

AKUSTICKÁ DETEKTABILITA LESNÍCH PTÁKŮ: PŘÍPADOVÁ STUDIE Z LITOVELSKÉHO POMORAVÍ

ACOUSTIC DETECTABILITY OF FOREST BIRDS: CASE STUDY FROM THE LITOVELSKE POMORAVI AREA (CZECH REPUBLIC)

KAREL POPRACH - IVO MACHAR ✉

Katedra rozvojových a environmentálních studií, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Křížkovského 511/8, 771 47 Olomouc, Czech Republic

✉ e-mail: ivo.machar@upol.cz

ABSTRACT

Species determination of forest birds in the field is mostly acoustic-based. Thus, acoustic detectability of birds is probably a key factor significantly affecting the results of bird census in forests. In this study, we focused on acoustic detectability of nesting birds in the European temperate floodplain forest. We analysed songs in passerines and territorial calls in non-passerine birds. The audibility of bird calls is relatively high, most species can be well acoustically detected at the distance of 100 m and longer. Good audibility was recorded (across the species under study) at the distance of 57–608 m (mean 213 m, median 175 m, SD = 117, n = 53), threshold audibility at the distance of 57–897 m (mean 231 m, median 185 m, SD = 151, n = 53). In a floodplain forest with closed canopy, the audibility of birds was significantly lower than in open habitats. The audibility of birds was rather low before 10 a. m. (Central European Summer Time) and increased later due to the decline of vocal activity of a part of the bird assemblage, when a smaller number of individuals was calling and, at the same time, the threshold distance of their audibility increased. The audibility is higher in species with larger body size (body mass > 50 g) in comparison with smaller species (body mass ≤ 50 g). In the paper, some factors affecting the acoustic detectability of forest birds are discussed.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: bodový transekt; lužní les; monitoring ptáků; slyšitelnost ptáků v lesním prostředí

Key words: audibility of birds; bird monitoring; floodplain forest; point transect

ÚVOD

Monitoring lesních ptáků přináší zásadní poznatky pro hodnocení ekologické kvality lesních ekosystémů (PIERCE, KING 2011; MACHAR 2012a; PECHANEC et al. 2015; KROFTOVÁ, REIF 2017) a pro udržitelný lesnický management, zohledňující udržení biodiverzity lesních ekosystémů (MARQUES et al. 2013; MACHAR et al. 2018). K monitoringu populací lesních ptáků je nejčastěji využívána metoda bodového transektu (VERNER 1985; BIBBY et al. 2007). Při této metodě monitoringu lesních ptáků je důležité přesné určení vzdáleností registrovaných ptačích jedinců (ALLDREDGE et al. 2007b), což umožňuje objektivnější odhady početnosti ptáků (BUCKLAND et al. 2001). V lesním porostu jsou ptáci při monitoringu determinováni převážně akusticky (a méně často vizuálně).

V zalesněné krajině temperátní zóny severní Ameriky dosahuje míra akustické determinace ptáků přibližně 70 % skutečné diverzity ptačího

společenstva (SAUER et al. 1994a), v tropických lesích 81 % (SCOTT et al. 1981) a v temperátních listnatých lesích 94 % (DEJONG, EMLÉN 1985). Terénní data z monitoringu ptáků na bodovém transektu ve středoevropském lužním lese (POPRACH, VRBKOVÁ 2015) ukazují, že akustická determinace ptačích druhů v polovině dubna detekuje 70–80 % ptačích druhů ve společenstvu (zbývajících 20–30 % druhů společenstva je determinováno vizuálně). V polovině května (kdy je již lužní les z větší části olistěný) se podíl akustických determinací zvyšuje na 90–95 % ptačích druhů ve společenstvu a v polovině června podíl akustických determinací ptáků již dosahuje 100 %.

Vzdálenosti akusticky registrovaných ptačích jedinců v lesních ekosystémech jsou při monitoringu odhadovány, přičemž pozorovatelé mají tendenci determinované ptáky lokalizovat pouze do dvou úrovní vzdáleností, a sice „blízko“ a „daleko“, a nedovedou skutečnou vzdálenost dostatečně přesně určit (REIF, MUSIL 2005). SIMONS et al. (2007) za použití reprodukováných nahrávek ptačích hlasů zjistili, že na mo-

nitorovacích bodech bez vymezení hranice kolem sčítacího bodu měli pozorovatelé tendenci počet registrací v průměru podhodnocovat, zatímco v kruhu o poloměru 50 m naopak nadhodnocovat. Navíc, počet druhů na monitorovacích bodech v lesích bude oproti počtu druhů na monitorovacích bodech v otevřené krajině podhodnocen (HUBÁLEK 1997). K chybám v akustické lokalizaci ptáků v lesích dochází v důsledku různé míry zeslabení a odrazu zvuku v rozdílném prostředí (MORTON 1975; RICHARDS, WILEY 1980; WILEY, RICHARDS 1982; BIBBY, BUCKLAND 1987). Některé studie (BUCKLAND et al. 2001; BURNHAM et al. 2004) indikují průměrnou chybu u vzdáleností určených necvičenými pozorovateli 9 m (SD = 25,8 m) a u trénovaných pozorovatelů 7,6 m (SD = 21,4 m). Pro obě skupiny pozorovatelů byly odhady nadhodnocovány ve vzdálenosti 23 m, mírně podhodnoceny ve vzdálenosti 37 m a nadhodnoceny pro vzdálenost 52 a 75 m, v kombinaci se směrem a výškou zvukového zdroje. Chyby v určení vzdáleností mohou ovlivnit odhady velikosti populace pro studovanou plochu (MARQUES 2004). Porozumění chybám v určování vzdáleností determinovaných ptáků, především u akustických determinací, je klíčové pro vyhodnocení získaných výsledků z monitoringu lesních ptáků.

K chybám v určování vzdáleností dochází také z důvodu chybné lokalizace vjemu a následně chybného odhadu vzdálenosti a – jak prezentujeme v naší práci – i z důvodu různých vnějších faktorů, které hlasitost zvuku a jeho zachytitelnost významně ovlivňují. VERNER (1985), ALLDREDGE et al. (2007a) a SIMONS et al. (2007) shodně upozornili, že mezi další potenciální zdroje chyb pro akustický odhad vzdáleností lze zařadit samotného výzkumníka (jeho subjektivní absolutní citlivost sluchu, jeho subjektivní schopnost identifikovat konkrétní akustický signál od akustického šumu apod.), dále typ prostředí (např. potenciální tlumení akustického signálu v různých strukturovaných typech vegetace) a ptačí druh (různá amplituda hlasů u různých druhů, intenzita hlasových projevů). JÄRVINEN, VÄISÄNEN (1976) uvádějí jako další možný zdroj chyb i efekt určitého subjektivního „přesycení“ pozorovatele („swamping“).

U většiny ptačích druhů chybí metodika, která by stanovila vzdálenost slyšitelnosti akustických projevů ptáků. Na základě experimentu realizovaném v České republice se výsledky pozorovatelů zaznamenávajících ptáky ve stejnou dobu a na stejném místě lišily zjištěnou početností ptáků, počtem druhů a zařazením ptáků do kategorie vzdálenosti (ŠEVČÍKOVÁ, KŘENEK 2014). Získané terénní výsledky jsou proto vždy zčásti subjektivní, neboť zkušenosti s akustickou determinací ptáků a odhadem vzdálenosti jejich pozice se získávají celoživotně (SAUER et al. 1994b).

Cílem této práce je analýza akustické detektability ptáků v rámci variability ptačích druhů a některých faktorů, ovlivňujících akustickou detektabilitu ptáků v ekosystému tvrdého lužního lesa, jehož ornitocenózy patří mezi druhově nejbohatší v rámci biomu opadavého lesa temperátní klimatické zóny.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika území a sběr dat

Zaznamenávání vzdáleností akustické detektability ptáků v lesním ekosystému jsme prováděli v období let 2010–2015 v chráněné krajině oblasti Litovelské Pomoraví (MACHAR 2009; KILIANOVA et al. 2017). Jedná se o území údolní nivy řeky Moravy severně od Olomouce s rozsáhlými komplexy lužních lesů s vysokou ekologickou stabilitou (MACHAR 2012b; KOVAŘÍK et al. 2014). V tomto území převažují typy biotopů lužního lesa zařazené v české klasifikaci biotopů soustavy Natura 2000 do typu tvrdé luhy nížinných řek s kódem 91F0 (KILIANOVA et al. 2012). V lužním lese studovaného území je společenstvo

hnízdících ptáků druhově velmi bohaté – dosahuje počtu 43 hnízdících druhů (MACHAR 2011).

Větší část celkového počtu terénních měření detektability ptáků byla realizována v interiéru tvrdého lužního lesa (51,6 %) a ostatní měření proběhla v nelesních biotopech lužní krajiny (48,4 %), zahrnujících louky a pole v sousedství lužního lesa a doprovodné porosty kolem vodotečí. Z hlediska sezonního rozložení měření bylo v měsíci květnu realizováno celkem 60 měření, v červnu 28, v dubnu 3 a v červenci 2. Měření byla prováděna výhradně v době bezvětří. Celkem byly v terénu získány výsledky akustické detektability pro 36 druhů ptáků. Čas jednotlivých měření je udáván v hodinách letního středoevropského času.

Pro měření vzdálenosti ozývajících se ptáků byl používán notebook propojený s GPS modulem Qstarz BT-Q1000XT, přenos dat o vlastní pozici zajišťoval SW GpsGate. GPS modul určoval pozici relativně přesně, s chybou do 5 m. Z důvodu usnadnění orientace ve vzrostlém lužním lese byla pro měření vzdáleností doplňkově využívána síť orientačních bodů, např. křižovatky lesních cest, křížení hranic lesních porostů apod. Akustická detektabilita byla měřena u jedinců, kteří se dlouhodobě ozývali z jednoho místa, a to dvěma způsoby: a) měřením vzdáleností mezi dvěma body – zaměřena byla pozice ozývajícího se ptačího jedince; b) měřením vzdáleností mezi bodem a okrajem biotopu (např. pás zeleně kolem vodoteče, větrolam ap.), ze kterého se daný jedinec ozýval. Z údajů o vlastní pozici pozorovatele a o pozici ozývajícího se ptačího jedince bylo možné změřit vzdálenost pro určení akustické detektability (definované jako maximální vzdálenost ptáka od pozorovatele, na níž je ještě možné přesné druhové určení ptačího jedince).

Analýza dat

Pro statistické analýzy byl použit Wilcoxonův exaktní dvouvýběrový test (R software, exactRankTests package). Data jsou v textu číselně prezentována prostřednictvím sumárních charakteristik – medián, aritmetický průměr, minimum, maximum a graficky prostřednictvím boxplotů (typ medián + mezikvartilové rozpětí) a bodových grafů. Analýza dat byla zaměřena na vyhodnocení akustické detektability pro menší druhy ptáků (tj. pro pěvce do velikosti dlaska tlustozobého *Coccothraustes coccothraustes* o průměrné hmotnosti < 50 g) a pro větší druhy ptáků (špaček obecný *Sturnus vulgaris*, drozdovití Turdidae, měkkozobí Columbiformes ap., průměrná hmotnost > 50 g) ve dvou typech biotopů (lužní les a nelesní otevřený biotop). Analýza akustické detektability se soustředila i na testování závislosti detektability na čase pozorování v rámci dvou časových intervalů: 6:00–9:59 hodin a 10:00–14:00 hodin.

VÝSLEDKY

Ve studovaném území lužní krajiny byla většina ptačích druhů (tab. 1.) akusticky dobře detekovatelná na vzdálenost 100 m a větší. Akustická detektabilita ptáků se pohybovala v rozmezí 57–897 m (průměr 293 m, medián 187 m, SD = 148, n = 102). V interiéru porostu lužního lesa byla slyšitelnost ptáků významně nižší než v nelesních otevřených biotopech lužní krajiny (W = 592, p < 0,001) – obr. 1. V lužním lese byla nejkratší mezní vzdálenost slyšitelnosti zaznamenána u lejska bělokřehého (*Ficedula albicollis*) – 75 m – a nejdelší u strnada obecného (*Emberiza citrinella*), a to 393 m. V nelesním biotopu lužní krajiny jsme nejkratší vzdálenost akustické detektability zaznamenali u cvrčilky říční (*Locustella fluviatilis*) – 57 m (měřeno přes skupinu keřů) a nejdelší u kukačky obecné (*Cuculus canorus*) – 897 m (měřeno k okraji biotopu, ze kterého se druh ozýval). Souhrn naměřených dat pro jednotlivé detekované druhy prezentuje tab. 1. Největší rozpětí naměřených hodnot akustické detektability jsme získali u pěnice černohlavé (*Sylvia atricapilla*) – 101–391 m (n = 13), u budníčka menšího

Tab. 1.

Výsledky měření akustické detektability ptáků ve studovaném území
Results of acoustic detectability measurements in the study area

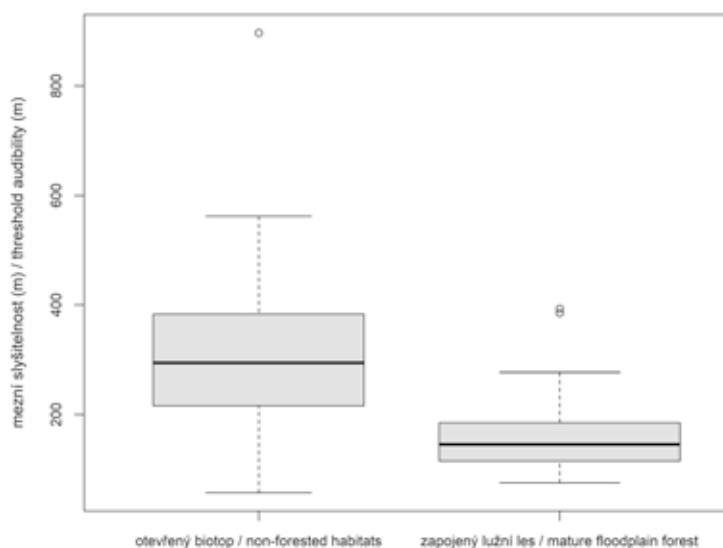
Druh/Species	Biotop	Způsob měření/Way of measurement	Slyšitelnost/Audibility (m)	Počet měření/Number of measurements (n)	Průměr/Average (m)	Medián (m)	Směrodatná odchylka/Standard deviation (m)
<i>Anas platyrhynchos</i>	nezapojený ¹	okraj biotopu ³	273	1	273,0	273,0	0,0
<i>Phasianus colchicus</i>	nezapojený	bod ⁴	240	1	240,0	240,0	0,0
<i>Columba palumbus</i>	zapojený ²	bod	110–277	2	193,5	193,5	83,5
<i>Streptopelia decaocto</i>	nezapojený	bod, okraj biotopu	120–294	2	207,0	207,0	87,0
<i>Streptopelia turtur</i>	nezapojený (3), zapojený (1)	okraj biotopu (3), bod (1)	126–562	4	315,3	286,5	156,9
<i>Cuculus canorus</i>	nezapojený	okraj biotopu	520–897	3	675,0	608,0	161,0
<i>Strix aluco</i>	nezapojený	okraj biotopu	852	1	852,0	852,0	0,0
<i>Asio otus</i>	nezapojený	bod	110–125	3	120,0	125,0	7,1
<i>Upupa epops</i>	zapojený	bod	145	1	145,0	145,0	0,0
<i>Dendrocopos major</i>	nezapojený	okraj biotopu	521	1	521,0	521,0	0,0
<i>Dendrocopos medius</i>	zapojený	bod, okraj biotopu	250–385	2	317,5	317,5	67,5
<i>Anthus trivialis</i>	nezapojený	bod	357	1	357,0	357,0	0,0
<i>Troglodytes troglodytes</i>	zapojený	bod	147	1	147,0	147,0	0,0
<i>Erithacus rubecula</i>	zapojený	bod	134–144	2	139,0	139,0	5,0
<i>Luscinia megarhynchos</i>	nezapojený (4), zapojený (1)	bod	130–415	5	273,4	224,0	105,8
<i>Phoenicurus ochruros</i>	nezapojený	bod	150	1	150,0	150,0	0,0
<i>Turdus merula</i>	nezapojený	okraj biotopu (2), bod (1)	175–387	3	256,0	206,0	93,5
<i>Turdus pilaris</i>	nezapojený	bod	188	1	188,0	188,0	0,0
<i>Turdus philomelos</i>	zapojený (2), nezapojený (2)	bod (3), okraj biotopu (1)	225–429	4	293,0	259,0	80,5
<i>Locustella naevia</i>	nezapojený	okraj biotopu	142	1	142,0	142,0	0,0
<i>Locustella fluviatilis</i>	nezapojený (3)	bod (3)	57–220	3	153,7	184,0	69,9
<i>Sylvia communis</i>	nezapojený	bod	194–322	3	274,7	308,0	57,3
<i>Sylvia atricapilla</i>	zapojený (8), nezapojený (5)	bod (8), okraj biotopu (5)	101–391	13	204,9	175,0	90,4
<i>Phylloscopus collybita</i>	zapojený (4), nezapojený (3)	bod	78–421	7	232,3	185,0	127,5
<i>Muscicapa striata</i>	zapojený	bod	91	1	91,0	91,0	0,0
<i>Ficedula albicollis</i>	zapojený	bod	75–80	3	78,0	79,0	2,2
<i>Cyanistes caeruleus</i>	zapojený	bod	118	1	118,0	118,0	0,0
<i>Parus major</i>	nezapojený (5), zapojený (2)	bod (6), okraj biotopu (1)	110–219	7	168,4	175,0	37,8
<i>Sitta europaea</i>	zapojený (2), nezapojený (1)	bod (2), okraj biotopu (1)	76–156	3	110,7	100,0	33,5
<i>Oriolus oriolus</i>	nezapojený	okraj biotopu	290–426	2	358,0	358,0	68,0
<i>Sturnus vulgaris</i>	zapojený	bod	185	1	185,0	185,0	0,0
<i>Passer domesticus</i>	nezapojený	bod	115	1	115,0	115,0	0,0
<i>Fringilla coelebs</i>	zapojený (6), nezapojený (1)	bod	130–190	7	156,4	149,0	21,3
<i>Carduelis chloris</i>	nezapojený	bod	160–369	2	264,5	264,5	104,5
<i>Emberiza citrinella</i>	nezapojený (6), zapojený (1)	bod (5), okraj biotopu (2)	268–428	7	330,1	305,0	60,4
<i>Emberiza calandra</i>	nezapojený	bod	175	1	175,0	175,0	0,0
CELKEM			57–897	102	238,6	187,0	148,1

Captions: ¹non-forested habitat; ²mature forest; ³edge of a biotop; ⁴point

(*Phylloscopus collybita*) – 78–421 m (n = 7) a u pěnkavy obecné (*Fringilla coelebs*) – 130–190 m (n = 7).

Časový průběh hlasové aktivity hodnocených ptačích jedinců je zřejmý z obr. 2. Při hodnocení akustické detektability ptáků ve dvou časových intervalech (6:00–9:59 hod; 10:00–14:00 hod) byla slyšitelnost statisticky významně nižší v intervalu 6:00–9:59 hod (W = 184, p < 0,001) – obr. 3.

Akustická detektabilita ptačích druhů byla statisticky významně vyšší u větších druhů ptáků (průměrná hmotnost jedince > 50 g) než u menších druhů (průměrná hmotnost jedince ≤ 50 g), viz obr. 4 (W = 77, p = 0,0202). Výjimkou jsou naměřené údaje u střízlíka obecného (*Troglodytes troglodytes*), patřícího do kategorie menších druhů, u něhož největší vzdálenost akustické detektability dosáhla až 147 m (tab. 1).

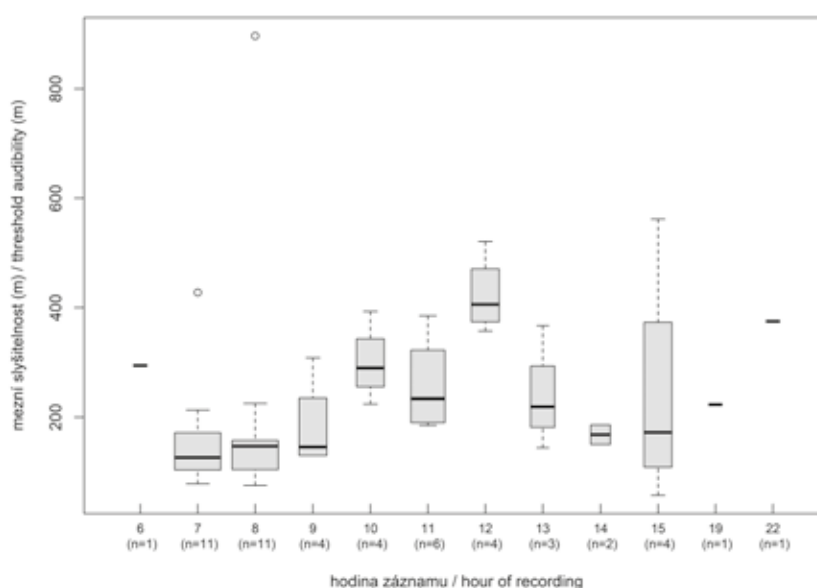


Obr. 1.

Porovnání akustické detektability ptáků v interiéru lužního lesa (n = 32 měření) a v nelesních biotopech lužní krajiny (n = 21 měření)

Fig. 1.

Comparison of acoustic detectability of birds in an interior of mature floodplain forest (n = 32 measurements) and in non-forested habitats (n = 21 measurements)



Obr. 2.

Akustická detektabilita ptáků v závislosti na čase v průběhu dne

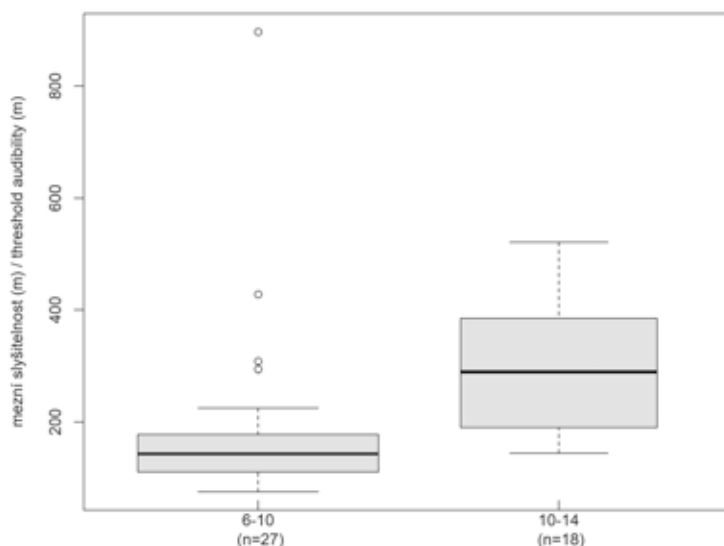
Fig. 2.

Acoustic detectability of birds in relation to the time of a day

DISKUSE

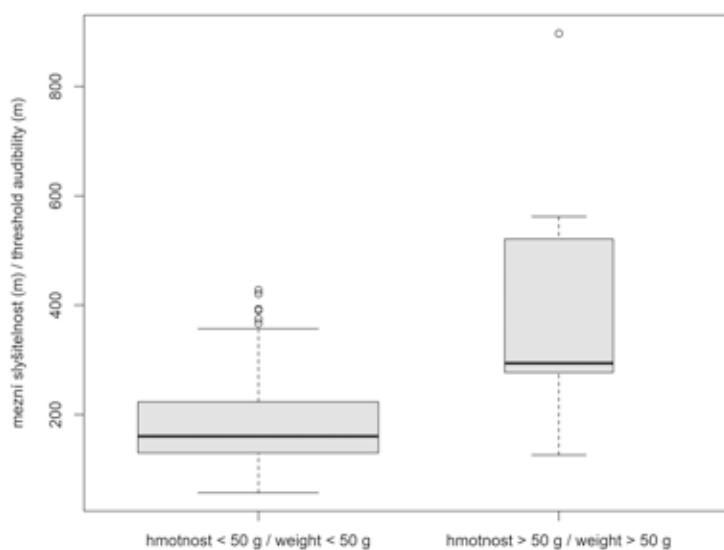
Výsledky této práce ukazují, že větší část hodnocených ptačích druhů v lužní krajině je dobře slyšitelná a akusticky detekovatelná na vzdálenost 100 m a delší. Obdobnou zkušenost z lesního biotopu na základě experimentu přehrání playbacku ptačího zpěvu uvádějí SIMONS et al. (2007). Maximální průměrná vzdálenost, na kterou pozorovatelé v ci-

tované studii reprodukováné zpěvy ptáků určovali, se pohybovala od 114 m do 157 m v závislosti na konkrétním ptačím druhu. Zjištěné průměrné maximální vzdálenosti se však snižovaly při větru o 6,8 %, při reprodukci zvukové kulisy ptačího zpěvu o 5,7 % (docházelo ke zmenšení odhadu vzdálenosti sledovaného druhu a současně ke zvýšení chybných identifikací) a při reprodukci hlukové kulisy 10 db o 5,5 %, kdy většina pozorovatelů nebyla schopna ptáky slyšet na vzdálenost delší než 75 m.



Obr. 3. Akustická detektabilita ptáků vyhodnocená v rozmezí dvou časových intervalů (6:00–9:59 hod a 10:00–14:00 hod)

Fig. 3. Comparison of acoustic detectability of birds in two time intervals per day (6:00 a.m. – 9:59 a.m and 10:00 a.m. – 2:00 p.m.)



Obr. 4. Akustická detektabilita ptáků vztažená na velikostní kategorie ptáků: menší druhy ptáků (hmotnost ≤ 50 g) a větší druhy ptáků (hmotnost > 50 g)

Fig. 4. Acoustic detectability for smaller (body weight ≤ 50 g) compared to larger (body weight > 50 g) bird species

Významný vliv na slyšitelnost ptáků má samozřejmě denní doba (MACHAR et al. 2016). Výsledky této studie ukazují, že akustická detektabilita ptáků v lužní krajině je relativně nízká do 10. hodiny dopoledne, kdy se ozývá větší počet jedinců a tvoří významnou zvukovou kulisu, rušící detektabilitu konkrétních druhů. Později v průběhu dne akustická detektabilita ptáků narůstá v důsledku poklesu hlasové aktivity části ptačího společenstva. Mezní vzdálenost slyšitelnosti pěnkavy obecné v lužním lese jsme naměřili mezi 8.–10. hodinou, a to 130 a 156 m, po 11. hodině to bylo 190 m. Podobně mezní vzdálenost slyšitelnosti zpěvu pěnice černohlavé v lužním lese v časovém intervalu 7:20–9:15 hodin jsme naměřili 101–161 m (průměr 135,2 m; $n = 5$), v 11:10 hodin již 190 m a přes polní biotop ve 12:30 hodin dokonce 391 m (tab. 1.). Brzy ráno, kdy začínají zpívat první jednotliví ptáci, je jejich slyšitelnost velmi dobrá, ovšem brzy se začínají ozývat další ptačí jedinci, vzniká tím hluková kulisa a slyšitelnost konkrétních jedinců významně klesá. Např. zpěv slavíka obecného (*Luscinia megarhynchos*), který jsme měřili ve 3:30 hodin (slavík zpíval v té době jako jediný z ptáků), byl slyšet na vzdálenost 415 m. Ve 3:45 hodin začaly zpívat další druhy ptáků a zpěv slavíka obecného na tuto velkou vzdálenost již nebyl detekovatelný. Zvuková kulisa je tedy zřejmě jedním z významných faktorů, ovlivňujících akustickou detektabilitu ptáků. S narůstajícím okolním hlukem se obecně zvyšuje počet chybných akustických determinací ptačích druhů (HALFWERK et al. 2011). Např. zvukové efekty působené větrem v lese mohou zesilovat či zeslabovat přicházející hlasový projev ptáka. Z toho důvodu byla naše měření realizována výhradně v době bezvětří. Podobně zvuková kulisa způsobená různou intenzitou hlasových projevů ptačího společenstva, včetně zvukových projevů dalších druhů zvířat, např. hlasy obojživelníků, může výrazně zhoršovat akustickou detektabilitu konkrétních ptačích druhů (LEONARD, HORN 2012). Výzkum akustické detektability lesních ptáků v Panamě dokonce naznačil, že ptáci se mohou pokoušet frekvence svých hlasových projevů synchronizovat s hlasovými projevy hmyzu (STANLEY et al. 2016). V rámci našich terénních měření při vzdalování se od zpívajícího samce pěnkavy obecné a při současném vstupování do hnízdních teritorií jiných samců téhož druhu bylo dobře patrné, jak postupně zaniká zpěv sledovaného jedince ve zpěvu okolních samců téhož druhu. Na vliv hluku prostředí a hluku v podobě zvukové kulisy na slyšitelnost ptáků upozorňuje řada autorů, např. BROWN et al. (2013); LAZERTE et al. (2015) a KOPER et al. (2016).

Důležitým faktorem ovlivňujícím akustickou detektabilitu ptáků je i typ biotopu, ve kterém se daný ptačí jedinec ozývá (REIF, MUSIL 2005; PETRUSKOVÁ 2011). Výsledky naší práce ukazují, že v bohatě strukturovaném porostu lužního lesa je slyšitelnost ptáků významně nižší než v otevřeném prostoru nelesních biotopů. Tuto skutečnost lze dokumentovat na příkladu slyšitelnosti zpěvu cvrčilky říční, kdy námi zjištěná mezní vzdálenost slyšitelnosti přes lesní porost s hustým keřovým patrem byla 57 m, ovšem přes otevřený (polní) biotop byl tentýž jedinec zpívající ze stejného místa slyšitelný ještě ve vzdálenosti 184 m (tedy v 3,2krát delší vzdálenosti). Mezní vzdálenost slyšitelnosti teritoriálního hlasu hrdličky divoké (*Streptopelia turtur*) byla v lužním lese 126 m (její hlas se v ranních hodinách ztrácel ve zpěvu dalších druhů ptáků), ovšem v otevřeném biotopu (přes louku v lese) byl její hlas dobře slyšitelný až na vzdálenost 293 m. S rozdílnou prostupností zvuku různými biotopy souvisí i okolnost, z jakého stanoviště je hlasový projev ptáka přednášen, neboť zdroj zvuku umístěný výše nad zemí dokáže zvukovou neprostupnost biotopu částečně eliminovat. ALLDREDGE et al. (2007a) uvádějí, že v jimi sledovaném biotopu výška umístění zvukového zdroje nad zemí neměla vliv na chyby v určování vzdáleností. Tuto zkušenost lze aplikovat pro homogenní biotop bez významných terénních bariér, které tvoří např. husté keřové patro, silné zakmenění ap., neboť terénní bariéry intenzitu zvuku významně zeslabují a zkreslují (KREBS, DAVIES 1993). V nelesním biotopu může slyšitelnost významně ovlivnit zástavba. Zaznamenali jsme, že např. hlas kalouse ušatého (*Asio otus*) byl v přímém směru dobře slyšitelný

na vzdálenost 107 m, ovšem po změně pozice o několik kroků tentýž hlas přes roh budovy již nebyl slyšitelný vůbec.

Akustickou detektabilitu ptáků dále ovlivňuje intenzita a struktura hlasových projevů (HORTON et al. 2015). Svoji roli může hrát i frekvence hlasu, vysoké tóny obecně komplikují odhad polohy a vzdálenosti ptáka (SIMONS et al. 2007). Akustickou detektabilitu zpěvu slavíka obecného (jehož zpěv je z části flétnovitý a více strukturovaný) jsme v lužním lese za zpěvu ostatních druhů ptáků zaznamenali na 130 m, avšak v otevřeném prostoru (přes polní biotop) na vzdálenost 224 m. Význam má také směr, kterým se pták ozývá (od pozorovatele nebo k němu) a intenzita hlasu (daná např. reakcí jedince na vnější podněty apod.). Např. hlasitost zpěvu cvrčilky zelené (*Locustella naevia*) se mění podle toho, jakým směrem pták otáčí hlavu. ALLDREDGE et al. (2007b) na základě výsledků získaných z lesního prostředí pomocí playbacku ptačího zpěvu upozorňují, že orientace zvukového zdroje v prostoru se významně podílí na chybách pozorovatelů ptáků v určování vzdálenosti zvukového zdroje. Pokud byl zdroj zvuku nasměrován pryč od pozorovatelů, ti většinou určovali vzdálenost dvakrát delší, než ve skutečnosti byla.

V neposlední řadě o správném určení vzdálenosti přicházejícího zvuku k jeho zdroji rozhoduje subjektivita pozorovatele, tedy sluchová schopnost ovlivněná objektivními faktory, např. vyšším věkem (SAUNDERS 1934; MAYFIELD 1966). Touto problematikou se na základě sestavení osobních audiogramů vybraných pozorovatelů ptáků a následným srovnáním spektrogramů ptačích druhů zabývali např. EMLEN, DEJONG (1992).

ZÁVĚR

Předložená práce přináší výsledky měření akustické detektability vybraných druhů ptáků v jejich přirozeném prostředí lužní krajiny. Současným trendem v ornitologii je stanovení denzit ptačího společenstva na základě výsledků získaných z bodových transektů, kde jsou vzdálenosti akusticky detekovaných ptáků pozorovatelem odhadovány. Pro akustickou detektabilitu ptáků však chybí jednotná metodika určování její vzdálenosti, kdy odhady vzdáleností hlasových projevů ptáků jsou namnoze subjektivní. Současně chybějí poznatky, na jakou vzdálenost jsou jednotlivé druhy ptáků v různých typech prostředí slyšitelné a akusticky detekovatelné. Tyto metodické nedostatky mohou významným způsobem ovlivnit kvalitu získaných dat, zejména pak hodnot denzity. Z naší studie vyplývá, že většina ptačích druhů je v lesním prostředí akusticky dobře zachytitelná na vzdálenost 100 m a větší, u některých menších druhů i na několik set metrů. V naší studii ukazujeme, že na slyšitelnosti ptáků se významným způsobem podílí hluk prostředí, zejména pak hluk ptačího společenstva, který klesá s časem v průběhu do 10. hodiny, kdy současně klesá i počet ozývajících se ptačích jedinců v prostoru.

Jak vyplývá z našich měření, disproporce mezidruhové slyšitelnosti a detektability ptáků nemusí hrát tak významnou roli ve vztahu k dalším limitujícím faktorům ovlivňujícím detektabilitu ptáků. Např. zpěv pěnice černohlavé vůči zpěvu lejska bělokrkého je slyšitelný na dvojnásobnou vzdálenost (159 vs 80 m), zpěv pěnkavy obecné vůči zpěvu lejska bělokrkého je slyšitelný téměř na dvojnásobnou vzdálenost (130 a 156 m vs 80 m). Ovšem hluk v prostředí způsobený hlukovou kulisou ptačího společenstva v závislosti na denní době pozorování, výška přednesu ptáka nad zemí a další faktory se na slyšitelnosti a detektabilitě podílejí ještě významněji než mezidruhové rozdíly ve slyšitelnosti. Např. v různém čase a prostředí se detektabilita slavíka obecného lišila 3,2× (130 vs 415 m), u pěnice černohlavé 3,9× (101 vs 391 m), u budníčka menšího dokonce 5,4× (78 vs 421 m).

Analytické vyhodnocování faktorů ovlivňujících akustickou detektabilitu ptáků je tedy komplexní problém, který musí být zohledňován

při aplikování výsledků monitoringu ptáků v ochraně biodiverzity lužních lesů (BUCEK, MACHAR 2012) za účelem zvýšení efektivity ochranných projektů (PECHANEC et al. 2018).

Poděkování:

Děkujeme Janě Vrbkové za provedení statistických analýz a Petru Zifčákovi za technickou pomoc, Karlu Weidingerovi a Jiřímu Reifovi za připomínky k rukopisu, Lukáši Richterovi a Jindřichu Hodinkovi za konzultaci fyzikálních vlastností zvuku. Za dílčí pomoc v terénu děkujeme Vojtěchu Poprachovi a skotskému kolegovi Gus Guthrie.

LITERATURA

- ALLDREDGE M.W., SIMONS T.R., POLLOCK K.H. 2007a. A field evaluation of distance measurement error in auditory avian point count surveys. *Journal of Wildlife Management*, 71: 2759–2766. DOI: 10.2193/2006-161
- ALLDREDGE M.W., SIMONS T.R., POLLOCK K.H. 2007b. Factors affecting aural detections of songbirds. *Ecological Applications*, 17 (3): 948–955. DOI: 10.1890/06-0685
- BIBBY C.J., BUCKLAND S.T. 1987. Bias of bird census results due to detectability varying with habitat. *Acta Oecologica*, 8: 103–112.
- BIBBY C.J., BURGESS N.D., HILL D.A., MUSTOE S. 2007. *Bird census techniques*. London, Academic Press: 302 s.
- BROWN C.L., REED S.E., DIETZ M.S., FRISTRUP K.M. 2013. Detection and classification of motor vehicle noise in a forested landscape. *Environmental Management*, 52 (8): 1262–1270. DOI: 10.1007/s00267-013-0123-8
- BUCEK A., MACHAR I. 2012. Application of landscape ecology in the assessment of anthropogenic impacts of the landscape. Olomouc, Palacky University: 153 s.
- BUCKLAND S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., LAAKE J.L., BORCHERS D.L., THOMAS L. 2001. *Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. New York, Oxford University Press: 332 s.
- BURNHAM K.P., BUCKLAND S.T., LAAKE J.L., BORCHERS D.L., MARQUES T.A., BISHOP J.R.B., THOMAS L. 2004. Further topics in distance sampling. In: Buckland S. T. et al. (eds.): *Advanced distance sampling*. London, Oxford University Press: 305–392.
- DEJONG M.J., EMLÉN J.T. 1985. The shape of the auditory detection function and its implication for songbird censusing. *Journal of Field Ornithology*, 56: 213–223.
- EMLÉN J.T., DEJONG M.J. 1992. Counting birds: the problem of variable hearing abilities. *Journal of Field Ornithology*, 63: 26–31.
- HALFWERK W., BOT S., BUIKX J., VELDE M. VAN DER, KOMDEUR J., TEN CATE C., SLABBEKOORN H. 2011. Low-frequency songs lose their potency in noisy urban conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (35): 14549–14554. DOI: 10.1073/pnas.1109091108
- HORTON K.G., STEPANIAN P.M., WAINWRIGHT C.E., TEGELER A.K. 2015. Influence of atmospheric properties on detection of wood-warbler nocturnal flight calls. *International Journal of Biometeorology*, 59: 1385–1394. DOI: 10.1007/s00484-014-0948-8
- HUBÁLEK Z. 1997. Trends of bird populations in a managed lowland riverine ecosystem. *Folia Zoologica*, 46 (4): 289–302.
- JÄRVINEN O., VÄISÄNEN R.A. 1976. Estimating relative densities of breeding birds by the line transect method. IV. Geographical constancy of the proportion of main belt observations. *Ornis Fennica*, 53 (3): 87–91.
- KILIANOVA H., PECHANEC V., SVOBODOVA J., MACHAR I. 2012. Analysis of the evolution of the floodplain forests in the alluvium of the Morava River. In: 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection (SGEM 2012). SGEM conference proceedings. Albena, Bulgaria, 17–23 June 2012. Vol. IV. Forest ecosystems, soils, air pollution and climate change, renewable energy sources and clean technologies, recycling, environmental economics Sofia, STEF92 Technology: 1–8. DOI: 10.5593/sgem2012.
- KILIANOVA H., PECHANEC V., BRUS J., KIRCHNER K., MACHAR I. 2017. Analysis of the development of land use in the Morava River floodplain, with special emphasis on the landscape matrix. *Moravian Geographical Records*, 25 (1): 46–59. DOI: 10.1515/mgr-2017-0005.
- KOPER N., LESTON L., BAKER T.M., CURRY C., ROSA P. 2016. Effects of ambient noise on detectability and localization of avian songs and tones by observers in grasslands. *Ecology and Evolution*, 6: 245–255. DOI: 10.1002/ece3.1847
- KOVAŘÍK P., KUTAL M., MACHAR I. 2014. Sheep and wolves: Is the occurrence of large predators a limiting factor for sheep grazing in the Czech Carpathians? *Journal for Nature Conservation*, 22 (5): 479–486. DOI: 10.1016/j.jnc.2014.06.001
- KREBS J.C., DAVIES N.B. 1993. *An introduction to behavioural ecology*. Oxford, Blackwell Science: 432 s.
- KROFTOVA M., REIF J. 2017. Management implications of bird responses to variation in non-native/native tree ratios within central European forest stands. *Forest Ecology and Management*, 391: 330–337. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.02.034
- LAZERTE S.E., OTTER K.A., SLABBEKOORN H. 2015. Relative effects of ambient noise and habitat openness on signal transfer for chickadee vocalizations in rural and urban green-spaces. *Bioacoustics*, 24: 233–252. DOI: 10.1080/09524622.2015.1060531
- LEONARD M.L., HORN A.G. 2012. Ambient noise increases missed detections in nestling birds. *Biology Letters*, 8: 530–532.
- MACHAR I. 2009. Conservation and management of floodplain forests in the protected landscape area Litovelske Pomoravi (Czech Republic). Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci: 108 s.
- MACHAR I. 2011. The impact of floodplain forest habitat conservation on the structure of bird breeding communities. *Ekológia (Bratislava)*, 30: 36–50.
- MACHAR I. 2012a. Changes in ecological stability and biodiversity in a floodplain landscape. In: Machar, I. (ed.): *Applying landscape ecology in conservation and management of the floodplain forests (Czech Republic)*, Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci: 73–78.
- MACHAR I. 2012b. *Ochrana přírody a krajiny v České republice, Vybrané aktuální problémy a možnosti jejich řešení. Díl I a II*. Olomouc, Univerzita Palackého: 416 s. (I. díl), s. 421–853 (II. díl).
- MACHAR I., SIMON J., REJSEK K., PECHANEC V., BRUS J., KILIANOVA H. 2016. Assessment of forest management in protected areas based on multidisciplinary research. *Forests*, 7 (11): 285. DOI:10.3390/f7110285.

- MACHAR I., CERMAK P., PECHANEC V. 2018. Ungulate browsing limits bird diversity of the central European hardwood floodplain forests. *Forests*, 9 (7): 373. DOI: 10.3390/f9070373.
- MARQUES T.A. 2004 Predicting and correcting bias caused by measurement error in line transect sampling using multiplicative error models. *Biometrics*, 60: 757–763.
- MARQUES T.A., THOMAS L., MARTIN S.W., MELLINGER D.K., WARD J.A., MORETTI D.J., HARRIS D., TYACK P.L. 2013. Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews*, 88: 287–309.
- MAYFIELD H. 1966. Hearing loss and bird song. *Living Bird*, 5: 167–175.
- MORTON E. S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist*, 109: 17–34.
- PECHANEC V., BRUS J., KILIANOVA H., MACHAR I. 2015. Decision support tool for the evaluation of landscapes. *Ecological Informatics*, 30: 305–308. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2015.06.006
- PECHANEC V., MACHAR I., POHANKA T., OPRSA Z., PETROVIC E., SVAJDA J., SALEK L., CHOBOT K., FILIPPOVOVA J., CUDLIN P., MALKOVA J. 2018. Effectiveness of Natura 2000 system for habitat types protection: A case study from the Czech Republic. *Nature Conservation – Bulgaria*, 24: 21–41. DOI: 10.3897/natureconservation.24.21608
- PETRUSKOVÁ T. 2011. Nářečí v ptačí říši. *Ptačí svět*, 2011: 9.
- PIERCE A.R., KING, S.L. 2011. A comparison of avian communities and habitat characteristics in floodplain forests associated with valley plugs and unchannelized streams. *River Research and Applications*, 27: 1315–1324.
- POPRACH K., VRBKOVÁ J. 2015. Dominance and diversity of bird community in floodplain forest ecosystem. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63: 825–833.
- REIF J., MUSIL P. 2005. Vliv použití dvou modifikací bodového sčítání na zachycení diverzity v ptačích společenstvech: efekt odhadu vzdáleností zjištěných jedinců a rozlišování zpívajících a nezpívajících ptáků. *Sylvia*, 41: 50–58.
- RICHARDS D.G., WILEY R.H. 1980. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication. *American Naturalist*, 115: 381–399.
- SAUER J.R., BARKER R.J., GEISSLER P. H. 1994a. Statistical aspects of modeling population change from population size data. In: Kendall R.J., Lacher T.E. Jr. (eds.): *Wildlife toxicology and population modeling: integrated studies of agroecosystems*. Proceedings of the ninth Pellston Workshop, Kiawah Island, South Carolina, July 22 – 27, 1990. Boca Raton, CRC Press: 451–466.
- SAUER J.R., PETERJOHN B.G., LINK W.A. 1994b. Observer differences in the North American breeding bird survey. *The Auk*, 111: 50–62. DOI: 10.2307/4088504
- SAUNDERS W.E. 1934. Losing the bird songs. *The Auk*, 51: 503–506.
- SCOTT J.M., RAMSEY F.L., KEPLER C B. 1981. Distance estimation as a variable in estimating bird numbers from vocalizations. *Studies in Avian Biology*, 6: 334–340.
- SIMONS T.R., ALLDREDGE M.W., POLLOCK K.H., WETTROTH J.M. 2007. Experimental analysis of the auditory detection process on avian point counts. *The Auk*, 124: 986–999. DOI: 10.1642/0004-8038(2007)124[986:EAOTAD]2.0.CO;2
- STANLEY C.Q., WALTER M.H., VENKATRAMAN M.X., WILKINSON G.S. 2016. Insect noise avoidance in the dawn chorus of Neotropical birds. *Animal Behaviour*, 112: 255–265. DOI: 10.1016/j.anbehav.2015.12.003
- ŠEVČÍKOVÁ K., KŘENEK D. 2014. Rozdíly mezi jednotlivými pozorovateli při sčítání ptáků bodovou metodou. *Zprávy MOS*, 72: 79–80.
- VERNER J. 1985. Assessment of counting techniques. In: Johnston R. F. (ed.): *Current ornithology*, Vol. 2. New York, Plenum Publishing Corporation: 247–302.
- WILEY R.H., RICHARDS D.G. 1982. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. In: Kroodsma D.E., Miller E.H. (eds.): *Acoustic communication in birds*. New York, Academic Press: 131–181.

ACOUSTIC DETECTABILITY OF FOREST BIRDS: CASE STUDY FROM THE LITOVESKE POMORAVI AREA (CZECH REPUBLIC)

SUMMARY

Acoustic detectability of birds is a key factor significantly affecting the results of bird census in forests. The paper presents results related to the distances measurement of acoustic detectability of bird species in Central European floodplain landscape. Study area is covered by a mosaic of hardwood floodplain forest habitats, grasslands with scattered individual trees, and belt of riparian forest along river stream. Bird communities in this type of landscape are very rich at alpha-diversity level and can be considered as an important bio-indicator of habitat quality.

In this paper, some important detected actors influencing the acoustic detection of birds in the floodplain landscape are also discussed. The field measurement of bird distance from researcher was based on using GPS system with software Qstarz BT-Q1000XT. Statistical analyses applied the Wilcoxon test (using R software) and included also a relationship between acoustic detectability and time-spans of field observations.

Audibility of birds in floodplain landscape is relatively high, most species are acoustically well detectable at the distance of 100 m and more, and it was recorded in the range of 57–897 m (mean 293 m, median 187 m, SD = 148, n = 102). In a closed forest stand, the audibility of birds was significantly lower than in open habitats where the birds could be heard at a larger distance ($W = 592$, $p < 0.001$) – Fig. 1. In the floodplain forest, the shortest distance of audibility was recorded for the collared flycatcher (*Ficedula albicollis*) – 75 m, and the longest for the yellowhammer (*Emberiza citrinella*) – 393 m. In the open habitat, the shortest threshold distance of audibility was recorded for the river warbler (*Locustella fluviatilis*) – 57 m (measured over a group of shrubs), and the longest for the common cuckoo (*Cuculus canorus*) – 897 m (measured from the habitat margin, from which the species was heard), see Tab. 1. The time course of acoustic activity of the studied bird individuals is shown in Fig. 2. The audibility of birds was rather low before 10 a.m., and then increased. In the analysis of acoustic detectability of birds in two time intervals (6:00 a.m. – 9:59 a.m. and 10:00 a.m. – 2:00 p.m.), no significant difference was found in the case of good audibility ($W = 184$, $p < 0.001$) – see Fig. 3. The audibility of birds in the field was significantly higher ($W = 77$, $p < 0.001$) for larger bird species (mean weight > 50 g) than for smaller species (mean weight < 50 g) – see Fig. 4.

Results of this paper indicated that the good audibility of forest songbirds in temperate floodplain forests exceeds 100 m. Acoustic detectability of individuals of floodplain forest birds is significantly affected by the acoustic background produced by the bird community, which is more important than differences among bird species. Detectability of bird species is significantly influenced by the time during day and characteristics of forest habitat. Results of this study highlighted an importance of acoustic detectability for bird census and monitoring under conservation programmes aimed to forest biodiversity maintaining.

Zasláno/Received: 18. 07. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 28. 02. 2019