

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

**KATEDRA ZOOLOGIE A ORNITOLOGICKÁ LABORATOŘ**



**PROSTOROVÁ SYNCHRONIE V POPULAČNÍ DYNAMICE PTÁKŮ**

**Bakalářská práce**

**Petra Merglová**

**B1501: Biologie a ekologie**

**Prezenční studium**

**Vedoucí práce: Mgr. Peter Adamík, Ph.D.**

**Olomouc 2016**



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Petera Adamíka, Ph.D. a veškeré použité zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne 28. dubna 2016

.....

podpis

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala Mgr. Peterovi Adamíkovi Ph.D. za cenné rady, trpělivost, věnovaný čas, poskytnutou literaturu a za pomoc se statistickými analýzami. Také bych chtěla poděkovat RNDr. Pavlu Řepovi za poskytnutí dat o početnosti káně lesní a dobrovolníkům, kteří v daných letech prováděli sčítání kání. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.

## **Bibliografická identifikace**

**Autor:** Petra Merglová

**Název práce:** Prostorová synchronie v populační dynamice ptáků

**Typ práce:** Bakalářská

**Pracoviště:** Katedra zoologie a ornitologická laboratoř, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

**Vedoucí práce:** Mgr. Peter Adamík, Ph.D.

**Rok obhajoby:** 2016

### **Abstrakt:**

Populační cykly a synchronnost mezi populacemi jsou způsobovány odlišnými mechanismy. Příčiny těchto jevů nejsou zcela jasné. Ví se ale, že synchronnost může být způsobována rozptylem jedinců, interakcemi mezi populacemi nebo klimatickými jevy. Rozptyl jedinců ovlivňuje populace v regionálním měřítku. Na velké vzdálenosti je synchronnost vyvolávána klimatickými podmínkami nebo predací. Synchronie však se vzrůstající vzdáleností klesá a rychlost poklesu se liší mezi druhy. Míra poklesu synchronie se dá určit mnoha způsoby. Nejčastěji se k určení synchronie mezi populacemi používá neparametrická kovarianční funkce nebo křížový korelační koeficient.

Ve své práci jsem testovala synchronnost početností regionálních zimních populací káně lesní (*Buteo buteo*) napříč Českou republikou. Velikost populace v zimním období je pravděpodobně ovlivňována přilétajícími jedinci ze severních oblastí Evropy. Vytvořila jsem soubor, který obsahuje 899 datových řad. K analýze dat jsem použila neparametrickou kovariační funkci a vytvořila splinový korelogram pro Českou republiku. Pomocí diferencovaných hodnot jsem provedla vizualizaci časové řady početnosti káně. Časové řady nevykazují příliš velkou variabilitu. Z vizualizovaných dat je patrné, že stupeň synchronnosti mezi populacemi káně lesní byl nízký.

**Klíčová slova:** Káně lesní, populační dynamika, synchronnost, časová řada, neparametrická kovariační funkce

**Počet stran:** 33

**Počet příloh:** 0

**Jazyk:** Český

## **Bibliographical Identification**

**Author:** Petra Merglová

**Title:** Spatial synchrony in avian population dynamics

**Type of thesis:** Bachelor

**Department:** Department of Zoology and Laboratory of Ornithology, Faculty of Science, Palacky University, Olomouc, Czech Republic

**Supervisor:** Mgr. Peter Adamík, Ph.D.

**The presentation year:** 2016

### **Abstract:**

Population cycles and synchrony between populations are caused by different mechanisms. The causes of these phenomena are not exactly known. Nowadays it is generally accepted that synchrony of populations is caused by dispersal of individuals, trophic interactions among species or by environmental factors. At a local scale populations are affected by dispersal of individuals. At large scales synchrony is caused by exogenous climate forcing or by predation. Synchrony usually declines with distance and the rate of decline is often species-specific. The rate of decline can be determined in many ways. Most commonly the nonparametric spatial covariance function or cross-correlation coefficients are applied.

In my undergraduate thesis I test for synchrony in winter abundance between regional populations of Common Buzzard (*Buteo buteo*) in the Czech Republic. Winter population buzzard counts are likely affected by an influx of individuals from Northern Europe. I created a data set containing 899 time series. Spatial synchrony was assessed via the use of nonparametric spatial covariance function and I created spline correlograms for regional buzzard abundances. By using differentiated values I visualized time series of common buzzard counts. In general the time series do not show high variability among years. The degree of synchrony among buzzard populations was rather low.

**Keywords:** Common buzzard, population dynamics, synchrony, time series, nonparametric spatial covariance function

**Number of pages:** 33

**Number of appendices:** 0

**Language:** Czech

## **OBSAH:**

1. Úvod .....	1
1.1 Dynamika populací .....	1
1.2 Populace káně lesní .....	4
1.3 Synchronnost mezi populacemi .....	5
1.4 Příčiny synchronie .....	6
1.4.1 Disperze populací .....	6
1.4.2 Vlivy okolního prostředí .....	8
1.4.3 Potravní interakce .....	9
2. Cíle práce .....	12
3. Materiál a metody .....	13
3.1 Měření synchronnosti .....	13
3.2 Zpracování a analýza dat .....	14
4. Výsledky .....	16
5. Diskuze .....	24
6. Literatura .....	26

# 1. Úvod

## 1.1 Dynamika populací

Každá populace organismů vykazuje určitou dynamiku. U některých druhů jsou populace poměrně stabilní a nedochází u nich k žádným nebo jen mírným změnám. Naopak u mnoha populací různých druhů dochází k pravidelným nebo nepravidelným změnám početnosti. Tyto odchylky od průměrného počtu jedinců v populaci se označují jako fluktuace. V čase se nemění pouze abundance populací, ale dochází také ke změně jejich vnitřní struktury (např. poměr věkových tříd nebo pohlaví). Populační variabilita může být různá mezi taxony (Ostfeld 1988). Mnohé práce naznačují, že variabilita je menší u organismů, které jsou polyfágní, dlouhověké nebo velké (Connell a Sousa 1983, Gaston 1988). Větší variabilita je pak zaznamenána u organismů, které více podléhají predaci, mají vyšší plodnost nebo se vyskytují na větším geografickém areálu (Fairweather 1988, Spitzer et al. 1984). Proto populace malých krátkověkých druhů s krátkým generačním cyklem se budou jevit více variabilní než populace velkých a dlouhověkých druhů s dlouhým generačním cyklem. Variabilita také roste s velikostí populace. Tyto změny struktury populací jsou způsobeny různými faktory. Populační dynamika v dlouhém časovém měřítku kolísá buď nepravidelně, nebo pravidelně. Pravidelné změny v početnosti populace se označují jako populační cykly. Jsou to stabilní periodické fluktuace v početnosti populací mezi jednotlivými roky a opakují se s určitou pravidelností (Krebs 1996), například cyklus rysa kanadského (*Lynx canadensis*) se opakuje po 9 až 11 letech, kdy populace dosahuje maximální početnosti (Ranta et al. 1997c). Populační dynamika vyjadřuje vnitřní stabilitu druhu a odráží změny v prostředí. Některé populace vykazují cyklické chování, které může být synchronní mezi vzdálenými populacemi stejného nebo jiného druhu. Populační cykly jsou prozkoumány a popsány u mnoha zvířecích i rostlinných druhů. Nejlépe však u drobných hlodavců (Krebs 1996), lesních motýlů (Myers 1988), tetřevovitých ptáků (Lindström et al. 1995), zajíce měnivého (*Lepus americanus*) a rysa kanadského v Severní Americe (Krebs et al. 1995). Nejvíce cyklických druhů bylo zjištěno u savců (např. drobní hlodavci, zajíc měnivý nebo rys kanadský) a ryb (hlavně v řádu hrdloploutví – *Gadiformes*) (Kendall et al. 1998). Kendall et al. (1998) uvádějí populační cykly u 30 % pozorovaných živočišných druhů na severní polokouli. Zároveň se u populací savců cykličnost zvětšovala směrem na sever.



Víceleté populační cykly mají zpravidla 4 fáze:

- (1) fáze růstu (gradace)
- (2) vrcholová početnost
- (3) fáze poklesu
- (4) fáze nízké početnosti.

Podle charakteru dosahování vrcholové početní fáze se mohou populační cykly rozdělit do 3 typů (Suchomel 2014):

(1) Latentní gradace. Druhy mají dlouhodobě nízkou početnost a nedosahují nosné kapacity prostředí. Fáze růstu je mírná s nenápadným přesahem kapacity prostředí. S tímto typem se setkáváme u tzv. nekalamitního hmyzu, například u stužkonosky modré (*Catocala sponsa*).

(2) Permanentní typ. Tento typ je charakteristický dlouhodobou nebo trvalou početností přesahující nosnou kapacitu prostředí. K poklesu početnosti pod tuto hodnotu dochází pouze dočasně, například u běláška zelného (*Pieris brassicae*).

(3) Temporální typ. Cykly vykazují velkou fluktuaci v kolísání početnosti s nápadnou fází růstu. Do tohoto typu patří většina škůdců jako například hraboš polní (*Microtus arvalis*) nebo saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*)

Populační cykly se dělí na cykly 1. a 2. řádu. Cykly 1. řádu jsou způsobeny silnou a nelineární závislostí růstu na hustotě spolu se silným reprodukčním potenciálem organismu. Příkladem může být konkurence o zdroj potravy. Vizualizovaná data pak mají typicky pilovitý vzhled. Cykly 2. řádu jsou způsobeny časovým zpožděním v negativní zpětné vazbě. Tyto cykly jsou zpravidla delší než 2 roky (Tkadlec 2013).

Populační cykly mohou být dále rozděleny na cykly exogenní a endogenní (Berryman 2002). Vnější proměnné mají vlastní cyklickou dynamiku, která je příčinnou změn v populační dynamice druhů. Takovou proměnnou mohou být klimatické jevy, např. severoatlantická oscilace (NAO) nebo El Niño (Stenseth et al. 2003). Exogenní cykly mohou být způsobovány také tzv. pulzními zdroji (Ostfeld a Kessing 2000). Příkladem pulzního zdroje mohou být semenné roky rostlin nebo generační cyklus cikád (Koenig a Liebhold 2005). Endogenní cykly vznikají vlivem závislosti na hustotě a jsou způsobeny buď dopadem silné přímé závislosti na hustotě (vazby 1. řádu) nebo dopadem opožděné závislosti na hustotě (vazby 2. a vyššího řádu). Mechanismy způsobující endogenní cykly můžeme rozdělit na 2 skupiny: (1) vnitropopulační samoregulační mechanismy a (2) interpopulační trofické mechanismy (Tkadlec 2013). Základním intrapopulačním samoregulačním mechanismem je

konkurence o potravu mezi jedinci druhu. Interpopulační trofické mechanismy zahrnují predaci, neboli vztah predátora a jeho kořisti.

Periodicita byla pozorována a studována také u rostlin, avšak předpokládá se, že cykly v rámci populací rostlin nejsou pravděpodobné. U rostlin totiž dochází k samozředování, absenci velikostního prahu pro produkci semen a je zde přítomen stabilizující účinek asymetrické kompetice (Crawley 1990).

Studium příčin a mechanismů způsobujících populační cykly přineslo hypotézy, které se pokoušejí vysvětlit příčiny cyklů. K těm nejvýznamnějším hypotézám patří dle Berrymana (2002):

(1) Fyzikální účinky. Hypotézy předpokládající, že cykly populací odrážejí vnější vlivy na natalitu a mortalitu. Změny vlastností vnějšího prostředí a klimatické změny ovlivňují velikost populačních cyklů (Cornulier et al. 2013). Jsou zde zahrnuty také vlivy periodických slunečních skvrn (Sinclair et al. 1993)

(2) Účinky predátorů. Hypotéza je založená na modelu Lotky a Voltery. Tento model podává důkaz o schopnostech systému predátor-kořist vytvářet cyklickou dynamiku populací (Hanski et al. 1991)

(3) Účinky patogenů. Organismy způsobující infekci se velmi dobře šíří v populacích s vysokou hustotou. Přenos infekčních onemocnění může způsobit cykly jak v populaci hostitele, tak i v populaci patogena (Anderson a May 1980)

(4) Účinky rostlin. Hypotézy předpokládající, že vztah rostliny a herbivora může vytvářet cyklickou dynamiku populací, kdy rostlina představuje kořist a herbivor je považován za predátora (Rosenzweig a Abramsky 1980, Lithner a Jönsson 2002, Elias et al. 2006)

(5) Účinky struktury populace. Struktura populace, která je závislá na hustotě, může v jistých případech zapříčinit různé typy dynamik populací (Higgins et al. 1997, Bjørnstad et al. 1999b)

(6) Mateřské účinky. Faktory vnějšího prostředí, které působí na mateřskou generaci, mohou ovlivnit vlastnosti potomků. Samice v dobré kondici s dostatkem kvalitní potravy produkují více mateřského mléka a mají silnější potomstvo, které lépe přežívá než potomstvo od matky, která trpí nedostatkem kvalitní potravy nebo je napadena chorobami (Mousseau a Dingle 1991)

(7) Genetické účinky. Založeno na předpokladu, že pokud se změní hustota populace, může dojít ke změně genofondu populace. Pokud má populace malou hustotu, může dojít k tomu, že budou upřednostňovány, pomocí přírodního výběru, genotypy s vysokou reprodukcí a zároveň s nízkou kompetitivností, zatímco u populace s vysokou hustotou to může být právě naopak (Sinervo et al. 2000).

Populační cykly jednoho druhu mohou ovlivňovat populace dalších druhů. Jako příklad mohu uvést případ, kdy dynamika početností hraboše a zajíce měnivého ovlivňuje hnízdění sovice krahujové (*Surnia ulula caparoch*) (Rohner et al. 1995). Sovice preferuje hraboše a zajíce měnivé jako zdroj potravy. V letech, kdy populační dynamika jednoho nebo druhého druhu dosáhla vrcholu, všechny sledované páry sovice zahnízdily. Ale v letech s nízkou početností hraboše a klesající početností zajíce soví páry nehnízdily a téměř se nevyskytovaly ve studované lokalitě.

Krebs et al. (2001) se zabývali příčinami, které řídí 10-ti leté cykly zajíce měnivého v severní Americe. Ve studii zkoumali změny v reprodukci, přežívání jedinců se zvyšující se hustotou populace a vliv predace. Stanovili tři faktory, které by mohly ovlivňovat populační cykly: (1) dostupnost a kvalita potravy, (2) predace a (3) sociální interakce. Početnost potravních zdrojů ovlivňuje maximální populační hustotu (Krebs 2013). Dostupnost potravy měla vliv na populaci zejména v zimních měsících. Kvalita potravy nepřímo ovlivňovala jedince, kdy snížená kvalita vedla ke zhoršení kondice jedince, ten pak snáze trpěl nemocemi a stal se snadnější kořistí pro predátory (Hodges et al. 1999, Hik 1995). Dále sledovali vliv přítomnosti predátora. Predátoři měli na populace zajíců přímý i nepřímý vliv (Lima 1998), příkladem nepřímého vlivu může být neúspěšný lov predátora a stresování zajíce, který je poté oslaben a snáze napadán patogeny a parazity. Předpokládá se, že populační cyklus zajíce měnivého je tedy výsledkem interakce mezi predací a potravou zajíce (Krebs et al. 1995, Krebs et al. 2001).

## 1.2 Populace káně lesní

Káně lesní (*Buteo buteo*) patří k nejběžnějším dravcům z čeledi jestřábovití (*Accipitridae*) nejen v České republice (Reif et al. 2013), ale i v celé Evropě (European Bird Census Council). Hnízdní areál se rozkládá v lesním a lesostepním pásu Eurasie. Populace ze severní Evropy jsou tažné a každý rok pravidelně migrují na zimoviště, která se vyskytují v jižnějších částech Evropy. Ojediněle káně táhnou až na Africký kontinent. Populace v centrální a jižní Evropě jsou v různé míře tažné, potulné (vzdalují se od svého hnízdiště na kratší vzdálenosti) nebo mohou být stálé a hnízdiště neopouštějí, například populace z České republiky nejsou tažné na velké vzdálenosti a zimují většinou v Rakousku, Švýcarsku nebo jižním Německu (Cepák et al. 2008).

Velikost zimní populace káně lesní v České republice je pravděpodobně ovlivňována přilétajícími jedinci ze severních oblastí, zejména ze Skandinávie. Například ve Finsku je

sledována migrace kání na zimoviště. Je zjištěno, že trasy populací směřují na jih až jihozápad. Migrace na zimoviště začíná již v srpnu a dosahuje vrcholu v září. V prvním roce káně zalétají do jižnějších částí Evropy, než je tomu u starších jedinců. Avšak průměr souřadnic lokalit sloužících jako zimoviště leží ve střední Evropě, jak pro káně mladší jednoho roku, tak pro jedince starší (Saurola et al. 2013). Jarní migrace zpět na hnízdiště začíná na začátku března a svého vrcholu dosahuje v dubnu.

V České republice, stejně jako jiných zemích Evropy, došlo v posledních letech k mírnému nárůstu hnízdní populace káně lesní (ČSO Jednotný program sčítání ptáků, European Bird Census Council). Ve finské populaci však došlo během posledních 20-ti let k mírnému poklesu početnosti káně (Saurola et al. 2013). Nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím velikost populací je dostupnost potravy, zejména malými savci. Abundance kořisti ovlivňuje nejen přežívání dospělců, ale také hnízdní úspěšnost párů (Tóth 2014). Dalším významným faktorem, který má dopad na dynamiku populací, jsou environmentální korelace, které ovlivňují dostupnost potravy a přežívání jedinců (Selas 2001).

### 1.3 Synchronnost mezi populacemi

Synchronie kolísání populací je důležitou součástí populační dynamiky. Populace stejného druhu nebo rozdílných taxonů, které jsou oddělené prostorově, mají tendenci kolísat v čase synchronně. V různých populacích tedy probíhají stejné změny zároveň (Liebhold et al. 2004a). Se vzrůstající vzdáleností synchronnost mezi populacemi většinou klesá. Pokles můžeme zjistit užitím regrese křížových korelací na vzdálenosti (Ranta et al. 1995) nebo pomocí neparametrické prostorové kovarianční funkce (Bjørnstad et al. 1999). Synchronnost na velké vzdálenosti je pozorována u cyklických populací zejména u savců, ale i motýlů (Raimondo et al. 2004). Jako příklad lze uvést tetřívka obecného (*Tetrao tetrix*) nebo jeřábka lesního (*Bonasa bonasia*), jejichž populace vykazují cykly opakující se po 6-ti letech (Lindström et al. 1996). Typickým zástupcem savců s cyklickou dynamikou je rys kanadský, u kterého se cykly opakují každých 9 – 11 let (Ranta et al. 1997a).

Synchronnost mezi populacemi je studována v mnoha pracích napříč živočišnými a rostlinnými druhy. Prostorová synchronie byla popsána například u rostlin (Liebhold et al. 2004b), infekčních nemocí (Bjørnstad 2000), hmyzu (Haynes et al. 2003), ptáků (Saether et al. 2007, Kerlin et al. 2007, Lindström et al. 1996, Toms et al. 2005) nebo savců (Post 2002, Krebs et al. 2013). Avšak druhy se synchronními populacemi čelí vyššímu

riziku vyhynutí než druhy s asynchronními populacemi (Heino et al. 1997). Toto tvrzení je založeno na faktu, že u synchronních populací může dojít k prudkému snížení početnosti všech populací například vlivem Moranova efektu.

Synchronnost se nevyskytuje pouze u živočichů, ale byla také zaznamenána v rámci rostlinných populací, kdy se rostliny, nejčastěji stromy a trávy, synchronizují ve tvorbě semen. Synchronie je založena na tvorbě přibližně stejného množství semen ve stejný čas mezi populacemi stejných nebo různých druhů rostlin (Koenig a Knobs 2000). Tato synchronnost se označuje jako semenné roky, pozorována je zejména u buku, dubu, borovice atd. Na velikosti produkce semen a její synchronii jsou závislé mnohé populace drobných savců a semenožravých ptáků, kteří se živí jejich plody. Jsou ovlivňovány dokonce i populace parazitů. Semenné roky rostlin ovlivňují synchronnost zvýšení populace drobných savců, kteří se živí jejich plody. Nárůst populace drobných savců dále ovlivňuje přítomnost predátorů. Toto je důkazem, že jedním z hlavních faktorů synchronie jsou potravní interakce.

Synchronnost mezi populacemi většinou klesá se vzrůstající vzdáleností a velmi vzdálené populace vykazují nízkou nebo nulovou synchronii. Ranta et al. (1997a) však ve své práci zachycuje odlišný trend. Studovali synchronnost mezi oddělenými populacemi rysa kanadského a zjistili, že synchronnost se vzrůstající vzdáleností klesá, ale po dosažení určité vzdálenosti mezi populacemi se míra synchronie začne opět zvyšovat a výsledná křivka velikosti synchronie má tvar písmene U. Synchronnost na velké vzdálenosti může být způsobena podobnými klimatickými podmínkami

## **1.4 Příčiny synchronie**

Synchronnost mezi populacemi je studována vědci po dlouhou dobu, kdy jsou testovány různé biotické a abiotické faktory, které by mohly ovlivnit synchronnost populací. Příčiny cyklů populací a jejich synchronie mohou být různé (Moran 1953), avšak dodnes nejsou zcela známy všechny příčiny ovlivňující vnitrodruhovou a mezidruhovou synchronii populací. Byly určeny tři hlavní faktory, jejichž působením může vzniknout prostorová synchronie. Tyto faktory jsou: (1) disperze populací, (2) vlivy okolního prostředí a (3) potravní interakce (Liebhold et al. 2004a). Působení těchto faktorů bylo zkoumáno v mnoha pracích.

### **1.4.1 Disperze populací**

Rozptyl výrazně ovlivňuje synchronnost populací, ovlivňuje ji však spíše na lokální škále v dosahu vzdáleností rozptylu jedinců daného druhů. Jednotlivé druhy se liší svou

rozptylovou vzdáleností a rozptyl jedinců může synchronizovat jednotlivé populace na vzdálenost větší, než je jejich rozptylová vzdálenost. Například pro výra virginského (*Bubo virginianus*) byla zaznamenána rozptylová vzdálenost 149 km (Houston 1999). U evropských drobných hlodavců je tato vzdálenost malá a pohybuje se kolem 1 km (Steen 1994). Pro rýsa kanadského až 500 km (Krebs et al. 2001). Synchronnost mezi populacemi klesá se zvyšující se vzdáleností, která odděluje populace. Lokální populace jsou propojeny rozptylem a to může vyvolat prostorovou synchronii. Pokud u jedné populace vzrůstá početnost a jedinci z této populace migrují do okolních populací, pak vzroste početnost i těchto okolních populací (Bjørnstad et al. 1999a). K tomuto jevu stačí pár migrujících jedinců.

Různorodost lokalit může narušovat disperzi druhů a tím ovlivňovat i synchronnost populací (Bellamy et al. 2003). Bellamy et al. (2003) zkoumali vliv struktury prostředí na synchronii fluktuace abundance populací několika ptačích druhů. Autoři zjistili, že populace některých lesních ptačích druhů vykazovaly vyšší synchronnost, pokud byly jednotlivé populace odděleny lesním prostředím, než když byly odděleny bezlesým biotopem, například zemědělskou plochou. Prostředí ovlivňuje synchronnost populací například u vrány americké (*Corvus brachyrhynchos*) nebo drozda lesního (*Hylocichla mustelina*) (Jones et al. 2007). Populace hrabošů jsou více synchronní v prostředí s malými lesními plochami. Horské populace hrabošů mohou vykazovat zpoždění ve fluktuaci oproti populacím z nižších nadmořských výšek (Gouveia et al. 2016). Rozdílné prostředí ovlivňuje také vnitrodruhovou i mezidruhovou synchronii druhů ptáků, které nevykazují cyklickou dynamiku (Paradis et al. 2000). Byla testována synchronnost druhů vyskytujících se v lese a v zemědělské krajině. Jednotlivé populace vykazovaly vyšší stupeň synchronie na obhospodařované půdě než populace obývající lesní prostředí. Populace na zemědělských půdách jsou však pravděpodobně ovlivňovány také používanými pesticidy. Například populace koroptví polních (*Perdix perdix*) byly synchronní, ale zároveň vykazovaly stálý pokles početnosti. Tento pokles byl nejspíše způsoben používáním herbicidů v místech výskytu koroptve (Potts a Aebischer 1995). Také úbytek remízků v zemědělské krajině ovlivňuje velikost populací dravců hnízdících v těchto oblastech (Butet et al. 2010).

Houston (1999) se zabýval rozptylovou vzdáleností výra virginského v závislosti na populaci zajíce měnivého, neboť bylo zjištěno, že populační cyklus zajíce ovlivňuje velikost snůšky výra. Studie byla založena na sledování zpětných hlášení o výskytu kroužkovaných jedinců. Zjistil, že vzdálenost, na kterou ptáci migrovali, byla odlišná v různých fázích populačního cyklu zajíce. V letech s vysokou abundancí zajíce jedinci létali na kratší

vzdálenosti. Zatímco v letech s nízkou početností své kořisti výři zalétali na mnohem větší vzdálenosti. Průměrná rozptylová vzdálenost v letech s nízkou abundancí zajíců byla 149 km.

Rozptyl také ovlivňuje přežívání metapopulací. Metapopulace je soubor subpopulací, které jsou lokálně propojené a jedinci mohou volně migrovat mezi jednotlivými populacemi. Tyto populace fluktuují nezávisle na sobě a je u nich reálná šance, že dojde k jejich vyhynutí (Harrison a Quinn 1989, Hanski a Gilpin 1991). Jestliže subpopulace fluktuují synchronně a dojde k vyhynutí jedné subpopulace, vyhynou i ostatní subpopulace a metapopulace zanikne. Naopak je-li synchronnost mezi subpopulacemi nízká, pak subpopulace s vysokou početností slouží, prostřednictvím migrujících jedinců, k obnovení vyhynulých subpopulací.

### **1.4.2 Vlivy okolního prostředí**

Tyto vlivy jsou způsobeny exogenní variabilitou. Tato variabilita způsobuje synchronnost na velké vzdálenosti a může způsobovat mezidruhovou a vnitrodruhovou synchronnost. Klimatická variabilita je způsobena například teplotou nebo srážkami (Liebhold et al. 2004a). Bylo zjištěno, že teplota na začátku jara synchronizuje rychlost růstu rohů mezi populacemi kozorožců horských (*Capra ibex*) ve Švýcarských Alpách, kdy u odlovených jedinců byly měřeny roční přírůstky rohů a v jednotlivých lokalitách byla měřena teplota a výška sněhové pokrývky. Vyšší teploty na začátku jara způsobují rychlejší odtávání sněhu a tím dochází k dřívějšímu růstu rostlin. Díky tomu se zlepší zdroje živin pro kozorožce a u jedinců dochází k rychlejšímu růstu rohů (Büntgen et al. 2014). Klimatické změny, působící ve velkém měřítku jako například Severoatlantická oscilace (NAO), El Niño (ENSO) nebo globální oteplování, mohou způsobit změnu v intenzitě střídání semenných a nesemenných let u rostlin a tím ovlivnit také populační dynamiku predátorů jejich semen (Mckone et al. 1998). Produkce semen dubů ovlivňuje například fluktuaci populací sýkor koňader (*Parus major*) a sýkor modřinek (*Cyanistes caeruleus*) ve střední Evropě (Saether et al. 2007). Klimatické změny mohou mít na populace druhů přímý a nepřímý účinek. Na faktorech počasí nepřímo závisí hnízdní úspěšnost a přežívání mořských ptáků v severním Atlantiku (Durant et al. 2004). Častým nepřímým vlivem environmentálních korelací na populace dravců je ovlivnění dostupnosti a početnosti kořisti, kdy například sněhová pokrývka výrazně snižuje dostupnost potravy pro populace káně lesní v Norsku a tím klesá také hnízdní úspěšnost na úrovni populací (Selas 2001).

Účinek podobný Moranovu efektu, ale v regionálním měřítku může být vyvolán pulzující proměnlivostí zdrojů. Příkladem mohou být semenné roky, které ovlivňují populační

dynamiku norníka rudohřbetého (*Clethrionomys gapperi*) (Elias et al. 2006). Pulzující proměnlivost byla také zjištěna u generačního cyklu cikád, který trvá 13 nebo 17 let. Tento cyklus výrazně ovlivňuje synchronii amerických ptáků. V letech dosažení vrcholu cyklu cikád se zvyšovala abundance některých ptačích druhů (Koenig a Liebhold 2005).

Moranův efekt (Moran 1953) vysvětluje synchronii populací na velké vzdálenosti. Tento fenomén říká, že pokud dvě populace mají stejnou vnitřní strukturu závislostí na hustotě, pak je synchronnost mezi těmito populacemi stejná jako korelace mezi klimatickými vlivy. Pokud je vnitřní struktura populací odlišná, pak se Moranův efekt projeví jen přibližně (Bjørnstad et al. 1999a). Moranův efekt je výsledkem náhodných, ale synchronních vlivů počasí na populace, které jsou prostorově oddělené (Ranta et al. 1997b, Koenig 1999).

### 1.4.3 Potravní interakce

Dalším faktorem ovlivňujícím dynamiku populací jsou trofické interakce. Nejen predátoři, ale i mikroparaziti a parazitoidi jsou schopni ovlivnit dynamiku svého hostitele nebo kořisti na velké vzdálenosti. Tato vzdálenost závisí na pohyblivosti kořisti. Fairweather (1988) ve své práci zjistil, že přítomnost silného tlaku predátorů způsobuje nejen změny v abundanci kořisti, ale také změny v rozptylu predovaného druhu.

Různé druhy parazitoidů vykazují synchronnost při migraci za svými hostiteli. Peréz-Rodríguez et al. (2015) studovali synchronnost výskytu mšic a jejich parazitoidů na jihu Velké Británie. Pomocí jednoduchých regresních modelů sledovali odpověď parazitoidů na hostitele. Parazitoidi reagovali na migraci mšic okamžitě a migrovali na místa s vysokým výskytem mšic bez meziročního zpoždění (k analýze použili křížovou korelační analýzu), tudíž se zvětšovala jejich početnost. Se zvyšujícím se počtem mšic okamžitě začal růst i počet parazitoidů.

Dostupnost potravy způsobuje i synchronii lesních druhů ptáků (Jones et al. 2003). Housenky motýlů tvoří významnou složku potravy pro lesní ptáky. Motýli vykazují cyklickou dynamiku a objevují se roky s vysokou početností jejich larev. Fluktuace v početnosti housenek byla synchronní mezi sledovanými lokalitami. Nadbytek potravy pozitivně ovlivnil početnost ptačích druhů v následujícím roce. Ptáci tedy reagovali na zvýšení potravních zdrojů s časovým zpožděním. Početnost kořisti ovlivňuje také reprodukci a přežívání mláďat dravců. Pavlůvčík et al. (2015) ukázali, že průměrné přežívání mláďat sovy pálené (*Tyto alba*) je vyšší v letech s vysokou početností hraboše polního. Populace sov pálených tedy kolísala synchronně s nulovým zpožděním s početností populací hraboše polního. Norrdahl



a Korpimäki (1996) zjistili, že průměrná hustota kořisti může být regulována mobilními predátory. Ptačí predátoři jako například poštolka obecná (*Falco tinnunculus*), moták pilich (*Circus cyaneus*) nebo sýc rousný (*Aegolius funereus*) se soustředí do míst s největší hustotou kořisti a tím dochází k regulaci hustoty kořisti.

Vztah kořist-predátor se většinou uvažuje za nepřítomnosti dalších druhů. Model této interakce popisuje vzájemnou fluktuaci dvou druhů. Pokud dojde k nárůstu populace kořisti, je tedy dostatek potravy pro predátory. Predátorské druhy na zvýšení počtu kořisti odpovídají většinou se zpožděním. To znamená, že po zvýšení početnosti kořisti dojde k nárůstu populace predátorů až po určitém čase. Nárůst abundance predátorů následně vyvolá snížení počtu kořisti, tím se sníží dostupnost potravy pro predátory a po časovém prodlení dojde také ke snížení počtu predátorů z důvodu nedostatku potravy. Na dané lokalitě je pak opět málo predátorů, a proto může dojít k opětovnému zvýšení početnosti kořisti. A tímto se cyklus uzavírá (Reeve a Turchin 2002). Savčí a ptačí predátoři většinou odpovídají na zvýšení početnosti kořisti se zpožděním 1 až 2 roky (Krebs et al. 1995, Krebs et al. 2001).

Vztah kořist-predátor také zahrnuje interakci rostliny a živočicha. Rostlina představuje kořist a živočich zaujímá roli predátora. Rostliny využívají synchronnost v produkci semen k redukci jejich predace. Rostliny střídají semenné a nesemenné roky, které jsou synchronizovány ve velkém geografickém měřítku. Synchronnost rostlin byla studována zejména na produkci semen dubu (Koenig a Knops 2013). Predátoři semen, jako jsou malí savci nebo semenožraví ptáci, jsou ovlivňováni semennými roky rostlin, kdy je pro ně dostatek potravy. Hypotéza o nasycení predátorů (Kelly 1994) živících se semeny předpokládá, že predátoři poškodí v průměru méně semen, pokud produkce semen je mezi lety variabilní, než když je konstantní. V letech s nízkou produkcí semen je abundance predátorů malá z důvodu nedostatku potravy. Naopak v letech s vysokou produkcí semen je dostatek potravy a dojde ke zvýšení početnosti predátorů. Zároveň však z důvodu náhlé zvýšení produkce semen oproti předchozímu roku, kdy byla nízká abundance predátorů, nejsou predátoři schopni zkonzumovat všechna semena a ty tak mají vyšší pravděpodobnost přežití a vyklíčení (Poncet et al. 2008). Má se za to, že tato strategie je vyvinutá rostlinami k regulaci populačního růstu predátorů semen. U semenných predátorů dochází ke každoročním změnám v populaci v závislosti na úrodě semen. Dynamika semenných predátorů je však opožděná za dynamikou semenných roků (Kelly et al. 2008). Lithner a Jönsson (2002) sledovali vliv produkce semen buku a dubu na početnost kalouse ušatého (*Asio otus*) a sýce rousného. Vysoká úroda semen měla nepřímý vliv na početnost těchto

druhů. Během léta došlo k nárůstu populace hlodavců a tím se zlepšila potravní nabídka pro jejich predátory, u kterých došlo ke zvýšení početnosti následující jaro.

## **2. Cíle práce**

Cílem mé bakalářské práce je literární rešerše odborné literatury o prostorové synchronii v dynamice populací a analýza synchronie zimní početnosti populací káně lesní v České republice. Získala jsem odhady průměrné regionální korelace a vzdálenost, při které je dosažena tato průměrná korelace. Analýza byla provedena na časových řadách, které byly získány zlogaritmováním a diferencováním časových řad početnosti káně lesní v letech 1984 – 2014.

## 3. Materiály a metody

### 3.1 Měření synchronnosti

Měření synchronnosti představuje vyjádření vzájemné korelace časových řad mezi početnostmi populací rostlin a živočichů jednoho druhu nebo mezi populacemi odlišných taxonů. Pro měření synchronnosti mezi časovými řadami se používají různé metody. Použité analýzy se liší podle počtu řad, mezi kterými zjišťujeme synchronnost. Synchronii můžeme hodnotit jako korelaci mezi hodnotami časových řad, korelaci mezi rozdíly hodnot časových řad nebo jako shodnost vrcholů populací. K měření synchronnosti se také často používá variační koeficient (Buonaccorsi et al. 2001).

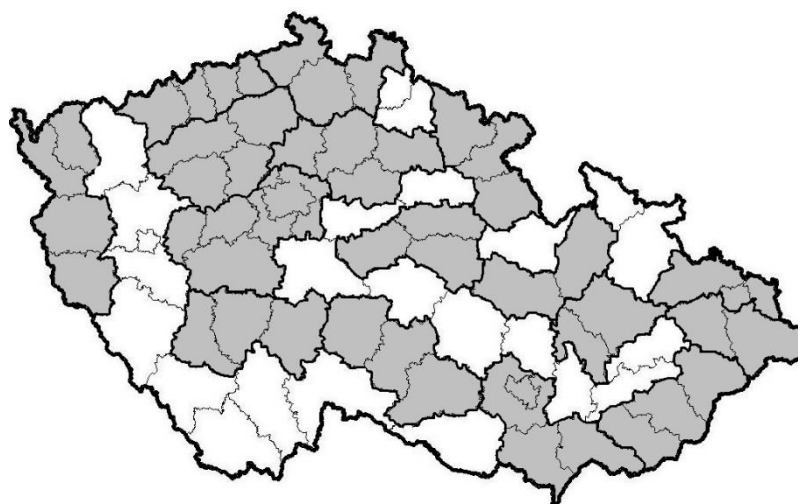
Pro stanovení korelace mezi dvěma časovými řadami se nejčastěji používá Pearsonův nebo Spearmanův korelační koeficient. Použití těchto koeficientů se liší. Pearsonův korelační koeficient měří sílu lineárního vztahu mezi dvěma řadami dat s normálním rozdělením zpracovávaných dat (Bjørnstad et al. 1999a). Data se proto logaritmují, aby došlo ke zmenšení odchylky od normálního rozdělení. Spearmanův koeficient naopak pracuje s daty, které nemají normální rozdělení a vychází z pořadí naměřených hodnot. Na rozdíl od Pearsonova koeficientu není Spearmanův koeficient citlivý k odlehlým hodnotám, proto je vhodný k vyjádření vztahu jak u původních tak transformovaných dat. Společně s variačním koeficientem se používá neparametrická prostorová kovariance (Bjørnstad 2001). Jako vhodná metoda pro vyvození prostorové synchronie je splinový korelogram, neboli modifikace prostorové neparametrické kovarianční funkce (Bjørnstad et al. 1999a). Křížové korelogramy jsou vhodné pro měření synchronie mezi populacemi v rámci druhu, které jsou od sebe odděleny větší vzdáleností a jejich vrcholy se neshodují. Nesoulad vrcholů populací může být způsoben rozptylem nebo různou odezvou na synchronizační exogenní vlivy. Křížové korelogramy se používají také k měření korelace mezi různými druhy organismů.

Různé úpravy dat mohou ovlivnit výsledky analýz. Chevalier et al. (2015) zkoumali vliv různých transformací dat na výsledky měření synchronie mezi populacemi. Na časové řady ryb z francouzských řek použili tři druhy transformací (1) odstranění trendu, (2) prewhitening – rozdíl po sobě jdoucích hodnot v časových řadách a (3) kombinaci předchozích dvou. Výsledky naznačovaly, že použití odlišných transformací na stejná původní data různě ovlivňuje výsledky měření a může dojít k rozdílným a někdy i nesprávným závěrům o přítomnosti či nepřítomnosti synchronie.

## 3.2 Zpracování a analýza dat

Pro tuto práci bylo potřeba získat data o výskytu jedinců káně lesní v České republice. Data v rozmezí let 1984 až 2014 ve formátu samostatných tabulek pro jednotlivé části České republiky poskytl RNDr. Pavel Řepa z muzea v Tachově. Ke sčítání jedinců káně lesní byla zvolena transektová metoda. Byly voleny transekty o celkové délce 5 kilometrů ve volné krajině, šířka nebyla omezena. Bylo nutné dodržet rovný směr vedení transektu, aby nedocházelo k velkým změnám směru. V jednotlivých transektech byl zaznamenáván počet pozorovaných jedinců. Sčítání bylo prováděno dobrovolníky a probíhalo ve třech měsících (polovina listopadu, ledna a března). Bylo tak zajištěno, že bude zachycen počet kání před nástupem zimy, počet zimujících a počet hnízdících kání (Řepa 2002). Tato metoda měla určité nevýhody. Pro některé lokality bylo provedeno velmi málo pozorování a nebylo tak možné určit dynamiku populace na daném místě. Většina mapovatelů nerozlišovala káně lesní od káně rousné (*Buteo lagopus*). Počty kání jsou tak součtem za oba druhy. U těch sčítatelů, kteří rozlišovali kání do druhů, Řepa (2002) ukázal, že počty káně rousné představovaly cca 2 % ze všech kání. Ročně byla zaznamenána početnost průměrně ve  $204 \pm 119$  (SD) transektech.

Získaná data jsem upravila a jednotlivé tabulky spojila v programu *Microsoft Excel 2013* do jedné, výsledkem je tabulka, která obsahuje 1 244 časových řad káně lesní na území České republiky. Z datového souboru jsem vyřadila časové řady, ve kterých neproběhlo sčítání alespoň za jedno celé zimní měření, tedy takové řady, které obsahovaly méně než 3 hodnoty. Ke každému transektu jsem přiřadila zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku. Tyto údaje jsem vyhledávala v programu *Google Earth*. Z důvodu chybějících dat v časových řadách, jsem z lokalit, ve kterých probíhalo sčítání po několik let bez chybějících hodnot, vytvořila regionální celky z jednotlivých okresů. Vybrané okresy byly zahrnuty do jednotlivých celků tak, aby představovaly geograficky logický celek, tj. například sousedící okresy v nížinách nebo pohořích (obr. 1). Poté jsem vypočítala průměrný počet kání pro jednotlivé vytvořené regiony pro každé sčítání ve sledovaných měsících jednotlivých let. V letech 1986 a 1989 nebyly získány hodnoty ze sčítání, proto dané roky nebyly zahrnuty do analýzy. K analýze synchronnosti populací jsem použila celkem 16 regionálních časových řad, které vznikly sloučením dílčích dat.



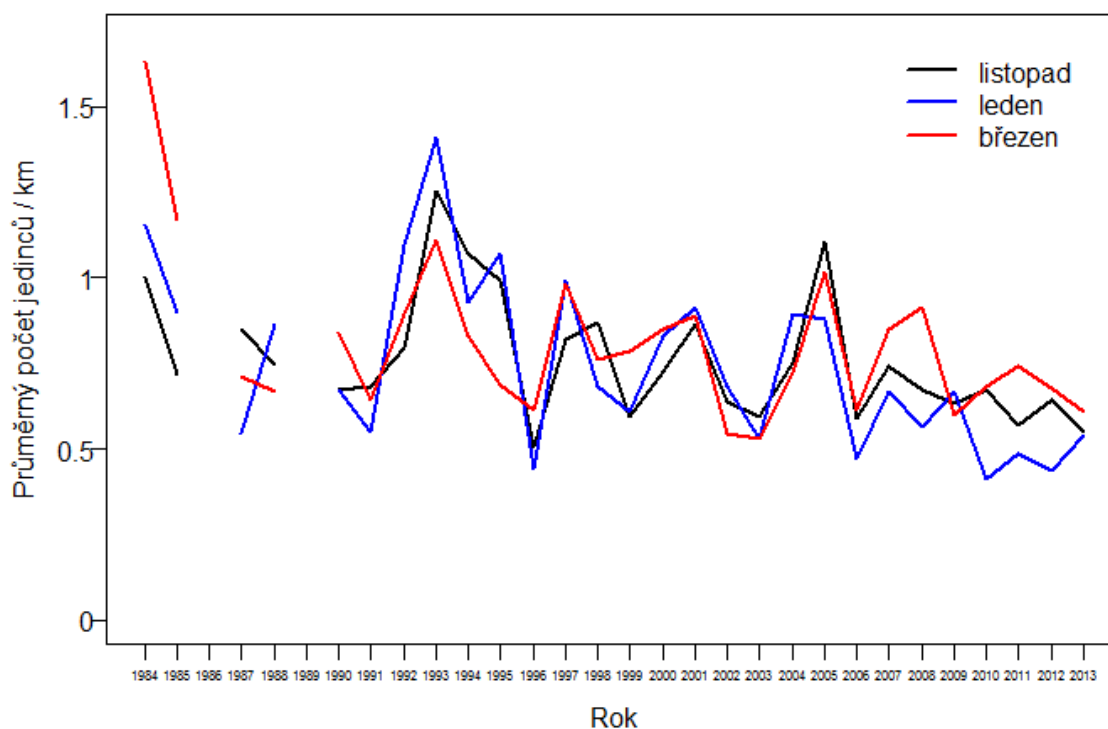
Obr. 1: Celky okresů, na kterých byla provedena analýza, jsou vyznačeny šedě.

Nulové hodnoty jsem nahradila hodnotou 0,1, aby mohlo být provedeno zlogaritmování dat. Zlogaritmováním hodnot, použitím dekadického logaritmu, se redukuje odchylky od normálního rozdělení. Následně jsem provedla diferenciaci časových řad, aby došlo k odstranění trendu populací (tzv. detrendizace dat), neboť trend v dlouhých časových řadách může odrážet například globální změny (Liebhold et al. 2004a). Detrendizace se provede vytvořením řad rozdílů mezi sousedními zlogaritmovanými hodnotami (tj.  $z_t = \log N_t - \log N_{t-1}$ ). Rozdíly představují míru změny ve velikosti populace a korelace tak měří synchronnost na této změně (Tkadlec 2013). Grafy jsem vytvořila v programu R. Korelace mezi řadami byly vypočítány jako Pearsonovy korelační koeficienty. V grafech je zobrazena prostorová synchronie jako závislost korelací na vzdálenosti, která odděluje populace. Pro určení prostorové synchronie jsem použila splinový korelogram. 95% konfidenční interval splinového korelogramu byl vypočítán pomocí bootstrapové metody (10 000 replikací). Pro vytvoření grafu jsem použila balíček ncf (Bjørnstad 2015) v programu R verze 3.2.2. (R Core Team 2015). Do grafu jsem také vynesla vzdálenost, při které je dosažena průměrná korelace mezi populacemi.

Dále jsem vytvořila grafy znázorňující diferencované hodnoty časových řad během jednotlivých let. Pomocí těchto grafů můžeme pozorovat variabilitu populací káně lesní mezi jednotlivými roky a jejich synchronnost.

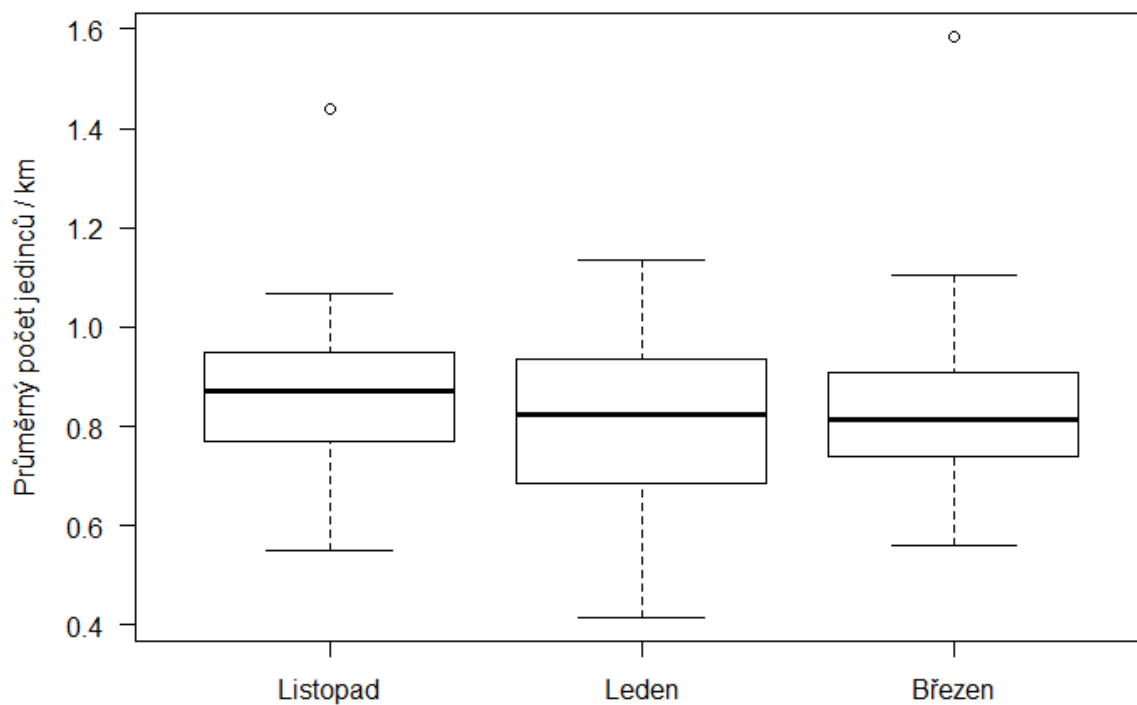
## 4. Výsledky

Populační dynamika káně lesní v České republice nevykazuje příliš velkou meziroční variabilitu ve sledovaném období. Vytvořený datový soubor obsahuje celkem 1 244 časových řad. Ze základního souboru dat jsem vybrala řady, které mají záznamy sčítání alespoň 15 let bez přerušení a vypočítala průměrný počet jedinců na kilometr transektu v jednotlivých měsících. Z vizualizace dat je patrné, že velikost populací v České republice má klesající trend (Obr. 2).



Obr. 2: Průměrný počet jedinců v České republice na 1 km transektu v jednotlivých měsících v letech 1984 – 2014.

Průměrná početnost káně lesní, za všechny termíny sčítání, se v České republice pohybovala okolo hodnoty  $0,8 \pm 1$  SD jedince na 1 kilometr transektu. Průměrný počet jedinců se mezi jednotlivými měsíci téměř nelišil. Z obr. 3 je patrné, že v lednu byla mírně vyšší variabilita v početnosti káně.

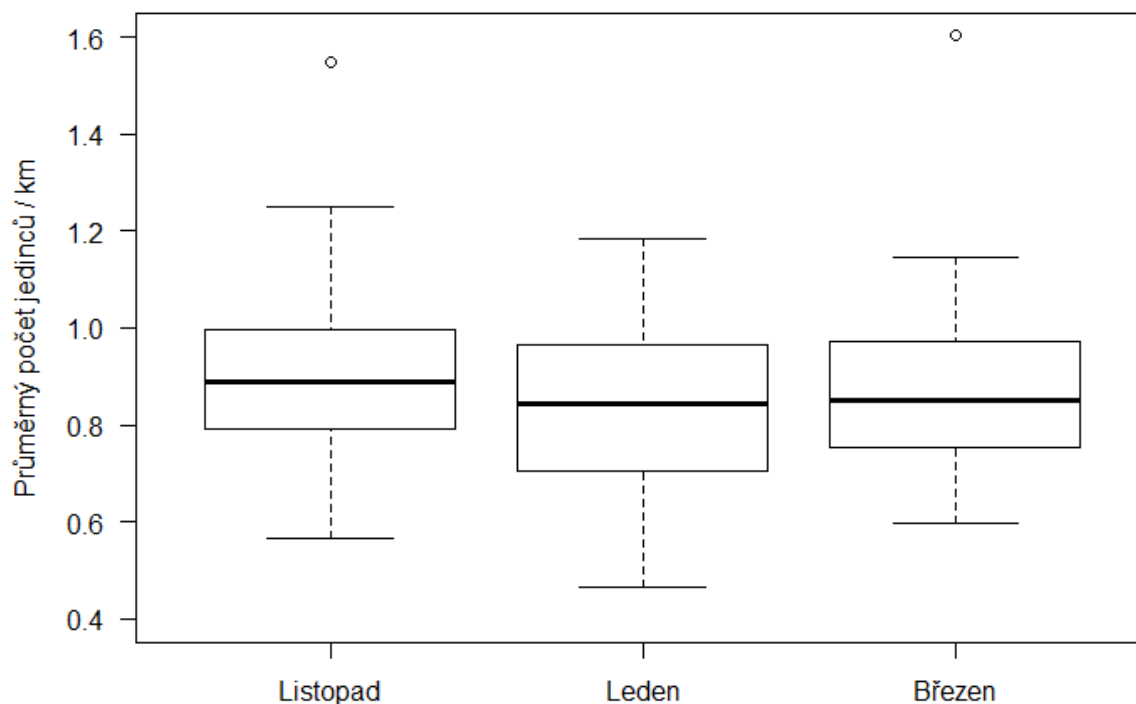


Obr. 3: Průměrný počet jedinců na 1 kilometr transektu v České republice zaznamenaných v jednotlivých měsících ( $\pm$ SD) za sledované období.

### Regionální synchronie

K analýze populační dynamiky bylo použito 899 časových řad, které byly uspořádány do 16 geografických celků (např. nížinné a horské oblasti). V průměru řady obsahují záznamy za 4,7 let  $\pm$  4,9 SD let. Řada s nejmenším počtem záznamů obsahuje data pouze za 1 rok sčítání a řada s nejvyšším počtem měření má záznamy za 26 let. Kumulativně mají řady použité k analýze údaje o početnosti káně za 4 183 let.



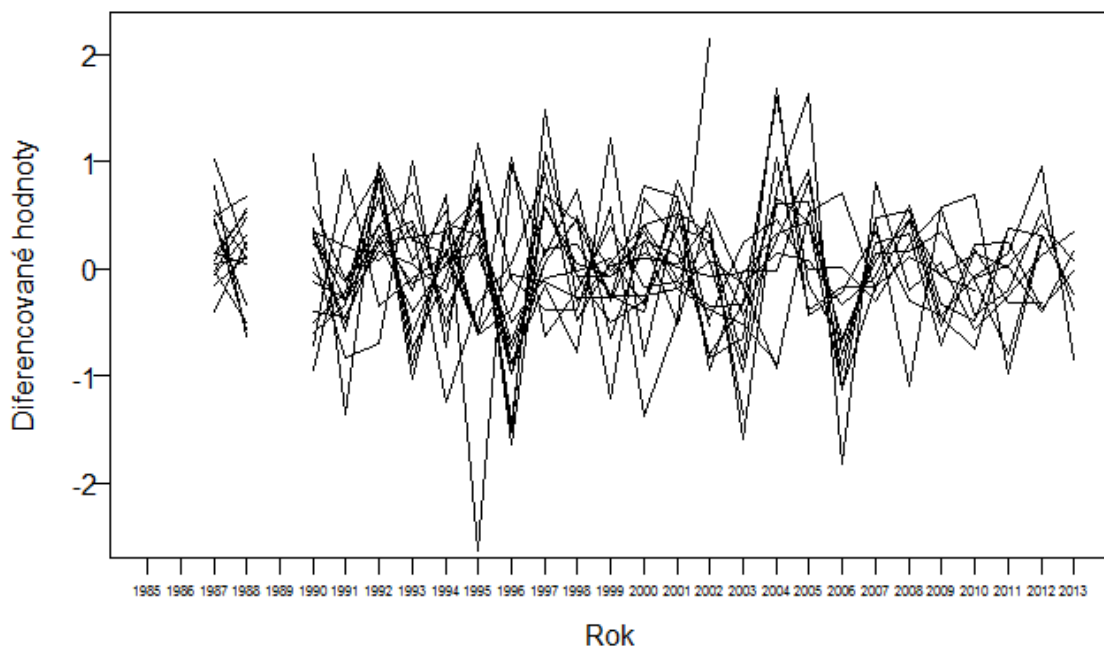


Obr. 4: Průměrný počet jedinců na 1 kilometr transektu v regionech zaznamenaných v jednotlivých měsících ( $\pm$ SD) za sledované období.

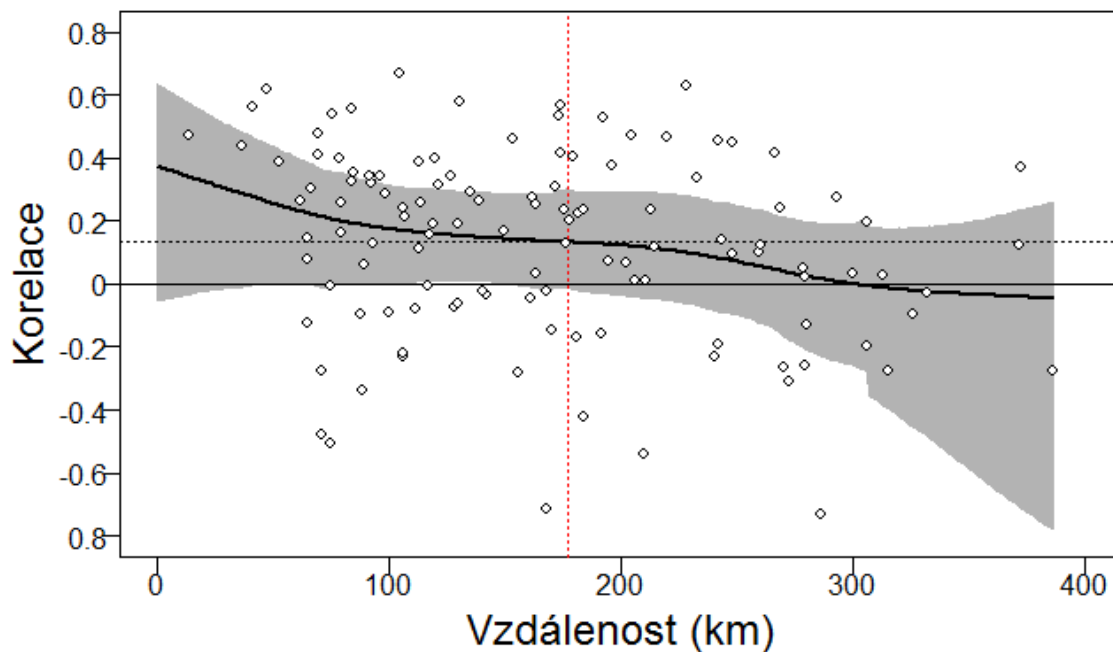
Průměrně se v jednom transektu o délce 5 km v rámci regionální časové řady vyskytovalo 4,4 káně, to znamená, že hustota populace káně lesní byla 0,8 káně na kilometr transektu. Mezi jednotlivými měsíci nedocházelo v regionech k výrazné změně průměrné početnosti jedinců (obr. 4). Nejčastěji byli v transektu pozorováni 2 jedinci, nejvíce pozorovaných jedinců během sčítání bylo 87 kání na transekt.

Provedla jsem analýzu dat jednotlivých měsíců a průměrných hodnot za celý rok sčítání. Z vizualizace časových řad populací v rámci vytvořených celků je viditelné, že variabilita a synchronie populací je nízká. Nízká úroveň synchronie se potvrdila použitím neparametrické kovarianční funkce.

Časové řady populací v listopadu vykazovaly nízkou meziroční variabilitu a také úroveň synchronie byla nízká (obr. 4). Použitím prostorové neparametrické kovarianční funkce je ukázáno, že synchronnost mezi populacemi je nízká a klesá se vzdáleností mezi populacemi (obr. 5). Průměrná regionální korelace pro listopadové hodnoty je 0,133 a vzdálenost, při které je dosažena tato hodnota, je 177 km.



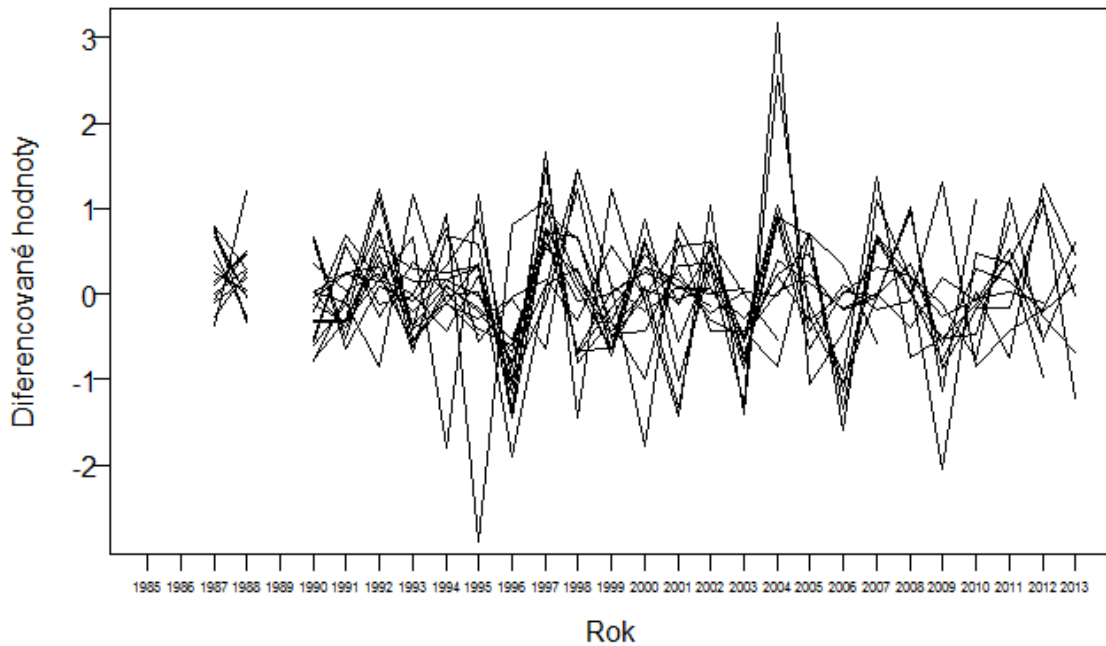
Obr. 4: Časové řady populací káně lesní vypočítané z diferencovaných listopadových hodnot mezi lety 1984 – 2014.



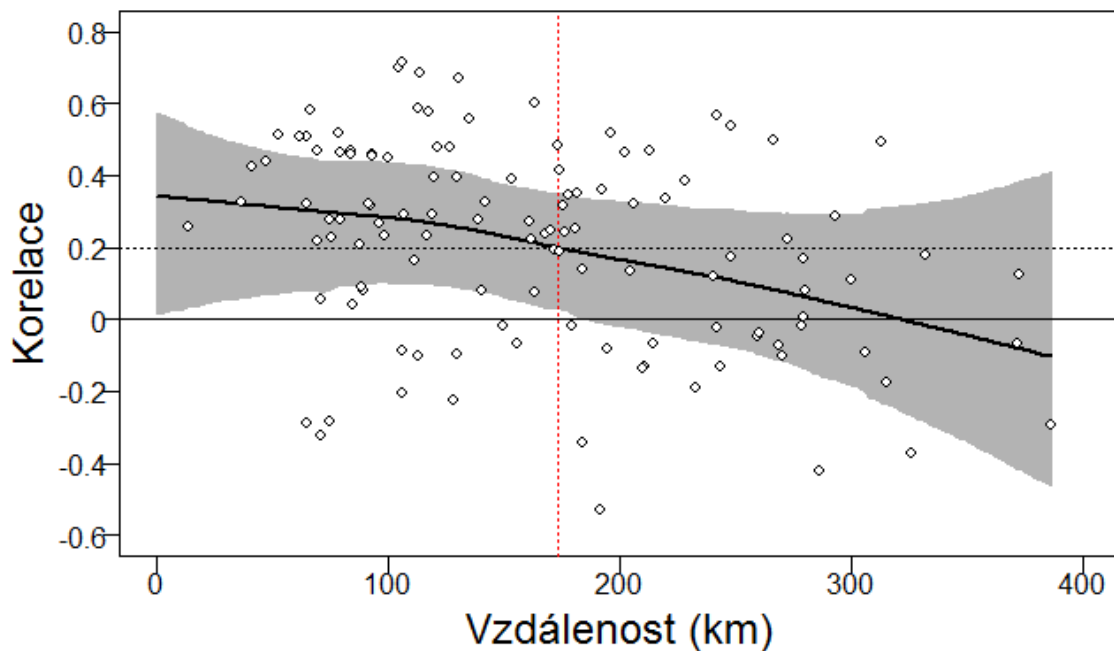
Obr. 5: Závislost korelačního koeficientu na vzdálenosti mezi regiony v listopadu. Tečkovaná osa vyznačuje vzdálenost, při které je dosažena průměrná synchronnost mezi populacemi. 95% konfidenční interval je vyznačen šedou barvou.

Časové řady z lednového sčítání opět nevykazovaly příliš vysokou variabilitu mezi roky (obr. 6). Analýza dat opět ukázala nízkou synchronnost mezi jednotlivými populacemi a také

pokles synchronnosti se vzrůstající vzdáleností (obr. 7). Průměrná regionální korelace pro lednové hodnoty je 0,198 a vzdálenost, při které je dosažena tato hodnota korelace, činí 172,8 km.

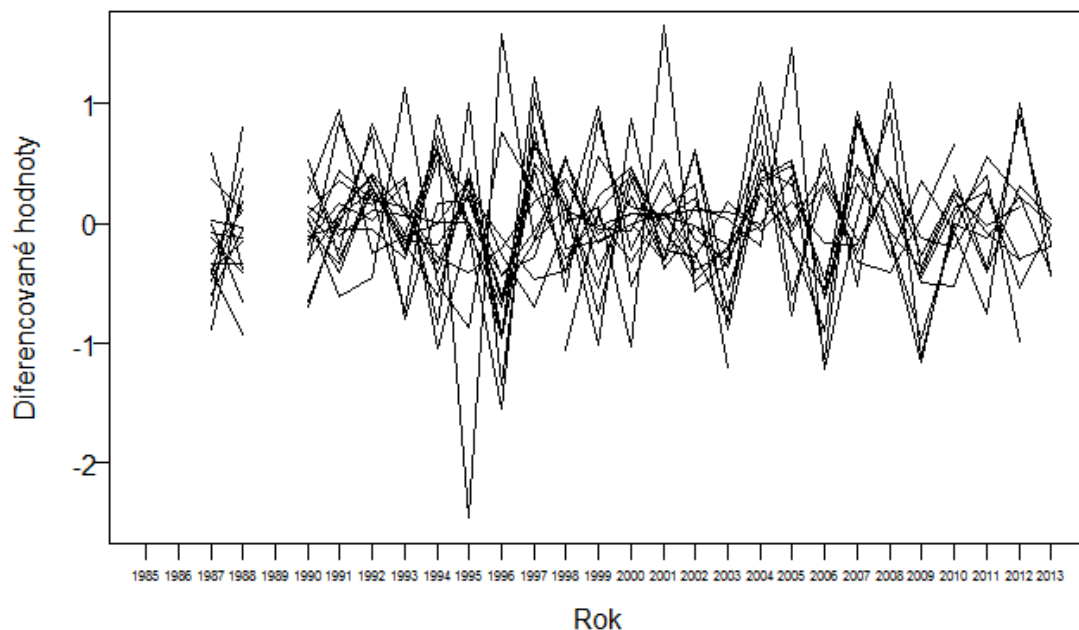


Obr. 6: Časové řady populací káňe lesní vypočítané z diferencovaných lednových hodnot mezi lety 1984 – 2014.

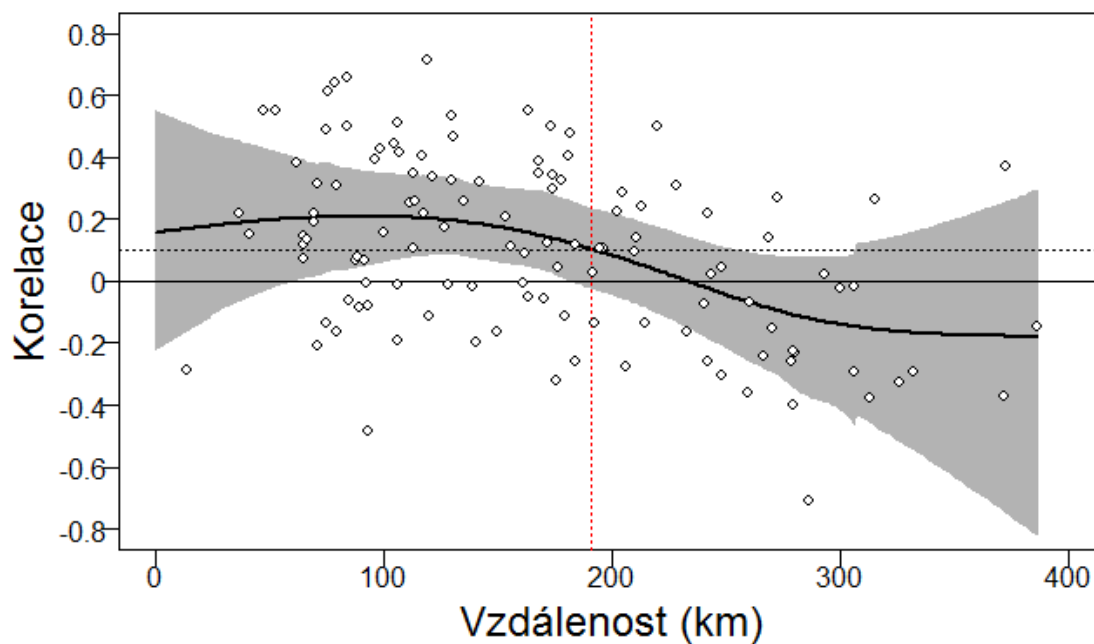


Obr. 7: Závislost korelačního koeficientu na vzdálenosti mezi regiony v lednu. Tečkovaná osa vyznačuje vzdálenost, při které je dosažena průměrná synchronnost mezi populacemi. 95% konfidenční interval je vyznačen šedou barvou.

Z vizualizace časových řad březnového sčítání je opět patrná nízká meziroční variabilita a nízká synchronnost populací (obr. 8). Průměrná regionální korelace pro březnové hodnoty je 0,103 a vzdálenost, při které je tato hodnota dosažena, činí 191 km (obr. 9).

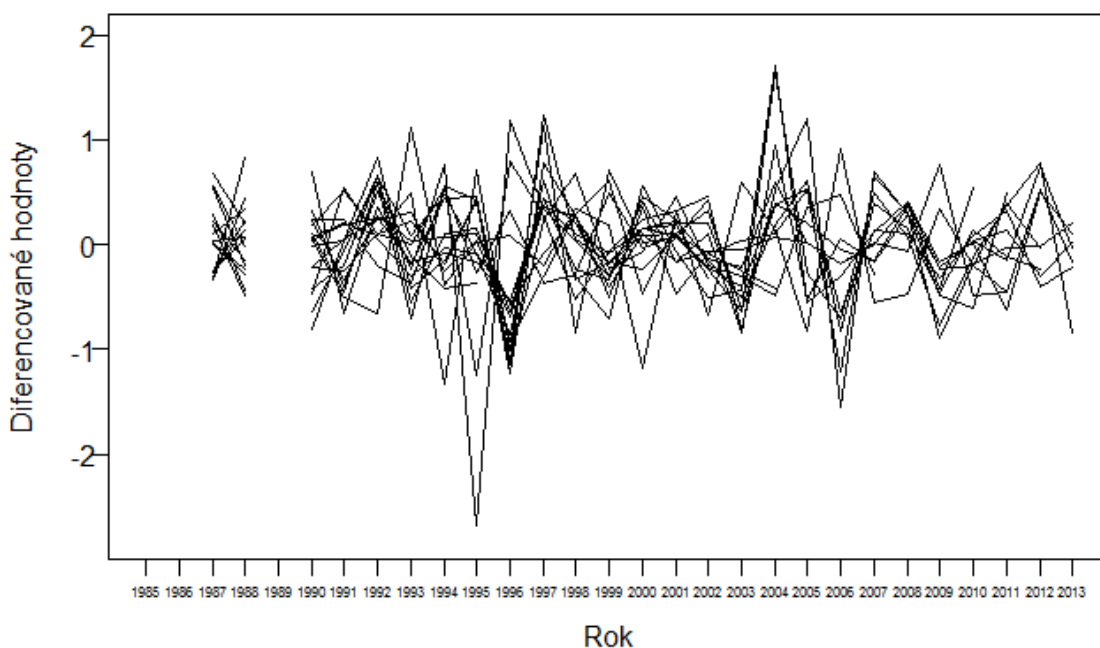


Obr. 8: Časové řady populací káně lesní vypočítané z diferencovaných březnových hodnot mezi lety 1984 – 2014.

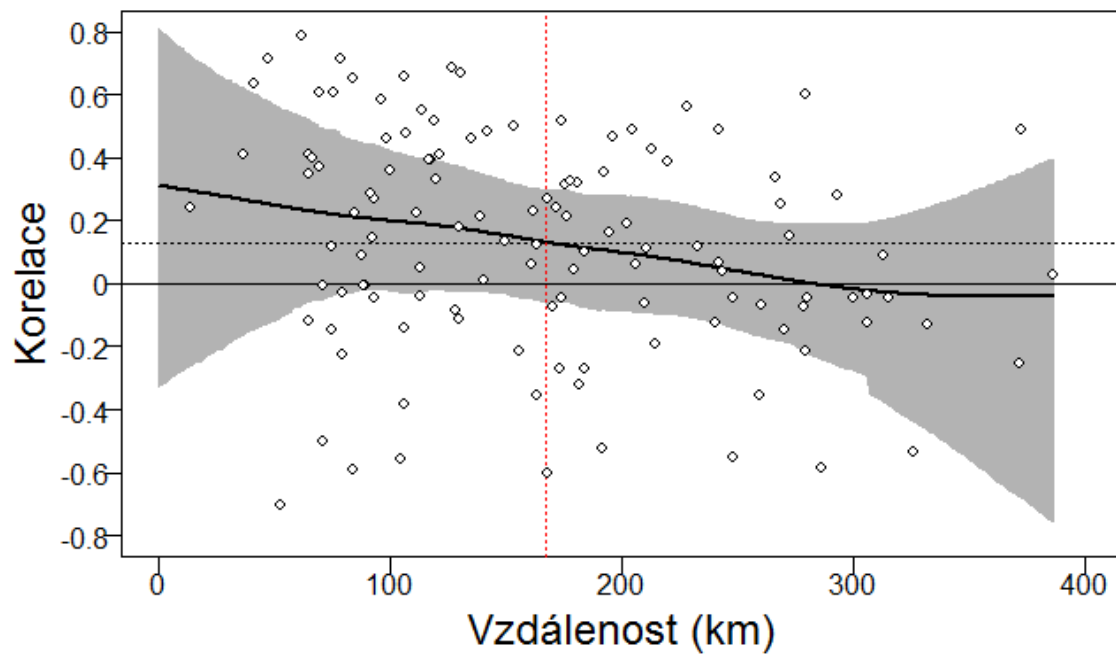


Obr. 9: Závislost korelačního koeficientu na vzdálenosti mezi regiony v březnu. Tečkovaná osa vyznačuje vzdálenost, při které je dosažena průměrná synchronnost mezi populacemi. 95% konfidenční interval je vyznačen šedou barvou.

Dále jsem provedla analýzu průměrných ročních hodnot, které byly získány vypočítáním průměru hodnot měsíců, ve kterých probíhalo měření, v rámci jednoho roku. Vizualizací dat je zřejmé, že populace opět nevykazují velkou meziroční variabilitu (obr. 10). Následná analýza ukázala, že synchronnost mezi populacemi je nízká a klesá konstantně se vzdáleností (obr. 11). Průměrná regionální korelace mezi vytvořenými celky je 0,13 a je dosažena ve vzdálenosti 167 km.



Obr. 10: Časové řady populací káně lesní vypočítané z diferencovaných průměrovaných (za listopad, ledne a březen) ročních hodnot mezi lety 1984 – 2014.



Obr. 11: Závislost korelačního koeficientu na vzdálenosti mezi regiony. Tečkovaná osa vyznačuje vzdálenost, při které je dosažena průměrná synchronnost mezi populacemi. 95% konfidenční interval je vyznačen šedou barvou.

## 5. Diskuze

Prostorová synchronie ve změně početnosti populací je stále velmi zkoumaným jevem a byla prokázána u velkého počtu druhů. Tento jev byl sledován u mnoha druhů živočichů, od hmyzu (např. Raimondo et al. 2004, Haynes et al. 2003), přes ptáky (např. Jones et al. 2003, Bellamy et al. 2003, Koenig a Liebhold 2005, Seather et al. 2007) po savce (např. Ranta et al. 1995, Post 2004, Krebs et al. 2013). Synchronie byla také zaznamenána u rostlin, například semenné roky dubů nebo borovic (Koenig a Knobs 2000). Avšak i přes četné studie se prozatím nepodařilo odhalit všechny faktory způsobující synchronii mezi populacemi. Jako hlavní faktory způsobující synchronii mezi populacemi jsou považovány: (1) rozptyl jedinců, (2) vlivy vnějšího prostředí a (3) potravní interakce.

Káně lesní patří mezi nejběžnější dravce nejen u nás, ale i v celé Evropě. Bylo proto přínosné zjistit míru synchronnosti mezi jednotlivými populacemi, neboť se tím dosud žádná studie nezabývala. V bakalářské práci jsem zkoumala synchronii početností regionálních zimních populací káně lesní v České republice. Z datového souboru jsem vybrala okresy, které obsahovaly záznamy sčítání po několik let bez chybějících hodnot a uspořádala je do celků. Provedla jsem analýzu dat zvlášť pro jednotlivé měsíce, ve kterých probíhalo měření a zvlášť pro roční hodnoty. Počty jedinců byly zaznamenávány dobrovolníky, z nichž někteří prováděli sčítání nepravidelně nebo pouze v několika letech. Pokud pomineme nekompletnost dat, z výsledků je patrné, že synchronnost dynamik zimních regionálních populací je nízká a nepřesahuje hodnotu 0,2, synchronnost zároveň klesá s rostoucí vzdáleností. Populace v lednu a listopadu vykazují pokles synchronie mezi populacemi s rostoucí vzdáleností a při vzdálenosti větší než 300 km vykazují negativní korelace. V březnu však synchronie při malých vzdálenostech neklesá a pokles je zaznamenán až při vzdálenostech větších než 120 km, k negativním korelacím mezi populacemi dochází už při vzdálenostech okolo 230 km. Tato odlišnost od ostatních výsledků je pravděpodobně způsobena faktem, že v březnu začíná migrace dravců zpět na hnízdiště. Zanalyzováním ročních dat daných celků je vidět rovnoměrný pokles synchronnosti s rostoucí vzdáleností.

Abundance zimních populací ptáků v jižní a střední Evropě je ovlivňována migrujícími jedinci ze severních oblastí na zimoviště. Vzdálenost, na kterou jedinci migrují, je výrazně ovlivněna teplotou. V posledních letech dochází vlivem klimatických změn k mírnějším zimám na severní polokouli. Migrující káně tedy nemají tendenci migrovat na velké vzdálenosti a následně buď zkracují své migrační vzdálenosti, nebo zimují přímo na hnízdišti (Marin et al. 2014). Pokles početnosti zimujících populací káně v České republice

v letech 1984 – 2013 je pravděpodobně způsoben právě tímto jevem, neboť celorepublikové odhady hnízdní populace naopak vykazují mírný nárůst početnosti (ČSO - Jednotný program sčítání ptáků). Jedinci původně zimující u nás v důsledku mírných zim v posledních letech zkracují své migrační vzdálenosti a zůstávají v severněji položených oblastech. Početnost káně se může lišit mezi jednotlivými zimními měsíci, pokud nastane náhlý pokles teploty, dojde ke zvýšení početnosti v důsledku imigrace jedinců se severnějších oblastí (Wuczyński 2003).

Dalším faktorem ovlivňujícím početnost zimujících kání je biotop zimoviště. Vlivem intenzifikace zemědělství dochází ke ztrátě vhodného prostředí (Butet et al. 2010), neboť jsou zvětšovány zemědělské plochy a v oblasti je tak snižováno množství stromů, které slouží dravcům k odpočinku nebo jako úkryt před nepříznivým počasím. Volba zimoviště také úzce souvisí s abundancí a dostupností potravy. Mezi hlavní kořisti káně lesní patří drobní hlodavci. V zimním období se dravci soustředí do míst s vysokou hustotou kořisti a její snadnou dostupností (Nemček 2014). Přes zimu však výrazně klesá početnost populací kořisti (Cornulier et al. 2013), tím se snižuje dostupnost potravy pro dravce a je tak pravděpodobně ovlivněna jeho početnost na daném území. Drobní hlodavci patří mezi systémy s cyklickou dynamikou (např. Elias et al. 2006), při vysoké početnosti kořisti se zvyšuje také početnost dravce bez časového zpoždění. Ve vizualizovaných časových řadách však není viditelné náhlé výrazné zvýšení početnosti populace v České republice během sledovaných let. To je patrně způsobeno klesající početností a narušením populačních cyklů hraboše v České republice (Gouveia et al. 2015).

Z výsledků je patrné, že populace káně lesní vykazují nízkou synchronnost mezi regiony. Míra synchronie klesá víceméně rovnoměrně s rostoucí vzdáleností. Nízká synchronnost populací je zřejmě ovlivněna rozdílným klimatem a abundancí kořisti v jednotlivých regionech. Vliv klimatu a početnosti potravy na populace káně lesní bude předmětem mé diplomové práce v magisterském studiu.



## 6. Literatura

**Anderson R. M., May R. M. 1980:** Infectious diseases and population cycles of forest insect. *Science* 210: 658 – 661

**Bellamy P. E., Rothery P., Hinsley S. A. 2003:** Synchrony of woodland bird populations: the effect of landscape structure. *Ecography* 26: 338 – 348

**Berryman A.A., 2002:** Population cycles. Causes and analysis. In: Bearryman A. A., (ed). Population cycles: the case for trophic interactions. *Oxford: Oxford University Press*: 3 – 28

**Bjørnstad O. N., Ims R. A., Lambin X. 1999a:** Spatial population dynamics: analyzing patterns and processes of population synchrony. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 427 – 432

**Bjørnstad O. N., Fromentin J-M., Stenseth N. C., Gjøsæter J. 1999b:** Cycles and trends in cod populations. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA* 96: 5066 – 5071

**Bjørnstad O. N. 2000:** Cycles and synchrony: two historical „experiments“ and one experience. *Journal of Animal Ecology* 69: 869 – 873

**Bjørnstad O. N. 2001:** Nonparametric spatial covariance functions: Estimation and testing. *Environmental and Ecological Statistics* 8: 53 – 70

**Bjørnstad O. N. 2015:** Package ‘ncf’, Version 1.1-6

**Büntgen U., Liebhold A., Jenny H., Mysterud A., Egli S., Nievergelt D., Stenseth N. C., Bollmann K. 2013:** European springtime temperature synchronises ibex horn growth across the eastern Swiss Alps. *Ecology Letters* 17: 303 - 313

**Buonaccorsi J., Elkinton J., Evans R., Liebhold A. 2001:** Measuring and testing for spatial synchrony. *Ecology* 82: 1668 – 1679

**Butet A., Michel N., Rantier Y., Comor V., Hubert – Moy L., Nabucet J., Delettre Y. 2010:** Responses of common buzzard (*Buteo buteo*) and Eurasian kestrel (*Falco tinnunculus*) to land use changes in agricultural landscapes of Western France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138: 152 – 159

**Cepák J., Klvaňa P., Formánek J., Horák D., Jelínek M., Schröpfer L., Škopek J., Zárýbnický J. 2008:** Atlas migrace ptáků: České a Slovenské republiky, AVENTINUM, Praha: 608 s.

**Connell J. H., Sousa W. P. 1983:** On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *The American Naturalist* 121: 789 – 824

**Cornulier T., Yoccoz N. G., Bretagnolle V., Brommer J. E., Butet A., Ecker F., Elston D. A., Framstad E., Henttonen H., Hörnfeldt B., Huitu O., Imholt C., Ims R. A., Jacob J., Jedrzejewska B., Millon A., Petty S. J., Pietiäinen H., Tkadlec E., Zub K., Lambin X. 2013:** Europe-wide dampening of population cycles in keystone herbivores. *Science* 340: 63 – 66

**Crawley M. J. 1990:** The population dynamics of plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 330: 125 – 140

**ČSO.** Jednotný program sčítání ptáků [online] citováno [21.4.2016], <<http://jpsp.birds.cz/vysledky.php?taxon=398>>

**Durant J. M., Stenseth N. CH., Anker-Nilssen T., Harris M. P., Thompson P. M., Wanless S. 2004:** Marine birds and climate fluctuation in the North Atlantic. In: Stenseth N. C., Ottersen G., Hurrell J. W., Belgrano A. (eds) *Marine ecosystems and climate variation: Oxford University Press*: 95 – 105

**Elias S. P., Witham J. W., Hunter M. L. 2006:** A cyclic red-backed vole (*Clethrionomys gapperi*) population and seedfall over 22 years in maine. *Journal of Mammalogy* 87: 440 – 445

**EBCC.** European Bird Census Council [online], citováno [21.4.2016] <<http://www.ebcc.info/index.php?ID=587>>

**Fairweather P. G. 1988:** Predation can increase variability in the abundance of prey on seashores. *Oikos* 53: 87 – 92

**Gaston K. J. 1988:** Patterns in the local and regional dynamics of moth populations. *Oikos* 53: 49 – 57

**Gouveia A. R., Bejček V., Flousek J., Sedláček F., Šťastný K., Zima J., Yoccoz N. G., Stenseth N. C., Tkadlec E. 2015:** Long-term pattern of population dynamics in the field vole

from central Europe: cyclic pattern with amplitude dampening. *Population Ecology* 57: 581 – 589

**Gouveia A. R., Bjørnstad O. N., Tkadlec E. 2016:** Dissecting geographic variation in population synchrony using the common vole in central Europe as a test bed. *Ecology and Evolution* 6: 212 – 218

**Hanski I., Gilpin M. 1991:** Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society* 42: 3 – 16

**Hanski I., Hansson L., Henttonen H. 1991:** Specialist predators, generalist predators, and the microtine rodent cycle. *Journal of Animal Ecology* 60: 353 – 367

**Harrison S., Quinn J. F. 1989:** Correlated environments and the persistence of metapopulations. *Oikos* 56: 293 – 98

**Haynes K. J., Bjørnstad O. N., Allstadt A. J., Liebhold A. M. 2013:** Geographical variation in the spatial synchrony of a forest – defoliating insect: isolation of environmental and spatial drivers. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 280: 20122373

**Heino M., Kaikala V., Ranta E., Lindström J. 1997:** Synchronous dynamics and rates of extinction in spatially structured populations. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 264: 481 – 486

**Hik D. S. 1995:** Does Risk of Predation Influence Population Dynamics? Evidence from the Cyclic Decline of Snowshoe Hares. *Wildlife Research* 22: 115 – 129

**Higgins K., Hastings A., Botsford L. W. 1997:** Density dependence and age structure: Nonlinear dynamics and population behavior. *The American Naturalist* 149: 247 – 269

**Hodges K. E., Krebs C. J., Sinclair A. R. E. 1999:** Snowshoe hare demography during a cyclic population low. *Journal of Animal Ecology* 68: 581 – 594

**Houston C. S. 1999:** Dispersal of Great Horned Owls Banded in Saskatchewan and Alberta. *Journal of Field Ornithology* 70: 343 – 350

**Chevalier M., Laffaille P., Fredy J.B., Grenouillet G. 2015:** Measurements of spatial population synchrony: influence of time series transformations. *Oecologia* 179: 15 – 28

- Jones J., Doran P. J., Holmes R. T. 2003:** Climate and food synchronize regional forest bird abundances. *Ecology* 84: 3024 – 3032
- Jones J., Doran P. J., Holmes R. T. 2007:** Spatial scaling of avian population dynamics: Population abundance, growth rate, and variability. *Ecology* 88: 2505 – 2515
- Kelly D. 1994:** The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 465 – 470
- Kelly D., Koenig W. D., Liebhold A. M. 2008:** An intercontinental comparison of dynamic behavior of mast seeding communities. *Population Ecology* 50: 329 – 342
- Kendall B. E., Prendergast J., Bjørnstad O. N. 1998:** The macroecology of population dynamics: taxonomic and biogeographic patterns in population cycles. *Ecology Letters* 1: 160 – 164
- Kerlin D.H., Haydon D. T., Miller D., Aebischer N. J., Smith A. A., Thirgood S. J. 2007:** Spatial synchrony in red grouse population dynamics. *Oikos* 116: 2007 - 2016
- Koenig W. D. 1999:** Spatial autocorrelation of ecological phenomena. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 22 – 26
- Koenig W. D., Knops M. H. 2000:** Patterns of annual seed production by Northern Hemisphere Trees: A Global Perspective. *The American Naturalist* 155: 59 – 69
- Koenig W. D. 2002:** Global patterns of environmental synchrony and the Moran effect. *Ecography* 25: 283 – 88
- Koenig W. D., Liebhold A. 2005:** Effects of periodical cicada emergences on abundance and synchrony of avian populations. *Ecology* 86: 1873 – 1882
- Koenig W. D., Knops J. M. H. 2013:** Large-scale spatial synchrony and cross-synchrony in acorn production by two California oaks. *Ecology* 94: 83 – 93
- Krebs C.J. 1996:** Population cycles revisited. *Journal of Mammalogy* 77: 8 – 24
- Krebs C. J., Boutin S., Boonstra R., Sinclair A. R. E., Smitch J. N. M., Dale M. R. T., Martin K., Turkington R. 1995:** Impact of food and predation on the snowshoe hare cycle. *Science* 269: 1112 – 1115
- Krebs C.J., Boonstra R., Boutin S., Sinclair A. R. E. 2001:** What drives the 10 – year cycle of snowshoe hares? *BioScience* 51: 25 – 35

- Krebs C.J. 2013:** Population fluctuations in rodents. *University of Chicago Press*: 320 s.
- Liebhold A., Koenig W., Bjørstad O.N. 2004a:** Spatial synchrony in population dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 467 – 490
- Liebhold A., Sork V., Peltonen M., Koenig W., Bjørnstad O. N., Westfall R., Elkinton J., Knops J. M. H. 2004b:** Within - population spatial synchrony in mast seeding of North American oaks. *Oikos* 104: 156 – 164
- Lindström J., Ranta E., Kaitala V., Lidén H. 1995:** The clockwork of Finnish tetraonid population dynamics. *Oikos* 74: 185 – 194
- Lindström J., Ranta E., Lindén H. 1996:** Large-scale synchrony in the dynamics of capercaillie, black grouse and hazel grouse. *Oikos* 76: 221 – 227
- Lithner S., Jönsson K. I. 2002:** Abundance of owls and Bramblings *Fringilla montifringilla* in relation to mast seeding in south-eastern Sweden. *Ornis Svecica* 12: 35 – 45
- Lima L. S. 1998:** Nonlethal Effect in the Ecology of Predator – Prey Interactions. *Bioscience* 48: 25 – 34
- Marín B., Onrubia A., Ferrer M. A. 2014:** Effect of climate change on the migratory behavior of the common buzzard *Buteo buteo*. *Climate Research* 60: 187 – 197
- Myers J. H. 1988:** Can a general hypothesis explain population cycles of forest Lepidoptera? *Advances in Ecological Research* 18: 197 - 242
- Mckone M. J., Kelly D., Lee W. G. 1998:** Effect of climate change on mast-seeding species: frequency of mass flowering and escape from specialist insect seed predators. *Global Change Biology* 4: 591 - 596
- Moran P. A. P. 1953:** The statistical analysis of the Canadian lynx cycle. II. Synchronization and meteorology. *Australian Journal of Zoology* 1:291 – 298
- Nemček V. 2013:** Abundance of raptors and habitat preferences of the common buzzard *Buteo buteo* and the common kestrel *Falco tinnunculus* during the non-breeding season in an agricultural landscape (western Slovakia). *Slovak Raptor Journal* 7: 37 – 42
- Norrdahl K., Korpimäki E. 1996:** Do nomadic avian predators synchronize population fluctuations of small mammals? A field experiment. *Oecologia* 107: 478 – 483

- Ostfeld R. S. 1988:** Fluctuations and constancy in populations of small rodents. *The American Naturalist* 131: 445 – 452
- Ostfeld R. S., Keesing F. 2009:** Pulsed resources and community dynamics of consumers in terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 232 – 237
- Paradis E., Baillie S. R., Sutherland W. J., Gregory R. D. 2000:** Spatial synchrony in populations of birds: effects of habitat, population trend, and spatial scale. *Ecology* 81: 2112 – 2125
- Pavluvčík P., Poprach K., Machar I., Losík J., Gouveia A., Tkadlec E. 2015:** Barn Owl Productivity Response to Variability of Vole Populations. *PLoS ONE* 10: e0145851
- Pérez-Rodríguez J., Shortall Ch. R., Bell J. R. 2015:** Large-scale migration synchrony between parasitoids and their host. *Ecological Entomology* 40: 654 – 659
- Poncet B. N., Garat P., Manel S., Bru N., Sachet J. M., Roques A., Despres L. 2008:** The effect of climate on masting in the European larch and on its specific seed predators. *Oecologia* 159: 527 – 537
- Post E., Forchhammer M. C. 2002:** Synchronization of animal population dynamics by large-scale climate. *Nature* 420: 168 – 171
- Potts G. R., Aebischer N. J. 1995:** Population dynamics of the Grey Partridge *Perdix perdix* 1973 – 1993: monitoring, modelling and management. *Ibis* 137: S29 – S37
- R Core Team 2015. R:** A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing
- Raimondo S., Liebhold A. M., Strazanac S., Butler L. 2004:** Population synchrony within and among Lepidoptera species in relation on weather, phylogeny, and larval phenology. *Ecological Entomology* 29: 96 – 105
- Ranta E., Kaitala V., Lindström J., Lindén H. 1995:** Synchrony in population dynamics. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 262: 113 – 118
- Ranta E., Kaitala V., Lindström J. 1997a:** Dynamics of Canadian lynx populations in space and time. *Ecography* 20: 454 – 460
- Ranta E., Kaitala V., Lindström J., Helle E. 1997b:** The moran effect and synchrony in population dynamics. *Oikos* 78: 136 – 142

**Ranta E., Kaitala V., Lundberg P. 1997c:** The spatial dimensions in population fluctuations. *Science* 278: 1621 – 1623

**Reeve J. D., Turchin P. 2002:** Evidence for predator-prey cycles in a bark beetle. In: *Population cycles: the case for trophic interactions*. Oxford University Press, New York: 92 – 108

**Reif J., Storch D., Zárýbnický J. 2013:** Jak relevantní jsou odhady velikostí populací našich ptáků? Srovnání atlasových dat s odhady založenými na bodovém sčítání bez zohlednění detektability. *Sylvia* 49: 49 – 66

**Rohner C., Snith J. N. M., Stroman J. 1995:** Northern hawk-owls in the nearctic boreal forest: prey selection and population consequences of multiple prey cycles. *The Condor* 97: 208 – 220

**Rosenzweig M. L., Abramsky Z. 1980:** Microtine cycles: The role of habitat heterogeneity. *Oikos* 34: 141 – 146

**Řepa P. 2002:** Změny početnosti káně lesní (*Buteo buteo*) v zimním období v letech 1984 – 2001. *Erica* 10: 121 – 126

**Saether B.E., Engen S., Grøtan V., Fiedler W., Matthysen E., Visser M.E., Wright J., Møller A. P., Adriaensen F., Balen H. V., Balmer D., Mainwaring M. C., McCleery R. H., Pampus M., Winkel W. 2007:** The extended Moran effect and large-scale synchronous fluctuations in the size of great tit and blue tit populations. *Journal of Animal Ecology* 76: 315 – 325

**Wuczyński A. 2003:** Abundance of Common Buzzard (*Buteo buteo*) in the Central European wintering ground in relation to the weather conditions and food supply. *Buteo* 13: 11 – 20

**Saurola P., Valkama J., Velmala W. 2013:** The Finnish Bird Ringing Atlas Vol. I. LUOMUS, Helsinki: 549 s.

**Selas V. 2001:** Breeding density and brood size of Common Buzzard *Buteo buteo* in relation to snow cover in spring. *Ardea* 89: 471 – 479

**Sinclair A. R. E., Gosline J. M., Holdsworth G., Krebs C. J., Boutin S., Smith J. N. M., Boonstra R., Dále M. 1993:** Can the solar cycle and climate synchronize the snowshoe hare cycle in Canada? Evidence from tree rings and ice cores. *The American Naturalist* 141: 173 – 198

**Sinervo B., Svensson E., Commendant T. 2000:** Density cycles and an offspring quantity and quality game driven by natural selection. *Nature* 406: 985 – 988

**Spitzer K., Rejmánek M., Soldán T. 1984:** The fecundity and long – term variability in abundance of noctuid moths (Lepidoptera, Noctuidae). *Oecologia* 62: 91 – 93

**Steen H. 1994:** Low survival of long distance disperses of the root vole (*Microtus oeconomus*). *Annales Zoologici Fennici* 31: 271 – 274

**Stenseth N. Ch., Ottersen G., Hurrell J. W., Mysterud A., Lima M., Chan K. S., Yoccoz N. G., Adlandsvik B. 2003:** Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 270: 2087 – 2096

**Sutcliffe O.L., Thomas C. D., Moss D. 1996:** Spatial synchrony and asynchrony in butterfly population dynamics. *Journal of Animal Ecology* 65: 85 – 95

**Tkadlec E. 2013:** Populační ekologie: struktura, růst a dynamika populací. Olomouc: UP v Olomouci

**Toms J. D., Hannon S. J., Schmiegelow F. K. A. 2005:** Population dynamics of songbirds in the boreal mixedwood forests of Alberta, Canada: estimating minimum and maximum extents of spatial population synchrony. *Landscape Ecology* 20: 543 – 553

**Tóth L. 2014:** Numerical response of the Common Buzzard *Buteo buteo* to the changes in abundance of small mammals. *Ornis Hungarica* 22: 48 – 56

**Suchomel J. (2014):** *Dynamika populace* [online], Mendelova univerzita v Brně, poslední revize 18.3.2014 [citováno 23.3.2016],

<[http://user.mendelu.cz/apridal/zoologie/zool/vyuka.htm#ekologie\\_cv](http://user.mendelu.cz/apridal/zoologie/zool/vyuka.htm#ekologie_cv)>