

"KLÍMA-21" Füzetek

KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK



Hím kék vércse

Hevesi sík, 2007 július, fotó: Palatitz Péter

Forrás: <http://kekvercse.mme.hu/>

A TARTALOMBÓL

**A nemzetközi
kvótakereskedelmi
rendszerek
a klímavédelemben**

**Magyarország
hidroklimatológiai
jellemzése**

**Szélsőséges
vízháztartású évek
az Alföldön**

**A Tisza-völgy
fenntartható
hasznosítása**

**Az időjárás hatásai
a kék vércse
fészekaljméretére**

**A turizmus szereplőinek
klímaváltozáshoz való
alkalmazkodása**

**Játékelmélet
a klímaváltozás
vizsgálatánál**

Édesvíz-prognózis 1982-ből

2011. 65. szám

„KLÍMA-21” FÜZETEK
KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

“CLIMA-21” BROCHURES
CLIMATE CHANGE – IMPACTS – RESPONSES

„KLIMA-21” HEFTE
KLIMAÄNDERUNG – AUSWIRKUNGEN – LÖSUNGEN

«КЛИМА-21» БРОШЮРЫ
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – ВЛИЯНИЯ – ОТВЕТЫ

SZERKESZTŐ:
CSETE LÁSZLÓ
c. egyetemi tanár

SZERKESZTŐSÉG:
1093 Budapest, Zsil u. 3–5.
Tel.: 476-3295
E-mail: csetel@mail.datanet.hu

KIADJA:
MTA KSZI KLÍMAVÉDELMI KUTATÁSOK KOORDINÁCIÓS IRODA

FELELŐS KIADÓ:
LÁNG ISTVÁN
akadémikus

ISSN 1789-428X

Készült:
AKAPRINT KFT. BUDAPEST – Felelős vezető: Freier László

TARTALOM

<i>Faragó Tibor: A levegőkörnyezet- és klímavédelem nemzetközi kvótakereskedelmi rendszerei</i>	3
<i>Szalai Sándor: Magyarország hidroklimatológiai jellemzése</i>	17
<i>Pálfai Imre: Szélsőséges vízháztartású évek az Alföldön 1931–2010 között</i>	29
<i>Dezsény Zoltán: A Tisza-völgy fenntartható hasznosítása és klímavédelmi hatásai</i>	33
<i>Fehérvári Péter – Lázár Bence – Palatitz Péter – Solt Szabolcs – Kotymán László – Harnos Andrea: Az időjárás hatásai a kék vércse (Falco vespertinus) fészekalj-méretére</i>	53
<i>Szécsi Nóra – Csete Mária: A turizmus szereplőinek klímaváltozáshoz való alkalmazkodása a Szentendrei Kistérségben</i>	64
<i>Turchányi Miklós – Gaal Gyula – Török Ádám: Játékelmélet használata a klímaváltozás vizsgálatánál</i>	87
<i>Csete László: Édesvíz-prognózis 1982-ből</i>	95
 <i>Summary</i>	 104
<i>Contents</i>	 110

AZ IDŐJÁRÁS HATÁSAI A KÉK VÉRCSE (FALCO VESPERTINUS) FÉSZEKALJMÉRETÉRE

FEHÉRVÁRI PÉTER – LÁZÁR BENCE – PALATITZ PÉTER – SOLT SZABOLCS –
KOTYMÁN LÁSZLÓ – HARNOS ANDREA

Kulcsszavak: időjárás, fészekaljméret, random forest, bayesi módszerek,
Falco vespertinus.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az elmúlt évtizedekben egyre jelentősebb éghajlati változások tapasztalhatók, melyek biológiai rendszerekre való hatása is kimutatható, például a populációk jellemzőire. Az összefüggések feltárása nagyban hozzájárulhat egy faj eredményes konzervációjához. A jelen vizsgálatban arra kerestük a választ, hogy különböző lokális időjárási paraméterek hogyan hatnak vizsgálatunk modellállatára, a kék vércsére (*Falco vespertinus*), közelebbről hogy az időjárási változók hogyan hatnak a kék vércsék fészekaljméretére.

Az elemzésekben a márciusi átlaghőmérséklet és a kék vércsék fészekaljmérete között pozitív összefüggést találtunk. A kék vércsék április második felében érkeznek meg hazánkba, így ez a változó nem a vércsékre gyakorolt direkt hatást méri, hanem feltételezéseink szerint a táplálékkínálaton keresztül fejti ki hatását. Márciusban az átlagosnál alacsonyabb hőmérséklet negatívan hat a kék vércsék fő táplálékforrásainak életmenetére, mivel azok később kezdik meg tavaszi aktív periódusukat. Ennek következtében a vércsék számára a költési időszak elején kevesebb a rendelkezésre álló táplálék, a madarak induló kondíciója pedig rosszabb. Csökken a költésbe fektethető energia, amely végső soron együtt jár a fészekaljméret csökkenésével is.

A vizsgálat alapján a második legnagyobb hatóerejű időjárási változó az áprilisi csapadékos napok száma. Ebben az esetben negatív összefüggést tártunk fel. Feltételezzük a kapott eredményeink alapján, hogy ha áprilisban az átlagosnál több az esős nap, az a költéskezdés eltolásán, a rendelkezésre álló vadászterületek csökkenésén, valamint a zsákmány rosszabb detektálhatóságán keresztül csökkenti a kék vércsék fészekaljméretét.

Harmadik legfontosabb hatásnak a táplálékkínálat alakulása bizonyult. Eredményeink szerint a pocok-gradációs éveknek pozitív hatása lehet a kék vércsék fészekaljméretére. Mivel a kék vércse prédaállatai közül a mezei pocok a legnagyobb átlagos testtömegű, tömegesen is előforduló faj, gradációja közvetlenül is befolyásolhatja a kék vércsék kondícióját, így a fészekaljméretet és végső soron a költést is.

Önmagában az, hogy két időjárási változó hatással lehet egy madárfaj reprodukciós befektetésére, felhívja a figyelmet a klíma hatásának fontosságára a Kárpát-medence ökológiai viszonyainak alakulásában.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben tapasztalt egyre jelentősebb éghajlati változások egy részének a biológiai rendszerekre való tényleges hatása is kimutatható (Walther et al., 2002; Root et al., 2003; Both et al., 2006; Parmesan, 2006). Az egyes időjárási paramétereknek közvetlenül és közvetve is jelentős befolyásoló szerepe lehet a madarak szaporodására, ezek a komponensek gyakran egymáson keresztül, szinergista és antagonisták módon hatnak (Rodríguez – Bustamante, 2003; McDonald et al., 2004; Morrison et al., 2007).

A lokális időjárásnak közvetlen hatása lehet, hogy a költéskezdekori uralkodó kedvezőtlen körülmények negatívan befolyásolják a tojók testtömeg-növekedését. A testtömeg-gyarapodás a költés elkezdésének elsődleges feltétele (Newton, 1998), ezért szuboptimális körülmények között a madarak fészkelése későbbre tolódhat. A költés időpontjának – legalábbis egyes ragadozó fajoknál – fontos hatása van a fitnessre, mivel az előző évi szaporulatból csak a korán kikelt hímek kezdenek már a következő évben költeni (Smallwood – Smallwood, 1998). A csapadékviszonyok alakulása közvetlenül is befolyásolja a madarak életét. Számos fajnál kimutatható, hogy a költési időszakban gyakori esőzések miatt a költéskezdek későbbre tolódnak, csökken a fészkekaljméret (maximális lerakott tojásszám), és végső soron csökken a költési siker (Rodríguez – Bustamante, 2003; Morrison et al., 2007). A gyakori heves, felhőszakadás-szerű esőzések nemcsak a szaporodási sikerre, de a madarak túlélésére is negatív hatással vannak (McDonald et al., 2004), továbbá a téli csapadékmennyiség növekedése is csökkentheti a költési sikert, illetve a túlélést (Rodríguez – Bustamante, 2003). A hőmérsékletnek is komoly szerepe lehet egyes fajok populációdinamikájának szabályozásában. Adott esetben a költéshez optimális hőmérsékletű időszak meghatározó, minél későbbre tolódik a megfelelő időszak, annál kevesebb fiókát tudnak

felnevelni a költőpárok (Moss et al., 2001). A magasabb évi átlagos minimumhőmérsékletnek pozitív hatása lehet a fészkek foglalatosságára (Rodríguez – Bustamante, 2003), míg az átlagnál hidegebb téli hőmérséklet és a nagyobb hóborítottság eredményezheti a költőpárok számának csökkenését (Kostrzewa – Kostrzewa, 1991). A megszokottnál alacsonyabb átlaghőmérséklet a tojásrakás előtti időszakban csökkentheti a populációban mért kelési sikert, és ezen keresztül a kikelt fiókák átlagos számát is, mely a szülő madarak magas dezertálási arányával magyarázható (Sergio, 2003).

Az időjárás közvetett hatása a táplálékinálaton keresztül is jelentkezhet. A préda taxonok magasabb abundanciájának következtében a költőpárok száma (Kostrzewa – Kostrzewa, 1991), valamint egyes fajok esetében a reprodukтивitás (Steenhof et al., 1999) is növekedhet. A költőterület táplálékinálata és elérhetősége a madarak fizikai kondíciójának fő alakítója, így azt is meghatározhatja, hogy a tojó madár milyen mennyiségű és minőségű tojást képes lerakni.

Vonuló fajok esetében azonban nemcsak a fészkelőhely időjárási paraméterei, hanem a telelőhely is befolyásolhatja a költést. Például a kedvező körülmények között telelő példányok jelentős zsírtöbbletet képesek felhalmozni (Greenberg – Marra, 2005), így korábban időzíthetik vonulásukat, és hatékonyabban is vonulnak. Az ily módon hamarabb érkező példányok korábban és jobb territóriumokon költhetnek, melynek eredményeként több fiókát képesek kirepíteni (Norris et al., 2004).

A sólyomfélék családjába (*Falconidae*) tartozó kék vércse (*Falco tinnunculus*) – a jelen vizsgálat modellállata – térségünk egyetlen természetesen is telepesen költő, kis testű ragadozómadár-faja. Hazánkban fokozottan védett faj, az IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) vörös listája a csaknem veszélyeztetett kategóriába sorolja (www.falconproject.hu), az Európai Unió Madárvédelmi Irányelvének első függelékében (Annex I) kapott helyet. A kék vércse

obligát vonuló, a telet Afrika Egyenlítőől délre eső területein – a hazai populáció első sorban Angolában, Namíbiában és Botswanában – tölti (Csörgő et al., 2009). Költőterülete Közép-Kelet-Európától egészen a Bajkál-tó vonaláig húzódik (Del Hoyo, 1994). Európán belül nagyobb fészkelő állománya csak Magyarországon, Romániában, Szerbiában, Ukrajnában és Oroszországban alakult ki, így hazánk tekinthető a faj nyugati elterjedési határának (Palatitz et al., 2010). A kék vércsék a sólyomfélékhez hasonlóan nem építenek fészket, helyette más fajok fészkeit foglalják el költésük során (Ferguson-Lees et al., 2001). A kék vércsék mind telepes, mind szoliter módon költhetnek (Haraszthy – Bagyura, 1993) (általában több költőpár együttes fészkelése jellemző, míg ritkább esetekben előfordul, hogy csak egy pár költ egy magányos fészekben). Jelentősebb természetes kolóniái a vetési varjak (*Corvus frugilegus*) telepein alakulnak ki (Horváth, 1964; Purger – Tepavcevic, 1999). Szoliter fészkelőik megtalálhatók a szarka (*Pica pica*), dolmányos varjú (*Corvus cornix*) és az egerészölyv (*Buteo buteo*) gallyfészkeiben, de alkalmanként odvas fáknak is. Megfelelő élőhelyen kihelyezett mesterséges fészkeket is elfoglalnak (Kotymán, 2001). A kék vércse általában 2–5 tojást rak, fészkelje évenként változó időpontban – május elejétől június elejéig – válik teljessé (Del Hoyo, 1994). Főként rovarokkal táplálkozik, leggyakoribb táplálékállatai az egyenes szárnyúak (*Orthoptera*). A fiókáknak behordott táplálékfajok közül a biomassza mennyisége alapján a mezei pocok (*Microtus arvalis*) (Keve – Szijj, 1957; Haraszthy et al., 1994) és a barna ásóbéka (*Pelobates fuscus*) is kiemelkedik (Haraszthy, 1996).

Jelen vizsgálatban arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a kék vércsék fészekaljméretét milyen környezeti tényezők befolyásolják, és ezek hol és hogyan hatnak a madarak élete során. Szűkebb vizsgálati kérdésünk, hogy a költőterület lokális időjárási paraméterei hogyan befolyásolják a vércsék fészekaljméretét. Fészekaljméret alatt a madarak maximális lerakott tojásszámát értjük,

függetlenül attól, hogy kelt-e ki belőle fiókák. Azért ezt a változót használtuk, mert így vizsgálható legjobban a vércsék szaporodási befektetése, vagyis ezen keresztül láthatjuk, mennyi forrás állt a madarak rendelkezésére az adott költési időszak kezdetén. Ezen kívül a lerakott tojások száma elsődlegesen limitálja a madarak lehetséges utódszámát, mely végső soron a populáció dinamikájának egyik fő alakítója.

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

Mintaterület és a kék vércse állománya

A feldolgozott adatok a Vásárhelyi-pusztáról származnak, ez a terület Magyarország délkeleti régiójában, a Tiszántúlon helyezkedik el (46°28'16"N, 20°36'17"E). A vizsgálatban három népesebb kékvércse-telep és az azokat körülvevő szoliter költőpárok adatai szerepelnek, melyek a Kardoskúti Fehér-tó tágabb környezetében helyezkednek el. A tájegység 1966 óta természetvédelmi terület, 1997 óta a Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatósága (KMNPI) kezeli (<http://kmnp.nemzetipark.gov.hu/>). Jellemzően szikes puszták típusú élőhely, viszonylag egyedi mikroklimával. A Vásárhelyi-pusztákon az 1995. évet megelőző időszakból rendszeres kékvércse-költésről nincs tudomásunk (Sterbetz, 1977). Ebben az időszakban a költő varjak jelenléte egyáltalán nem volt jellemző a területre, így feltehetően az alkalmas fészkelőhely hiánya akadályozta meg a faj stabil megtelepedését. 1995-ben került sor az első mesterséges fészkelő ládák természetvédelmi célú telepítésére (Kotymán, 2001). Az azóta folyamatosan végzett telepítések és pótlások eredményeképpen a ládák száma 200 fölött van, három nagy műfészkeztepet és számos szoliter fészkelőhelyet alkotva. A kezdeti évek alig néhány párt számláló kékvércse-állománya a vizsgálati időszak utolsó éveiben a 102 párt is elérte.

A fészkelési adatok gyűjtése az 1995–1997 közötti periódusban évente 2–7 alkalommal

történt, 1998 és 2005 között pedig jellemzően 5–15 ellenőrzés zajlott évente. „A kék vércse védelme a Pannon-régióban” elnevezésű LIFE projekt időtartama alatt (2006–2009) ez a szám 24–42 közé tehető. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az adatok az egy évben fészekellenőrzéssel töltött napok számára értendők, így nem feltétlenül az összes ládára vonatkozó ellenőrzések számát jelentik. A fészekellenőrzések során minden esetben rögzítésre került a dátum, a láda fészekazonosító száma, a költőhely típusa, állapota és – attól függően, hogy a költési időszak melyik periódusában történt az ellenőrzés – a foglaló pár faja, a tojások vagy a fiókák száma, továbbá a fiókák becsült kora is.

Jelen vizsgálat elemzéseiben az 1998 és 2008 közötti időszakból, összesen 507 kék vércse-pár költési eredményeit használtuk. A korábbi évekből – a költő vércsepárok alacsony száma miatt – nem áll rendelkezésre elég adat az átlagos fészekaljméret becsléséhez.

Időjárási és egyéb adatok

A vizsgálat során használt meteorológiai adatok több forrásból származnak. Az 1998–2008 közötti időszakból rendelkezésünkre álltak Szegedről, Békéscsabáról és Orosházáról a napi minimum-, maximum- és átlaghőmérséklet, valamint a napi csapadék- és szélsősebesség-mérési adatok az *Országos Meteorológiai Szolgálat* (OMSZ) jóvoltából. Ugyanebből az időszakból hozzáférésünk volt továbbá az *Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság* (ATIKÖVIZIG) által mért lokális csapadékadatokhoz Békéssámsón, Székkutas és Kardoskút településekről.

Az elemzésekhez származtatott időjárási változókat képeztünk. Az őszi és téli periódus jellemzésére összevontan kezeltük az októberi, novemberi, decemberi, januári és februári adatokat. Kiszámítottuk évenként ezen hónapok összesített csapadékmennyiségét (milliméterben), valamint az erre az időszakra jellemző átlagos minimumhőmér-

sékleteket. Az őszi–téli időjárást jellemző változókként használtuk továbbá a 0 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletű napok számát, valamint a csapadékos napok számát. Míg a téli időszakra vonatkozóan elégségesnek ítéltük ezen változók használatát, a tavaszi időjárás vizsgálatánál fontos volt, hogy részletesebb betekintést nyerhessünk a változásokba, így havi bontásban elemeztük a március, április és május hónapokat. Mindhárom hónap esetében három változót határoztunk meg az időszak jellemzésére. Vizsgáltuk az összcsapadék-mennyiséget milliméterben, a havi átlaghőmérsékletet és a csapadékos napok számát.

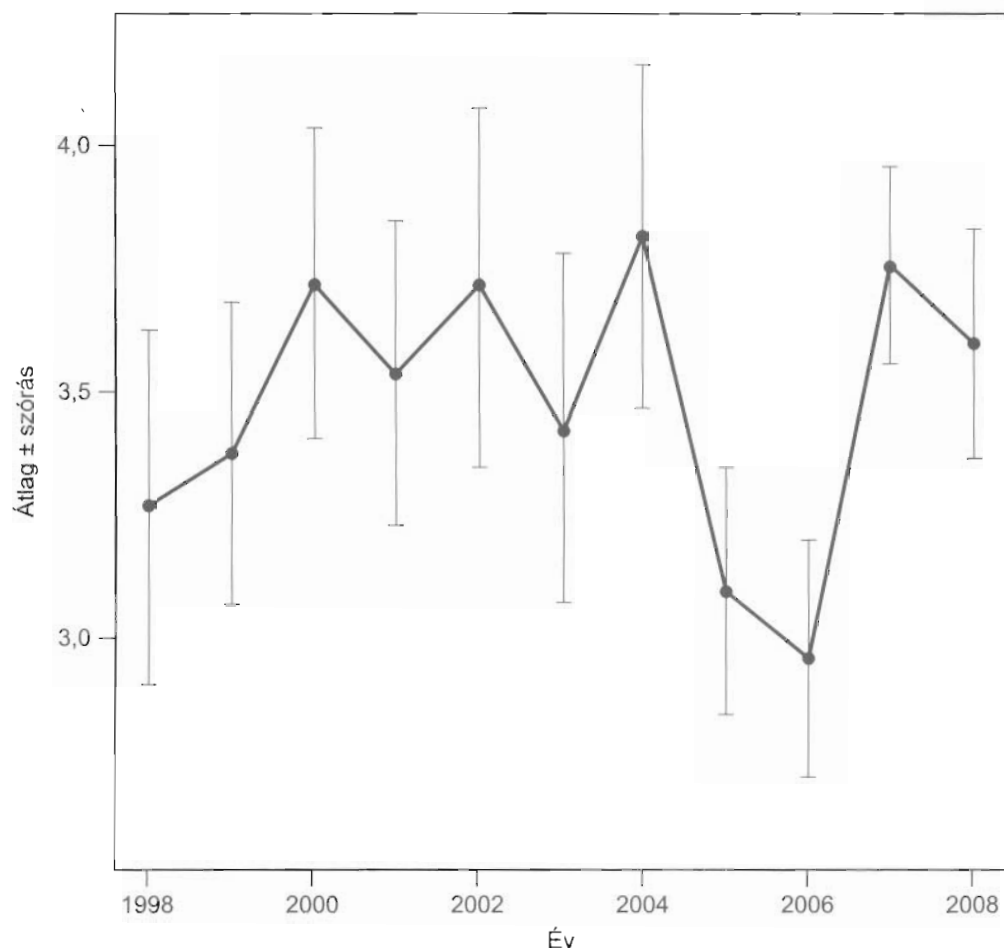
Elemzéseink során arra kerestük a választ, hogy az átlagostól eltérő időjárás hogyan befolyásolja a fészekaljméretet. E célból a fenti változókat kategorizáltuk – alacsony (1), átlagos (2), magas (3) – és a továbbiakban így, származtatott változóként használtuk ezeket.

A kék vércsék egyik fő gerinces táplálékforrása a mezei pocok (*Microtus arvalis*) (Haraszthy et al., 1994). Mennyiségi viszonyainak alakulása nagyban befolyásolhatja az egyes ragadozómadár-fajok állományait és költési sikerét (Wiehn – Korpimäki, 1997), ezért fontosnak tartottuk önálló tényezőként való vizsgálatát. A pocok pontos mennyiségi viszonyainak alakulására vonatkozóan azonban nem álltak rendelkezésünkre adatok. Ismert volt azonban, hogy melyik évben tapasztaltak extrém pocok-gradációkat (Kotymán László pers. comm.), így az elemzések során ezt az információt (van-nincs) is változóként használtuk fel.

Statisztikai módszerek

Az átlagos évenkénti kék vércse fészekaljméret becslése. Az átlagos fészekaljméretet bayesi módszerekkel becsültük (McCarthy, 2007a). Prior eloszlásként az [1,5] intervallumon egyenletes eloszlást használtunk. Feltételeztük, hogy a fészekaljméret Poisson-eloszlású, melynek paramétere éppen az átlagos fészekaljméret. A posterior eloszlást

1. ábra



Becsült átlagos fészekaljméret, azaz a Poisson-eloszlás lambda paramétere

MCMC módszerrel határoztuk meg (Lunn *et al.*, 2000a; McCarthy, 2007b; Stauffer, 2008; Ntzufras, 2009).

Klasszifikálás. A fészekaljméretet befolyásoló változókat egy klasszifikációs módszerrel (random forest) válogattuk ki (Breiman, 2001).

A random forest egy olyan, az utóbbi időben széles körben elterjedt klasszifikációs módszer, amit kis mintaszámokon megfigyelt rengeteg, akár több ezer változó esetén

használnak, és hatékonyan képes a változók szerepének becslésére (Svetnik *et al.*, 2003).

A random forest (véletlen erdő) neve beszédes: a módszer tulajdonképpen mind a változókból, mind a megfigyelésekből bootstrap mintákat (visszatevéses minta a mintából) képez, amelyekre döntési fákat illeszt. A klasszifikációs döntési fa egy olyan többváltozós statisztikai módszer, ahol nincs előre kitalált modell, a fa építésekor az algoritmus rekurzív módon a megfigyeléseket

egy fa ágaira osztja szét a predikciók pontosságának növelése érdekében (Faraway, 2006). A változók klasszifikációs szerepére minden egyes növesztett fa „szavaz”. A random forest egyik hatalmas előnye, hogy képes becsülni az egyes változók fontosságát (Variable Importance Measure vagy VIM) (Archer – Kimes, 2008).

Jelen vizsgálat esetében a megfigyelt 11 évnvi kék vérese fészekalj méret meg lehetősé sen kis mintaszámot képvisel, ezért a random forest jó választásnak tűnik a sok környezeti változó szerepének meghatározására.

A statisztikai elemzésekhez az R 2.9.0. verzióját, és a party, Rcmdr, epitools, Brugs és R2WinBUGS csomagokat (R Development Core Team, 2009), a bayesi modellekhez a WinBUGS 1.4 programot használtuk (Lunn et al., 2000b).

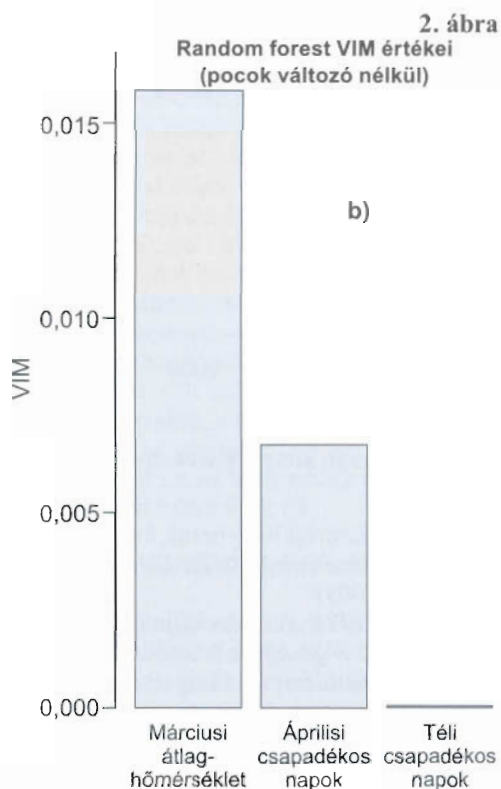
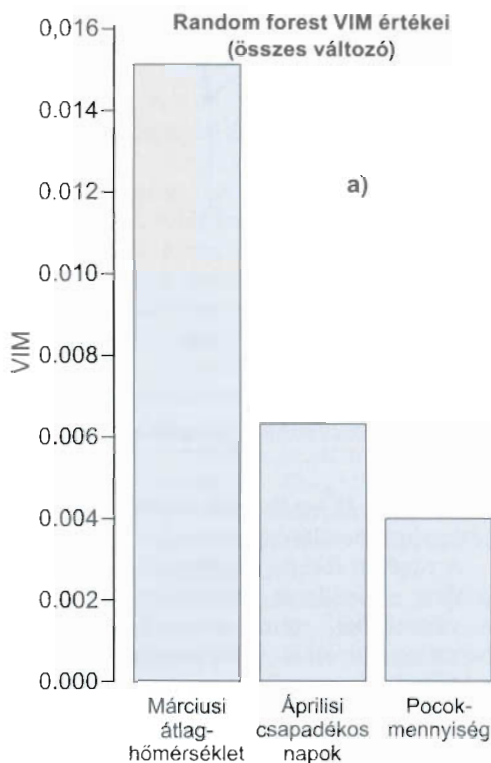
EREDMÉNYEK

A fészekalj méret

A becsült éves átlagos fészekalj méret az 1. ábrán látható. Jelentős eltérések mutatkoznak az egyes évek fészekaljméreteinek becslései között, a legalacsonyabb 2,962, a legmagasabb pedig 3,813 értéket vesz fel.

A releváns változók meghatározása

A releváns változók meghatározására két random forest elemzést végeztük. Az egyikben az időjárási változók, valamint a pockok mennyiségére vonatkozó adatok is szerepeltek, míg a másiktól az utóbbi információkat kihagytuk. A pockok mennyiségére vonatkozó adatok ugyan nem elég pontosak, mégis



A random forest elemzés eredményei

fontosnak tartottuk megvizsgálni, milyen hatással van a vércsék költésére, ha az adott évben a területen sok a táplálék. A második elemzésre azért volt szükség, hogy lássuk, a pockok számának hatása nélkül melyik időjárási változó befolyásoló szerepe változik. Az eredmények értékelése során az első három legrelevánsabb változót vizsgáltuk. Mindkét elemzés esetében a márciusi átlaghőmérséklet, valamint az áprilisi csapadékos napok száma bizonyult a legnagyobb hatásúnak. Az összes változóval futtatott esetben a harmadik releváns változó a pockok mennyisége volt, míg a második random forest elemzés során a két, már említett változón kívül (márciusi átlaghőmérséklet és áprilisi csapadékos napok száma) a többinek nem volt jelentős hatása (2. ábra).

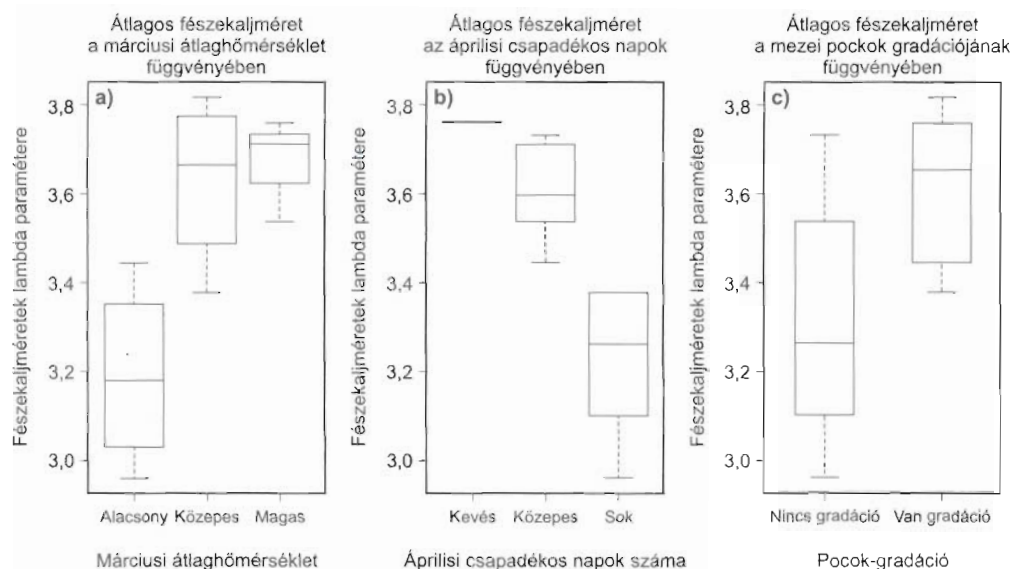
A 2. ábrán a két random forest VIM becslési eredményei láthatók. Az a) ábra szemlélteti az összes változóra lefuttatott, míg a

b) ábra a pockok mennyiségét jellemző változó kihagyásával készült modellt. Az y tengelyen a VIM értékei láthatók, ami a változó fontosságát becsli.

A random forest elemzés által három legrelevánsabbnak ítélt változót az alábbi boxplotokon ábrázoltuk (3. ábra).

A márciusi átlaghőmérséklet és a fészekaljméret között pozitív összefüggés valószínűsíthető (3/a. ábra). Az eredmények alapján negatív kapcsolatot feltételezhetünk az áprilisi csapadékos napok száma és az átlagos fészekaljméret között (3/b. ábra); minél több az esős nap április hónapban, annál kisebb az adott évre jellemző átlagos fészekaljméret a vizsgált populációban. A pockok mennyisége jelen vizsgálat adatai alapján pozitív összefüggést mutat a fészekaljmérettel (3/c. ábra), tehát valószínűsíthetően minél több pocok van a költési időszak kezdetén, annál nagyobb a fészekaljméret.

3. ábra



Az átlagos fészekaljméret (lambda paraméter) a márciusi átlaghőmérséklet (a), az áprilisi csapadékos napok száma (b) és a pocok-gradáció (c) függvényében

DISZKUSSZIÓ

Az időjárás és a táplálékkínálat azon fő tényezők közé tartoznak, melyek nagy hatással vannak az élőlények Földön való előfordulására és eloszlására (Rodríguez – Bustamante, 2003). Az időjárás befolyásolhatja a túlélést, a reprodukciót és a demográfia szabályozásán keresztül azt, hogy hol alakulhat ki egy-egy fajnak stabil populációja (Rodríguez – Bustamante, 2003).

A kék vércsék fészekaljméretét a rendelkezésre álló változók közül a márciusi átlaghőmérséklet befolyásolja legjobban (3. ábra). A kék vércsék április második felében érkeznek meg hazánkba, így ez a változó nem a vércsére gyakorolt direkt hatást méri, hanem feltételezéseink szerint a táplálékkínálaton keresztül fejt ki hatását. A Kárpát-medence kontinentális klímáján a márciusi időszak a biológiai tavasz kezdete. A márciusi hőmérséklet és a prédaállatok denzitása között fennálló kapcsolat bizonyított (Visser *et al.*, 2006). Ebben az időszakban kezdenek előjönni téli nyugalmi periódusukból az ásbékák (*Pelobatidae*) (amik a pocok mellett a kék vércsék másik fő táplálékforrása), és ekkor indul be a rovarok aktivitása is (Fielding – Brusven, 1990). Valószínűsíthető továbbá, hogy nagy hatása van a márciusi hőmérsékletnek a pocokállomány szaporodásának beindulására, és ezáltal az áprilisban visszatérő vércsék táplálékkínálati viszonyaira (Heikura, 1977). Tehát a márciusban az átlagosnál alacsonyabb hőmérséklet negatívan hat a kék vércsék fő táplálékforrásainak időbeli alakulására, mivel azok később kezdik meg tavaszi aktív periódusukat. Ennek következtében a vércsék számára a költési időszak elején kevesebb a rendelkezésre álló táplálék, a madarak induló kondíciója pedig rosszabb. Csökken a költésbe fektethető energia, amely végső soron együtt jár a fészekaljméret csökkenésével is.

Az elemzések eredményeként kapott második legnagyobb hatóerővel rendelkező változó az áprilisi csapadékos napok száma

volt. Számos korábbi kutatás rámutatott a sok tavaszi csapadék negatív hatásaira (Rodríguez – Bustamante, 2003; McDonald *et al.*, 2004; Morrison *et al.*, 2007). A Magyarországi területére április hónapban érkező kék vércsék ez a tényező már direkt módon is érintheti. Heves esőzésekkor csökken a vadászatra fizikailag alkalmas idő, mely a tojók szükséges kondíciójavulását hátráltatja. Ezáltal a madarak később kezdik meg a költést, csökkentve ezzel a magasabb tojátszámú fészekaljak kialakulásának valószínűségét (Morrison *et al.*, 2007). Emellett ha áprilisban sok a csapadék, magasabbra nő a vegetáció, melynek következtében jelentősen csökkenhet a préda detektálhatósága. Még ha egyébként táplálékbőség van is, a vércsék számára annak elérhetősége csökken. Korábbi élőhely-használati vizsgálatokból tudjuk, hogy egyes préda taxonok esetében fontosabb a préda hozzáférhetősége, mint a denzitása (Fehérvari *et al.*, 2009). További fontos tényező, hogy a csapadék áztatta földeken a kaszálások kezdésének időpontja kitolódik, a legeltetett gyepek összterülete a jelentős biomassza-túlkínálat miatt kisebb lesz, ami a vadászterületek beszűkülését eredményezheti. Ezen hatások eredményeként a vércsék kevesebb energiát fektetnek a szaporodásba, amely a költési paraméterek – többek között a fészekaljméret – romlásához vezethet. Összességében tehát azt feltételezzük a kapott eredményeink alapján, hogy ha áprilisban az átlagosnál több napon esik eső, az a költéskezdés eltolásán, a rendelkezésre álló vadászterületek csökkenésén, valamint a zsákmány rosszabb detektálhatóságán keresztül csökkenti a kék vércsék fészekaljméretét (3. ábra).

Az összes változó használatával végzett random forest elemzés harmadik releváns változója a pocok-gradáció (2/a. ábra). Eredményeink szerint a pocok-gradációs éveknek pozitív hatása lehet a kék vércsék fészekaljméretére. Mivel a kék vércse prédaállatai közül a mezei pocok a legnagyobb átlagos testtömegű, tömegesen is előforduló faj (Ha-

raszthy et al., 1994), gradációja közvetlenül is befolyásolja a kék vércse tojók kondícióját, így a fészekaljméretet és végső soron a költési sikert is. Fontos hangsúlyozni, hogy csak arról volt információnk, hogy melyik évben tapasztaltunk pocok-gradációt, így az egyes évek mennyiségi viszonyairól nem tudunk semmit. Más kutatások már tártak fel a madarak reprodukivitása és a pocokkínálat közötti összefüggéseket (Kostrzewa – Kostrzewa, 1991; Steenhof et al., 1999). Mintaterületünkön – a korábban tárgyaltak szerint – a márciusi átlaghőmérsékletnek és az áprilisi csapadékos napok számának hatása lehet a pocok-gradáció kialakulására. Ezen kívül önmagában a pocok-gradáció megjelenése csak akkor fejt ki pozitív hatását a fészekaljmérethez, ha az már a költési időszak elejére beindult, illetve ha az elérhetőség is kedvezően alakul az említett időszakban. Továbbá a kék vércsék olyan tömegesen megjelenő alternatív préda taxonokkal is táplálkoznak, mint például a rovarok, ezen belül is az egyenesszárnyúak. Ezzel magyarázható, hogy a pocok-gradációs éveknek ugyan jelentős pozitív hatása van a kék vércsék fészekaljméretének alakulására, azonban az időjárási változók irányító (márciusi hőmérséklet) és gátló hatása (áprilisi csapadék) elemzésünkben jelentősebb tényezőnek bizonyult.

Összességében tehát a márciusi és az áprilisi időjárás, valamint a táplálékellátottság bizonyultak jelen vizsgálatban a kék vércsék fészekaljméretét leginkább befolyásoló tényezőknek. Önmagában az, hogy két időjárási változó hatással lehet egy madárfaj reprodukciós befektetésére, felhívja a figyelmet a klíma hatásának fontosságára a Kárpát-medence ökológiai viszonyainak alakulásában. A rendelkezésre álló klímadatok tél végi és tavaszi átlaghőmérséklet-emelkedést, valamint a szélsőséges időjárási események (pl. zivatarok) megszorodását jelzik előre. Korai lenne azonban következtetést levonni arra nézve, hogy ezek a várható változások egymás hatásait erősítve vagy gyengítve milyen összehatással lesznek az élőhelyek állapotára,

és mely állatfajok lesznek képesek a legjobban alkalmazkodni a megváltozó feltételekhez.

Eredményeink értékelésekor figyelembe kell venni, hogy a kék vércsék fészekaljméretét potenciálisan szabályozó mechanizmusoknak csak egy részét vizsgáltuk. Nem állt módunkban elemezni például a vonulási és telelési időszak hatásait, melyek szintén jelentős befolyásoló szereppel bírhatnak. A kutatásban vizsgált 11 éves adatsor kevésnek mondható, azonban fontos kiemelni, hogy egyik fő célunk az általunk használt módszerek működésének tesztelése volt. Módszereink további adatgyűjtés után alkalmazhatók lehetnek a kék vércsék szaporodásbiológiájának és a klimatikus viszonyok kapcsolatának további kutatásában. A rendelkezésünkre álló információk elemzése és értelmezése különösen fontos, mert a faj állományának világtrendje jelenleg negatív (Palatitz et al., 2010), így minden a szaporodási sikert befolyásoló tényező ismerete elősegítheti a faj természetvédelmi kezelését.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk Kocsis Péternek (KMNPI), akiktől a Sóstói-telepen mért csapadékadatok származnak, valamint a KMNPI további munkatársainak, hogy segítettek munkánkat. Hálaság vagyunk továbbá az OMSZ illetékeseinek, hogy elérhetővé tették számunkra a meteorológiai adataikat. Köszönjük az ATIKÖVIZIG munkatársainak, hogy használhattuk a területre vonatkozó csapadékmérési adatokat. Hálaság vagyunk továbbá Horváth Évának, aki önkéntesként a kék vércse-költések adatainak digitalizálásában és ellenőrzésében nyújtott segítséget. Köszönjük Lang Zsoltnak, aki a statisztikai elemzések során állt rendelkezésünkre hasznos tanácsaival. Jelen vizsgálat a „A kék vércse védelme a Pannon régióban (LIFE05/NAT/H/000122)” elnevezésű LIFE pályázat keretein belül zajlott.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ARCHER, K.J. – KIMES, R.V. (2008): Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Computational statistics & data analysis* 52, 2249–2260. pp.
- (2) BOTH, C. – BOUWHUIS, S. – LESSELLS, C.M. – VISSER, M.E. (2006): Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441, 81–83. pp.
- (3) BREIMAN, L. (2001): Random forests. *Machine learning* 45, 5–32. pp.
- (4) CSÖRGŐ T. – KARCZA Z. – HALMOS G. – MAGYAR G. – GYURÁČZ J. – SZÉP T. – BANKOVICS A. – SCHMIDT A. – SCHMIDT E. (2009): Magyar madárvonulási atlasz. Kossuth Kiadó, Budapest
- (5) DEL HOYO, J. (1994): Handbook of the birds of the World. Vol. 2. New World vultures to guineafowl. Lynx Edicions, Barcelona, Spain
- (6) FARAWAY, J. (2006): Extending the Linear Model with R. CRC Press, New York
- (7) FEHERVARI P. – HARNOS A. – LANG Z. – SOLT S. – SZÖVÉNYI G. – PALATITZ P. (2009): The effects of grassland mowing on the density of prey species and hunting efficiency of Red-footed Falcons. EOU Conference, Zurich
- (8) FERGUSON-LEES, J. – CHRISTIE, D.A. – FRANKLIN, K. – MEAD, D. – BURTON, P. (2001): Raptors of the World. Christopher Helm, London
- (9) FIELDING, D. – BRUSVEN, M.A. (1990): Historical Analysis of Grasshopper (*Orthoptera: Acrididae*) Population Responses to Climate in Southern Idaho, 1950–1980. *Environmental Entomology* 19, 1786–1791. pp.
- (10) GREENBERG, R. – MARRA, P.P. (2005): Birds of two worlds: the ecology and evolution of migration. Johns Hopkins Univ Pr., Baltimore
- (11) HARASZTHY L. (1996) Gyakorlati ragadozómadár-védelem. MME könyvtára 5, 160, 88–91. pp.
- (12) HARASZTHY L. – BAGYURA J. (1993): A comparison of the nesting habits of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*) in colonies and solitary pairs. In: Biology and conservation of small falcons: Proceedings of the Hawk and Owl Trust Conference, hosted by the Durrell Institute of Conservation and Ecology at the University of Kent at Canterbury, 6th–8th September, 1991. Hawk and Owl Trust, 80.
- (13) HARASZTHY L. – BAGYURA J. – RÉKÁSI J. (1994): Food of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*) in the breeding period. *Aquila* 101, 93–110. pp.
- (14) HEIKURA, K. (1977): Effects of climatic factors on the field vole *Microtus agrestis*. *Oikos* 29, 607–615. pp.
- (15) HORVÁTH L. (1964): A kék vércse (*Falco vespertinus* L.) és a kis őrgébics (*Lanius minor* Gm.) élettörténetének összehasonlító vizsgálata II. A fiókák kikelésétől az őszi vonulásig. *Vertebrata Hungarica* VI. 1–2.
- (16) KEVE A. – SZÜJ J. (1957): Distribution, biologie et alimentation du Facon kobe Falco vespertinus L. en Hongrie. *Alauda* 25, 1–23. pp.
- (17) KOSTRZEWA, R. – KOSTRZEWA, A. (1991): Winter weather, spring and summer density, and subsequent breeding success of Eurasian Kestrels, Common Buzzards, and Northern Goshawks. *The Auk* 108, 342–347. pp.
- (18) KOTYMÁN L. (2001): A vörös vércse (*Falco tinnunculus*) és a kék vércse (*Falco vespertinus*) telepítésének gyakorlata a Vásárhelyi-pusztán. *Túzok* 6(3), 120–129. pp.
- (19) LUNN, D.J. – THOMAS, A. – BEST, N. – SPIEGELHALTER, D. (2000): WinBUGS-a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statistics and Computing* 10, 325–337. pp.
- (20) MCCARTHY, M.A. (2007): Bayesian Methods for Ecology, Cambridge University Press, Cambridge
- (21) McDONALD, P.G. – OLSEN, P.D. – COCKBURN, A. (2004): Weather dictates reproductive success and survival in the Australian brown falcon *Falco berigora*. *Journal of Animal Ecology* vol. 73, 683–692. pp.
- (22) MORRISON, J.L. – McMILLIAN, M. – COHEN, J.B. – CALVIN, D.H. (2007): Environmental correlates of nesting success in red-shouldered hawks. *The Condor* 109, 648–657. pp.
- (23) MOSS, R. – OSWALD, J. – BAINES, D. (2001): Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology* 70, 47–61. pp.
- (24) NEWTON, I. (1998): Population limitation in birds. Academic Press, London
- (25) NORRIS, D.R. – MARRA, P.P. – KYSER, T.K. – SHERRY, T.W. – RATCLIFFE, L.M. (2004): Tropical winter habitat limits reproductive success on the temperate breeding grounds in a migratory bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 271, 59–64.

- pp. (26) NIZOUFRAS, I. (2009): Bayesian modeling using WinBugs. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (27) PALATITZ P. – FEHÉRVÁRI P. – SOLT S. – BORIS B. (2010): European Species Action Plan for the Red-footed Falcon *Falco vespertinus* Linnaeus, 1766. European Commission (28) PARMESAN, C. (2006): Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 37, 637. (29) PURGER, J.J. – TEPAVCEVIC, A. (1999): Pattern analysis of red-footed falcon (*Falco vespertinus*) nests in the rook (*Corvus frugilegus*) colony near Torda (Voivodina, Yugoslavia), using fuzzy correspondences and entropy. Ecological Modelling 117, 91–97. pp. (30) R DEVELOPMENT CORE TEAM (2009): A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (31) RODRÍGUEZ, C. – BUSTAMANTE, J. (2003): The effect of weather on lesser kestrel breeding success: can climate change explain historical population declines? Journal of Animal Ecology 72, 793–810. pp. (32) ROOT, T.L. – PRICE, J. – HALL, K. – SCHNEIDER, S. – ROSENZWEIG, C. – POUNDS, A. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature 421, 57–60. pp. (33) SERGIO, F. (2003): From individual behaviour to population pattern: weather-dependent foraging and breeding performance in black kites. Animal behaviour 66, 1109–1117. pp. (34) SMALLWOOD, P.D. – SMALLWOOD, J. (1998): Seasonal shifts in sex ratios of fledgling American kestrels (*Falco sparverius paulus*): the early bird hypothesis. Evolutionary Ecology 12, 839–853. pp. (35) STAUFFER, B.H. (2008): Contemporary Bayesian and frequentist statistical research methods for natural resource scientists. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey (36) STEENHOF, K. – KOCHERT, M.N. – CARPENTER, L.B. – LEHMAN, R.N. (1999): Long-term prairie falcon population changes in relation to prey abundance, weather, land uses, and habitat conditions. Condor 101, 28–41. pp. (37) STERBETZ I. (1977): Az agrárkörnyezet változásainak hatása a Kardoskúti Természetvédelmi Terület állatvilágára. Aquila 65–82. pp. (38) SVETNIK, V. – LIAN, A. – TONG, C. – CULBERSON, J.C. – SHERIDAN, R.P. – FEUSTON, B.P. (2003): Random forest: a classification and regression tool for compound classification and QSAR modeling. Journal of Chemical Information and Computer Sciences 43, 1947–1958. pp. (39) VISSER, M.E. – HOLLEMAN, L.J.M. – GIENAPP, P. (2006): Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. Oecologia 147, 164–172. pp. (40) WALTHER, G.R. – POST, E. – CONVEY, P. – MENZEL, A. – PARMESAN, C. – BEEBEE, T.J. – FROMENTIN, J.M. – HOEGH-GULDBERG, O. – BAIRLEIN, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. Nature 416, 389–395. pp. (41) WIEHN, J. – KÖRPMÄKI, E. (1997): Food limitation on brood size: experimental evidence in the eurasian kestrel. Ecology vol. 78, 2043–2050. pp.

SZÁMUNK SZERZŐI

Csete László, a „KLÍMA-21” Füzetek főszerkesztője, c. egyetemi tanár (1093 Budapest, Zsil u. 3–5., Tel.: 476-3295, E-mail: csetel@mail.datanet.hu)

Csete Mária, a BME Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar Környezetgazdaságtan Tanszék egyetemi adjunktusa (1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2., Q épület, Tel.: 463-2018, E-mail: csete@eik.bme.hu)

Dezsény Zoltán, igazságügyi környezetvédelmi és mezőgazdasági szakértő (1149 Budapest, Egressy út 46/A, Tel.: 30/343-6705, E-mail: dezsény.zoltan@gmail.com)

Faragó Tibor, a Szent István Egyetem c. egyetemi tanára (E-mail: Tibor_Farago@t-online.hu)

Fehérvári Péter, a SZIE Állatorvostudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék PhD hallgatója (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4214, Fax: 478-4217, E-mail: Fehervari.Peter@aotk.szie.hu)

Gaal Gyula, a KTI NonProfit Kft. Közlekedéspolitikai és gazdasági tagozat tudományos segédmunkatársa (1119 Budapest, Thán Károly u. 3–5., Tel.: 371-5886, Fax: 205-5930, E-mail: gaal.gyula@kti.hu)

Harnos Andrea, a SZIE Állatorvostudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék egyetemi docense (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4213, Fax: 478-4217, E-mail: Harnos.Andrea@aotk.szie.hu)

Kotymán László, a Körös-Maros Nemzeti Park természetvédelmi tájegységvezetője (5945 Kárdoskút Sóstói telep, Tel.: 68/429-262, Fax: 68/429-262, E-mail: kotyman.laszlo@kmp.hu)

Lázár Bence, a SZIE Állatorvostudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék MSc hallgatója (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4214, Fax: 478-4217, E-mail: lazbar@icmail.com)

Palatitz Péter, a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület kékvércse-védelmi koordinátora (1121 Budapest, Költő u. 21., Tel.: 275-6247, Fax: 275-6267, E-mail: palatitz.peter@gmail.com)

Pálfai Imre, az Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság ny. szaktanácsadója (6720 Szeged, Stefánia u. 4., Tel.: 62/599-599, Fax: 62/599-555, E-mail: palfai.imre@gmail.com)

Solt Szabolcs, a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület Magyarország–Szerbia Határon átnyúló IPA projektjének – HU-SRB 0901/122/120 – programvezetője (1121 Budapest, Költő u. 21., Tel.: 275-6247, Fax: 275-6267, E-mail: solt.szabolcs@mme.hu)