

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



**EKOLOGIE KRAHUJCE OBECNÉHO (*ACCIPITER NISUS*)
V URBÁNNÍM PROSTŘEDÍ A OKOLNÍ KRAJINĚ**

DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Tomáš Kunca

Školitel: prof. Mgr. Miroslav Šálek, Dr.

Praha 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Mgr. Miroslava Šálka, Dr., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal. Současně dávám svolení s uveřejněním této práce na webových stránkách FŽP ČZU.

V Praze 31.7.2016

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku a realizaci této disertační práce.

Děkuji zejména Mirku Šálkovi za jeho vedení během mého studia, konzultace a nápady pomocí nichž jsem zrealizoval celé studium.

Za spolupráci v terénu při kontrole a hledání hnízd, odebírání vzorků a lezení stromů vděčím své mamce Jiřině Kuncové, Lence Jeřábkové, Janu Procházkovi, Pavlu Maškovi, Janu Hanelovi, Janu Višinskému a dalším. Za odbornou spolupráci moc děkuji Luboši Peškemu, který mi pomohl nejen při začátcích s pražskými krahujci, ale i během celého výzkumu, také Ivanu Čepičkovi za spolupráci s bičenkami. Díky také patří Reuvenu Yosefovi za přínosné myšlenky k posouzení chování krahujců.

Za kontrolu manuskriptů ať už po odborné stránce, či jazykové vděčím Davidu Horobinovi, Sarah Wood, Nicola Dixon, Jirkovi Vojarovi.

Dále děkuji za poskytnuté granty, bez nichž by práce nemohla vzniknout. Projekt byl podpořen granty IGA FŽP 20113127, IGA FŽP 20124224, IGA FŽP20134251 a IGA FŽP 20144233.

V neposlední řadě děkuji celé mé rodině a zejména rodičům za poskytnutí podpory po dobu celého studia.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce.....	5
3	Literární rešerše.....	6
3.1	Charakteristika zájmového druhu krahujce obecného	6
3.2	Trichomonóza	10
3.3	Obranné chování během hnízdění	12
3.4	DDT v ptačích vejcích	14
3.5	Skvrnitost vajec.....	15
4	Použitá literatura.....	18
5	Výsledky disertační práce.....	27
5.1	Článek I.	28
5.2	Článek II.	34
5.3	Článek III.	47
6	Komentář k výsledkům disertační práce	61
7	Použitá literatura.....	64

1 Úvod

Draví ptáci stojí na vrcholu potravních řetězců a jsou proto velice důležitým bioindikátorem stavu životního prostředí. S velkým poklesem početnosti dravců v 70. a 80. letech 20. století vlivem různých faktorů, se rozrostl zájem o tuto skupinu ptáků a dravci se stali jednou z nejkoumanějších skupin živočichů (např. White et al. 2002). Vlivem různých vypouštěcích programů, změn v legislativě a dalších faktorů se úbytek některých populací zastavil a stavy některých dokonce vzrostly (např. Heinrich 2009; Jones et al. 1994). Od té doby se na význam dravců - ukazatele stavu životního prostředí - pozapomnělo a v posledních letech se dostali do pozadí za ptáky ohrožované stávajícími problémy 21. století (např. ptáky polní krajiny). A právě jedním z nejvýznamnějších problémů dnešní doby jsou změny v přirozeném prostředí dané fragmentací, urbanizací a intenzifikací zemědělství. S urbanizací přírodních biotopů se kromě ptáků musí potýkat také ostatní druhy živočichů. Generalisté (druhy s širokou valencí) se poměrně rychle přizpůsobili a proto není překvapením zastihnout dříve velice plachá zvířata jako například lišky obecné (*Vulpes vulpes*) a srnce obecného (*Capreolus capreolus*) v parcích a zelených částech intravilánů měst a obcí. Vzhledem k velice rychlému celosvětovému rozvoji urbánních biotopů a s tím spojených následků postihujících zvířata ve volné přírodě (Palmer et al. 2004) je poměrně málo známo o biologii a ekologii druhů obývajících urbánní prostředí. Badatelé se tradičně soustředí na „neposkvrněné“ biotopy (McDonnell 1997) a tak základní ekologické procesy v urbánním prostředí zůstávají málo probádané, i když toto prostředí je svým způsobem velice zajímavé (např. Lancaster et al. 1979; Savard et al. 2000).

S rozvojem civilizace, intenzivním nárůstem výstavby měst a novou infrastrukturou se zvířata musí vypořádávat s novým, stále se měnícím prostředím. Mechanismus invazivního osidlování měst a urbánních biotopů byl dosud poměrně málo studován. První studie byly provedeny teprve až, když se jednotlivé populace živočichů usídlily v určité oblasti (např. Bird et al. 1996; Andersen & Plumpton 2000). S větším množstvím druhů osidlujících urbánní prostředí vzrostl zájem vědců o studium „nového“ prostředí, kde

mohla být demonstrována ekologická plasticita a mikroevoluční procesy zvířecích populací, které byly pod antropogenním tlakem (Luniak 2004).

Fenomén osidlování městského prostředí zvířaty přinesl nový termín synurbanizace. Tento termín v podstatě znamená přizpůsobení se populace určitým specifickým podmínkám urbánního prostředí. Synurbanizace se vztahuje ke dvěma pojmům: synantropizace a urbanizace, které je důležité rozlišit. Synantropizace obecně je adaptace populace živočichů k antropogenním podmínkám a urbanizace znamená změny v prostředí způsobené urbánním rozvojem (Luniak 2004).

S postupem času se stále více ptáků a savců „přizpůsobuje“ městskému prostředí, za což hovoří vzrůstající množství druhů a jejich populací vyskytujících se ve městech. Zároveň ale proces synurbanizace zvířat vypuštěných (introdukovaných) může ohrožovat populace vyskytující se v původním prostředí. Známým příkladem je úspěšný reintrodukční projekt sokola stěhovavého (*Falco peregrinus*), který byl vypuštěn do měst severní Ameriky a Evropy v druhé polovině 20. století. Introdukce sokolů do měst napomohla obnově celkové populace tohoto dravce a v některých místech jsou počty sokolů dokonce vyšší, než tomu bylo před vypouštěním (Craig et al. 2004).

Podoba každého druhu se pomalými evolučními procesy formuje po milióny let. Naproti tomu urbanizace a její změna krajiny probíhá pouze posledních 100 až 200 let, takže většina druhů se nestačí na nastalé změny adaptovat. Rozvoj urbánního prostředí ničí přírodní biotopy, ale zároveň vytváří nové ekologické niky, které přitahují stále větší množství druhů. Některé populace překonají ekologické bariéry urbanizace a úspěšně se adaptují novým specifickým podmínkám. Z evropské avifauny nejznámějším druhem, který se přizpůsobil expanzi měst je kos černý (*Turdus merula*) (Luniak et al. 1990). Rychlost a rozsah expanze tohoto synurbického druhu je v posledních letech porovnatelná s expanzí dalších druhů obratlovců – v Evropě to byly například hrdlička zahradní (*Streptopelia decaocto*) a ondatra pižmová (*Ondatra zibethica*), v severní Americe pak vrabec domácí (*Passer domesticus*) nebo špaček obecný (*Sturnus vulgaris*).

Na rozdíl od populací vyskytujících se přirozeně v rurálních oblastech musely synurbické populace projít změnami v chování a ekologii. Několik studií evropské fauny

(Avilova et al. 1994; Babińska-Werka et al. 1979; Engel et al. 1988) ukazují na charakteristická přizpůsobení. Tyto změny jsou následující (dle Luniak 2004):

- větší populační hustota spojená s menšími teritorii. To je zapříčiněno menší predací a prostorovou ohraničeností zastavěnými plochami
- potlačení tahového chování spojené s přezimováním ve městech, kde je mírnější klima, nezamrzlé vodní plochy a bohatší potravní zdroje
- prodloužená hnízdní sezona vzhledem k mikroklimatickým podmínkám
- delší život spojený s lepším přežitím zimního období vzhledem k příznivým potravním a klimatickým podmínkám, a redukce migrace, kterou provází vyšší úmrtnost
- změny hnízdního chování – používání antropogenních objektů a materiálů
- změny v potravní ekologii
- ztráta plachosti vůči lidem, což je základní bariéra v procesu synurbanizace

Kromě přizpůsobení se urbánnímu prostředí chováním a ekologií, nastaly i některé změny v morfologii, anatomii a fyziologické změny mezi urbánními a rurálními populacemi. Tyto změny byly nalezeny například u myšice temnopásé (*Apodemus agrarius*) (Gliwicz et al. 1994). U populace sokola stěhovavého v severní Americe se zjistilo, že 90% sokolů hnízdících ve městech pocházelo z městských hnízd a 83% sokolů vyvedených z hnízd ve volné přírodě hnízdí na útesech a skalách ve volné krajině (Septon et al. 1995). Z toho by se dalo usuzovat, že imprinting (vtištění) hraje důležitou roli v přizpůsobování a může vést k postupnému odlišení urbánních populací od populací ve volné krajině.

Zájem o urbánní ekologii v posledních letech stoupá (Alberti et al. 2003) a to ze dvou důvodů. Prvním je to, že studium urbánních ekosystémů může zlepšit základní porozumění procesům v populační ekologii. Proces kolonizace měst poskytuje možnost zkoumat invazní dynamiky na relativně malém území a v relativně krátkém čase

(Shigesada & Kawasaki 1997). Druhým důvodem je pochopení kolonizačních procesů a přežívání v antropogenním prostředí za účelem praktické ochrany fauny a flóry (McKinney 2002). V některých případech jsou živočichové přitahováni urbánním prostředím díky hojnosti zdrojů potravy nebo vhodnějším hnízdním podmínkám, ale následně jsou postihováni vyšší mortalitou např. kolizemi s překážkami (Sweeney et al. 1997) nebo neobvyklými nemocemi (například trichomonóza; Boal 1997). Z těchto a dalších důvodů mohou města představovat "ekologické pasti" pro některé druhy (Boal 1997; Leston & Rodewald 2006). Faktory, které ovlivňují změny v populacích, jsou často studované a to hlavně u ptáků. V porovnání s jedinci žijícími v rurálním „přírodním“ či „původním“ prostředí jsou ptáci žijící v městském prostředí vystaveni mnoha negativním faktorům, jakými jsou zvýšená parazitace snůšek (Chace et al. 2003), rušení lidmi (Fernandez-Juricic et al. 2001), hluku (Slabbekoorn & Peet 2003), konkurence introdukovanými druhy (White et al. 2005), nemoce (Boal et al. 1998). Tyto a jiné faktory mohou ovlivňovat zdraví a přežívání populací v městském prostředí.

Detailní výzkum určitých aspektů ekologie a biologie druhových populací je potřeba k tomu, abychom zjistili, zda jsou ptačí populace vyskytující se v přírodním prostředí rozdílné od těch v městském prostředí.

2 Cíle práce

Cílem disertační práce je zhodnotit a porovnat vybrané aspekty ekologie krahujce obecného v urbánním prostředí a okolní krajině. Důraz bude kladen na aspekty, které nebyly dosud zkoumány v předešlých studiích.

- (1) Přítomnost parazitického prvoka rodu *Trichomonas* u mláďat krahujců. Je rozdíl v nakaženosti mláďat v urbánním prostředí a okolní krajině?
- (2) Je chování hnízdící samice krahujce obecného stejné v městském prostředí a okolní krajině?
- (3) Množství DDT a jeho metabolitů ve vejcích krahujce obecného v České republice. Liší se koncentrace DDT ve vejcích městských krahujců a krahujců hnízdících v okolní krajině?
- (4) Skvrnitost vajec krahujce obecného. Je rozdíl ve skvrnitosti krahujců hnízdících v městském prostředí a okolní krajině?

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika zájmového druhu krahujce obecného

Krahujec obecný je jedním z nejvíce studovaných dravců a jeho populace byly od počátku minulého století detailně zkoumány (Owen 1916; Owen 1931-32). Ve druhé polovině 20. století se stal oblíbeným modelovým druhem (např. Newton 1975; Newton 1976; Newton & Marquiss 1976; Newton et al. 1981). Vedle poměrně velkého množství krátkodobých studií na rozdílných místech Evropy byl tento malý dravec i předmětem jedné dlouhodobé studie. Britský vědec Newton (1986) shrnul tyto dlouhodobé i krátkodobé studie prováděné ve Velké Británii do celé knihy. Toto dílo, které obsahuje rovněž jeho vlastní data z dlouhodobé studie krahujce obecného v jižním Skotsku, detailně pojednává o ekologii a biologii krahujce obecného.

Krahujec obecný je jedním z nejmenších dravců vyskytujícím se v Evropě. Samice měří od hlavy po konec ocasu okolo 37 cm a má rozpětí okolo 74 cm, samec má délku těla okolo 34 cm a rozpětí 62 cm. Velikostí a zbarvením je tento dravec dokonale přizpůsoben pro život a lov v zalesněných oblastech (Newton 1986). Dospělí jedinci jsou od mláďat rozlišitelní podle zbarvení a velikosti, ale u obou pohlaví jsou tyto charakteristiky velice variabilní. Dospělý samec je na zádech šedý až modro-šedý s oranžovým až krémově bílým jemným vlnkováním na hrudi. Množství oranžového zbarvení na hrudi je velice variabilní. Dospělá samice je více hnědá na zádech a vlnkování na hrudní části je silnější a hnědší. Jako mnoho dalších druhů dravců je i pro krahujce charakteristický obrácený pohlavní dimorfismus tj. samice je větší než samec. Dokonce podle získaných rozměrů jsou to dravci s největším pohlavním dimorfismem. Na jaře, těsně před začátkem hnízdní sezony, může samice vážit až dvakrát více než samec (Owen 1926 – 1927; Hudec et al. 2005).

Ptáci v prvním roce života jsou od dospělých jedinců rozeznatelní podle zbarvení, ale již ne podle velikosti. Při bližším prozkoumání jsou vzletná mláďata více hnědá než dospělí jedinci a jejich krycí pera a letky mají okraje narezavěle zbarveny. Na hrudi a přední straně těla je zbarvení mláďat charakterizováno hnědými srdci nebo kapkami.

Křídla mladých ptáků jsou kratší a širší vzhledem ke kratším prstním letkám a delším ručním letkám a jsou více zakulacená než u dospělých jedinců (Cramp & Simmons 1980). Ocas mladých ptáků je delší než ocas dospělých krahujců. Pro ekologické studie je tedy důležité, že lze identifikovat pohlaví a do značné míry i věk odchycených ptáků.

Krahujec obecný se vyskytuje v celé Palearktické oblasti od Irska až po Japonsko a také v severní Africe. I přes rozsáhlý areál se u krahujce neprojevuje geografická variabilita ve velikosti a zbarvení. Malé variace mají spíše klinální ráz a izolované ostrovní populace tvoří zpravidla odlišné poddruhy (subspecie). V části Evropy s mírnými zimami je druhem stálým (Velká Británie, částečně Holandsko), jinde potulným, ale většinou je alespoň část populace tažná. Směrem na sever podíl tažných ptáků a délka tahu narůstá. Krahujci obecní táhnou jednotlivě. Nejbližším příbuznými západní části Palearktidy je větší jestřáb lesní (*Accipiter gentilis*). V jihovýchodní Evropě a Asii se výskyt krahujce obecného překrývá s příbuznými druhy - krahujcem krátkoprstým (*Accipiter brevipes*) a krahujcem šikrou (*Accipiter badius*).

Krahujec obecný hnízdí na celém území České Republiky, od nížin až po nejvyšší stromová pásma hor (1150 m.n.m.) (Šťastný et al. 2006). Stabilní populace v ČR byla odhadnuta na 3 500 – 4 500 párů v roce 2001 – 2003. Porovnání s monitoringem z let 1973-77, 1985-89 a 2001-03 ukazuje na zvýšení početnosti krahujců. Oficiální statistika Ministerstva zemědělství Mysl (MZe) 1 – 01 pak uvádí následující počty jedinců; 2011 – 20 194, 2013 – 20 088, 2014 – 20 519. Četnost populace dle tohoto zdroje po roku 2010 do současnosti je tedy stabilní přibližně 20 000 jedinců. Počátek výskytu populace tohoto dravce v hlavním městě Praze nebyl zaznamenán (není zmiňován v dílech Wahl 1944; Baum 1955; Hanák 1983). První záznamy pocházejí až ze 70 let 20. století (Šťastný et al. 1987). V současné době je druhým nejběžnějším dravcem hnízdícím na území Prahy.

Krahujec nejčastěji hnízdí v jehličnatých a smíšených lesích, ale také v malých ostrůvcích stromů a v parcích uprostřed zástavby. Hnízdo je vystavěno z malých větví a bývá umístěno pod korunou hned u kmene stromu. U většiny studií je prokazatelná preference hnízdění na jehličnatých stromech (Newton 1986). Hnízdění krahujce obecného, stejně jako u většiny dravců, spadá do období nejvyšší potravní nabídky. Mláďata pěvců, kteří jsou jeho hlavní potravou, představují snadnou kořist hlavně koncem jara a začátkem léta. Úspěšnost hnízdění závisí na výběru hnízdní lokality a kvalitě

partnera. Krahujčí pár obsazuje hnízdní teritorium již v březnu a každý rok staví nové hnízdo, v ojedinělých případech může docházet k dostavění starého hnízda (většinou typické pro jednoleté jedince). V pražské populaci byl mezi hnízdicími páry zjištěn vysoký podíl jednoletých ptáků – průměrně 25,5 % (Peške 1992). Krahujci obvykle hnízdí ve druhém roce života. Newton et al. (1981) uvádí podíl jednoletých ptáků v hnízdicí populaci 17 % samců a 16% samic.

Zahraniční literatura uvádí počátek hnízdění v dubnu až květnu (Newton 1986), v ČR hnízdění začíná v dubnu až květnu (Hudec et al. 2005) přičemž na území hlavního města Prahy hnízdí krahujci dříve než v okolní krajině (Peške unpub.). Velikost snůšky se pohybuje mezi 3 – 6 vejci s průměrnou váhou 22.5g na 1 vejce. Vejce jsou bílá s variabilním hnědým skvrněním a samice je snáší každý druhý den, takže k dokončení celé snůšky je potřeba několik dní. Samice zahřívá vejce neustále, otáčí je a přemísťuje, aby všechna dosáhla konstantní teploty. Mláďata se líhnou asynchronně po 32-35 dnech inkubace a dalších 10 až 14 dní jsou samicí zahřívána. Mláďata opouští hnízdo ve věku okolo 4 týdnů. Samci zpravidla opouštějí hnízdo dříve než samice. Disperze mlád'at a jejich osamostatnění bylo pozorováno tři až čtyři týdny po opuštění hnízda, v době, kdy se mlád'ata učí lovit. Průměrný počet mlád'at ve snůšce je v Praze vyšší (3,78) (Peške in Fuchs et al. 2002) než počet mlád'at zjištěných v jiných studiích (např. Dánsko - 3,52 (Opdam et al. 1987), oblast Erzgebirge, Německo - 3,42 (Gedeon et al. 1986). Množství úspěšně vyvedených mlád'at je závislé na několika faktorech – predace, množství potravy, nemoce, počasí. V pražské populaci počet neúspěšných hnízdění fluktoval rok od roku s maximem 31% neúspěšných hnízdění v roce 1991 (Peške in Fuchs et al. 2002).

Některé páry zůstávají na stejných hnízdištích, jiné obsazují nová teritoria. Změna hnízdiště je nejčastěji spojena s neúspěšným hnízděním a také je typická pro mladé ptáky. Starší, zkušenější a tudíž úspěšnější páry většinou zůstávají na stejném hnízdišti. Fidelita se liší mezi pohlavími (75% samců a 60% samic zůstává na stejném hnízdišti) (Peške, unpub.). Vzdálenost mezi změněnými hnízdišti v Praze byla podobná jako u populace ve Skotsku. Neúspěšní samci se přesunou do lokality vzdálené průměrně 1km, samice o něco dále, cca 1,5km. Změna lokality je ve většině případů provázána změnou partnera.

V porovnání s ostatními dravci jsou krahujci poměrně krátkověcí (Newton 1986). Pouze malé množství jedinců dosáhne maximálního fyziologického stáří. Nejstarším ptákem zaznamenaným v Praze byla samice ve stáří 15 let a 9 měsíců (Peške unpubl.). Krahujci starší 10 let představují pouze 1% pražské populace. Mortalita je obecně nejvyšší v prvním roce života. Ze skotských studií byla mortalita v prvním roce života odhadnuta na 69% pro samce a 51% pro samice (Newton et al. 1981). Mezi hlavní příčiny úmrtnosti krahujců patří predace, hladovění, nemoci, kolize s překážkami a přímé pronásledování člověkem (zástřely, otravy, odchyty). Hlavním predátorem krahujce obecného ve volné přírodě je ještěř lesní (*Accipiter gentilis*), kuna lesní (*Martes martes*) a kuna skalní (*Martes foina*).

Krahujec obecný je specialista v lovu menších ptáků. Metody lovu jsou osvojovány mladými ptáky během prvních měsíců života. Lovecké zkušenosti neovlivňují pouze přežití jedince, ale následně i úspěšnost hnízdění. Krahujci jsou známi svou schopností ulovit kořist větší, než jsou sami. Záznamy zmiňují samice, které ulovily holuba hřivnáče (*Columba palumbus*) o váze vyšší než 500g. Potravní nabídka se odvíjí od oblasti výskytu a ročního období. U krahujců obecných žijících v Evropě bylo v potravě zaznamenáno přes 120 druhů ptáků. Mezi nejvíce zastoupené patří vrabec domácí (*Passer domesticus*), pěnkava obecná (*Fringilla coelebs*), drozd zpěvný (*Turdus philomelos*) a strnad obecný (*Emberiza citrinella*). Samci loví kořist do velikosti 120g a samice do velikosti 500g.

Jak již bylo zmíněno, krahujec obecný je jedním z nejvíce studovaných dravců v Evropě. Snad nejvíce pozornosti bylo věnováno hnízdní biologii krahujce v přirozeném prostředí. V Čechách nebyla tomuto druhu věnována taková pozornost jako třeba ve Velké Británii (Owen 1916; Owen 1926-27; Owen 1931-32; Newton 1986). Krahujci obecnému v ČR se vědci věnovali pouze sporadicky; za zmínku stojí práce Heinricha (1965), zabývající se hnízdní bionomií, práce Diviše (1981) sledující populační dynamiku, či ucelená práce Ortlieba (1987), popisující krahujce z celkového pohledu. Zato městská populace krahujce obecného v Praze byla nepřetržitě monitorována mezi lety 1985 a 2004, a proto je o „pražské“ populaci nashromážděno poměrně velké množství údajů (např. Peške 1992).

3.2 Trichomonóza

Prvoci rodu *Trichomonas* způsobují u ptáků protozoární nemoc zvanou trichomonóza. U ptáků je to zejména prvok *Trichomonas gallinae*. Tato nemoc nejvíce postihuje měkkozobé (Columbiformes) a dravce (Falconiformes). Ale byla již nalezena i u hrabavých (Galliformes), vrubozobých (Anseriformes), pěvců (Passeriformes), papoušků (Psittacine) a dalších druhů ptáků (Stabler 1951; Baker 1986; Cole 1999). Infekčním rezervoárem ve volné přírodě se zdají být holubi (*Columba livia f. domestica*) a další měkkozobí. Rozsah a vážnost nákazy u jedinců se liší v závislosti na kmenu *T. gallinae* a zároveň na obranyschopnosti imunitního systému nakaženého jedince (Cole 1999). U ptáků byly prokázány různé kmeny *T. gallinae* o rozdílné patogenitě. Nepatogenní kmeny nezpůsobují klinicky prokazatelnou nemoc, ale zvyšují imunitu na patogenní kmeny u postiženého jedince (Stabler 1954; Cooper & Petty 1988; Cole 1999). Patogenní kmeny způsobují nekrotické léze v orální dutině, voleti a vrchní části trávicího traktu. Tyto nekrotické léze ve většině případů zabraňují nakaženému jedinci přijímat potravu. Jedinec následně uhynie na vyhladovění či sekundární bakteriální infekce (Stabler 1954; Mesa et al. 1961; Hofle et al. 2000; Real et al. 2000).

Měkkozobí vykazují velkou variabilitu v nakaženosti a náchylnosti k různým virulentním kmenům (Stabler & Braun 1975; Harmon et al. 1987). Vypuknutí nákazy trichomonózy u dalších druhů měkkozobích, které zmiňují například Greiner & Baxter (1974) a Pepler & Oettle (1993), bylo pravděpodobně způsobeno introdukovaným patogenním kmenem. Hanson (1969) dokonce spekuluje o vlivu nákazy trichomonózy na vyhynutí holuba stěhovavého (*Ectopistes migratorius*) po té, co byly na americký kontinent přivezeni holubi z Evropy.

A právě měkkozobí jsou často kořistí dravců. Není tedy překvapením, že mnoho druhů dravců (a sov) bylo prokazatelně nakaženo trichomonózou (Work & Hale 1996; Boal et al. 1998; Erwin et al. 2000; Krone et al. 2005). Vzhledem k tomu, že tento parazit byl již prokázán u mnoha druhů ptáků, je důležité ho nepřehlížet při ochraně ohrožených druhů (Bunbury et al. 2007; Hegemann et al. 2007). Tento fakt je zvláště důležitý v případě dravců, kdy vzhledem k úbytku jejich přirozeného prostředí jsou nuceni osidlovat urbánní prostředí a lovit jinou kořist. Touto kořistí ve zmiňovaném městském

prostředí jsou často městští holubi a další měkkozobí. Výrazný rozdíl v rozšíření nákazy byl zjištěn u jestřába Cooperova (*Accipiter cooperii*) v Arizoně. Zatímco rozšíření nákazy u mláďat jestřábů Cooperových hnízdících mimo město bylo 9%, rozšíření nákazy u mláďat městských jestřábů bylo 85%. Dle autorů, hlavním důvodem byla větší konzumace měkkozobých v urbánním prostředí (Boal et al. 1998). Tento fakt byl později podpořen zjištěním, že 57% potravy městských jestřábů je tvořeno měkkozobými, kdežto u jestřábů mimo město tvoří měkkozobí pouze 4% potravy (Estes & Mannan 2003). Podobné výsledky byly zjištěny u mláďat jestřába lesního (*Accipiter gentilis*) na hnízdech blízko měst v Evropě. Například v Polsku byl výskyt trichomonád u mláďat 100% (Wieliczko et al. 2003) a v Německu bylo nakaženo 65% mláďat (Krone et al. 2005). U dalšího ohroženého druhu dravce – orla jestřábího (*Hieraetus fasciatus*), který ve velké míře preduje holuby byla také zjištěna přítomnost *T. gallinae*. V jižním Portugalsku bylo 50% mláďat diagnostikovaných pozitivně na přítomnost *T. gallinae* (Hofle et al. 2000). V severním Španělsku našli Real et al. (2000) 36% nakažených mláďat orlů a přičítají 3% úmrtnosti mláďat právě této nákaze.

Jak dokládá poměrně mnoho studií, kmeny jednotlivých parazitů se liší ve virulenci (specifická vlastnost patogenu). Ale pouze několik studií se zabývalo genetickou charakteristikou studovaných kmenů. Taxonomické určení jednotlivých druhů v rámci čeledi Trichomonadidae je možné pomocí použití genu 5.8S rRNA a regionů ITS (internal transcribed spacer) (Felleisen 1997; Hayes et al. 2003; Walker et al. 2003; Kleina et al. 2004; Gerhold et al. 2008). Gaspar da Silve et al. (2007) použili tuto sekvenci k určení kmene *T. gallinae* nalezenou u divoce žijících holubů z Mauriciusu. Dále tito autoři zjistili, že každý izolovaný kmen patří genotypu sekvenovaném autory článku Kleina et al (2004). Později ti samí autoři pomocí techniky náhodného zesílení polymorfni DNA, popsali sedm skupin kmenů lišících se druhově (species-specific) a geograficky (geographic-specific). Pouze velice málo studií se však zabývalo genetickou charakteristikou *T. gallinae* u dravců. Gerhold et al. (2008) studovali sekvence získané z jestřába Cooperova a káně širokokřídlé (*Buteo platypterus*). Jedna z posledních studií analyzovala *T. gallinae* u šesti druhů dravců. Fylogenetický strom *T. gallinae* se dělí na dvě větve; genotyp A, který obsahuje sekvence popsané autory Felleisen (1997) a Gerhold et al. (2007); a genotyp B, kde byly sekvence popsané v pracech Kleina et al. (2004), Gaspar da Silva et al. (2007) a Gerhold et al. (2008). Obě skupiny se liší od ostatních druhů *Trichomonas* sp.

odebraných z dutiny zobáku (Gerhold et al. 2008) a také od blízce příbuzných druhů – *Trichomonas vaginalis* a *Trichomonas tenax*. Dle studie Sansaro- Maester et al. (2009), převažoval genotyp B v odebraných vzorcích dravců.

Vzhledem k použití poměrně novějších technik pro získávání poznatků z říše parazitů bylo zatím publikováno relativně málo prací. Zejména těch, zabývajících se parazity rodu *Trichomonas* u dravců. S novějšími metodami (použití sekvence DNA) se naskytne příležitost detailněji studovat parazity ohrožených druhů nejen ptáků a snad se i díky tomu podaří zlepšit jejich ochranu.

Jedním z cílů této disertační práce bylo porovnání výskytu trichomonózy u mláďat krahujce obecného v urbánním prostředí a okolní krajině. Urbánní populace mohou být mnohem více nakaženy (např. Boal et al. 1998) a v případě silně ohrožených druhů může silné vypuknutí nákazy představovat značné riziko pro celou populaci.

3.3 Obranné chování během hnízdění

Živočichové reagují na přítomnost člověka různými způsoby. Samotná reakce jednotlivého zvířete je pak kombinací zkušeností získaných učením a částečně genetickou dispozicí. Zkušenosti získané učením jsou pak ovlivněny počtem setkání s člověkem a hlavně výsledkem takových setkání (Knight & Temple 1986). Samozřejmě se zvyšováním počtu lidí se mění i přírodní prostředí a tak se mnozí živočichové musí přizpůsobovat těmto změnám. Některé druhy ptáků se přizpůsobili zvětšující se hustotě lidí a doslova se “urbanizovali” (Cooke 1980). Velká města poskytují vhodné biotopy pro mnoho druhů živočichů, kteří jsou ochotni překonat ekologické bariéry urbanizace a adaptovat se novým podmínkám (Luniak 2004). Množství studií, které popisují chování ptáků v urbánním prostředí je velké a stále roste (Marzluff et al. 2001). Mezi nejznámějšími příklady ptačích druhů, které mezi prvními začali okupovat urbánní prostředí, patří bezesporu kos černý (*Turdus merula*), hrdlička zahradní (*Streptopelia decaocto*), holub hřivnáč (*Columba palumbus*), straka obecná (*Pica pica*) a další (Luniak et al. 1997). Díky přizpůsobování se urbánním podmínkám, některá města mají relativně vysokou druhovou biodiverzitu (Wilby & Perry 2006). Zejména pro některé

dravce je urbánní prostředí vhodným prostředím pro hnízdění. Města poskytují velké množství potravy, kvalitní podmínky pro hnízdění (budovy) a hlavně absenci pronásledování (Chace & Walsch 2006). Mimo města byli a některé druhy stále jsou, legálně pronásledováni. V místě, kde je daný druh pronásledován, by bylo nevýhodné se přizpůsobovat přítomnosti člověka a bylo by lepší se člověku vyhýbat (Knight 1984, Knight et al. 1989). Pronásledované druhy ptáků se tak chovají rozdílně v urbánním prostředí a okolní krajině (Kenney & Knight 1992). Jako následek pronásledování (například vystřelování hnízd) a reakce odlétnutí před člověkem (s návratem na zničené hnízdo) mohou někteří ptáci reagovat na přichozícího člověka agresivně. Predace hnízda je důležitým faktorem v úspěšnosti hnízdění a mnoho druhů ptáků tak může vidět člověka jako vetřelce (Fisher et al. 2004). Proto obrana hnízda může výrazně snížit ztrátu snůšky nebo mláďat (Grim 2008). Většina studií zabývajících se obraným chováním ptáků během hnízdění popisuje vzrůstající míru obrany s pokročilým stupněm hnízdění (Merritt 1984, Shields 1984, Sergio & Bogliani, 2001). Toto chování potvrzuje hypotézu o rodičovské investici, kdy rodiče investují více do svých potomků s postupem času (Trivers 1972, Barash 1975). Jinak řečeno, čím více rodiče investovali do rozmnožování, tím více se vyplatí bránit své potomky. Knight & Temple (1986) však tuto hypotézu vyvracejí a tvrdí, že studie, které dané chování popisovaly, byly metodicky špatné a pozorovaní ptáci si jen zvykali na člověka během návštěv.

Studií, které se zabývaly reakcí hnízdících dravců na člověka, není mnoho. Obzvláště těch, které porovnávaly dravce hnízdící v urbánním prostředí a těch hnízdících v okolní – přirozené krajině. Pokud se jedná o druh, který byl v minulosti pronásledován, je možné, že dané chování bude ovlivněno negativní zkušeností s člověkem.

První zmínky hnízdění krahujce obecného v Praze se datují do 70. let 20. století (Peške in Fuchs 2002). Krahujci, v Praze nacházejí dostatek potravy, vhodná místa pro hnízdění, méně predátorů než v jejich přirozeném prostředí. V minulosti byl krahujec obecný na území České republiky cíleně pronásledován. Ještě v 80. letech byl tento druh legálně střílen a záznamy ukazují, že v letech 1991 až 1993 byly ještě desítky krahujců odloveny (Myslivecká statistika MZe ČR, 2014).

Reakce krahujců na člověka v městském prostředí, kde nikdy nebyl pronásledován, by se mohla lišit od reakce krahujců hnízdících v okolní krajině, kde byl ještě v nedávné době střílen cíleně.

3.4 DDT v ptačích vejcích

DDT – dichlorodiphenyltrichloroethan byl poprvé syntetizován v roce 1874, ale jeho použití začalo až po roce 1939. Ve druhé světové válce byl tento bezbarvý organochlorid používán na kontrolu malárie a tyfu. Po válce bylo DDT volně používáno v zemědělství jako insekticid a jeho produkce rapidně vzrůstala. Až v 60. a 70. letech se zjistil jeho negativní vliv na životní prostředí. Carson (1962) ve své knize tvrdí, že přítomnost DDT v živočišných tkáních a potravních řetězcích byla zjištěna i v lokalitách vzdálených od místa použití. Zároveň uvedla, že se u DDT projevuje tzv. bioakumulace – hromadění v tkáních živočichů. Nejvíce postiženou skupinou živočichů byli ptáci, zejména dravci, kteří stojí na vrcholu potravního řetězce. První zmínky o tenčení skořápek vajec vlivem DDT a jeho metabolitů (např. DDE) byly zjištěny u sokola stěhovavého a kondora kalifornského (Peakall et al. 1976, Kiff et al. 1979). Ale i populace dalších druhů ptáků, nejen v USA ale i v Evropě, byly negativně tímto pesticidem ovlivněny (např.: Ratcliffe 1967). Jakmile byl efekt těchto chemikálií na živočichy zjištěn, bylo v mnoha zemích používání DDT zastaveno. V USA to bylo v roce 1972, ve Velké Británii v roce 1986 a v České republice v roce 1974. Jeho používání však bylo zaznamenáno ještě v 80. letech 20. století. Ačkoliv je dnes v US a Evropě používání zakázáno, v některých částech Afriky se DDT stále používá (Maharaj et al. 2005, Bouwman et al. 2008).

DDT je těžko odbouratelná halogensloučenina, dobře rozpustná v tucích. Tento organochlorid se dobře kumuluje v tělech živočichů a vlivem hromadění v tkáních nejvíce postihuje predátory. Různé druhy organochloridů mají rozdílný typ postižení živočichů (Newton 1986). Chemikálie typu DDT nepřímo působí na daného jedince, ale od určitého množství ovlivňuje rozmnožovací cyklus. Vyšší hladiny DDT a jeho metabolitů totiž způsobují tenčení skořápky vajec, což vede k rozmačkání vajec a snížení hnízdní úspěšnosti (Ratcliffe 1970, Cooke 1973, 1979, Newton 1979). Hlavní ovlivňující složkou

je DDE (metabolit DDT). Pokud je úspěšnost hnízdění natolik snížena, že je produkováno málo mláďat, která by kompenzovala mortality dospělců, populace se začne snižovat (Newton 1979, 1986, Henny & Wight 1969).

I krahujec obecný, vzhledem k tomu, že je vrcholovým predátorem může být negativně ovlivněn DDT. Většinu jeho potravy představují ptáci (Owen 1916, Newton 1986), kteří se živí semeny (na které je buď přímo pesticid aplikován), nebo se živí menšími živočichy, hmyzem, ve kterém se škodlivé látky ukládají z životního prostředí. U rozdílných populací krahujce obecného v Evropě byly zjištěny koncentrace DDT ve vejcích ale i v tkáních (Bogan & Newton 1977). Populace krahujce ve Velké Británii byla zdecimována a až po zákazu používání DDT se tato populace začala zvyšovat (Newton & Haas 1984). DDT ve vejcích krahujců bylo objeveno i v Německu (Farkaschovsky 1980, Conrad 1981, Denker et al. 2001), Nizozemí (Opdam et al. 1986) a Itálii (Provini & Galassi 1999). V rámci těchto studií byly hodnoty naměřené z vajec krahujců přibližně stejné. Jen Jagannath et al. (2008) našel ve vejcích z Velké Británie extrémně vysoké koncentrace DDE.

Koncentrace, které mohou poškodit jednotlivé druhy se různí. Například u sokola stěhovavého byla odhadovaná koncentrace DDT ve vejcích, která může být kritická pro populaci 15 – 20 ppm (wet weight basis) (Peakall et al. 1975). Newton (1979) uvádí, že hodnoty 4 – 5 ppm DDE (fresh weight) ve dravčím vejci, snižují váhu skořápky vejce o 15%.

3.5 Skvrnitost vajec

Ptačí vejce jsou unikátní ve svém rozmanitém zabarvení a skvrnění. Rozmanitost tohoto skvrnění je největší u pěvců (Passeriformes), ale i ostatní druhy mají skvrnitá vejce. Přibližně 60 % druhů pěvců vyskytujících se v holarktické oblasti má skvrnitá vejce (Sibley & Monroe 1990). Ptáci hnízdící v dutinách zpravidla snášejí vejce bez skvrnění na rozdíl od druhů hnízdících v otevřených hnízdech (Lack 1968). Skvrnitost vajec se vyskytuje u desítek druhů patřících do 27 řádů ptáků. Zejména častá je u dravců, krátkokřídlých, hrabavých, stepokurů a již zmíněných pěvců (Kilner 2006).

Zabarvení vejce je způsobeno pigmenty, které se ukládají přibližně 4 hodiny před snesením vejce a jsou proto nejvíce obsaženy ve vrchních vrstvách skořápky (Burley & Vadehra 1989). Barevné skvrny jsou převážně tvořeny protoporfyrinem (Kennedy & Vevers 1976), který ptáci produkují jako nadbytek během biosyntézy krevního barviva (Burley & Vadehra 1989). Protoporfyrinový pigment se ukládá ve všech vrstvách skořápky a zabarvuje skořápku od žluté přes červenou až po tmavě hnědou. Vedle toho, že se v hojné míře vyskytuje v krvi a jeho pH je neutrální, má ještě dvě důležité vlastnosti. Jeho struktura připomíná pevný lubrikant, který se používá ve stavebnictví, a proto se můžeme domnívat, že může mít absorpční schopnost (proti otřesům) ve skořápce (Solomon 1987; Solomon 1997). Druhou důležitou vlastností je, že protoporfyrin odráží infra-červené záření (Bakken et al. 1978), čímž vznikají chladnější místa na vejci a také redukuje ztrátu vody. Druhým důležitým pigmentem je biliverdin a jeho cheláty zinku. Tento pigment produkuje barvy od modré po zelenou (Kennedy & Vevers 1976; Burley & Vadehra 1989). Přesné množství pigmentu, který je ukládán do skořápky, je kontrolováno hormony – estradiolem a progesteronem (Soh & Koga 1997). Pigmenty ve skořápce jsou důležitou strukturální složkou, přidávající na síle a pružnosti skořápky (Gosler et al. 2005). A jak se posledně zmiňovaní autoři domnívají, může to být jejich jediná funkce. U některých menších druhů ptáků je však pigment důležitý, protože zpevňuje skořápku. A to v případě, že si ptáci nemohou ze svého malého těla (kostry – zásoby vápníku) vzít dostatek na tvorbu skořápky. Alternativní možnosti se nabízí v podobě více funkcí ukládaného pigmentu, jako například funkce signální nebo termoregulační.

I přes velký zájem, který byl věnován skvrnitosti vajec, není u většiny druhů ptáku znám jasný důvod zbarvení. Domněnky vysvětlují pouze některé původce zbarvení vajec, ale nedokážou vysvětlit veškerou variaci ve zbarvení vajec. Evidence u některých druhů ukazuje, že význam zbarvení vajec má svá opodstatnění např. maskování před predátory (Bakken et al. 1978; Sanchez et al. 2004) a mimikry – ochrana před parazity snůšek (Davies & Brooke 1988). Dle Wallace (1889) byla vejce předků ptáků bílá a veškeré formy zbarvení a skvrnění jsou adaptace na specifické mikro-prostředí daného hnízda, sloužící k ukrytí vajec. Ptáci hnízdící v dutinách snášejí vejce čistě bílá, zatímco ptáci, jejichž hnízda jsou exponovaná, snášejí vejce červeně nebo hnědě skvrnitá, což Wallace vysvětluje jako adaptaci pro ukrytí. Experimenty však jeho teorii ne vždy potvrzují (Underwood & Sealy

2002). Z většiny studií je jasné, že zbarvení vajec zvyšuje krypsi, ale je to až druhotné za maskováním hnízda před predátory. To potvrzují některé studie, které tvrdí, že nejvíce kryptických vajec snášejí ptáci, kteří nestaví hnízdo (Gotmark 1992; Gotmark 1993; Underwood & Sealy 2002).

Zabarvení vajec může také ovlivňovat samotnou teplotu vejce a zárodku. Starší studie prokázaly, že nabarvená bílá vejce mají vyšší vnitřní teplotu (Montevecchi 1976). Pro některé druhy jako například pštros, by exponované tmavé vejce na slunci dosáhlo vyšší teploty než bílé vejce, což by bylo smrtelné pro embryo (Bertram & Burger 1981). Tudíž ptáci, kteří snášejí vejce do otevřených hnízd, musí zvolit kompromis mezi větší možností predace či nižší teplotou vejce, respektive embrya. Na druhou stranu, některé druhy, které používají k zbarvení vajec protoporfyrin a biliverdin využívají jejich efektu odrazu slunečního světla (v infračerveném spektru). Bakken et al. (1978) zjistily, že vejce zabarvená právě těmito dvěma pigmenty odrážejí až 90 % infračerveného záření a tudíž snižují ohřev vejce.

Množství pigmentu – biliverdinu může u některých druhů signalizovat kondici samice (Moreno et al. 2004). Poměrně nedávné studie však zjistily, že zbarvení vajec nemusí mít nutně funkci závislou od zbarvení samotného, ale že množství protoporfyrinových skvrn je korelované s tloušťkou skořápky v závislosti na dostupnosti vápníku (Gosler et al. 2005). Tudíž skvrnitost ptačích vajec může odhalit mnoho o stavu životního prostředí (skrze přísun potravy a živin). Jagannath et al. (2008) zjistili, že protoporfyrinové skvrny jsou silně korelovány s množstvím DDE (metabolit známého insekticidu DDT) a tloušťkou skořápky u krahujce obecného. Proto, takovéto studie mají velký potenciál nejen z hlediska evolučních studií, ale i pro monitorování stavu životního prostředí.

4 Použitá literatura

- Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E. 2003. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience* 53: 1169 – 1179.
- Andersen, D. E. & Plumptre, D. L. 2000. Urban landscapes and raptors: a review of factors affecting population ecology. *Raptors at Risk: Proceedings of the 5th World Conference on Birds of Prey and Owls* (eds R.D. Chancellor & B.-U. Meyburg), pp. 435 – 445. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin.
- Andrzejewski, R., Babińska-Werka, J., Gliwicz, J., Goszczyński, J. 1978. Synurbization processes in an urban population of *Apodemus agrarius*. I. Characteristics of population in urbanization gradient. *Acta theriol.* 23: 341 – 358.
- Avilova, I. V., Korbut, B. B., Fokin, S. 1994. Urbanized population of waterfowl (*Anas platyrhynchos*) of the Moscow city. *Izd. Mosk. Univ., Moskva*.
- Babińska-Werka, J., Gliwicz, J. and Goszczyński, J. 1979. Synurbization processes in an urban population of *Apodemus agrarius*. II. Habitats of the Striped Field Mouse in town. *Acta theriol.* 26: 405 – 415.
- Baker, J. R. 1986. Trichomoniasis, a major cause of vomiting in budgerigars. *Vet Rec.* 118: 447 – 449.
- Bakken, G. S., Vanderbilt, V. C., Buttemer, W. A., Dawson, W. R. 1978. Avian eggs: thermoregulatory value of very high near-infrared reflectance. *Science.* 200: 321 – 323.
- Baum, J. 1955. *Ptactvo Velké Prahy*. Orbis, Praha.
- Bertram, B. C. R. & Burger, A. E. 1981. Are ostrich *Struthio camelus* eggs the wrong colour? *Ibis.* 123: 207 – 210.
- Bird, D. M., Verand, D. E. and Negro, J. J. 1996. *Raptors in Human Landscapes*. Academic Press/Raptor Research Foundation, London.
- Boal, C. W., Mannan, R. W., Hudelson, K. S. 1998. Trichomoniasis in Cooper's hawks from Arizona. *Journal of Wildlife Diseases.* 34: 590 – 593.

- Boal, C. W. 1997. The urban environment as an ecological trap for Cooper's Hawks. PhD Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ, USA.
- Bunbury, N., Jones, C. G., Greenwood, A. G., Bell, D. J. 2007. *Trichomonas gallinae* in Mauritian columbids: implications for endangered endemic. *Journal of Wildlife Diseases* 43: 399 – 407.
- Burley, R. W. & Vadehra, D. V. 1989. *The Avian Egg : Chemistry and Biology*. John Wiley & Sons, New York.
- Cole, R. A. 1999. Trichomoniasis. In: Friend M, Franson JC (eds). *Field manual of wildlife diseases*. US Department of Interior. National Geological Survey. Madison, WI, pp 201 – 206
- Cooper, J. E., & Petty, S. J. 1988. Trichomoniasis in free-living goshawks (*Accipiter gentilis*) from Great Britain. *J Wildl Dis*. 24:80 – 87.
- Craig, G. R., White, G. C., Enderson, J. 2004. Survival, Recruitment, and Rate of Population Change of the Peregrine Falcon Population in Colorado. *Journal of Wildlife Management*. 68(4): 1032 – 1038.
- Cramp, S. & Simmons, K. E. L. (1980) *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa*. University Press. Oxford.
- Darwin, C. 1871. *The Descent of man and Selection in Relation to Sex*. Murry. London
- Davies, N. B. & Brooke, M. DE L. 1988. Cuckoos versus reed warblers : adaptations and counteradaptations. *Animal Behaviour*. 36: 262 – 284.
- Diviš, T. 1981. Hustota a populační dynamika krahujce obecného. *Živa* 29: 73 – 74.
- Emlen, S. T., Emlen, J. M., Levin, S. A. 1986. Sex ratio selection in species with helpers-at-the-nest. *Am. Nat.* 127: 1 – 8.
- Engel, J., Keller, M., Leszkiewicz, J., Zawadzki, J. 1988. Synurbization of the mallard *Anas platyrhynchos* in Warsaw. *Acta orn.* 24: 9 – 28.

- Erwin, K. G., Kloss, C., Lyles, J., Felderhoff, J., Fedynich, A. M., Henke, S. E., Roberson, J. A. 2000. Survival of *Trichomonas gallinae* in white winged doves carcasses. *Journal of Wildlife Diseases* 36: 551 – 554.
- Estes, W. A. & Mannan, R. W. 2003. Feeding behavior of Cooper's hawks at urban and rural nests in southeastern Arizona. *The Condor* 105: 107 – 116.
- Felleisen, R. S. J. 1997. Comparative sequences analysis of 5.8S rRNA genes and internal transcribed spacer (ITS) regions of Trichomonadid protozoa. *Parasitology* 115: 111 – 119.
- Fernandez-Juricic, E., Jimenez, M. D., Lucas, E. 2001. Bird tolerance to human disturbance in urban parks of Madrid (Spain), Management Implications. In: Marzluff, J. M. et al. (eds.) *Avian Ecology and Conservation in Urbanizing World*. Kluwer Academic Publishers.
- Fisher, R. A. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press. Oxford.
- Fuchs, R., Škopek, J., Formánek, J. and Exnerová, A. 2002. Atlas hnízdního rozšíření ptáků Prahy, Praha.
- Gaspar da Silva, D., Barton, E., Bunbury, N., Lunness, P., Bell, D. J., Tyler, K. M. 2007. Molecular identity and heterogeneity of trichomonad parasites in a closed avian population. *Infection Genetics and Evolution* 7: 433 – 440.
- Gedeon, K. and Meyer, H. 1986. Breeding ecology and reproduction of the Eurasian Sparrowhawk, *Accipiter nisus*, in the Erz Mountains. *Hercynia* 23:385 – 408.
- Gerhold, R. W., Yabsley, M. J., Smith, A. J., Ostergaard, E., Mannan, W., Cann, J. D., Fischer, J. R. 2008. Molecular characterization of the *Trichomonas gallinae* morphologic complex in the United States. *The Journal of Parasitology* 94: 1335 – 1341.
- Gliwicz, J., Goszczyński, J. and Luniak, M. 1994. Characteristic features of animal populations under synurbization - the case of the Blackbird and of the Striped Field Mouse. *Memorabilia zool.* 49: 237 – 244.
- Götmark, F. 1992. Blue eggs do not reduce nest predation in the song thrush *Turdus philomelos*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 30: 245 – 252.

- Götmark, F. 1993. Conspicuous nests may select for non-cryptic eggs : a comparative analysis of avian families. *Ornis Fennica* 70: 102 – 105.
- Gosler, A. G., Higham, J. P. and Reynolds, S. J. 2005. Why are birds' eggs speckled? *Ecology Letters* 8: 1105 – 1113.
- Greiner, E. C. & Baxter, W. L. 1974. A localized epizootic of trichomoniasis in mourning doves. *Journal of Wildlife Diseases* 10: 104 – 106.
- Hanák, V. 1983. K výskytu a ekologie obratlovců v Praze. *Natura Pragensia* 2: 1 – 75.
- Hanson, R. P. 1969. The possible role of infectious agents in the extinction of species. In: Hickey, J. J. (ed) *Peregrine falcon populations*. University of Wisconsin Press, Madison, pp 439 – 444.
- Hardy, I. C. W. 1997. Possible factors influencing vertebrate sex ratio: an introductory overview. *Appl. Anim. Behav. Science* 51: 217 – 241.
- Harmon, W. H., Clark, W. A., Hawbecker, A. C., Stafford, M. 1987. *Trichomonas gallinae* in columbiform birds from Galapagos islands. *Journal of Wildlife Diseases* 23: 492 - 494.
- Hayes, D. C., Anderson, R. R. and Walker, R. L. 2003. Identification of trichomonadid protozoa from the bovine preputial cavity by polymerase chain reaction and restriction fragment length polymorphism typing. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 15: 390 – 394.
- Hegemann, A., Hegemann, E. D., Krone, O. 2007. Trichomonosis in a free-living Stock Dove (*Columba oenas*). *European Journal of Wildlife Research* 53: 235 – 237.
- Heinrich K. 1965: Z hnízdní bionomie krahujce. *Živa* 13: 35-37.
- Heinrich, W. 2009. Peregrine Falcon recovery in the continental United States 1974 – 1999, with notes on related programs of The Peregrine Fund. In Sielicki, J. & Mizera, T. (Eds), *Peregrine Falcon – status and perspectives in the 21st century*. University of Life Sciences Press, Warsaw – Poznan. pp 431 – 444.

- Höfle, U., Blanco, J. M., Palma, L., Melo, P. 2000. Trichomoniasis in Bonelli's eagle nestlings in south-west Portugal. In: P.T. Redig, J.E. Cooper, T.D. Remple & D.B. Hunter (Eds.), Raptor Biomedicine III (pp. 45_51). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Hoogland, J. L. 1981. Sex ratio and local resource competition. *Am. Nat.* 117: 796 – 797.
- Hudec K., Šťastný K. a kol. 2005. Fauna ČR, Ptáci 2/I, Akademia Praha.
- Chace, J. F., Walsh, J. J., Cruz, A., Prather, J. and Swanson, H. E. 2003. Spatial and temporal activity patterns of the brood parasitic brown-headed cowbird and an urban/wildland interface. *Landsc. Urban Plan.* 64: 179 – 190.
- Jagannath, A., Shore, R. F., Walker, L. A., Ferns, P. N., Gosler, A. G. 2008. Eggshell pigmentation indicates pesticide contamination. *Journal of Applied Ecology.* 45: 133 – 140.
- Jones, C. G., Heck, W., Lewis, R. E., Mungroo, Y., Slade, G., Cade, T. 1994. The restoration of the Mauritius Kestrel *Falco punctatus* population. *The International Journal of Avian Science* 137(1): 173 – 180.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 689: 373 – 386.
- Kennedy, G. Y. & Vevers, H. G. 1976. A survey of eggshell pigments. *Comparative Biochemistry and Physiology* 55: 117 – 123.
- Kilner, R. 2006. The evolution of egg colour and patterning in birds. *Biological Reviews* 81: 383 – 406.
- Kleina, P., Bettim-Bandielli, J., Bonatto, S. L., Benchimol, M., Bogo, M. R. 2004. Molecular phylogeny of Trichomonadidae family inferred from ITS-1, 5.8S rRNA and ITS-2 sequences. *International Journal for Parasitology* 34: 963 – 970
- Krone, O., Altenkamp, R., Kenntner, N. 2005. Prevalence of *Trichomonas gallinae* in Northern Goshawk from Berlin Area of Northeastern Germany. *Journal of Wildlife Diseases* 41: 304 – 309.
- Lack, D. 1968. Ecological Adaptations for Breeding in Birds. Methuen, London.

- Lancaster, R. K., Rees, W. E. 1979. Birds communities and the structure of urban habitats. *Canadian Journal of Zool.* 57: 2358 – 2368.
- Leston, L. F. V. & Rodewald, A. D. 2006. Are urban forests ecological traps for understorey birds? An examination using Northern cardinals. *Biological Conservation* 131(4): 566 – 574.
- Luniak M. 2004. Synurbization — adaptation of animal wildlife to urban development. In: Shaw W. W., Harris L. K., Vandruff L. (eds). *Proc. 4th Int. Symposium Urban Wildlife Conservation*. Tucson, pp. 50 – 55.
- Luniak, M., Mulsow, R., Walasz, K. 1990. Urbanization of the European Blackbird expansion and adaptations of urban population. In: Luniak M. (ed.), *Urban ecological studies in Central and Eastern Europe*. Ossolineum, Wroclaw, pp. 87 – 199.
- McDonnell, M. J. 1997. A paradigma shift. *Urban Ecosystems* 1: 85 – 86.
- McKinney, M. L. 2002. Urbanization, biodiverzity, and conservation. *Bioscience* 52: 883 – 890.
- Mesa, C. P., Stabler, R. M., Berthrong, M. 1961. Histopathological changes in the domestic pigeon infected with *Trichomonas gallinae* (Jones-Barn strain). *Avian Dis.* 5: 48 – 60.
- Montevecchi, W. A. 1976. Field experiments on the adaptive significance of avian eggshell pigmentation. *Behaviour* 58: 26 – 39.
- Moreno, J., Osorno, J. L., Morales, J., Merino, S., Tomas, G. 2004. Egg colouration and male parental effort in the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Journal of Avian Biology* 35: 300 – 304.
- Newton, I. 1986. *The Sparrowhawk*, T & A. D. Poyser. Calton.
- Newton, I. 1975. Movements and mortality of British Sparrowhawks. *Bird Study* 22: 35 – 43.
- Newton, I. 1976. Breeding of Sparrowhawks (*Accipiter nisus*) in different environments. *J. Anim. Ecol.* 45: 831 – 849.

- Newton, I., Marquiss, M., Moss, D. 1981 Age and breeding in Sparrowhawks. *J. Anim. Ecol.* 50: 839 – 853.
- Newton, I., & Marquiss, M. 1976. Occupancy and success of nesting territories in the European Sparrowhawk. *Raptor Research* 10: 65 – 71.
- Opdam, P., Burgers, J., Muskens, G. 1987. Population trend, reproduction and pesticides in Dutch Sparrowhawks following the ban on DDT. *Ardea* 75: 205 – 212.
- Ortlieb, R. 1987. Die Sperber. Dritte überarbeitete Auflage. Die neue Brehm-Bücherei.
- Owen, J. H. 1916. Some breeding habits of the Sparrowhawk. *British Birds* 10: 2 – 77.
- Owen, J. H. 1926-1927. The eggs of the Sparrowhawk. *British Birds* 20: 114 – 120.
- Owen, J. H. 1931-1932. The feeding habits of the Sparrowhawk. *British Birds* 25: 151 – 155.
- Palmer, M., Bernhardt, E., Chornesky, E. et al. 2004. Ecology for a crowded planet. *Science* 304: 1251 – 1252.
- Pepler, D. & Oetfle, D. E. E. 1993. *Trichomonas gallinae* in wild raptors on the Cape Peninsula. *South Africa Journal of Wildlife Research* 22: 87 – 88.
- Peške, L. 1992. Studium hnízdní populace krahujce obecného (*Accipiter nisus*) na území Velké Prahy. *Zprávy České společnosti ornitologické* 34: 15 – 16.
- Real, J., Manosa, S., Munoz, E. 2000. Trichomoniasis in a Bonelli's Eagle Population in Spain. *Journal of Wildlife Diseases* 36: 64 – 70.
- Sanchez, J. M., Corbacho, C., Munoz, E., Del Viejo, A. and Parejo, D. 2004. Colony-site tenacity and egg color crypsis in the Gullbilled Tern. *Waterbirds* 27: 21 – 30.
- Savard, J. L., Clergeau, P., Mennechez, G. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 48: 131 – 142.
- Septon, G., J., Marks, B., Ellestad, T. 1995. A preliminary assessment of Peregrine Falcon *Falco peregrinus* recovery in Midwestern North America. *Acta orn.* 30: 65 – 68.

- Shigesada, N. and Kawasaki, K. 1997. *Biological Invasions: Theory and Practice*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Sibley, C. G. and Monroe, B. L. Jr. 1990. *Distribution and Taxonomy of the Birds of the World*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Slabbekoorn, H. & Peet, M. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424: 424.
- Soh, T. & Koga, O. 1997. The effect of progesterone and estradiol-17 beta on the pigment accumulation of the shell gland in Japanese quail pretreated with aminoglutethimide. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 42: 147 – 150.
- Solomon, S. E. 1997. *Egg and eggshell quality*. 2nd ed. Manson Publishing Ltd. London. UK
- Solomon, S. E. 1987. Egg shell pigmentation. In *Egg Quality – Current Problems and Recent Advances* R.G. Wells & C.G. Belyarin(eds.). Butterworths, London. pp. 147 – 157.
- Stabler, R. M. 1954. *Trichomonas gallinae*: a review. *Exp Parasitol.* 3: 368 – 402
- Stabler, R. M. 1951. A survey of Colorado bandtailed pigeons, mourning doves and wild common pigeons for *Trichomonas gallinae*. *The Journal of Parasitology* 37: 471 – 472.
- Stabler, R. M., Braun, C. E. 1975. Effect of virulent *Trichomonas gallinae* on the band-tailed pigeon. *J. Wildl. Dis.* 11: 482 – 483.
- Sweeney, S. J., Redig, P. T., Tordoff, H. B. 1997. Morbidity, survival and productivity of rehabilitated Peregrine Falcons in upper midwestern U.S. *Journal of Raptor Research* 31: 347 – 352.
- Šťastný, K., Bejček, V., Hudec, K. 2006. *Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice*. Aventinum s.r.o. Praha, 463 s.
- Šťastný, K., Randík, A., Hudec, K. 1987. *Atlas hnízdního rozšíření ptáků v ČSSR 1973/77*. Academia, Praha.

Underwood, T. J. & Sealy, S. G. 2002. Adaptive significance of egg colouration. In *Avian Incubation : Behaviour, Environment and Evolution* (ed. D. C. Deeming), pp. 280 – 289. Oxford University Press, Oxford.

Wahl, V. 1944. *Pražské ptactvo*. 2. vydání, Česká grafická unie, Praha.

Walker, R. L., Hayes, D. C., Sawyer, R. W., Nordhausen, R. W., Van Hoosear, K. A., BonDurant, R. H. 2003. Comparison of the 5.8S rRNA gene and internal transcribed spacer regions of trichomonadid protozoa recovered from the bovine preputial cavity. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 15: 14 – 20.

Wallace, A. R. 1889. *Darwinism : An exposition of the theory of natural selection with some its applications*. Macmillan, London.

White, C., Clum, N., Cade, T., Hunt, W. 2002. Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*). In: *The Birds of North America*, No. 660, A. Poole and F. Gill (eds.) The Birds of North America, Inc. Philadelphia, Pennsylvania. Accessed online on September 15, 2013 at <http://bna.birds.cornell.edu/BNA/>

White, J. G., Antos, M. J., Fitzsimons, J. A., Palmer, G. C. 2005. Non-uniform bird assemblages in urban environments: the influence of streetscape vegetation. *Landsc. Urban Plan.* 71: 123 – 135.

Wieliczko, A., Piasecki, T., Dorrestein, G. M., Adamski, A., Mazurkiewicz, M. 2003. Evaluation of the Health Status of Goshawk (*Accipiter gentilis*) Nestlings in Wroclaw Vicinity. *Bulletin of the Veterinary Institute in Poznan* 47: 247 – 257.

Work, T. M. & Hale, J. 1996. Causes of owl mortality in Hawaii, 1992_1994. *Journal of Wildlife Diseases* 32: 266 – 273.

5 Výsledky disertační práce

- I. Kunca T., Smejkalová P., Čepička I., 2015: Trichomoniasis in European sparrowhawks in the Czech Republic. *Folia Parasitologica* 62: 035. doi: 10.14411/fp.2015.035
- II. Kunca T., Yosef R., 2016: Differential nest-defense to perceived danger in urban and rural areas by female Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*). *PeerJ* 4:e2070 <https://doi.org/10.7717/peerj.2070>
- III. Kunca T., submitted: DDE in eggs of Eurasian Sparrowhawk, *Accipiter nisus*, in the Czech Republic. *Sylvia*

5.1 Článek I.

Kunca T., Smejkalová P., Čepička I., 2015.

Trichomoniasis in European sparrowhawks in the Czech Republic.

Folia parasitologica 62: 035.

Research Article

OPEN ACCESS

Trichomonosis in Eurasian sparrowhawks in the Czech Republic

Tomáš Kunca¹, Pavla Smejkalová² and Ivan Čepička²

¹Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic;

²Faculty of Science, Department of Zoology, Charles University in Prague, Prague, Czech Republic

Abstract: Pigeon, doves and songbirds are hosts of the parasite *Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878), which causes avian trichomonosis. Raptors are infected when they digest infected prey. A high percentage of the diet of Eurasian sparrowhawk *Accipiter nisus* (Linnaeus) is comprised of birds. During the breeding season 2012 and 2013, we clinically tested 298 nestling Eurasian sparrowhawks from urban and rural areas of the Czech Republic for the presence of trichomonads. Sparrowhawk nestlings in the urban area were more infected (32.9%) than in the rural area (12.2%) in 2012 ($\chi^2 = 6.184$, $P = 0.045$). The number of infected nestlings dropped in the urban area (5.4%) and remained similar in the rural area (16.6%) in 2013. Sequences of ITS region and SSU rDNA confirmed that the isolates from infected sparrowhawk nestlings belonged to *Trichomonas gallinae*.

Keywords: *Accipiter nisus*, avian trichomonosis, ITS region, *Trichomonas gallinae*, SSU rDNA

The Eurasian sparrowhawk *Accipiter nisus* (Linnaeus) is a common raptor that preferably breeds in woods and forests where it can find an abundance of prey (Newton 1986). Large cities also provide sufficient amounts of prey and sparrowhawks have been found to be breeding in various towns and cities across Europe (Fraissinet and Fulgione, 2008). Prague city has been colonised by sparrowhawks since the early 1980's and the population varies between 45–55 breeding pairs (Peške in Fuchs et al. 2002). The specificity of the urban environment brings some hazards such as a higher risk of collision and an increased concentration of diseases (Chase and Walsh 2006).

Urban pigeons and doves are frequently reported to be infected by various diseases including trichomonosis caused by *Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878) (Phan et al. 2013). Trichomonosis was also found in songbirds such as the European greenfinch, *Carduelis chloris* (Linnaeus), common chaffinch, *Fringilla coelebs* Linnaeus, hawfinch, *Coccothraustes coccothraustes* (Linnaeus), and Eurasian blue tit, *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus) in western and northern Europe (Robinson et al. 2010). Since small and medium-sized birds comprise 97% of the sparrowhawk's diet during the breeding season (Newton 1986), the sparrowhawks have a high probability of encountering the parasite through ingestion of infected prey.

Modern molecular techniques allow genetic characterisation of the strains found in infected birds. By using the ITS region (ITS1-5.8S rDNA-ITS2) and SSU rDNA (small subunit ribosomal RNA gene), the diversity of the

Trichomonadidae has been examined in various studies (Kleina et al. 2004). However, only a few studies characterised *T. gallinae* from birds of prey using molecular data (Krone et al. 2005, Sansano-Maestre et al. 2009, Chi et al. 2013).

The main aim of the present study was to determine the prevalence of trichomonads in Eurasian sparrowhawks in the urban population of Prague and the rural population in northern Bohemia. A higher infection rate in urban sparrowhawks was suggested because of the high concentration of birds, especially pigeons (Fuchs et al. 2002). Additionally, we determined the genotype of trichomonads from sparrowhawks.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in two areas. The first was an urban area of Prague, Czech Republic (~240 km² – a circle in the central Prague with a radius of 8.7 km), where sparrowhawks breed in parks, gardens, cemeteries and urban greenery. The second study area was situated in the 'rural' Liberec region of north Bohemia, where sparrowhawks are found in large blocks of forest. The distance between the two areas is approximately 100 km, which is large enough to eliminate any contact between the two populations during the breeding season (Fig. 1). The maximum home range size was found to be 12.3 km² for females in Norway (Selas and Rafos 1999). In both areas the data collection was conducted during the breeding season from May to July 2012 and 2013. Sparrowhawks' nestlings (at the age of 20–24 days) were clinically tested for the presence of trichomonads using InPouch

Address for correspondence: T. Kunca, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, Praha 6 – Suchbátka, 165 21, Czech Republic. Phone: +420 604 309 795; E-mail: tkunca@gmail.com



Fig. 1. Map of study areas in the Czech Republic.

TF *Trichomonas foetus* (Riedmüller, 1928) test kits (Biomed Diagnostics, San Jose, California, USA), suitable for diagnosis of *Trichomonas gallinae* (see Cover et al. 1994). Swab samples were collected from the oral cavity, transferred into the InPouch medium, cultured in 37°C for 6 days and examined microscopically (100× magnification) for the presence of motile protists. Selected cultures from 2013 positive for the presence of trichomonads were subsequently transferred into TYM medium (Diamond 1957). The cultures were maintained at 37°C and subcultured every 3–4 days. A genomic DNA Mini Kit (Blood/Cultured Cell) (Geneaid, New Taipei City, Taiwan) was used to isolate DNA from the cultures and lysate of smear from the oral cavity of one dead nestling (isolate from this dead nestling was marked 'CB'). Primers 16Sl (TACTTGGTTGATCCTGCC; Tachezy et al. 2002) and ITSf (TTCAGTTCAGCGGGTCTTCC; Čepička et al. 2005) were used to amplify SSU rDNA and ITS region together. The QIAquick PCR Purification Kit (Qiagen, Hilden, Germany) was used to purify the PCR products. Subsequently they were bidirectionally sequenced on the ABI Prism 3100-Avant Genetic Analyzer (Applied Biosystems, Waltham, USA) using primer 1055 F (GGTGGTGCATGGCCG) in order to determine the sequence of the ITS region. Since all isolates had an identical sequence of the ITS region, SSU rDNA sequence was determined from only a single one (CB) using primers 16Sl, 514F (GTGCCAGCM-GCCGCGG), 1385R (GATCCTAACATTGTAGC), 1055R (CG-GCCATGCACCACC), 665R (ATACWCTAAGCGTCTCTG), and 295R (AGTCCGACGGTAACCGC). Sequence data reported in this paper are available in GenBank under accession numbers KM095107 and KM095108.

We used R 2.12.0 (R Core Team 2010) for statistical analysis of the infection (binomial response – positive versus negative test). A series of models was created in order to shed light on the effect of individual variables. Three factors were taken into consideration: the sex of the nestling, the locality and the number of nestlings in the nest. Finally, the nested model with the effect of year was used. The data were tested for overdispersion (< 1) before the statistical analysis was performed. Comparisons of the models using ANOVA function followed after removal of each

Table 1. Number of nests and nestlings related to the presence of trichomonads in urban and rural areas of the Czech Republic during 2012–2013.

Locality	2012		2013		2012		2013	
	infected nests	infected chicks	infected nests	infected chicks	n	%	n	%
Urban	8	35	31	33	2	11	4	5
Rural	3	18	9	12	3	21	9	17

Urban – Prague; rural – rural Liberec region.

term and their interactions and only the factors of which removal indicated statistically significant change ($P < 0.05$) were retained in the resulting model.

RESULTS

The presence of trichomonads was tested in 168 nestlings from 23 urban nests (94 nestlings) and 17 rural nests (74 nestlings) in 2012 and in 130 nestlings from 19 urban nests (76 nestlings) and 14 rural nests (54 nestlings) in 2013. The presence of trichomonads was detected in 31 and 4 nestlings in Prague and 9 and 9 nestlings in Liberec region in 2012 and 2013, respectively (Table 1). In spite of the high percentage of parasitised birds in 2012, only a few birds with macroscopic lesions in the oral cavity were found. In contrast, all positively tested birds in 2013 showed necrotic lesions in the oral cavity. Statistical analysis revealed that triple interactions (year : sex : pull) were not significant ($\chi^2 = 10.232$, $df = 6$, $P = 0.115$) and were consequently removed from following analyse. Male and female chicks were both infected without statistical significance ($\chi^2 = 3.203$, $df = 2$, $P = 0.201$). The prevalence of infection caused by trichomonads in sparrowhawk nestlings was different between the two areas ($\chi^2 = 6.184$, $df = 2$, $P = 0.045$). The number of nestlings in the nest was also found to have a highly significant result ($\chi^2 = 28.19$, $df = 2$, $P < 0.001$), i.e. it affects the prevalence of trichomonads among the sparrowhawk nestlings. The infection risk in the urban area of Prague in 2012 was higher with more nestlings in the nest. However, the infection risk declined with more nestlings on the nest in the rural area of Liberec region in 2012. The results from 2013 show similar pattern for both the urban and rural environments (Fig. 2).

Sequences of the ITS region of all nine isolates were identical and showed 98–100% homology with sequences of *Trichomonas gallinae* in GenBank. Phylogenetic analysis indicated that our isolates belong to the *T. gallinae* genotype B as defined by Sansano-Maestre et al. (2009), and sequence group A as defined by Gerhold et al. (2008) (not shown). More specifically, they were identical with 15 GenBank sequences that represented 93 isolates obtained from birds of prey, songbirds, columbids and parrots in Europe, North America and Australasia (Table 2). The SSU rDNA sequence of the isolate CB was identical with the GenBank sequence HG008106 of *T. gallinae* obtained from various European finches (Ganas et al. 2014), confirming species identity of our isolates.

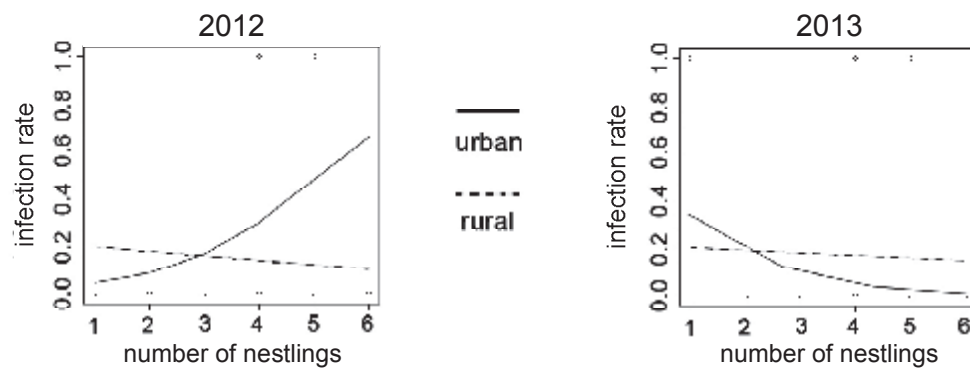


Fig. 2. Infection rate of *Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878) in Eurasian sparrowhawk, *Accipiter nisus* (Linnaeus), versus brood size in urban and rural areas 2012–2013.

Table 2. List of hosts infected by *Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878) with identical ITS region, their GenBank accession numbers and additional information.

Host	GenBank sequence	Isolate(s)	Origin	Reference
Birds of prey				
<i>Accipiter cooperi</i> (Bonaparte)	EU215369	Cooper's hawk 4	USA	Gerhold et al. (2008)
<i>Accipiter nisus</i> (Linnaeus)	KM085108	CB (+ 8 others)	Czech Republic	Present study
<i>Aquila fasciata</i> (Vieillot)	EU881915	R1905	Spain	Sansano-Maestre et al. (2009)
<i>Falco tinnunculus</i> Linnaeus	EU881916	R2015	Spain	Sansano-Maestre et al. (2009)
<i>Tyto alba</i> (Scopoli)	EU881913	R506	Spain	Sansano-Maestre et al. (2009)
Songbirds				
<i>Carduelis chloris</i> (Linnaeus)	HG008050	8800-3-C1 (+ 60 others)	Austria	Ganas et al. (2014)
	HG008050	TGAL-A, TGAL-B	Slovenia	Ganas et al. (2014)
<i>Carpodacus mexicanus</i> (Statius Müller)	EU290649	n.a.	USA	not published
<i>Coccothraustes coccothraustes</i> (Linnaeus)	HG008050	000091	Austria	Ganas et al. (2014)
<i>Emberiza citrinella</i> Linnaeus	HG008050	1914-2	Austria	Ganas et al. (2014)
<i>Fringilla coelebs</i> Linnaeus	HG008050	TGAL-SCIN	Slovenia	Ganas et al. (2014)
<i>Fringilla montifringilla</i> Linnaeus	HG008050	TGAL-PIN	Slovenia	Ganas et al. (2014)
<i>Haemorhous mexicanus</i> (Statius Müller)	EU215369	House finch 1	USA	Gerhold et al. (2008)
Columbids				
'Australasian columbid'	JQ755279	BBK (+ 4 others)	'Australasia'	not published
'Australasian columbid'	JQ755282	CLV1	'Australasia'	not published
'Australasian columbid'	JQ755281	BGH	'Australasia'	not published
'Australasian columbid'	JQ755280	SPT	'Australasia'	not published
'Australasian columbid'	JQ755279	BBK	'Australasia'	not published
<i>Columba livia</i> Gmelin	EU215369	Rock pigeon 8 (+ 6 others)	USA	Gerhold et al. (2008)
	HG008050	021337	Austria	Ganas et al. (2014)
<i>Columba</i> sp.	AY349182	G7	n.a.	Kleina et al. (2004)
<i>Patagioenas fasciata</i> (Say)	EU215369	Band-tailed pigeon 1	USA	Gerhold et al. (2008)
	KC215387	CA005882, CA015554	USA	Girard et al. (2014)
<i>Streptopelia decaocto</i> (Fridvaldszky)	JX089398	St. Kitts 21	St. Kitts and Nevis	Ecco et al. (2012)
<i>Zenaidura macroura</i> (Linnaeus)	EU215369	ATCC 30095 (+ 6 others)	USA	Gerhold et al. (2008)
Parrots				
<i>Melopsittacus undulatus</i> (Shaw)	JN007005	Vienna 5895-C1/06	Austria	Reinmann et al. (2012)

n.a. – not available.

DISCUSSION

The origin of *Trichomonas gallinae* in sparrowhawks is unknown but feeding on infected prey such as pigeons and songbirds is considered the most likely source (Krone et al. 2005). For a better understanding of the prevalence of the disease in sparrowhawk chicks, long-term study would be necessary. Nevertheless, results show a certain similarity in the prevalence of trichomonosis in sparrowhawk chicks from the rural area. Contrary to the rural area the urban area shows a year-on-year difference. Based on the results,

it is possible that the natural prevalence of trichomonosis in sparrowhawk chicks is somewhere between 5% and 15%. This is similar to other accipiter hawks in rural areas such as the northern goshawk (*Accipiter gentilis*) (Linnaeus) (Cooper and Petty 1988) and Cooper's hawk – *Accipiter cooperii* (Bonaparte) (Boal et al. 1998). There was a considerably higher infection rate in sparrowhawk chicks in the urban area in 2012. Such a situation could be caused by the pandemic outbreak of trichomonosis in songbirds in the central part of the Czech Republic reported by the State

Veterinary Administration and Czech Birdlife (Duben and Vermouzek 2012). Brood size obviously has a significant effect on the prevalence of trichomonads among the nestlings. In the event that the pandemic outbreak in the central Czech Republic had a detrimental effect on songbird populations and reduced numbers of some passerine species like in other countries (Robinson et al. 2010), sparrowhawks could respond to such changes by alteration of diet.

The urban population could transfer to feeding on columbids and thereby increase their chance of getting the infection. However, because the prevalence of trichomonosis in Prague's columbids is not known, this could be only one of many explanations. Another factor, responsible for the higher prevalence in larger broods in urban sparrowhawks, could be stress. In case of a decline in small-sized birds, due to a pandemic outbreak in the central area of the Czech Republic, larger broods of sparrowhawks could suffer from shortage of food. Subsequently, the stressed chicks would have higher chance of developing the disease through reduced immunity. In addition, coping with other factors specific to urban environment, which affect physiological stress, can be important disease spread among nestlings (Koolhaas et al. 1999).

Little is known about the differences in diet between the urban and rural sparrowhawk populations in the Czech Republic. Although the female sparrowhawk is able to predate on fully grown woodpigeons (Newton 1986), it is doubtful that pigeons are in a sparrowhawk's diet on a regular basis. In Prague where the concentration of pigeons is high, there is a higher chance of encountering weak and diseased pigeons that could be easily preyed by sparrowhawks. Prey remains of columbids were found near the urban nests by the authors during the study. Urban pigeons were found to be highly infected by trichomonosis in several cities. Borgwardt (1996) detected *T. gallinae* in 89.6% of free-living feral pigeons from Halle/Saale in Germany.

If the prevalence in sparrowhawk chicks in the urban area in 2013 showed a similar pattern to 2012, we could assume that the high concentration of pigeons may play a role in the incidence of trichomonosis in sparrowhawks in this urban area. Although pigeons provide a large amount of food for the brood, it is small and medium-sized birds that dominate the diet (Newton 1986, Bujoczek and Ciach 2009). Explanation for such difference in prevalence of trichomonosis in sparrowhawk chicks in urban area in 2012 and 2013 is unfeasible due to many factors but the pandemic outbreak is the most likely the explanation.

The pathogenesis of trichomonosis in birds could be affected by several factors such as prevailing environmental conditions, physiology of the host and parasite, viability and quality of food, sibling competition and stress (Greiner and Ritchie 1994). The immunity of the individual also af-

fects the development of the infection (Samour et al. 1995). Also, the disease would mainly develop in broods raised by younger-adult birds, which might be related to lower experience, resulting in poor chick condition (Newton 1979).

The presence of *T. gallinae* in adult sparrowhawks was not investigated during this study but some adult sparrowhawks in Prague were found to show signs of trichomonosis (L. Peške, Prague, Czech Republic – unpubl. data). Adult birds are probably less susceptible to infection than nestlings (Urban and Mannan 2014). Several nestlings showed visible signs of infection during sample collection. Granulomatous caseous growths within the oral cavity in some birds were developed to a state that they obviously prevented the bird from taking food. The presence of necrotic lesions in sparrowhawk nestlings during sampling differed between years.

The actual presence of the lesions is affected by some factors; environmental conditions, time of contamination, condition of the individual (Honigberg 1979). Another factor is the presence of other infections such as *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter, 1872) (Samour 2000). Such presence of other infectious organisms was not investigated. The mortality caused by trichomonosis in sparrowhawk nestlings was not measured but could be a limiting factor for the growth of the population, as in other species (Boal et al. 1998).

Sequences of the ITS region of all our isolates were identical with of *T. gallinae* already described those in other studies. Those organisms, with identical ITS sequences, were isolated from various hosts from different continents such as America and Europe. The strain found in sparrowhawks is the same as that found in other birds such as passerines and columbiforms in Europe (Lawson et al. 2011, Ganas et al. 2014). The parasite transmission between columbids and passerine populations is probably through sharing food and water sources. The appearance of trichomonosis in sparrowhawks in the Czech Republic could be related to the spread of this disease from the UK to Fennoscandia and later to Central Europe reaching Austria and Slovenia in 2012 (Ganas et al. 2014).

The present study monitored trichomonosis in sparrowhawk chicks in a relatively small area of the Czech Republic. Further monitoring and research is needed to understand the prevalence of *T. gallinae* in prey species, especially in urban environments, the susceptibility of adult birds to trichomonosis, as well as the ecological factors and kind of prey related to the spread of the disease.

Acknowledgements. The project was funded by the Internal Grant Agency of the Faculty of Environment ČZU Prague (grant no.: 20134251 and 20124224). We thank Miroslav Šálek and anonymous referees for their comments. We are also indebted to persons who helped in the field work.

REFERENCES

- BOAL C.W., MANNAN R.W., HUDELSON K.S. 1998: Trichomoniasis in Cooper's hawks from Arizona. *J. Wild. Dis.* 34: 590–593.
- BORGWARDT J. 1996: Untersuchungen zur Ekto- und Endoparasitenbürde bei Tauben (*Columba livia* forma *domestica*) aus dem Stadtgebiet von Halle Leipzig, Vet. Med. Diss., Universität Leipzig, 92 pp.
- BUJOCZEK M., CIACH M. 2009: Seasonal changes in the avian diet of breeding sparrowhawks *Accipiter nisus*: how to fulfil the offspring's food demands? *Zool. Studies* 48: 215–222.

- ČEPIČKA I., KUTIŠOVÁ K., TACHEZY J., KULDA J., FLEGR J. 2005: Cryptic species within the *Tetratrichomonas gallinarum* species complex revealed by molecular polymorphism. *Vet. Parasitol.* 128: 11–21.
- CHACE J.F., WALSH J.J. 2006: Urban effects on native avifauna: a review. *Land. Urb. Plan.* 74: 46–69.
- CHI J.F., LAWSON B., DURRANT C., BECKMANN K., JOHN S., AL-REFAEI A.F., KIRKBRIDE K., BELL D.J., CUNNINGHAM A.A., TYLER K.M. 2013: The finch epidemic strain of *Trichomonas gallinae* is predominant in British non-passerines. *Parasitology* 140: 1234–1245.
- COOPER J.E., PETTY S.J. 1988: Trichomoniasis in free-living goshawks (*Accipiter gentilis gentilis*) from Great Britain. *J. Wild. Dis.* 24: 80–87.
- COVER A.J., HARMON W.M., THOMAS M.W. 1994: A new method for the diagnosis of *Trichomonas gallinae* infection by culture. *J. Wild. Dis.* 30: 457–459.
- DIAMOND L.S. 1957: The establishment of various trichomonads of animals and man in axenic cultures. *J. Parasitol.* 43: 488–490.
- DUBEN J., VERMOUZEK Z. 2012: [Greenfinches die due to the protozoan's infection, humans are not in danger], <http://cso.cz/index.php?ID=2333,5/2012>. (In Czech.)
- ECCO R., PREIS I. S., VILELA D. A., LUPPI M. M., MALTA M. C., BECKSTEAD R. B., STIMMELMAYER R., GERHOLD R. W. 2012: Molecular confirmation of *Trichomonas gallinae* and other parabasalids from Brazil using the 5.8S and ITS-1 rRNA regions. *Vet. Parasitol.* 190: 36–42.
- FRAISSINET M., FULGIONE D. 2008: Comparative analysis of the breeding avifauna of Italian cities. *Avocetta* 32: 21–30.
- FUCHS R., ŠKOPEK J., FORMÁNEK J., EXNEROVÁ A. (Eds.) 2002: [Atlas of Prague Birds' Breeding Distribution.] Consult, Praha, 317 pp. (In Czech.)
- GANAS P., JASKULSKA B., LAWSON B., ZADRAVEC M., HESS M., BILIC I. 2014: Multi-locus sequence typing confirms the clonality of *Trichomonas gallinae* isolates circulating in European finches. *Parasitology* 141: 652–661.
- GERHOLD R.W., YABSLEY M.J., SMITH A.J., OSTERGAARD E., MANNAN W., CANN J.D., FISCHER J.R. 2008: Molecular characterization of the *Trichomonas gallinae* morphologic complex in the United States. *J. Parasitol.* 94: 1335–1341.
- GIRARD Y.A., ROGERS K.H., GERHOLD R., LAND K.M., LENGHAM S.C., WOODS L.W., HABERKERN N., HOPPER M., CANN J.D., JOHNSON C.K. 2014: *Trichomonas stableri* n. sp., an agent of trichomonosis in Pacific Coast band-tailed pigeon (*Patagioenas fasciata monilis*). *Int. J. Parasitol. Parasites Wildl.* 3: 32–40.
- GREINER E.C., RITCHIE B.W. 1994: Parasites. In: B. W. Ritchie, G. J. Harrison and L. R. Harrison (Eds.), *Avian Medicine: Principles and Application*. Wingers Publishing, Lake Worth, Florida, pp. 1007–1029.
- HONIGBERG B.M. 1979: Biological and physiological factors affecting pathogenicity of trichomonads. In: M. Levandowsky and S.H. Hutner (Eds.), *Biochemistry and Physiology of Protozoa*, Vol. 2, Academic Press, Inc. New York, pp. 409–427.
- KLEINA P., BETTIM-BANDIELLI J., BONATTO S.L., BENCHIMOL M., BOGO M.R. 2004: Molecular phylogeny of Trichomonadidae family inferred from ITS-1, 5.8S rRNA and ITS-2 sequences. *Int. J. Parasitol.* 34: 963–970.
- KOOLHASS J.M., KORTE S.M., DO BOER S.F., VAN DER VEGT B.J., CAN REENEN C.G., HOPSTER H., DE JONG I.C., RUIS M.A.W., BLOKHUIS H.J. 1999: Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neur. Biobehav. Rev.* 23: 925–935.
- KRONE O., ALTENKAMP R., KENNTNER N. 2005: Prevalence of *Trichomonas gallinae* in northern goshawk from Berlin Area of northeastern Germany. *J. Wild. Dis.* 41: 304–309.
- LAWSON B., ROBINSON R.A., NEIMANIS A., HANDELAND K., ISOMURSU M., AGREN E.O., HAMNIS I.S., TYLER K.M., CHANTREY J., HUGHES L.A., PENNYCOTT T.W., SIMPSON V.R., JOHN S.K., PECK K.M., TOMS M.P., BENNETT M., KIRKWOOD J.K., CUNNINGHAM A.A. 2011: Evidence of spread of the emerging infectious disease, finch trichomonosis, by migrating birds. *Ecohealth* 8: 143–153.
- NEWTON I. (Ed.) 1979: *Population Ecology of Raptors*. T. and A.D. Poyser, Berkhamsted, 399 pp.
- NEWTON I. (Ed.) 1986: *The sparrowhawk*. T. and A.D. Poyser, Calton, 396 pp.
- PHAN T.G., VO N.P., BOROS A., PANKOVICS P., REUTER G., LI O.T.W., WANG C.L., DENG X.T., POON L.L.M., DELWART E. 2013: The viruses of wild pigeon droppings. *PLoS ONE* 8: e72787.
- R CORE TEAM 2015: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- REINMANN K., MÜLLER N., KUHNERT P., CAMPERO C.M., LEITSCH D., HESS M., HENNING K., FORT M., MÜLLER J., GOTTSSTEIN B., FREY C. F. 2012: *Tritrachomonas foetus* isolates from cats and cattle show minor genetic differences in unrelated loci ITS-2 and EF-1 α . *Vet. Parasitol.* 185: 138–144.
- ROBINSON R.A., LAWSON B., TOMS M.P., PECK K.M., KIRKWOOD J.K., CHANTREY J., CLATWORTHY I.R., EVANS A.D., HUGHES L.A., HUTCHINSON O.C., JOHN S.K., PENNYCOTT T.W., PERKINS M.W., ROWLEY P.S., SIMPSON V.R., TYLER K.M., CUNNINGHAM A.A. 2010: Emerging infectious disease leads to rapid population declines of common British birds. *PLoS ONE* 5: e12215.
- SAMOUR J.H. 2000: *Pseudomonas aeruginosa* stomatitis as a sequel to trichomoniasis in captive saker falcons (*Falco cherrug*). *J. Avian Med. Surgery* 14: 113–117.
- SAMOUR J.H., BAILEY T.A., COOPER J.E. 1995: Trichomoniasis in birds of prey (order Falconiformes) in Bahrain. *Vet. Rec.* 136: 358–362.
- SANSANO-MAESTRE J., GARIJO-TOLEDO M.M., GÓMEZ-MUÑOZ M.T. 2009: Prevalence and genotyping of *Trichomonas gallinae* in pigeons and birds of prey. *Avian Pathol.* 38: 201–207.
- SELAS V., RAFOSS T. 1999: Ranging behaviour and foraging habits of breeding sparrowhawks *Accipiter nisus* in continuous forested area in Norway. *Ibis* 141: 269–276.
- TACHEZY J., TACHEZY R., HAMPL V., ŠEDINOVÁ M., VAŇÁČOVÁ Š., VRLIK M., VAN RANST M., FLEGR J., KULDA J. 2002: Catle pathogen *Tritrachomonas foetus* (Riedmüller, 1928) and pig commensal *Tritrachomonas suis* (Gruby & Delafond, 1843) belong to the same species. *J. Eukar. Microbiol.* 49: 154–163.
- URBAN E.H., MANNAN R.W. 2014: The potential role of oral pH in the persistence of *Trichomonas gallinae* in Cooper's hawks (*Accipiter cooperii*). *J. Wild. Dis.* 50: 50–55.

Received 30 October 2015

Accepted 21 April 2015

Published online 7 July 2015

Cite this article as: Kunca T., Smejkalová P., Čepička I. 2015: Trichomonosis in Eurasian sparrowhawks in the Czech Republic. *Folia Parasitol.* 62: 035.

5.2 Článek II.

Kunca T., Yosef R., 2016.

Differential nest-defense to perceived danger in urban and rural areas by female Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*).

PeerJ 4:e2070 <https://doi.org/10.7717/peerj.2070>



Differential nest-defense to perceived danger in urban and rural areas by female Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*)

Tomas Kunca¹ and Reuven Yosef²

¹ Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic

² Eilat Campus, Ben-Gurion University of the Negev, Eilat, Israel

ABSTRACT

The reaction of wildlife to humans is known to differ with surroundings. In urban environments that provide suitable habitats for breeding birds, animals adapt to humans and their response is accordingly altered. This study examined the nest defense behavior of female Eurasian sparrowhawks (*Accipiter nisus*) during the breeding season in urban and rural areas of Prague. The females showed four different types of reaction to humans that approached the nest and differed significantly between the two study areas. Contrary to expectations, urban nesting females were more aggressive than rural conspecifics. The intensity of response increased as the season progressed, and females defended their broods to a much greater degree than their clutches in both urban and rural habitats, suggesting a differential effort as a function of their relative investment in the breeding attempt conforming with the parental investment hypothesis.

Subjects Animal Behavior, Ecology, Zoology, Coupled Natural and Human Systems

Keywords Female, Nest defense, Perceived danger, *Accipiter nisus*, Urban environment, Rural, Eurasian sparrowhawk

INTRODUCTION

Wildlife are known react to perceived danger, including human presence, which affects their normal behavior and responses in a wide range of species-specific ways (*Dukas, 2001; Wojciechowski & Yosef, 2011*). The animals reaction to perceived danger is known to influence its fitness and life history, and to affect other behaviors such as inter- and intra-specific interactions and foraging considerations (e.g., *Grubb & Greenwald, 1982; Morse, 1986; Nonacs & Dill, 1990; Watts, 1990; Stamps & Bowers, 1991; Slotow, 1996*). *Whittaker & Knight (1998)* considered the reaction of an individual as the combination of learning and genetics.

Expanding human populations in almost every habitat on the globe has resulted in wildlife having to contend with greater disturbances in their natural environments or outright destruction of existing habitats. The outcome of ever-increasing human-animal encounters influences the learning components of animals (*Knights & Temple, 1986*). With the growing human population natural environments have become increasingly modified by humans and some species have reacted to such changes by habituation. Urban areas,

Submitted 12 February 2016

Accepted 3 May 2016

Published 7 July 2016

Corresponding author
Tomas Kunca, tkunca@gmail.com

Academic editor
Michael Wink

Additional Information and
Declarations can be found on
page 8

DOI 10.7717/peerj.2070

© Copyright
2016 Kunca and Yosef

Distributed under
Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

How to cite this article Kunca and Yosef (2016), Differential nest-defense to perceived danger in urban and rural areas by female Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*). *PeerJ* 4:e2070; DOI 10.7717/peerj.2070

in the form of cities, provide habitats for many animal species that willingly overcome ecological barriers of urbanization and adapt to the human-dictated conditions (Luniak, 2004). Interest in urbanization of birds is not novel (Erz, 1966) and the number of studies that describe avian responses to urbanization is immense and growing (Marzluff, Bowman & Donnelly, 2001). In particular, some raptor species find urban habitats very suitable as they provide large amounts of food in the form of human commensals (e.g., Feral Pigeons, *Columba livia*; Sparrows, *Passer spp.*; Brown Rats, *Rattus norvegicus*), quality nesting places and are free from some ecological pressures, such as persecution (Chace & Walsh, 2006). However, in the presence of persecution, or high levels of disturbance resulting in stress or unsuccessful breeding, it would be maladaptive to habituate to human predominant environments and birds can be expected to display avoidance behavior or increased aggression towards the instigator of the disturbance (Shannon et al., 2014). Persecuted avian species are known to behave differently in rural and urban environments (Kenney & Knight, 1992). As a result of direct persecution/disturbance and subsequent evasion, breeding birds react to perceived danger with stereotypic antipredator behavior. Nest predation is an important factor limiting breeding success and various birds view humans as potential predators (Fisher et al., 2004). Thus, defending the nest can reduce the parents' wasted energetic investment caused by the loss of a clutch or brood (Grim, 2008). Studies of avian nest defense show an increase in the intensity of the parents' defense as the breeding period progresses, i.e., the more advanced the breeding stage, the greater the parents' energetic investment in the reproductive attempt, resulting in an increased effort to defend their young (e.g., Merritt, 1984; Shields, 1984; Sergio & Bogliani, 2001). The aforementioned studies conform to the parental investment hypothesis (Trivers, 1972; Barash, 1975). However, Knight & Temple (1986) discovered that nest defense behavior was gradually modified by repeated visits to the nests, consequently resulting in the parents' loss of fear.

The Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*) is a common raptor that prefers to breed in woods and forests where it can find an abundance of prey (Newton, 1986). Sparrowhawks started to breed in Prague in the early 1980's (Št'astný, Randík & Hudec, 1987), between 1985–2004 the numbers of breeding pairs varied greatly (42–91 pairs), and eventually stabilized at 45–55 breeding pairs. However, because not all the individuals in the urban and surrounding rural areas are ringed for individual identification, we remain ignorant about the origins of the breeding population (sensu latu—the pioneer pairs; Rutz, 2008), the turnover within the urban population, or if the urban population is a source or a sink. At present, ringing of the city-bred young show that they comprise a substantial proportion of the individuals that are recruited into the breeding urban population (Peške in Fuchs et al., 2002). In rural areas, sparrowhawks have been persecuted by gamekeepers for centuries and whilst it was largely stopped in the 1980's, sparrowhawks were still hunted in the Czech Republic in the 1990's (Myslivecká statistika *Ministerstvo Zemědělství*, 2014).

In order to understand the influence of human activities on rural and urban sparrowhawk breeding pairs, we compared the reactions of breeding females to perceived danger. We hypothesized that we would find a greater degree of disparity between the behaviors of the urban and rural breeding females. We tested our hypothesis only on females due to the fact that, in sparrowhawks in the immediate vicinity of the nest, it is the female

sparrowhawks who usually repel intruders or react to perceived danger (*Newton, 1986*). Hence, in order to check our hypotheses, we observed the nest defense of adult female sparrowhawks during the breeding season in an urban area with high human density where we assumed sparrowhawks to be habituated to human beings, and in a rural area in which sparrowhawks live in the wild and have minimal contact with humans.

MATERIAL AND METHODS

Study area

The urban study was conducted in the center of Prague, Czech Republic (~ 240 km², radius of 8.7 km around the epicenter of the city, N50° 4.53497', E14°26.05478'). The area encompassed by the breeding sparrowhawks, included neighborhoods with residential housing, business districts and industrial areas. Sparrowhawks bred in parks, gardens and cemeteries. The rural study area was situated in the Liberec region of north Bohemia (N50°49.57548', E14°35.28330') where sparrowhawks are found in large tracks of natural forest. The distance between the two areas is ~ 100 km. In both study areas, data were compiled simultaneously during the breeding season which extended from early May to June 2013. In our analysis, we included only those nests which were located during the building stage and prior to egg laying. In addition, two nests that failed to fledge young were not included in our analysis. The nest sites were only visited twice during the breeding cycle in order to avoid habituation of birds to human approach since multiple visits are known to influence the female's reaction (*Knight & Temple, 1986*). At each of these visits, we conducted this experiment and also verified the breeding reproductive stage.

Eurasian sparrowhawk is characterized by a strong sexual dimorphism. The females are almost twice the size of the males and their undersides have grayish-brown striations, while those of the male are rusty in color. Another important fact is that the males very rarely incubate the eggs and do so only when the female is feeding, furthermore they never brood the young (*Newton, 1986*). The higher pitch call of the male also helps distinguish between the two sexes. These differences allowed us to be confident in knowing which bird we were observing during our visits.

Data collection

We recorded the response of each incubating female twice during the breeding season. Based on our data from previous years and on the different related behavior, we were able to estimate the different stages of the reproductive cycle. The first trial was conducted during the second half of incubation and the second trial during the first week of the nestling stage. We approached the nest from the nearest path most frequented by humans, in a very obvious manner, and once at the base of the nest tree, recorded the female's reactions for five minutes. To minimize any influence of inclement weather, nest visits were made during windless days with no precipitation. We categorized the female reactions into four behavioral responses. None of the observed females had reactions that spanned multiple behavioral responses:

- (1) skittish: leaves the nest at our approach, remains silent throughout the visit and does not visit the nest the 5 min period during which we stand at the base of the tree;

- (2) alert: alert to our approach but leaves the nest only when we are at the base of the nest tree, utters warning calls, irregularly spotted passing the nest tree during the 5 min period;
- (3) angry: alert to our approach and does not leave the nest while we stand at the base of the nest tree, leaves the nest only after gentle shaking of the nest tree, utters repeated warning calls, remains in eye-contact with the nest from adjacent trees;
- (4) intense: alert to our approach, does not leave the nest while we stand at base of the nest tree, refuses to leave the nest even when the tree is shaken, responds by aggressive wing beating against nest edge, aggressive posturing/mantling on the nest.

We used a Nikon Forestry PRO (Nikon Vision, Tokyo, Japan) to measure nest height and distance to the path. We categorized the habitat, where the nest was located, into four types according to the number of trees and basal area within a radius of 100 m around the nest tree:

- (1) Very dense stand comprised of either young spruce (*Picea* spp.) or pine (*Pinus* spp.) with >15 cm diameter at breast height (DBH);
- (2) Dense stand comprised of either one tree species or mixed coniferous (spruce, pine and larch, *Larix* spp.) with diameter >30 cm DBH;
- (3) full-grown mixed forest with diameter <30 cm DBH;
- (4) Solitary, fully-grown trees in city parks, and cemeteries.

Data analyses

Generalized linear models (GLM) with binomial distribution of errors of response variables (i.e., presence or absence of certain type of reaction) were employed to analyse possible effects of explanatory variables (locality—urban/rural; breeding stage—incubation/brooding; habitat; distance to path; individuality) using R (*R Development Core Team, 2011*). Data on nest height and its distance from the path were logarithmically transformed to approach normality. The nest height (continuous variable) and habitat (categorical variable) were not independent ($F = 34.182$, $Df = 3$, $P < 0.001$) and therefore only the habitat was used in the analysis. Although this variable is more complex, it is more relevant to the object of our study. Individuality of the female was factored with a random effect. Individuality was used because each female's response was included in the model twice (incubation/brood). By use of the individuality index we avoided pseudoreplication given that two observations were conducted at each nest. We ran a model for each female's reaction resulting in four separate models. Full models, containing all explanatory variables, were then simplified, i.e., all non-significant explanatory variables ($P > 0.05$) were excluded step-by-step, using the backward selection procedure (*Crawley, 2007*). Because of the nature of the statistical analysis, the significance level for the final results was tightened ($P < 0.01$) to reduce type I error. Before we used the final model we tested its parsimony and compared the null model with the full model. The full model did not improve the significance and the AIC value was low (null model AIC: 73.811, full model AIC: 62.907, used model AIC: 62.666). By running four different models, we were able to see the separate effect of the factors on each of the female's responses (cf. *Slamova, Klecka & Konvicka, 2011*).

Table 1 Comparative response occurrence of females Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*) when incubating eggs and brooding nestling in the Czech Republic in 2013.

Locality/response	Incubation				Brooding				
	Skittish	Alert	Angry	Intense	Locality/response	Skittish	Alert	Angry	Intense
Urban	27%	0%	21%	53%	Urban	21%	0%	16%	63%
Rural	47%	18%	29%	6%	Rural	18%	35%	29%	18%

Table 2 Data analyses of the responses of females Eurasian sparrowhawk (*Accipiter nisus*) to the human approach in the Czech Republic in 2013—effect of variables on the female's response (response 1, skittish; response 2, alert; response 3, angry; response 4, intense).

	Reaction 1				Reaction 2				Reaction 3				Reaction 4			
	χ^2	<i>P</i>	Est.	SE	χ^2	<i>P</i>	Est.	SE	χ^2	<i>P</i>	Est.	SE	χ^2	<i>P</i>	Est.	SE
Locality: stage	2.79	0.09	0.24	0.15	3.85	0.04	0.24	0.15	0.09	0.75	-0.52	0.17	0.01	0.90	-0.01	0.11
Stage	4.80	0.02	-0.29	0.11	3.13	0.07	-0.29	0.11	0.11	0.73	0.00	0.12	4.24	0.03	0.12	0.08
Locality	0.01	0.90	-0.11	0.15	6.07	0.01	-0.11	0.15	0.79	0.37	-0.08	0.02	6.32	0.01	0.35	0.15
Path	0.42	0.51	0.04	0.06	0.76	0.38	0.04	0.06	0.22	0.63	0.03	0.06	2.90	0.08	-0.11	0.06
Habitat	3.30	0.06	-0.17	0.1	0.16	0.68	-0.17	0.35	0.32	0.57	0.05	0.09	0.96	0.32	0.09	0.10

Frequency of each reaction type during incubation and brooding was proportionally expressed as a result of presence of the reaction from the total of observations.

RESULTS

The responses of females were observed at 17 rural nest sites and 19 urban nest sites. All four types of nest defense were observed in both rural and urban environments. The most frequent behaviors observed were the extreme reactions, i.e., either the first (skittish) or the fourth (intense) types, whilst the second (alert) type of behavior was relatively scarce (Table 1).

The average distance from the nest to the nearest trail was 65.0 m (± 59.94 SD) in the rural area and 33.6 m (± 29.95 SD) in the urban area. The distance from the path to the nest and the habitat type did not affect the females' response to human approach. The locality played a significant role in the "alert" ($\chi^2 = 6.07$, $Df = 1$, $P = 0.01$) and the "intense" ($\chi^2 = 6.32$, $Df = 1$, $P = 0.01$) responses, with "alert" being most commonly observed at rural sites, while the "intense" response was most common at urban nests. Reluctance to leave the nest and aggressive behavior towards the human, classified as "intense," were more frequent at urban sites (84.6%) than at rural sites (15.4%). Although not statistically significant, a trend was found in the effect of stage of breeding on the female's behavior in the "skittish" ($\chi^2 = 4.80$, $Df = 1$, $P = 0.02$) and "intense" ($\chi^2 = 4.24$, $Df = 1$, $P = 0.03$; Table 2.) responses. The first type response; females left the nest more willingly while incubating eggs (65.0%) than while brooding young (35.0%). The fourth type response; females refused to leave the nestlings more than when incubating (57.7% vs. 42.3% resp.). The third type of behavior was not affected by any of the explanatory variables.

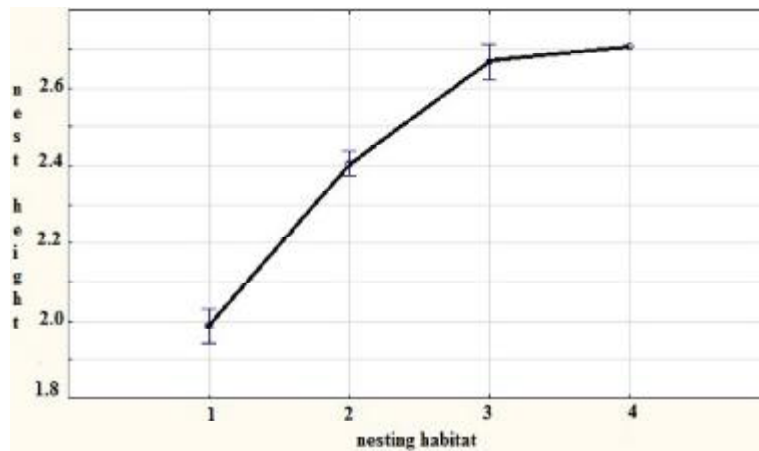


Figure 1 The relation of nest height (log transformed) on vegetal density in close vicinity of the nest tree—habitat type 1 is dense and that impedes access, habitat 2 and 3 are intermediate in density to 1 and 4 and habitat type 4 is sparse, Czech Republic, 2013.

We found that the height at which the nest is built is dependent on the density of the vegetation surrounding, the nest tree ($F = 34.182$, $Df = 3$, $P < 0.001$). The sparrowhawks placed their nests lower in trees with denser vegetation (Fig. 1).

DISCUSSION

Habituation of wildlife to human settlements has been noted since humans first created collective communities. However, the sensitivities and the degree to which each species responds are not yet understood and probably changes on an annual or generational basis. Many domesticated animals, especially dogs (*Canis familiaris*), are known to follow the human gaze and understand what is required of them, or aim to please their human companion, (Horowitz, 2010). In addition, the study of animal behavior is also known to greatly contribute to conservation of the studied species in the wild (Clemens & Buchholz, 1997). Hence, we examined nest defense behavior of female sparrowhawks during the incubation and the brooding stages of the reproductive cycle, as a function of distance from the human-frequented trail to the nest and rural/urban habitats. Our hypothesis was repudiated because habituation to humans had a negative influence on the sparrowhawks and their reactions were significantly more aggressive in the urban area. Even though sparrowhawks in Prague are exposed to nonthreatening humans more often than are sparrowhawks in rural areas, and have greater opportunities to learn from their interactions, their responses were more aggressive. Such aggressiveness in urban breeding birds was observed also in other species (Knight, Grout & Temple, 1987). This does not support our hypotheses wherein we thought that the continuous exposure and contact with humans would allow the sparrowhawks to habituate to the constant disturbance. On the contrary, we discovered that the females in urban areas appeared to have much higher stress levels than those in the rural areas. In rural areas, breeding sparrowhawks avoided humans in spite of minimal or no prior contact. In Japan, Abe et al. (2007) demonstrated that in

spite of the absence of persecution, sparrowhawks chose to nest in relatively undisturbed portions of habitat, in comparison to places of increased human activity.

Humans are known to impact wildlife with almost every activity in which we indulge (*Glasson, Godfrey & Goodey, 1995; Knight & Gutzweiller, 1995; Rein & Scharpf, 1997*). The distance from the path to the nest was shorter in Prague where parks are regularly used by humans for recreational purposes. Our findings concur with *Smith, Bosakowski & Devine (1999)* who also found a similar pattern in other avian species nesting in both rural and urban environments. The recreational path represents an open space for flying birds and adults often take advantage of them especially when bringing food to the nest (*Kenward, 2006*). Besides the fact that it is easily assumed that nesting birds in urban areas should be habituated to human presence, the aggressive reaction was greatest in these surroundings. This leads us to consider the point that we assume that urban wildlife undergo a habituation process and hence are able to live in urban areas. In a high disturbance environment habituation to the disturbing stimulus is assumed to be adaptive, and in urban settings this is likely to take the form of noise or humans passing close to the nest. These will be largely harmless, so in this situation, habituation would surely be of benefit to the birds, as they will spend more time at the nest and also draw less attention to the location of the nest site. However, the extreme behaviors displayed by the female sparrowhawks in the defense of their nests actually suggest this widespread assumption to be incorrect and that wildlife, regardless of the amount of human presence, does not really adjust to our activities. In fact, wildlife remains apprehensive of our presence and the high levels of disturbance appear to result in increased levels of aggression towards those that disturb the nest-tree, irrespective of the “habituation.”

Our findings suggest that the distance from the path to the nest is not as important for choosing the nest site as the structure of the surrounding woods and the specific tree chosen in which to build the nest. These findings are similar to those of *Newton (1986)*. Furthermore, it appears that although the sparrowhawks have adapted to living in urban areas they have not adapted to human disturbance, nor lost their defensive mechanisms. Our results suggest that the urban breeding pairs are constantly at greater stress levels than conspecifics breeding in rural areas. In consideration of the significant fact that raptors breed in urban environments (e.g., *Bird, Varland & Negro, 1996; Berry, Bock & Haire, 1998*), it is important to elucidate the physiological differences between the two populations in future studies, by evaluating the different stress levels using diverse techniques such as corticosterone levels (e.g., *Bortolotti et al., 2008; Bortolotti et al., 2009*) or ptilochronology (e.g., *Gombobaatar, Yosef & Odkhuu, 2009*).

One of the main predictors of the female sparrowhawks’ response to human approach was the stage of the breeding cycle. In both, the urban and rural sparrowhawks, the females defended their broods more tenaciously than when incubating their eggs. The later the provocation was in the breeding cycle, the more aggressive the reaction of the birds was to humans, and/or the more reluctant the female sparrowhawks were to leave the nest. Similar results were attained in other avian species that were also approached by humans (*Andersen, 1990; Sproat & Ritchinson, 1993; Sergio & Bogliani, 2001*) supporting the parental investment theory (*Trivers, 1972*).

Two other factors that were not evaluated in our study but could potentially have an impact on a females' behavior are the age and breeding experience of the female and clutch size. If the suggestions of *Knight & Temple (1986)* are correct then it is possible that older females, with increasing experience, will react differentially to humans as compared to younger, inexperienced females. Also, in order to further verify the parental investment theory (*Trivers, 1972*) we consider it probable that females will defend larger clutches more vigorously as compared to smaller ones, despite the study of *Osiejuk & Kuczynski (2007)* who found the effect of clutch size on flushing distance was small and did not support the parental investment theory. In general, the sparrowhawk's behavior could also be altered by human persecution. This study does not reveal whether the reduced nest defense in rural sparrowhawks is a change in gene frequency due to persecution of more aggressive and less cautious individuals or whether increased aggressiveness in urban sparrowhawks is learned as a result of the greater frequency of disturbance.

Another important point that resulted from this study is the fact that sparrowhawks display the ability to choose the height at which to place their nest as a function of the density of the vegetation surrounding the nest tree (*Fig. 1*). We assume that this may not really be the case and that sparrowhawks are unable to discern or evaluate vegetation density, but recognize niches that will hinder the approach of a potential predator. We think that because flight is the most expensive behavior (cf. *Norberg, 1995*), especially when carrying extra weight in the form of prey to the nest; it would be advantageous for the breeding pair to nest low and to save the energy invested in flying to the higher parts of the tree. This concurs with *Newton (1986)*, who also found that nest height was dictated by vegetal density and age.

CONCLUSIONS

We found that female sparrowhawks breeding in the urban environment of the city of Prague displayed a greater degree of aggression and agitation than their conspecifics that breed in rural areas. Furthermore, we found that parental investment in the form of nest defense increases with the breeding cycle and that parents with nestlings showed greater levels of defense behavior compared to when they were incubating eggs. In addition, in order to better defend their nests from predators, and yet to enable easier access to them, it appears that in dense vegetation, nests were placed comparatively lower than those in more open vegetation.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Miroslav Šálek and David Horobin for comments on an earlier version of the paper and Sue Har-Shefi for the improvement of the language.

ADDITIONAL INFORMATION AND DECLARATIONS

Funding

This project was funded by the Internal Grant Agency of the Faculty of Environment, Czech University of Life Sciences, Prague (grant no.: 20134251 and 20144233). The funders had

no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Grant Disclosures

The following grant information was disclosed by the authors:

Internal Grant Agency of the Faculty of Environment, Czech University of Life Sciences, Prague: 20134251, 20144233.

Competing Interests

The authors declare there are no competing interests.

Author Contributions

- Tomas Kunca conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, contributed reagents/materials/analysis tools, wrote the paper, prepared figures and/or tables, reviewed drafts of the paper.
- Reuven Yosef contributed reagents/materials/analysis tools, wrote the paper, reviewed drafts of the paper.

Animal Ethics

The following information was supplied relating to ethical approvals (i.e., approving body and any reference numbers):

The author was authorized and certified to conduct experiments/research on vertebrate animals according to the act no. 246/1992 Coll. on protection of animals against cruelty.

The animals were not handled during the experiment; therefore there is no need for approval.

Data Availability

The following information was supplied regarding data availability:

The raw data has been supplied as [Data S1](#).

Supplemental Information

Supplemental information for this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.2070#supplemental-information>.

REFERENCES

- Abe F, Hasegawa O, Kudo T, Higashi S. 2007.** Nest-site selection of Northern Goshawks and Eurasian Sparrowhawks in a fragmented landscape in northern Japan. *Journal of Raptor Research* **41**:299–306
[DOI 10.3356/0892-1016\(2007\)41\[299:NSONGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3356/0892-1016(2007)41[299:NSONGA]2.0.CO;2).
- Andersen DE. 1990.** Nest defense behavior of red-tailed hawks. *Condor* **92**:991–997
[DOI 10.2307/1368735](https://doi.org/10.2307/1368735).
- Barash DP. 1975.** Evolutionary aspects of parental behavior: distraction behavior of the Alpine Accentor. *Wilson Bulletin* **87**:367–373.

- Berry ME, Bock CE, Haire SL. 1998.** Abundance of diurnal raptors on open space grasslands in an urbanized landscape. *Condor* **100**:601–608 DOI [10.2307/1369742](https://doi.org/10.2307/1369742).
- Bird DM, Varland DE, Negro JJ. 1996.** *Raptors in human landscapes: adaptation to built and cultivated Environments*. London: Raptor Research Foundation and Academic Press.
- Bortolotti GR, Marchant T, Blas J, Cabezas S. 2009.** Tracking stress: localisation, deposition and stability of corticosterone in feathers. *Journal of Experimental Biology* **212**:1477–1482 DOI [10.1242/jeb.022152](https://doi.org/10.1242/jeb.022152).
- Bortolotti GR, Marchant T, Blas J, German T. 2008.** Corticosterone in feathers is a long-term, integrated measure of avian stress physiology. *Functional Ecology* **22**:494–500 DOI [10.1111/j.1365-2435.2008.01387.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01387.x).
- Chace JF, Walsh JJ. 2006.** Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* **74**:46–69 DOI [10.1016/j.landurbplan.2004.08.007](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.007).
- Clemens JR, Buchholz R. 1997.** *Behavioral approaches to conservation in the wild*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crawley MJ. 2007.** *The R Book*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Dukas R. 2001.** Effects of perceived danger on flower choice by bees. *Ecology Letters* **4**:327–333 DOI [10.1046/j.1461-0248.2001.00228.x](https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00228.x).
- Erz W. 1966.** Ecological principles in the urbanization of birds. *Ostrich* **37**:357–363 DOI [10.1080/00306525.1966.9639812](https://doi.org/10.1080/00306525.1966.9639812).
- Fisher RJ, Poulin RG, Todd LD, Brigham RM. 2004.** Nest stage, wind speed, and air temperature affect the nest defence behaviours of burrowing owls. *Canadian Journal of Zoology* **82**:707–713 DOI [10.1139/z04-035](https://doi.org/10.1139/z04-035).
- Fuchs R, Škopek J, Formánek J, Exnerová A. 2002.** *Atlas Hnízdního Rozšíření Ptáků Prahy*. Praha: Consult.
- Glasson J, Godfrey K, Goodey B. 1995.** *Towards Visitor Impact Management*. Avebury: Aldershot.
- Gombobaatar S, Yosef R, Odkhuu B. 2009.** Brandt's Vole density affects reproduction of Upland Buzzards. *Ornis Fennica* **86**:1–9.
- Grim T. 2008.** Are Blackcaps (*Sylvia atricapilla*) defending their nests also calling for help from their neighbours? *Journal of Ornithology* **149**:169–180 DOI [10.1007/s10336-007-0257-7](https://doi.org/10.1007/s10336-007-0257-7).
- Grubb TC, Greenwald L. 1982.** Sparrows and a brush pile: foraging responses to different combinations of predation risk and energy costs. *Animal Behaviour* **30**:637–640 DOI [10.1016/S0003-3472\(82\)80133-4](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(82)80133-4).
- Horowitz A. 2010.** *Inside of a dog's mind: what dogs see, smell and know*. New York: Scribner.
- Kenney SP, Knight RL. 1992.** Flight distances of black-billed magpies in different regimes of human density and persecution. *Condor* **94**:545–547 DOI [10.2307/1369231](https://doi.org/10.2307/1369231).
- Kenward R. 2006.** *The goshawk*. London: Poyser.
- Knight RL, Grout DJ, Temple SS. 1987.** Nest-defense behavior of the American crow in urban and rural areas. *Condor* **89**:175–177 DOI [10.2307/1368772](https://doi.org/10.2307/1368772).

- Knight RL, Gutzweiler KJ. 1995.** *Wildlife and recreationists*. Washington DC: Island Press.
- Knight RL, Temple SA. 1986.** Why does avian nest defense increase during the nesting cycle? *Auk* **103**:318–327.
- Luniak M. 2004.** Synurbization—adaptation of animal wildlife to urban development. In: Shaw W, Harris LK, Vandruff L, eds. *Proceedings of the 4th international symposium of urban wildlife conservation (W)*. Tucson.
- Marzluff JM, Bowman R, Donnelly R. 2001.** *Avian ecology and conservation in an urbanizing World*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Merritt PG. 1984.** Observer recognition by the Northern Mockingbird. *Journal of Field Ornithology* **55**:252–253.
- Ministerstvo Zemědělství ČR. 2014.** Forest management. Available at <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/statistika/myslivosť/x2001-2010/> (accessed 1 May 2014).
- Morse DH. 1986.** Predation risk to insect foraging at flowers. *Oikos* **46**:223–228 DOI [10.2307/3565470](https://doi.org/10.2307/3565470).
- Newton I. 1986.** *The sparrowhawk*. Calton: T & A. D. Poyser.
- Nonacs P, Dill LM. 1990.** Mortality risk vs food quality trade-offs in a common currency: and patch preferences. *Ecology* **71**:1886–1892 DOI [10.2307/1937596](https://doi.org/10.2307/1937596).
- Norberg UM. 1995.** How a long tail and changes in mass and wing shape affect the cost for flight in animals. *Functional Ecology* **9**:48–54 DOI [10.2307/2390089](https://doi.org/10.2307/2390089).
- Osiejuk TS, Kuczynski L. 2007.** Factors affecting flushing distance in incubating female greylag geese *Anser anser*. *Wildlife Biology* **13**:11–18 DOI [10.2981/0909-6396\(2007\)13\[11:FAFDII\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[11:FAFDII]2.0.CO;2).
- R Development Core Team. 2011.** *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Rein H, Scharpf H. 1997.** *Biodiversity and tourism. German federal agency for nature conservation*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rutz C. 2008.** The establishment of an urban bird population. *Journal of Animal Ecology* **77**:1008–1019 DOI [10.1111/j.1365-2656.2008.01420.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01420.x).
- Sergio F, Bogliani G. 2001.** Nest defense as parental care in the Northern Hobby (*Falco subbuteo*). *Auk* **118**:1047–1052 DOI [10.1642/0004-8038\(2001\)118\[1047:NDAPCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2001)118[1047:NDAPCI]2.0.CO;2).
- Shannon G, Angeloni LM, Wittemyer G, Fristup KM, Crooks KR. 2014.** Road traffic noise modifies behavior of a keystone species. *Animal Behaviour* **94**:135–141 DOI [10.1016/j.anbehav.2014.06.004](https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.06.004).
- Shields WM. 1984.** Barn swallow mobbing: self-defence, collateral kin defence, group defence, or parental care? *Animal Behaviour* **32**:132–148 DOI [10.1016/S0003-3472\(84\)80331-0](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(84)80331-0).
- Slamova I, Klecka J, Konvicka M. 2011.** Diurnal behavior and habitat preferences of *Erebia aethiops*, an aberrant lowland species of a mountain butterfly clade. *Journal of Insect Behaviour* **24**:230–246 DOI [10.1007/s10905-010-9250-8](https://doi.org/10.1007/s10905-010-9250-8).
- Slotow R. 1996.** Aggression in white-crowned sparrows: effects of distance from cover and group size. *Condor* **98**:245–252 DOI [10.2307/1369142](https://doi.org/10.2307/1369142).

- Smith DG, Bosakowski T, Devine A. 1999.** Nest site selection by urban and rural great horned owls in the northeast. *Journal of Field Ornithology* **70**:535–542.
- Sproat TM, Ritchinson G. 1993.** The nest defense behavior of Eastern Screech- Owls: effects of nest stage, sex, nest type and predator location. *Condor* **95**:288–296 DOI [10.2307/1369351](https://doi.org/10.2307/1369351).
- Stamps NE, Bowers MD. 1991.** Indirect effect on survivorship of caterpillars due to presence of invertebrate predator. *Oecologica* **88**:325–330 DOI [10.1007/BF00317574](https://doi.org/10.1007/BF00317574).
- Št'astný K, Randík A, Hudec K. 1987.** *Atlas hnízdního rozšíření ptáků v ČSSR1973/77*. Praha: Academia.
- Trivers RL. 1972.** Parental investment and sexual selection. In: Campbell B, ed. *Sexual selection and the descent of man*. Chicago: Al-dine, 135–179.
- Watts BD. 1990.** Cover use and predator-related mortality in song and savanna sparrows. *Auk* **107**:775–778 DOI [10.2307/4088011](https://doi.org/10.2307/4088011).
- Whittaker D, Knight RL. 1998.** Understanding wildlife responses to humans. *Wildlife Society Bulletin* **26**:312–317.
- Wojciechowski M, Yosef R. 2011.** House martin (*Delichon urbica*) response to perceived danger. *Journal of Ethology* **29**:93–94 DOI [10.1007/s10164-010-0227-z](https://doi.org/10.1007/s10164-010-0227-z).

5.3 Článek III.

Kunca T., submitted.

DDE in eggs of Eurasian Sparrowhawk, *Accipiter nisus*, in the Czech Republic.

Sylvia.

DDE in eggs of Eurasian Sparrowhawk, *Accipiter nisus*, in the Czech Republic

DDE ve vejcích krahujce obecného, *Accipiter nisus*, v České republice

Tomáš KUNCA

Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129,
165 21 Praha 6, Czech Republic, e-mail: tkunca@gmail.com

Abstract

Organochlorine residues were found in 37 Sparrowhawk eggs from the Czech Republic in 2011. DDE (range = 0.01-98.3 ppm lipid weight) was found in all eggs from the urban area of Prague, rural area of the Liberec region and hawks in captivity. The eggs from captivity had significantly lower levels of DDE than eggs from wild sites ($W = 322$, $P < 0.01$). Superficial eggshell pigmentation of 132 eggs was not different between urban and rural area. Such findings confirm that the residues of DDE respectively DDT, are still present in the environment although its use has been banned.

Abstrakt

Rezidua organochlorových pesticidů byla nalezena v 37 vejcích krahujce obecného v České republice v roce 2011. Určitá množství metabolitu DDE (0,01 – 98,3 ppm) se vyskytovala ve všech zkoumaných vejcích pocházejících z urbánní oblasti Prahy, Libereckého kraje, a chovu v zajetí. Vejce z chovu měla významně nižší množství DDE než vejce pocházející z volné přírody ($W = 322$, $P < 0,01$). Množství skvrnitosti skořápek 132 vajec se výrazně nelišila mezi urbánním prostředím a okolní krajině. Výsledky potvrzují přetrvávající přítomnost reziduí DDT a jeho metabolitů v životním prostředí i přes zákaz používání těchto pesticidů.

Keywords: DDE, eggshell pigmentation, Eurasian Sparrowhawk, pesticide, urban environment,

Introduction

DDT is an organochlorine pesticide that was widely used in agriculture all over the world. It was introduced in 1948 against the insect pests of a wide range of crops. It was only after

a few years of usage that the negative effects of this chemical became known. DDT is highly soluble in fat and it can readily accumulate in animal tissues and pass from prey to predator. DDT and its metabolite DDE have proved mildly toxic to birds, but their main effect is the egg-shell thinning, which causes egg breakage and reduces breeding success (Radcliffe 1970, Cooke 1973, Cooke 1979, Newton 1979). Predators were especially affected by pesticides and populations of various birds of prey declined thorough the world (Newton 1986, Nisbet 1989, Wegner et al. 2005). For example, mean residues of 15-20 ppm DDE wet weight in eggs were associated with eggshell thinning, sufficient to cause the peregrine falcon population to decline (Peakall and Kiff 1988). After discovery of the negative effects of DDT on wildlife, its use was banned in North America and Europe but this organochlorine is still in use in some African countries and it affects local wildlife (Daaboub et al. 2008).

The Eurasian Sparrowhawk (*Accipiter nisus*) is a small bird of prey that breeds in woods and forests across the Palearctic region. The Sparrowhawk's diet consist almost entirely (97%) of birds (Newton 1986). Different Sparrowhawk populations suffered from the use of DDT in Europe (Wallin 1984, Opdam et al. 1987, Newton and Willie 1992). Sparrowhawks lay pigmented eggs and recent studies suggest that the eggshell colour is affected by DDT and DDE respectively. Protoporphyrin spots in eggshell showed a strong correlation between DDE levels and shell thickness (Jagannanth et al. 2008). Thus females probably deposit more pigment to eggs with thin shells caused by DDE. The use of DDT in the Czech Republic was banned in 1974, but its residues could still be found in the environment and wildlife (Lana et al. 2010, Marsalek et al. 2013).

The main aim of the present study was to examine the level of DDE in Sparrowhawks' eggs after 30 years of ban in the Czech Republic. Its other aim was to determine the difference in superficial eggshell pigmentation of Sparrowhawks' eggs from two different populations in order to use this method for detection of DDE contamination of eggs.

Study area

Nest searches and surveys were based on Forsman et al. (1984) and Newton (1986) and were conducted from April to the end of May 2011. The first (rural) area was the Liberec region, north Bohemia (N 50°49.57548', E 14°35.28330') where the nests are situated in young coniferous plantations within agricultural land. The second (urban) area was the central part of Prague (~240 km², radius of 8.7 km around the epicenter of the city, N 50°4.53497', E 14°26.05478'), comprised of residential housing business districts where Sparrowhawks breed in parks, cemeteries and gardens. The distance between the two areas is ± 100km.

Material and Methods

High-resolution pictures of the two opposite sides of 132 eggs from 28 different clutches of urban and rural sparrowhawks were taken by digital camera (Canon PS-SX 120) on a unified background with colour and grey charts (Danes-Picta BST 13). The spottiness for each side of the egg was calculated using Adobe Photoshop CS4 (Adobe System Incorporated, 2011).

Added eggs both from wild and captive hawks were analysed for DDT (and its metabolite DDE) contents. The egg content was homogenized with anhydrous sodium sulphate and extracted in for 8 h. The extract was rotary evaporated at 40 °C and the residues were weighed for lipid determination. An aliquot of isolated fat was dissolved in 10 ml of an internal standard (triphenyl phosphate) solution. Sample extracts were then purified on

a Bio Beads S-X3 column and a fraction corresponding to an elution volume of 14–30 ml was collected. For gas chromatography /mass spectrometry (GC/MS) analysis of the target pesticide residues an Agilent 6890 gas chromatograph coupled to a mass spectrometer 5975 XLD Inert (Agilent Technologies, USA) operated in a negative chemical ionization (NCI) was used. For the separation of target analytes HP-5MS UI (15 m×250 µm i.d.×0.25 µm film thickness) capillary column was used.

The data were statistically analysed using R 2.12.0 (R Development Core Team, 2010). Both values of spottiness for each egg (expressed as percentage of the surface area projected on to a flat plane) were found to be strongly correlated ($r = 0.79$, $P < 0.05$) and therefore the mean value of both values was used in further analysis. Mean values did not fit the normal distribution and were square-root transformed. Consecutive analysis was done using the transformed data which were not biased from normality (Shapiro-Wilk test: $W = 0.99$, $P = 0.25$).

Variability of the egg pigmentation within clutches was tested using one way ANOVA. Effects of the three independent variables (nest, clutch size and study area) and their first-order interactions on egg pigmentation were tested together using the general linear model (GLM). The infertile and addled eggs from captivity come from two breeders and were produced by first generation female Sparrowhawks bred in captivity and fed on farmed produced hawk food such as quail, day old chicks and mice.

Results

DDE levels were measured in 18 eggs from 14 nests in the urban area, 5 eggs from 5 nests in the rural area and 14 eggs from 5 nests in captivity. The DDE values for Sparrowhawk eggs ranged from 18.7 to 98.3 ppm (lipid weight) in the urban area, from 16.5 to 93.9 ppm in the rural area and from 0.01 to 4.7 ppm in captivity. Although there was no difference of concentrations between the urban and rural areas (Wilcoxon test: $Z = 40$, $P = 0.7453$), there was a significant difference in DDE levels from eggs from the wild and those laid in captivity (Wilcoxon test: $Z = 322$, $P < 0.01$) (Fig. 1).

Although the eggs from urban and rural areas varied markedly in appearance and quantity of superficial pigmentation at first sight, the results show the opposite. The clutch size did not differ between the urban and rural areas (ANOVA, $df = 1$, $c^2 = 0.0067$, $P > 0.94$). Neither the effect of clutch size nor the effect of the study area and all interactions influenced the eggshell pigmentation of Sparrowhawk eggs ($df = 1$, $c^2 < 0.05$, $P > 0.9$). The effect of within-clutch (nest) variability was the only significant factor ($df = 1$, $c^2 = 4.48$, $P = 0.034$).

Discussion

The values of DDE concentration found in Sparrowhawks' eggs are expressed on lipid weight basis. The Sparrowhawk egg contains about 6 % of lipid (Newton 1986) or 6.8% respectively (Van den Burg 2002). When transformed to wet weight the values are similar to other studies conducted in other European countries (Table 1.). Only Jagannath et al. (2008) found extremely high concentration values of DDE in Sparrowhawk eggs in Britain. Neither the DDE levels nor the amount of the superficial pigmentation differed between urban and rural population despite the dissimilarity of the two environments. Prague's Sparrowhawk population is resident and the local birds spend most of their life in the built-up part of Prague (Peške, unpublished). It means that those birds are permanently affected by the urban environment and probably not burdened by agricultural practices although the transportation and cycles of substances in nature is complex. Pigmentation could be affected by environmental conditions (Gosler et al. 2005), so therefore the colouration of Sparrowhawk eggs could reflect the state of the specific Prague's urban environment and does not have to be only affected by DDT. Pesticides could be found in agricultural soils and, with regard to their high solubility in body fat, they become part of the food chain. The Sparrowhawk, as a specialized predator, is at the top of the food chain and it accumulates toxic substances. Almost 45 % of the Liberecký region's landscape is covered by agricultural land, the rest is montane landscape covered by forests. Shegunova et al. (2007) found higher soil concentration of organochlorinated pesticides in mountains in the Czech Republic than those in agricultural areas. They

suggest the occurrence in soils due to the atmospheric redistribution rather than from agricultural use in the past. Evidently, birds could be affected by various ways whether it is the historical use of direct application in agriculture or the complex cycles of the substances.

Jagannanth (2008) found that the quantity of protoporphyrin spots is correlated with the DDE level only in the internalized shell wall, not the superficial protoporphyrin patterning. Basically the visible pigmentation on the surface of the egg does not reflect the distribution of the internalized protoporphyrin spots and this casts doubt upon using this method for even tentative measuring the contamination of the local environment. Despite the high repeatability of egg maculation in superficial protoporphyrin within females, the eggshell pigmentation does not vary between the two study areas. Unfortunately, the eggs from captivity could not be assessed for the superficial pigmentation due to the damage of the shells prior to the spottiness calculation. That could bring an interesting result to the use of external pigmentation as a measurement of environmental pollution because the eggs from captivity contained significantly lower amount of DDE.

Apart from food source there is no difference between wild and captive Sparrowhawks, to which the contamination of eggs could be attributed. Food is probably the main route of pesticide contamination in Sparrowhawks. Captive birds are fed on farmed quail, day old chicks and the occasional pigeon and mice, so the food is therefore relatively free of organochlorine residues although traces of DDE were found in captive Sparrowhawk eggs. Wild Sparrowhawks prey mainly on small birds (Newton 1973, Opdam 1979, Cramp and Simmons 1980, Jędrzejewska and Jędrzejewski 1998). Prey choices differ between individual pairs and populations (Schnurre 1956, Schnurre 1957, Eldegard et al. 2003). Hence, individual differences in diet could account for some of the marked individual differences in contamination levels in hawks' eggs. A notable proportion of prey consists of migratory birds such as Hirundinidae, Sylviidae and Turdidae (Opdam 1979, Looft and Busche 1981, Bujoczek and Ciach 2009). These species could be affected by pesticides in their wintering grounds and therefore this could affect their predators in their breeding grounds. The African migrants could be at higher risk of exposure as the DDT is still used

in some African countries, mainly for disease vector control (Shalaby 2009, Barhoumi et al. 2014). Although DDT was banned in the Czech Republic in 1974, the residues are found in soil and water (Hradkova et al. 2012). Through this way the other prey bird species, both insectivores and seed eaters, can be affected through such channels. With 4 – 5 ppm DDE in the fresh eggs, raptors show around 15% reduction in shell weight (Newton 1979) but the sensitivity to DDT (DDE) varies between species.

In conclusion, the presence of DDE residues in Sparrowhawk eggs from the Czech Republic was detected. Although the found concentrations are low, they could lead to shell thinning and consequently reduce the breeding rate. Population of Eurasian Sparrowhawk in the Czech Republic is stable and shell thinning due to higher concentrations of DDE in eggs does not represent a threat to the population. Still, the situation of other bird species needs to be monitored and pollution by various substances must be taken into consideration when assessing the populations' threats. The superficial protoporphyrin patterning of eggs is not a reliable tool for measuring the environmental pollution. Author realises that the sample size is small but it is clear enough to stretch the point of the pesticide contamination of wild birds' eggs. Further monitoring and research is needed to find out the DDT contamination of other bird species and the environment and its potential negative effect on populations of endangered species.

Acknowledgements

This project was funded by the Internal Grant Agency of the Faculty of Environment ČZU Prague (grant no.: 20144233). I thank Miroslav Šálek for his comments and help with preparing the draft, David Horobin for language correction and reviewers for their objective evaluation of the manuscript.

Literature

Barhoumi B., LeMenach K., Devier M.H., El Megdiche Y., Hammami B., Ben Ameer W., Ben Hassine S., Cachot J., Budzinski H., Driss M.R. 2014: Distribution and ecological risk of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments from the Bizerte lagoon, Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 6290–6302.

Bujoczek M., Ciach M. 2009: Seasonal changes in the avian diet of breeding sparrowhawks *Accipiter nisus*: how to fulfill the offspring's food demands? *Zoological Studies* 48: 215–222.

Conrad B. 1981: Zur Situation der Pestizidbelastung bei Greifvögeln und Eulen in der Bundesrepublik Deutschland. *Okol. Vagel* 3: 161–167.

Cooke A.S. 1973: Shell-thinning in avian eggs by environmental pollutants. *Environmental Pollution* 4: 85–152.

Cooke A.S. 1979: Changes in egg shell characteristics of the sparrowhawk (*Accipiter nisus*) and peregrine (*Falco peregrinus*) associated with exposure to environmental pollutants during recent decades. *Journal of Zoology* 187: 245–263.

Cramp S., Simmons K.E.L. (eds) 1980: *The birds of the western Palearctic*. Vol. 2. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.

Daaboub J., Ben Cheikh R., Lamari A., Ben Jha I., Feriani M., Boubaker C., Ben Cheikh H. 2008: Resistance to pyrethroid insecticides in *Culex pipiens pipiens* (Diptera: Culicidae) from Tunisia. *Acta Tropica* 107: 30–36.

Denker E., Büthe A., Knüwer H., Langgemach T., Lepom P., Rühling I. 2001: Comparison between the burden of xenobiotics in eggs of the sparrowhawk (*Accipiter nisus*) from Brandenburg and North-Rhine Westphalia. *Journal of Ornithology* 142: 49–62.

Eldegard K., Selås V., Sonerud G.A., Steel C., Rafoss T. 2003: The effect of parent sex on prey deliveries to fledgling Eurasian sparrowhawks *Accipiter nisus*. *Ibis* 145: 667–672.

- Farkaschovsky H. 1980: Zur Bestandsentwicklung, Brutbiologie und Pestizidbelastung des Sperbers *Accipiter nisus* in Oberbayern. *Anz. orn. Ges. Bayern* 19: 1–11.
- Forsman D., Solonen T. 1984: Censusing breeding raptors in southern Finland: methods and results. *Annales Zoologici Fennici* 21: 317–320.
- Gosler A.G., Higham J.P., Reynolds S.J. 2005: Why are birds' eggs speckled? *Ecology Letters* 8: 1105–1113.
- Hrádková P., Pulkrabová J., Kalachová K., Hloušková V., Tomaniová M., Poustka J., Halšková J. 2012: Occurrence of Halogenated Contaminants in Fish from Selected River Localities and Ponds in the Czech Republic. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 62: 85–96.
- Jagannath A., Shore R.F., Walker L.A., Ferns P.N., Gosler A.G. 2008: Eggshell pigmentation indicates pesticide contamination. *Journal of Applied Ecology* 45: 133–140.
- Jędrzejewska B., Jędrzejewski W. 1998: *Predation in vertebrate communities. The Białowieża Primeval Forest as a case study*. Springer-Verlag, Berlin.
- Lana R., Vavrova M., Navratil S., Brabencova E., Vecerek V. 2010: Organochlorine Pollutants in Chub, *Leuciscus cephalus*, from the Svatka River, Czech Republic. *Bulletin of Environmental contamination and Toxicology* 84: 726–730.
- Looft V., Busche G. (eds) 1981: *Veogelwelt Schlewig-Holstein, Bd. 2: Griefvögel*. Wachholtz, Neumunster.
- Marsalek P., Zelnickova L., Mikulastikova J., Svobodova Z., Hutarova Z. 2013: Organochlorine Compound Residues in Muscle of Wild Boar (*Sus scrofa* L.) and Red Deer (*Cervus elaphus* L.): Effects of Age and Sex. *Bulletin of Environmental contamination and Toxicology* 91:673–677.
- Newton I., Wyllie I. 1992: Recovery of a sparrowhawk population in relation to declining pesticide contamination. *Journal of Applied Ecology* 29: 476–484.
- Newton I. 1973: Studies of sparrowhawks. *British Birds* 66: 271–278.

Newton I. 1979: *Population Ecology of Raptors*. Poyser, Berkhamsted.

Newton I., Wyllie I., Asher A. 1993: Long-term trends in organochlorine and mercury residues in some predatory birds in Britain. *Environmental Pollution* 79:143–151.

Newton I. 1986: *The Sparrowhawk*. Poyser, Calton.

Nisbet I.C.T. 1989: Organochlorines, reproductive impairment, and declines in Bald Eagle *Haliaeetus leucocephalus* populations: mechanisms and dose-response relationships. In: Meyburg B.U. & Chancellor R.D. (eds): *Raptors in the modern world* World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin.

Opdam P. 1979: Feeding ecology of a sparrowhawk population (*Accipiter nisus*). *Ardea* 66: 137–154.

Opdam P., Burgers J., Muskens G. 1987: Population trend, reproduction and pesticides in Dutch Sparrowhawks following the ban on DDT. *Ardea* 75: 205–212.

Peakall D.B., Kiff L.F. 1988: DDE contamination in Peregrines and American Kestrels and its effects on reproduction. In: Cade T.J., Enderson J.H., Thelander C.G., White C.M.(eds.): *Peregrine Falcon populations, their management and recovery. The Peregrine Fund, Inc., Boise, Idaho.*

Provini A., Galassi S. 1999: Polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides in bird eggs from Calabria (southern Italy). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 43:91–97.

Ratcliffe D.A. 1970: Changes attributable to pesticides in egg breakage frequency and eggshell thickness in some British birds. *Journal of Applied Ecology* 17: 67–107.

Shalaby A.M. 2009: Susceptibility Status of the Rat Flea *Xenopsylla cheopis* Roths. (Pulicidae) to DDT, Gamma BHC and Dieldrin, in Libya. *Journal of Applied Entomology* 69: 64–71.

Shegunova P., Klánová J., Holoubek I. 2007: Residues of organochlorinated pesticides in soils from the Czech Republic. *Environmental Pollution* 146: 257–261.

Schnurre O. 1956: Ernährungsbiologische Studien an Raubvögeln und Eulen der Darßhalbinsel (Mecklenburg). *Beiträge Vogelkunde* 4: 211–245.

Schnurre O. 1957: Sperber und Vogelschutz. *Gefiederte Welt* 81: 41–42.

Van den Burg A.B. 2002: A comparison of nutrient allocation in eggs of Barn Owls *Tyto alba* and Eurasian Sparrowhawks *Accipiter nisus*. *Ardea* 90:269–274.

Wallin K. 1984: Decrease and recovery patterns of some raptors in relation to the introduction and ban of alkyl-mercury and DDT in Sweden. *Ambio* 13: 263–265.

Wegner P., Kleinstauber G., Baum F., Schilling F. 2005: Long-term investigation of the degree of exposure of German peregrine falcons (*Falco peregrinus*) to damaging chemicals from the environment. *Journal of Ornithology* 146: 34–54.

Fig. 1. DDE concentrations in sparrowhawk eggs from the urban area, rural area and captive hawks.

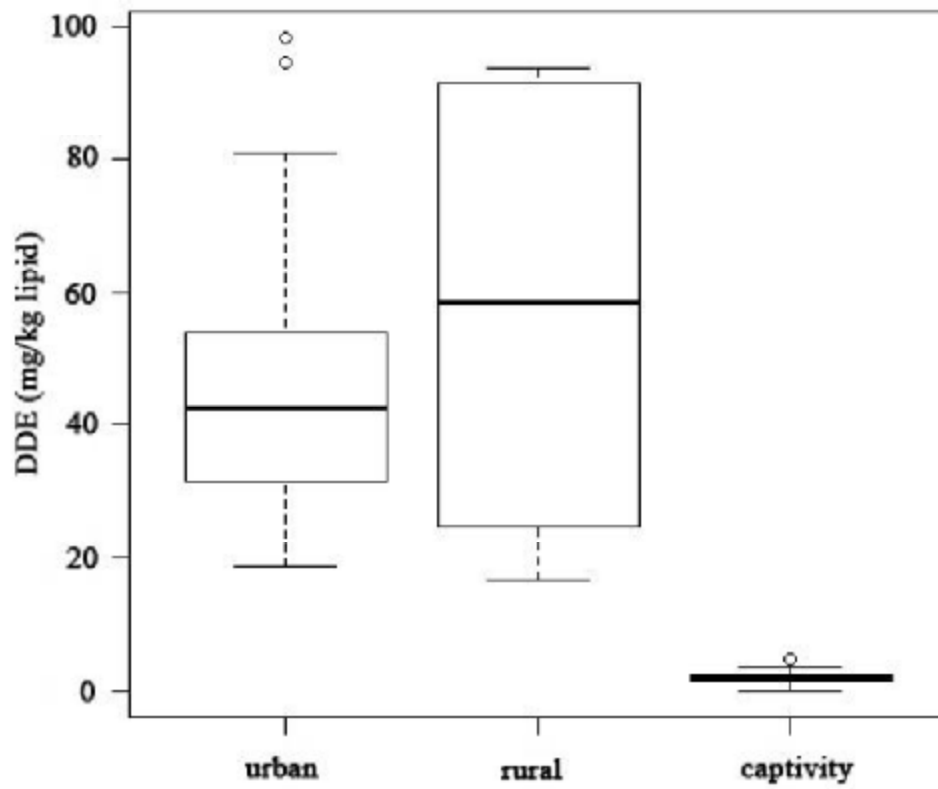


Table 1. DDE values in sparrowhawk eggs in ppm (mg/kg) in different studies (ww = wet weight, dw = dry weight, lw = lipid weight)

Source	Country	DDE
Farkaschovsky (1980)	Germany	15.7-183.4 ppm/dw
Conrad (1981)	Germany	mean 65.9 ppm/dw
Opdam et al. (1987)	Netherlands	7.8-10.2 ppm/ww
Newton and Wyllie (1992)	Britain	3.8-14.2 ppm/ww
Newton et al. (1993)	Britain	1.77-5.08 ppm/ww
Provini and Galassi (1999)	Italy	0.39-1.09 ppm/lw
Denker et al. (2001)	Germany	1.15-21.51 ppm/ww
Jagannath et al. (2008)	Britain	10-300 ppm/lw
Current study (2011)	Czech Republic	0.00068-6.684 ppm/ww

6 Komentář k výsledkům disertační práce

Přizpůsobování populací některých druhů zvířat určitým novým prostředím, například urbáním prostředí velkých měst, je v souladu s obecnou existencí živočichů v jejich životním prostředí. Synantropizace, vztažená k adaptaci živočichů na podmínky vytvořené člověkem a urbanizace jako změny v krajině vzniklé urbáním rozvojem charakterizují pojem synurbanizace – přizpůsobování se změnám a podmínkám urbanizace (Luniak 2004). Rozvoj měst a většina lidských činností má negativní vliv a ničivé důsledky na přírodní biotopy. Na druhou stranu však vznikají jiné specifické biotopy, které poskytují volné ekologické niky. Tyto oblasti lákají stále více a více živočichů, a pokud jsou tyto druhy schopné překonat určité etologické bariéry, nacházejí často vhodné prostředí. Některé studie jasně poukazují na nárůst početnosti některých druhů živočichů právě v urbanizovaném prostředí (Emlen 1974, Beissinger & Osborne 1982, Mills et al. 1989). Možná právě s velice rychlou adaptací kosa černého (*Turdus merula*) městskému prostředí (Luniak et al. 1990) a dalších druhů menších druhů ptáků se ochotněji přizpůsobovalo krahujci obecnému (*Accipiter nisus*) životu v urbáním prostředí Prahy. Nebyla to jen potrava, ale další faktory, které svým způsobem ovlivnily expanzi krahujce do Prahy. Kromě zmiňovaných druhů ptáků, kteří jsou součástí krahujčí potravy, našel v 70. letech 20. století i vhodná místa pro hnízdění (Peške, unpublished.). Většina vhodných krahujčích hnízdišť měla podobu třicetiletých mladých smíšených či jehličnatých porostů, které byly ve většině případů vysázeny v období po 2. světové válce. Tyto porosty znamenaly jak vhodná hnízdiště, tak refugia pro „adaptující se“ nový druh. S postupem času, zejména v posledním desetiletí se s navyšujícím počtem lidí navštěvujících parky, zároveň změnila struktura parků a zelených části Prahy a „pražští“ krahujci se museli dále přizpůsobovat častějšímu kontaktu s člověkem. Vhodné podmínky s dostatkem potravy, absence predátorů, minimální pronásledování člověkem a například i vysoký počet juvenilních jedinců zapojujících se do reprodukce měly za následek poměrně rychlý rozvoj populace, která dosáhla nejvyššího vrcholu v roce 1989 s maximálním počtem zjištěných párů 91 (Fuchs et al. 2002). V následujícím období došlo k určitému poklesu početnosti a velikost populace se postupně ustálila s mírným kolísáním okolo přibližně 40-50 párů (Peške in verb). Pro pochopení poklesu populace je důležité poznat základní limitující faktory v rámci biotoopu, který daná populace obývá. Je důležité rozlišit mezi externími

(environmentálními) faktory a interními (demografickými) faktory. Mezi externí faktory patří například zdroj potravy, predátoři a nemoci. Ty právě mohou způsobovat pokles populace. Většinou se jedná o souhrn faktorů, které působí na populaci v daném místě a čase, ale velmi často je to právě jeden faktor, který vystupuje a převyšuje významnost ostatních a silně ovlivňuje vývoj populace (Newton 1998). V případě populace krahujce obecného v Praze to může být soubor faktorů, který ovlivňuje populaci, a proto je důležité zjistit jednotlivé faktory a zjistit jejich vliv na daný druh. Některé tyto ohrožující faktory (např. nemoci) mohou mít totiž významný vliv i na další druhy a v rámci ochrany druhů či managementu prostředí je potřeba vědět o limitujících faktorech.

Jak je již výše zmíněno jedním z faktorů ovlivňujících jedince či populace mohou být parazité či patogeny. Predátoři zabíjejí a konzumují kořist často celou a parazité a patogeny většinou žijí jako populace v nebo na tělech jejich hostitelů. Stejně jako u predace jsou rozdílné názory na efekt parazitismu. Obecně však lze tvrdit, že parazité (nebo patogeny) mají snahu se vyvíjet tak, aby byli méně zhoubní pro svého hostitele, protože mají větší šanci na dlouhodobější přežití pokud nezničí své prostředí (s výjimkou druhů, kde přenos je závislý na smrti hostitele). Podobně i hostitelé se snaží si vyvinout určitou rezistenci na parazity a toxiny, které mohou daní parazité produkovat. Naopak parazité mohou být chápáni tak, že se neustále snaží poškodit jejich hostitele a v některých případech je zabít. Nemoci způsobené parazity nebo patogeny se mohou stát důležitými faktory na úrovni populací, když způsobí dostatečné omezení reprodukčního růstu (mortality) k redukování počtů hostitele, jejichž stavy by mohly dramaticky narůst.

Nemoci způsobené parazity jsou většinou infekční, předávané horizontálně z jednotlivce na jiného (buď přímým kontaktem nebo přes přenašeče) nebo vertikálně z rodiče na potomka. U krahujce jako vrcholového predátora to může být oběma směry, jak z potravy tak později nakažený rodič může nakazit své potomky při krmení. Vzhledem k tomu, že jsou parazité často velmi úspěšně přenášeni v populacích hostitelů s velkou hustotou, mohou hrát roli jako hustotně závislé (density-dependent) mechanismy, často i se zpožděním (delayed density dependent). Proto mohou velice významně ovlivnit populaci, a to i přes skutečnost, že způsobí úhyn malé části populace. Na úrovni populací mohou parazité vykazovat podobné spojení s hostitelem jako predátoři s kořistí způsobující: a) žádný efekt na počty hnízdících jedinců, b) stálé snižování počtů pod úroveň, která by

přirozeně nastala, c) pravidelné fluktuace v počtech, d) nepravidelné fluktuace početních stavů, spojené s periodicky se objevujícími epidemiemi, nebo e) snížení stavů až k vymření. Okolnosti, které mohou vést k určitým vzorům, byly prověřeny za použití matematického modelování a byly testovány v terénu (Anderson & May 1978, May & Anderson 1978, Hassell & Anderson 1989).

Obecně specifikace urbánního prostředí, například Prahy, kde se populace krahujce obecného vyskytuje, může představovat zvýšená rizika v podobě kolizí a zvýšené koncentrace nemocí (Chase & Walsh 2006). U městských holubů a obecně měkkozobých je často uváděn výskyt různých nemocí, včetně trichomonózy, která je způsobena protozoálním parazitem *Trichomonas gallinae* (Phan et al. 2013). Trichomóza byla také nalezena u pěvců; zvonka zeleného (*Carduelis chloris*), pěnkavy obecné (*Fringilla coelebs*), dlaska tlustozobého (*Coccothraustes coccothraustes*) a sýkory modřinky (*Cyanistes caeruleus*) v západní a severní Evropě (Robinson et al. 2010). Vzhledem k tomu, že menší a středně velké druhy ptáků představují 97% potravy krahujce obecného během hnízdní sezóny (Newton 1986), krahujci mají velkou pravděpodobnost se dostat do kontaktu s nemocí skrz pozření infikované kořisti.

Výskyt trichomonózy byl potvrzen u mnoha druhů dravců v různých částech světa (Stabler 1969, Keymer 1972, Beecham & Kochert 1975, Rettig 1978, Stone & Nye 1981, Peper & Oetle 1992, Samour et al. 1995, Boal et al. 1998), ale o jejím rozšíření u volně žijících populací se ví relativně málo (Cooper & Petty 1988, Kietzman 1988, Boal et al. 1998). U některých druhů se zvyšuje obava, že by rozšíření této nemoci mohlo omezit nebo snížit růst populace (Cooper & Petty 1988, Boal et al. 1998).

Jak vyplývá z výsledků (**článek I.**), přítomnost trichomonád byla testována u celkem 283 mláďat krahujce obecného v letech 2012 a 2013. Mláďata pocházela ze dvou sledovaných oblastí a to z Prahy, kde se očekávala větší nakaženost krahujců vzhledem k velkému množství holubů a koncentrovanosti potravy a Libereckého kraje, kde krahujci hnízdí v pro ně typickém prostředí mladých porostů. Nakaženost mláďat se lišila jak mezi lokalitami, tak mezi roky, kdy byla studie prováděna. Boal et al. (2008), například v podobné studii zaměřené na přítomnost trichomonózy u jestřába Cooperova, nezaznamenali rozdíl nakaženosti mezi dvěma roky. Naše studie prokázala, že pohlaví mláďete nebylo významné pro přítomnost nákazy, počet mláďat na hnízdě však ano.

Samotný původ *T. gallinae* u krahujců je neznámý, ale konzumace infikované potravy se zdá být jako nejpravděpodobnější zdroj (Krone et al. 2005). Stejně jako u většiny studií i zde pro lepší pochopení výskytu nemoci by bylo zapotřebí sledovat nakaženost po delší časové období. Ačkoliv dva roky vykazují rozdílnost v nakaženosti mláďat, není zcela jasné, zda rok 2012, kdy bylo nakaženo mnohem více mláďat, byl ovlivněn pandemií trichomonózy šířící se ze západní přes severní Evropu (Ganas et al. 2014) nebo zda za touto vyšší nakažeností stojí jiný faktor. Nakaženost mláďat z rurálního prostředí Libereckého kraje byla mezi roky podobná, na druhou stranu urbánní populace vykazovala velký rozdíl. Na základě výsledků by se dalo soudit, že přirozená přítomnost trichomonózy u mláďat krahujce v přírodě je přibližně někde mezi 5 – 15 %. Tento stav byl podobně zjištěn u dalších krahujcovitých dravců – jestřába lesního (Cooper & Petty 1988) a již zmiňovaného jestřába Cooperova (Boal et al. 1998). V roce 2012 byl ve středních Čechách potvrzen pandemický výskyt trichomonózy u pěvců, zejména zvonků zelených. Pokud by došlo ke snížení stavů hlavních druhů pěvců, které představují přirozenou potravu pro krahujce, mohli by se krahujci zaměřit na lov jiných druhů – např. holubů, což by mohlo představovat zvýšený risk kontaktu s nemocí. V některých velkých evropských městech byla prokázána vysoká nakaženost městských holubů trichomonózou (Borgwardt 1996). Bohužel v Praze žádné takové studie nebyly provedeny a vyšší nakaženost krahujčích mláďat vlivem velkého množství městských holubů je jen jednou z domněnek. Dalším faktorem, který může mít vliv na vyšší nakaženost mláďat v pražském prostředí je stres. V případě poklesu stavů pěvců vlivem nemocí či jiných mortalitních faktorů mají rodiče problém uživit větší počty mláďat. Populace v Praze má větší hnízdní úspěšnost než populace mimo Prahu (Peške 1992). Na hnízdech s větším počtem mláďat se může projevit fyziologický stres z nedostatku potravy a to se může projevit vyšší náchylností jedinců k onemocnění a zároveň jednodušším přenosem nákazy.

Patogenita trichomonózy u ptáků může být ovlivněna mnoha faktory, například podmínkami prostředí, fyziologií hostitele a parazita, dostupností a množstvím potravy, sourozeneckou kompeticí a stresem (Greiner & Ritchie 2004). Samozřejmě imunita jednotlivce může sehrát velký význam ve vývoji nákazy infekce (Samour et al. 1995). Během studie se nezjišťovalo rozšíření nákazy u dospělých rodičovských párů, ale podle L. Peškeho (pers. com.) se v populaci vyskytují i nakažení dospělí jedinci, ačkoliv jsou starší ptáci vlivem rozdílného pH v dutině zobáku méně náchylní k infekci

(Urban & Mannan 2014). Real et al. 2000 u orlů jestřábích (*Hieraetus fasciatus*) ve Španělsku zjistili, že přítomnost parazita u mláďat na jednom hnízdě není závislá na množství měkkozobých (zejména holubů) v jejich potravě, ale vývoj nemoci u nakažených jedinců je častější u mláďat, která konzumují více holubů a kde jsou rodiče mladí - nezkušení. To opět může částečně potvrzovat fakt, že v Praze, kde je větší koncentrace holubů a krahujci zde s velkou pravděpodobností predují holuby, a to ve větší míře než ve volné krajině, jsou mláďata více vystavena nebezpečí nakažení se trichomonózou. Zároveň se nemoc může hlavně rozvinout u mláďat, která jsou odchována mladšími rodiči. V Praze bylo zjištěno zapojení velkého množství mladých jedinců do hnízdění (Peške 1992), což opět může přispívat k rozšíření nákazy mezi mláďaty. Pro zjištění detailnějších výsledků, možných příčin a důvodů pro výše zmíněné výsledky a domněnky se nabízí více sledovat a zkoumat jednotlivé faktory ovlivňující výskyt trichomonózy u krahujců. Ať už je to dlouhodobější monitoring výskytu tohoto parazita u mláďat, ale i dospělců, výskyt u jednotlivých druhů ptáků, kteří jsou součástí potravy krahujců, zejména holubů v Praze či rozšíření u dospělých jedinců. Možným velkým přínosem by byla základní studie potravy pražských krahujců a krahujců hnízdících mimo Prahu.

Dalším zajímavým poznatkem zjištěným během sbírání vzorků ve sledovaných letech byly rozdílné vizuální příznaky nákazy mezi mláďaty. Několik mláďat v prvním roce studie měla viditelné žluté nárusty v dutině zobáku. Žádné z mláďat, ani prokazatelně nakažené, neprojevovalo tyto nektrotické léze v druhém roce studie. Kaseózní nekrotické léze s difteroidními povlaky v dutině zobáku zabraňují příjmu potravy a nakažený jedinec tak později umírá hlady. Samotný vývoj těchto příznaků onemocnění je ovlivněn řadou faktorů, jako jsou podmínky prostředí, období, kdy se jedinec nakazí, a samozřejmě zdravotní stav jedince (Honigberg 1979). Nárůst nekrotických lezí může být také ovlivněn přítomností více infekcí jako například *Pseudomonas aeruginosa* (Samour 2000). Přítomnost jiných infekcí a patogenů však nebyla v rámci studie zkoumána.



Obr. 1. Počáteční stupeň vývoje nekrotických lezí v dutině zobáku mláděte krahujce obecného v Praze 2012. Foto: T. Kunca



Obr. 2. Pokročilý stupeň granulomu u mláděte krahujce obecného v Praze 2012. Foto: T. Kunca

V poslední době se s rozvojem moderních metod rozvíjí zájem o identifikaci kmenů patogenů nalezených u různých živočichů. Genetická charakterizace napomáhá při určování druhu patogenu a za pomoci ITS regionů a částí rDNA se dá porovnat rozmanitost zástupců čeledi *Trichomonadidae* vyskytujících se u ptáků. Pouze několik málo studií se však zabývalo genetickým určováním *T. gallinae* u dravců (Krone et al 2005, Chi et al. 2013).

V rámci studie rozšíření *T. gallinae* u krahujce obecného v Praze a Libereckém kraji v letech 2012 a 2013 (**článek I.**) se za pomoci devíti izolátů, které měli shodnou homologii se sekvencemi *T.gallinae* uloženou v GenBank zjistilo, že získané izoláty patří do genotypové skupiny B, která byla popsána ve studii Sansano-Maestre et al. (2009) a skupiny A popsané Gerhold et al. (2008). Získané vzorky byly shodné se vzorky z dalších druhů dravců, pěvců, měkkozobých a papoušků jak z Evropy, tak Ameriky. Přenos parazita mezi populacemi měkkozobých a pěvců je pravděpodobně skrze využívání stejných zdrojů vody a potravy. Větší výskyt trichomonózy u pražských krahujců v roce 2012 může souviset se šířením této nemoci z Velké Británie přes Skandinávii do střední Evropy dosahující do Rakouska a Slovinska (Ganas et al. 2014).

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, krahujci v Praze spolu s dalšími druhy museli v rámci osidlování tohoto prostředí přizpůsobit své chování, zejména toleranci přítomnosti lidí. Ve volné krajině byli v době počátku osidlování Prahy krahujci obecní pronásledovaným druhem, zejména ze strany myslivců a tudíž setkání s člověkem měla spíše negativní charakter. Reakce živočichů na vnímané nebezpečí ovlivňuje celkový život jedince a jeho přežívání. Samotná reakce na člověka je pak kombinací získané zkušenosti z předchozích setkání s lidmi a vrozenou informací (Whittaker & Knight 1998). U dravců, kteří byli historicky často pronásledováni, ovlivňuje stres ze setkání s člověkem hnízdění úspěšnost, proto by bylo maladaptivní přizpůsobovat se městskému prostředí, pokud by tam pronásledování přetrvávalo. Někteří jedinci se cíleně vyhýbají lidem a někteří dokonce mohou projevat agresivní chování k podnětu disturbance (Shannon et al. 2014). Takže kromě úniku mohou hnízdící ptáci projevit antipredační chování a to v případech, kdy vyhodnotí člověka jako potenciálního predátora jejich vajec či mláďat. Agresivní obrana hnízda může potom ve výsledku snížit investovanou energii do hnízdění rodiči, kteří by bez agresivní reakce přišli o snůšku či mláďata (Grim 2008).

V rámci zjišťování chování krahujců v hnízdění době (**článek II.**) se studovalo chování samic ve dvou etapách hnízdění. První pozorování chování samice probíhalo v době inkubace vajec a druhé v době první poloviny vývoje mláďat na hnízdě, tudíž ještě v době, kdy samice částečně mláďata zahřívá. Chování samce nebylo studováno, protože se velice zřídka vyskytuje v okolí hnízda, většinu času shání potravu pro samici a mláďata, ačkoliv se příležitostně, v případě hrozícího nebezpečí, zapojí do obrany

hnízda. Rozlišení samce od samice u krahujce obecného je poměrně jednoduché vzhledem k výraznému opačnému pohlavnímu dimorfismu, kdy samec je někdy až o polovinu menší než samice. Zároveň se liší ve výšce volání, kdy samec má mnohem výše položený hlas než samice. Při vyhodnocování chování živočichů je těžké nastavit hranice, které by vymezovali pozorované jedince do určitých kategorií. U každého jedince se projevuje určitá charakteristická individuální reakce, která je ovlivněna věkem a zkušenostmi z předchozích událostí. A proto bylo s podivem, že studovaní krahujci, jak v Praze, tak ve volné krajině Libereckého kraje projevovali takové chování, které se poměrně lehce dalo rozdělit do malého množství určitých kategorií, aniž by chování některé samice výrazně vybočovalo. Nakonec bylo chování samic rozděleno do čtyř kategorií podle intenzity projevené reakce – od těch, které neprojevovali žádnou agresivitu a tiše se vzdálili až po samice, které agresivně byly křídly o okraj hnízda, a neopustili hnízdo ani při opakovaném lehkém pohybování se stromem, na kterém bylo hnízdo. Během 5 minut dlouhého sledování se také sledovala míra varování, která dotvářela určité charakteristické chování samic během reakce na přítomnost člověka. Všechny čtyři kategorie reakcí byly zaznamenány jak v urbánním prostředí Prahy, tak volné krajině Libereckého kraje. Nejčastěji se samice projevovaly extrémními typy chování – buď úplným tichým vzdálením od hnízda či naopak agresivním bráněním hnízda. Druhý typ reakce, kdy se samice vzdálila od hnízda, ale aktivně varovala a občas proletěla, byl nejméně zastoupený. Ze sledovaných proměnných neměla vzdálenost hnízdního stromu od veřejně využívané cesty ani typ biotopu (hustý porost, řídký porost) významný vliv na reakce samic. Proti tomu lokalita (urbánní, rurální) měla významný vliv na právě ty dva extrémní typy chování. Přičemž v rurální oblasti se častěji vyskytovala reakce typu tichého vzdálení a naopak v urbánní oblasti se častěji vyskytovala reakce agresivního chování. Neochota opustit hnízdo spolu s agresivním chováním vůči člověku byla častější v urbánní oblasti (84,6%) než v rurální oblasti (15,4%). Výsledky studie zavrhnou naše hypotézy o přizpůsobování se člověku krahujcem obecným. Samotné upravení chování k přítomnosti člověka v urbánním prostředí Prahy mělo spíše negativní efekt, kdy se projevovала agrese vůči člověku místo toho, aby byla jeho přítomnost přehlížena a tolerována. A to i přes to, že v městském prostředí nebyl krahujec od počátku osídlení Prahy nikterak pronásledován. Takováto agrese vůči člověku však byla pozorována i u jiných druhů živočichů (Knight et al. 1987). Jak již bylo zmíněno, výsledky

nepodporují naši hypotézu, kdy jsme předpokládali, že neustálý kontakt s člověkem povede k přizpůsobení se konstantnímu rušivému podnětu, jakému si otupění a tolerance člověka v přítomnosti krahujců.

Ačkoliv stádium hnízdění nemělo statisticky významný vliv na reakci samice, byl zde určitý trend vlivu stádia hnízdění na jejich reakci. První typ chování tzv. tiché vzdálení bez obrany hnízda se častěji objevoval v období vajec (65,5%) než v období mlád'at (35,0%). Podobné, i když ne tolik výrazné to bylo u čtvrtého typu chování tzv. agresivního typu, kdy samice projevovali větší agresivitu v období mlád'at (57,7%) než při inkubaci vajec (42,3%). Takže jak v urbáním oblasti, tak rurální oblasti, samice více bránily mlád'ata než snůšky a čím byla mlád'ata starší, tím urputněji byla matkou bráněna (autor, pers. com.). Stejných výsledků se získalo i při studiu chování dalších druhů ptáků, např. káně rudoocasé (*Buteo jamaicensis*) (Andersen 1990), výřečka amerického (*Megascops asio*) (Sproat & Ritchinson 1993) a ostříže lesního (Sergio & Bogliani 2001). Tyto poznatky a tento druh chování je obecně v souladu s teorií Triverse (1972) „parental investment theory“, která původně vychází z teorie Ronalda Fishera (1930). Triversova teorie říká, že investicí rodičů se myslí jakákoliv investice do jednoho potomka, která zvýší šanci potomka na přežití (a následně reprodukční úspěch) za cenu schopnosti rodiče investovat do dalšího potomka. Tudiž krahující samice riskuje svůj vlastní život při obraně hnízda, pokud vykazuje agresivní chování vůči podnětu (např. predátorovi), místo méně náročného a méně nebezpečného úniku. V pokročilejším stádiu hnízdění, kdy se z vajec vylíhnou mlád'ata cítí samice větší potřebu obrany hnízda v závislosti na již investovaném úsilí do hnízdění. Mlád'ata mohou být také větším stimulem než nehybná vejce. Na reakci samice na bezprostřední ohrožení jejího hnízda, ať už s vejci nebo potomky, bude mít bezpochyby vliv i předchozí zkušenost s člověkem, takže věk samice může ovlivnit reakci samice. Starší samice mohou reagovat jinak než samice mladší bez předchozích zkušeností. Autor sám, se během výzkumu setkal s tím, že velmi staré samice hnízdící v Praze nechají osobu, která leze na strom za účelem kroužkování mlád'at, v klidu mlád'ata na hnízdě okroužkovat, zatímco samice stojí na okraji hnízda a přihlíží. Občas se samice pokusila napadnout ruku kroužkovatele. Žádný takovýto případ za posledních několik let výzkumu nebyl pozorován na hnízdech v rurální oblasti Liberecka. Kromě věku může mít na reakci samice vliv i velikost snůšky respektive počet mlád'at na hnízdě. S větším množstvím mlád'at na hnízdě může být reakce samice

intenzivnější. Bohužel tyto teorie nemohou být potvrzeny nebo vyvráceny výsledky studie, protože se nezjišťoval věk a jeho vliv ani vliv počtu mláďat na reakci samice.

Zajímavou informaci poskytlo zjištění závislosti výšky hnízda na hustotě biotopu, kde se hnízdo nacházelo. Ať už v urbánním prostředí či rurální krajině si v hustčí vegetaci staví krahujci hnízda níže než v otevřenějších porostech staršího lesa, či parcích. Je těžké posoudit, zda krahujci dokáží úmyslně posoudit hustotu vegetace v bezprostředním okolí hnízda a na základě toho si vybrat porost, kde hnízdo umístí. Mohou však posoudit v jakém typu vegetace a biotopu bude přístup pro predátora a detekce hnízda snazší. Hlavním parametrem pro umístění hnízda však asi bude přiletová možnost, zejména s těžkou potravou. Let je energeticky náročný, zvláště se zatížením při přinášení potravy na hnízdo mláďatům, proto je pro rodičovský pár výhodnější umístit hnízdo do nižších poloh vegetace, zvláště v hustém porostu. Tudiž do výšky, kde spodní větve jsou odumřelé a ve vyšších částech stromu je koruna hustčí. Tímto způsobem by se snížily energetické nároky. Samotné umístění hnízda však bude ovlivněno souborem více faktorů, jejichž vzájemná propojenost není známa.



Obr. 3. Samice krahujce obecného (v pozadí) při odebrání vzorků z dutiny zobáku mláďat. Foto: T. Jůnek



Obr. 4. Samice krahujce obecného v Praze při fotografování její snůšky.

Foto: T. Kunca

Umístění hnízda bude do určité míry souviset s ukrytím před predátory, jak před pozemními (např. kuna), tak před ptáky (např. sojka). Vejce krahujců jsou často velmi skvrnitá, což můž mít také souvislost s určitým druhem maskování snůšky před predátory. Dalším aspektem ekologie krahujce obecného, který byl v rámci této disertační práce studován, byla skvrnitost vajec, zejména jak se liší zbarvení vajec krahujců v Praze od vajec krahujců z Libereckého kraje. Vedle zbarvení vajec se také zjišťovaly hodnoty některých organochlorovaných pesticidů ve vejcích, u kterých byl zjištěn vliv na zmiňovanou skvrnitost (**článek III.**). Ptačí vejce jsou unikátní ve svém rozmanitém skvrnění. Kromě velké rozmanitosti skvrnitosti a zbarvení vajec u pěvců (Passeriformes), i ostatní skupiny ptáků (někteří dravci či bahňáci) mají skvrnitá vejce. Velké množství studií vysvětluje pouze některé původce zbarvení vajec. Kromě maskování před predátory nebo ochranou před parazity snůšek, může zbarvení značit stav samice, její kondici (Moreno et al. 2004). Současně může být skvrnitost ovlivněna rozdílnou dostupností vápníku z geologického podloží, která se projeví na tloušťce skořápky. Samice na základě toho ovlivní zbarvení vajec, protože pigment zpevňuje skořápku vejce (Gosler et al. 2005). Jagannath et al. (2008) zjistili u krahujce obecného, že protoporfyrinové skvrny jsou silně korelovány množstvím DDE (metabolit DDT)

a tloušťkou skořápky. Tudiž jak z předchozích informací vyplývá, skvrnitost vajec může prozradit zajímavé informace o stavu životního prostředí. Proto se i v rámci výzkumu krahujce obecného v urbánním prostředí a rurální krajině přistoupilo na zjišťování rozdílnosti zbarvení krahujčích vajec. Městské prostředí Prahy s větší koncentrací lidí, větším počtem aut a celkově větším zatížením životního prostředí má bezpochyby vliv i na živočichy, kteří se v Praze vyskytují. Tento vliv by se mohl projevit na určitých biologických funkcích a tudíž i třeba na skvrnitosti vajec. Naopak Praha by neměla být přímo zatížena chemickými prostředky, které se používají v zemědělství, ať už hnojivy, pesticidy či jinými agrochemikáliemi. Znečištění by mohlo být pouze lokálního charakteru v bezprostřední blízkosti skladovacích prostor apod. Na druhou stranu rurální krajina Libereckého kraje, kde je polovina území zemědělsky obhospodařována byla s největší pravděpodobností v minulosti zatížena zmíněnými chemikáliemi a v případě pesticidů typu DDT, které je těžko odbouratelné, se můžou stále vyskytovat negativní vlivy DDT a jeho metabolitů na určité druhy živočichů a rostlin. Používání DDT bylo v roce 1974 zakázáno, proto bylo zajímavé zjišťovat, zda se v přírodě ČR stále vyskytuje. V případě krahujce obecného v ČR není přímých důkazů, že by populace byla postižena vlivem DDT. Dlouhodobě je populace stabilní a v posledních desetiletích se mírně zvyšuje (Hudec et al. 2005). V případě, že by hodnoty reziduí ve vejcích krahujce obecného dosahovaly hodnot vyšších než 15 ppm DDE (wet weight) mohlo by stejně jako u sokola stěhovavého docházet k tenčení skořápek a ke snižování populace vlivem nízké úspěšnosti hnízdění. Samotné hodnoty množství reziduí ve vejcích, při kterých by se populace daného druhu měla snižovat, se budou lišit druh od druhu v závislosti na vnímavosti druhu na určité látky.

V rámci studie byla hladina DDE měřena celkem v 37 krahujčích vejcích, přičemž 18 pocházelo ze 14 hnízd v urbánní oblasti Prahy, 5 vajec z pěti hnízd v rurální oblasti Libereckého kraje a 14 vajec z pěti hnízd v umělých chovech v zajetí. Hodnoty reziduí DDE byly naměřeny v rozsahu 0,01 – 98,3 ppm (lipid weight – v tucích). Vejce z urbánní oblasti měly hodnoty 18,7 – 98,3 ppm, vejce z rurální oblasti 16,5 – 93,9 ppm a vejce z chovu 0,01 – 4,7 ppm. Hodnoty vajec z urbánní a rurální oblasti se od sebe výrazně nelišily, na rozdíl od hodnot vajec z chovu, které měli výrazně nižší hodnoty oproti urbánním i rurálním vejcím. Hodnoty DDE nalezené ve vejcích krahujců v rámci této studie byly zjišťovány z lipidové části vajec. Studie zabývající se množstvím škodlivých

látek ve vejcích vyjadřují hodnoty buď v přepočtu na „lipidovou váhu – lipid weight“, „suchou váhu – dry weight“ nebo „mokrou váhu – wet weight“. Vše záleží na analyzační metodě a kvalitě vzorků pro danou studii. Krahující vejce obecně obsahují přibližně 6 – 6,8 % tuků (lipidové části) (Newton 1986, Van den Burg 2002). Při přepočtení zjištěných hodnot k porovnání s ostatními studiemi, prováděnými na krahujcích v jiných Evropských zemích (Farschovsky 1980, Conrad 1981, Opdam et al. 1987, Newton & Wyllie 1992, Newton et al. 1993, Provini & Galasi 1999, Denker et al. 2001), je vidět, že hodnoty krahujců naměřené v ČR jsou podobné. Extrémně vysoké hodnoty byly zjištěny v krahujcích vejcích z Británie (Jagannath et al. 2008). Vejce použité pro zjišťování DDE v ČR byla vejce, která nebyla oplozená nebo jejichž zárodek v průběhu vývoje odumřel. Tato vejce byla sbírána v době kroužkování mláďat (stáří 20-24 dní). Jedno vejce z celé snůšky je reprezentativní pro posouzení množství DDE v rámci snůšky (Strazds et al. 2015). Jak je výše vidět, hodnoty DDE z vajec z urbání i rurální oblasti jsou relativně vysoké a podle měřítek např. sokola stěhovavého by měly mít významný dopad na rozmnožování jedinců. Původ DDT a jeho metabolitů ve vejcích krahujců není znám, ale přísun skrz příjem potravy se zdá být nejpravděpodobnějším zdrojem. Pesticidy mohou být nalezeny v zemědělských půdách a vzhledem ke své vysoké rozpustnosti v tucích obsažených v tkáních, se mohou snadno stát součástí potravního řetězce. Proto krahujec jako vrcholový predátor tyto substance akumuluje. Zdroj potravy je proto velmi důležitý, což potvrzuje i rozdílnost naměřených hodnot u vajec krahujců z přírody a zajetí. Právě pouze v tomto se studovaní krahujci lišili. Krahujci v zajetí, jejichž rodiče byli původem z volné přírody, jsou každodenně krmeni potravou pocházející z umělého chovu – křepelky, myši, jednodenní kuřata a holubi. Tento zdroj potravy je relativně bez pesticidů (určité množství se může vyskytnout v potravě předkládané chovaným živočichům). Ačkoliv bylo DDT již před 40 lety zakázáno, stále se objevuje ve vejcích krahujců, což znamená, že jeho zdroj potravy a nižší stupně potravního řetězce jsou stále zasaženy pesticidy. Krahujci predují malé a středně velké ptáky, kteří tvoří 97% potravy. Velká část těchto druhů ptáků je tažná, a právě to může být důvodem výskytu DDT a DDE ve vejcích krahujců v ČR. V některých Afrických státech se totiž DDT stále používá, hlavně pro regulaci hmyzu, který je hlavním vektorem různých nemocí (Shalaby 2009, Barhoumi et al. 2014).

Ačkoliv se na první pohled zdá, že vejce z urbání a rurální oblasti jsou velmi rozmanitá ve skvrnitosti, výsledky nepotvrdily rozdílnost ve skvrnitosti mezi oblastmi. V rámci výpočtů se zjistilo, že velikosti snůšek se mezi oblastmi neliší, ačkoliv bylo v minulosti zjištěno, že pražští krahujci mají vyšší úspěšnost hnízdění (Peške 1992). A právě vliv velikosti snůšky a vliv oblasti (Praha, Liberecko) se na skvrnitosti vajec nepotvrdil. Jediným faktorem, který ovlivňuje skvrnitost vajec je individualita samice, tudíž je jasný rozdíl ve variabilitě vajec mezi snůškami. Jagannath et al. (2008) zjistili, že pouze „internalized“ pigmentace je silně korelována s DDE. Povrchová pigmentace vajec způsobená protoporfyrinem nereflektuje rozmístění mezivrstvé pigmentace a proto je nemožné použít tento ukazatel pro ohodnocení znečištění prostředí. Bohužel vejce pocházející z umělého chovu v zajetí se nemohla použít pro měření povrchové pigmentace. Vzhledem k tomu, že se výrazně lišila v množství DDE oproti vejcům z volné přírody, přineslo by to zajímavé informace o potenciálním rozdílu ve skvrnitosti. Obsah DDT a DDE ve vejcích krahujců a zejména vysoké hodnoty těchto pesticidů, které mají negativní dopad na hnízdní úspěšnost, jsou znepokojivými výsledky. Vzhledem k tomu, že se velmi často stává, že některé vejce u krahujců není oplodněné či odumře při vývoji, rozhodně by stálo za to, celoplošně zjistit zatížení krahujčí populace těmito pesticidy. Při rozsáhlejší a dlouhodobější sledování by se mohlo zjistit, že tento v historii „tichý zabiják“, stále představuje hrozbu pro některé druhy ptáků a ostatních živočichů. Dle zjištěných výsledků by se mohlo přistupovat při aktivní ochraně zvláště chráněných druhů.



Obr. 5. Vybrané ukázky skvrnitosti vajec čtyř rozdílných snůšek krahujce obecného.

Foto: T. Kunca

Ačkoliv je krahujec obecný jedním z nejvíce studovaných druhů ptáků v Evropě a tato práce podkřývá další střípky tajemství ekologie tohoto druhu, i přesto je stále velké množství neznámých a neobjasněných informací z jeho života, které bez důkladného výzkumu zůstanou skryty.

7 Použitá literatura

Andersen, D. E. 1990. Nest defense behavior of red-tailed hawks. *Condor* 92: 991 – 997.

Anderson, R. M. & May, R. M. 1978. Regulation and stability of host-parasite population interactions. *Journal of Animal Ecology* 47: 219 – 247.

Barhoumi, B., LeMenach, K., Devier, El Megdiche, M. H., Hammami, Y., Ben Ameer, W., Ben Hassine, S., Cachot, J., Budzinski, H., Driss, M. R. 2014. Distribution and ecological risk of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments from the Bizerte lagoon, Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 6290 – 6302.

Beecham, J. J., & Kochert, M. N. 1975. Breeding biology of the golden eagle in southwestern Idaho. *The Wilson Bulletin* 87: 506 – 513.

Beissinger, S. R. & Osborne, D. R. 1982. Effects of urbanization on avian community organization. *Condor* 84: 75 – 83.

Boal, C. W., Mannan, R. W., Hudelson, K. S. 1998. Trichomoniasis in Cooper's hawks from Arizona. *Journal of Wildlife Diseases* 34: 590 – 593.

Chace, J. F. & Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* 74: 46 – 69.

Chi, J. F., Lawson, B., Durrant, C., Bekmann, K., John, S., Alrefaei, A. F., Kirkbride, K., Bell, D. J., Cunningham, A. A., Tyler, K. M. 2013. The finch epidemic strain of *Trichomonas gallinae* is predominant in British non-passerines. *Parasitology* 140: 1234 – 1245.

Conrad, B. 1981. Zur Situation der Pestizidbelastung bei Greifvögeln und Eulen in der Bundesrepublik Deutschland. *Okol. Vogel* 3: 161 – 167.

Cooper, J. E. & Petty, S. J. 1988. Trichomoniasis in free-living goshawks (*Accipiter gentilis*) from Great Britain. *J Wildl Dis.* 24:80 – 87.

- Denker, E., Büthe, A., Knüwer, H., Langgemach, T., Lepom, P., Rühling, I. 2001. Comparison between the burden of xenobiotics in eggs of the sparrowhawk (*Accipiter nisus*) from Brandenburg and North-Rhine Westphalia. *Journal of Ornithology* 142: 49 – 62.
- Emlen, J. T., 1974. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation. *Condor* 76: 184 – 197.
- Farkaschovsky, H. 1980. Zur Bestandsentwicklung, Brutbiologie und Pestizidbelastung des Sperbers *Accipiter nisus* in Oberbayern. *Anz. orn. Ges. Bayern* 19: 1 – 11.
- Fisher, R. A. 1930. *Genetical Theory of Natural Selection*, Dover Publications New York.
- Fuchs, R., Škopek, J., Formánek, J., Exnerová, A. 2002. *Atlas hnízdního rozšíření ptáků Prahy*, Praha
- Ganas, P., Jaskulska, B., Lawson, B., Zadavec, M., Hess, M., Bilic, I. 2014. Multi-locus sequence typing confirms the clonality of *Trichomonas gallinae* isolates circulating in European finches. *Parasitology* 141: 652 – 661.
- Gerhold, R. W., Yabsley, M. J., Smith, A. J., Ostergaard, E., Mannan, W., Cann, J. D., Fischer, J. R. 2008. Molecular characterization of the *Trichomonas gallinae* morphologic complex in the United States. *The Journal of Parasitology* 94: 1335 – 1341.
- Gosler, A. G., Higham, J. P. and Reynolds, S. J. 2005. Why are birds' eggs speckled? *Ecology Letters* 8: 1105 – 1113.
- Grim, T. 2008. Are Blackcaps (*Sylvia atricapilla*) defending their nests also calling for help from their neighbours? *Journal of Ornithology* 149: 169 – 180.
- Hassell, M. P. & Anderson, R. M. 1989. *Predator-prey and host-pathogen interactions. Ecological Concepts*, Blackwell Scientific Publications. Oxford, pp. 147 – 196.
- Honingberg, B. M. 1979. Biological and physiological factors affecting pathogenicity of trichomonads. In: M. Levandowsky and S. H. Hutner (eds.) *Biochemistry and Physiology of Protozoa*, Vol. 2, Academic Press, Inc. New York, pp. 409 – 427.
- Hudec K., Šťastný K. a kol. 2005. *Fauna ČR, Ptáci 2/I*, Akademia Praha.

- Keymer, I. F. 1972. Disease of birds of prey. *Veterinary Record* 90: 579 – 594.
- Kietzmann, G. E., 1988. Host parasite interactions of *Trichomonas gallinae* (Rivolta 1878). Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames. Iowa, 144 pp.
- Knight, R. I., Grout, D. J., Temple, S. S. 1987. Nest-defense behavior of the American crow in urban and rural areas. *Condor* 89: 175 – 177.
- Krone, O., Altenkamp, R. and Kenntner, N. 2005. Prevalence of *Trichomonas gallinae* in Northern Goshawk from Berlin Area of Northeastern Germany. *Journal of Wildlife Diseases* 41: 304 – 309.
- Luniak, M. 2004. Synurbization — adaptation of animal wildlife to urban development. In: Shaw W. W., Harris L. K., Vandruuff L. (eds). *Proc. 4th Int. Symposium Urban Wildlife Conservation*. Tucson, pp. 50 – 55.
- Luniak, M., Mulsow, R. and Walasz, K. 1990. Urbanization of the European Blackbird expansion and adaptations of urban population. In: Luniak M. (ed.), *Urban ecological studies in Central and Eastern Europe*. Ossolineum, Wroclaw, pp. 87 – 199.
- May, R. M. & Anderson, R. M. 1978. Regulation and stability of host-parasite population interactions: II. Destabilizing processes. *Journal of Animal Ecology* 47: 249 – 267.
- Mills, G. S., Dunning, J. B., Bates, J. M. 1989. Effects of urbanization on breeding bird community structure in southwestern desert habitats. *Condor* 91: 416 – 428.
- Moreno, J., Osorno, J. L., Morales, J., Merino, S., Tomas, G. 2004. Egg colouration and male parental effort in the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Journal of Avian Biology* 35: 300 – 304.
- Newton, I. 1986. *The Sparrowhawk*, T & A. D. Poyser. Calton.
- Newton, I., & Wyllie, I. 1992. Recovery of a sparrowhawk population in relation to declining pesticide contamination. *Journal of Applied Ecology* 29: 476 – 484.
- Newton, I., Wyllie, I., Asher, A. 1993. Long-term trends in organochlorine and mercury residues in some predatory birds in Britain. *Environmental Pollution* 79: 143 – 151.
- Newton, I. 1998. *Population limitation in Birds*. Academic Press, London.

- Opdam, P., Burgers, J., Muskens, G. 1987. Population trend, reproduction and pesticides in Dutch Sparrowhawks following the ban on DDT. *Ardea* 75: 205 – 212.
- Pepler, D., and Oetlé, E. E. 1992. *Trichomonas gallinae* in wild raptors on the cape peninsula. *South African Journal of wildlife Research* 22: 87 – 88.
- Peške, L. 1992. Studium hnízdní populace krahujce obecného (*Accipiter nisus*) na území Velké Prahy. *Zprávy České společnosti ornitologické* 34: 15 – 16.
- Phan, T. G., Vo, N. P., Boros, A., Pankovics, P., Reuter, G., Li, O. T. W., Wang, C. L., Deng, X. T., Poon, L. L. M., Delwart, E. 2013. The viruses of wild pigeon droppings. *PLoS ONE* 8: e72787.
- Provini, A., Galassi, S. 1999. Polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides in bird eggs from Calabria (southern Italy). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 43: 91 – 97.
- Rettic, T. 1978. Trichomoniasis in a bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*) diagnosis and succesful treatment with dimetridazol. *Journal of Zoo Animal Medicine* 9: 98 – 100.
- Robinson, R. A., Lawson, B., Toms, M. P., Peck, K. M., Kirkwood, J. K., Chatntrey, J., Clatworthy, I. R., Evans, A. D., Hughes, L., A., Hutchinson, O. C., John, S. K., Pennycott, T. W., Perkins, M. W., Rowley, P. S., Simpson, V. R., Tyler, K. M., Cunningham, A. A. 2010. Emerging infectious dinase Leeds to rapid population declines of common British birds. *PLoS ONE* 5: e12215.
- Samour, J. H. 2000. *Pseudomonas aeruginosa* stomatitis as a sequel to trichomoniasis in captive saker falcons (*Falco cherrug*). *Journal of Avian Med. Surgery* 14: 113 – 117.
- Samour, J. H., Bailey, T. A., Cooper, J. E. 1995. Trichomoniasis in birds of prey (order Falconiformes) in Bahrain. *Vet. Rec.* 136: 358 – 362.
- Sansano-Maestre, J., Garijo-Toledo, M. M., Gómez-Munoz, M. T. 2009. Prevalence and genotyping of *Trichomonas gallinae* in pigeons and birds of prey. *Avian Pathol.* 38: 201 – 207.
- Sergio, F., & Bogliani, G. 2001. Nest defense as parental care in the Northern Hobby (*Falco subbuteo*). *Auk* 118: 1047 – 1052.

- Shalaby, A. M. 2009. Susceptibility Status of the Rat Flea *Xenopsylla cheopis* Roths. (Pulicidae) to DDT, Gamma BHC and Dieldrin, in Libya. *Journal of Applied Entomology* 69: 64 – 71.
- Shannon, G., Angeloni, L. M., Wittemyer, G., Fristup, K. M., Crooks, K. R., 2014. Road traffic noise modifies behavior of a keystone species. *Animal Behaviour* 94: 135 – 141.
- Sproat, T. M., Ritchinson, G. 1993. The nest defense behavior of Eastern Screech-Owls: effects of nest stage, sex, nest type and predator location. *Condor* 95: 288 – 296.
- Stabler, R. M., 1969. *Trichomonas gallinae* as a factor in the decline of the peregrine falcon. In: *Peregrine falcon population. Their biology and decline.* University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, pp. 435 – 437.
- Stone, W. B. & Nye, P. E., 1981. Trichomoniasis in bald eagles. *Wilson Bulletin* 92: 109.
- Strazds, M., Bauer, H. G., Vāli, Ü., Kukare, A., Bartkevičs, V. 2015. Recent impact of DDT contamination of Black Stork eggs. *Journal of Ornithology* 156: 187 – 198.
- Trivers, R. I. 1972. Parental investment and sexual selection. In: Campbell, B. (ed) *Sexual selection and the descent of man.* Chicago: Al-dine, pp. 135 – 179.
- Urban, E. H., Mannan, R. W. 2014. The potential role of oral pH in the persistence of *Trichomonas gallinae* in Cooper's hawks (*Accipiter cooperii*). *Journal of Wildlife Diseases*. 50: 50 – 55.
- Van den Burg, A. B. 2002. A comparison of nutrient allocation in eggs of Barn Owls *Tyto alba* and Eurasian Sparrowhawks *Accipiter nisus*. *Ardea* 90: 269 – 274.
- Whittaker, D., Knight, R. I. 1998. Understanding wildlife responses to humans. *Wildlife Society Bulletin* 26: 312 – 317.