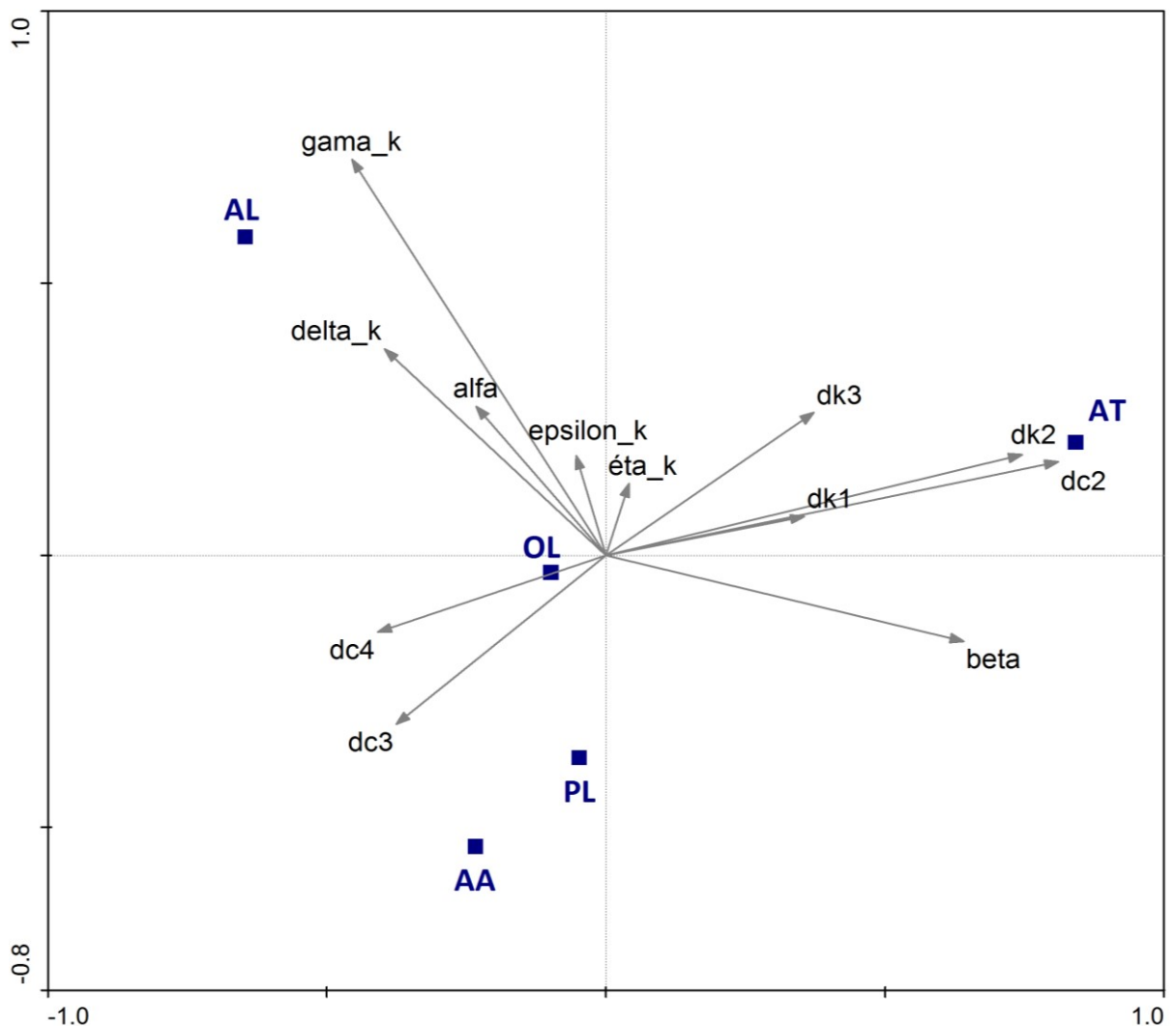
### Rozdíly mezi samicemi

Rozdíly mezi samicemi lze pospat 13 vybranými znaky (ANOVA;  $P < 0,05$ ), 4 znaky na kapaxu *dc1*, *dc2*, *alfa*, *beta* a 9 znaky na klepetu *dk1*, *dk2*, *dk3*, *dk8*, *beta*, *gama*, *epsilon*, *delta* a *éta*. Celý model vysvětluje 59,5 % variability, tj. rozdílů mezi druhy ( $F = 11,2$ ,  $P = 0,002$ ), z toho první dvě osy 52 % ( $F = 45,066$ ;  $P = 0,002$ ).



**Obr. 22** První a druhá kanonická osa z redundantní analýzy (13 znaků u samic 5 druhů)

Výsledky jsou patrné na obr. 22, kde jsou zobrazené 1. a 2. kanonická osa. Je patrné, že nejzřetelněji jsou vymezené rak říční, rak kamenáč a rak bahenní; rak signální a rak pruhovaný svou pozicí blízko průsečíků os jsou nejméně odlišené nebo je jejich odlišnost obtížně vysvětlitelná, to je dáno i malým počtem analyzovaných jedinců; přesto jsou podobnější raku říčnímu než dalším dvěma druhům. Samice **raka bahenního** jsou nejvíce charakterizovatelné velkým úhlem *gamma* na klepetu, pro samice raka **kamenáče** je zase typická velká délka *dc1* a *dc2* a úhlu *beta* na karapaxu. **Rak říční** (samice) zase velkým úhlem *beta* na klepetu. Ostatní znaky mají pak menší význam.



**Obr. 23** První a druhá kanonická osa z redundantní analýzy (13 znaků u samců 5 druhů)

### Rozdíly mezi samci

Rozdíly mezi samci lze pospat jen 12 vybranými znaky (ANOVA;  $P < 0,05$ ), 5 znaky na karapaxu *dc2*, *dc3*, *dc4*, *alfa*, *beta* a 7 znaky na klepetech *dk1*, *dk2*, *dk3*, *gama*, *éta*, *delta*, *epsilon*.



Vypočtený model vysvětlil 64,2% variability, tedy rozdílů v morfologii ( $F=12,722$ ,  $P=0,002$ ), z toho už první dvě kanonické osy vysvětlily 52,3% ( $F=43.877$ ;  $P=0,002$ ).

Situace je zřejmá z obr. 23. „Pozice“ všech druhů v mezi 1. a 2. kanonickou osou je podobná jako u samic. U samců **raka bahenního** kromě stejně významného velkého úhlu *gamma* na klepetu jako u samic nabral větší význam i úhel *delta* na klepetu. Samce raka kamenáče charakterizují podobné znaky jako samice, velká délka *dc1* a *dc2* a velký úhel *beta* na karapaxu. Úhel *beta* na klepetu nemá pro samce **raka říčního** (na rozdíl od samic) žádný význam; naopak je charakterizovatelný především velkými *dc4* a *dc3* na karapaxu. **Rak pruhovaný** a **rak signální** jsou na základě sledovaných znaků nejhůře odlišitelní (souvisí i s nízkým počtem hodnocených jedinců).

## Diskuze a závěr

Hodnotíme-li délkovou strukturu zpracovávaných raků, musíme konstatovat, že v této práci nebyly zaznamenány délkové extrémy. U samic raka bahenního se délky pohybovaly od 55–107 mm, u samců raka bahenního 58–127 mm. U samic raka říčního délky nepřesáhly 95 mm, zato u samců byla největší délka 109 mm. Kozák et al. (2013) uvádí, že rak říční zpravidla nepřesahuje 150 mm, naopak u raka bahenního je délka 150 mm vcelku běžná.

Výrazně menší délky samic raka kamenáče se pohybovaly od 30–78 mm, u samců od 47–91 mm. Kozák et al. (2013) udává u raka kamenáče 80–100 mm, délka samic se pohybuje okolo 60–90 mm. Vlach and Valdmanová (2015) uvádí kamenáče délek přes 100 mm.

Také délka vzorku raka pruhovaného odpovídám literárním údajům (Kozák et al., 2013; Štambergová et al., 2009). Zajímavým bodem však byla větší délka u samic raka pruhovaného než u samců. Tři největší samice měly po sobě jdoucí míry 86 mm, 89 mm, 95 mm, oproti tomu tři největší samci dosahovali po sobě jdoucích délek 62 mm, 68 mm a 72 mm. Vysvětlení je prosté; v této práci sběr probíhal raka pruhovaného na dvou místech. V rybníku byli nalezeni jen menší samci pod menšími kameny, zatímco v potoce, který přiváděl vodu do rybníka, pod velkými kameny – pod velkými kameny si nacházejí úkryty větší raci (Streissl and Hödl, 2002) – byly nalezeny jen samice. Stejně jako Kozák et al. (2013) uvádí Štambergová et al. (2009), že samec raka signálního dorůstá do délky až 160 mm a samice 120 mm. V této práci však délky u raka signálního byly výrazně menší a zároveň samice byly opět, i když jen nepatrně, větší než samci. Délky samic raka signálního se pohybovaly v rozmezí 37–96 mm, délky samců 45–91 mm.

Z analýz rozptylu vyplynuly velké rozdíly mezi jednotlivými druhy raků. U **karapaxu** bohužel **nelze** v podstatě **najít žádné skupiny raků**, které by měly některé délky a úhly stejné, např. u samic raka kamenáče je *dc1* podobná jak u raka signálního, zatímco *dc2* u samic raka kamenáče má už však výrazně vyšší hodnotu než u ostatních druhů. *Dc3* má zase nejvíce podobnou s rakem říčním, *dc4* je zase naopak nižší než u ostatních druhů. Největší podobnosti mezi sebou mají samice raka bahenního a raka říčního.

U samců si je rak bahenní nejvíce podoben s rakem říčním (nejvíce podobná je délka *dc3*). Rak kamenáč má *dc4* podobnou raku signálnímu, *dc3* raka kamenáče se zase podobá raku pruhovanému, *dc2* raka kamenáče je dokonce vyšší než u všech ostatních druhů. Rak říční má *dc3* podobnou raku pruhovanému a raku bahennímu, *dc1* i *dc2* má podobnou už jen raku bahennímu.

U **klepet** se nacházejí sice **velké rozdíly**, **ale lze najít i skupiny druhů s podobnou morfologií klepet**. U samic jsou si nižšími hodnotami nejvíce podobní rak bahenní, rak říční a rak signální a to téměř ve všech délkách např. *dk1* ( $\bar{x}=0,076$ ;  $\bar{x}=0,09$ ;  $\bar{x}=0,097$ ), zatímco vyššími hodnotami jsou si nejvíce podobní *rak kamenáč* a *rak pruhovaný* např. *dk2* ( $\bar{x}=0,231$ ;  $\bar{x}=0,204$ ). V úhlech klepet se podobnosti mění, např. *rak pruhovaný* má podobný úhel *alfa* s rakem signálním, úhel *delta* má však stejný jako rak říční. Zajímavým bodem je i úhel *epsilon* a *théta*, kdy se druhy významně neliší – úhly jsou téměř totožné (např. rak kamenáč  $165,2^\circ$  a rak říční  $165,3^\circ$ ).

U samců jsou si nejvíce podobné všechny druhy kromě raka kamenáče, a to opět téměř ve všech délkách např. *dk2* ( $\bar{x}=0,143$ ;  $\bar{x}=0,171$ ;  $\bar{x}=0,156$ ;  $\bar{x}=0,145$ ). S rakem kamenáčem ( $\bar{x}=0,245$ ) si byli délkou *dk8* nejvíce podobní rak bahenní ( $\bar{x}=0,247$ ) a rak pruhovaný ( $\bar{x}=0,246$ ). Rak kamenáč měl ve všech délkách největší maximální hodnoty. Jediným úhlem, ve kterém se druhy navzájem nelišily, byl úhel *epsilon*.

Tato neschopnost nalézt skupiny podobností mohla být zapříčiněna faktem, že ne u všech druhů byly zastoupeny všech délky; relativní velikost určitého rozměru se s věkem jedince totiž často významně mění. Tento jev se nazývá alometrie (Gayon, 2000). V této práci byla zjištěna řada alometrií sledovaných znaků; ty byly zjišťovány lineární regresí. Výpočty lineárních regresí, které definují vztah mezi délkou karapaxu a relativní délkou měřených rozměrů, nejsou ideální v případě malého počtu jedinců, protože se mnohdy nepřesně aproximuje růst jednotlivých znaků. Ale přímka je přesto často využívána (Vlach and Valdmanová, 2015).

Vlach and Valdmanová (2015) sledovali alometrický růst u kamenáče a zjistili pozitivní alometrie u samců v délce karapaxů, u samic v šířce karapaxu a šířce zadečku. V šířce/délce klepet

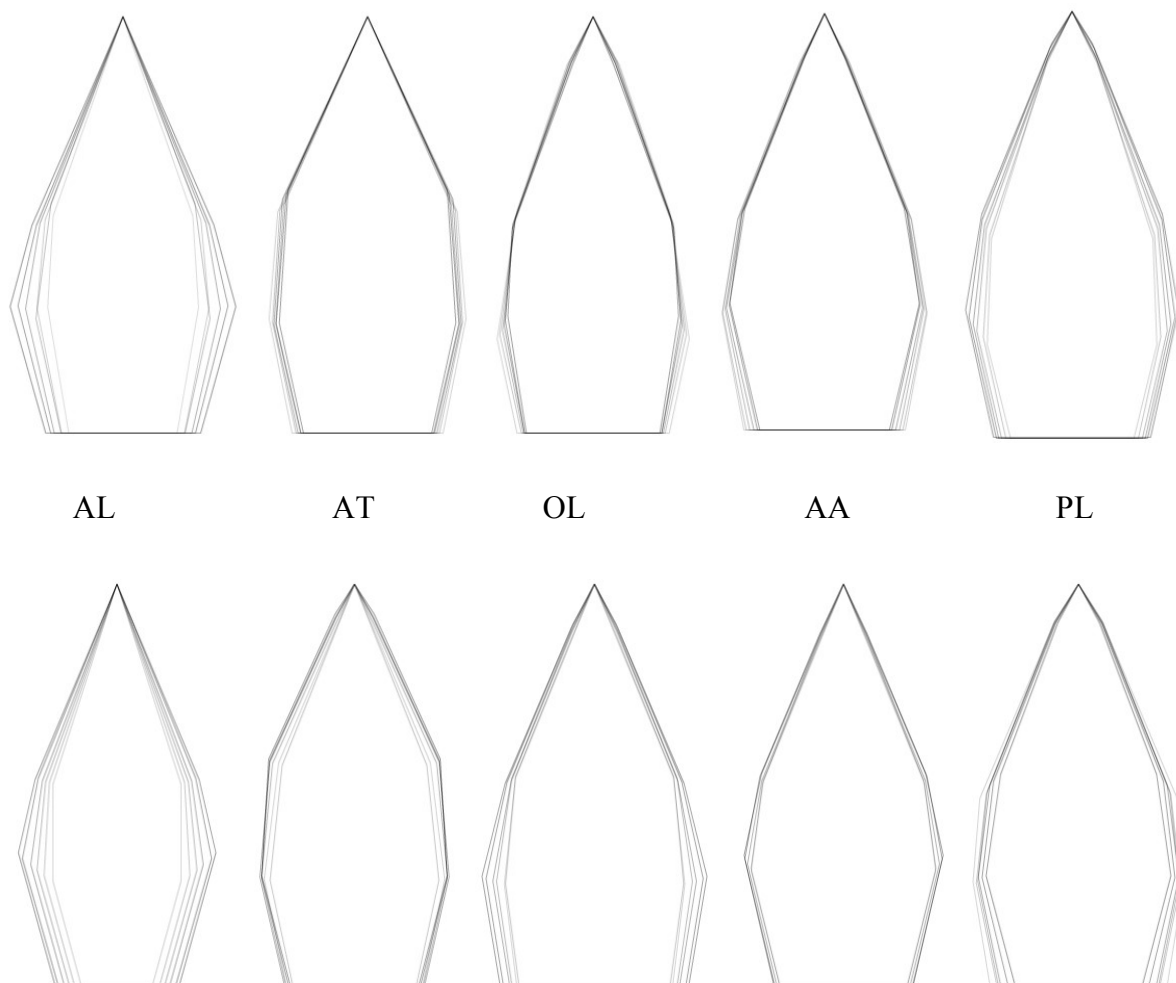
vyšla pozitivní alometrie u samic. Negativní alometrie byla zaznamenána v délce od špičky rostra po týlní brázdu/šev, šířce klepet a výšce klepet u samců. Bohužel dosud nebyla studována alometrie u rozměrů, které byly hodnoceny v této práci, proto není s čím srovnávat.

Regresní rovnice však umožnily zpětně vypočítat velikost rozměru pro délkové kategorie 10 – 60 mm (velikost karapaxu), a tak vytvořit animace (patrné na obrázcích), které znázorňují změny v růstu karapaxů a klepet jednotlivých druhů.

## Hodnocení tvaru karapaxů

### Samice

Karapax samic **raka bahenního** má oproti samicím raka říčního a raka kamenáče karapax zavalitější při bázi, a karapax má výrazně střelovitý tvar. V ontogenezi prodělává největší změny ze všech hodnocených druhů a na rozdíl od obou předchozích druhů se postupně při bázi relativně rozšiřuje. To se projevilo i při hodnocení alometrie – u tohoto druhu byla zjištěna pozitivní nebo negativní alometrie řady znaků. **Rak kamenáč** má užší bázi karapaxu a delší *dc1* než u raka říčního; ty dávají karapaxu člunkovitý pravidelnější tvar, také se postupně zužuje v zadní části. Toto zúžení však není příliš intenzivní – v podstatě karapax v ontogenezi nemění svůj tvar (jak dokazuje i zjištěná izometrie většiny znaků na karapaxu, jen starší samice mají poněkud tupější rostrum). **Rak pruhovaný** má nejútlejší karapax ze všech druhů, spíše střelovitěho tvaru. Podobně jako u raka říčního a kamenáče se postupně při bázi zužuje. Zužuje se nejen při bázi; o tom svědčí alometrie rozměrů *dc1* a *dc2*. **Rak říční** má střelovitý karapax, který se postupně v ontogenezi při bázi zužuje (což je důsledkem negativní alometrie úhlu *gamma*). **Rak signální** má tvar karapaxu podobný raku říčnímu v souladu s tvrzeními, že se nejvíc podobá (Štambergová et al., 2009). V ontogenezi prodělává zajímavé změny: postupně se zvětšuje *dc1*, takže tvar se postupně stává více střelovitým. Rozšiřuje se postupně také báze karapaxu (pozitivní alometrie *dc9*). Nejvýrazněji ze všech druhů se mění i v přední části, postupně se tak rozšiřuje rovnoměrně po celé délce. Rostrum se postupně otupuje (neg. alometrie *dc4* a *epsilon*). Detaily jsou patrné na obr. 24.



**Obr. 24** Ontog. změny tvarů karapaxů samic (nahore) a samců (dole) jednotlivých druhů: AL...rak bahenní, AT...rak kamenáč, OL...rak prihovaný, AA...rak říční, PL...rak signální

### Samci

Karapax samců **raka bahenního** je podobný karapaxu samic téhož druhu, stejně tak jejich změny. Patrnější než u samic je postupná přeměna z člunkovitého na střelovitý, až kosočtverečný tvar. Mladší samci mají ještě užší karapax než samice, postupně to však vyrovnají, přestože ani staří samci nemají karapax tak bachratý, jako samice. Všechny tyto údaje jsou podloženy zjištěními alometriemi při růstu karapaxu. **Rak kamenáč** má u malých jedinců střelovitý karapax a u velkých člunkovitý karapax. Svůj tvar mění především díky pozitivní alometrii *dc3*. I díky této změně se kromě změny tvaru stává karapax samců mohutnější a bachratější. Patrné je také poměrně tupé zakončení karapaxu, výrazně tupější než u samic stejného druhu a také delší *dc1* než mají samice. Tvar karapaxu samců **raka pruhovaného** je výrazně jiný než u samic tohoto druhu; důvodem je především velmi široká základna karapaxu, která se navíc

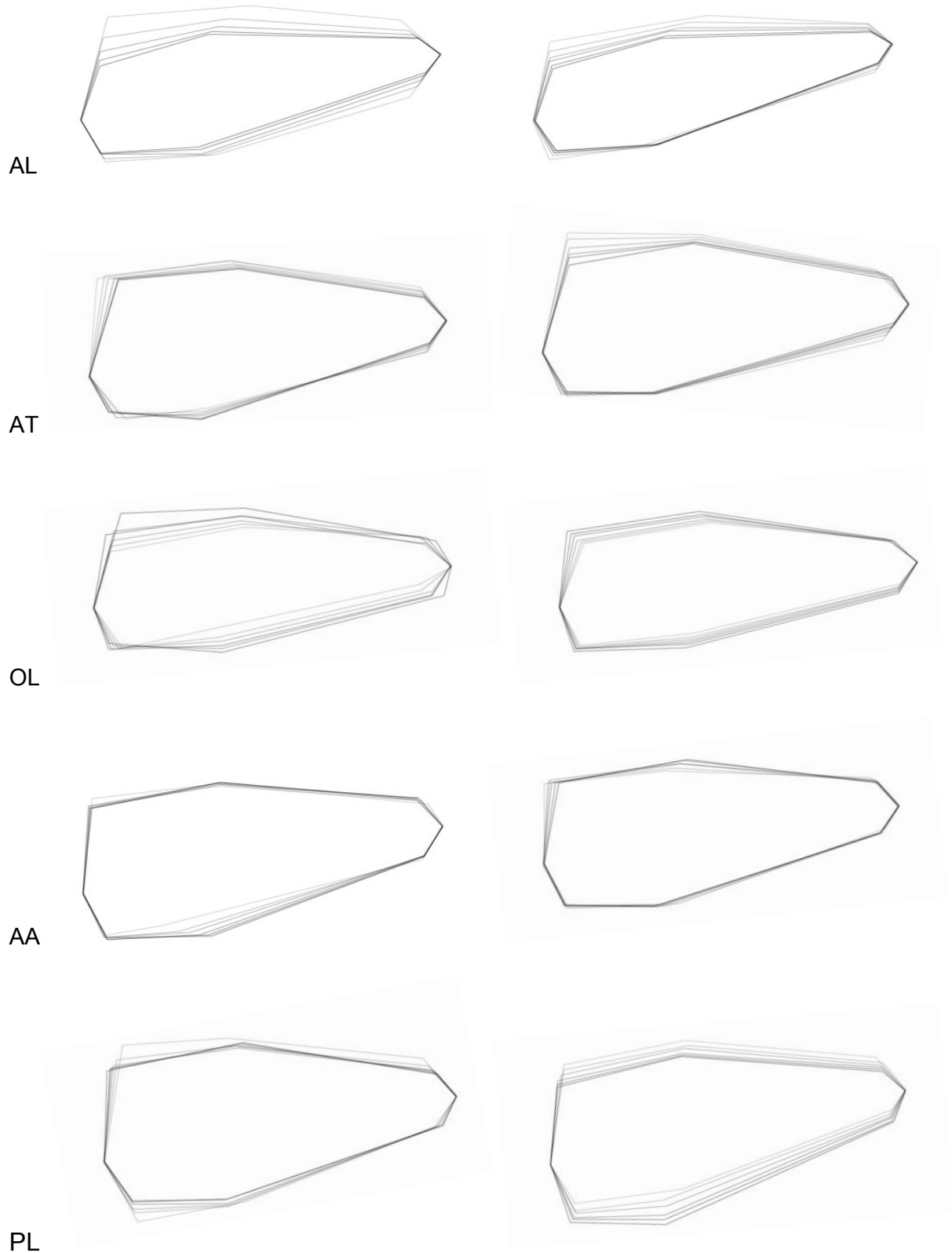
v ontogenezi ještě relativně rozšiřuje. Celý karapax v průběhu ontogeneze mohutní, to je důsledek řady alometrií délek a úhlů na karapaxu. Karapax samců **raka říčního** má podobný střelovitý tvar jako samice téhož druhu; v ontogenezi samců se ale karapax postupně ve své spodní třetině rovnoměrně rozšiřuje, což je způsobeno alometrickým růstem *dc1* a úhlu *beta*. To způsobuje u větších jedinců bachratější vzhled. I u samců je tvar karapaxu **raka signálního** nejvíce podobný karapaxu raka říčního. Změny v ontogenezi jsou jiné než u ostatních druhů, postupně se zkracuje *dc3*, zužuje se báze karapaxu, a celý karapax tak na rozdíl od samic jakoby zeštíhluje. Patrné je také tupé zakončení karapaxu jako u raka kamenáče. Detaily jsou opět patrné na obr. 24.

### Hodnocení tvaru klepet

Popis tvaru a změn tvaru klepet je složitější a příliš nekoresponduje s ontogenetickými změnami hodnocenými pomocí lineární regrese. Je to proto, že na obr. 25 jsou klepeta zobrazena vždy vzhledem ke stejné délce, zatímco alometrie/izometrie byla hodnocena k délce karapaxu. Hodnocení alometrie/izometrie u klepet bylo ztíženo u raka signálního a raka pruhovaného; malý počet jedinců způsobil, že řada zjevných alometrií nebyla statisticky významných. Z obr. 25 však lze vyčíst řadu údajů. Především to je (i přes často opačné povědomí), že tvar klepet je podobný u obou pohlaví stejného druhu. Patrné také je, že u obou pohlaví raka bahenního dochází v ontogenezi k postupnému relativnímu prodlužování a zužování klepet. To je v souladu se zažitými tvrzeními (Štambergová et al., 2009). Nejmhutnější klepeta má **rak kamenáč**, opět v souladu s obecnými tvrzeními (Kozák et al., 2013; Štambergová et al., 2009). Zajímavé jsou ontogenetické změny u tohoto druhu; mohutnost zůstává po celou dobu života kamenáče, jen se poněkud mění proporce, klepeta sílí u základu. Toto zesílení báze je ještě větší u samců a je to ten nejvýznamější znak odlišující tvar klepet u tohoto druhu (ovšem s vědomím, že samice mají klepeta vzhledem k délce karapaxu menší, jak popsal i Vlach and Valdmanová (2015).

Zajímavé jsou změny u raka pruhovaného; zatímco u samců se postupně rozšiřují, především při bázi, u samic se jen „přesouvá“ těžnice směrem k vnějšímu okraji (neboli zkracuje se *dk2* a mírně prodlužuje *dk1*). Patrné je též postupné narůstání úhlu *zéta*, který je sice největší u samic raka signálního, ale u největších raků pruhovaných má ještě větší hodnotu – vytváří mnohdy zmiňované klíšťky (Štambergová et al., 2009). Samozřejmě největší je *zéta* u samce kamenáče, to je způsobeno zakřivením konců prstu, především u velkých samců.

Klepeta u raka říčního jsou u samců relativně delší; při stejné délce tak klepeta samci mají mohutnější bázi. Klepeta se v ontogenezi u obou pohlaví mění jen málo. U raka signálního je u samic podobný trend změny těžnice jako u raka kamenáče; u samců je tato změna ještě patrnější.



**Obr. 25** Ontogenetické změny tvarů klepet samic (vlevo) a samců (vpravo) jednotlivých druhů: AL...rak bahenní, AT...rak kamenáč, OL...rak pruhovaný, AA...rak říční, PL...rak signální

Z analýz ANOVA vyplývá, že se jednotlivé druhy raků mezi sebou významně a často liší, proto došlo ve snaze najít tu správnou sestavu rozměrů, které dostatečně popisují morfologické rozdíly mezi sledovanými druhy, k provedení ordinačních analýz (RDA).

Z této analýzy vzešly výsledky, které v podstatě potvrzují obecná tvrzení, jiná jsou ale nová. Samice **raka bahenního** jsou nejvíce charakterizovatelné velkým úhlem *gamma a delta* na klepetu; špičatá klepeta (tedy velký *delta*) nejsou překvapivým zjištěným a běžně se udávají, stejně jako velký úhel *gamma*; ten je ovlivněn úzkou bází klepeta (viz obr. 25). Totéž platí i u samců; **rak bahenní** je tedy charakterizován úzkými špičatými klepety, v souladu s literaturou (Kozák et al., 2013; Štambergová et al., 2009). Je až neuvěřitelné, že analýzy též nezdůraznily na první pohled tolik odlišný karapax tohoto druhu.

Opět nepřekvapí první dvě charakteristiky **raka kamenáče** u obou pohlaví; velká *dk2* je jasným důkazem pro tvrzení, že kamenáč má mohutná klepeta (Štambergová et al., 2009). Tento rozměr představuje širokou bázi. Pro kamenáče už je tvar karapaxu něčím, co ho odlišuje od ostatních druhů; velká délka *dc2* a velký úhel *beta* na karapaxu je to, co tvoří převážně člunkovitý tvar karapaxu tohoto druhu.

Samice **raka říčního** jsou dobře charakterizovatelné velkým úhlem *beta* na klepetu a tato informace je nová. Jde o to, že báze klepeta je v podstatě rovná, zatím co u ostatních druhů je zakřivená. U samců tohoto druhu jsou podstatné *dc3*, tedy dlouhé přední strany karapaxu, a překvapivě i dlouhé *dc4*, přestože rostrum, které by mělo tvořit výšku trojúhelníka, je nejdelší u raka bahenního (Štambergová et al., 2009). **Rak signální** je podobý raku říčnímu, v souladu s prameny (Kozák et al., 2013; Štambergová et al., 2009). **Raka pruhovaného** nelze na základě vybraných znaků vůči ostatním druhům vymezit a tak charakterizovat.

## Seznam použité literatury

- Bertocchi S., Brusconi, S., Gherardi, F., Bucciante, A. and Scalici, M., 2008. Morphometrical characterization of the *Austropotamobius pallipes* species complex. *J. Nat. Hist.*, 42, 31-32.
- Brewis J.M., 1981. The population dynamics and growth of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* in an aqueduct in Northumbria. Durham University, Durham, 190 pp.
- Buřič M., Kouba, A. and Kozák, P., 2010. Molting and Growth in Relation to Form Alternations in the Male Spiny-Cheek Crayfish *Orconectes limosus*. *Zoological Studies*, 49, 28-38.
- Deniz (Bök) T., Aydın, H. and Ateş, C., 2013. A study on some morphological characteristics of *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz 1823) in seven different inland waters in Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment* 19, 190-205.
- Deniz T., Harioglu, M.M. and Deval, M.C., 2010. A study on the morphometric characteristics of *Astacus leptodactylus* inhabiting the Thrace region of Turkey. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 397, 05.
- Endrizzi S., Bruno, M.C. and Maiolini, B., 2013. Distribution and morphometry of native and alien crayfish in Trentino (Italy). *J. Limnol.*, 72, 343-360.
- Gayon J., 2000. History of the Concept of Allometry. *Am. Zool.*, 40, 748-758.
- Huner J.V., 1994. Freshwater crayfish aquaculture in North America, Europe and Australia: families Astacidae, Cmabaridae, and Parastacidae. The Haworth Press, Inc. 312 pp.
- Chybowski L., 2007. Morphometrics, fecundity, density, and feeding intensity of the spiny-cheek crayfish, *Orconectes limosus* (Raf.) in natural conditions. *Archives of Polish Fisheries*, 15, 175–241.
- Chybowski L., 2014. Morphometric differentiation in four populations of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), in Poland. *Archives of Polish Fisheries*, 22, 229-233.
- Klingenberg C.P., 1998. Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biological Reviews*, 73, 79-123.
- Kouba A., Petrusek, A. and Kozák, P., 2014. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 413, 05.
- Kozák P., Ďuriš Z. and T., P., 2002. The stone crayfish *Austropotamobius torrentium* (Schrank) in the Czech Republic. *Bull. Fr. Peche Piscic.*, 367, 707-713.



- Kozák P., Z., Ď., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková, E. and Polícar, T., 2013. Biologie a chov raků. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, České Budějovice. 418 pp.
- Kozák P., Z., Ď., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková, E. and Polícar, T., 2014. Biologie a chov raků. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, České Budějovice. 418 pp.
- Papadopol M. and Diaconu, G., 1987. Contributions to the knowledge of the morphology of the Astacid Crayfishes from Romania. Travaux du Muséum d'Histoire naturelle "Grigore Antipa", 314, 5-6.
- Sint D., Via, J.D. and Füreder, L., 2005. Morphological variations in *Astacus astacus* L. and *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) populations. Bull. Fr. Peche Piscic., 376-377, 637-652.
- Souty-Grosset C., Holdich, D.M., Noël, P.Y., Reynolds, J.D. and Haffner, P. (eds.), 2006. Atlas of Crayfish in Europe. Patrimoines Naturels 64. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- Streissl F. and Hödl, W., 2002. Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schr. Hydrobiologia, 477, 201-208.
- Štambergová M., Svobodová, J. and Kozubíková, E., 2009. Raci v České republice (Crayfish in the Czech Republic). AOPK ČR, Praha.
- Vlach P., Hulec, L. and Fischer, D., 2009. Recent distribution, population densities and ecological requirements of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the Czech Republic. Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst., 384-395, 13.
- Vlach P. and Valdmanová, L., 2015. Morphometry of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in the Czech Republic: allometry and sexual dimorphism. Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst., 416, 16.
- Westin L. and Gydemo, R., 1995. The proportion of mature females of the noble crayfish, *Astacus astacus*, in ponds and under indoor conditions and the effect of trappability. Freshwater Crayfish, 8, 157-169.