

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO  
PLÁNOVÁNÍ



Vliv hlukového znečištění na zpěv strnada obecného (*Emberiza citrinella*) v okolí dálnic

Song behavior of Yellowhammer (*Emberiza citrinella*): the effect of anthropogenic noise around highways

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Barták, Ph.D.

Konzultant: Ing. Petr Zasadil, PhD.

Bakalant: Kristýna Maidlová

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Maidlová

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Vliv hlukového znečištění na zpěv strnada obecného (*Emberiza citrinella*) v okolí dálnic**

Název anglicky

**Song behavior of Yellowhammer (*Emberiza citrinella*): the effect of anthropogenic noise around highways**

---

### Cíle práce

- 1) Zpracovat literární rešerši o vlivu hlukového znečištění na ptáky a ptačí zpěv
- 2) Porovnat zpěv strnada obecného na lokalitách s hlukovým znečištěním v blízkosti dálnic s lokalitami bez hlukového znečištění v zemědělské krajině
- 3) Analyzovat vliv počasí a průběhu sezóny na sledované charakteristiky zpěvu

### Metodika

V teoretické části práce bude provedena literární rešerše týkající se (1) vlivu dálnic a dalších dopravních staveb na ptáky, (2) vlivu hlukového znečištění na hlasovou aktivitu ptáků, (3) hlasové aktivity strnada obecného.

V praktické části bude provedena analýza nahrávek samců strnada obecného pomocí programu Avisoft a vyhodnocení získaných dat. Hodnocen bude rozdíl v hlasové aktivitě mezi samci, kteří vokalizují v blízkosti dálnic a samci, kteří vokalizují na klidných lokalitách v zemědělské krajině bez hlukového a světelného znečištění. Dále budou porovnány rozdíly v hlasové aktivitě mezi dny s vysokou a naopak nízkou intenzitou provozu.

### **Doporučený rozsah práce**

30-50 stran

### **Klíčová slova**

strnad obecný, městské stanoviště, vokalizace, pěvci, urbanizace

---

### **Doporučené zdroje informací**

- Caro S. P., Keulen Ch., Poncin P. 2009: Song repertoires in a western European population of Yellowhammers *Emberiza citrinella*. *Acta Ornithologica* 44/1: 9-16.
- Cramp S. & Perrins C. M. (eds.) 1994: The birds of the western Palearctic. Vol.9. Buntings to New World warblers. Oxford University Press, Oxford.
- Fuller, R. A., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters*, 3(4), 368–370.
- Nemeth, E., Pieretti, N., Zollinger, S. A., Geberzahn, N., Partecke, J., Miranda, A. C., & Brumm, H. (2013). Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754), 20122798–20122798.
- Nordt A. & Klenke R. 2013: Sleepless in Town – Drivers of the Temporal Shift in Dawn Song in Urban European Blackbirds. *PLoS ONE* 8(8).
- Rheindt, F. E. (2003). The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *J. Ornithol*, 144, 295–306.
- Slabbekoorn, H., & den Boer-Visser, A. (2006). Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, 16(23), 2326–2331.
- Slabbekoorn H. & Peet M. 2003: Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424: 267.
- Warner R. E. 1992: Nest ecology of grassland passerinners on road rights-of-way in central Illinois. *Biological Conservations* 59: 1-7.
- 

### **Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

### **Vedoucí práce**

Ing. Vojtěch Barták, Ph.D.

### **Garantující pracoviště**

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

### **Konzultant**

Ing. Petr Zasadil, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2019

**doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 11. 04. 2019

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že předloženou bakalářskou práci na téma „Vliv hlukového znečištění na zpěv strnada obecného v okolí dálnic“ jsem vypracovala samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Bartáka, Ph.D. Další informace mi poskytli Ing. Petr Zasadil, PhD. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala, v práci jsem neporušila autorská práva. Dále prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 22.4.2019

.....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Vojtěchu Bartákovi, PhD. za ochotu vést mou bakalářskou práci, za odborné a velice hodnotné a užitečné rady především při statistickém zpracování a zejména za čas, který mi věnoval při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petru Zasadilovi, PhD. za věnovaný čas, odbornou pomoc a podnětné připomínky k textu bakalářské práce.

A konečně velký dík mé rodině a přátelům, kteří mne velice usilovně podporovali v průběhu celého mého studia.

## **Abstrakt**

Rostoucí počet silnic a dálnic je závažným problémem pro živočichy žijící v jejich bezprostřední blízkosti. Působí na ně velkým množstvím negativních faktorů, jedním z nich je dopravní hlukové znečištění. Živočichové jsou pak často nuceni upravit frekvenci svého akustického projevu tak, aby nebyl maskován antropogenním hlukem a došlo tedy k úspěšné komunikaci mezi jedinci. V této práci je hlavním cílem zjistit jak strnad obecný (*Emberiza Citrinella*) reaguje na hluk způsobený dálniční dopravou v úpravě svého akustického projevu. Zkoumány byly také meteorologické vlivy, které by mohly způsobit jisté změny ve vokalizaci. Tato myšlenka byla testována na základě šestitýdenního nahrávání, které probíhalo od poloviny dubna do konce května. Byly vytyčeny lokality s hlukovým znečištěním u dálnic D6, D7 a D8. Pro kontrolu byly nahrávací diktafony umístěny ve stejném množství také do zemědělské krajiny bez rušivých elementů pocházejících z dálničního provozu. Porovnáním těchto dvou lokalit byl dokázán vliv hluku na celkový počet strof i na celkovou délku strof. Na kontrolních lokalitách byla zaznamenána vyšší hlasová aktivita. Ovšem intenzita provozu nebyla pro sledované charakteristiky zpěvu signifikantní. Strnad tedy nereagoval na působení různých intenzit hluku. Intenzita hlukového znečištění byla hodnocena i na základě porovnání pracovního dne (pondělí) a volného dne (neděle), v tomto případě byla závislost potvrzena jen s celkovým počtem zazpívaných strof – v nedělních dnech byl strnad aktivnější. Vyhodnocení aktuálních meteorologických podmínek prokázalo vliv rychlosti větru a vlhkosti vzduchu jak na celkový počet strof, tak i na celkovou délku strof.

**Klíčová slova:** vokalizace, adaptace, hlukové znečištění, dopravní znečištění, intenzita dopravy, vliv počasí

## **Abstract**

The growing number of roads and highways is a serious issue for animals living in their immediate vicinity. They affect them by a large number of negative factors, one of them is noise pollution arising from traffic. The animals are often forced to adjust the frequency of their acoustic manifestation in order that it is not masked by the anthropogenic noise and the individuals were thus able to communicate successfully. This thesis primarily aims to determine how a yellowhammer (*Emberiza Citrinella*) reacts to noise caused by highway traffic in the form of adjusting its acoustic manifestation and also weather factors which may also result in certain changes in its vocalization. This idea was tested on the basis of 6 weeks of recordings which took place from the middle of April to the end of May, and only under good weather conditions. Locations with noise pollution near the highways of D6, D7 and D8 were selected. For the purposes of comparison, the voice recorders were also placed in the same numbers to locations of agricultural countryside without interfering elements of highway traffic noise. By comparing these two locations, the impact of noise on the intensity of signing was established as well as on the total strophe duration. The test (agricultural) locations provided recordings with higher voice activities. However, the intensity of traffic was not significant for the monitored characteristics of signing. The impact of noise pollution was further assessed also by comparing a business day (Monday) and a weekend day (Sunday), which proved the connection to the intensity of signing only – on Sundays, the yellowhammer was more active. The assessment of meteorological conditions established the impact of wind speed and air humidity on both the total strophe number and its total duration.

**Key words:** vocalization, adaptation, noise pollution, traffic pollution, traffic volume, effect of weather

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce .....	2
3. Literární rešerše .....	3
3.1 Vliv dálnic na okolní faunu .....	3
3.2 Důsledky hlukového znečištění .....	4
3.3 Změny vokalizace ptačích společenstev v urbanizovaných oblastech .....	5
3.3.1 Kos černý ( <i>Turdus merula</i> ) .....	6
3.3.2 Sýkora koňadra ( <i>Parus major</i> ).....	7
3.3.3 Červenka obecná ( <i>Erithacus rubecula</i> ).....	7
3.4 Studovaný druh – strnad obecný ( <i>Emberiza citrinella</i> ).....	8
3.4.1 Stručný popis.....	8
3.4.2 Rozšíření .....	9
3.4.3 Hnízdění .....	10
3.4.4 Zpěv a nářečí .....	11
4. Metodika .....	13
4.1 Sběr dat.....	13
4.2 Analýza nahrávek .....	14
4.3 Zpracování dat .....	14
4.4 Statistické zpracování .....	16
5. Výsledky .....	17
5.1 Vliv lokality a sezóny .....	17
5.2 Vliv počasí.....	21
5.3. Vliv intenzity dopravy .....	19
5.3.1 Rozdíl mezi dny s nižší a vyšší intenzitou dopravy .....	19
5.3.2 Momentální vliv projíždějících vozidel .....	20
5.3.3 Dlouhodobý vliv projíždějících vozidel.....	20
6. Diskuze .....	22
7. Závěr .....	28
8. Seznam literatury .....	30
9. Přílohy.....	30



## 1. Úvod

Stále se rozšiřující výstavby silnic a dálnic fragmentující krajinu po celém světě způsobují dramatické změny přirozených stanovišť. Především zavádí nové podmínky pro život živočichů v blízkém okolí těchto nových stanovišť a formují tak jejich chování.

Důsledkem těchto změn je pak například riziko kolize s projíždějícími vozidly, jiná potrava určená zejména pro všežravce apod. V první řadě ale dochází k narušení komunikace živočichů v suchozemském i vodním prostředí, což je velmi důležitý faktor pro přežití populace. Úspěšný přenos akustického signálu je klíčový, a proto lze strukturu skladeb přizpůsobit akustice prostředí tak, aby se v daném prostředí dobře přenášely. V případě hluku způsobeného dopravou nebo průmyslem se obvykle jedná o nízké minimální frekvence. Jedním z nejrozšířenějších úprav hlasového projevu živočichů je tak zvýšení minimální frekvence, což by mohlo zvětšit kontrast signálů s antropogenním šumem v pozadí (Nemeth & Brumm, 2009).

Mnoho studií se zabývá vlivem urbanizace na ptačí společenstva, a to zejména proto, že ve srovnání s jinými obratlovci mohou být ptáci snadněji sledováni. Sic tato práce vychází z tematicky podobných prací, převážná část studií zabývající se změnou akustického projevu ptáků se soustředí zejména na odlišnosti ve frekvenci a amplitudě nebo sledují případné posuny v načasování začátku a konce vokalizace. Navíc výzkumy takových prací probíhaly z velké části v městských aglomeracích.

V této práci je sledován vliv dálniční dopravy na vybrané charakteristiky zpěvu strnada obecného – délka a celkový počet strof. Strnad byl pro výzkum vybrán hned z několika důvodů. Doposud nebyl tento druh ptáka předmětem studie v souvislosti s touto problematikou. Navíc u nás patří strnad mezi nejhojněji se vyskytujícího ptáka v blízkosti dálnic (na základě výsledků výzkumu Maršálková, 2012).

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je posouzení vlivu hlukového znečištění produkovaného dálniční dopravou na sledované charakteristiky zpěvu strnada obecného (průměrnou délku strof, celkovou délku strof a celkový počet strof). Kromě antropogenních faktorů budou sledovány i aktuální meteorologické podmínky prostředí.

Cílem práce je tedy vyhodnotit:

- Vliv typu lokality (rozdíl aktivity strnada mezi hlukově znečištěnou lokalitou a kontrolní lokalitou na klidném místě zemědělské krajiny)
- Rozdíly v průběhu sezóny (proměnlivost charakteristik zpěvu během sledovaných šesti týdnů)
- Vliv intenzity provozu (aktuální a dlouhodobý vliv projíždějících vozidel; rozdíl vokalizace mezi nedělním a pondělním ránem, tedy dnem volným, kdy se předpokládá klidnější provoz a dnem pracovním, kdy je naopak provoz intenzivnější)
- Vliv počasí (teplota, rychlost větru, vlhkost a tlak)

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Vliv dálnic na okolní faunu

Je zřejmé, že lidé platí vysokou cenu za bydlení na hlučných a znečištěných místech vzhledem ke svému psychickému i fyzickému zdraví. To samé samozřejmě platí také pro zvířata, včetně ptactva (Nilsson et Berglund, 2006).

Mnoho studií uvádí, že v okolí dálnic je nižší druhová rozmanitost a nižší hustota ptactva (např. Reijnen et Foppen, 1991; Illner, 1992). Negativní dopad byl několikrát spojen především právě s dopravním zatížením (Reijnen et Foppen, 1994; Forman et al., 2002), to znamená, že silnice (dálnice) na ptactvo nemá vliv v pouhé její přítomnosti (tedy jako prvek, který fragmentuje krajinu a vytváří bariéru), ale existují přímé důkazy o tom, že dominantním škodlivým faktorem je také hlukové a světelné znečištění z dopravy.

Dalšími potenciálně škodlivými faktory může být například chemické znečištění (výfukové plyny, silniční prach, eutrofizace atd.), vibrace procházející půdou jako následek projíždějících aut. Ale také přímo smrt migrující zvěře, která se nedokáže vyhnout blížícímu se vozidlu, nebo je zasažena autem pokud letí nad silnicí příliš nízko (Rheindt, 2003). Předpokládá se, že střet s projíždějícím vozidlem, má pravděpodobně jen malý vliv na velikost běžných populací volně žijících živočichů (Seiler et Helldin, 2006). U některých druhů však není pochyb o tom, že tento faktor významně snižuje velikost populace. U mnoha druhů je ovšem prokázáno, že právě zmiňovaný dopravní hluk je daleko důležitějším faktorem (Slabbekoorn et Ripmeester, 2008 ex. Reijnen et Foppen, 2006).

To, do jaké míry je celá fauna těmito faktory ovlivněna, závisí na jejich schopnosti adaptace či tolerance. Studie Mumme et al. (2000) zjistila, že u ptáků imigrujících přes komunikace se v první třech letech postupně snižovala úmrtnost. Tedy se zvyšujícím se věkem se jedinci velice pravděpodobně adaptovali – buď prostřednictvím střetu samotného jedince s vozidlem, odpozorováním jiných ptáků, kteří se střetli s vozidlem nebo kombinace obou. Není ovšem vyloučeno, že úmrtnost je způsobena zranitelností různých druhů nebo druhem a počtem projíždějících aut.

## 3.2 Důsledky hlukového znečištění

Všechna stanoviště jsou do jisté míry hlučná, ale obvykle nelibozvučnost urbanizovaných stanovišť způsobená dopravou, průmyslem, stavebními pracemi či veškerými hlučnými rekreačními aktivitami je evolučně velmi nová a dramaticky se liší od většiny přírodních stanovišť. Tento hluk obvykle tvoří stále hustší síť pronikající hlouběji do zalesněných oblastí (Forman et Alexander, 1998). Hluk z dopravy je typický svou vysokou hlasitostí a nízkou frekvencí (je hluboký) a trvá převážně v denní hodiny, což platí i pro oblasti jako jsou dálnice. Skiba (2000) dokázal, že zvuk těžké dopravy je poměrně jednotný a obvykle vykazuje frekvenci mezi 0–1 kHz, osobní automobily pak mají frekvenci cca mezi 1,5 až 4 kHz. Obecně platí, že dopravní hluk nevykazuje vyšší frekvence než 5kHz. Většina ptáků vokalizuje ve frekvencích od dvou do devíti kHz.

Je zřejmé, že okolní hluk hraje významnou roli ve vývoji ptactva (Ryan et Brenowitz, 1985). Hluk z okolního prostředí může být pro ptačí společenstva škodlivý přímým zatížením, ztěžuje ptactvu rozpoznat příchod predátora (Slabbekoorn et Ripmeester, 2008), ale takový hluk především omezuje či dokonce znemožňuje schopnost detekce akustických signálů nebo vede k překryvu těchto signálů (Ryan et Brenowitz, 1985). Vzhledem k tomu, že pěvci na vokální komunikaci spoléhají a jsou na ni téměř závislí, jsou považováni za obzvláště zranitelné kvůli tomuto novému typu hluku (Patricelli et Blickley, 2006). A to i přesto, že se časem u mnoha zvířat vyvinulo několik adaptivních mechanismů kompenzujících environmetální hluk (Lengagne, 2008). Ptáci, jejichž frekvence zpěvu se pohybuje na stejné či podobné úrovni jako je frekvence hluku na komunikacích, se s větší pravděpodobností takovým místům vyhýbají. Je pro ně tedy také mnohem obtížnější detekovat signály ve stejném kmitočtovém rozsahu jako šum pozadí (Rheindt, 2003).

Důsledkem je tak vyhýbaní se takovému hlučnému prostředí, a tedy pokles hustoty a rozmanitosti druhů (a to až do 3,5 km od komunikace). Nicméně bylo prokázáno, že někteří jedinci, kteří jsou schopni ihned upravit spektrální rozsah zpěvu, aby se přizpůsobili hluku okolí, jsou také vystaveni potenciálnímu poklesu hustoty jejich populace (Slabbekoorn et Ripmeester, 2008).

Tento významný pokles ovšem doprovází fakt, že existují jisté druhy ptáků, na kterých se přítomnost komunikací neprojevila, a kteří se rozhodnou v blízkosti silnic zůstat. Zůstávají zde například kvůli hnízdním příležitostem – jako místo pro budování hnízd používají mosty či propusti. Na dálnicích se také pravděpodobně bude nacházet více potravy v podobě odpadků. Dokonce se hustota ptačích společenstev některých druhů ptáků u dálnic zvětšila (Rheindt, 2003). Maršálková, (2012) ve své diplomové práci zjistila, že strnad je nejpočetnějším ptákem vyskytujícím se u dálnice D1 (cca 40 km úsek mezi Ostravou a Olomoucí). Nutno ovšem doplnit, že tento úsek není tak silně zatížen dopravou a jedná se o rovinatou otevřenou krajinu, pro strnada tak typickou. Pravděpodobně se zde hojně vyskytuje právě proto, že takové prostředí je mu blízké.

McClure et al. (2013) pouštěli nahraný hluk z dopravy prostřednictvím reproduktorů, aby vytvořili tzv. “phantom road” v oblasti bez silničního provozu. Zjistili, že abundance ptáků je na phantom road nižší než na kontrolních silnicích. Poskytují tak důkazy, že v hlučné krajině některé druhy ptáků reagují negativně na větší množství hluku; nicméně mnoho ptáků se i tak rozhodlo zůstat v blízkosti rušných silnic a na jiných hlučných místech. Tyto výsledky tedy dokazují, že hluk sám o sobě stačí k tomu, aby se někteří ptáci vyhýbali takové lokalitě – což naznačuje, že dopravní hluk může být v některých případech hlavním důvodem počtu ptáků u silnic.

### **3.3 Změny vokalizace ptačích společenstev v urbanizovaných oblastech**

Zpívající pták může úspěšně komunikovat pouze tehdy, když se sám slyší a má schopnost pokračovat ve výkonu. Pěvci používají řadu strategií, kterými mohou zabránit překryvu jejich zpěvu šumem z pozadí, a to například změnou frekvence, zvýšení hlasitosti, úpravou v načasování zpěvu a rychlosti opakování, struktury (charakteristické změny) zpěvu nebo jednotlivých částí strof či výkonu (Brumm et Slabbekoorn, 2005). Konečnou možností také může být opuštění těchto hlučných, ale jinak pravděpodobně vhodných míst (Nemeth et al., 2013). Stejně tak se tyto úpravy týkají i jiných zvukových signálů jako je například volání mláďat nebo výstražné signály (Warren et al., 2006). Úspěšný přenos takové zprávy může zabránit konkurentům v přístupu a samozřejmě tak ušetřit energii, čas či riziko zranění. Kromě toho samice těmto zprávám věnuje neobyčejnou pozornost, protože, jak je

známo, si své partnery vybírá na základě kvality vlastností zpěvu (Riebel, 2003). Samci jsou typičtí tím, že brání své území kvůli potravě, úkrytu či hnízdění. Zpěv samce, tedy velikost jeho repertoáru nebo spektrální a časové detaily mohou mít přímý vliv na to, jak dobře tuto úlohu dokážou splnit (Cate et al., 2002).

Ptáci, vyskytující se ve městech, ale také jen u dálnic a silnic často zpívají ve vyšších minimálních frekvencích, než je tomu u druhů lesních. Tento posun směrem k vyšším frekvencím byl interpretován jako adaptace na dopravní hluk ve městech, protože ptáci zpívající vyššími frekvencemi jsou méně zasaženi překrytím jejich zpěvu okolním nízkofrekvenčním šumem. Mohli bychom druhy rozdělit do dvou skupin: jednu tvoří ti jedinci, kteří dokáží přizpůsobit svůj zpěv konkurenčnímu šumu a druhou naopak ti, kteří to neumí nebo nemusí, protože se frekvencí zpěvu zcela odlišují od frekvence okolního hluku (Slabbekoorn et Peet, 2003).

Nejčastěji studovaným druhem ptáka v této problematice je kos černý (*Turdus merula*). Další níže uvedené druhy jsou též součástí mnoha studií.

### **3.3.1 Kos černý (*Turdus merula*)**

Například Nemeth et Brumm (2009) zjišťovali u kosů, zda to, že ve městech zpívají hlasitěji, je jen vedlejší efekt urbanizace nebo je to adaptace na tyto podmínky. Z výsledků je patrné, že adaptace na akustické vlastnosti stanoviště je pouze jedno z několika možných vysvětlení, stejně jako tvrdí například Ripmeester et al. (2007). Přestože se o této situaci stále diskutuje, existují již podstatné důkazy o tom, že změna v minimální frekvenci zpěvu kosů je spojena se zvýšenou úrovní hluku okolí. Struktura písní městských a lesních druhů kosů se lišila v spektrálních i časových vlastnostech. V městských stanovištích byla nejhlasitější frekvence zpěvu kosa výrazně vyšší než v lese a také zpívali výrazně kratší skladby s méně prvky.

Navíc bylo pozorováno, že kosi v urbanizovaných hlučných oblastech začali zpívat dříve než jedinci lesní. Měření probíhalo v dubnu a zjistilo se, že ve městě začali zpívat přibližně mezi 41 a 28 minutou před východem slunce, kdežto u lesních jedinců se jedná cca o 21 až 25 minutu po východu slunce, což značí jasný rozdíl. Typ lokality má tedy prokazatelný vliv na hlasovou aktivitu jedinců kosa černého. (Nemeth et Brumm, 2009).

Rovněž z výsledků Vlach (2016) je patrná významná změna hlasového projevu kosa černého na hlukově znečištěné lokalitě. Na světlo-hlučných lokalitách

samci kosa černého vokalizovali v ranních úsecích s největší intenzitou. Naopak ve večerních úsecích byla největší intenzita ptačích jedinců zaznamenána v lokalitách tichých.

Podobně je tomu i u **budníčka menšího** (*Phylloscopus collybita*), ten zpívá na lokalitách ovlivněných světlem a hlukem značně dříve než na lokalitách tichých a světlem neovlivněných. A to samé platí pro intenzitu zpěvu – ta je na znečištěných lokalitách mnohem vyšší. Je také patrné, že i jiné faktory motivují budníčka k intenzivnějšímu zpěvu, tedy nejen světlo a hluk, ale také déšť či dokonce jen vlhkost (Hloušková, 2017).

### 3.3.2 Sýkora koňadra (*Parus major*)

U tohoto druhu ptáka se zaznamenalo zvyšování frekvencí jen velmi nepatrně. Jejich hluboké a poměrně hlasité zpěvy se příliš nepřekrývají s hlukem z dopravy. Změny ve struktuře zpěvu by tedy měly hrát daleko důležitější roli u druhů s tiššími zpěvy (Slabbekoorn et den Boer-Visser, 2006). Byly také zaznamenány dřívější a intenzivnější hlasové projevy během víkendu, nikoliv v pracovním týdnu. Díky statistickým výpočtům se zjistilo, že začátek ranní vokalizace u sledovaných druhů, je tím dříve, čím intenzita umělého nočního osvětlení je vyšší (Silva et al., 2014).

Nejvýraznější rozdíl v porovnání sýkor na tiché a hlučné lokalitě byl tedy ve frekvencích jejich zpěvů, i když jen minimálně. Samci na lokalitách znečištěných hlukem vokalizovali s vyšší minimální frekvencí než ti, kteří hlukem ovlivnění nebyli. Jedinci, kteří obývají území u dálnic a jsou tedy ovlivněni hlukem z dopravy se přednostně vyskytují v takové oblasti, jejíž hladina hluku je co možná nejpodobnější s jejich původním územím. Také bylo zjištěno, že samec, jehož teritorium se nacházelo v tiché lokalitě reagoval daleko méně na slyšený zpěv z teritoria, které se nacházelo již na hlučnějším místě. Změny hladin hluku tedy mohou být problémem při obhajování území – vytváření teritorií (Mockford et Marshall, 2009).

### 3.3.3 Červenka obecná (*Erithacus rubecula*)

Umělé noční osvětlení je důležitý modifikátor každodenního načasování zpěvu. U diurnálních městských ptáku je několikrát pozorováno, a tedy již dávno známo, že zpívají i přes noc. Tento jev je připisován k nočnímu světelnému

znečištění, kdy výzkumy dokazují, že v oblastech s vysokým stupněm světelného znečištění začínají ptáci zpívat dříve, ještě, než se rozední (Fuller et al., 2007 ex. Rawson, 1923; Hollom, 1966; King, 1966; Mitchell, 1967), nebo svou aktivitu ukončují až dlouho po západu slunce, žádná studie nezmínila vliv hlukového znečištění na noční zpěv. Červenka obecná zpívá v denních i nočních hodinách a zdá se, že se spíše blíží k aktivitě noční. To, jestli jsou červenky aktivní v noci je závislé na hladině hluku přes den. Není ale zcela určitě zřejmé, jestli noční aktivita těchto ptáků snižuje denní aktivitu a zda tak získávají nějaké výhody v oblasti jejich fitness. Zdá se ale věrohodné, že tato strategie jim umožňuje zabránit překrývání jejich zpěvu v hlučných oblastech (Fuller et al., 2007).

Lze tedy předpokládat, že načasování konce vokalizace je proměnlivější než načasování začátku projevu, a to především pro ty druhy, kteří hlasový projev ukončí před západem slunce (Silva et al., 2014). Pozměněný zpěv by ale nemusel mít vůbec nic společného s hlukovým a světleným znečištěním. Ptáci se zde vyskytují ve vyšších populačních hustotách, což vede k soupeření, ke kterému je potřeba vyvinout hlasitější a rychlejší zpěv. Také mají trvale zvýšenou hladinu testosteronu, což by mohly být hned dva z případných důvodů, proč ptáci zpívají na hlučných místech hlasitěji (Nemeth et Brumm, 2009).

Ovšem i na méně hlučných stanovištích bylo zjištěno, že zvuky v pozadí mohou ovlivnit vývoj frekvencí ptačího zpěvu (Wiley et Richards, 1978). V přírodním prostředí se zvířata dorozumívající se akustickými signály také potýkají s množstvím hluku z různých zdrojů. Tyto zdroje mohou být abiotické – např. déšť, tekoucí voda, vítr apod.; nebo biotické – např. zvuky produkované jinými zvířaty. Obzvláště velmi těžkým hlukovým zásahem jsou vodopády a velké peřeje. I zde se ptáci vyhýbají maskování jejich zpěvu vysokými frekvencemi v úzkých frekvenčních pásmech (Dubois et Martens, 1984).

### **3.4 Studovaný druh – strnad obecný (*Emberiza citrinella*)**

#### **3.4.1 Stručný popis**

Strnad obecný patří mezi pěvce, do čeledi strnadovití (Emberizidae). Velikostně ho lze přirovnat k vrabcovi. Podle jeho typicky citronově žlutého zbarvení hlavy a spodiny těla lze rozeznat věk strnada podílem intenzity této barvy.



Samici od samce lze snadno rozeznat, jelikož není takto výrazně zbarvena, odstín žluté barvy bývá světlejší (Procházka, 2011).

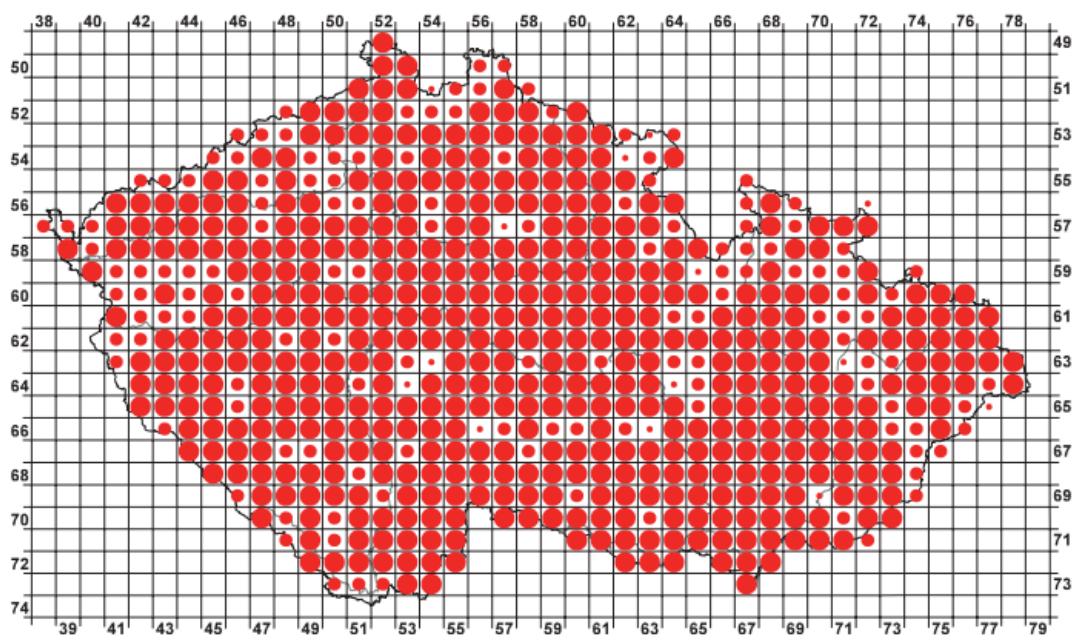


Obrázek 1: Výrazně zbarvený samec strnada obecného (<http://www.naturfoto.cz/strnad-obecnny-fotografie-16902.html>)

Strnad se nejčastěji pohybuje na zemi, kde si také hledá potravu. V té je převážně zastoupena rostlinná složka, a to především semena trav (lipnice, ovsík) a obilí (oves, ječmen, pšenice). Vyhýbá se olejnatým semenům, preferuje jen ty, které jsou bohaté na škrob. Za nepříznivého počasí přichází pro potravu do hospodářských osad, kde se živí krmivem pro hospodářská zvířata (Cramp et al, 1994). Živočišná složka jeho potravy je důležitá především v období krmení mláďat a tvoří ji různí drobní členovci (žížaly, housenky) (Procházka, 2011).

### 3.4.2 Rozšíření

Strnad obecný obývá téměř celou Evropu, kromě velké části Pyrenejského ostrova. Na Novém Zélandě byli strnadi vysazeni a nyní tato populace dosahuje třikrát vyšších hustot, než je tomu ve Velké Británii odkud byl původně introdukovan. V České republice je strnad poměrně rozšířený zpěvný pták. Ačkoliv dříve patřil strnad obecný v ČR k velmi hojně zastoupenému druhu ptáků, na základě sčítání, které probíhalo v letech 1982-2003 byl potvrzen mírný pokles hnízdících párů, a to průměrně o 1,33 % za rok (Šťastný et al., 2004 ex. Šťastný et al., 2006).



Obrázek 2: Rozšíření strnada obecného na základě výsledků z hnízdního atlasu (Šťastný et al., 2006)

Obecně se vyskytuje se v nížinách či kopcovitých oblastech v kontinentálním i oceánském klimatu a je možné ho vzácně spatřit i v subalpínských oblastech nad horní hranicí lesa. Preferuje sušší, slunečné stanoviště. Pravděpodobně se nejvíce objevuje na okrajích otevřených lesních ploch bez překážek, také na pasekách, křovinatých mezích či remízkách (Šťastný et al., 2006). Typický je pro ně výskyt v zemědělských oblastech. Můžeme tedy strnada považovat za velmi dobrý bioindikátor zemědělské krajiny (Procházka, 2011). Vyhýbá se hustým lesům, městům nebo rušným obytným oblastem. Avšak byla zjištěna i slabší vazba na většinu lidských staveb a činností, ze kterých umí velice dobře profitovat, pokud blíže připomínají jejich habitat (Cramp et Perrins, 1994).

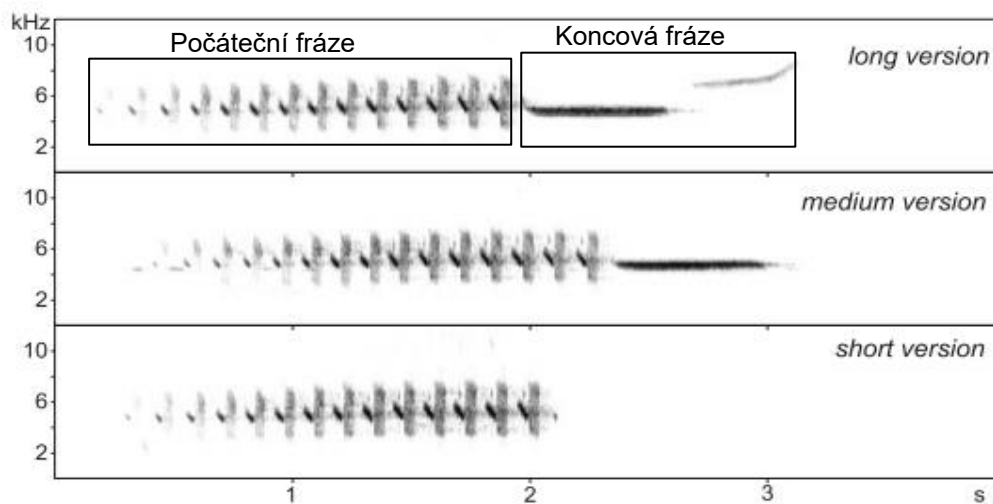
### 3.4.3 Hnízdění

Strnadi obecní jsou až na pár výjimek monogamní. Přibližně od února začínají samci vábit samičku a obhajovat svá teritoria typickým chováním a zpěvem. V takovém teritoriu poté dochází k tvorbě páru i ke stavbě hnízda, tedy k hnízdění, které trvá od dubna do srpna. Hnízda jsou umístěna téměř vždy na zemi nebo v těsné blízkosti země, ukryté mezi trávou, v živém plotě, na malém stromku, v keřích nebo také často v ostružinách. O stavbu hnízda se stará pouze samička, přičemž celá stavba jí většinou zabere 4-5 dní. Použitým materiálem je tráva, stonky, sláma, listí, mech, jako výstelka pak slouží jemná tráva a občas i žíně. Hnízda na zemi jsou často predována a zničena malými hlodavci, vránami či strakami. Snůška obsahuje cca 3-6

vajec, vysoce variabilně zbarvených. Skořápka je hladká a lesklejší a může být bílá, modravá či šedavá, obvykle s jemnými skvrnami nebo typickými tmavými vlasovkami. O mláďata pečují oba rodiče. Kolem 11-13 dne je mládě vyvedeno z hnízda, ačkoliv často ještě před tím, než jsou schopna letu. Zpravidla do dvou týdnů se již plně osamostatní a v 1 roce života se stávají pohlavně dospělí (Cramp et Perrins, 1994).

### 3.4.4 Zpěv a nářečí

Zpěv samce strnada tvoří velmi snadno zapamatovatelná melodie, kterou je často možné slyšet již od února (podle příznivých podmínek počasí) až do pozdního léta (Procházka, 2011). Zpěv je tvořen dvěma částmi, viz Obrázek 3. První, tedy hlavní počáteční část tvoří série opakovaných motivů (a-elementů), které mohou být i velmi krátké nebo poměrně rychlé a průměrně trvají cca 1,4 s. Vysoká variabilita těchto a-elementů zajišťuje, že v jedné populaci strnada obecného lze rozlišit desítky různých jedinců jen pomocí této počáteční části jejich zpěvu (jeden typ a-elementu bývá většinou různý pro více samců). Počáteční část zpěvu je vrozená. Následuje druhá část, koncová, kterou tvoří jedna až dvě prodloužené slabiky, které se ale ve zpěvu vůbec nemusí objevit nebo pouze částečně (Caro et al., 2009) viz Obrázek . Tato část bývá stěžejní pro identifikaci dialektu.



Obrázek 3: Zpěv strnada obecného, rozdělení jeho částí a možné délkové varianty (Rutkowska-Guz et Osiejuk, 2004)

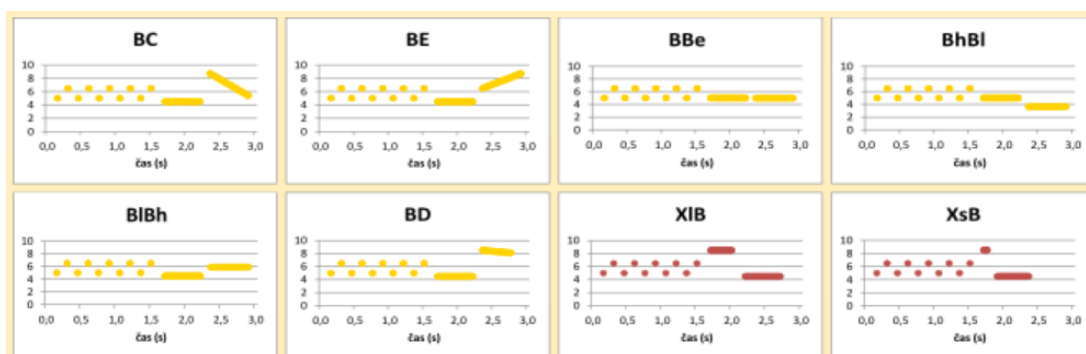
Každý strnad ovládá jeden až čtyři typy zpěvu (výjimečně až 8) lišící se nejčastěji v detailní stavbě počáteční části. Strnadi obecní obvykle každý typ zpěvu několikrát opakují, než začnou zpívat typ jiný. Jednotlivé repertoáry písní v jedné

populaci zůstávají po celý život stabilní, a právě díky nim se strnadi navzájem poznávají. Ovšem jedinci na dialektové hranici mohou repertoár často střídat (Wonke et Wallschläger, 2009).

Lze rozeznat řadu dialektů, které se liší na základě výšky a délky terminálních slabik. Dialekty strnadů obecných lze rozdělit do dvou základních skupin, z nichž jedna převládá ve východní (B) a druhá v západní (X) Evropě, přičemž přes Českou republiku zřejmě prochází hranice mezi oběma skupinami dialektů. Jedním z cílů právě probíhajícího projektu občanské vědy „Nářečí českých strnadů“, který je součástí kampaně ČSO „Pták roku 2011“ je snaha ověřit tuto hranici (Petrusek et al., 2013).

Skupině X, tedy té západní jsou přiřazeny pouze dva dialekty XIB a XsB. Tyto varianty strof jsou velice podobné a jedinec je často schopný používat obě. Díky tomu je ve skutečnosti poměrně těžké rozlišit jednotlivé populace. Oproti tomu skupina B, východní, se vyznačuje velkými rozdíly mezi jednotlivými dialekty a lze je určit o to snadněji. Nejrozšířenějšími variantami strof jsou BC, BE, BD, BBe, BhBI a BIBh (Obrázek 4) (Petrusková et al., 2014).

Ve většině případů jsou slyšitelné pouhým uchem, ovšem někdy tomu tak není a pouze převedením do sonogramu lze tyto dialekty rozeznat. Například u dialektu, kde poslední koncová část (tedy 3. část) je zpívána velmi vysoko by staří lidé mohli jen obtížně zaslechnout tuto část.



Obrázek 4: Nejčastější dialekty strnada obecného a jejich grafické znázornění ([http://www.strnadi.cz/o\\_strnadovi](http://www.strnadi.cz/o_strnadovi))

## 4. Metodika

### 4.1 Sběr dat

Zvukové záznamy byly získávány pomocí diktafonů SONY ICD-PX312 a tato data byla sbírána v období od 16. 4. 2016 do 28. 5. 2016, tedy v době, kdy je ptačí zpěv nejintenzivnější. Nahrávání probíhalo na všech lokalitách, kde byly diktafony umístěny, současně vždy od sobotního odpoledne do pondělního večera. Tedy tak, aby byl zahrnut den volný i pracovní. Nahrávky pořizoval a poskytl Martin Platil (Platil, 2018) a konkrétně pro tuto práci byly použity nahrávky dvě hodiny po východu Slunce – v neděli a v pondělí.

Vyřazeny byly dny s nepříznivým počasím – data se sbírala pouze při příznivých srážkových podmínkách. Taková situace byla na sonogramu snadno rozpoznatelná jako širokopásmový, nízko amplitudově spojitý zvuk. Nízké srážky kvalitu nahrávek nesnižovaly. Celkem se z tohoto důvodu vyřadilo 11 nahrávek – z původních 120 hodin získaných nahrávek se pro zpracování použilo 109 hodinových nahrávek.

Na každém stanovišti bylo vždy umístěno celkem 10 diktafonů – 5 v těsné blízkosti dálnic D6, D7 a D8 ve vegetačním krytu a 5 bylo umístěno jako kontrola v zemědělské krajině, též s vegetačním krytem (cca 2 km od diktafonů umístěných u dálnic). Diktafony byly umístěny do teritorií sameců strnada obecného. Lokace diktafonů pomocí lokality (lokalita s hlukovým znečištěním a bez něj) a nejbližších obcí je znázorněna v Tabulce 1.

Stanoviště	Datum	Dálnice	Lokalita s hlukovým znečištěním	Lokalita bez hlukového znečištění
1.	17. – 18.4.	D8	Nová Ves (okr. Litoměřice)	Černouček (okr. Litoměřice)
2.	24. – 25.4.	D7	Brandýsek (okr. Kladno)	Slatina (okr. Kladno)
3.	1. – 2-5.	D8	Postřižín (okr. Mělník)	Kopeč (okr. Mělník)
4.	15. – 16.5.	D7	Středokluky (okr. Praha-západ)	Číčovice (okr. Praha-západ)
5.	22. – 23.5.	D6	Pavlov (okr. Kladno)	Rýmář (okr. Kladno)
6.	29. – 30.5.	D6	Pletený Újezd (okr. Kladno)	Velká Dobrá (okr. Kladno)

Tabulka 1: umístění diktafonů

## 4.2 Analýza nahrávek

Nahrávky byly analyzovány v programu Avisoft SASLab Pro software (Raimund Spetch, Berlin), který umožňuje generování dat podle uživatelského nastavení. Pro lepší analýzu a detekci zpěvu byl použit filtr FIR (Time Domain Filter) low-pass filter 2,5 kHz a high-pass filter of 6 kHz – tato funkce slouží k redukci šumu v pozadí.

Již před analýzou dat byly některé nahrávky vyřazeny z důvodu nepříznivého počasí, čímž byl silný déšť znemožňující detekci zpěvu. Při zpracovávání nahrávek byly ovšem navíc vyřazeny i ty nahrávky, kde nebyla zaznamenána aktivita samce strnada nebo (v případě lokalit s hlukovým znečištěním) byl šum v pozadí tak vysoký, že znemožňoval detekci zpěvu. Ze 109 poskytnutých hodinových nahrávek, které byly k dispozici ke zpracování se jich tedy dále vyřadilo 32 a výsledný počet nahrávek použitelných ke statistickému zpracování činil výsledně 77, viz. Tabulka 2.

Týden	Lokalita s hlukovým znečištěním		Lokalita bez hlukového znečištění		Celkem
	Neděle	pondělí	Neděle	pondělí	
1.	3	1	4	4	12
2.	4	4	3	2	13
3.	4	4	3	3	14
4.	3	3	5	3	14
5.	3	3	5	4	15
6.	2	0	4	3	9
<b>Celkem</b>	19	15	24	19	<b>77</b>

Tabulka 2: počet zpracovaných nahrávek

## 4.3 Zpracování dat

Při analýze nahrávek byly označeny všechny jednotlivé zpěvy strnada obecného, nehledě na počet slabik. Vždy byly ale označeny jen ty, u kterých byl dobře rozpoznatelný začátek a konec. Celkem bylo zaznamenáno 8468 jednotlivých zpěvů, jejichž počty a rozdíly mezi dny a typy lokalit znázorňuje Tabulka 3.

Lokalita	Neděle	pondělí	Celkem na lokalitě
tichá	3738	2135	5873
hlučná	1558	1037	2595
<b>Celkem v den</b>	5296	3172	<b>8468</b>

Tabulka 3: počet zaznamenaných zpěvů

Zpracované nahrávky byly rozděleny podle faktorů, u kterých předpokládáme vliv na hlasovou aktivitu. Data byla rozdělena podle **lokality**, tedy HW (s hlukovým znečištěním – highway) a AL (bez hlukového znečištění – agricultural landscape), podle **dne** na NE (neděle) a PO (pondělí) za předpokladu většího hluku ve všední den a dále podle **sezóny**, tedy týdnů, kdy bylo prováděno nahrávání – značené 1 až 6.

Společně s těmito prediktory byl také testován **aktuální vliv dopravy**, který byl určen intenzitou projíždějících vozidel v aktuální čas nahrávání. Tato data byla získána spočítáním projíždějících vozů z jednotlivých hodinových nahrávek za pomoci grafického zobrazení ve spektogramu, ve kterém se zvuk motorového vozidla zobrazil jako vertikální křivka.

Momentální vliv dopravy byl doplněn o **vliv dlouhodobý** za použití údajů o ročním průměru intenzity dopravy pro jednotlivé úseky dálnic, kde byly umístěny diktafony. Tato data lze dohledat na webových stránkách ředitelství silnic a dálnic (<https://www.rsd.cz/wps/portal/>) v sekci Silnice a dálnice – Sčítání dopravy, kde shodou okolností byly poslední záznamy z roku 2016, tedy z totožného roku, kdy probíhalo nahrávání.

Dále byly doplněny údaje o **počasí** – konkrétně teplota vzduchu, rychlost větru, vlhkost vzduchu a tlak. Srážky byly u každé analyzované hodiny nulové a údaje o nich zahrnuty tedy nebyly. Tato data byla zjištěna z veřejně dohledatelného archivu počasí na webových stránkách <https://www.in-pocasi.cz/>, kde jsou hodnoty zaznamenávány s půlhodinovým rozestupem. Jednalo se o údaje získané z nejbližší meteorologické stanice. Vzdálenost jednotlivých meteorologických stanic od stanovišť nahrávání jsou shrnuty v Tabulce 4.

Stanoviště	Meteorologická stanice	Vzdálenost od stanoviště
1.	Staré Ouholice	4–5 km
2.	Kladno	6–10 km
3.	Staré Ouholice	9–10 km
4.	Kladno	10–11 km
5.	Kladno	10–11 km
6.	Kladno	7 km

Tabulka 4: vzdálenost meteorologických stanic od stanovišť nahrávání

Byl posuzován vliv všech výše uvedených faktorů na případnou změnu v průměrné a celkové délce stropy a na celkový počet strof.

#### 4.4 Statistické zpracování

Ke statistickému vyhodnocení byl použit volně dostupný software R, konkrétně verze 3.5.1 (R Core Team, 2018). Kromě již předinstalovaných balíčků a funkcí tohoto software byly dále použity balíčky *ggplot2* pro grafickou vizualizaci dat (Wickham, 2016); *plyr* pro manipulaci s daty – především funkce *ddply* pro vytvoření nové tabulky z již existující (Wickham, 2011); *car* pro zobrazení výsledků analýzy rozptylu – funkce *Anova* (Fox & Weisberg, 2011).

K vyhodnocení vlivu lokality, sezóny, dopravy a počasí byla z původních dat vytvořena a použita nová data obsahující hodnoty spojené průměrem či součtem za oba dny měření (neděle + pondělí). V obou dnech byl totiž diktafon umístěn na stejném místě, tedy zaznamenáváno bylo stejné teritorium pro neděli i pondělí. Původní data s rozdílů mezi těmito dny byla použita pouze ke statistickému vyhodnocení akustického projevu strnada v závislosti na dni. Navíc pak při vyhodnocování momentálního a dlouhodobého vlivu intenzity dopravy byla vytvořena další nová tabulka obsahující data pouze pro lokalitu s hlukovým znečištěním.

Ideálním výběrem metody statistického zpracování pro tato data by byl **lineární model se smíšenými efekty**. Pro tuto práci by ovšem zmiňovaná varianta byla nad rámec, a proto byl vybrán alternativní postup pro vyhodnocení dat.

Míra závislosti proměnných byla téměř ve všech případech hodnocena pomocí **lineárních regresních modelů** (doprava, počasí) či **analýzou variance** (lokality, sezóna), tak jak jsou implementovány v programu R. Správnost a věrohodnost výsledků těchto modelů byla ověřena diagnostickými grafy. Pro zjištění vlivu dne byl použit **párový studentův t-test**.

Výsledné hodnoty byly považovány za signifikantní, pokud nepřesáhly hladinu významnosti  $\alpha$  0,05.



## 5. Výsledky

U pozorovaného druhu byl posuzován vliv lokality a sezóny, aktuální a dlouhodobý vliv dopravy na průměrnou a celkovou délku strof a na celkový počet zaznamenaných strof pro druhou hodinu po východu Slunce. Dále byl zjišťován vliv dne (rozdíl mezi dnem pracovním a volným) a počasí, též na průměrnou a celkovou délku strof a celkový počet strof.

### 5.1 Vliv lokality a sezóny

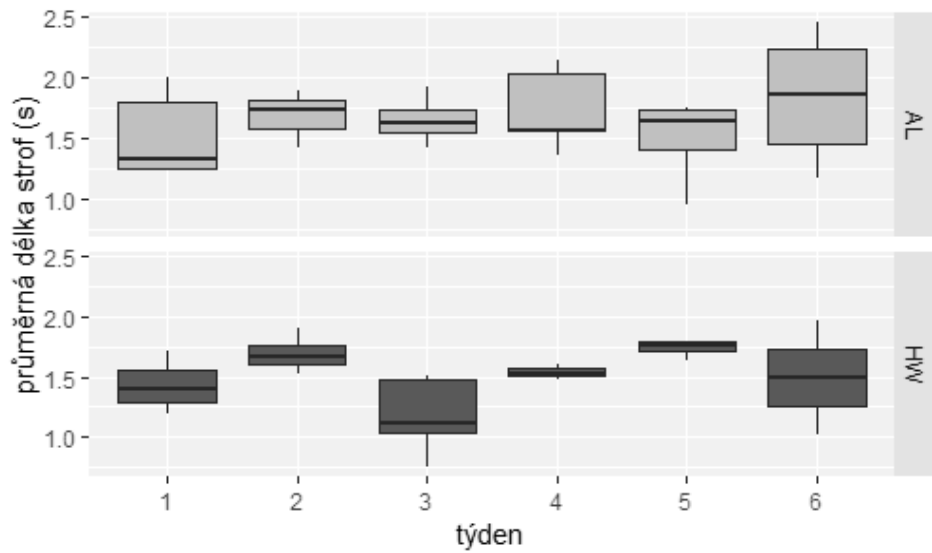
Byl testován vliv lokality v interakci se sezónou, tedy průběhem vokalizace během sledovaných šesti týdnů, a to pomocí lineárního modelu. Ve všech případech se zjistila neprůkazná interakce těchto dvou prediktorů,  $p = 0,3042$  ( $Df = 5$ ;  $F = 1,2570$ ) pro průměrnou délku strof,  $p = 0,8509$  ( $Df = 5$ ;  $F = 0,3921$ ) pro celkovou délku strof a  $p = 0,6125$  ( $Df = 5$ ;  $F = 0,7205$ ) pro celkový počet strof. Následovalo tedy vyhodnocení bez interakcí viz Tabulka 5.

Závislá proměnná	Nezávislá proměnná	Df	F	p
Průměrná délka strof	Lokalita	1	1,7549	0,1928
	Týden	5	1,1139	0,3685
Celková délka strof	Lokalita	1	6,3708	<b>0,0157</b>
	Týden	5	3,4845	<b>0,0105</b>
Počet strof	Lokalita	1	6,8265	<b>0,0126</b>
	Týden	5	5,5433	<b>0,0006</b>

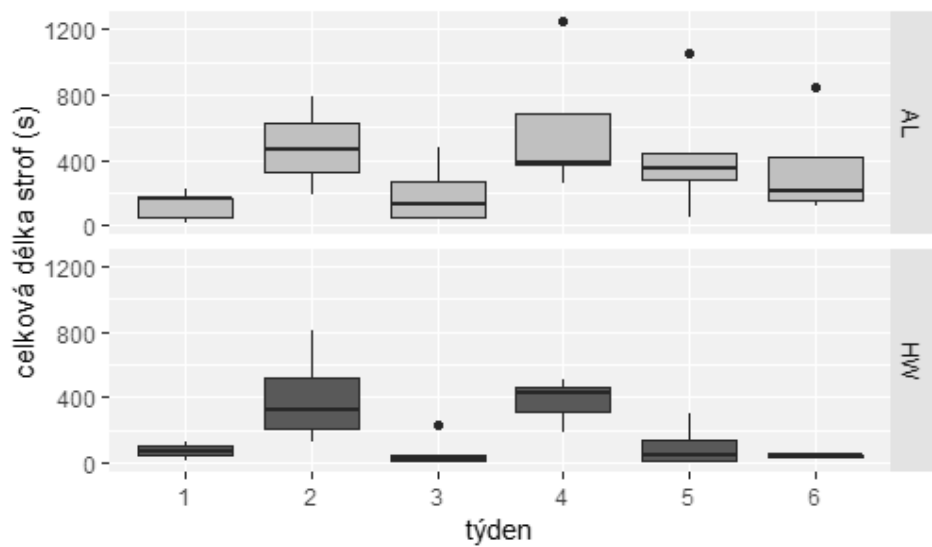
Tabulka 5: Výsledky závislosti lokality a sezóny (bez interakce) na jednotlivé sledované charakteristiky zpěvu

Z výsledků modelů bez interakcí bylo zjištěno, že vliv lokality a zároveň i týdne je statisticky významný pro celkovou délku a celkový počet zpívaných strof. Na průměrné délce strof se lokalita ani týden významně neprojeví a hypotéza v tomto případě nebyla zamítnuta. Je tedy zřejmé, že hlukové znečištění nemá vliv na úpravu strofy zpěvu strnada v jeho průměrné délce, ale pravděpodobně je těmito prediktory ovlivněn celkový počet strof a celková délka jednotlivých strof. Zároveň je evidentní, že v těchto dvou případech je sezóna o něco více signifikantní než lokalita. Předpoklady modelů byly splněny, viz diagnostické grafy v Příloha 1.

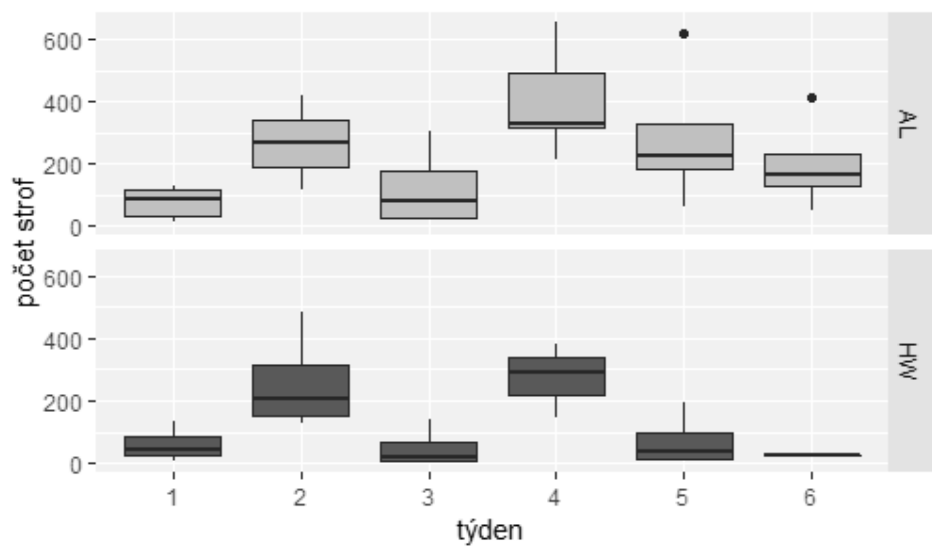
Průběh sezóny vykazoval kolísavý trend (Obrázek 5, 6 a 7), který mohl být způsoben různými prediktory. Při bližším hodnocení meteorologických podmínek byl zjištěn podobný trend také u rychlosti větru viz kapitola 5.3 Vliv počasí.



Obrázek 5: Průměrné délky strof v průběhu sezóny a rozdíl na lokalitě s a bez hlukového znečištění



Obrázek 6: Celkové délky strof v průběhu sezóny a rozdíl na lokalitě s a bez hlukového znečištění



Obrázek 7: Celkové počty strof průběhu sezóny a rozdíl na lokalitě s a bez hlukového znečištění

		odhad	Střední chyba	t	p
Průměrná délka strof	Počátek	1.53491	0.12308	12.470	<b>2.31e-15</b>
	Lokalita HW	-0.13114	0.09900	-1.325	0.193
	2. týden	0.22968	0.17288	1.329	0.192
	3. týden	-0.07441	0.16227	-0.459	0.649
	4. týden	0.17459	0.16596	1.052	0.299
	5. týden	0.12652	0.16143	0.784	0.438
	6. týden	0.22452	0.17931	1.252	0.218
Celková délka strof	Počátek	171.26	91.81	1.865	0.06947
	Lokalita HW	-186.38	73.84	-2.524	<b>0.01567</b>
	2. týden	366.37	128.95	2.841	<b>0.00704</b>
	3. týden	52.33	121.04	0.432	0.66784
	4. týden	405.95	123.79	3.279	<b>0.00216</b>
	5. týden	196.54	120.41	1.632	1.632
	6. týden	135.92	133.74	1.016	0.31562
Počet strof	Počátek	107.95	48.80	2.212	<b>0.032715</b>
	Lokalita HW	-102.54	39.25	-2.613	<b>0.012592</b>
	2. týden	211.50	68.54	3.086	<b>0.003675</b>
	3. týden	29.24	64.33	0.454	0.651951
	4. týden	283.63	65.79	4.311	<b>0.000103</b>
	5. týden	126.62	64.00	1.979	0.054785
	6. týden	65.89	71.08	0.927	0.359489

Tabulka 6: Tabulka koeficientů pro závislost lokality a sezóny na sledovaných charakteristikách zpěvu

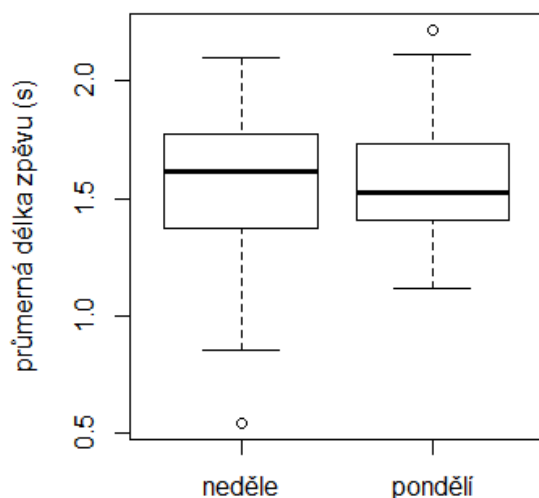
Model pro průměrnou délku strofy, jenž vyšel nevýznamně, vysvětluje pouhých 16,15 % celkové variability ( $F = 1,284$ ). Model pro celkovou délku vysvětluje variability o něco více 37,26 % ( $F = 3,96$ ) a modelem pro početnost strof je vysvětleno nejvíce celkové variability, a to 46,48 % ( $F = 5,79$ ). Výsledky tabulky koeficientů představuje tabulka 6.

## 5.2 Vliv intenzity dopravy

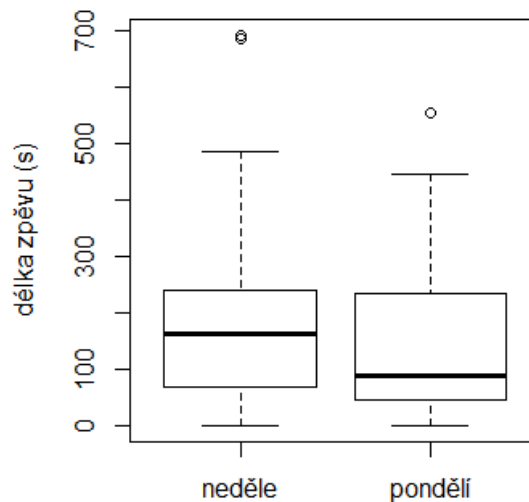
### 5.2.1 Rozdíl mezi dny s nižší a vyšší intenzitou dopravy

Vliv dne na délku a počet strof byl testován pomocí párového t-testu. Z výsledků je patrné, že to, zda je pracovní nebo volný den nemá pravděpodobně vliv na přizpůsobení zpěvu v průměrné ( $t = -0.01144$ ,  $df = 29$ ,  $p\text{-value} = 0.991$ ) ani celkové ( $t = 1.8731$ ,  $df = 29$ ,  $p\text{-value} = 0.07117$ ) délce strof. Statisticky významný ovšem vyšel vztah mezi dnem a počtem strof ( **$t = 2,1198$ ;  $df = 29$ ;  $p = 0,0427$** ). To znamená, že snad zpívá méně/více v závislosti na dni v týdnu, přičemž z Tabulky 3 lze doplnit, že větší aktivita byla zaznamenána v nedělních dnech, kdy lidé

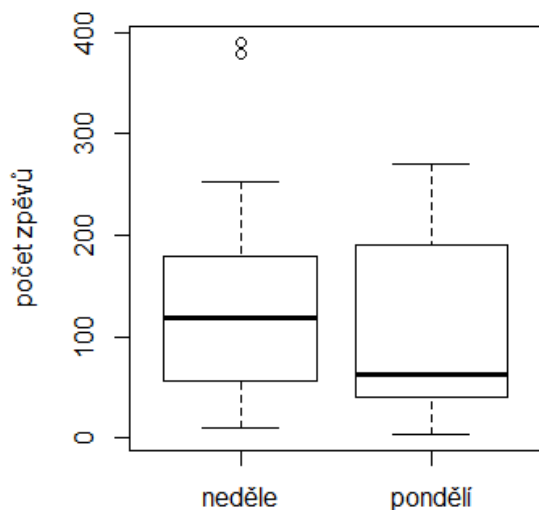
pravděpodobně cestují méně a je tedy produkováno méně hlukového znečištění než v pondělí, tedy dnu pracovním.



Obrázek 8: Vliv dne na průměrnou délku strof



Obrázek 9: Vliv dne na celkovou délku strof



Obrázek 10: Vliv dne na celkový počet strof

### 5.2.2 Momentální vliv projíždějících vozidel

Dle výsledků modelů bylo zjištěno, že aktuálně projíždějící vozidla nezpůsobovala signifikantní změnu ve sledovaných charakteristikách zpěvu strnada obecného (hodnota  $p$  průměrné délky strof = 0,884;  $p$  celkové délky strof = 0,6154;  $p$  pro celkový počet strof = 0,5718).

### 5.2.3 Dlouhodobý vliv projíždějících vozidel

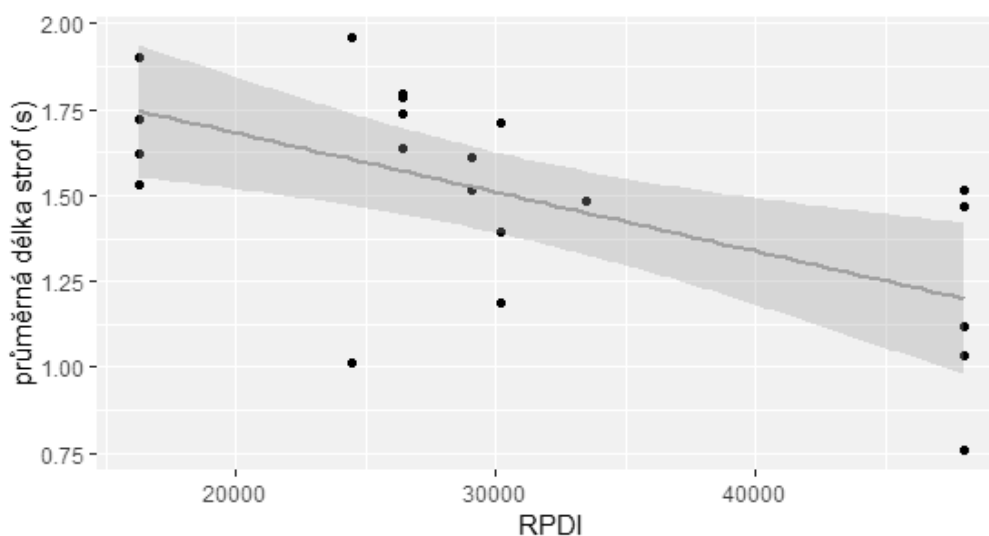
Z výsledků statistického vyhodnocení vlivu ročního průměru projíždějících vozidel (RPDI) na lokalitách s hlukovým znečištěním (Tabulka 9) vyplynulo, že dlouhodobý vliv dopravního znečištění motivuje strnada upravit svůj akustický

projev v průměrné délce zpívané strofy. Grafické znázornění tohoto vztahu vysvětluje Obrázek 12.

Avšak pravděpodobně může existovat i závislost dlouhodobého vlivu dopravy i na celkovou délku a početnost strof. Výsledky totiž velmi blízce hraničí se zvolenou hladinou významnosti, a tak nelze zcela s jistotou říci, že nulová hypotéza v tomto případě nemůže být zamítnuta. Předpoklady modelů byly splněny, viz diagnostické grafy v Příloha 1.

	R <sup>2</sup>	P
Průměrná délka strof	<b>37,16 %</b>	<b>0,00335</b>
Celková délka strof	18,07 %	0,05472
Počet strof	17,94 %	0,05572

Tabulka 7: Výsledky hodnocení dlouhodobého vlivu hlukového znečištění pocházejícího z projíždějících vozidel na sledované charakteristiky zpěvu



Obrázek 11: Grafické znázornění závislosti působení projíždějících vozidel na průměrné délce strof z dlouhodobého hlediska

### 5.3 Vliv počasí

Pro vyhodnocení počasí nemohl být použit jeden společný model pro všechny čtyři faktory počasí (teplota, rychlost větru, vlhkost a tlak) z důvodu jejich vysoké korelovanosti (tzn. problém multikolinearity). Testování každého vlivu počasí zvlášť mělo tedy větší sílu a výsledky byly přesnější (Tabulka 7). Tabulky koeficientů a Anova jsou umístěny v Příloha 2.

	Model	R <sup>2</sup>	P
Průměrná délka strof	lm(length_mean~loc+temp)	4,86 %	0,6710
	lm(length_mean~loc+wind)	8,54 %	0,1685
	lm(length_mean~loc+pressure)	9,82 %	0,1130
	lm(length_mean~loc+humidity)	5,63 %	0,4653
Celková délka strof	lm(length_sum~loc+temp)	12 %	0,3151
	<b>lm(length_sum~loc+wind)</b>	<b>33,52 %</b>	<b>0,0003</b>
	lm(length_sum~loc+pressure)	11,04 %	0,4635
	<b>lm(length_sum~loc+humidity)</b>	<b>23,67 %</b>	<b>0,0073</b>
Počet strof	lm(count~loc+temp)	12,08 %	0,2526
	<b>lm(count~loc+wind)</b>	<b>40,39 %</b>	<b>1,96e-05</b>
	lm(count~loc+pressure)	9,97 %	0,6010
	<b>lm(count~loc+humidity)</b>	<b>29,85 %</b>	<b>0,0008</b>

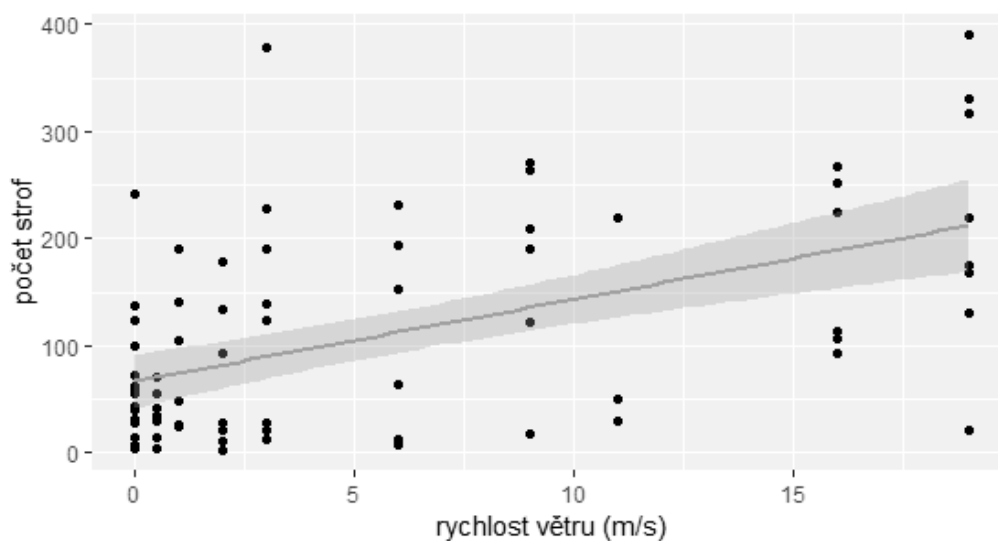
Tabulka 8: Výsledky vyhodnocení vlivu jednotlivých faktorů počasí na sledované charakteristiky zpěvu

Žádný z faktorů počasí neprokázal statisticky významný vliv na průměrnou délku strof. Výsledky ovšem vykazují signifikantní vliv rychlosti větru a vlhkosti vzduchu na celkovou délku a početnost strof. Předpoklady modelů byly splněny, viz diagnostické grafy v Příloha 1.

Největší vztah byl prokázán mezi celkovým počtem strof a rychlostí větru, kdy bylo modelem vysvětleno 40,39 % celkové variability. Grafické zobrazení tohoto vztahu je zobrazeno na Obrázku 8. Se zvyšující se rychlostí větru strnad zvyšuje svou aktivitu přibližně o 15 zazpívaných strof (Tabulka 8).

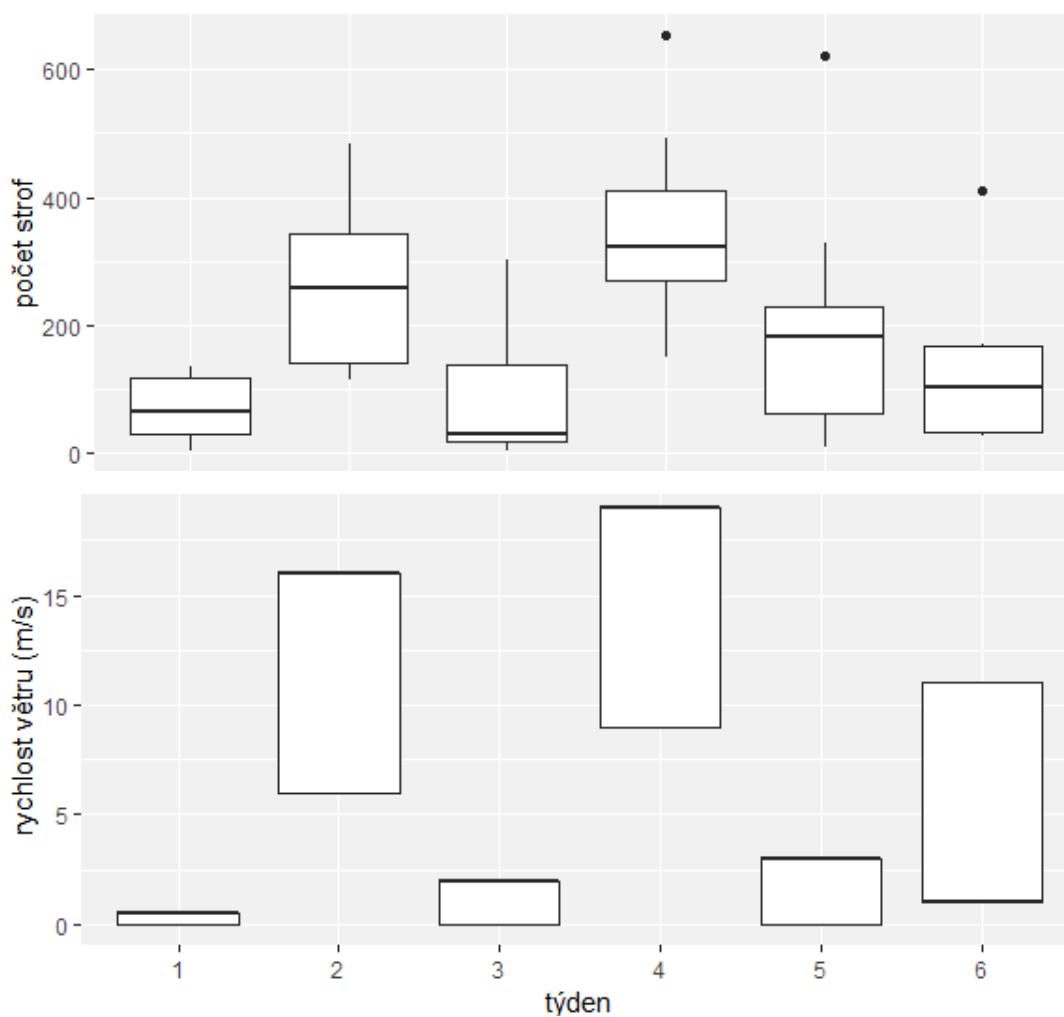
	Odhad	Střední chyba	t	p
Počátek	135,942	32,060	4,240	<b>0,000113</b>
Lokalita HW	-86,180	38,993	-2,210	<b>0,032345</b>
Rychlost větru	15,461	3,232	4,783	<b>1,96e-05</b>

Tabulka 9: Tabulka koeficientů pro model vysvětlující závislost rychlosti větru na celkový počet strof



Obrázek 12: Grafické zobrazení vlivu rychlosti větru na celkový počet strof

V návaznosti na možný vliv rychlosti větru na hlasovou aktivitu strnada v průběhu sezóny byl graficky znázorněn a vyhodnocen vývoj povětrnostních podmínek během sledovaných šesti týdnů. Grafy vykazují velmi podobný trend. Lze potvrdit, že strnad opravdu upravuje svou hlasovou aktivitu podle aktuálních povětrnostních podmínek, a to ve zvyšujícím se počtu zazpívaných strof a prodlužováním strof.



Obrázek 13: Grafické znázornění průběhu rychlosti větru za celé sledované období. Výše graf znázorňující počet zazpívaných strof v sezónním průběhu pro přehlednější porovnání podobnosti trendu. Stejný trend vykazoval i graf znázorňující celkovou délku v průběhu sezóny. Graf rychlosti větru vykazuje velké rozdíly v jednotlivých týdnech – to je způsobeno měřením ve dvou dnech (pro neděli a pondělí byly jiné údaje)

## 6. Diskuze

V rámci studia předložené práce byl sledován vlivu hluku pocházející z dálnic na průměrnou a celkovou délku zpívaných strof a celkový počet zaznamenaných strof strnada obecného. Výzkum byl vyhodnocován na základě nahrávek, které poskytovaly zvukové záznamy hlasové aktivity strnada. Z výsledků posuzování byly zjištěny jisté závislosti mezi sledovanými charakteristikami zpěvu a vlivem hlukového znečištění a dalších sledovaných faktorů.

### Typ lokality

Rozdíly v hlasovém projevu strnada na hlukově znečištěné oblasti v okolí dálnic a na kontrolní lokalitě v zemědělské krajině jevíly různé výsledky.

Průměrná délka strofy byla na lokalitě v blízkosti dálnic o 0,13 sekund kratší než na lokalitě klidné. Výsledek byl vyhodnocen jako statisticky nevýznamný, průměrný rozdíl není vysoký. Správnost tohoto faktu bylo možné potvrdit na základě výsledku Pešoutové (2018), kde bylo zjištěno, že se průměry se mezi lokalitami lišily o 0,14 s. Avšak z pohledu celkové délky, kde vztah s typem lokality vyšel naopak významně se zdá být rozdíl poněkud výraznější. Celková suma délek jednotlivých zpěvů za celých šest týdnů sledování byla na hlukově znečištěné lokalitě o 186 s menší. Strnad tedy na hlučných místech zkracuje délku zpívané strofy.

Podobný jev byl zaznamenán i u sýkory koňadry. Studie Slabbekoorn et den Boer-Visser (2006) zjistila zkracování délky jednotlivých strof u sýkory koňadry v urbanizovaných oblastech oproti oblastem lesním s podobnými porostními podmínkami. Toto zkracování se projevilo pouze v počáteční frázi strofy, nikoliv v ostatních. Naproti tomu Hamao et al. (2011), jejichž studie probíhala na různých místech v parkových oblastech odhalili, že sýkora koňadra v hlučnější oblasti naopak délku strofy prodlužuje. Je tomu v případě hluku vydávaného jinými ptačími jedinci, kteří mohou představovat konkurenci.

Počet strof se v závislosti na typu lokality také lišila. Vztah vyšel statisticky významný. Byl zaznamenán vyšší počet strof na lokalitách kontrolních – bez hlukového znečištění. Ovšem je nutno doplnit, že analyzování zpěvu na hlučných lokalitách bylo o to těžší při velkém množství šumu v pozadí způsobeného projíždějícími vozidly. Proto je velmi pravděpodobné, že nebyla zaznamenána



veškerá aktivita strnada a je nutné na tento fakt vzít ohled. Oproti tomu lze ale konstatovat, že počet jednotlivých strof byl na hlučné lokalitě o 3172 zaznamenaných strof menší než na kontrolní lokalitě, což je rozdíl poměrně vysoký a správným napočítám všech strof by se výsledek nejspíše nezměnil.

### **Sezóna**

Výsledky statistického vyhodnocení odhalily vliv sezóny na celkovou délku a počet strof. V průběhu sezóny měla délka i počet strof stejně kolísavý trend v průměrných hodnotách. V některém týdnu byla aktivita strnada větší a délka strof delší a naopak. Důvodem těchto různých průměrů může být také jednoduše doba hnízdění, a tedy různá hlasová aktivita strnada obecného. V době obhajování teritoria je jeho aktivita intenzivnější, naopak neaktivní je v době krmení mláďat, do kterého je samec činně zapojen. Patrně se také zpěv měnil v závislosti na východu Slunce, se kterým se posouval i čas analyzovaných nahrávek. V této práci byly zpracovány nahrávky hodinu po východu Slunce. V prvním týdnu se tedy jednalo o nahrávky od 7:00 do 8:00 a v posledním šestém týdnu to bylo o hodinu méně, tedy od 6:00 do 7:00. Je velmi pravděpodobné, že zmiňované faktory hrály nemalou roli ve výsledném hodnocení tohoto prediktoru a je na ně třeba brát zřetel.

Po vyhodnocení faktorů počasí byl však zjištěn blízký vztah mezi průběhem vokalizace strnada a povětrnostními podmínkami ve sledované sezóně.

### **Intenzita dopravy**

Strnad obecně reaguje na hluk zkrácením délky svého zpěvu. Ovšem v případě konkrétního faktoru způsobující hluk v podobě momentálně projíždějících vozidel neprojevil strnad žádné signifikantní změny ve svém akustickém projevu. Zřejmě tedy nereaguje na aktuální hlukovou situaci, tedy snižování a zvyšování intenzity hluku. Tyto výsledky jsou shodné s Pešoutová (2018) a Šímová (2018) pro 1. a 3. hodinu po východu slunce. V těchto pracích byla intenzita aktuálně projíždějících vozidel interpretována v pěti stupních provozu.

V případě působení dopravního hluku z dlouhodobého hlediska ukázalo statistické vyhodnocení významný vliv na průměrnou délku zpěvu. Jistě by se ale dalo zvážit i působení na celkovou délku a intenzitu zpěvu, a to dle výsledků blížících se hranici signifikanci.

Intenzita hlukového znečištění byla také posouzena z hlediska dne, proto nahrávání probíhalo každý týden vždy v neděli a v pondělí. Očekávána byla tedy různá intenzita dopravy v těchto dnech. V neděli ráno byl předpokládán klidnější provoz, naopak v pondělí ráno intenzivnější za předpokladu, že lidé cestují ráno do práce. Avšak Platil (2018) ze statistik ŘSD zjistil, že ačkoliv je provoz nejintenzivnější od pondělí, daleko rušnější bývá spíše od úterý do čtvrtek. Navíc hlavní roli v intenzitě hluku hraje množství nákladních vozidel, které v pondělí bylo až 4x vyšší než v neděli, načež osobní automobily vykazovaly poměrně shodný počet v neděli i v pondělí. Výsledky statistického hodnocení vlivu dne na hlasovou aktivitu strnada neprokázaly významnou změnu v délce zpěvu strnada, nýbrž v intenzitě zpěvu. Strnad tedy v tomto případě reagoval snížením své hlasové aktivity, a to konkrétně v pondělí, kdy bylo na lokalitách v blízkosti dálnic naměřeno celkem o 1603 zpěvů méně než v neděli.

Vlivem různé intenzity hluku se zabývali například McLaughlin et Kunc (2013), kteří jako první potvrdili vliv různých úrovní hlukového znečištění na hlasový projev červanky obecné. Samci tohoto druhu se zvyšující se intenzitou hluku za umělých podmínek zkracovali délku svého zpěvu nebo místo opustili. Ovšem v reálných podmínkách nejevili červanky žádnou významnou změnu ve svém chování.

Gil et al. (2015) hodnotili vliv letištní dopravy na změny ve vokalizaci ptáků žijících v blízkosti letišť. Zjistili, že ptáci reagují na různé intenzity hluku z letadel změnou v načasování začátku svého zpěvu. Vokalizují dříve ráno, aby zamezili střetu hlukového znečištění z letadel se svým akustickým projevem. Tento jev může být ale také pravděpodobně způsoben světelným znečištěním, které by mohlo pěvce motivovat k dřívější aktivitě.

### **Meteorologické vlivy**

Byl sledován vliv teploty vzduchu, rychlosti větru, vlhkosti a tlaku vzduchu. Teplota a tlak nebyly ve výsledcích prokazatelně signifikantní na sledované charakteristiky zpěvu. Oproti tomu rychlost větru a vlhkost působily na délku a intenzitu zpěvu významně.

Se zvyšující se vlhkostí strnad délku strofy zkracoval a zároveň zpíval méně často. Pozitivní vztah mezi intenzitou zpěvu strnada obecného a vlhkostí vzduchu

také potvrdil Platil (2018). I sýkora koňadra, dle studie Schäfer et al. (2017), reaguje na vlhkost. S rostoucí vlhkostí vzduchu prodlužuje délku nejkratšího prvku strofy.

Zajímavý výsledek poskytlo porovnání grafů se sezónním průběhem rychlosti větru a celkovou délkou a celkovým počtem strof. Kolísání průměrných hodnot vykazovalo stejný průběh během jednotlivých týdnů. Znamená to, že se zvyšující se rychlostí větru strnad zvyšoval svou aktivitu a délku strof. To je ovšem opačné chování, než které obecně vykazují ptáci při nepříznivých povětrnostních podmínkách. Ornitologické metodiky vždy uvádí, že sčítání ptactva by mělo probíhat při rychlosti větru maximálně do 5 m/s – při vyšších hodnotách hlasová aktivita klesá.

## 7. Závěr

Jen malé množství studií se dosud zabývalo změnami hlasového projevu strnada obecného na místech znečištěných hlukem z dálniční dopravy. A protože je strnad obecný nejpočetnějším ptákem vyskytujícím se v blízkosti dálnic, bylo více než vhodné věnovat této problematice pozornost a dozvědět se více o případné adaptaci tohoto druhu ptáka na tento lidský artefakt.

Tato práce posuzovala vliv hlukového znečištění na ranní vokalizaci strnada obecného u dálnic ve Středočeském kraji. V porovnání s kontrolní lokalitou bez hlukového znečištění bylo zjištěno, že samotný typ lokality má významný vliv na celkovou délku zpívaných strof a také na počet strof – na klidné lokalitě bylo za celých šest týdnů sledování napočítáno o více než 3000 strof více. Byl také zjištěn kolísavý trend v průběhu sezóny (Obrázek 5, 6 a7), který si byl velmi blízce podobný na hlukově znečištěné i klidné lokalitě pro všechny charakteristiky zpěvu – jen průměrná délka strof byla na lokalitě bez hlukového znečištění v průběhu sledované sezóny průměrně neměnná. Stejný trend vykazoval i průběh rychlosti větru, a tak bylo možné odvodit, že se zvyšující se rychlostí větru zpíval strnad častěji, a navíc používal delší strofy. Dalším sledovaným faktorem ke zjištění vlivu hlukového znečištění byl typ dne, tedy rozdíl mezi pracovním a volným. Zde byl prokázán signifikantní význam na změnu v počtu strof. V neděli byl strnad aktivnější o více než 2000 zazpívaných strof oproti pondělku, opět v rámci všech šesti sledovaných týdnů. Avšak nebyl prokázán statisticky významný vliv aktuálně projíždějících vozidel na úpravu akustického projevu strnada. Lze ovšem tvrdit, že dlouhodobý vliv dálniční dopravy změny ve vokalizaci způsobuje, byť výsledky již nebylo možné zařadit mezi statisticky významné, kvůli nepatrnému přesáhnutí stanovené hladiny významnosti  $\alpha$ .

Ačkoliv bylo hlavní myšlenkou posouzení vlivu hlukového znečištění, byl také vzat ohled na možný vliv počasí. Ze sledovaných faktorů počasí byl prokázán poměrně dost vysoký vliv rychlosti větru a vlhkosti vzduchu, a to na úpravu vokalizace strnada v celkové délce a celkovém počtu strof. Při vysokých rychlostech větru strnad zpívá častěji a prodlužuje délku strof.

Lze tedy potvrdit, že strnad reaguje na hlukové znečištění z dálniční dopravy snižováním své hlasové aktivity a zároveň je v některých případech nucen upravit

délku svého zpěvu. Ačkoliv je třeba z výsledků prací zaměřených na začátek a konec vokalizace doplnit, že strnad obecný se zdá být poměrně přizpůsobivý druh a na načasování začátku (Pešoutová, 2018; Šímová, 2018) ani konce (Platil, 2018) vokalizace neprojevil statisticky významnou změnu.

Je nutné ovšem vzít v potaz další možné faktory ovlivňující akustický projev strnada obecného, které by bylo vhodné použít pro další studium. Například hnízdní sezónu, světelné znečištění, populační hustotu, přítomnost jiných druhů ptáků (ačkoliv strnad bývá k jiným druhům poměrně lhostejný) nebo také zahájit studii v blízkosti jiných dálnic.

## 8. Seznam literatury

- Brumm H. et Slabbekoorn H., 2005: Acoustic Communication in Noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35. 159-201.
- Caro S.P., Keulen C. et Poncin, P., 2009: Song Repertoires in a Western European Population of Yellowhammers *Emberiza citrinella*. *Acta Ornithologica*, 44. 9–16.
- Cate C.T., Slabbekoorn H. et Ballintijn M.R.: 2002: Birdsong and male—male competition: Causes and consequences of vocal variability in the collared dove (*Streptopelia decaocto*). *Advances in the Study of Behavior*, 31(C). 31–75.
- Cramp S. et Perrins C. M. (eds.), 1994: *The Birds of the Western Palearctic Vol 9: Buntings and New World Warblers*. Oxford University Press.
- Da Silva A., Samplonius J.M., Schlicht E., Valcu M. et Kempenaers B., 2014. Artificial night lighting rather than traffic noise affects the daily timing of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Behavioral Ecology*, 25(5). 1037–1047.
- Dubois A. et Martens J., 1984: A case of possible vocal convergence between frogs and a bird in Himalayan torrents. *Journal of Ornithology*, 125(4). 455–463.
- Forman R.T.T. et Alexander L.E., 1998: Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1). 207–231.
- Forman R.T.T., Reineking B. et Hersperger A.M., 2002: Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 29(6). 782–800.
- Fox J. et Weisberg S., 2011: *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage.
- Fuller, R. A., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters*, 3(4), 368–370.
- Gil D., Honarmand M., Pascual J., Pérez-Mena E. et Garcia C.M., 2015: Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology*, 26(2). 435-443.

- Hamao S., Watanabe M. et Mori Y., 2011: Urban noise and male density affect songs in the great tit (*Parus major*). *Ethology Ecology and Evolution*, 23(2). 111-119.
- Hloušková B., 2017: Vliv světelného a hlukového znečištění na hlasovou aktivitu budníčka menšího. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Illner H., 1992: Road deaths of Westphalian owls: methodological problems, influence of road type and possible effects on population levels. In *The Ecology and Conservation of European Owls*, 5. 94–100.
- Lengagne T., 2008: Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran (*Hyla arborea*). *Biological Conservation*, 141(8). 2023–2031.
- Maršálková K., 2012: Vliv dálnice na ptačí společenstva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- McLaughlin K. E. et Kunc H. P., 2013: Experimentally increased noise levels change spatial and singing behaviour. *Biology Letters*, 9(1).
- Mockford E.J. et Marshall R.C., 2009: Effects of urban noise on song and response behaviour in great tits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1669). 2979-2985.
- Nemeth E. et Brumm H., 2009: Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? *Animal Behaviour*, 78(3). 637–641.
- Nemeth E., Pieretti N., Zollinger S.A., Geberzahn N., Partecke J., Miranda A.C. et Brumm H., 2013: Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754). 20122798–20122798.
- Nilsson M.E. et Berglund B., 2006: Soundscape quality in suburban green areas and city parks. *Acta Acustica united with Acustica*, 92(6). 903–911.
- Patricelli G. et Blickley J.J.L., 2006: Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *Auk*, 123(3). 639–649.

- Pešoutová D., 2018: Hlasová aktivita strnada obecného v blízkosti dálnic. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Petrusek A., Diblíková L., Petrusková T. et Pipek P., 2013: Ptačí nářečí, strnad obecný a občanská věda. Vesmír, 92(5). 250
- Petrusková T., Diblíková L., Pipek P., Frauendorf E., Procházka P. et Petrusek A., 2014: A review of the distribution of Yellowhammer (*Emberiza citrinella*) dialects in Europe reveals the lack of a clear macrogeographic pattern. Journal of Ornithology, 156(1). 263-273.
- Platil M., 2018: Hlasová aktivita strnada obecného v blízkosti dálnic. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- R Core Team, 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reijnen R. et Foppen R., 1991: Effect of road traffic on the breeding site-tenacity of male Willow Warblers (*Phylloscopus trochilus*). Journal of Ornithology, 132(3). 291–295.
- Reijnen R. et Foppen R., 1994: The Effects of Car Traffic on Breeding Bird Populations in Woodland. I. Evidence of Reduced Habitat Quality for Willow Warblers (*Phylloscopus trochilus*) Breeding Close to a Highway. The Journal of Applied Ecology, 31(1). 85–94.
- Rheindt F.E., 2003: The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? Journal fur Ornithologie, 144(3). 295-306.
- Riebel K., 2003: The „Mute“ Sex Revisited: Vocal Production and Perception Learning in Female Songbirds. Advances in the Study of Behavior, 33. 49–86.
- Ripmeester E.A.P., De Vries A.M. et Slabbekoorn H., 2007: Do blackbirds signal motivation to fight with their song? Ethology, 113(11). 1021–1028.
- Ryan M.J. et Brenowitz E.A., 1985: The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. American Naturalist, 126(1). 87.



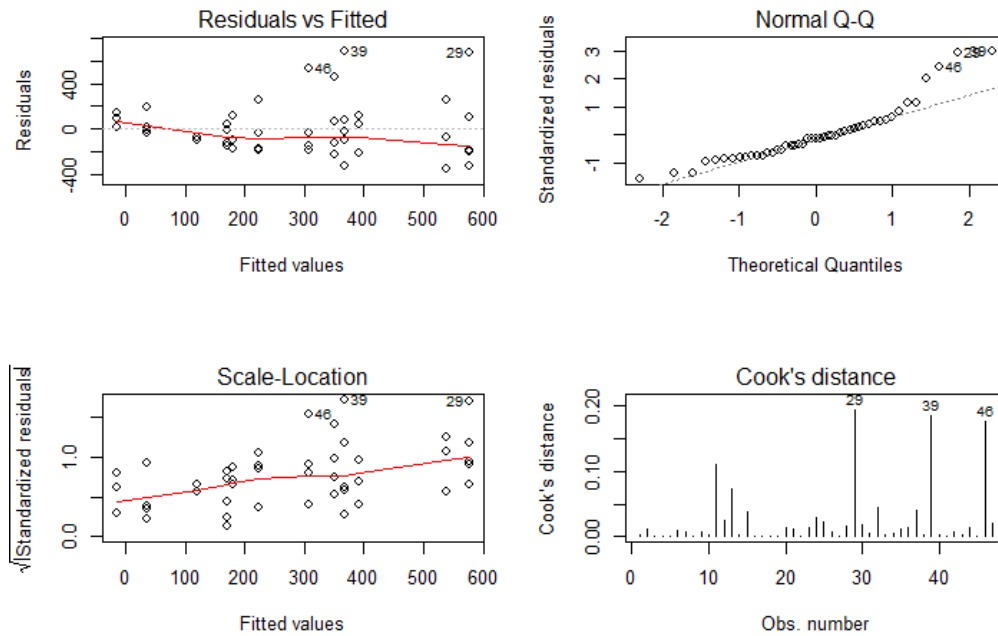
- Skiba R., 2000: Possible „rain call" selection in the chaffinch (*Fringilla coelebs*) by noise intensity—an investigation of a hypothesis. *J. Ornithol.*, 141(2). 160-167.
- Slabbekoorn H. et den Boer-Visser A., 2006: Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, 16(23). 2326–2331.
- Slabbekoorn H. et Peet M., 2003: Ecology: Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946). 267–267.
- Slabbekoorn H. et Ripmeester E.A.P., 2008: Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, 17(1). 72-83.
- Šímová T., 2018: Hlasová aktivita strnada obecného v blízkosti dálnic. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Šťastný K., Bejček V. et Hudec K., 2006: Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice 2001–2003. Aventinum. 464.
- Vlach M., 2016: Vliv hlukového a světelného znečištění na hlasovou aktivitu kosa černého. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Warren P.S., Katti M., Ermann M. et Brazel A., 2006: Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour*, 71(3). 491-502.
- Wickham H., 2011: The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1). 1-29.
- Wickham H., 2016: *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wiley R.H. et Richards D.G., 1978: Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: Implications for the evolution of animal vocalizations. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 3(1). 69–94.
- Wonke G. et Wallschläger D., 2009: Song dialects in the yellowhammer *Emberiza citrinella*: Bioacoustic variation between and within dialects. *Journal of Ornithology*, 150(1). 117-126.

## 9. Přílohy

### Příloha 1: Diagnostické grafy pro signifikantní modely.

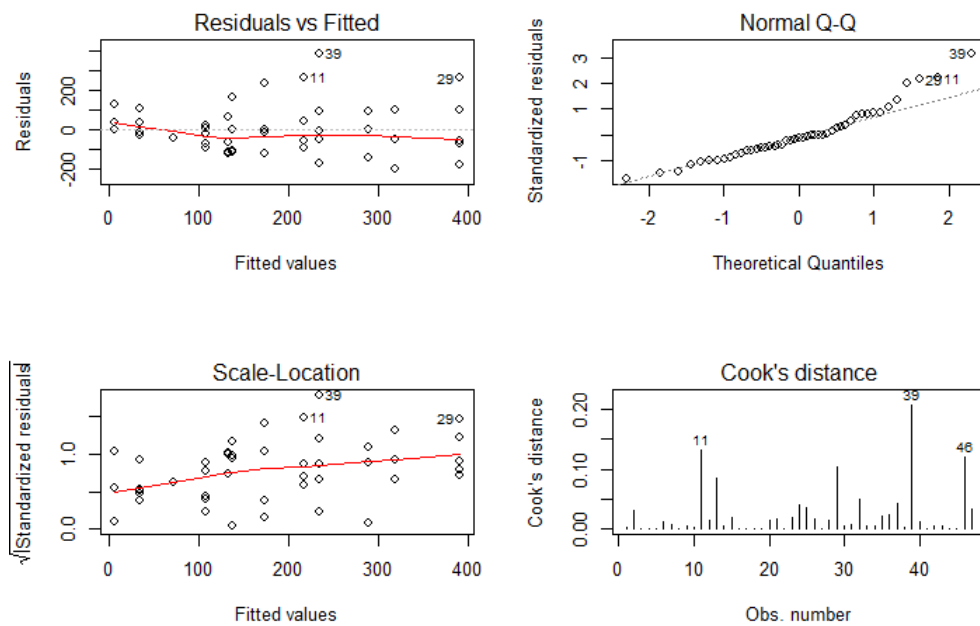
Diagnostické grafy pro model závislosti lokality a sezóny na celkovou délku strof.

Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.

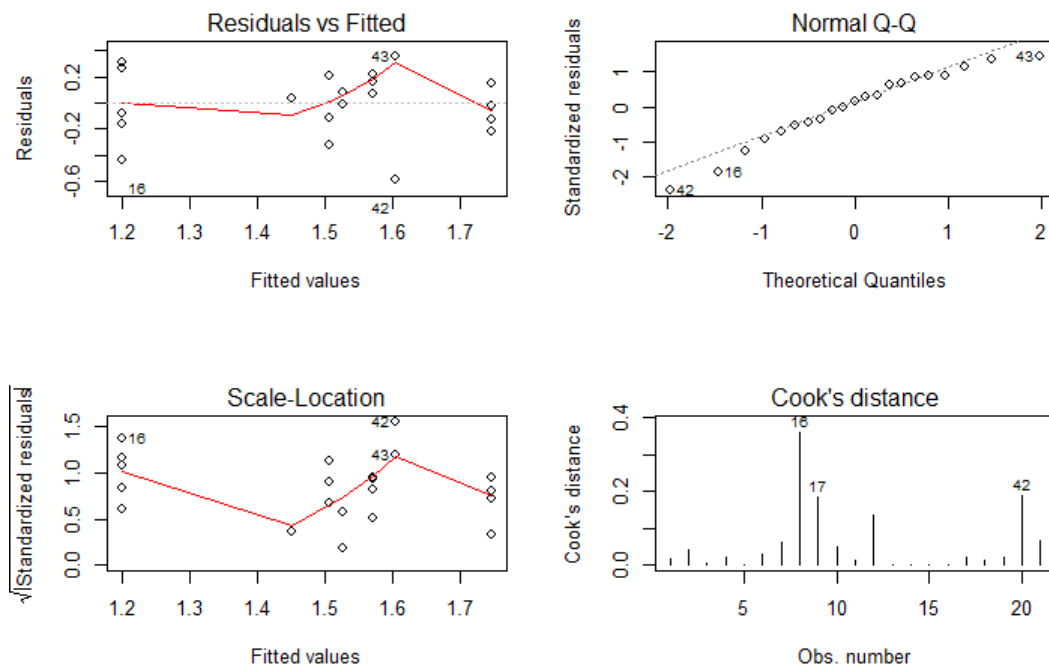


Diagnostické grafy pro model závislosti lokality a sezóny na celkový počet strof.

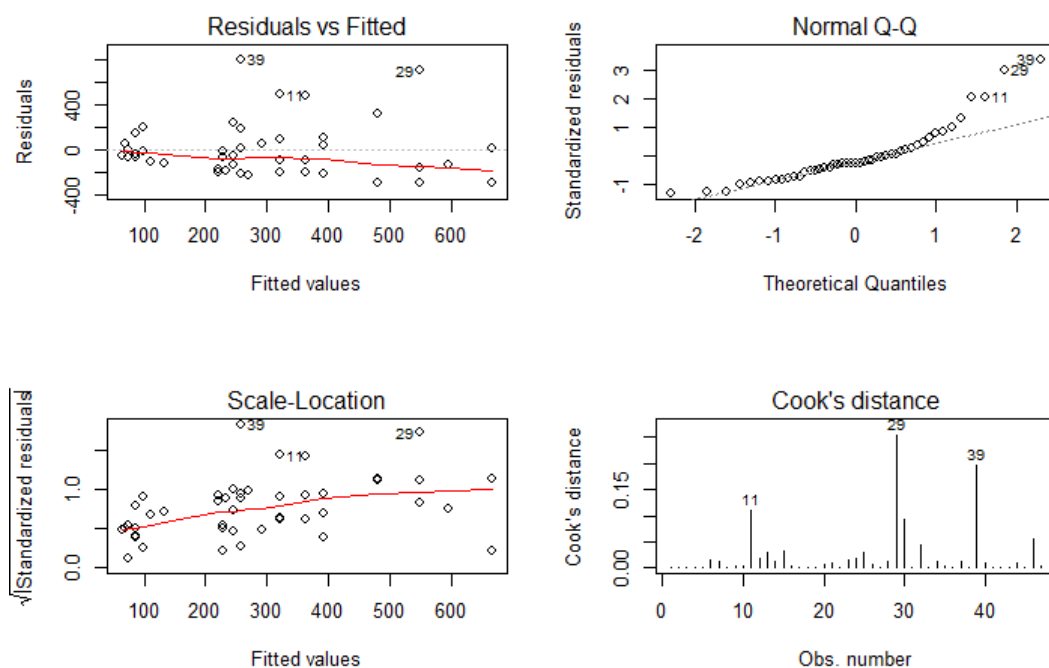
Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.



Diagnostické grafy pro model závislosti ročního průměru projíždějících vozidel (dlouhodobý vliv) na průměrnou délku strof. Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.

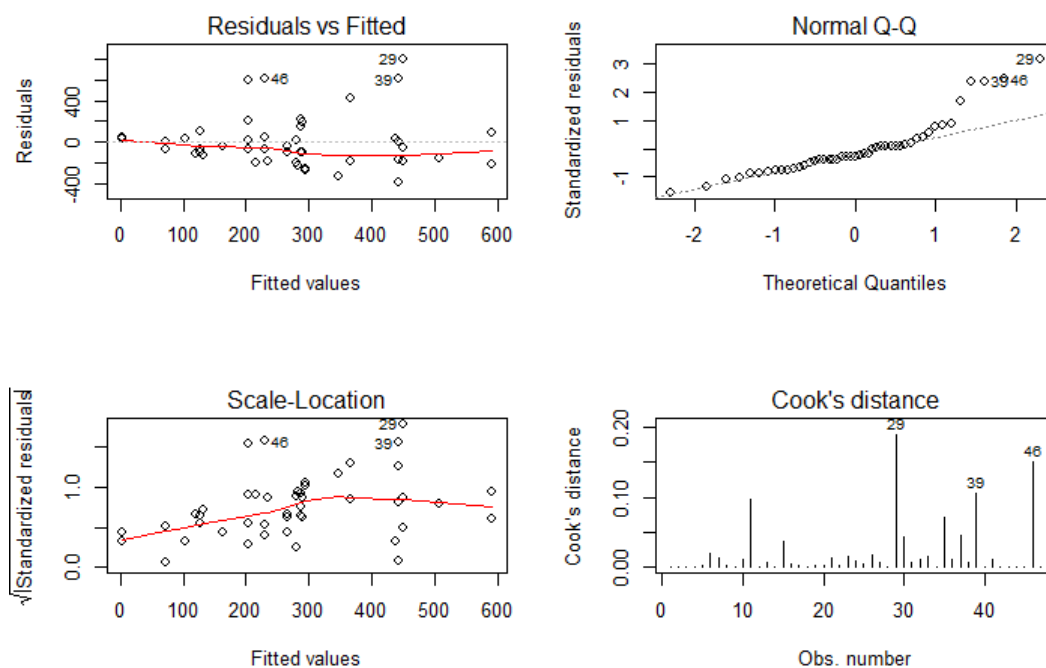


Diagnostické grafy pro model závislosti rychlosti větru na celkovou délku strof. Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.



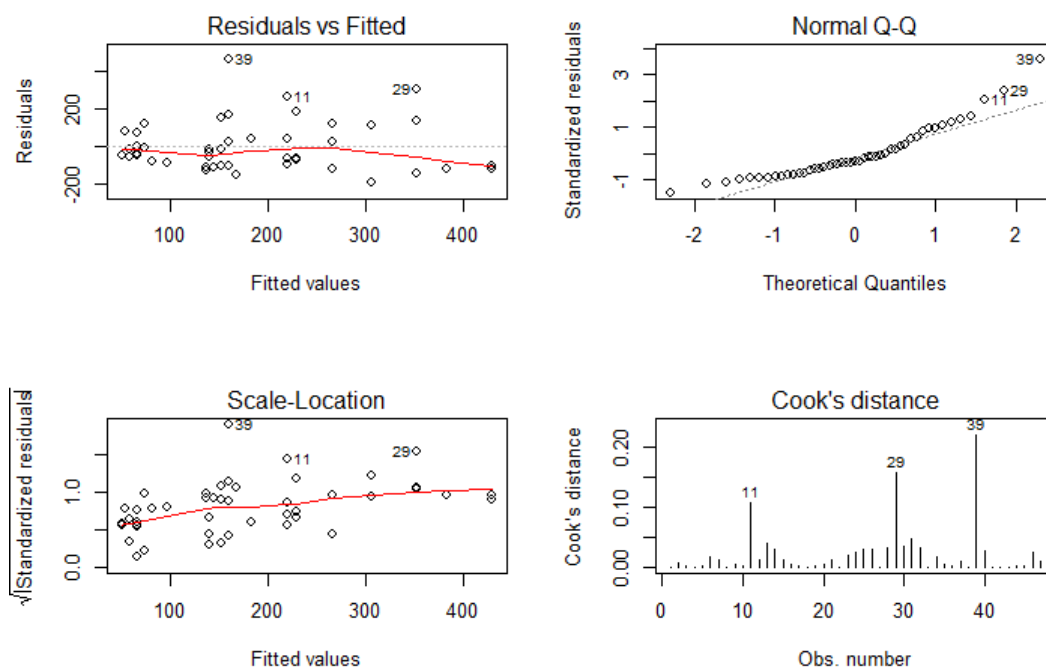
Diagnostické grafy pro model závislosti vlhkosti vzduchu na celkovou délku stromů.

Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.



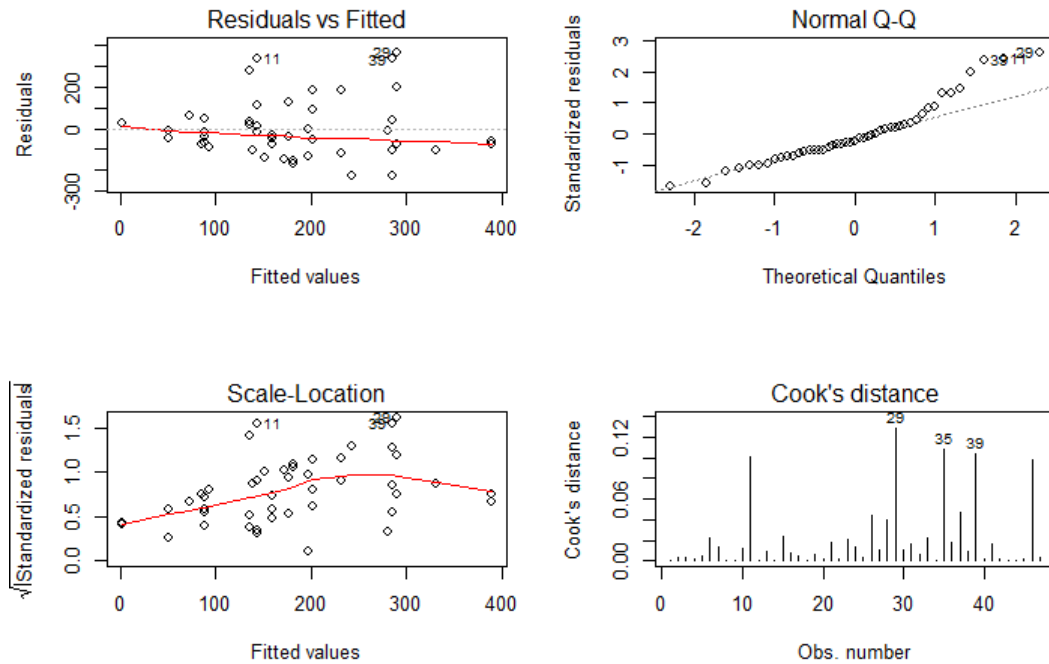
Diagnostické grafy pro model závislosti rychlosti větru na celkový počet stromů.

Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.



Diagnostické grafy pro model závislosti vlhkosti vzduchu na celkový počet strof.

Diagnostika je přijatelná a lze tvrdit, že byly splněny předpoklady normality.



**Příloha 2:** Tabulky koeficientů a tabulky Anova pro modely s vyhodnocením vlivu počasí na sledované charakteristiky zpěvu.

Průměrná délka strof

Teplota vzduchu

Anova Table (Type II tests)

```
Response: length_mean
          Sum Sq Df F value Pr(>F)
loc       0.2156  1  1.8971 0.1754
temp      0.0208  1  0.1829 0.6710
Residuals 4.9998 44
```

```
Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.72449 -0.23603  0.02734  0.22673  0.78774
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.600927   0.117403  13.636 <2e-16 ***
locHW       -0.137176   0.099594  -1.377  0.175
temp         0.004555   0.010653   0.428  0.671
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.3371 on 44 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.04864, Adjusted R-squared:  0.005401
```

F-statistic: 1.125 on 2 and 44 DF, p-value: 0.3338

### Rychlost větru

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_mean

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	0.1961	1	1.7949	0.1872
wind	0.2141	1	1.9602	0.1685
Residuals	4.8064	44		

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.70823	-0.24347	0.00558	0.23283	0.86490

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.576701	0.080027	19.70	<2e-16 ***
locHW	-0.130401	0.097335	-1.34	0.187
wind	0.011296	0.008068	1.40	0.169

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3305 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.08543, Adjusted R-squared: 0.04386  
F-statistic: 2.055 on 2 and 44 DF, p-value: 0.1402

### Tlak vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_mean

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	0.2197	1	2.0395	0.1603
pressure	0.2817	1	2.6155	0.1130
Residuals	4.7389	44		

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.72580	-0.23578	0.06673	0.18788	0.73518

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	16.213243	9.009878	1.799	0.0788 .
locHW	-0.137569	0.096328	-1.428	0.1603
pressure	-0.014406	0.008908	-1.617	0.1130

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3282 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.09829, Adjusted R-squared: 0.0573  
F-statistic: 2.398 on 2 and 44 DF, p-value: 0.1027

### Vlhkost vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_mean

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	0.2106	1	1.8685	0.1786
humidity	0.0611	1	0.5424	0.4653
Residuals	4.9594	44		

#### Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.72504	-0.24093	0.01945	0.22838	0.87607

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.966047	0.444319	4.425	6.27e-05 ***
locHW	-0.135259	0.098949	-1.367	0.179
humidity	-0.004013	0.005448	-0.737	0.465

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3357 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.05632, Adjusted R-squared: 0.01343  
F-statistic: 1.313 on 2 and 44 DF, p-value: 0.2793

### Celková délka strof

#### Teplota vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_sum

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	425567	1	5.4448	0.02426 *
temp	80725	1	1.0328	0.31505
Residuals	3439039	44		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-361.07	-180.75	-71.82	68.60	864.14

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	440.135	97.369	4.520	4.62e-05 ***
locHW	-192.738	82.599	-2.333	0.0243 *
temp	-8.979	8.835	-1.016	0.3151

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 279.6 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.12, Adjusted R-squared: 0.08005  
F-statistic: 3.001 on 2 and 44 DF, p-value: 0.06

### Rychlost větru

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_sum

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	289312	1	4.8991	0.0321014 *
wind	921405	1	15.6028	0.0002788 ***
Residuals	2598359	44		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-296.77	-148.52	-56.47	57.92	794.70

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	222.045	58.841	3.774	0.000478 ***
locHW	-158.404	71.566	-2.213	0.032101 *
wind	23.433	5.932	3.950	0.000279 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 243 on 44 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3352, Adjusted R-squared: 0.3049

F-statistic: 11.09 on 2 and 44 DF, p-value: 0.0001259

### Tlak vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_sum

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	380446	1	4.8150	0.03354 *
pressure	43212	1	0.5469	0.46351
Residuals	3476552	44		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-351.90	-185.07	-95.82	98.64	905.94

#### Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	6065.248	7717.146	0.786	0.4361
locHW	-181.047	82.507	-2.194	0.0335 *
pressure	-5.642	7.630	-0.740	0.4635

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 281.1 on 44 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1104, Adjusted R-squared: 0.07001

F-statistic: 2.731 on 2 and 44 DF, p-value: 0.07617



### Vlhkost vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: length\_sum

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	303345	1	4.4740	0.040113 *
humidity	536457	1	7.9121	0.007311 **
Residuals	2983307	44		

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-397.68	-163.26	-67.48	43.42	800.17

**Coefficients:**

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1316.994	344.611	3.822	0.000413 ***
locHW	-162.328	76.745	-2.115	0.040113 *
humidity	-11.886	4.226	-2.813	0.007311 **

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 260.4 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.2367, Adjusted R-squared: 0.202  
F-statistic: 6.82 on 2 and 44 DF, p-value: 0.00263

### Celkový počet strof

#### Teplota vzduchu

#### Anova Table (Type II tests)

Response: count

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	135600	1	5.2440	0.02687 *
temp	34746	1	1.3437	0.25263
Residuals	1137764	44		

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-229.85	-113.83	-31.60	87.06	427.65

**Coefficients:**

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	279.534	56.005	4.991	9.93e-06 ***
locHW	-108.796	47.510	-2.290	0.0269 *
temp	-5.891	5.082	-1.159	0.2526

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 160.8 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.1208, Adjusted R-squared: 0.08086  
F-statistic: 3.023 on 2 and 44 DF, p-value: 0.05885

## Rychlost větru

### Anova Table (Type II tests)

Response: count

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	85633	1	4.8846	0.03234 *
wind	401134	1	22.8810	1.965e-05 ***
Residuals	771376	44		

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-191.01	-96.48	-40.22	59.23	460.87

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	135.942	32.060	4.240	0.000113 ***
locHW	-86.180	38.993	-2.210	0.032345 *
wind	15.461	3.232	4.783	1.96e-05 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 132.4 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.4039, Adjusted R-squared: 0.3768  
F-statistic: 14.91 on 2 and 44 DF, p-value: 1.139e-05

## Tlak vzduchu

### Anova Table (Type II tests)

Response: count

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	119734	1	4.5215	0.03912 *
pressure	7349	1	0.2775	0.60098
Residuals	1165161	44		

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-207.24	-110.48	-49.65	94.13	434.22

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	2579.340	4467.611	0.577	0.5667
locHW	-101.567	47.765	-2.126	0.0391 *
pressure	-2.327	4.417	-0.527	0.6010

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 162.7 on 44 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.09965, Adjusted R-squared: 0.05872  
F-statistic: 2.435 on 2 and 44 DF, p-value: 0.09933

## Vlhkost vzduchu

### Anova Table (Type II tests)

Response: count

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
loc	88930	1	4.3105	0.0437511 *
humidity	264749	1	12.8326	0.0008467 ***
Residuals	907761	44		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-230.65	-84.18	-32.37	45.60	364.21

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	899.330	190.093	4.731	2.33e-05 ***
locHW	-87.892	42.334	-2.076	0.043751 *
humidity	-8.350	2.331	-3.582	0.000847 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 143.6 on 44 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2985, Adjusted R-squared: 0.2667

F-statistic: 9.364 on 2 and 44 DF, p-value: 0.0004092