

Az emberi zavarás hatásainak kísérletes vizsgálata vadon élő madaraknál

Nagy Nóra

Állatorvostudományi Egyetem,
Zoológiai Tanszék,
Biológus MSc II.



Témavezető: Dr. Liker András, egyetemi tanár, HUN-REN-PE Evolúciós Ökológiai
Kutatócsoport

Társtémavezető: Czikkelyné Dr. Ágh Nóra, tudományos munkatárs, HUN-REN-PE
Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport

Belső konzulens: Dr. Pásztory-Kovács Szilvia, tudományos munkatárs,
Állatorvostudományi Egyetem, Zoológiai Tanszék



2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
1. 1. A nagymértékű emberi jelenlét és annak hatása az állatvilágra	3
1. 2. Az ember, mint „ragadozó”	4
1. 3. Az emberi zavarás szaporodási sikerre gyakorolt hatásai	5
1. 4. Az emberrel szembeni tolerancia	6
2. Célkitűzés	8
3. Anyag és módszer	8
3. 1. A vizsgálat helyszíne	8
3. 2. Vizsgált faj	9
3. 3. Az emberi zavarást imitáló kísérlet menete	10
3. 4. A fészkek monitorozása és a szülők viselkedési reakcióinak mérése	14
3. 5. Az adatok statisztikai elemzése	19
4. Eredmények	21
4. 1. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: tojók kockázatvállalása kotlás alatt	21
4. 2. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: a szülők kockázatvállalása fiókanevelés alatt	22
4. 3. Az emberi zavarás hatása a szaporodási sikerre	26
5. Értékelés	30
5. 1. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: tojók kockázatvállalása kotlás alatt	30
5. 2. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: a szülők kockázatvállalása fiókanevelés alatt	32
5. 3. Az emberi zavarás hatása a szaporodási sikerre	33
6. Összefoglalás	35
7. Abstract	36
8. Köszönetnyilvánítás	37
9. Irodalomjegyzék	38
10. Melléklet	43

1. Bevezetés

1.1. A nagymértékű emberi jelenlét és annak hatása az állatvilágra

A rohamos mértékben növekvő emberi népesség Földünk egyik legnagyobb globális problémája, hiszen gyakorlatilag mindenhol jelen vagyunk és jelentősen átformáljuk az általunk elfoglalt természetes élőhelyeket [1]. Az elmúlt évek becsült értékei alapján jelenleg 4 milliárd ember, tehát a világ népességének 55%-a él városi területeken, 2050-re pedig várhatóan ez az arány 68%-ra fog növekedni [2]. Számos tanulmány alapján az utóbbi három évszázadban az erdők területe mintegy 19%-kal, a gyepterületek pedig 8%-kal csökkentek a nagymértékű urbanizációhoz köthetően [1]. Az emberi környezetbe került állatoknak számtalan térben és időben változó tényezővel kell szembenéznük. Ezek közé tartozik az ember által létrehozott táplálék elfogyasztása, megfelelő szaporodási helyek megtalálása, továbbá a szennyezés, a közlekedés és az emberek okozta kihívások leküzdése [3].

A városi ökoszisztémák manapság egyre több állatfajnak nyújtanak élőhelyet, amely sokszor ember-állat konfliktussal jár együtt. A kisméretű és énekesmadarakon túl az utóbbi években ragadozók és nagyobb testű állatok is rendszeres látogatók a városi területeken, melyek jelentős károkat okozhatnak [4]. Viselkedésüket tekintve az urbán helyszíneken sikeresen megtelepedett fajok olykor agresszívek is lehetnek az emberekkel szemben [5]. Warren és munkatársai egy 2006-ban megjelent tanulmányában ezt a jelenséget úgynevezett "városi vadvilág szindrómaként" írja le, miszerint az urbanizált környezetben egyes állatfajok az emberrel szemben csökkent félelmet és fokozott agresszivitást mutatnak [6].

Az emberi jelenlét nemcsak a városokban megtelepedett, de a vadon élő állatok számára is nagymértékű kihívást jelent [7]. Egy tanulmány szerint a természetvédelmi területek évenkénti átlagos emberi látogatottsága 8 milliárdra tehető, melyből 3,8 milliárd Európában, 3,3 milliárd pedig Észak-Amerikában történik [8]. Ezek a látogatások elsősorban a turisták, kirándulók természet iránti vágyait szolgálja ki, hogy a vadon élő állatokat testközelből megtekinthessék [9]. Az állatok pedig vagy alkalmazkodnak ehhez a túlzott emberi jelenlétnek, vagy kiszorulnak az adott területről [7]. Vannak olyan esetek, amikor nem feltétlenül éri meg a zavaró tényező miatt feladni az eredeti élőhelyet. Ez azonban nagymértékben függ az aktuálisan elfoglalt terület minőségétől, a megszerzésébe és védelmébe befektetett energiától, a más alkalmas helyszínek távolságától, vagy a versenytársak és ragadozók abundanciájától is [10].

1. 2. Az ember, mint „ragadozó”

Mivel az ökológiai lábnyom mértéke világszerte egyre gyorsabban növekszik a gazdag biológiai sokféleséggel rendelkező területeken [11], így az állatok számára egyre kevesebb az olyan környezet, ahol menedéket találhatnak az emberi jelenlét elől. Sok esetben egyes fajok inkább az időbeli, mint a térbeli alkalmazkodást választják és az éjszakai aktív életmódra térnek át, hogy elkerüljék az embert, mint „szuperpredátort” [12].

Annak tanulmányozására, hogy az állatok hogyan tekintenek az emberekre, számos kutatás vizsgálta az emberi zavarás hatásait. Egy 1969-ben készült kísérlet során Walther Fritz állapította meg, hogy az emberi jelenlétet és tevékenységet a ragadozási kockázathoz hasonlóan érzékelik az állatok [13]. Az emberek a nagyragadozókhoz hasonlóan csúcsragadozónak számíthatnak és a puszta jelenlétük generálhat félelmi reakciót a prédaállatokban [14]. Az első vizsgálat erre vonatkozóan Thomson-gazellákkal (*Eudorcas thomsonii*) történt, amelyeket gépjárművel közelített meg és a menekülésük megindításának távolságát figyelte meg. Az eredmény alapján a válaszreakció hasonló mértékű volt, mintha ténylegesen ragadozó tűnt volna fel a környezetükben, tehát az autó közeledtével hasonló távolságból kezdték meg a menekülő viselkedést [13].

Azóta számos tanulmány foglalkozott a témával melyek többsége alátámasztotta, hogy az emberi jelenléttel összefüggő ingerek hasonlóan elvonják az állatok figyelmét más létfontosságú tevékenységekről, éppúgy amikor egy predátor közelít feléjük. Például zavarás esetén kevesebb időt és energiát fektetnek a táplálkozásba, a párzásba vagy akár a szülői gondoskodásba [13]. Ezen felül gyakran elkerülik a számukra magas kockázattal bíró területet, sok esetben pedig később sem térnek vissza oda [15]. Hasonlóan a természetes ragadozózsákmány kapcsolatokhoz, az ilyesféle kockázatkerülés jelentős negatív hatással lehet az állatok fitneszére és fiziológiájára [16].

Sok esetben azonban nem egyértelmű, hogy ilyesféle válaszreakció az emberre, mint ragadozóra irányul, vagy csupán az általános zavarásra, amilyenek például a fenyegető hangok és idegen tárgyak. Erre vonatkozóan nagy és közepes méretű ragadozókkal és kisemlősökkel végeztek el egy kísérletet, melyben a mozgási és aktivitási mintázatukat figyelték meg egy adott tájegységen belül, emberi hangzavarás hatására. A nagyragadozók, mint a hegyi oroszlánok (*Puma concolor*) az őket is fenyegető csúcsragadozó jelenléteként tekintettek az

emberi zavarásra, így jelentős mértékben megváltoztatták az élőhelyhasználati magatartásukat és más területre menekültek. A tanulmány szerint amennyiben a zavarás hosszabb ideig fennmaradt volna, akkor a vadászat és táplálkozás korlátozását, és ezzel akár az élőhely elvesztését indukálhatta volna. Ezzel szemben a kisemlősök esetében a térhasználat és a táplálékszerzés jelentősen megnövekedett a nagyragadozók eltűnésével, félelmi reakció pedig kevésbé volt kimutatható [14].

1. 3. Az emberi zavarás szaporodási sikerre gyakorolt hatásai

Kistestű madarak esetében az emberi jelenlét általában fokozott viselkedési reakciót vált ki: a szülők megpróbálják hangos riasztó hanggal elijeszteni az idegent, azonban, ha a zavarás hosszabb ideig fennáll, a fiókák éhezés vagy hipotermia következtében elpusztulhatnak. Így az emberi zavarás madarak esetében is jelentős befolyással lehet a szaporodási sikerre [17]. Egy széncinegét (*Parus major*) vizsgáló kutatásban J. de Satgé és munkatársai ezen hatásokat figyelték meg Észak-Belgiumban. A kísérletben emberi és természetes környezetben összesen 400 db mesterséges odú kihelyezésével szolgáltatott fészkelőhelyet a madarak számára, melyek segítségével nyomon tudták követni a szaporodási időszakukat. A kísérlet eredményeként azt kapták, hogy az emberi környezetben élő széncinegéknek kisebb volt a szaporodási sikere, ugyanis kevesebb tojást raktak, kevesebb fióka kelt ki, valamint kisebb volt a fiókák átlagos testtömege, mint a zavartalan környezetben élő egyedeknek [18].

Szintén a széncinegét használták modellfajnak egy olyan vizsgálatban, amelyben az ember által generált zaj hatásait figyelték meg. A kísérletben a zaj forrását repülőgépek hangja jelentette, melyet potenciális fenyegetésként észleltek a madarak. A zaj okozta fokozott stressz miatt jelentősen éberebben figyelték a környezetüket, amely a fiókák etetési gyakoriságának csökkenéséhez vezetett, hiszen kevesebb időt és energiát fordítottak a táplálék keresésére [19]. Egy másik kutatásban szintén a környezeti zaj hatásait figyelték meg, a vizsgált faj pedig a házi veréb (*Passer domesticus*) volt. A brit Lundy-szigeten az áramellátás egy generátoron keresztül történik, mely alacsony frekvenciájú zajt bocsát ki, a kísérletben ezt tekintették zavarásnak. A zaj hatásai a verebek szaporodási sikerére jelentős mértékű volt: kevesebb és kisebb tömegű fiókák keltek ki a zajforrás közelében, mint attól távolabb. Ezt az eredményt azonban nemcsak a szülők stresszhez köthető ritkább etetési gyakorisága okozhatta: ha a zaj elfedte a fiókák

táplálékot kérő hangjelzését, vagy éppen a fiókák nem hallották a szülő fészekhez érkezését, az szintén lecsökkentette az etetési alkalmak számát [20].

Egy 2019-ben megjelent, széncinegékkel végzett vizsgálatban 8 éven keresztül 12 fészekaljat figyeltek meg természetes környezetben lévő kirándulóutak, valamint autók által használt földutak térségében, hogy felmérjék az emberi zavarás hatásait Starnberg és Herrsching között, Németországban. A kutatás eredményeként kimutatták, hogy a gyalogos, valamint az autók által használt földutaktól való távolság jelentős hatással bír a madarak fészekalj méretére. A nagyobb zavarással rendelkező földutakhoz közel kevésbé raktak fészket, valamint kevesebb tojás- és fiókaszám volt jellemző. Ezzel szemben a fiókák kikelési rátáját, valamint a tömegét nem befolyásolta az emberi zavarás, ugyanis a széncinegék nem csökkentették a zavarás ellenére sem a szülői gondoskodás mértékét [21].

1. 4. Az emberrel szembeni tolerancia

Azonban nem feltétlenül mondható el, hogy az állatok minden esetben hasonlóképpen reagálnak a veszélyt jelentő predátorra [22]. Ahogy a fentiekben említettem, sok esetben agresszív viselkedés lehet a válaszreakció (az ember támadása, megharapása, esetleg üldözése), a nagyragadozókkal végzett kísérlet példáján alapulva menekülő, kerülő viselkedés is kialakult (távolodik a zavarással járó helyszínről), vagy toleranciát is mutathatnak az állatok [23]. Utóbbi esetben egyre inkább összefüggésbe hozható az emberrel szembeni tolerancia a megnövekedett urbanizáció mértékével, amely alkalmat teremthet az emberi jelenléthez történő hozzászokásra [24].

Egyes tanulmányok alapján a nagyobb testű állatok jobban tolerálják az emberi jelenlétet, mint a kisméretű fajok. Nagytestű madarak esetében például kimutatták, hogy a ragadozókkal szembeni tolerancia oka ahhoz köthető, hogy a predátorok kisebb valószínűséggel pusztítják el őket a nagyobb méretük miatt, mint a kistestű állatokat. Ezenfelül egyes fajok a nagy relatív agyméretnek köszönhetően fejlettebb kognitív képességekkel rendelkeznek, mely által jobban felméri a kockázat mértékét [24]. Azonban számolniuk kell azzal a tényezővel is, hogy a ragadozók számára könnyebben észrevehetőbbek, mint a kisebb fajok, nem mellesleg a menekülés nagyobb energiabefektetést jelent számukra [25]. Így a nagytestű madaraknak átlagosan hamarabb és nagyobb távolságról kell megkezdeniük a menekülést, mint a kisebbeknek [26]. Egy 2015-ben megjelent vizsgálat alapján azok a

madárfajok, amelyek nyílt élőhelyen élnek, sokkal inkább mutatnak toleranciát a ragadozókkal szemben, mint a zárt területen élő egyedek. Ennek oka a sűrű növényzet miatti csökkent terület-monitorozási képesség, vagyis kisebb valószínűséggel veszik észre a rájuk leselkedő veszélyt, mint a nyílt élőhelyen élő társaik [27].

Madarak esetében a tolerancia mérése legtöbb esetben a menekülési távolságból („flight initiation distance”, FID; az egyed és az ember közötti távolság, amikor az állat menekülni kezd), valamint a riasztási távolságból (amikor először észlelhetően reagálnak a zavarásra) becsülhető meg. Ezen szempontok szerint egy vizsgálat galambok figyelő viselkedését tanulmányozta az élőhelyükön lévő gyalogos forgalomra adott reakcióikból. Arra a következtetésre jutottak, hogy a madarak figyelő viselkedésének aktivitása befolyásolja, hogy milyen távorról és mennyi időn belül észlelik az emberi zavarást. A nagyobb mértékű éberség főként az egyedül táplálkozó egyedekre volt jellemző, míg a csoportokban lévő madaraknál a figyelő viselkedés megoszlik az egyedek között és egyenként több táplálékhoz jutnak, hiszen kevesebb időt töltenek a zavaró tényező felmérésével [28].

Az említett megfigyeléses vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy az emberi zavarás jelentős befolyással van mind az állatok viselkedésére, mind a fitnessükre. Azonban ezekben a kutatásokban általánosan nem kontrolláltak más tényezők hatásaira, csupán 1-1 adott szempont alapján vizsgálják a zavarás mértékét, így nem lehet egyértelműen értelmezni a kapott eredményeket. A rövid ideig tartó emberi zavarást szimuláló vizsgálatok (mint például J. de Satgé és munkatársai kísérlete [18]) valószínűleg nem adnak egyértelmű információt a rendszeres zavarás hatásairól. Ezen okokból kifolyólag szükség van olyan kísérletekre is, amely a teljes szaporodás alatt, több hétig tartó kezelésben teszi ki az állatokat rendszeres emberi zavarásnak. Tudomásunk szerint a mi vizsgálatunk az első ilyen kontrollált kísérlet.

A széncinege emberhez való alkalmazkodási képessége miatt a kutatásokban gyakran használt modellfaj, melyről számos tanulmány készült [29]. Vizsgálatunkhoz így mi is ezt a fajt használtuk az emberi zavarás madarakra gyakorolt hatásainak szemléltetésére.

2. Célkitűzés

Diplomamunkám témája az emberi zavarás hatásainak kísérletes vizsgálata vadon élő madaraknál. Vizsgálatunk fő kérdései a tartós, több hétig tartó emberi zavarás hatásaira irányulnak. Kutatásunkban két fő kérdésre keressük a választ:

1. kérdés: A tartós emberi zavarás hogyan befolyásolja a madarak kockázatvállaló magatartását a fészekrakási, valamint a fiókanevelési időszakban.
2. kérdés: Milyen hatása van a zavarásnak a szaporodási siker egyes paramétereire, mint a tojásszámra, a kirepülési sikerre, ezenfelül a fiókák testméretére (testtömeg, csüd hossz, szárnyhossz).

A zavarás elképzelhető hatásaira vonatkozó kiindulási hipotéziseink a következők voltak:

1. hipotézis: A tartós zavarás habituációt (más néven megszokást) okoz, vagyis a madarak egy idő után nem reagálnak az ismétlődő és tényleges veszéllyel nem járó szimulált emberi jelenlétre. Ebben az esetben azt várjuk, hogy a zavarás nincsen jelentős befolyással az állatok viselkedésére, a szaporodási siker komponensei pedig nem változnak.
2. hipotézis: Szenzitizáció, vagyis érzékenyítés következtében a zavarásnak kitett egyedek féltelme nő a kezelés ismétlései során, ami a szaporodási siker csökkenését okozza [30].

3. Anyag és módszer

3. 1. A vizsgálat helyszíne

A vizsgálatot 2022-ben és 2023-ban a Farkasgyepői kísérleti erdőben végeztük március elejétől június közepéig tartó időszakban. Az erdő egy 364 hektár nagyságú természetvédelmi terület, melynek fő állományalkotó fafaja a közönséges bükk (*Fagus sylvatica*), de megtalálhatóak gyertyán (*Carpinus*), juhar (*Acer*) vagy a hársfajok (*Tilia*) is [31]. A Veszprémtől 27 km-re található, Magas-Bakony lábánál fekvő terület zavartalan környezete kiváló lehetőséget biztosít az ökoszisztéma-kutatások és erdei kísérletek számára [32]. A területen az elmúlt évek során és a vizsgálatunk alatt sem történt fakitermelés, a környező erdőkben azonban folynak erdészeti munkálatok. Utóbbi esetben a kivágott fát a Farkasgyepői kísérleti erdő szélén haladó

nagyobb erdei úton szállítják, melyet némi járműforgalom jellemez. Az erdő szélén- és a rajta keresztülvezető túraútvonalakat ritkábban kirándulók használják, így alacsony szintű az emberi zavarás is (Farkasgyepűi Erdészeti Személyes Közlés).

3. 2. Vizsgált faj

Az emberi zavarás vadon élő madarakra gyakorolt hatásainak vizsgálatára a széncinegét választottuk modellfajnak. A széncinege a verébalakúak (*Passeriformes*) rendjébe, azon belül pedig a cinegefélék (*Paridae*) családjába tartozó védett faj [29].

Európában széleskörű elterjedése a különböző élőhelytípusokhoz való alkalmazkodásának köszönhető, hiszen megtelepszik városokban, parkokban, gyümölcsösökben, erdőkben, de akár a saját kertünkben is gyakran előfordulhat [33]. Csupán a nagyon hideg telek esetén vonulhatnak el, de alapjában véve nem költöző madárfaj, így hazánkban áttelelését madáretetők kihelyezésével tudjuk kedvezőbbé tenni. A széncinege territoriális madár, mely természetes és mesterséges odúkban költethet évente egy-két alkalommal. Fészkének alapját fűszálak és vékony növényi gyökerek képezik, amelyet mohával és szőr bélésanyaggal egészít ki [33]. A tojók átlagosan 5-12 tojást raknak melyen egyedül kotlanak, a fiókák nevelésében azonban a hím is részt vesz. A tojások költési ideje 12-15 nap, a kikelt fiókák pedig körülbelül 16-22 napot töltenek a fészekben kirepülésük előtt [29].

A széncinege megjelenését illetően jellegzetes madárfaj. A fejtető, csőr, torokfolt és a függőleges sávban húzódó hasfolt fekete színű, két oldalon úgynevezett fehér arcfolt látható. Hasuk sárga, hátuk olajzöld színű, szárnyának fedőtollai pedig zöldes árnyalatból a szárny végén szürkésbe futnak, melyeken fehér csíkok húzódnak. A két nem között ivari dimorfizmus figyelhető meg: tojók esetében a hasukon lévő fekete sáv kevésbé szélesedik ki, a lábak között olykor szaggatottá válik a mintázata, míg a hím egyedeken jelentősen vastagabb ez a fekete színezet (1. kép) [29]. A fiatal madarak külleme inkább a tojókéhoz hasonlít, azonban halványabb a tollazatuk, csőrük egy része sárgás, farkuk pedig inkább szürkés színű. A felnőtt egyedek testméretüket illetően körülbelül 15 cm hosszúak, szárnyfesztávolságuk 24 centiméterre tehető [34], testtömegük pedig 14-20 gramm között mozog. Főként rovarokkal, pókokkal, télen pedig olajos magvakkal táplálkoznak. Természetes fészek-predátoraik között többek közt pelék, mókások, harkályok, siklók szerepelnek, míg a felnőtt madarak legfontosabb ragadozói a karvalyok és lakott területeken a házi macskák [29].



1. kép: Széncinege hím (bal oldalon) és tojó (jobb oldalon).

Forrás: <https://birdfact.com/birds/great-tit>

3. 3. Az emberi zavarást imitáló kísérlet menete

A 2022 januárjában kezdődő terepi munkálatokhoz és vizsgálathoz 2022 novemberében csatlakoztam be. A 2022-es adatgyűjtést így a kutatócsoport munkatársai végezték el. A vizsgálathoz összesen 150 darab „B” típusú mesterséges madárodút helyeztek ki a Farkasgyepői kísérleti erdőben 2022 január végén és február elején. Minden odúra egyedi azonosítószám került felfestésre F1-F150-ig (2. kép).

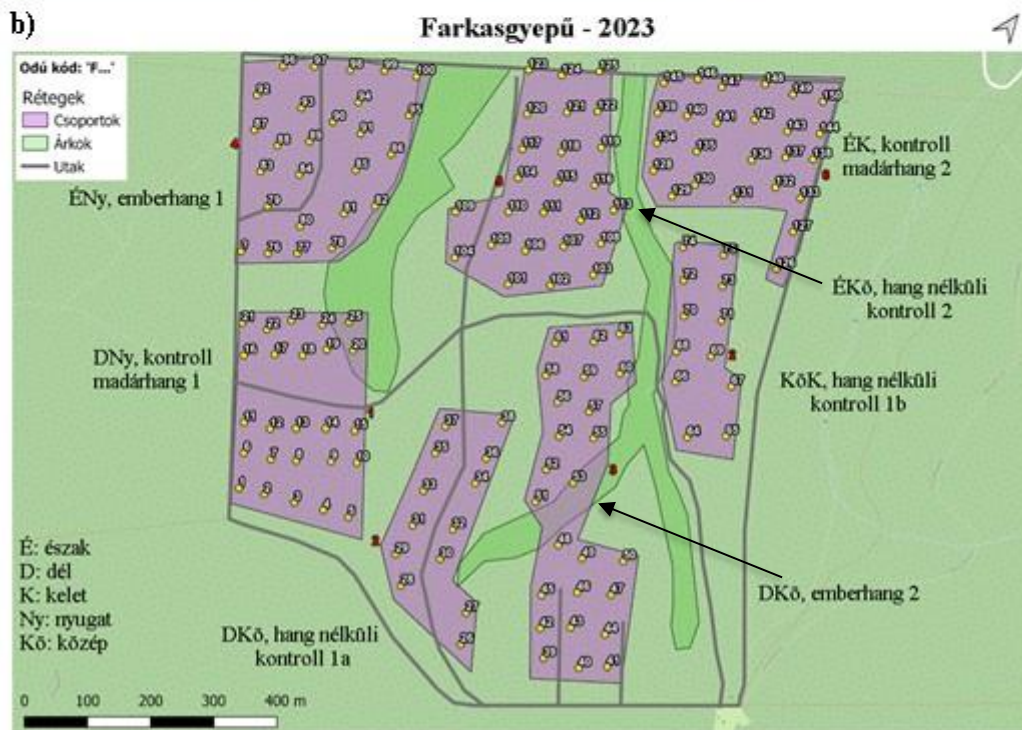
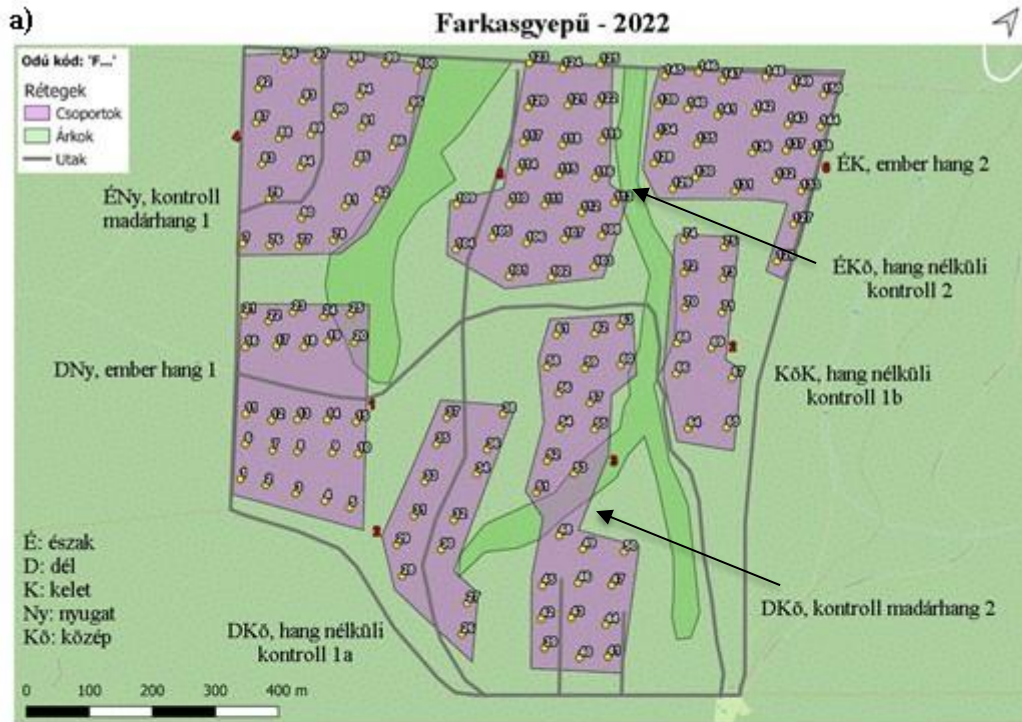


2. kép: Mesterséges madárodú a Farkasgyepői kísérleti erdőben.

Az emberi zavarás hatásainak vizsgálatára a kísérleti területet mindkét évben három hangkezelési csoportra osztottuk fel. Az első egy kontroll csoport volt, amely egy teljesen zavartalan kezelést jelentett, vagyis az odúkhöz nem helyeztünk ki hanglejátszót, így a széncinegék nem tapasztaltak semmilyen kísérleti beavatkozást („hang nélküli kontroll csoport”). A második, szintén kontroll csoport esetében a feketeterítő (*Turdus merula*), az örvös galamb (*Columba palumbus*) és a kék galamb (*Columba oenas*) hangját játszottuk le a madaraknak. A Farkasgyepői kísérleti erdőben ezek a fajok gyakran költenek és a kísérletünk ideje alatt is jelen voltak a területen („madárhang csoport”). A harmadik csoportnak pedig emberi beszéd hangfelvételeket játszottunk le, ezzel imitálva az emberi jelenlétet a széncinege fészkeknél („emberhang csoport”). Mindhárom kezelési csoportban egyenként 50 odú szerepelt. A madárhang és emberhang csoportokat kettő, 25 db mesterséges fészekodút tartalmazó térbeli egységre osztottuk fel annak érdekében, hogy az egységek közötti élőhely heterogenitás hatásait csökkentsük (1. ábra). A hang nélküli kontroll csoport a rendelkezésünkre álló terület méretbeli korlátai miatt három egységre lett bontva, melyek 12, 13 és 25 db odút tartalmaztak (1. ábra).

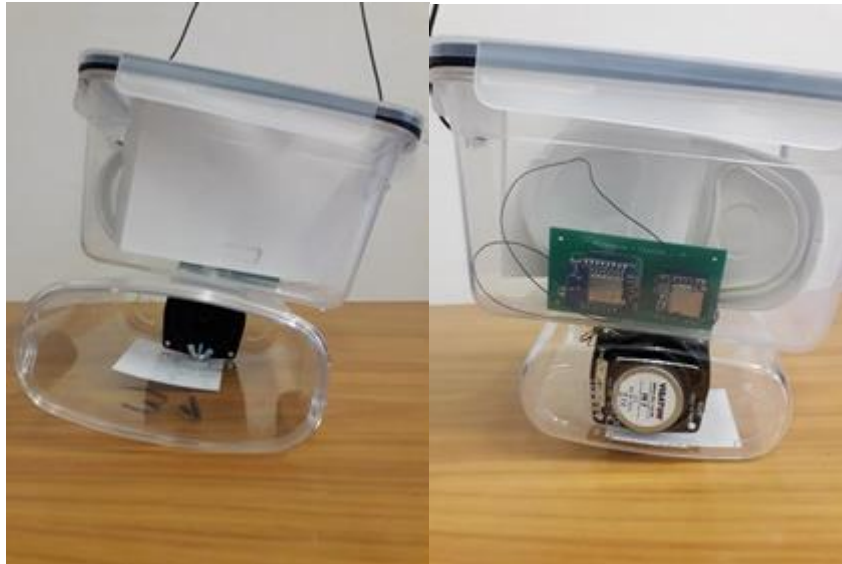
A hanglejátszások 1 méteres távolságból mérve átlagosan 60 decibel erősségűek voltak, amely a normál emberi beszéd hangerejének feleltethető meg [35]. Az egyes kezelési blokkok területének határai legalább 100 méterre voltak egymástól, így gyakorlatilag az eltérő hangkezelések nem hallatszottak át egyik blokkból a másikba. Egy-egy kezeléson belül, a szomszédos fészkeknél az odúk közelsége (40-50 méter) miatt előfordulhatott, hogy a hanglejátszás kis mértékben áthallatszott, azonban ekkora távolságnál a szomszéd odúnál végzett hanglejátszás 25-30 decibel erősségűre csökken, amely a suttogás hangerejének feleltethető meg.

A 2022-es évhez képest 2023-ban részben változtattunk a kezelések térbeli felosztásán a helyhatás kiküszöbölése érdekében. A hang nélküli kontroll csoport mindkettő évben ugyanazokban a blokkokban szerepelt, módosítás a madárhangos kontroll kezelés, valamint az emberi hangkezelés blokkokban történt, amelyeket felcseréltünk (1. ábra). Így a 2022-ben madárhangot kapott blokkok 2023-ban már emberi hangkezelést kaptak, az eredetileg emberi hangos blokkokban pedig 1 évvel később madárhang lett lejátszva.



1. ábra: A kezelési csoportok elhelyezkedése a vizsgált területen 2022-ben (a) és 2023-ban (b). A három kezelési csoport összesen hét térbeli egységre (blokkok) lett felosztva. Minden egységben általában 25 db mesterséges fészekodú található - kivélt képez a hang nélküli kontroll csoport, amely további kettő, egy 12 (1a) és egy 13 (1b), valamint egy 25 db odút tartalmazó egységre lett bontva.

A madár-, illetve az emberhangos kezelésekhez egyedileg készített hanglejátszókat használtunk (3. kép). Az eszközök az odúktól körülbelül 3-5 méter távolságban lévő fára, álcahalóval körbetekerve lettek felhelyezve annak érdekében, hogy a cinegék a lehető legkisebb mértékben észleljék a számukra idegen tárgyat (4. kép). A hanglejátszókat a tojásrakási időszak kezdetén helyeztük ki, majd 5-6 hét elteltével, a fiókák gyűrűzése után szedtük le.



3. kép: A hangkezeléshez használt hanglejátszó elől- és hátulnézetben.



4. kép: A hanglejátszó eszköz álcahalóval körbetekerve.

Összesen 15 emberi („emberhang csoport”) és 15 madárhangos felvétel („madárhang csoport”) szolt, melyek véletlenszerű sorrendben és különböző hosszúsággal voltak lejátszva a kezelési csoportokban. A hangszórók 3,5 napig 6:00-18:00-ig voltak bekapcsolva, majd ezeket kikapcsolva egy 3,5 napos csendes időszak következett, ezt követően pedig ez a 7 napos ciklus újratekintődött egészen a fiókák gyűrűzési idejéig. A lejátszási periódusban a felvételek hossza 90, 120 vagy 150 másodperc volt, „néma” időszakokkal megszakítva, melyek 120-600 másodpercig tartottak, a hosszuk random váltakozott ebben a tartományban. Ez óránként átlagosan 7,5, naponta pedig 90 hanglejátszást jelentett. A 3,5 napos szünet- illetve újrajátszás, valamint a felvételek hosszában, tartalmában és a szünetek hosszában lévő változatosság a monotonitás elkerülését szolgálta, ugyanis igyekeztünk hasonlóná tenni a zavarást, mint amivel a való életben is találkozhatnak a madarak egy emberi tevékenység alatt álló területen (például városi parkban).

3. 4. A fészkek monitorozása és a szülők viselkedési reakcióinak mérése

Annak érdekében, hogy a fiókák korának minél pontosabb becslését adjuk, rendszeres fészkekellenőrzéseket végeztünk az odúknál. Az ellenőrzések a széncinegék fészkeképítési, valamint tojásrakási időszakában 4-5 naponta egyszer történtek meg. Az ezt követő, közel két hétig tartó kotlás alatt 3-4 alkalommal látogattuk a fészkeket, egyenlően elosztva az adott időszakban. A fiókák kikelése és gyűrűzése közötti időszakban pedig 8-9 alkalommal történt fészkekellenőrzés (beleértve a hanglejátszók ki- és bekapcsolása, a videók készítése, valamint a szülők és a fiókák gyűrűzése miatti látogatásokat is).

Az odúk tetejére akasztókat szereltünk és egy kampóval ellátott bot segítségével akasztottuk fel a 4-5 méteres magasságban a fák ágaira, és ugyanilyen módon szedtük le azokat. Minden látogatás során egységesen feljegyeztük az adott fészkeléshez tartozó paramétereket. Ilyen volt az ellenőrzés pontos dátuma és ideje, a fészkeképítés aktuális stádiuma egyedi kódolás alapján (1: kevés moha, 2: mohagyűrű, 3: moha fészkealap, 4: kész fészkek bélésanyag). Továbbá az odúk levétele során megfigyeltük és feljegyeztük a széncinege szülők kockázatvállaló viselkedését: látni/ hallani lehet-e a szülőket, riasztó hangot adnak-e ki, vagy esetleg támadnak-e az ellenőrzést végző személyre. Ezen felül minden alkalommal rögzítettük a tojások számát, az élő és elhullott fiókák számát, valamint a fiókák korának becslését napokban számítva. Ezen kívül feljegyzésre került még az adott fészkek elhelyezkedésétől számított 15 és 50 méteres sugarú körében elhaladó emberek száma, valamint az 50 méteres

sugarú körben látott vagy hallott ragadozók száma és azok típusa (például kutya, mókus, harkály, stb).

A széncinegék költési időszaka alatt mindhárom hangkezelési csoportban kétféle viselkedési tesztet végeztünk el annak érdekében, hogy megbízható adatokat kapjunk az emberrel szembeni kockázatvállaló magatartásukról félelem, vagy zavarástűró reakciójukat elemezve. A két teszt a költés különböző időszakaiban és módszerekkel lett elvégezve, hogy az emberrel szembeni tolerancia legalább részben különböző aspektusait mérjük. A megbízható mérések érdekében az egyes teszteket többször megismételtük ugyanazon egyedek esetében.

Az első viselkedési teszttel a tojók kockázatvállaló magatartását mértük, melyet a fészekellenőrzések során végeztünk el. Ennek a vizsgálatnak a célja, hogy felmérje a tojók toleranciáját a fészket megközelítő emberrel szemben. A teszteket a közel két hétig tartó kotlási időszakban, a tojásrakás befejezése után és az első fióka kikéleése előtt csináltuk. A kutatócsoport munkatársai közül a megfigyelést végző személy 10 másodpercig, 0,5 - 1 méteres távolságból ellenőrizte az adott fészkealjzat, mindeközben a fészekodú levétele és felnyitása során pedig egy pontozási skála alapján rögzítette a tojó viselkedését: (1) a tojó nem tartózkodik a fészken, a tojások be vannak takarva, (2) a tojó nem tartózkodik a fészken, a tojásokat nem fedi fészekanyag, (3) a tojó az odú megközelítésekor repül ki az odúból, (4) az odú leemelésekor repül ki az odúból, (5) az odú tetejének felnyitását követő 10 másodpercen belül repül ki az odúból, (6) legalább 10 másodpercig a fészken marad fenyegető jelzés nélkül, (7) legalább 10 másodpercig a fészken marad és fenyegető, puffogó, sziszegő hangot ad ki és/vagy a szárnyát mozgatja [36]. Amennyiben a tojó az ellenőrzés alatt a fészken maradt, minden további tevékenységet (tojások számlálása, gyűrű kódjának meghatározása) és adatrögzítést a 10 másodperces tesztidő letelte után végeztünk el. A vizsgálatot minden tojó esetében háromszor ismételtük meg, megközelítőleg egyenletesen elosztva a tesztek időpontját a kotlási időszak alatt.

A második viselkedési teszt során mindkét szülő kockázatvállaló magatartását mértük a fiókák kikéleése és kirepülése közötti időszakban. A teszt célja a szülők toleranciájának mérése a fészek közelében lévő, rövid ideig tartó emberi zavarással szemben. Ez a zavarás a rutinszerű fészekellenőrzést jelentette (fészek megközelítése, leemelése, odú tetejének kinyitása, fiókák számolása) kiegészítve egy 3 perces emberi hang lejátszásával, valamint egy kamera elhelyezését a fészekodúhoz rögzített műanyag dobozban (5. kép). A tesztet végző személy egy Bluetooth hangszórót felfelé állítva a földre (vagy alacsonyan lévő, növényzettel nem fedett

tárgyra) helyezett, majd levette az odút és ellenőrizte, hogy a tojó a fészken tartózkodik-e. Amennyiben a tojó az ellenőrzés során kirepült, vagy nem volt jelen az odúban, a megfigyelő elindította a 12 db emberi hangfelvételek egyikét (random kiválasztva) és megkezdte a fészek átvizsgálását. Ez a 3 perces beszédhang különbözött azoktól a lejátszásoktól, amelyeket az emberi hangos kezelési csoportban kaptak a széncinegék. A teszt során ügyeltünk arra, hogy ugyanazt lejátszást ne használjuk többször azonos fészeknél. Az ellenőrzés alatti hanglejátszás célja az volt, hogy a madarak biztosan észleljék a megfigyelőt, még akkor is, ha az odútól távolabb tartózkodtak.



5. kép: Mesterséges fészekodú és az ahhoz rögzített fekete színű kamera doboz.

A hangfelvétel lejátszása alatt a megfigyelő elvégezte a szokásos ellenőrzést (fiókák megszámlálása, élő vagy holt fiókák számának feljegyzése), majd elindította a videót. A felvételre felmondta az ellenőrzés dátumát, helyszínét, az odú azonosítóját (ID), a fiókák számát, a felvétel sorszámát az adott fészekaljon elkészítve, illetve ha a tojó a felvétel indulásakor a fészken tartózkodott. Ezt követően az odúhoz rögzített dobozba helyezte a kamerát, majd a hanglejátszás végeztével visszatette az odút a helyére. A következő 30 percre elhagyta területet, melyet hangos „Indul!” kiáltással, vagy a bot kamera előtti lengetésével jelzett. A kamera ebben a fél órában rögzítette a szülők aktivitását a fészeknél, melyet a

későbbiekben elemeztünk. A megfigyelő az idő leteltével visszatért az odúhoz, kikapcsolta a videófelvételt és leszedte a kamerát.

A videófelvelelek készítésével célunk volt az is, hogy a fiókanevelési időszaknak már az első szakaszában azonosítsuk a színes gyűrűt viselő, a csak alumínium gyűrűt viselő, vagy a teljesen gyűrűtlen szülőket. Elsődlegesen SJCAM és GoPro Hero 3 kamerákat használtunk 1080p 30 fps felbontással, a tartalékot pedig GoPro Hero 2 modellek képezték. A viselkedési tesztbe bevont fészkeknél összesen 3 videófelvételt készítettünk a fiókanevelési időszakban. Az első videó 4-7 napos, a második 8-10 napos, a harmadik pedig 9-12 napos fiókakorban lett elkészítve.

A videók feldolgozását a felvételek készülte után 1-2 napon belül végeztük el. Egy madarat akkor tekintettünk biztosan szülőnek, amennyiben sokáig bent maradt az odúban, vagy etetett a fészeknél. Ha az első felvételen egyik szülő sem bukkant fel a 30 perces időtartam alatt, vagy nem lehetett beazonosítani a gyűrű színek vagy külső jellegek alapján, akkor a lehető leghamarabb ismételt videót készítettünk az adott fészekaljról. A videók elemzése során minden esetben feljegyzésre került az adott videó sorszáma, percben mért hossza, a 12 db 3 perces emberi beszédhangból a videó előtt lejátszott hangfelvétel sorszáma. A további adatokat perc: másodperc formátumban mértük. Ilyen volt a kezdés időpontja onnantól számítva, amikor a tesztet végző személy „Indul”-t mond a felvételre, vagy a kamera látóterében megjeleníti a botot. Külön figyeltük meg a tojó és a hím esetében az első visszatérési latenciát, mely az egyedek első odúra érkezésének idejét jelentette. Továbbá az odúba való első bemenet időpontját (ideértve az olyan esetet is, amikor a madár nem megy be teljesen, csupán az odú nyílásán behajolva eteti a fiókákat), valamint az odú elhagyásának idejét, amikor a madár már nem érinti az odú nyílását vagy peremét.

Mindemellett a szülők figyelő viselkedésének elemzésére egy pontozási rendszert hoztunk létre, mely segítségével az egyedek odúba való be- és kimenetel során megfigyelhető viselkedését osztályoztuk. A bemenetnél 0-ás értéket kaptak abban az esetben, ha kevesebb, mint 1 másodperc alatt egyből berepültek az odúba. Az 1-es pont jelentette, ha az egyed nem ment be egyből az odúba, de relatíve nyugodtan állt, 2-es esetén pedig a fejét forgatta, körülnézett mielőtt bement a fiókákhoz. A legaktívabb figyelő viselkedést 3-assal pontoztuk, miszerint a madár a nyakát nyújtogatva nézelődött, vagy odúnyílásnak háttal fordulva körülnézett. Az odúból való kimenetel folyamán amennyiben a színcinege kevesebb, mint 1 másodperc alatt egyből kirepült, akkor a csőr odúnyílásban való megjelenésének időpontját

feljegyeztük és 0-val pontoztuk. Abban az esetben, ha a csőrét vagy fejét legalább 1 másodpercig kidugta a nyíláson mielőtt elrepült, 1-es értéket, ha pedig mindeközben forgatta is a fejét, akkor 2-es értéket kaptak a figyelő viselkedésre. Végül 3-assal pontoztuk, ha az odú peremére is kilépett és körülnézett, mielőtt elrepült.

A videók elemzése során a tojó és a hím azonosítása gyűrű színkód vagy fenotípusos jellegek alapján történt meg. Utóbbi esetben a fekete hasfolt szélességéből határoztuk meg a szülők ivarát a felvételekről. A gyűrűt viselő egyedek 4 gyűrűből álló jelöléssel voltak ellátva, amely a bal lábon 1 alumínium és 1 színes, a jobb lábon pedig 2 színes műanyag gyűrűt jelentett. A színkód leolvasása a következő sorrendben történt: bal felső, bal alsó, jobb felső, jobb alsó gyűrű színe. A leolvasott és feljegyzett teljes kódokat a gyűrűzési adatbázisunkban ellenőriztük és rögzítettük.

Abban az esetben, ha a szülők teljesen gyűrűtlenek voltak, vagy csupán alumínium gyűrű jelöléssel voltak ellátva, akkor a későbbi azonosítás érdekében csapdáztuk őket. Az odúcsapdázást a fiókanevelés második szakaszában, tehát a kikelést követő 7-14. nap között végeztük el, amikor a szülők már valószínűsíthetően kevésbé érzékenyek a zavarásra. Mivel a második viselkedési teszt szintén a fiókanevelési időszak közben lett elvégezve, így igyekeztünk a csapdázás és videókészítés időpontját úgy összehangolni, hogy a madarak megfogása ne legyen befolyással a teszt eredményére. Az odúcsapdázás ennek érdekében az 1. és a 2. videó elkészültét követően történt meg. Amennyiben a videófelvétel és a szülő megfogása ugyanarra a napra esett, akkor a videót készítettük el előbb. A két szülő befogása különböző napokon történt: az első egyedeket automata madárscapdával, a másodikakat pedig manuálisan működtetett csapdával fogtuk meg. Ezt követően a felnőtt egyedek gyűrűzése és a gyűrű színkód adatbázisban történő rögzítése történt. Ezzel egyidőben megmértük a szülők testtömegét, valamint a bal csüd és jobb szárny hosszát az úgynevezett Svensson-módszer alapján: a szárny hosszának mérése során a szárnyhajlat (*metacarpus*) és az elsőrendű evezőtollak közötti távolságot vettük figyelembe, a csüd hosszát pedig az *intertarsalis* ízületől a csüd legalsó skálájáig, a lábujjak szétválása feletti részig mértük [37]. Ezen felül elvégeztük a zsírtartalék becslést BWG (BTO) skála alapján, valamint tollazati bélyegek alapján megállapítottuk az ivarukat és a korukat. A gyűrűzést és méréseket követően az egyedeket a lezárt fedelű odú száján keresztül visszahelyeztük a fészekbe, majd az odú nyílását bedugaszoltuk (pl. a kézi csapda során használt madárzsákkal) annak érdekében, hogy a szülő a fiókák közt maradjon és ezzel csökkentjük a dezertálás esélyét. A „dugót” az odú fára való visszahelyezését követően távolítottuk el a kampós végű bot segítségével.

A fiókák jelölése 14-16 napos korokban történt alumínium gyűrűvel. Ha a gyűrűzésük a szülő csapdázásával egy napra esett, akkor a szülő befogása történt meg hamarabb. A fiókák esetében is elvégeztük a testméretre vonatkozó méréseket, mint a testtömeg ($\pm 0,1$ g), jobb szárny (± 1 mm), bal csüd ($\pm 0,1$ mm), valamint a zsírtartalék becslése BWG (BTO) skála alapján. A kirepülésüket követően 1 héttel később még elvégeztünk egy utóellenőrzést, hogy megbizonyosodjunk a fészek ürességéről és az esetlegesen pusztult fiókák számát is feljegyezzük.

3. 5. Az adatok statisztikai elemzése

A terepi munkálatok során gyűjtött adatok statisztikai elemzéséhez az R (verziószám: 4. 3. 3.) [38] és RStudio (verziószám: 4. 3. 2.) [39] programokkal dolgoztunk. Az elemzésekbe csak azokat a fészkeléseket vontuk be, amelyeknél sikeres volt a hangkezelés, tehát a hanglejátszás a tojásrakás alatt kezdődött és a fiókák kirepüléséig vagy pusztulásáig tartott. Azokat az odúkat, amelyekben nem költöttek a széncinegék, vagy valamilyen okból kifolyólag sikertelen volt a hanglejátszás, nem vettük figyelembe.

A normál eloszlású adatoknál lineáris kevert modelleket [40], a bináris függő változók esetében pedig binomiális kevert modelleket [41] alkalmaztunk. Lineáris kevert modellek esetében a függő változók az odúhoz való visszatérési latencia, a lerakott tojások száma, a kirepült fiókák száma, valamint a fiókák testméretére vonatkozó paraméterek voltak (tömeg, csüd hossz, szárnyhossz). Binomiális kevert modellekkel pedig a tojó fészken maradásának mértékét és a szülők zavarás utáni figyelő viselkedését elemeztük. Utóbbi két modell esetében a függő változókat binárisan kódoltuk. A tojók kotlás alatti kockázatvállalási tesztjénél alkalmazott 7 pontos skálánál csak azokat a fészkeket vontuk be az elemzésbe, ahol a fészekellenőrzés kezdetén a tojó még bent volt az odúban, tehát ha 3-as vagy annál nagyobb értéket kapott. A viselkedés bináris kódolásában ha 3-5 között volt a teszt pontszáma, akkor úgy értelmeztük, hogy nem maradt a fészken (0-val kódoltuk a bináris változóban), ha pedig 6-7 értéket kapott, akkor rajta maradt (1-gyel kódoltuk). A második, fiókanevelés alatt végzett teszt során megfigyelt zavarás utáni figyelő viselkedés szintén binárisan lett kódolva: az eredeti 0 és 1 pont jelentette, hogy nem figyel (0-val kódoltuk a bináris változóban), a 2 és 3 pontot pedig úgy értékeltük, hogy kémleli a környezetét, vagyis rövidebb-hosszabb ideig körülnéz mielőtt bemegy vagy kirepül az odúból (1-el kódoltuk).

A kísérlet alatti fészekellenőrzések számából létrehoztunk egy olyan változót, amely összegzi a vizsgált fészeknél történő ellenőrzések, és a tőle 100 méteren belül lévő szomszédos fészeknél történt megfigyelések számát. Ezt a változót egy adott fészkelésnél az első költsékek esetében úgy kaptuk meg, hogy az összes ellenőrzés számából kivontuk a másodköltségekben szereplő üres fészkeknél elvégzett ellenőrzések átlagos számát. A másodköltségek esetében az egész költségi időszakra vonatkozó összes fészekellenőrzés számát vettük figyelembe, tehát az első és másodköltségek ellenőrzési adatait egyaránt. Ennek oka, hogy a másodköltségek általában ugyanabban vagy a szomszédos odúban történtek, mint a pár első költsége, azaz a madarak az első költés alatti ellenőrzések zavarás hatásának is ki voltak téve. Mind a szülők csapdázása, mind a videófelvetelek készítése esetében külön-külön ellenőrzésnek lett számítva, ahányszor a megfigyelő visszament az adott odúhoz.

Az elemzésekhez továbbá a fészkek úttól való távolságára is létrehoztunk egy változót. Ez a viszonylag ritka, de rendszeresen előforduló zavarás mértékét méri, hiszen a vizsgálati terület szélén haladó murvás utakra vonatkozik, amelyet főleg erdészeti teherautók és kirándulók használnak.

A modellekhez “lme4” [40] és “car” [42] R-csomagokat használtunk. A zavarást mérő prediktorok a kísérleti kezelés (tehát a kontrolláltan manipulált, tartós emberi zavaró hatás), továbbá a 100 méteren belüli fészekellenőrzések száma, valamint az utaktól való távolság voltak. Háttérváltozóként az évet, a fészekaljat (első- vagy másodköltsék), továbbá egyes viselkedési elemzésekben a szülő nemét vettük be további prediktoroknak a modellbe. Emellett a modell tartalmazta a kísérleti kezelés és a többi prediktor közötti interakciókat (4 vagy 5 interakció, attól függően, hogy az ivar szerepelt-e prediktorként a modellben). Mivel ugyanannak a párnak esetlegesen több fészke és fiókája lehet, melyek nem független adatok egymástól, így random faktorokat is használtunk a modellekben. Minden elemzésben random faktorként szerepelt a szülőpár azonosítója (pair ID), valamint egyes esetekben a fészekalj azonosítóját is használtuk (brood ID), amennyiben egy fészek több adattal szerepelt. Utóbbit a szülők viselkedésére, valamint a fiókák testméretére vonatkozó elemzésekben (testtömeg, szárnyhossz, csüd hossz) használtuk a pár azonosítója mellett. A binomiális modellekben a folytonos változókat a modell jobb illeszkedése érdekében normalizáltuk.

4. Eredmények

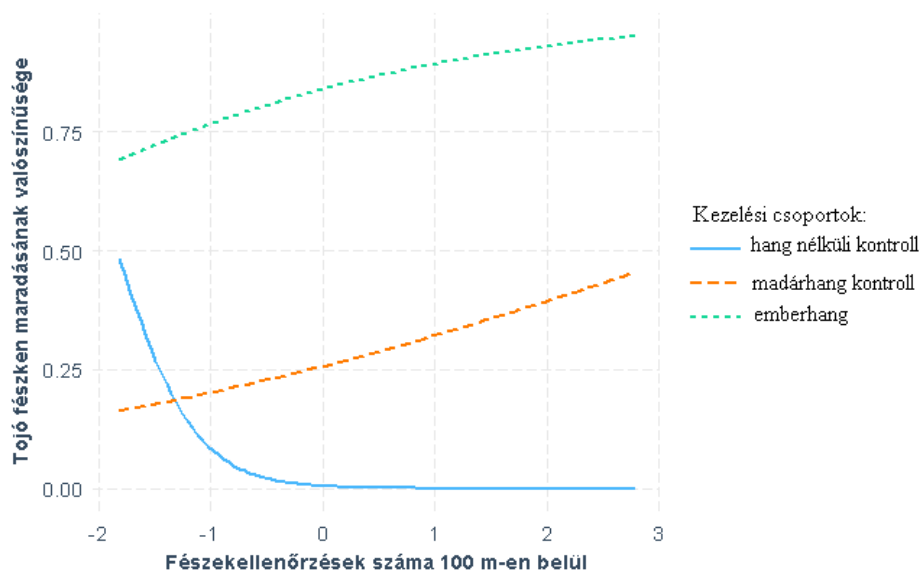
A 2022-es évben összesen 28 fészeknél volt sikeres a kezelés, mely szinte egyenlő eloszlásban volt mindhárom hangkezelési csoportnál: az emberi hangos csoportban 9 db, a madárhangos kontroll csoportban szintén 9 db, a hang nélküli kontroll csoportban pedig 10 db fészek lett bevonva az elemzésekbe. 2023-ban a fészkelések nagyobb száma miatt közel háromszor annyi sikeres kezelés történt, mint az előző évben, a csoportokban pedig itt is hasonló mintaszámok szerepeltek: az emberi hangosban 27 db, a madárhangos kontrollban 28 db, a hang nélküli kontrollban 27 db fészek szerepelt. 2022-ben összesen 93 db, 2023-ban pedig 213 db 30 perces fiókanevelés alatt készült videót elemeztünk.

4. 1. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: tojók kockázatvállalása kotlás alatt

Az eredmények alapján a hangkezelés hatása függött a fészekellenőrzések számától (1. táblázat). Az emberi hangos kezelésben a tojók bátrabbak voltak a két kontrollnál, tehát ők maradtak a legnagyobb valószínűséggel a fészken, és a csoportok közötti különbség akkor volt a legnagyobb, ha magas volt az ellenőrzések száma 100 méteren belül, ugyanis szignifikáns interakció volt a kezeléseket és a fészekellenőrzések száma között (1. táblázat, 2. ábra). A madárhangos kontroll csoportban a tojók kockázatvállalása az emberhangos és a hanglejátszás nélküli kontroll csoport madarai közé esett (2. ábra).

1. táblázat: A tojók kockázatvállalása: az ANOVA-tábla eredményei (III-as típusú ANOVA tábla, Wald-féle khi-négyzet teszt)

Változó neve	Khi-négyzet érték	Szabadsági fok	p-érték
kísérleti kezelés	10,356	2	0,006
fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	6,601	1	0,010
úttól való távolság	4,328	1	0,038
év	4,752	1	0,029
költés	5,876	1	0,015
kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	6,826	2	0,033
kísérleti kezelés*úttól való távolság	4,420	2	0,110
kísérleti kezelés*év	5,669	2	0,059
kísérleti kezelés*költés	1,804	2	0,406



2. ábra: A tojó fészken maradása a kotlás alatt a kísérleti csoportokban, a 100 méteren belüli fészkekellenőrzések számának függvényében. Az ábrán a normalizált adatokkal futtatott eredmények láthatóak. Az x tengelyen az eredeti skálán a minimum érték 0, a maximum érték pedig 200 volt. Az y tengelyen a bináris adatokból számolt valószínűségek szerepelnek.

Ebben a tesztben továbbá az évhatást is kimutattuk, ugyanis 2023-ban átlagosan kevésbé voltak félősek az egyedek, mint 2022-ben (1. táblázat). További hatás volt még az úttól való távolság, mely esetben az úttól távolodva csökkent a félelem magatartás, tehát gyakrabban maradtak a fészken a tojók (1. táblázat). Ezen felüli eredményünk volt, hogy a madarak a másodköltségekben inkább vállalnak kockázatot és maradnak tovább a fészken, mint az első költségek során (1. táblázat).

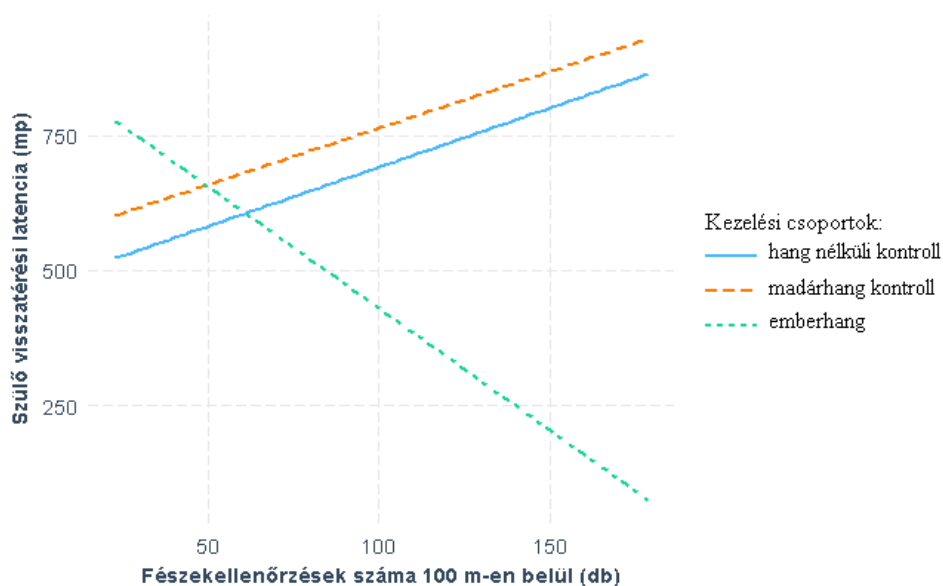
4. 2. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: a szülők kockázatvállalása fiókanevelés alatt

A második, fiókanevelés alatt végzett tesztből mért szülők zavarás utáni odúhoz való visszatérési latenciája esetében a hangkezelés hatása szintén függött a fészkekellenőrzések 100 méteren belüli számától (2. táblázat). Az emberhangos csoportban a szülők akkor voltak a legbátrabbak, tehát tértek vissza leghamarabb a fészkekhez a többi kezelési csoporthoz képest, ha magasabb volt az ellenőrzések száma. A madárhangos és a hang nélküli csoportokban

azonban az egyedek főlősebbek voltak, hiszen az emberi látogatások számának növekedésével egyre inkább később tértek vissza az odúkhöz (3. ábra).

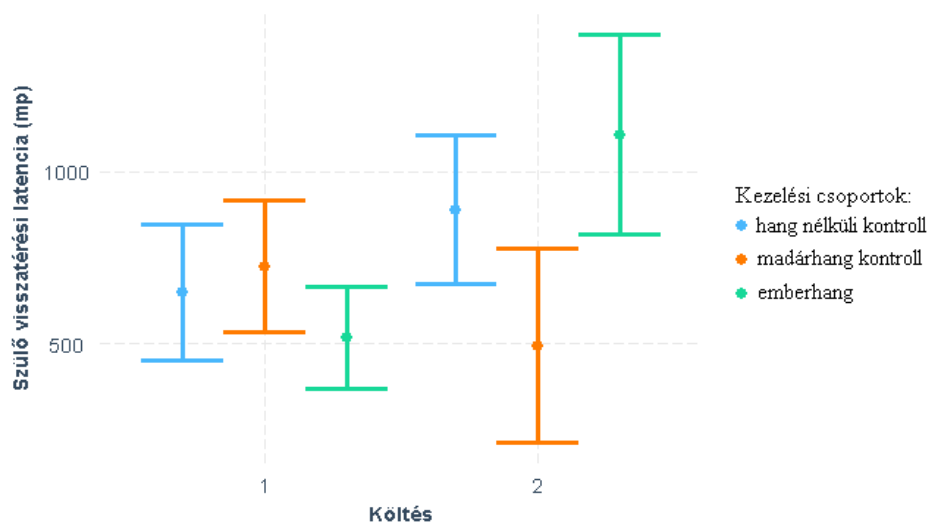
2. táblázat: A szülők visszatérési latenciája: az ANOVA-tábla eredményei (III-as típusú ANOVA tábla, Wald-féle khi-négyzet teszt)

Változó neve	Khi-négyzet érték	Szabadsági fok	p-érték
kísérleti kezelés	1,604	2	0,448
fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	1,755	1	0,185
úttól való távolság	1,290	1	0,256
év	2,202	1	0,138
költés	5,284	1	0,022
ivar	6,709	1	0,009
kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	8,687	2	0,013
kísérleti kezelés*úttól való távolság	3,387	2	0,184
kísérleti kezelés*év	5,747	2	0,057
kísérleti kezelés*költés	13,458	2	0,001
kísérleti kezelés*ivar	0,854	2	0,652



3. ábra: A szülők odúhoz való visszatérési latenciája a fészekellenőrzések 100 méteren belüli számának növelésével. Az emberhangos csoportban szereplő madarak a több ellenőrzéssel egyenes arányosságban hamarabb térnek vissza a fészekhez, míg a másik kettő kontroll csoportban későbbi latencia figyelhető meg.

A visszatérési latencia esetében az ivar hatása is szignifikáns volt, miszerint a hímek valamivel hamarabb térnek vissza az odúkhöz. Továbbá a kezelésnek a költéssel interakcióban is kimutatható hatása volt (2. táblázat): amíg a szülők az emberi hangos és a hang nélküli kezelésben az első költéshez képest a másodköltésben később repültek vissza a fészkekhez, addig a madárhangos kezelésben a visszaérkezési idő csökkent a 2. fészkealj esetében (4. ábra).

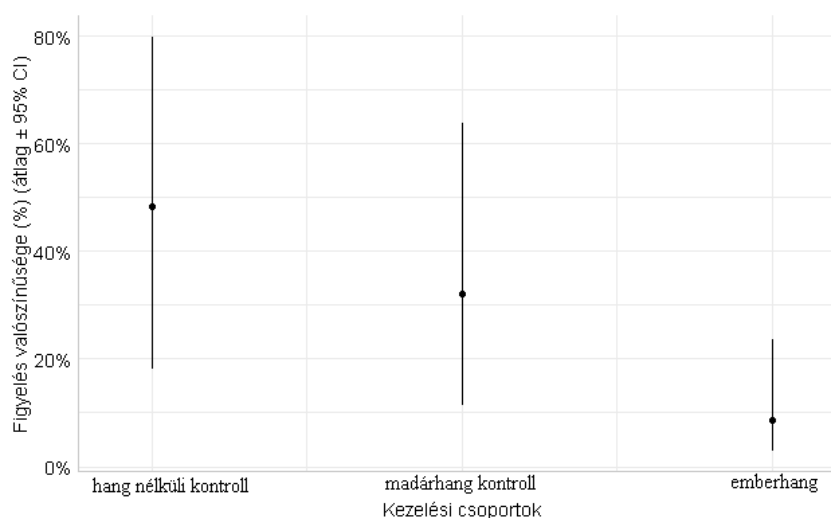


4. ábra: A szülők visszatérési latenciája az első és a második költés során a három kezelési csoportban. A másodköltésben a legkésőbb visszaérkező madarak átlagos száma az emberhangos kezelésben volt, míg a leghamarabb visszaérkezők a madárhangos csoportban voltak.

A második teszt során megfigyelt szülők figyelő viselkedése esetében szintén normalizált adatokkal dolgoztunk. Az emberi hangkezelésnek önmagában jelentős hatása volt, hiszen ebben a csoportban a szülők lényegesen bátrabbak voltak, mint a kontroll csoportokban lévő társaik, ugyanis kisebb valószínűséggel kémlelték a környezetüket mielőtt bementek az odúba, vagy kijöttek onnan (3. táblázat, 5. ábra).

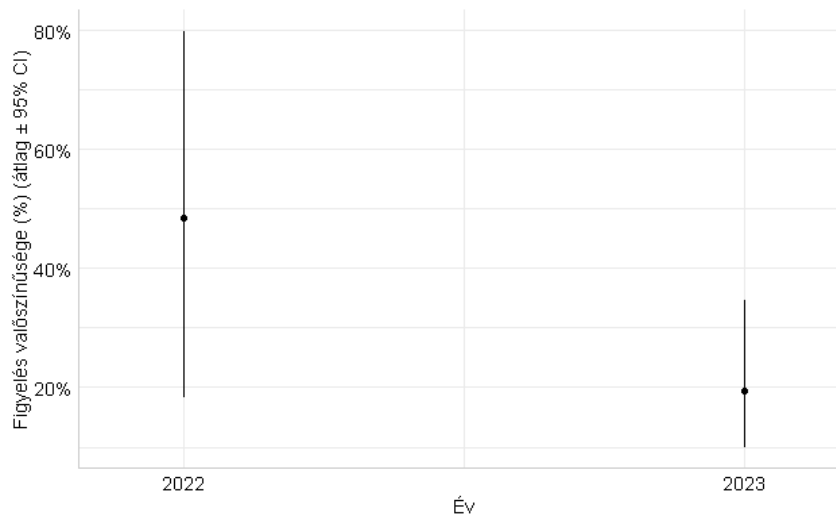
3. táblázat: A szülők figyelő viselkedése: az ANOVA-tábla eredményei (III-as típusú ANOVA tábla, Wald-féle khi-négyzet teszt)

Változó neve	Khi-négyzet érték	Szabadsági fok	p-érték
kísérleti kezelés	6,317	2	0,043
fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	0,712	1	0,399
úttól való távolság	2,762	1	0,097
év	4,082	1	0,043
költés	1,378	1	0,240
ivar	0,981	1	0,322
kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	3,431	2	0,180
kísérleti kezelés*úttól való távolság	3,101	2	0,212
kísérleti kezelés*év	4,430	2	0,109
kísérleti kezelés*költés	4,451	2	0,108
kísérleti kezelés*ivar	0,824	2	0,662



5. ábra: A szülők figyelési intenzitása a kezelési csoportokban. Az ábrán a normalizált adatokkal futtatott eredmények láthatóak. Az y tengelyen a bináris adatokból számolt százalékos valószínűségek szerepelnek. Legkisebb valószínűséggel az emberi hangos kezelésben lévő madarak figyeltek az odúba való bemenés és kijövetel során.

További eredményünk, hogy a 2022-es évhez képest a szülők 2023-ban kevésbé figyelték a környezetüket mielőtt bementek vagy kijöttek az odúból (6. ábra, 3. táblázat).



6. ábra: A szülők figyelési intenzitása a két évben. Az ábrán a normalizált adatokkal futtatott eredmények láthatóak. Az y tengelyen a bináris adatokból számolt százalékos valószínűségek szerepelnek. 2023-ban kevésbé figyeltek az odúba való bemenetel és kijövetel során, mint 2022-ben.

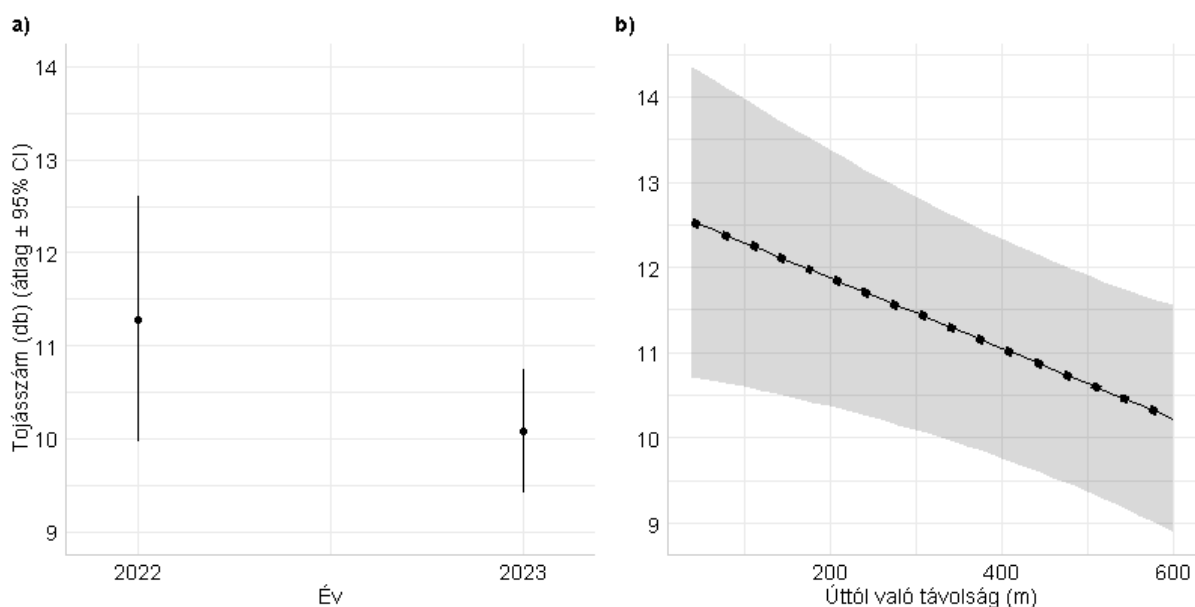
4. 3. Az emberi zavarás hatása a szaporodási sikerre

A szaporodási siker paramétereit tekintve a lerakott tojások számát nem befolyásolta a hangkezelés, tehát az emberhangos csoportban statisztikailag szignifikánsan nem különbözött a tojások száma a másik kettő kontroll csoporttól (4. táblázat). Az évnek azonban szignifikáns volt a hatása: 2022-ben átlagosan 11-12 tojást raktak a széncinegék, míg 2023-ban az átlagos tojásszám 10 db volt (7.a ábra).

A lerakott tojások számára továbbá hatással volt a fészkek úttól való távolsága is. Ez esetben az úttól távolodva számuk egyre csökkent (7.b ábra).

4. táblázat: Lerakott tojások és kirepült fiókák száma: az ANOVA-tábla eredményei (III-as típusú ANOVA tábla, Wald-féle khi-négyzet teszt)

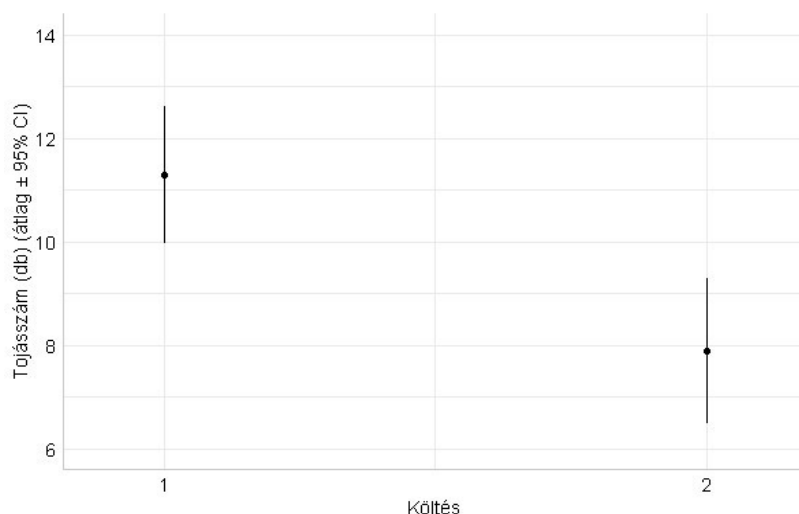
	Változó neve	Khi-négyzet érték	Szabadsági fok	p-érték
Lerakott tojások száma	kísérleti kezelés	0,476	2	0,789
	fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	0,719	1	0,396
	úttól való távolság	7,296	1	0,007
	év	4,009	1	0,045
	költés	24,719	1	0,000007
	kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	1,085	2	0,581
	kísérleti kezelés*úttól való távolság	0,863	2	0,650
	kísérleti kezelés*év	1,494	2	0,474
	kísérleti kezelés*költés	1,492	2	0,474
	Kirepült fiókák száma	kísérleti kezelés	1,761	2
fészekellenőrzések száma 100 m-en belül		0,083	1	0,773
úttól való távolság		3,142	1	0,076
év		5,236	1	0,022
költés		13,956	1	0,0002
kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül		0,704	2	0,703
kísérleti kezelés*úttól való távolság		1,750	2	0,417
kísérleti kezelés*év		1,410	2	0,494
kísérleti kezelés*költés		0,503	2	0,778



7. ábra: a) A lerakott tojások száma a két vizsgált évben. 2022-ben a tojók átlagosan több tojást raktak, mint 2023-ban.

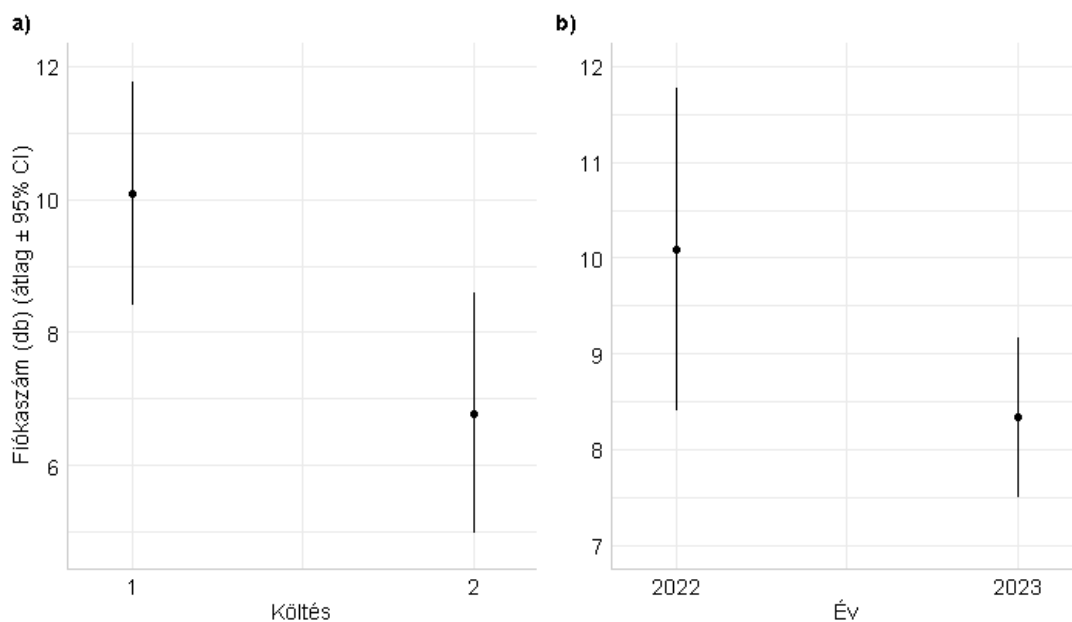
b) A lerakott tojások számának változása az úttól távolodva (CI: 95%). Az úttól való távolság növekedésével csökken a tojásszám.

Ezen felül a költésnek is szignifikáns hatása volt a lerakott tojások számára (4. táblázat). Az első költésben átlagosan 11 db, míg a másodköltésben mindössze átlag 8 db tojást raktak (8. ábra).



8. ábra: A lerakott tojások átlagos száma az első- és másodköltésekben. A másodköltésben átlagosan kevesebb tojást raktak a tojók.

A kirepült fiókák számára nem volt kimutatható hatása a hangkezelésnek, ugyanis az emberi hangos csoportban statisztikailag nem volt különbség a számukban a többi csoporthoz képest (4. táblázat). Az év hatása ugyanúgy, mint a lerakott tojások számában, ebben az esetben is megjelent, 2022-ben átlagosan 10, míg 2023-ban csak 8-9 fióka repült ki (9.b ábra). Az első- és másodköltés esetében szintén különbséget figyeltünk meg a két évben. Az első költések során átlagosan 10 fióka hagyta el a fészket, míg a másodköltések alkalmával mindössze 7 (9.a ábra).



9. ábra: a) A kirepült fiókák száma az első- és a másodköltésekben. A második fészkelések során kevesebb fióka hagyta el a fészket az első költésekhez képest.

b) A kirepült fiókák száma a két vizsgált évben. 2023-ban átlagosan kevesebb fióka repült ki, mint 2022-ben.

A fiókák testméretére vonatkozó mérések esetében nem találtunk kimutatható hatást (1. melléklet). Sem a hangkezelés, sem a többi vizsgált változó, mint az év, a költés, a fészkekellenőrzések száma, vagy az úttól való távolság nem volt befolyással a fiókák átlagos testtömegére, szárnyhosszára, valamint csüd hosszára sem.

Összesen 30 olyan egyedet azonosítottunk a gyűrűkód alapján, amelyek mindkét évben jelen voltak a területen. Közülük 2022-ben 17-et fiókaként gyűrűztünk, a következő évben

pedig költeni tértek vissza. A 13 felnőtt széncinege pedig 2022-ban és 2023-ban is fészket rakott. A kis mintaszámok miatt nincsenek eredményeink arra vonatkozóan, hogy az előző év fiókaként vagy szülőként tapasztalt kezelése hogyan befolyásolta az egyedek viselkedését vagy szaporodási sikerét.

5. Értékelés

Az ember által előidézett környezeti változás jelentős hatással bír az állatok viselkedésére. Az emberrel szembeni kockázatvállalás megváltozása hozzájárulhat a sikeres alkalmazkodáshoz, a zavarásra érzékeny fajok azonban sok esetben kiszorulhatnak az adott területről [43].

A vizsgálatunk arra a kérdésre irányult, hogy a tartós, több hétig tartó emberi zavarás milyen hatással van a madarak kockázatvállaló magatartására a fészekrakási és költési időszakban, valamint a szaporodási siker olyan paramétereire, mint a lerakott tojások és kikelt fiókák száma, továbbá a fiókák testméretét jellemző tulajdonságokra. Tudomásunk szerint ez a vizsgálat az első kísérletes tesztje a tartós emberi zavarás ilyen jellegű következményeinek.

5. 1. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: tojók kockázatvállalása kotlás alatt

A teszt eredményei alapján az emberi hangkezelés hatására nőtt a tojók kotlás alatti kockázatvállalása, amely összefüggésben volt a fészekellenőrzések számával (1. táblázat). Eszerint minél több ellenőrzés történt az adott fészkek és a tőle 100 méteren belüli szomszédos fészkeknél, annál nagyobb valószínűséggel vállaltak kockázatot és maradtak fészken a tojók az ellenőrzések során az emberi hangos csoportban és nőtt a különbség a kezelési csoportok között (2. ábra). Ez magyarázható azzal, hogy a fészekellenőrzések alatti zavarás felerősíti a hangkezelés hatását, mivel a madarak nagyobb valószínűséggel társítják az emberi jelenlétet az emberi hang lejátszásával. Viszonylag kevés korábbi tanulmány vizsgálja az emberi hangzavarás állatokra gyakorolt hatását, azonban egy 2020-as kutatásban Tallet és munkatársai kimutatták, hogy - saját eredményeinkhez hasonlóan - az emberi hang lejátszása jelentős mértékben csökkentette az általuk vizsgált házi sertések (*Sus scrofa domestica*) félelmét az emberi jelenléttel szemben. Kísérletünkben az a kezelési csoport, amely a rendszeres emberi jelenlét mellé hanglejátszást is kapott, növelte az emberekkel való interakció mértékét, szemben a kontroll csoporttal, amely hanglejátszás hiányában továbbra is félelmi reakciót

mutatott [44]. Eredményeink alapján a széncinegék esetében feltételezhető, hogy a nem fenyegető emberi jelenléthez és hangzavaráshoz viselkedésben egyre inkább habituálódnak.

Ezen felül a madárhangos csoportban is megfigyeltünk zavarás-habituációt a hang nélküli kontroll csoporthoz képest: a fészekellenőrzések számának növelésével nagyobb valószínűséggel maradtak fészken a tojók, mint a hang nélküli csoportban lévő egyedek (2. ábra). Ez az eredmény magyarázható azzal, hogy a madárhangos kontrollban a hanglejátszók ki- és bekapcsolása miatt átlagosan több fészekellenőrzés volt 100 méteren belül (94 db), mint a hang nélküli csoportban (65 db), amely az előbbi csoportban nagyobb mértékű habituációt eredményezhetett. Az eredmény továbbá magyarázható a hanglejátszó készülék alapzajához való hozzászokással is [20].

Az első viselkedési teszt során az évhatást is kimutattuk: 2023-ban nagyobb valószínűséggel vállaltak kockázatot a tojók a fészeknél, mint 2022-ben (1. táblázat). Ez az eredmény magyarázható azzal, hogy 2023-ban közel háromszor annyi fészket raktak a madarak a vizsgált területen, mint 2022-ben, így a megnövekedett fészekellenőrzések száma miatt általánosan nagyobb volt az emberi jelenlét az erdőben, amely hozzájárulhatott a széncinegék emberi zavaráshoz való habituációjához. Az eredmény másik magyarázataként azt feltételezzük, hogy a 2022-es zavarás is hozzájárulhatott a 2023-ban lévő nagyobb zavarástűréshez. Bár tudomásunk szerint kevés volt az olyan madarak száma, amelyek mindkét évben költöttek, elképzelhető, hogy a kezelés és az emberi jelenlét hatása a szülők és a fiókák viselkedését egyaránt befolyásolta, ami bátrabb viselkedést eredményezett a következő évben. Egy házi tyúkokat (*Gallus gallus domesticus*) vizsgáló kutatás kimutatta, hogy a fiatal egyedek rendszeres kézbevétele csökkenti az emberrel szembeni félelmi reakciójukat. A fizikai kontaktus mellett beszéltek is az állatokhoz, melynek együttes hatása hozzájárult a pozitív interakció kialakulásához az ember és a fióka között [45]. Ebből kifolyólag vizsgálatunkban feltételezzük, hogy a hanglejátszás és a rendszeres fészekellenőrzések hozzájárulhattak az egy évvel későbbi emberrel szembeni nagyobb toleranciához.

A tojók kockázatvállalása a másodköltés során nagyobb volt, tehát nagyobb valószínűséggel maradtak a fészken, mint az első költésben (1. táblázat). Ez szintén kapcsolódhat a habituációhoz, hiszen a második költésben szereplő madarak nagy részének első költése is volt, így több alkalmuk volt megszokni az emberi jelenlétet. Emellett a kockázatvállalás és a fiókák védelmének mértéke függhet az adott környezet minőségétől, a fiókák számától, vagy esetleg a fiókák korától és méretétől [46]. Vizsgálatunkban a

másodköltések során kevesebb volt a tojás- és a fiókaszám, amely az életképes fészekalj megőrzése érdekében nagyobb kockázatvállaló magatartást vonhatott maga után. Másrészt viszont a másodköltésekből várható szaporodási siker kisebb (például a kisebb kirepült fiókaszám miatt), ami miatt a szülők csökkenthetik a kockázatvállalást [46].

5. 2. Az emberi zavarás viselkedési hatásai: a szülők kockázatvállalása fiókanevelés alatt

A szülő madarak fiókanevelés alatt mért kockázatvállaló magatartására szintén befolyással volt az emberi zavarás. Hasonlóan a tojók kotlás alatti viselkedéséhez, a hangkezelés visszatérési latenciára gyakorolt hatása függött a fészekellenőrzések számától: az emberhangos csoportban a szülők akkor voltak a legbátrabbak (tértek vissza leggyorsabban a fészekhez), ha nagy volt a fészekellenőrzések száma 100 méteren belül (2. táblázat, 3. ábra). Ezt hasonló mechanizmussal magyarázhatjuk, mint az első viselkedési teszt eredményét, miszerint a madarak az emberi hang lejátszását társították az emberi jelenléttel, mely által viselkedésben egyre inkább habituálódtak.

Az emberi zavaráson kívül néhány más tényező is befolyásolta a visszatérési latenciát. A teszt során a hím egyedeknél figyeltünk meg kisebb értékeket, vagyis átlagosan hamarabb érkeztek vissza a fészekhez, mint a tojók (2. táblázat). Ennek oka az lehet, hogy a fiókanevelési időszak elején a hímek gyakrabban etetnek a fészkeknél [47], például azért, mert a tojók kondíciója rosszabb lehet korábbi nagyobb utódgondozási energiabefektetésük (tojásrakás, kotlás) és súlyvesztésük miatt [48]. Ezen felüli eredményünk, hogy a másodköltés során a madárhangos csoportban lévő egyedek hamarabb érkeztek vissza az odúhoz, mint a másik két csoportban lévő madarak (4. ábra). Ezen eredményünket egyelőre nem tudjuk interpretálni, nem egyértelmű, hogy miért éppen a madárhangos csoportban csökkent a másodköltésekben mért latencia.

A szülők viselkedési tesztben mért figyelő viselkedése esetében az emberhangos csoportban lévő egyedek bátrabbak voltak, tehát kisebb valószínűséggel kémlelték a környezetüket mielőtt bementek/ kijöttek az odúból, mint a kontroll csoportokban lévő madarak, melyet az emberi hang emberi jelenléttel való társításával és a zavaráshoz történő habituációval magyarázunk (3. táblázat, 5. ábra). Ezen felül a 2022-es évhez képest 2023-ban mindhárom kezelési csoportban összességében kevésbé figyeltek a madarak, amely a 2023-as

általánosan több fészekellenőrzéshez (vagy esetleg a 2022-es év áthúzódó hatásához) és így a nagyobb emberi zavaráshoz köthető (3. táblázat, 6. ábra).

5. 3. Az emberi zavarás hatása a szaporodási sikerre

Vizsgálatunk folyamán az emberi hangkezelés esetében nem találtunk kimutatható hatást a szaporodási sikerre vonatkozóan. Sem a lerakott tojások, sem a kirepült fiókák számára nem volt befolyással a hangkezelés, ugyanis az emberhangos csoportban hasonló adatokat mértünk ezekre a paraméterekre vonatkozóan, mint a madárhangos kontroll, valamint a hang nélküli kontroll csoportokban (4. táblázat). Eredményünk tehát arra utal, hogy a szülők viselkedési válaszuk, azaz a megnövekedett kockázatvállalásuk révén sikeresen alkalmazkodnak a fészek környezetében lévő nagyobb emberi zavaráshoz. Ez lehetővé teszi, hogy az utódok igényének megfelelő mértékű gondozó viselkedést (mint a folyamatos kotlást vagy elegendő táplálék hordását) fenntartsák, és ezáltal biztosítsák a fiókák növekedését és túlélését. Ez az eredmény összhangban van Hutfluss és Dingemanse 2019-es németországi kutatásával, melyben a természetes környezetben az emberi zavarás ellenére sem változott a széncinegék fészekrakási aránya és a fiókák kikelési rátája sem [21].

Azonban az évek hatása a szaporodási sikerre vonatkozóan is megjelent, ugyanis 2023-ban átlagosan kevesebb lerakott tojás és kirepült fióka volt mindhárom kezelési csoportban, mint 2022-ben (7.a ábra, 9.b ábra). Ezt az eredményt a 2023-as megnövekedett költési számmal tudjuk magyarázni, mely által kevesebb élelem és nagyobb versengés alakulhatott ki a vizsgálati területen a madarak között. Továbbá 2023-ban jellemzően már március elején, 2022-höz képest 3 héttel korábban kezdtek el költeni a széncinegék a Farkasgyepűi kísérleti erdőben. Emiatt a két év költési időszaka között számos olyan környezeti különbség lehetett (például az időjárásban és a táplálék mennyiségében), ami miatt 2023-ban alacsonyabb volt a szaporodási siker.

Továbbá az úttól való távolság is szignifikánsan hatott a lerakott tojások számára (4. táblázat). Ez összefüggésben lehet a széncinegék szegély-típusú élőhely preferenciájával, mivel az úthoz közel átlagosan több tojást raktak, mint az úttól távol (7.b ábra). Az erdőszegélyek jelentős hatással bírnak az élőlényekre azáltal, hogy nagyobb mennyiségű napfény, változó hőmérséklet és páratartalom jellemzi azokat. Annak ellenére, hogy ezeken a területeken magasabb ragadozási arány és esetenként több parazita fordulhat elő, számos

madárfaj esetében nem befolyásolja a fészekrakás sikerességét. Példaképp Wen-Hon Deng és munkatársai 2005-ös kutatásában a fészkelési kudarc fő oka inkább a fészkelőhelyekért való versengés miatt következett be, de ennek ellenére is sikerebben költöttek a madarak a szegélyek mentén, mint a zárt erdőrészekben. A szegély típusú élőhelyeket feltehetőleg azért részesítik előnyben a széncinegék, mert kedvezőbbek a körülmények a fészkelés szempontjából, valamint a nyitottabb növényzet miatt könnyebben tudják észlelni a ragadozókat is [49].

A szaporodási sikert tekintve a másodköltések során kevesebb volt a lerakott tojások és a kirepült fiókák száma az első fészkeljhez képest (8. ábra, 9.a ábra). Ez az eredmény azzal hozható összefüggésbe, hogy a környezeti adottságok nagymértékben befolyásolják a fészkelj méretét [46]. Általánosságban elmondható, hogy minél később szaporodnak a széncinegék, annál kisebb fészket raknak, mely főként az adott területen lévő kevesebb táplálékkal magyarázható [50].

Az év, a költés, a fészekellenőrzések száma, az úttól való távolság, valamint a hangkezelések esetében sem találtunk kimutatható hatást a fiókák testméretére vonatkozó paraméterekre (testtömeg, csüd hossz, szárnyhossz) (1. melléklet). Utóbbi eredmény szintén egybeesik Hutfluss és Dingemans kísérletének eredményével, miszerint az emberi zavarás ellenére sem csökkentették a széncinegék a szülői gondoskodás mértékét [21].

Összesen 30 olyan széncinegét azonosítottunk, amely tudomásunk szerint mindkét évben előfordult, melyek közül 13 felnőtt és 17 fióka egyed volt. A 2022-es évben 28 felnőtt madarat gyűrűztünk meg, így 2023-ban körülbelül az 50%-át találtuk meg a szülőknek, amely saját adatok alapján a madarak mortalitásához köthető. Ha feltételezzük, hogy a 2022-ben nem gyűrűzött szülők is hasonló arányban jelentek meg a következő évben, akkor 2023-ban összesen 26 olyan szülő lehetett, amelyek előző évben is szerepeltek a kísérletben és valamelyik hangkezelést kapták. A 2023-as nagyobb költés miatt abban az évben minimum 144 szülőt vizsgáltunk (72 db első költésből számítva), melyből következtetve az előző évi kezelésben körülbelül 18%-uk volt jelen. Ebből kifolyólag 2023-ban a szülők nagy része (közel 82%-a) feltehetően előtte nem kapott kezelést, így a 2022-ből származó hatás csak a madarak kis részét érintette 2023-ban. A fiókák esetében, amelyek 2022-ben kezelést kaptak és 2023-ban költöttek, ez az arány szintén alacsony volt. Az előző évi kezelés hatásának hiányát valószínűsíti az is, hogy a kezelés és a vizsgálati év között egyik vizsgált változó esetében sem

találtunk szignifikáns interakciót (vagyis a kezelés hatása a két évben hasonló volt annak ellenére, hogy az előző évi hangkezeléseket felcseréltük).

6. Összefoglalás

Diplomamunkámban a tartós emberi zavarás hatásait vizsgáltuk a vadon élő madarak kockázatvállaló magatartására és a szaporodási sikerük különböző paramétereire. Kutatásunk során a széncinegét (*Parus major*) alkalmaztuk modellfajként, melyről számos korábbi kutatás igazolja az emberhez való kitűnő alkalmazkodóképességét.

Vizsgálatunkat a kismértékű emberi zavarással rendelkező Farkasgyepői kísérleti erdőben végeztük el 2022-ben és 2023-ban. A széncinegék szaporodási időszakában a rendszeres fészekellenőrzések mellett három kezelési csoportot hoztunk létre: a hang nélküli kontroll, a madárhang kontroll, valamint az emberi zavarást imitáló emberhang kezelési csoportot. A hanglejátszások a fészekrakási időszak kezdetétől a fiókák gyűrűzéséig tartottak. A kockázatvállaló magatartás mérésére kettő viselkedési tesztet végeztünk el: a tojó kockázatvállalási tesztjét a kotlási időszakban, mindkét szülő kockázatvállalásának vizsgálatát pedig a fiókanevelési időszakban.

Az eredményeinkből kiderült, hogy mind a tojó, mind pedig a két szülő együttes kockázatvállalása az emberi hangkezelést kapott csoportnál jelentősen megnőtt. Ez a jelenség feltehetően a hangkezeléshez, valamint az emberi hang fészekellenőrzések alatti emberi jelenléttel való társításával magyarázható. Ezzel szemben a szaporodási sikerre nem volt kimutatható hatása a kezelésnek. Ez arra utal, hogy a szülők viselkedési válaszuk, vagyis a megnövekedett kockázatvállalásuk révén sikeresen alkalmazkodnak a fészek környezetében lévő nagyobb mértékű emberi zavaráshoz, ami lehetővé teszi a megfelelő utódgondozást.

Összességében elmondható, hogy a kiindulási hipotéziseink közül a habituációt feltételező elképzelés igazolódott be, miszerint a tartós emberi zavarás hatására a madarak bátrabbak lettek az emberrel szemben, ezért a zavarásnak a szaporodási sikerre nem volt kimutatható hatása.

7. Abstract

Experimental study of the effects of human disturbance on wild birds

In my thesis, we investigated the effects of long-term human disturbance on the risk-taking behaviour of wild birds and on various parameters of their reproductive success. In our research, we used the great tit (*Parus major*) as a model species, which has been shown by several previous studies to be highly adaptable to humans.

Our study was conducted in the experimental forest of Farkasgyepű with low human disturbance in 2022 and 2023. In addition to regular nest checks during the breeding season of the great tits, we established three treatment groups: a no-sound control, a bird sound control, and a human voice treatment group that mimics human disturbance. The sound playbacks lasted from the beginning of the nesting period until the chicks were ringed. To measure risk-taking behaviour, we conducted behavioural tests: a risk-taking test of the female during the incubation period and a risk-taking test of both parents during the chick-rearing period.

Our results showed that the risk-taking of both the female and the two parents was significantly increased in the group receiving the human voice treatment. This phenomenon could be explained by the association of the human voice of the sound treatment with the human presence during nest checks. In contrast, there was no detectable effect of the treatment on reproductive success. This suggests that the parents successfully adapt to increased human disturbance in the nest environment through their behavioural response of increased risk-taking, which allows for appropriate care of the offspring.

Overall, our initial hypotheses confirmed the habituation hypothesis that prolonged human disturbance made the birds less fearful of humans, and therefore disturbance had no detectable effect on their breeding success.

8. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Liker Andrásnak, és társtémavezetőmnek, Czikkelyné Dr. Ágh Nórának a diplomamunka elkészítése során kapott számos hasznos instrukcióért, továbbá mind a terepmunkában, az adatfeldolgozásban, és az adatelemzéshez szükséges R és RStudio programban nyújtott segítségükért. Ezen felül hálás vagyok a HUN-REN-PE Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport munkatársainak a 2022-es és 2023-as évben végzett terepmunkájukért és a Farkasgyepűi kísérleti erdőből gyűjtött adatokért. Továbbá szeretnék köszönetet mondani belső konzulensemnek, Dr. Pásztor-Kovács Szilviának a diplomadolgozatomhoz kapott javaslatokért, továbbá az Állatorvostudományi Egyetem, Zoológiai Tanszék keretein belül lévő témabeszámolókhöz nyújtott segítségéért.

9. Irodalomjegyzék

1. Marzluff JM (2001) Worldwide urbanization and its effects on birds. In: Marzluff JM, Bowman R, Donnelly R (eds) *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*. Springer US, Boston, MA, pp 19–47
2. Kookana RS, Drechsel P, Jamwal P, Vanderzalm J (2020) Urbanisation and emerging economies: Issues and potential solutions for water and food security. *Sci Total Environ* 732:139057
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139057>
3. Lee VE, Thornton A (2021) Animal Cognition in an Urbanised World. *Front Ecol Evol* 9
<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.633947>
4. Ditchkoff SS, Saalfeld ST, Gibson CJ (2006) Animal behavior in urban ecosystems: Modifications due to human-induced stress. *Urban Ecosyst* 9:5–12
<https://doi.org/10.1007/s11252-006-3262-3>
5. Lowry H, Lill A, Wong BBM (2013) Behavioural responses of wildlife to urban environments. *Biol Rev* 88:537–549
<https://doi.org/10.1111/brv.12012>
6. Warren P, Tripler C, Bolger D, Faeth S, Huntly N, Lepczyk C, Meyer J, Parker T, Shochat E, Walker J (2006) Urban Food Webs: Predators, Prey, and the People Who Feed Them. *Bull Ecol Soc Am* 87:387–393
7. Beale CM, Monaghan P (2004) Behavioural responses to human disturbance: a matter of choice? *Anim Behav* 68:1065–1069
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.07.002>
8. Balmford A, Green JMH, Anderson M, Beresford J, Huang C, Naidoo R, Walpole M, Manica A (2015) Walk on the Wild Side: Estimating the Global Magnitude of Visits to Protected Areas. *PLOS Biol* 13:e1002074
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002074>
9. Dou X, Day J (2020) Human-wildlife interactions for tourism: a systematic review. *J Hosp Tour Insights* 3:529–547
<https://doi.org/10.1108/JHTI-01-2020-0007>
10. Gill JA, Norris K, Sutherland WJ (2001) Why behavioural responses may not reflect the population consequences of human disturbance. *Biol Conserv* 97:265–268
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00002-1)
11. Venter O, Sanderson EW, Magrath A, Allan JR, Beher J, Jones KR, Possingham HP, Laurance WF, Wood P, Fekete BM, Levy MA, Watson JEM (2016) Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nat Commun* 7:12558
<https://doi.org/10.1038/ncomms12558>

12. Gaynor KM, Hojnowski CE, Carter NH, Brashares JS (2018) The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science* 360:1232–1235
<https://doi.org/10.1126/science.aar7121>
13. Frid A, Dill L (2002) Human-caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk. *Conserv Ecol* 6 <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art11/>
14. Suraci JP, Clinchy M, Zanette LY, Wilrners CC (2019) Fear of humans as apex predators has landscape-scale impacts from mountain lions to mice. *Ecology letters* 22:1578–1586
<https://doi.org/10.1111/ele.13344>
15. Gill JA, Sutherland WJ, Watkinson AR (1996) A Method to Quantify the Effects of Human Disturbance on Animal Populations. *J Appl Ecol* 33:786–792
<https://doi.org/10.2307/2404948>
16. Preisser EL, Bolnick DI, Benard MF (2005) Scared to death? The effects of intimidation and consumption in predator-prey interactions. *Ecology* 86:501–509
<https://doi.org/10.1890/04-0719>
17. Müller C, Jenni-Eiermann S, Blondel J, Perret P, Caro SP, Lambrechts M, Jenni L (2006) Effect of human presence and handling on circulating corticosterone levels in breeding blue tits (*Parus caeruleus*). *Gen Comp Endocrinol* 148:163–171
<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2006.02.012>
18. de Satgé J, Strubbe D, Elst J, de Laet J (2019) Urbanisation lowers great tit *Parus major* breeding success at multiple spatial scales. *Journal of Avian Biology* 50:11
<https://doi.org/10.1111/jav.02108>
19. Klett-Mingo JI, Pavón I, Gil D (2016) Great tits, *Parus major*, increase vigilance time and reduce feeding effort during peaks of aircraft noise. *Anim Behav* 115:29–34
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.02.021>
20. Schroeder J, Nakagawa S, Cleasby IR, Burke T (2012) Passerine Birds Breeding under Chronic Noise Experience Reduced Fitness. *PLOS ONE* 7:e39200
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039200>
21. Hutfluss A, Dingemanse NJ (2019) Human recreation reduces clutch size in great tits *Parus major* regardless of risk-taking personality. *Behavioral Ecology* 30:1751–1760
<https://doi.org/10.1093/beheco/arz145>
22. Quinn JL, Cresswell W (2005) Personality, anti-predation behaviour and behavioural plasticity in the chaffinch *Fringilla coelebs*. *Behaviour* 142:1377–1402
<https://doi.org/10.1163/156853905774539391>
23. Łopucki R, Klich D, Kiersztyn A (2021) Changes in the social behavior of urban animals: more aggression or tolerance? *Mamm Biol* 101:1–10
<https://doi.org/10.1007/s42991-020-00075-1>

24. Samia DSM, Nakagawa S, Nomura F, Rangel TF, Blumstein DT (2015) Increased tolerance to humans among disturbed wildlife. *Nat Commun* 6:8877
<https://doi.org/10.1038/ncomms9877>
25. Sol D, Maspons J, Gonzalez-Voyer A, Morales-Castilla I, Garamszegi LZ, Møller AP (2018) Risk-taking behavior, urbanization and the pace of life in birds. *Behav Ecol Sociobiol* 72:59
<https://doi.org/10.1007/s00265-018-2463-0>
26. Piratelli AJ, Favoretto GR, Maximiano MF de A (2015) Factors affecting escape distance in birds. *Zool Curitiba* 32:438–444
<https://doi.org/10.1590/S1984-46702015000600002>
27. Samia DSM, Pape Møller A, Blumstein DT (2015) Brain size as a driver of avian escape strategy. *Sci Rep* 5:11913
<https://doi.org/10.1038/srep11913>
28. Fernández-Juricic E, Schroeder N (2003) Do variations in scanning behavior affect tolerance to human disturbance? *Appl Anim Behav Sci* 84:219–234
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.08.004>
29. Széncinege.(2023). In Wikipedia. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A9ncinege>
30. Uchida K, Blumstein DT (2021) Habituation or sensitization? Long-term responses of yellow-bellied marmots to human disturbance. *Behav Ecol* 32:668–678
<https://doi.org/10.1093/beheco/arab016>
31. Farkasgyepűi Erdészeti | Bakonyerdő.
<https://www.bakonyerdo.hu/erdogazdalkodas/erdeszeteink/farkasgyepu>. Accessed 5 Apr 2024
32. Farkasgyepűi kísérleti erdő. <https://www.termeszetjaro.hu/hu/poi/termeszetvedelmi-teruelet/farkasgyepui-kiserleti-erdo/54721247/>. Accessed 5 Apr 2024
33. Széncinege | Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület.
<https://www.mme.hu/magyarorszagmadarai/madaradatbazis-parmaj>. Accessed 19 Mar 2023
34. Great Tit Bird Facts (Parus major). In: Birdfact. <https://birdfact.com/birds/great-tit>. Accessed 6 Apr 2024
35. At How Many Decibels Does A Human Speak Normally. (2021) In: Decibel Meter App Best Digit.
<https://decibelpro.app/blog/how-many-decibels-does-a-human-speak-normally/>. Accessed 4 Apr 2024
36. Vincze E, Bókony V, Garamszegi LZ, Seress G, Pipoly I, Sinkovics C, Sándor K, Liker A (2021) Consistency and plasticity of risk-taking behaviour towards humans at the nest in urban and forest great tits, *Parus major*. *Anim Behav* 179:161–172
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.06.032>

37. Svensson L (1992) Identification Guide to European Passerines. British Trust for Ornithology, England
38. R Core Team (2024). *_R A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <<https://www.R-project.org/>>. Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>. Accessed 21 Apr 2024
39. RStudio Team (2023). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
40. Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2014) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Stat Soft* 1406:5823
41. Ripley BD, Venables WN, Bates DM, Hornik K, Gebhardt A, Firth D, Ripley MB (2013) Package “MASS.” CRAN Repos
42. Fox J, Weisberg S (2023) car: Companion to Applied Regression (Version 3.0-13) Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=car>
43. Ducatez S, Audet J-N, Rodriguez JR, Kayello L, Lefebvre L (2017) Innovativeness and the effects of urbanization on risk-taking behaviors in wild Barbados birds |. *Animal Cognition* 20:33–42
<https://doi.org/10.1007/s10071-016-1007-0>
44. Bensoussan S, Tigeot R, Meunier-Salaün M-C, Tallet C (2020) Broadcasting human voice to piglets (*Sus scrofa domestica*) modifies their behavioural reaction to human presence in the home pen and in arena tests. *Appl Anim Behav Sci* 225:104965
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104965>
45. Jones RB (1993) Reduction of the domestic chick’s fear of human beings by regular handling and related treatments. *Anim Behav* 46:991–998
<https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1280>
46. Curio E, Regelmann K, Zimmermann U (1984) The Defence of First and Second Broods by Great Tit (*Parus major*) Parents: A Test of Predictive Sociobiology. *Ethology* 66:101–127
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1984.tb01359.x>
47. Royama TR (1966) Factors governing feeding rate, food requirement and brood size of nestling great tits *Parus major*. *Ibis* 108:313–347
<https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1966.tb07348.x>
48. Smith HG, Källander H, Fontell K, Ljungström M (1988) Feeding frequency and parental division of labour in the double-brooded great tit *Parus major*. *Behav Ecol Sociobiol* 22:447–453
<https://doi.org/10.1007/BF00294983>

49. Deng W-H, Gao W (2005) Edge effects on nesting success of cavity-nesting birds in fragmented forests. *Biol Conserv* 126:363–370
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.06.013>
50. Perrins CM (1965) Population Fluctuations and Clutch-Size in the Great Tit, *Parus major* L. *J Anim Ecol* 34:601–647
<https://doi.org/10.2307/2453>

10. Melléklet

1. melléklet: A fiókák testmérete: az ANOVA-tábla eredményei (III-as típusú ANOVA tábla, Wald-féle khi-négyzet teszt)

	Változó neve	Khi-négyzet érték	Szabadsági fok	p-érték
Fiókák testtömege	kísérleti kezelés	1,317	2	0,518
	fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	0,052	1	0,819
	úttól való távolság	0,319	1	0,573
	év	0,729	1	0,393
	költés	0,122	1	0,727
	kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	0,127	2	0,939
	kísérleti kezelés*úttól való távolság	1,623	2	0,444
	kísérleti kezelés*év	1,992	2	0,369
	kísérleti kezelés*költés	1,518	2	0,468
Fiókák csüdhossza	kísérleti kezelés	0,623	2	0,732
	fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	2,585	1	0,108
	úttól való távolság	0,021	1	0,885
	év	0,172	1	0,679
	költés	0,279	1	0,597
	kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	2,524	2	0,283
	kísérleti kezelés*úttól való távolság	0,088	2	0,957
	kísérleti kezelés*év	1,257	2	0,533
	kísérleti kezelés*költés	1,105	2	0,576
Fiókák szárnyhossza	kísérleti kezelés	0,454	2	0,799
	fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	0,975	1	0,324
	úttól való távolság	0,472	1	0,492
	év	0,019	1	0,891
	költés	0,042	1	0,838
	kísérleti kezelés*fészekellenőrzések száma 100 m-en belül	1,591	2	0,451
	kísérleti kezelés*úttól való távolság	0,014	2	0,993
	kísérleti kezelés*év	3,669	2	0,160
	kísérleti kezelés*költés	0,637	2	0,727

Belső konzulensi nyilatkozat diplomadolgozathoz

Alulírott Dr. Pásztory-Kovács Szilvia, mint belső konzulens nyilatkozom, hogy Nagy Nóra, „Az emberi zavarás hatásainak kísérletes vizsgálata vadon élő madaraknál” című dolgozatát átolvastam és jóváhagytam. Továbbá nyilatkozom, hogy a feltöltött diplomadolgozat plágiumellenőrzésen sikeresen átesett és az esetlegesen feltárt egyezőség az Egyetemi iránymutatásoknak/szabályoknak megfelel.

Budapest, 2024. április 25.


.....

belső konzulens