

Szent István Egyetem Állatorvos-tudományi Kar
Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék

Hová vonulnak el a kék vércsék (*Falco vespertinus*) ősszel?

Készítette: Lázár Bence

Témavezetők: Fehérvári Péter

SZIE ÁOTK, PhD hallgató

Dr. Harnos Andrea

SZIE ÁOTK, egyetemi docens

Budapest

2011

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések	3
1.1	Miért és hogyan vonulnak a madarak?.....	3
1.2	A kék vércse (<i>Falco vespertinus</i>).....	6
1.3	A vonulás kutatásának eszközei.....	8
1.4	Célkitűzések.....	9
2	Módszerek.....	10
2.1	Műholdas jeladók (Platform Terminal Transmitter) felszerelése és működése	10
2.2	Egyedi mozgáskörzet meghatározás gyülekezési időszakban.....	13
2.3	Új potenciális őszi gyülekezőhelyek keresése	13
2.3.1	Új potenciális gyülekezőhelyek meghatározása a műholdas nyomkövetők adatai alapján	13
2.3.2	Ismert gyülekezőhelyek koordinátáinak forrásai.....	14
2.4	A vonulási útvonalak jellemzése.....	14
2.4.1	A vonulási útvonalak, a vonulás sebessége és időzítése.....	14
2.4.2	A vonulási útvonalak homogén szakaszokra bontása.....	14
2.5	Telelőterület.....	16
2.6	Önállóan végzett feladatok.....	16
2.7	Az elemzésekhez használt programok	17
3	Eredmények.....	17
3.1	Egyedi mozgáskörzet meghatározás	17
3.2	Új, potenciális gyülekezőhelyek meghatározása.....	18
3.3	Vonulási útvonal, sebesség és időzítés.....	20
3.3.1	A vonulási útvonal	20
3.3.2	A vonulás sebessége és időzítése	21
3.3.3	A vonulási útvonalak szakaszokra való bontása.....	22
3.4	A telelőterület meghatározása.....	29
4	Diszkusszió.....	30
5	Összefoglaló	33
6	Summary.....	34
7	Köszönetnyilvánítás	35
8	Irodalomjegyzék.....	36

1 Bevezetés és célkitűzések

1.1 Miért és hogyan vonulnak a madarak?

Az emberiség érdeklődését már kezdetektől felkeltették a tavasszal és ősszel nagy számban vonuló madárcsapatok. Számos megfigyelés és hipotézis született a történelem folyamán, mely magyarázatként próbált szolgálni erre a természeti jelenségre. Sokan úgy tartották, hogy a madarak a Holdon telelnek. Ezen tévhit kialakulása feltehetően a holdfényben nagy számban vonuló fajok rendszeres megfigyeléséhez köthető. Arisztotelész elképzelése szerint egyes fajok a tél közeledtével átváltoznak, például úgy hitte, hogy a kakukkok télen karvalyként élnek tovább. Elméletének alapja az lehetett (a madarak hasonló mérete és színezete mellett), hogy a kakukkok ősszel elvonulnak Görögország területéről Afrikába, és helyükre az északabbra fekvő élőhelyekről karvalyok érkeznek nagy számban telelni. Arisztotelész óta sok tévhitet sikerült megcáfolni, és sok madárvonulással kapcsolatos kérdést sikerült megválaszolni, mégis rengeteg információra van még szükség, hogy teljesen megérthessük a madarak ezen komplex viselkedését (CSÖRGŐ ET AL. 2009).

„Legáltalánosabban azt mondhatjuk, hogy a vonulás olyan periodikusan ismétlődő, a fészkelő területekről a telelőterületekre (és vissza) irányuló, szabályozott mozgás, amely lehetővé teszi, hogy a változó környezeti feltételeknek megfelelően túléljen, illetve szaporodjon az adott élőlény” (CSÖRGŐ ET AL. 2009).

A vonulás az élővilágban széles körben megfigyelhető, akár egymástól távol elhelyezkedő taxonómiai csoportokban is. A jelenség a madarak között talán a leggyakoribb (WEBSTER ET AL. 2002). Az évnek nincs olyan szakasza, amikor ne találkozhatnánk a világon valahol madarak vonulásával. Számos speciális adaptáció révén egy egész világra kiterjedő, komplex migrációs hálózat alakult ki (BERTHOLD 1993). Az evolúció során különböző vonulási stratégiák jelentek meg, melyek arra hivatottak, hogy minimalizálják a vonulási időt, a befektetett energiát vagy a predációs kockázatot (GREENBERG & MARRA 2005).

A vonulás módja szerint három fő csoportot különböztethetünk meg: obligát, fakultatív és parciális vonulást. Az obligát vonulók – függetlenül a környezeti feltételektől – genetikailag kódolt program alapján vándorolnak a telelőterület felé, míg a fakultatív vonulók a kedvezőtlen környezeti körülmények hatására kezdik csak meg a migrációt. A parciális vonulók egyfajta átmenetet képeznek a fenti két kategória között, ugyanis egy populáció különböző korú és/vagy ivarú egyedei különböző vonulási típusú csoportba tartozhatnak. Jó példa erre a Magyarországon költő vörös vércse (*Falco tinnunculus*), vagy az erdei pinty

(*Fringilla coelebs*). Ezen fajok hímjei a téli időszakban is a fészkelő területen maradnak, és őrzik revírjeiket, míg a tojók délre vonulnak a kedvezőbb időjárási paraméterű helyek felé (NEWTON 2008; CSÖRGŐ ET AL. 2009).

A megtett távolság alapján megkülönböztethetünk rövid-, közép- és hosszútávú vonulást. Míg a rövidtávú vonulók pár száz kilométer megtétele után elérik a telelőterületüket, a hosszútávú vonulók akár több ezer kilométert is utazhatnak a célig (sarki csér (*Sterna paradisaea*): egy évben közel 40 000 km repült távolság). A hosszútávon vonuló fajok között szintén találhatunk jelentős különbségeket. Egyes fajok (például a fehér gólya (*Ciconia ciconia*) és a békászó sas (*Aquila pomarina*)) próbálják minél jobban kihasználni a környezet adta lehetőségeket és csökkenteni a vonulásba fektetett energiát. Ezt a szárazföldek felett képződő meleg légáramlatok, ún. termikek segítségével teszik. Ezeket a láthatatlan lifteket kihasználva nyernek magasságot, majd siklanak tovább a következő termikig. Mivel termikek csak szárazföld fölött (és megfelelő időjárási körülmények között) alakulnak ki, ez a vonulási stratégia természetesen a legtöbb esetben hosszabb utat is eredményez. Más fajok gyorsan, egyenes vonalban közelítik meg a telelőterületüket, ezt széles frontú vonulásnak is nevezzük (pl.: legtöbb énekes madár). Ebben az esetben a táv nagy részében aktív repüléssel haladnak a madarak, mely energiaigényét tekintve jóval megterhelőbb, mint a termikek használata. A rövid- és középtávú vonulók esetében megfigyeltek már reverz migrációt is nem megfelelő időjárási viszonyok esetén, míg a hosszútávú vonulók esetében ez nem jellemző.

Az Eurázsia-Afrika vonulási rendszer alapvetően 3 nagy repülési útvonalból áll össze. Az első az Európát Nyugat-Afrikával összekötő útvonal, mely beszűkül Gibraltárnál, így biztosítva a Földközi-tenger minél keskenyebb részen való átrepülését. Gibraltárnál egyfajta vonulási palacknyak hatás figyelhető meg, akár több százezer egyed is elhalad itt évente. Legalább 22 faj használja ezt az útvonalat, jellemző ragadozók például a darázsölyv (*Pernis apivorus*), vagy a barna kánya (*Milvus migrans*). A második jelentős rendszer az Euráziát Kelet-Afrikával összekapcsoló útvonal, mely az északkelet-európai és nyugat-szibériai ragadozó madár állományokra jellemző. Ebben az esetben az egyedek a közel-keleti területek érintésével jutnak el Kelet-, illetve Dél-Afrikába, jellemzően a szuezi régiót használva a tengerek elkerülésére. Ezt az útvonalat legalább 35 faj használja. A harmadik, talán kevésbé használt útvonal a Közép-Európát Észak-Afrikával összekötő középső út, mely Olaszországon át Tunézia irányába vezet. Ezen az útvonalon a kisebb egyedszámú vonulást a hozzávetőleg 150 km-es tengeri szakasz indokolja (NEWTON 2008).

A vonuló madárfajok egy része képes akár egész vonulási útvonalát megállás nélkül végigrepülni. Más fajok megszakításokkal haladnak, és időközönként pár órára, vagy akár

napokra megállnak, pihennek és feltöltik energiaraktáraikat. Ezeket a fészkelő- és telelőterület közötti ideiglenes megállóhelyeket „stopover” területeknek nevezzük (MORRIS 1996).

Általánosságban elmondható, hogy az őszi időszakban a madarak nem „sietnek” a telelőterületre. Próbálnak minél kisebb energiafelhasználásra törekedni. Ennek oka az lehet, hogy abból semmit sem profitálnak, ha hamarabb érkeznek a telelőterületre, ellentétben a tavaszi vonulással, amikor a fészkelő területre korábban érkezők foglalják el a legjobb fészkelő helyeket. Így azt feltételezzük, hogy a madarak a tavaszi és őszi vonulásuk során különböző célra optimalizálnak (CATRY ET AL. 2005; KOVÁCS ET AL. 2010).

Eljutni a telelőterületre – függetlenül az alkalmazott stratégiától – mindig rendkívül energiaigényes (MOREAU 1972; BARLEIN 1985; BIEBACH ET AL. 1986). A vonulás talán legkritikusabb része a különböző ökológiai barrieréken való áthaladás (sivatagok, hegységek, tengerek) (BLEM 1976). Ezen akadályok sikeres leküzdése csak többlet energia felhalmozással valósulhat meg (MOREAU 1972; BARLEIN 1985; BIEBACH ET AL. 1986). Ahhoz, hogy a madarak ezt a plusz energia mennyiséget biztosítsák, szükség van egy felkészülési időszakra. Ekkor az egyedek feltöltik a zsírraktáraikat. A kistestű énekes madarakra legjellemzőbb a zsírfelhalmozás (BERTHOLD 1975; BLEM 1980), vagy az izmok fejlesztése. Előfordul, hogy a cél elérésének érdekében olyan táplálékbaázisra váltanak, amely jobban szolgálja a későbbi megnövekedő energiaigényt (például egyes poszáta fajok esetén ízeltlábúak helyett bodzatermés fogyasztása) (ALERSTAM 1993). A hosszútávon vonuló fajok akár élő testtömegük 30–50 százalékának megfelelő többlet zsírt képesek felhalmozni, míg a rövidtávon vonulóknál ez az érték csak 10–25 százalék (BERTHOLD 1993). A fentiek alapján belátható, hogy a sikeres vonulás és telelés szempontjából kiemelten fontos a pre-migrációs időszak folyamán zajló felkészülés és ehhez kapcsolódóan a pre-migrációs időszakban használt területek állapota is (DE FRUTOS & OLEA 2008; NEWTON 2008).

A bevezetésben eddig említett tények rávilágítanak arra, hogy a vonuló fajok eredményes védelme érdekében különösen fontos a migráció mint jelenség teljes megértése, és ezen információk felhasználása, például a gyakorlati fajvédelemben (GREENBERG & MARRA 2005). Az eurázsiai költő- és afrikai telelőterületek között hosszútávon vonuló ragadozó madárfajok fele veszélyeztetett, közel-veszélyeztetett vagy csökken az állománya (BirdLife International, 2009). Ezen túlmenően, az Eurázsia-Afrika vonalon vándorló fajok nagyobb veszteségeket szenvednek el az útjuk során, mint a rövidtávú vonulók vagy rezidens társaik (SANDERSON ET AL. 2006). Az ezt kiváltó okok között ugyanúgy fontos szerepe lehet a kedvezőtlen időjárási körülményeknek, mint a telelőterületen intenzívebbé váló mezőgazdasági tevékenységnek (NEWTON 2008). További fontos tényező lehet a telelőterület

élőhelyeinek minősége, ami a testtömeget és a vonulás időzítését egyaránt befolyásolhatja (NORRIS ET AL. 2004; GUNNARSSON ET AL. 2005). Következésképpen a vonuló madárfajok eredményes védelme csak a pontos vonulási útvonal, a stopover területek és a teljes éves ciklus során az egyedek fitneszére ható tényezők megértésén keresztül képzelhető el sikeresen (BERTHOLD & TERRILL 1991; HUTTO 1998; VAN EERDEN ET AL. 2005).

1.2 A kék vércse (*Falco vespertinus*)

A kék vércse a Kárpát-medence egyetlen telepesen költő, kistestű ragadozó madárfaja, a sólyomfélék családjába (*Falconidae*) és a sólyom-alakúak rendjébe (*Falconiformes*) tartozik. Hazánkban fokozottan védettnek minősül. Az IUCN (International Union for Conservation of Nature, www.iucnredlist.org) a vörös listás, csaknem veszélyeztetett kategóriába sorolja (www.falcoproject.hu), továbbá az Európai Unió Madárvédelmi Irányelvének első függelékében (Annex I) kapott helyet (www.birdlife.org).

Elterjedése Közép-Kelet-Európától egészen Kelet-Kazahsztán vonaláig húzódik, nagyobb fészkelő állománya azonban Európán belül csak Magyarországon, Romániában, Ukrajnában és Oroszországban alakult ki. Így hazánk tekinthető a faj nyugati elterjedési határának (PALATITZ ET AL. 2010). Ki kell emelni, hogy Magyarország az elterjedési területhez képest ugyan kis területet képvisel, mégis jelentős költő állománnyal rendelkezik, így nem elhanyagolható védelmi szempontból (BAGYURA & PALATITZ 2004). Hazánkban, napjainkban a Tiszántúlon, illetve a Duna-Tisza közén költ rendszeresen (FEHÉRVÁRI ET AL. 2009). Általánosságban elmondható, hogy az alacsony tengerszint feletti magasságon elterülő, nyílt, kis erdőfoltokkal, bokrokkal tarkított élőhelyeket preferálja (www.falcoproject.hu).

A kék vércsék a legtöbb sólyomféléhez hasonlóan nem építenek fészket, helyette más fajok fészkeit foglalják el költésük során (FERGUSON-LEES ET AL. 2001). Leggyakrabban varjúfélék, leginkább a vetési varjak (*Corvus frugilegus*) elhagyott telepeit használják (HORVÁTH 1964; PURGER & TEPAVCEVIC 1999). A kék vércsék mind telepese, mind szoliter módon költenek (HARASZTHY & BAGYURA 1993).

A költési szezon végeztével, a pre-migrációs időszakban a madarak a fészkelő területen belül kóborolnak (más ragadozó madarakhoz hasonlóan), és az estéket közös éjszakázó helyeken töltik (nyugalmas facsoport, vagy akár egyetlen nagyobb fa). Ezeken az ún. gyülekezőhelyeken, amelyek helye gyakran tradicionális, több száz, vagy akár néhány ezres példányszámban jelennek meg napnyugtakor (BAGYURA & PALATITZ 2004). Magyarország területén belül a Hevesi-síkon, a Jászságban, a Hortobágyon, a Bihari-síkon és a Dél-Alföldön találhatóak a legjelentősebb gyülekezőhelyek (BORBÁTH & ZALAI 2005). Erre

a jelenségre csak a közelmúltban derült fény, azóta a Kárpát-medencén belül (Magyarországon, Szerbia északi részén és Románia nyugati részén) minden évben heti rendszerességgel zajlik szinkron számlálás augusztus közepétől október elejéig (PALATITZ ET AL. 2008). Ezekről a gyülekezőhelyekről kezdődik meg később a vonulás.

A pre-migrációs időszaknak és ezáltal a gyülekezőhelyeknek is fontos szerepe van a vonulásra való felkészülésben. A madarak ebben az időszakban az éjszakákat a gyülekezőhelyeken töltve, napközben pedig a környező területeken vadászva töltik fel energia raktáraikat. Éppen ezért a gyülekezőhelyek a faj védelme szempontjából is kiemelt jelentőségűek, hiszen egyszerre sok egyed tartózkodik kis helyen, így sebezhetővé téve az állomány akár jelentékeny részét is a lokális/regionális veszélyeztető tényezőkkel szemben (PALATITZ ET AL. 2010).

A kék vércsék migrációjáról előzetes irodalmi adatok alapján csak annyi információ állt rendelkezésre, hogy obligát, transzekvatoriális vonulók, és a telet valahol Afrika Egyenlítőől délre eső területein töltik (DEL HOYO ET AL. 1992). Tény, hogy a Közép-Kelet-Európában és Ázsia nyugati részén költő egyes ragadozó madár fajok a Mediterrán-medence keleti részét sűrűlve a szuezi régióon keresztül jutnak el Afrikába, majd jellemzően a Nílus-völgyét követve és az Egyenlítőöt átlépve lemennek egészen Afrika déli területeire. Egyes Nyugat-Európában költő fajok pedig Spanyolország érintésével Gibraltáron át érkeznek meg nyugat-afrikai telelőterületeikre. Például, a rokon fehérkarmú vércse (*Falco naumanni*) spanyolországi állományai ezen az útvonalon jutnak el a Száhel-övezet nyugati területén található telelőterületeikre. Az elmúlt években közel 5000 kék vércsére került gyűű, mégis csak Európán belüli megkerölések ismertek . Az őszi vonulás során nagyobb példányszámban Cipruson és Izraelben fordul elő (PALATITZ ET AL. 2010). A rendelkezése álló információk alapján azt feltételeztük, hogy a kárpát-medencei kék vércse állomány a Földközi-tenger megkerölésével a ragadozók által kedvelt boszporuszi és szuezi átjárókat használva a Nílus-völgye mentén éri el Afrika belső területeit. A telelőterületet illetően két hipotézisünk volt, vagy megállnak az Egyenlítőől északra, és a Száhel-övezetben töltik a telet hasonlóan a fehérkarmú vércsék nyugati állományaihoz, vagy folytatják az útjukat, és az Egyenlítőöt átlépve a dél-afrikai szavanna régióban telelnek.

A 2006-ban induló Európai Unió LIFE Nature pályázatának keretein belül futó „A kék vércse (*Falco vespertinus*) védelme a Pannon-régióban” elnevezésű projekt lehetőséget teremtett egy, a vonulás vizsgálatára irányuló kutatás beindításához (www.falcoproject.hu). A projekt fő célja a kárpát-medencei populáció védelmének megalapozása volt, ugyanakkor ahhoz, hogy a faj számára egy sikeres védelmi program megvalósítható legyen, ismerni kell a

kék vércsék teljes éves ciklusát, továbbá azt is, hogy hol és milyen tényezők hatnak az egyedekre. Ehhez fel kellett deríteni a vonulási útvonalakat, illetve a telelőterületet. Ezekhez a feladatokhoz a gyűrűzésből származó adatok elégtelennek bizonyultak.

1.3 A vonulás kutatásának eszközei

A madárgyűrűzés nagy múltra visszatekintő és széles körben elterjedt módszer, azonban az alacsony visszafogási (visszalátási) ráták egyes fajok esetében egyszerűen nem szolgáltatnak kellő mennyiségű és minőségű információt a további kutatásokhoz (WEBSTER ET AL. 2002). Ahogy a fent leírtakból kiderül, ez a helyzet a kék vércse vonulásának feltérképezésével is, így alternatív módszerekre van szükség az eredményes vizsgálatokhoz.

Napjainkban növekvő népszerűségnek örvendenek a különböző genetikai és biogeokémiai módszerek (WEBSTER ET AL. 2002). A madarak génjeinek vizsgálata azzal az óriási előnnyel jár, hogy minden populáció minden egyede öröklötten „fel van szerelve” a saját egyedi jelölésével, ami maga a DNS. Számos ilyen DNS markert (mtDNS, mikroszatellita, RAPD, AFLP) alkalmaztak már madár populációk vonulásának vizsgálatára. Ugyanakkor számolnunk kell hátrányokkal is: a madarak jó diszperziós képességéből adódóan, általában kicsi a genetikai különbség a populációk között, ennek eredményeként rossz az elkülöníthetőség, valamint megemlítendő még, hogy a madárgenetikával foglalkozó szakemberek egyelőre csak kis része foglalkozik vonulással kapcsolatos kérdések megválaszolásával (WEBSTER ET AL. 2002).

Sok lehetőség rejlik különböző stabil izotópok alkalmazásában is. Napjainkban sikeresen alkalmazták a hidrogén, a nitrogén, a szén és a stroncium különböző izotópjait ilyen célokra. A helyi környezetre jellemző izotóp arányok az egész táplálékláncban megfigyelhetők (BLUM ET AL. 2000). Az állatok szöveteiben az adott területre jellemző izotóp összetétel jelenik meg. A stabil izotópok arányának variabilitása a különböző helyeken élő egyedek szöveteiben lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a vonuló populációk geográfiai helyzetét. A módszer hátrányai abban rejlenek, hogy az izotópok eloszlása és területenként megfigyelhető különbsége csak nagy skálán képes elkülöníteni egymástól élőhelyeket, valamint a vizsgálathoz szövetmintákra van szükség, mely például a telelőterület vizsgálatánál a kiutazást teszi megkerülhetetlenné (CHAMBERLAIN ET AL. 1996; WEBSTER ET AL. 2002).

Léteznek a gyűrűkkel való jelölésen kívül más direkt módszerek is madarak mozgásának/vonulásának követésére, ilyenek a geolokátorok és a műholdas jeladók. A geolokátorok madarakra erősíthető készülékek, melyek működése a nappalok és éjszakák váltakozásának hosszán alapul, ennek segítségével képes a madár helyzetének nagy skálán

történő meghatározására (GONZÁLEZ-SOLÍS ET AL. 2007; BÄCHLER ET AL. 2010; RYDER ET AL. 2011). A készülék kis tömege és mérete lehetővé teszi olyan kistestű fajokon történő alkalmazását, mint a kőforgató (*Arenaria interpres*) (MINTON ET AL. 2010), ugyanakkor feltételezi a jelölt madarak visszafogását, ami egyes esetekben nehezen megoldható.

A műholdas nyomkövetés napjainkban az egyik legjobban alkalmazható eszköz állatok nagy léptékű mozgásainak és vonulási útjaiknak vizsgálatára (MEYBURG ET AL. 1998; KJELLÉN ET AL. 2001; STRANDBERG ET AL. 2009; ROBINSON ET AL. 2010). Előnye, hogy a fent említett módszerek közül az egyetlen, amely közel folyamatos és pontos képet ad a madarak mozgásáról, ugyanakkor meglehetősen magas ára nem teszi lehetővé a nagy mintaszámok használatát. További hátránya például a geolokátorhoz képest, hogy a jeladók nagyobb tömege miatt a kistestű madarakon való alkalmazása egyelőre nem lehetséges, noha 2009-től már elérhetővé vált a kék vércsére felszerelhető egység (PTT-100, Microwave Telemetry Inc.). A módszer széles körű használata – egyelőre főleg nagyobb testű madarakon – az elmúlt években jelentősen növelte azt az információ mennyiséget, ami a madarak vonulási útvonalairól és a telelőterületekről rendelkezésünkre áll, ezzel bizonyítva fontosságát a fajvédelmi kutatásokban (HARRIS ET AL. 2000; GAUTHIER-CLERC & LE MAHO 2001; SHIMAZAKI ET AL. 2004; SHIU ET AL. 2006; LÓPEZ-LÓPEZ ET AL. 2009).

1.4 Célkitűzések

A projekt keretein belül 8 egyedre szereltünk fel műholdas nyomkövetőt, mellyel elsődleges célunk a madarak útvonalának és telelőterületének meghatározása volt. Ezek az információk önmagukban is rendkívül értékesek, hiszen eddig nem rendelkezünk megbízható adatokkal a faj vonulási viselkedésére vonatkozóan. A műholdas nyomkövetők segítségével kapott adatok – ezen fő kérdések megválaszolása mellett – lehetőséget biztosítanak további elemzések elvégzésére, melyek egyfajta hozzáadott értéket képviselnek, és számos plusz információval bővíthetik a kék vércsére vonatkozó tudásunkat.

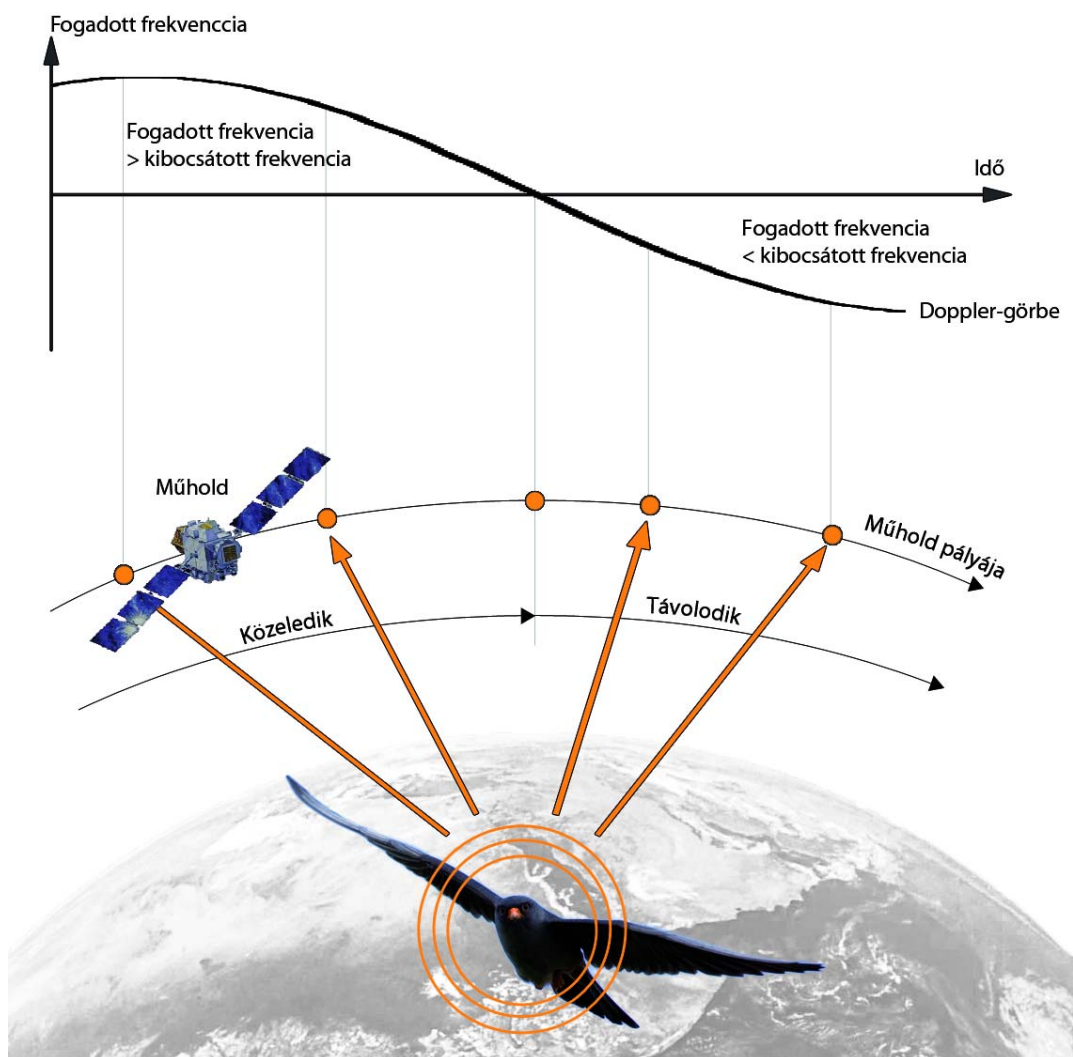
Jelen vizsgálat során tehát az alapvető kérdésünk az volt, hogy hová és milyen útvonalon vonulnak a kék vércsék a Kárpát-medencéből? Kíváncsiak voltunk még olyan vonulást jellemző paraméterekre, mint a madarak sebessége, a vonulás megkezdésének és a telelőterületre való megérkezésnek az időzítése, továbbá, hogy milyen esetleges barrierekkel kell a madaraknak megküzdeniük. Ezenfelül a rendelkezésünkre álló adatok lehetővé tették új, eddig még ismeretlen pre-migrációs gyülekezőhelyek keresését, illetve a madarak egyedi mozgáskörzetének meghatározását is. Végül célunk volt a műholdas jeladóval ellátott madarak mozgásának elemzése és a vonulási út egyes részeinek elkülönítése és jellemzése.

2 Módszerek

2.1 Műholdas jeladók (*Platform Terminal Transmitter*) felszerelése és működése

A 2009-es költési szezonban 8 kék vércsére erősítettünk műholdas jeladókat. A madarakat függőnyhálóval fogtuk be. Mind a 8 egyed átlag feletti tömegű öreg tojó volt, mindegyikre egy-egy 5 grammos Platform Terminal Transmitter (PTT-100, Microwave Telemetry Inc.) jeladót szereltünk fel. Jelenleg ez az elérhető legkisebb tömegű ilyen típusú jeladó, azonban ennek a tömege is nagyobb az optimális felhelyezhető súlynál a kék vércse egyedek jelentős része számára, így a szezon során az ország különböző területein hozzávetőleg 70 madár befogására volt szükség a megfelelő madarak megtalálásához. Mivel ez a jeladó nem kapható kereskedelmi forgalomban, 2009-ben csak néhány kutatási projekt használhatta ezeket az eszközöket, világszerte összesen 3 faj 25 egyedén (Microwave Telemetry Inc. Pers. comm.).

A nyomkövetők működésük során 850 km magasságban poláris pályán keringő műholdaknak (ARGOS rendszer, www.argos-system.org) továbbítják az általuk kibocsátott, meghatározott frekvenciájú ($401,650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$) jeleket. Az egység 10 órán keresztül működik, majd a hátoldalán található napelem segítségével 48 óra alatt tölti újra magát. A kibocsátott jel tartalmaz egy azonosító számot is, amely alapján később beazonosítható a nyomkövető. A műholdak minden nap 14-szer kerülnek meg a Földet (ez alkalmanként 100 percet vesz igénybe), és minden újabb kör során (a Föld forgásának következtében) 25° -kal módosul a pályájuk. A keringésük során a műholdak egy 5000 km átmérőjű körben képesek az alattuk lévő nyomkövetők által kibocsátott jel észlelésére. A fenti paraméterekből adódóan egy műhold kb. 10 percig képes egy adott transzmitter frekvenciáját észlelni egy keringési ciklusban. A műhold a kapott jelet leküldi a világszerte elhelyezkedő számos fogadó állomás valamelyikének, amint fölé ér, innen pedig a feldolgozó állomásokra továbbítódik az észlelt információ. A madár helyzetének kiszámítása a Doppler-effektuson alapul (1. ábra).



1. ábra: A PTT jeladók működési elve – Doppler-effektus

A madarak hátára erősített nyomkövetők meghatározott frekvenciájú jeleket bocsátanak ki ismétlődően. A műholdak mozgása során az észlelt frekvencia azonban attól függ, hogy az adott műhold közeledik, vagy távolodik a jeladós madártól. Ebből a frekvencia különbségből számolható ki a madár aktuális helyzete.

Minden nyomkövető 90–120 másodpercenként bocsát ki jeleket azonos frekvenciával, azonban amikor a műhold közeledik a jelölt egyedhez (és a hátára erősített jeladóhoz) ezt a frekvenciát magasabbnak észleli a ténylegesnél, távolodáskor pedig alacsonyabbnak. Ha minimum 4 jel rendelkezésre áll egy keringési ciklusban, a feldolgozó központok a legkisebb négyzetek analízisén alapuló módszerrel becsülik meg a jeladó helyzetét. A kapott pozíciók minősége és megbízhatósága változó lehet (1. Táblázat) (www.argos-system.org).

1. Táblázat: A nyomkövetők által küldött jelek minőségi csoportjai

Jel osztály	3	2	1	0	A	B
Becsült hiba	<250m	250m< <500m	500m< <1500m	>1500m	Nincs becsült hiba	Nincs becsült hiba

A jeladók egy teflonszál (KENWARD 2001; STEENHOF ET AL. 2006; GSCHWENG ET AL. 2008) és egy műanyag talp segítségével kerültek rögzítésre a madarak hátára (2. ábra). A felhelyezés 45 percet vesz igénybe (beleértve a gyűrűzést és az alapvető biometria adatok felvételét is). Követtük és megfigyeltük a jeladóval felszerelt madarakat, így meggyőződhattunk róla, hogy a nyomkövető nem befolyásolja az egyedek viselkedését, és nincs negatív hatással a repülési képességeikre. A 8 műholdas nyomkövetővel ellátott egyed az ország különböző régióiban került befogásra és megjelölésre. Az egyedek elnevezése két részből tevődik össze, a „vezetéknévük” az a régió, ahol az egyedek befogásra kerültek, míg a „keresztnevük” kiválasztása az adott régióban dolgozó szakemberre lett bízva (2. Táblázat).



2. ábra: A jeladó felszerelése

A műholdas jeladók felszereléséhez egy teflon szálat, illetve egy műanyag talpat használtunk. Utóbbinak a nyomkövető tollazatból való kiemelésében volt szerepe.

2. Táblázat: A jelölt madarak nevei és az adó működésének időtartama

Név	Jeladó működésének kezdete	Jeladó működésének vége
Hevesi Hárpia	2009.08.10	2010.01.31
Jászszági Heni	2009.07.17	2010.03.11
Erdélyi Anita	2009.08.11	2010.04.09
Bihari Csalán	2009.07.13	2010.04.04
Mezőségi Virág	2009.07.17	2010.04.06
Vásárhelyi Jázmin	2009.10.22	2009.11.21
Kunsági Csenge	2009.09.26	2009.10.26
Hortobágyi Magdi	nincs adás	nincs adás

(A Hortobágyi Magdi nevű egyed esetében a felhelyezést követően semmilyen értékelhető jelet nem továbbított a nyomkövető.)

2.2 Egyedi mozgáskörzet meghatározás gyülekezési időszakban

A pre-migrációs időszakban jellemző egyedi mozgáskörzetek meghatározására „Kernel home range” becslést (WORTON 1987) alkalmaztam. Ez a módszer eredetileg a mozgáskörzet (home range) becslésére szolgál. Ez az a terület, amelyet az egyedek az általános napi tevékenységeikhez használnak a költési időszakban (pl.: táplálékszerzés, párzás vagy a fiatalok ellátása) (BURT 1943). Fontos kiemelni, hogy a módszert nem kifejezetten az ilyen jellegű problémákra fejlesztették ki, de úgy ítéltük meg, hogy a kék vércsénél használható egyfajta „időszakos mozgáskörzet” becslésre a gyülekezőhelyek körül.

Az elemzés előtt szükséges volt az adatok leválogatása. Csak olyan mérési pontokat használtam fel, amelyek az „A” minőségi kategóriába, vagy afölé estek. Mivel a pre-migrációs nappali mozgásokra voltunk kíváncsiak, így a 2009.07.17. és 2009.09.28. közötti időszakban vizsgáltam a madarak helyzetét reggel 6 és este 8 óra között.

A módszer lényege, hogy a kapott adatok alapján kétdimenziós valószínűségi sávokat határoz meg az egyed tartózkodási helyeire vonatkozóan. A legvalószínűbb hely az ún. magterület, vagyis ahol a legtöbbet volt a madár. A kisebb valószínűségű területek azok, amelyeket csak alkalmanként látogat meg. (WORTON 1989). A 8 madárból csak egyetlen egyednek (Jászsági Heni) tudtuk megbecsülni a mozgáskörzetét, ugyanis csak itt állt rendelkezésünkre a megfelelő mennyiségű mintapont (30 db, a madár helyzetét leíró pont). Így látható, hogy nem kaphattunk reprezentatív eredményt, mégis esetünkben fontos új információkat (nagyságrendi becslést) szolgáltatathat a madarak viselkedéséről, illetve hasznos lehet további hasonló jellegű vizsgálatok tervezéséhez.

2.3 Új potenciális őszi gyülekezőhelyek keresése

2.3.1 Új potenciális gyülekezőhelyek meghatározása a műholdas nyomkövetők adatai alapján

A madarak pre-migrációs időszakból kapott pozícióit vizsgálva lehetőségünk volt esetleges új őszi gyülekezőhelyek keresésére. Ebben az esetben is szükséges volt az adatok előzetes leválogatása. A gyülekezőhelyek (ahol tömegesen együtt alszanak a madarak) koordinátáinak meghatározásához az éjszakai pontokat elemeztem, a 2009.07.17. és 2009.09.28. közötti időszakból az összes madár „A” vagy magasabb minőségi kategóriájú este 8 és reggel 6 óra közé eső adatait használva.

A továbbiakban a pontok alapján olyan kisebb területeket határoztam meg, amelyeken belül egy vagy több madár éjszakai pontjai egymás közelében voltak megtalálhatóak. Ezekre

a pontokra minimum konvex poligont (konvex poligon: egyenes szakaszok által határolt síkidom, amely esetén a belső szögek kisebbek 180°-nál, és az összes csúcspárt összekötő szakaszt tartalmazza) (BURGMAN & FOX 2003) illesztettem, majd egy 5 km-es övezetet használtam a lehetséges gyülekezőhely pozíciójának becslésére. Ezt egyfajta pufferként alkalmaztam a jelek pontatlanságának kiküszöbölésére. Ezt a folyamatot elvégeztem a magyarországi és ukrainai pontok esetében egyaránt, végül összehasonlítottam a már rendelkezésünkre álló empirikus alapon ismert gyülekezőhelyek koordinátaival.

2.3.2 Ismert gyülekezőhelyek koordinátáinak forrásai

A magyarországi ismert gyülekezőhelyek koordinátáinak meghatározása az „A kék vércse védelme a Pannon-régióban (LIFE05 NAT/H/000122)” elnevezésű LIFE Nature pályázat keretein belül történtek. Az ukrainai gyülekezőhelyekről pedig az „Inventory of the Breeding Population of Red-footed Falcons in Ukraine: Spring-Summer 2009” című helyi BirdLife International által támogatott projekt segítségével szereztünk tudomást.

2.4 A vonulási útvonalak jellemzése

2.4.1 A vonulási útvonalak, a vonulás sebessége és időzítése

A teljes vonulási utat a lehető legegyszerűbb módon becsültem; a madarak koordinátáit időrendben egyenes szakaszokkal kötöttem össze. A vonulás kezdetét az első dél felé irányuló elmozdulás dátumával becsültem, Először a teljes vonulási útvonal hosszát számoltam ki, amely a madarak indulásának időpontjától a későbbiekben (ld. 2.5 fejezet) meghatározott telelőterület érintéséig tartó útvonal becsült hossza. Az átlagos napi megtett utat a teljes távolság és a megtételéhez szükséges napok számának hányadosából számoltam ki. A napi maximális megtett út becsléséhez párosítottam a jeladó egymást követő ciklusaiból származó jeleket, és az ezen párokból kiválasztott maximális távolságot osztottam a két cikluspáron belüli legtávolabbi pontok között eltelt idővel.

2.4.2 A vonulási útvonalak homogén szakaszokra bontása

A megjelölt vércsék útvonalát, mint azt már fentebb említettem, a jeladókból származó koordináták összekötésével kaptam. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a kapott (két pont közötti egyenes szakasz) útvonalon jártak ténylegesen a madarak, valójában inkább a valós útvonal legegyszerűbb interpolációs becslésének tekinthető. Maga az útvonal, illetve az abból származott egyszerű számolási adatok (sebesség, távolság értékek stb.) a hagyományos

statisztikában leíró statisztikáknak feleltethetők meg. A mélyebb megértést szolgáló modellezések/elemzések ilyen adatok esetében elsősorban az úgynevezett Random Walk és a State Space Modellek területeiről származnak (PATTERSON ET AL. 2008). Egy harmadik lehetőség a trajektóriák homogén szegmensbe való sorolása. Ezek a homogén szakaszok feltehetően eltérő állapotot vagy viselkedést jellemeznek az útvonalat kirajzoló állatok esetében, így időtartamuk, földrajzi elhelyezkedésük sokat elárulhat a nyomon követett állatról.

A kék vércsék esetében egy meglehetősen új és eddig csak a molekuláris biológiában (GUEGUEN 2001) használt módszert alkalmaztunk a trajektóriák homogén szegmensekbe való csoportosítására (CALENGE 2006).

Biológiailag, a pozitív autokorreláció a trajektóriákat jellemző paraméterekben (úgy mint a hasonlóság a két mért pont közötti út hosszában, abszolút és relatív elfordulási szögében stb.) tekinthető valamilyen homogén viselkedési mintázatnak.

Az analógia kedvéért, tételezzük fel, hogy egy helyközi volánbuszt követünk nyomon a kezdeti nagyvárosi állomástól a több száz kilométerre lévő kisvárosi végállomásig, úgy hogy percenként megmérjük a földrajzi helyzetét. A volánbusz a kezdeti ponttól eleinte lassan halad a városi forgalom miatt, és a nagyvárosban található megállók miatt. Ezt követően egy hosszabb, megállás nélküli szakasz következik, ahol eljut a célállomás közelébe. A busz betér a végcél környékén található falvakba is, hogy az utasok leszállhassanak (ismét lassul a sebesség, de nem halad olyan lassan, mint a nagyvárosban), majd a végállomás felé veszi útját, és ott is több helyen megállva (és persze lassulva) eljut a buszpályaudvarra.

Ha a kapott adatsort szemrevételezzük, akkor az egymást követő pontok közötti távolság értékekben autokorreláció (hasonlóság) lép fel, vagyis a kezdeti „nagyvárosi” szakaszon az átlagos távolságok a legkisebbek, majd ahogy kiér a városból az átlagos távolságok megnőnek, később ahogy betér a falvakba, ismét lecsökkenek, de nem olyan mértékben, mint a nagyvárosban, és végül a célállomáson teljesen megáll a busz. Ennek megfelelően a busz trajektóriája 4 homogén szakaszra bontható.

Erre a mintázatra támaszkodva működik a Calenge és mtsai által kidolgozott bayesi megközelítés is. A buszos példára visszatérve, tételezzük fel, hogy az egymást követő ugyanazon viselkedési folyamat (egy szegmensen belüli) által generált pontok közötti távolságok eloszlása normális. A különböző szegmensekben különböző paraméterekkel. Felállíthatunk tetszőleges számú „a priori” normál eloszlás modellt (különböző átlagokkal), amelyekkel a Gueguen-féle algoritmus segítségével (MCMC módszerrel) meghatározható, hogy a vizsgált trajektória hány szegmensből áll, illetve hol vannak a szegmensek határai, és

hogyan lehet az „a priori” modell írja le a legjobban, azaz hogy megfigyelt adatainknak melyik modell esetén a legnagyobb a valószínűsége. A módszer feltételezi, hogy a folyamat Markov-modellel leírható, azaz egy adott szegmensbeli viselkedés nem befolyásolja a következőt. Természetesen a trajektóriát jellemző bármely más paraméter esetén elvégezhető hasonló elemzés.

A modellezés során 71 olyan „a priori” modellt állítottunk fel, melyek várható értéke $0,5^\circ$ -és $35,5^\circ$ eltérés között változott fél fokként, a szórás minden modell esetén $0,5^\circ$ volt.

A módszernek két feltétele van; a szegmensek közötti függetlenség, és hogy az adatok (lokalizációs pontok) között eltelt idő állandó legyen. Ez utóbbi sérül a mintáinkban, hiszen a jeladó 48 óra/10 órás ciklusokban sugároz. Ezt a problémát úgy oldottam fel, hogy minden ciklusból (vagyis minden 10 órás periódusból) csak a legutolsó, jó minőségű (0,1,2,3 lásd 1. Táblázat) jeleket vettem figyelembe. Ez által egy olyan adathalmazt kaptam, ahol a lokalizációs pontok időben egyenlő intervallumokban ($2 \text{ nap} \pm 10 \text{ óra}$) helyezkednek el.

A nyomon követett 8 madárból 6 jutott el az afrikai telelőterületre, de ezek közül is csak 4 madárnak volt meg a teljes vonulási trajektóriája. A 4 madár közül csak 3 egyed (Bihari Csalán, Mezősegi Virág és Jászági Heni) esetében volt elvégezhető az elemzés, mert Hevesi Hárpia esetében 2 teljes ciklus adása kimaradt (időpontok), így a hiányzó információ túl nagy torzítást okozott volna a szegmentálásban.

Az alkalmazott elemzéseket kényelmes formában tette lehetővé az R program `adehabitatLT` csomagja (CALENGE 2006).

2.5 Telelőterület

Az általunk jelölt madarak telelőterületének meghatározásával egyfajta becslést kaphatunk a kárpát-medencei állomány telelőterületére vonatkozóan. Az elemzés során a jelölt egyedek 2009. 11. 01. utáni pontjait használtam egészen a nyomkövetők működésének végéig. Egy minimum konvex poligont (BURGMAN & FOX 2003; PALATITZ ET AL. 2011) illesztettem az összes pontra ebben az idő intervallumban, így megkaptuk azt a legszűkebb területet, amit a madarak ténylegesen bejártak a telelés során.

2.6 Önállóan végzett feladatok

Az itt tárgyalt vizsgálatok elvégzéséhez természetesen egy kutató csoport szervezett és komplex munkájára volt szükség, amelynek én is aktív tagja voltam. Következésképpen fontosnak tartom kiemelni, hogy melyek voltak a csoport egésze, és melyek az én általam végzett feladatrészek.

A csapat tagjaként részt vettem a terepi munkákban és a műholdas jeladók felszerelésében, mégis alapvetően a kapott adatok kiértékelését és elemzését végeztem önállóan. Én készítettem el az új őszi gyülekezőhelyek keresésére és a madarak mozgáskörzetének meghatározására vonatkozó elemzéseket, a vonulási útvonal jellemzésére vonatkozó számításokat és modelleket, illetve a telelőterület becslését.

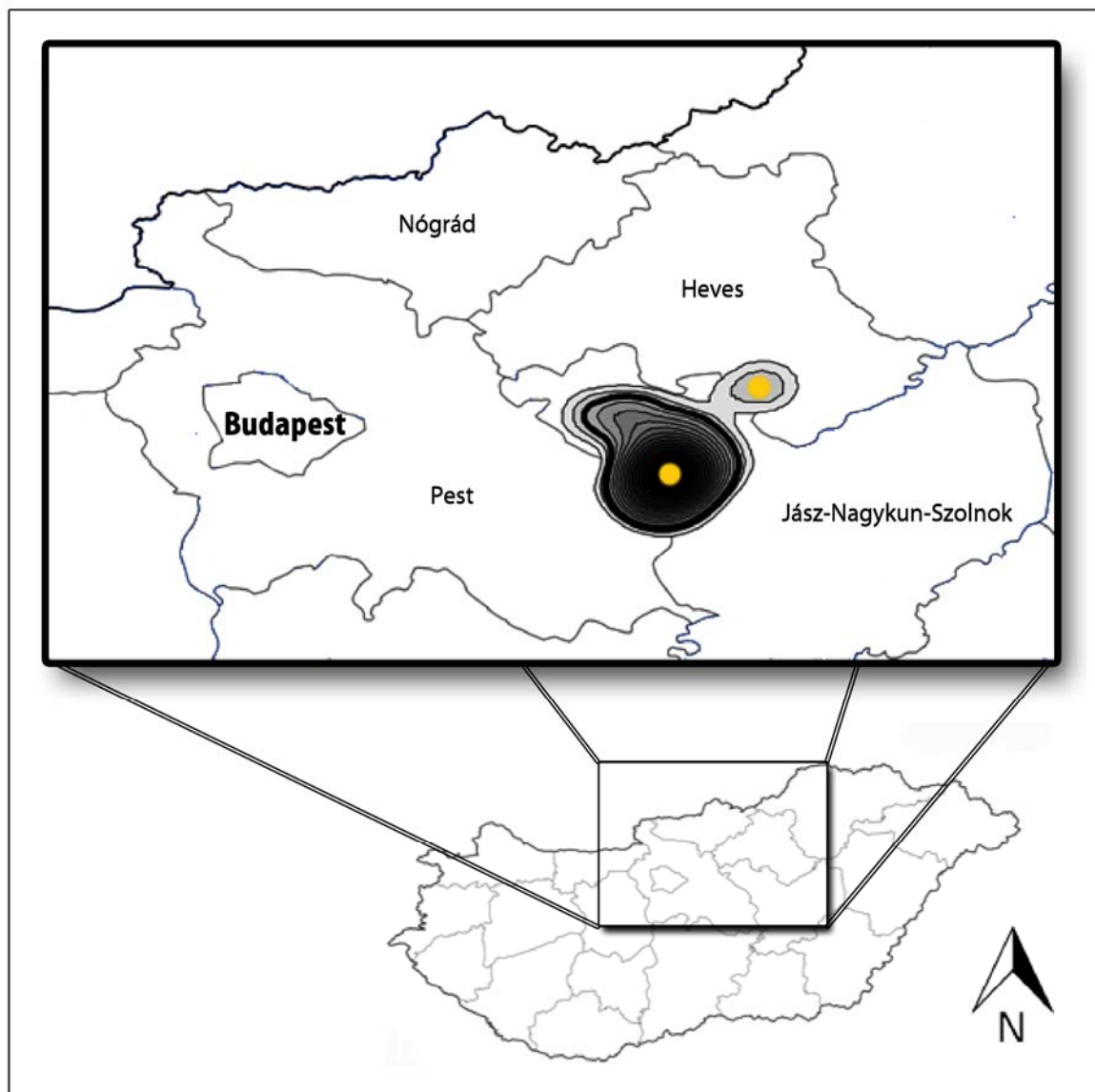
2.7 Az elemzésekhez használt programok

Az elemzésekhez a Quantum GIS program 1.7.0. verzióját, illetve az R 2.13.2 programcsomagot (R Development Core Team 2011) használtuk (alkalmazott csomagok: `epitools`, `adehabitatLT`, `adehabitatHS`).

3 Eredmények

3.1 Egyedi mozgáskörzet meghatározás

A jelölt madarak közül csupán Jászsági Heni nevű egyed szolgáltatott elegendő mennyiségű adatot (30 pont) az elemzés elvégzéséhez. Esetében 50–95%-os Kernel home range becslést végeztünk, melyek közül a 80%-os becslést tekintettük elfogadhatónak. Ezt az értéket az indokolta, hogy célunk az adott madár egy bizonyos őszi gyülekezőhely körül használt területének becslése volt, tehát egy olyan határt kellett használnunk, mely nem veszi számításba a szomszédos gyülekezőkhöz tartozó pontokat. Heni 73 km²-t járt be augusztus és szeptember folyamán (3. ábra). Fontos hangsúlyozni, hogy eredményünk csak egy madár által bejárt pontjai alapján becsül, továbbá az alkalmazott módszer az ilyen jellegű kérdések vizsgálata során nem működik pontosan, ezért eredményünket fenntartással kell kezelni, illetve egyfajta elővizsgálatként tekinthetünk rá, hiszen ez az információ teljesen új a fajra nézve.

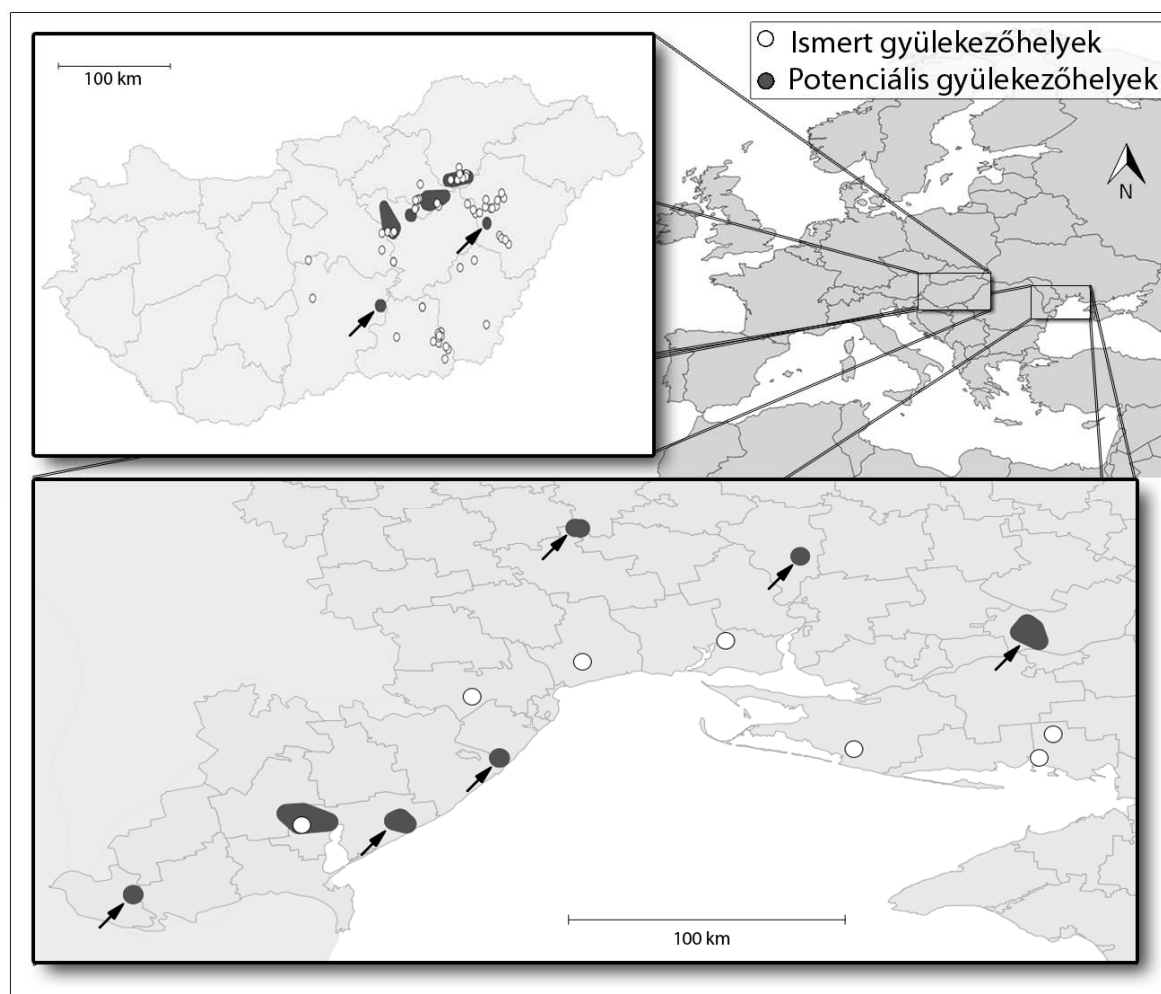


3. ábra: Heni nevű egyed mozgáskörzete Kernel home range becsléssel

Az ábrán egy egyed mozgáskörzete látható, a vastag fekete vonallal jeleztem a 80%-os Kernel home range becslés határait. Sárga színnel a közelben található 2 nagy gyülekezőhelyet tüntettem fel.

3.2 Új, potenciális gyülekezőhelyek meghatározása

A madarak pre-migrációs mozgásait követve megpróbáltunk új, eddig még nem ismert gyülekezőhelyeket találni a Kárpát-medencében és a Kárpát-medencén kívül egyaránt. A vizsgálatunk során sikerült lehatárolnunk 2 lehetséges magyarországi, illetve 6 potenciális ukrainai területet (4. ábra)(3. Táblázat).



4. ábra: Új potenciális gyülekezőhelyek meghatározása Magyarországon és Ukrajnában

Az ábrán fehér körökkel jelöltük a már korábban ismert magyarországi és ukrainai gyülekezőhelyeket. Szürke foltok jelzik az általunk prediktált területeket. A fekete nyilak jelentése pedig: azon potenciális helyek, ahol korábban nem volt megfigyelt gyülekezőhely, de az általunk jelölt madarak éjszakázó pontjai alapján feltételezhető a szürke területen belüli jelenlétük.

3. Táblázat: Potenciális gyülekezőhelyek koordinátái

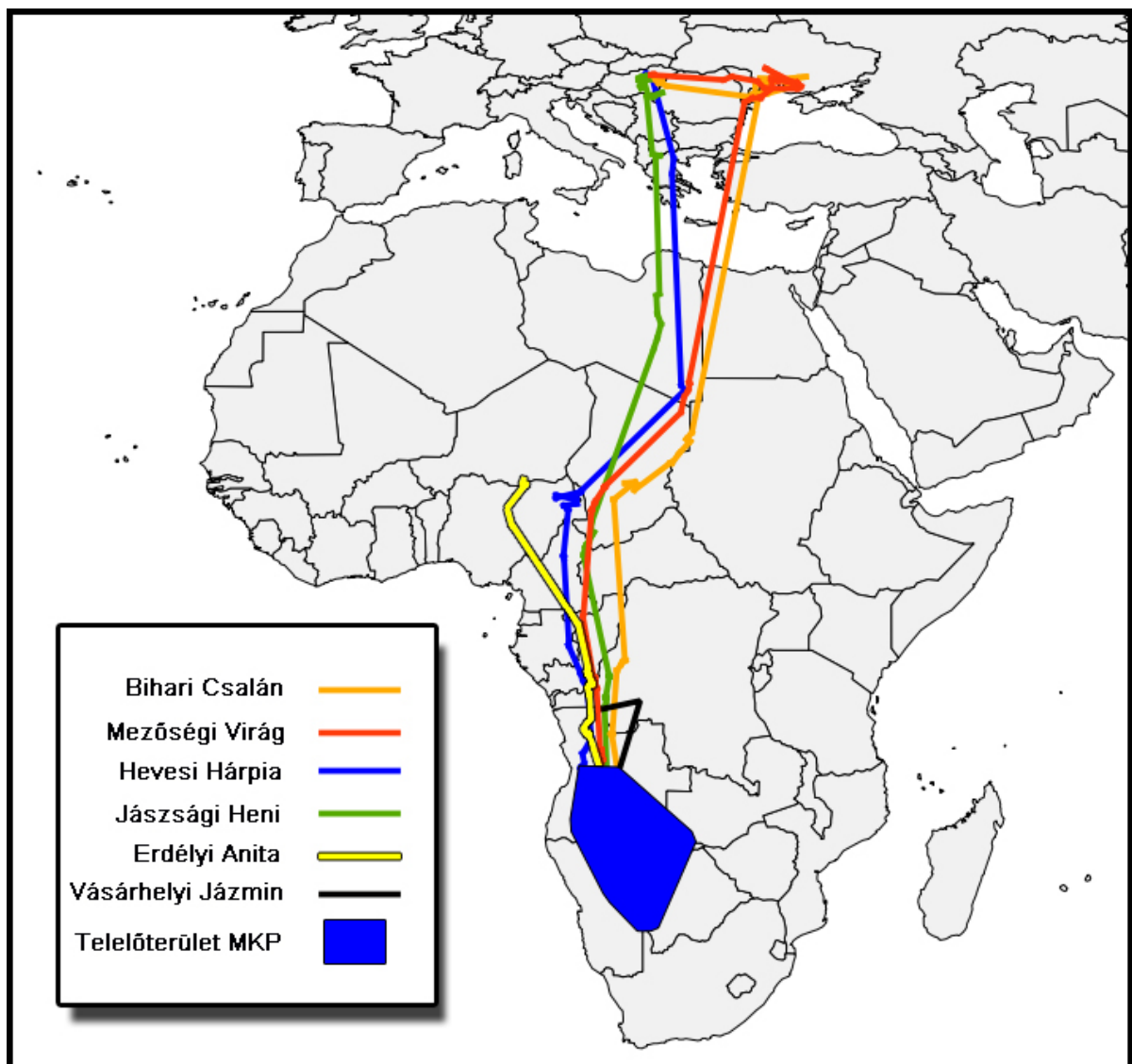
Ország	Régió	Koordináta (X)	Koordináta (Y)
Magyarország	Bács-Kiskun megye	19,9271	46,7242
Magyarország	Hajdú-Bihar megye	21,1282	47,3926
Ukrajna	Reniiskyi	28,6238	45,4184
Ukrajna	Tatarbunarskyi	29,9860	45,8154
Ukrajna	Ovidiopolskyi	30,4848	46,1603
Ukrajna	Berezivskyi	30,8831	47,4151
Ukrajna	Novoodeskyi	32,0138	47,2586
Ukrajna	Berislavskyi	33,1784	46,8488

Ez a táblázat tartalmazza az általunk meghatározott potenciális területek közepének koordinátáit. A pontok publikálását azért tartottuk fontosnak, hogy egy esetleges expedíció esetén a téma iránt érdeklődők megkereshessék a területeket, és ezáltal bizonyítást vagy cáfolatot nyerhessenek feltételezéseink.

3.3 Vonulási útvonal, sebesség és időzítés

3.3.1 A vonulási útvonal

Összességében az derült ki, hogy a megjelölt madarak egy relatíve szűk sávban vonulnak afrikai telelőterületük felé. Az is megfigyelhető, hogy az alapvetően déli irányú elmozdulások a Csád-tó vidékén dél-nyugatira váltanak, és Nigéria vonalában fordulnak csak vissza déli irányba. Továbbá fontos kiemelni, hogy az Egyenlítő elérésével az amúgyis szűknek tekinthető vonulási sáv tovább szűkült (5. ábra).



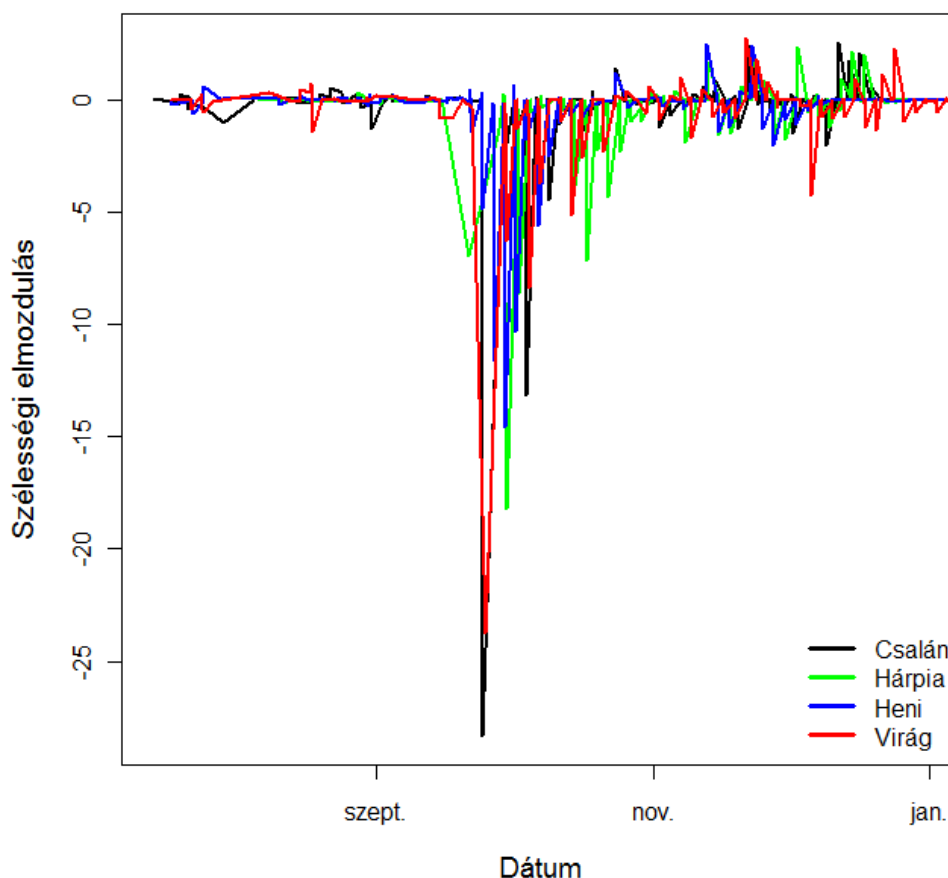
5. ábra: A műholdas jeladóval felszerelt madarak vonulási útvonala és telelőterülete

Az ábrán különböző színekkel jelöltük a madarak vonulási útvonalait, a minimum konvex poligon által kirajzolt telelőterületet pedig a kék sokszög jelzi (ld. 2.5 fejezet).

3.3.2 A vonulás sebessége és időzítése

Az általunk jelölt madarak közül 6 egyed pontjai bizonyultak alkalmasnak a vonulást jellemző paraméterek becslésére. Ezek a madarak 2009.09.26. és 2009.09.29. között kezdték meg a vonulást, függetlenül attól, hogy éppen Magyarországon vagy Ukrajnában tartózkodtak (6. ábra). Tehát azt mondhatjuk, hogy megközelítőleg egyszerre indultak el. 2009.10.24-re az összes egyed átlépte az Egyenlítőt, és megérkezett feltételezett telelőterületük északi régiójába.

A jelölt madarak útjának idő és távolság értékeit a 4. Táblázat tartalmazza. Az adatokból számos, eddig nem ismert érdekesség derült ki a fajról. Például az, hogy képesek akár napi 800 km megtételére, úgy hogy közben éjszakánként 400 km-es aktív repüléssel kelnek át a Szaharán (A Heni nevű egyed este fél 9 és hajnal 2 között 420 km-t tesz meg Líbia keleti felén a sivatagban, közben 80 km/h-ás átlagsebességet produkálva). A két leggyorsabb egyed (Heni, Csalán) 17 nap alatt tette meg a telelőterületig tartó több, mint 7000 km-es utat.



6. ábra: Négy egyed szélességi elmozdulása az idő függvényében

Az ábrán látható, hogy szeptember végéig viszonylag kis elmozdulások tapasztalhatóak mind északi, mind déli irányban. Szeptember végén a jelölt egyedek nagyságrendileg egy időpontban kezdték meg a vonulást. Ebben az időszakban egészen november elejéig nagy déli irányú elmozdulások láthatóak. Utána újra egy észak-déli oszcilláció látható, immár nagyobb elmozdulásokkal (madarak mozgása a telelőterületen).

4. Táblázat: A jelölt madarak útjának távolság és idő jellemzői

Név	Átlagos napi megtett út (km)	Napi maximum megtett út (km)	Vonulási táv (km)	Vonulási idő (nap)
Hevesi Hárpia	233	627	7646	32
Mezőségi Virág	233	599	6878	29
Jászsági Heni	417	823	7157	17
Bihari Csalán	487	706	8413	17

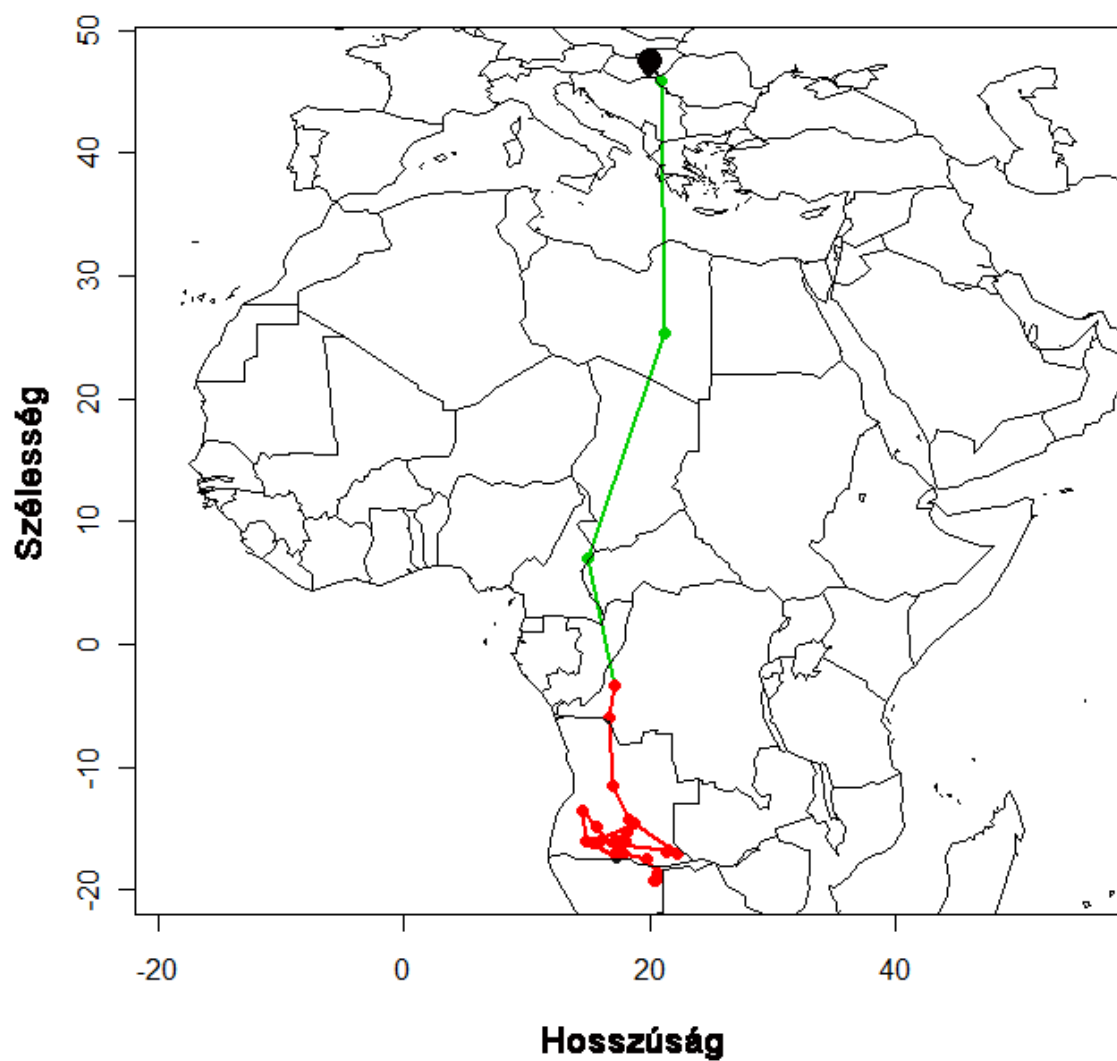
3.3.3 A vonulási útvonalak szakaszokra való bontása

A módszerekben leírt okokból kifolyólag csak 3 jelölt egyed szolgáltatott elegendő adatot a vonulási útvonal szegmentálásához. Esetükben madaranként két ábrával szemléltettük a particionálás eredményeit. Az első ábrán az adott hosszúság és szélesség értékek függvényében láthatjuk a madarak mozgását, különböző színnel jelölve a modell által elkülönített trajektória szakaszokat. A második ábrán az idő függvényében ábrázoltuk az egyedek elmozdulását, mindig az előző ponthoz viszonyítva, a színek megfeleltethetők az első ábrán feltüntetett trajektória szakaszok színeivel.

3.3.3.1 *Jászsági Heni*

A Jászsági Heni nevű egyed esetében a trajektóriaelemzés 3 szegmensre bontotta fel a vonulási útvonalat (a korábban leírt mozgáskörzet meghatározást is ezen az egyeden tudtuk elvégezni) (7. ábra, 8. ábra). Az első szegmensbe a modell alapján a madár magyarországi pontjaiból képzett trajektória szakaszok tartoznak, erre a szakaszra kis elmozdulások jellemzőek, ezeket feketével jelöltük. A második szegmens a költőterülettől egészen a Kongói Demokratikus Köztársaság nyugati feléig terjedő szakaszokat foglalja magába (tehát Heni Egyenlítőn való átkelése is ebbe a szegmensbe tartozik), itt a legnagyobbak a két pont között megtett távolságok. Ezek a pontok zölddel szerepelnek a térképen és a grafikonon. Az utolsó szegmens pontjainak zöme Angola, illetve részben Namíbia területére esik, a két pont között megtett távolságok lecsökkennek, bár átlagosan nagyobbak, mint az első szegmensben. Az utolsó szegmenst pirossal tüntettük fel.

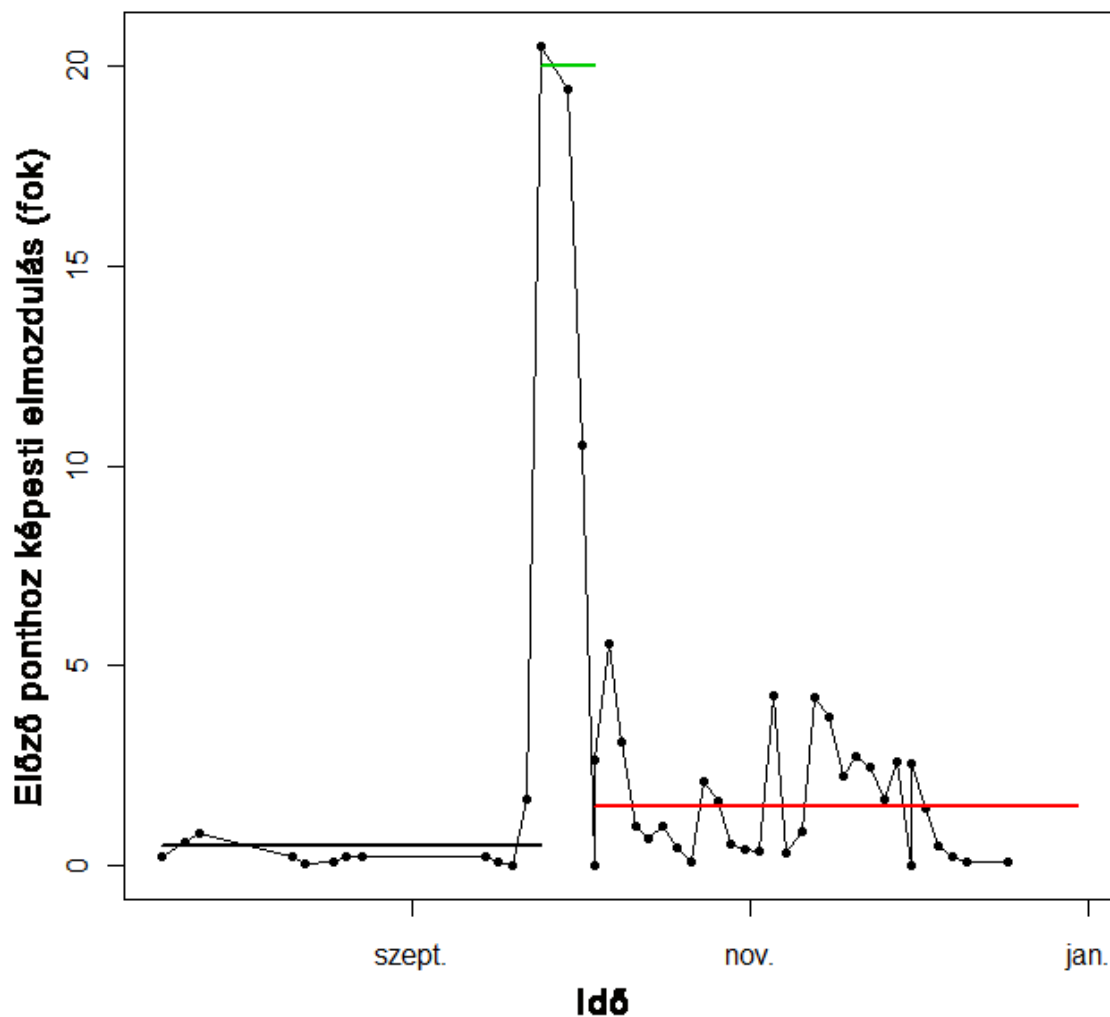
Jászsági Heni



7. ábra: Jászsági Heni vonulási útja

Az ábrán a hosszúsági és szélességi fokoknak megfelelően láthatjuk Heni mozgását a vonulás során, illetve különböző színnel jelöltük a bayesi trajektória elemzés során elkülönített szegmenseket.

Jászsági Heni



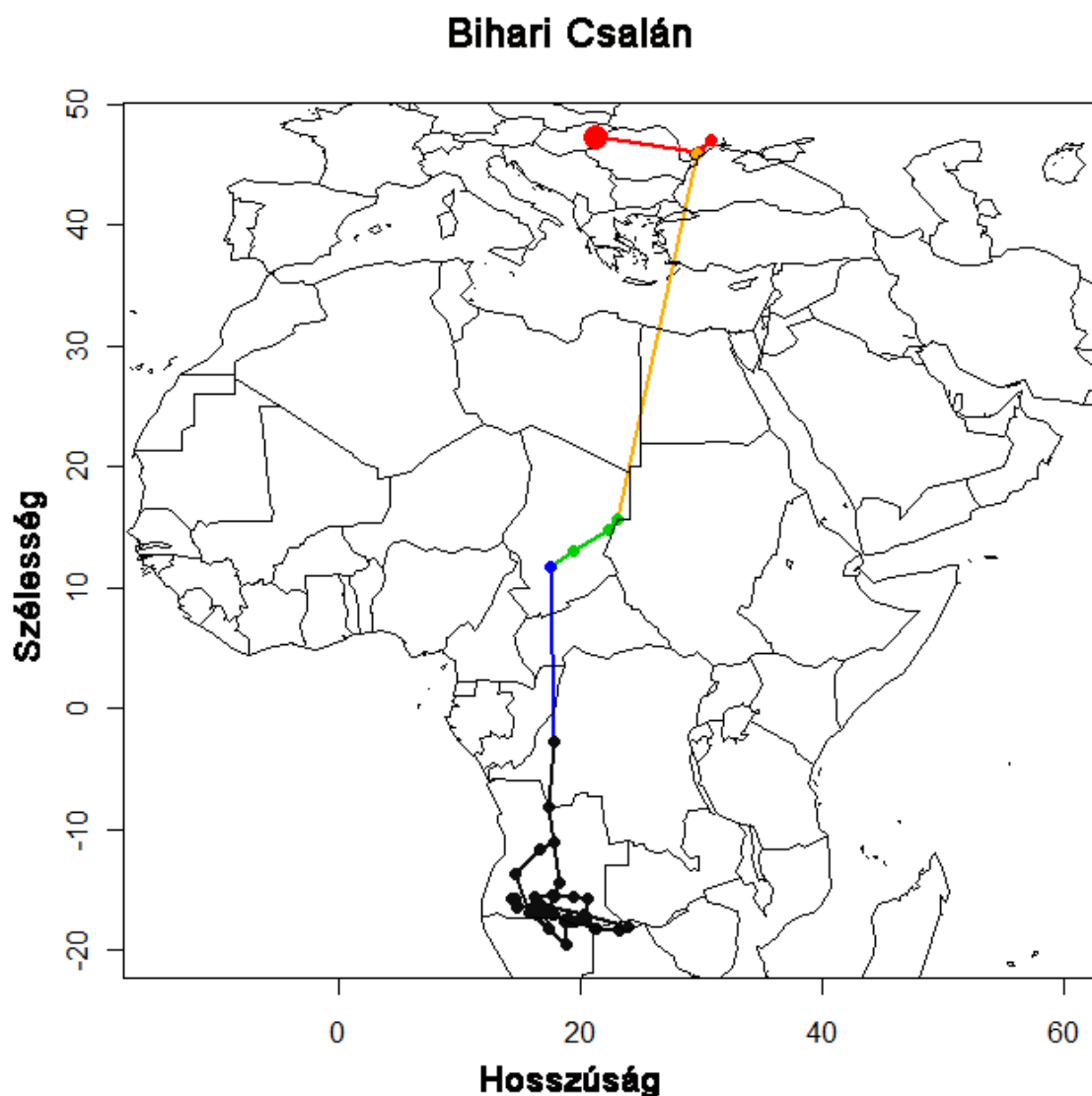
8. ábra: Jászsági Heni távolság elmozdulásai az egymást követő pontok között az idő függvényében

Az ábrán azt láthatjuk, hogy az egyes jeladóktól származó pontok között mekkora távolságokat tettek meg a madarak és mindezt mennyi idő alatt. A modell által elkülönített szegmenseket a térképnek megfelelően jelöltük.

3.3.3.2 *Bihari Csalán*

Csalán esetében a modell 5 szegmensre bontotta a vonulási trajektóriát (9. ábra, 10. ábra). Az első, pirossal jelölt szakasz a madár magyarországi és ukrainai pontjait foglalja magába, az első nagyobb elmozdulástól eltekintve ebben (Magyarországból átrepült Ukrajnába) a szegmensben viszonylag kicsi a két pont között megtett átlagos távolság. A második partíció gyakorlatilag két pontból áll, Csalán Ukrajnából a Csád-Szudán határrégiójába való útját tartalmazza, a térképen sárgával látható. A következő szegmens három pontja között a megtett távolság lecsökken, a madár Csád területén belül tartózkodik,

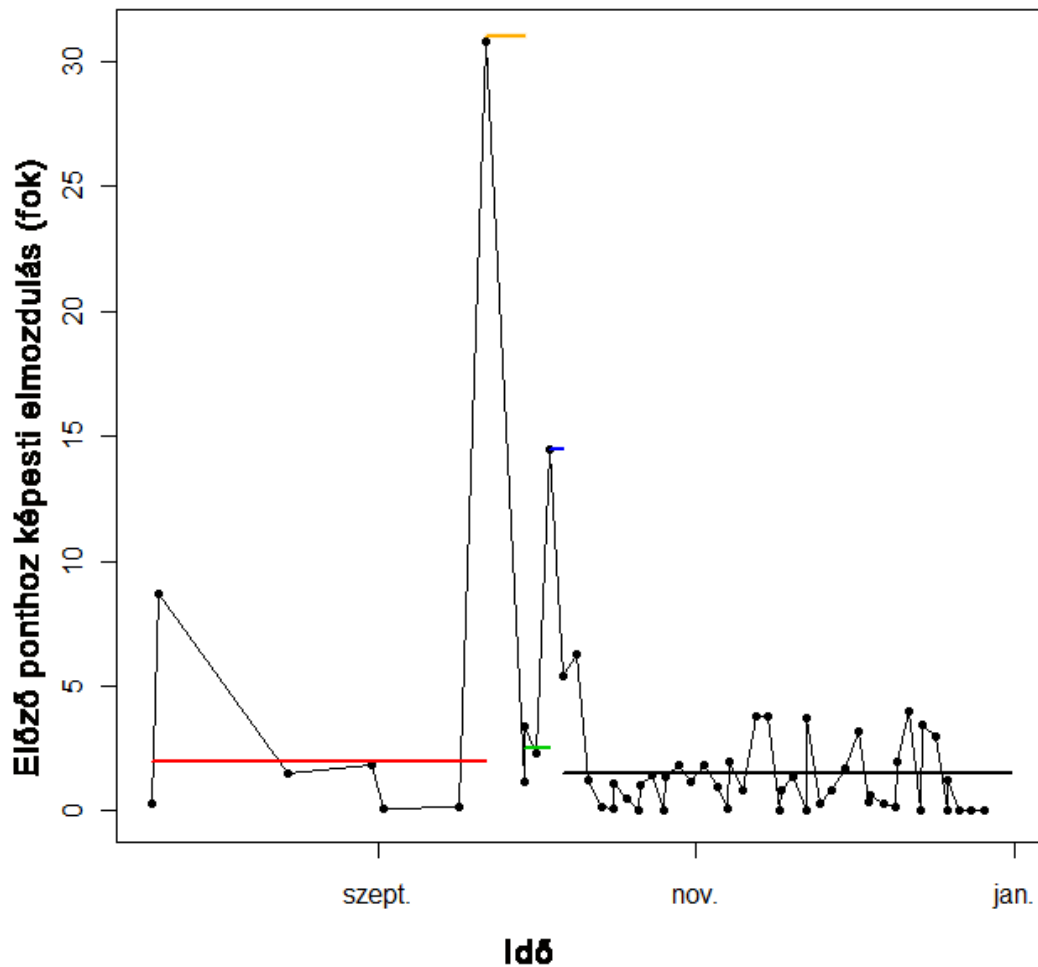
és dél-nyugati irányba fordul, amit az ábrán zölddel jelöltük. A negyedik partíció az egyenlítői régió átrepülésének két pontját foglalja magába, láthatóan itt megnőtt a két pont között megtett távolság az előző szakaszhoz képest, a térképen kék szín jelzi. Az utolsó szegmensben Jászsági Henihez hasonlóan az egyenlítői esőerdő után szintén lassuló mozgás tapasztalható, a pontok közötti távolság lecsökken, illetve Angola és Namíbia térségében a jellemzően déli irányú mozgás megváltozik (fekete szín).



9. ábra: Bihari Csalán vonulási útja

Az ábrán a hosszúsági és szélességi fokoknak megfelelően láthatjuk Csalán mozgását a vonulás során, illetve különböző színnel jelöltük a bayesi trajektória elemzés során elkülönített szegmenseket.

Bihari Csalán



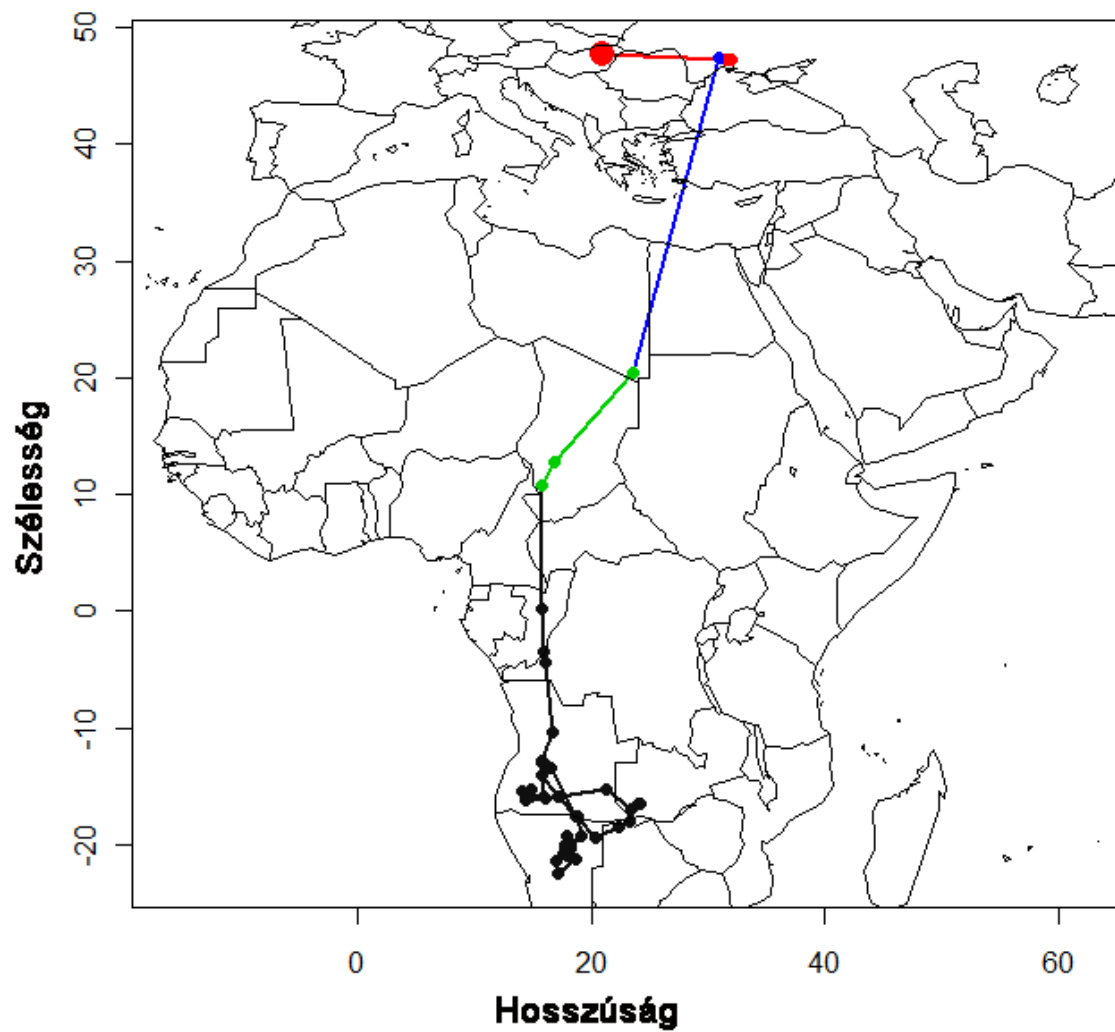
10. ábra: Bihari Csalán távolság elmozdulásai az egymást követő pontok között az idő függvényében

Az ábrán azt láthatjuk, hogy az egyes jeladóktól származó pontok között mekkora távolságokat tettek meg a madarak és mindezt mennyi idő alatt. A modell által elkülönített szegmenseket a térképnek megfelelően jelöltük.

3.3.3.3 *Mezőségi Virág*

A trajektória elemzés Virág esetében négy szegmenst különített el (11. ábra, 12. ábra). Az első szakasz Csalánhoz hasonlóan a magyarországi és ukrainai pontokat foglalja magába, piros színnel tüntettük fel. A második szegmens Ukrajnától Csád északi részéig tart, ezen a szakaszon a gyors mozgás volt jellemző (az ábrán kékkel szerepel). A harmadik szegmensben Csalánhoz hasonlóan lelassult a mozgás, és egy dél-nyugati elfordulás figyelhető meg Csád területén belül. Ezt a szakaszt zöld szín jelzi. A vonulás további részét a modell egy szegmensbe sorolja, mind az Egyenlítő átlépése, mind a feltételezett telelőterületen való mozgás ebbe a szakaszba tartozik. Itt viszonylag kis elmozdulások jellemzőek, ezt a partíciót az ábrán és a grafikonon fekete színnel ábrázoltuk.

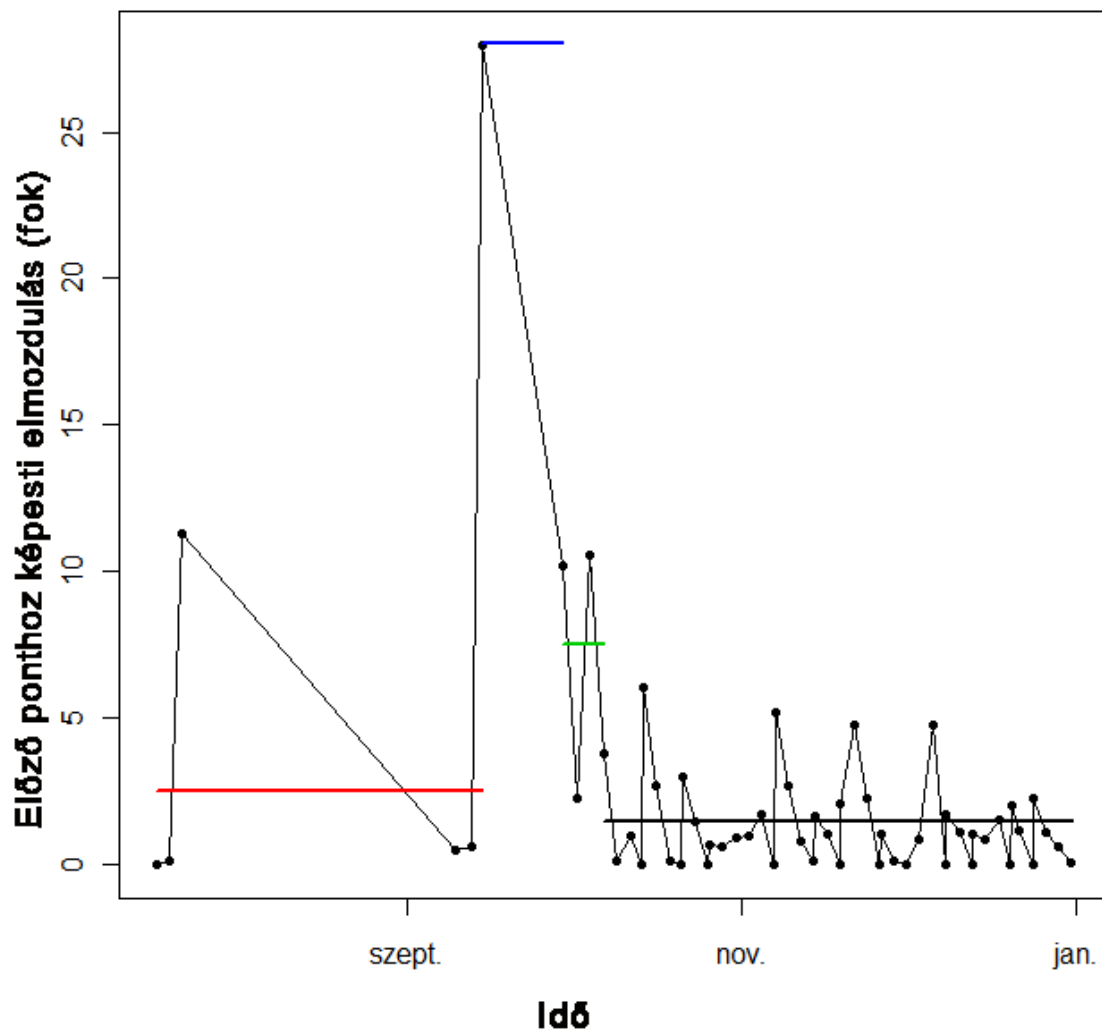
Mezőségi Virág



11. ábra: Mezőségi Virág vonulási útja

Az ábrán a hosszúsági és szélességi fokoknak megfelelően láthatjuk Virág mozgását a vonulás során, illetve különböző színnel jelöltük a bayesi trajektória elemzés során elkülönített partíciókat.

Mezőségi Virág



12. ábra: Mezőségi Virág távolság elmozdulásai az egymást követő pontok között az idő függvényében

Az ábrán azt láthatjuk, hogy az egyes jeladóktól származó pontok között mekkora távolságokat tett meg az adott madár és mindezt mennyi idő alatt. A modell által elkülönített szegmenseket a térképnek megfelelően jelöltük.

3.3.3.4 Hevesi Hárpia

A Hárpia nevű egyed adatai sajnos hiányosnak bizonyultak, 2009.09.10-e és 2009.10.04-e között nem közvetített a felszerelt nyomkövető semmilyen jelet, így adat hiányában nem tudtuk elvégezni a madár útvonalának trajektória elemzését. Az adathiány ellenére a kapott pontokból kiderül, hogy Hárpia hasonló vonulási útvonalat választott, mint Virág. Nála is megfigyelhető a Csád-régióban egy dél-nyugati elfordulás, továbbá Északkelet-Nigériában eltöltött 13 napot.

3.3.3.5 Erdélyi Anita

Anita esetében valamilyen hiba folytán még Magyarországon megszakadt a jelek továbbítása. Legközelebb Nigéria és Niger határán tűnt fel, ahol 6 napot töltött mielőtt folytatta volna útját dél felé. Következésképpen őt is ki kellett zárni a vonulási útvonalra vonatkozó elemzésekből. (A telelőterületen már megfelelően működött a jeladó, így a telelőterület becslésére felhasználtuk a tőle kapott adatokat.)

3.3.3.6 Vásárhelyi Jázmin, Kunsági Csenge és Hortobágyi Magdi

Jázmin és Csenge jeladója egy szűk hónapig továbbított csak adatokat (Jázmin: 2009.10.22–2009.11.21., Csenge: 2009.09.26–2009.10.26.), így nem volt lehetőség az útvonalaik elemzésére (ugyanakkor Jázmin esetében ez a szűk időtartam is biztosított annyi adatot, hogy a telelőterület becslésénél felhasználható volt). Magdi esetében valószínűleg már a kezdetektől rossz volt a jeladó, így nem kaptunk használható adatokat a madárról.

3.4 A telelőterület meghatározása

Az általunk jelölt 8 madárból 6 egyed útját sikerült követnünk egészen a telelőterületig, továbbá a nyomkövetők továbbították a telelőterületen történt mozgásokat is. A kapott adatokból kiderült, hogy az Angola déli, illetve Namíbia északi részén elterülő Zambézi-folyó vízgyűjtő területét használják a jeladós madarak telelés céljából. A műholdas nyomkövetővel ellátott egyedek pontjaira alkalmazott minimum konvex poligont az 5. ábrán látható térképen ábrázoltuk. Ez a poligon megmutatja, hogy a jeladós madarak minimum mekkora területet használtak a telelés során (1000000 km^2), illetve egy becslést ad arra nézve, hogy hol lehet a kárpát-medencei telelő populáció magterülete. Fontos kiemelni, hogy ez a módszer erősen alulbecsli a lehetséges telelőterületet.

4 Diszkusszió

A vonuló madárfajok komplex világának megértéséhez elengedhetetlen, hogy folyamatosan bővítsük tudásunkat, és minél több fajról álljon rendelkezésünkre pontos vonulási útvonal és telelőterület meghatározás. Noha ez csak az első lépés és néha csupán ennek az információnak a birtokában még nem érthetőek meg a háttérben húzódó folyamatok, vagy nem határozhatók meg a potenciális veszélyeztető tényezők, mégis megkerülhetetlen, ha egy vonuló faj viselkedését akarjuk vizsgálni.

A 2006-ban indult LIFE Nature projekt céljából tűzte ki, hogy a kék vércse kárpát-medencei állományát felmérje, illetve, hogy kidolgozza a területen fészkelő madarak védelmét, de ehhez elengedhetetlen volt, hogy a faj vonulási viselkedését is feltérképezzük. Ahhoz, hogy a kék vércsékre vonatkozó komplex védelmi irányelvek megszülethessenek, a lehetőségekhez mérten a legtöbb tényezőt figyelembe kell venni, ami a madarakra az éves ciklusuk során hat.

Jelen vizsgálat céljából tűzte ki a kárpát-medencei kék vércse állomány vonulási útvonalának és telelőterületének meghatározását, a vonulási útvonal elemzését, illetve a vonulást megelőző felkészülési időszak vizsgálatát.

A vonuló fajok életében a pre-migrációs időszak kulcsszerepet játszik a sikeres vonulásban, és ezáltal az azt követő reprodukciós időszak eredményességében is. A kék vércsék ebben az időszakban a fészkelő területen belül kóborolnak, az éjszakákat pedig gyülekezőhelyeket töltik. Jelen vizsgálatban a madarakra szerelt műholdas jeladók segítségével sikerült meghatároznunk összesen 8 olyan potenciális területet (Magyarország: 2, Ukrajna: 6), ahol őszi gyülekezőhelyeket valószínűsítünk. A faj szempontjából ezeknek a helyeknek azért van nagy jelentősége, mert akár több ezer egyed is tartózkodhat egy gyülekezőhelyül szolgáló facsoportban vagy nagyobb fán, így az állomány akár jelentékeny része is ki lehet téve az esetleges helyi veszélyeztető tényezőknek. Így fontos, hogy minél több gyülekezőt feltérképezzünk, és biztosítsuk a madaraknak a zavartalan őszi időszakot, amely elsődlegesen szükséges az energia raktáraik feltöltéséhez és ezáltal a telelőterületre való sikeres eljutáshoz.

Szintén fontos, hogy ebben az időszakban a gyülekezőkön éjszakázó madarak a nappalok folyamán mekkora területeket használnak, milyen irányokban mozognak a gyülekezőhelyek körül. A jeladók adatai csak egy madár esetében (Jászsági Heni) tették lehetővé ennek elemzését, ugyanis csak az ő esetében állt rendelkezésünkre az elemzéshez szükséges egy gyülekezőhöz tartozó minimális (30 pont) mintaszám. Heni mozgáskörzete a

80%-os Kernel home range becslés alapján 73 km²-nek bizonyult. Palatitz és munkatársai (2011) egy korábbi vizsgálat során meghatározták a kék vércsék medián mozgáskörzetét költési időben (8,4 km²), illetve megbecsülték egy teljes telep madarainak potenciális mozgáskörzetét is (28,3-50,3 km²). Láthatjuk, hogy az általunk becslt egy egyedre vonatkozó érték egy nagyságrenddel nagyobb az egyedek fészkelési időszakban jellemző medián mozgáskörzeténél, továbbá a teljes telephez tartozó becslésnek is közel kétszerese. Egy korábbi TDK dolgozatról (SZÉLES 2010) az is kiderül, hogy a kék vércsék élőhely preferenciája nem olyan kifejezett, mint a költési időben, illetve a préda taxonok között a leggyakoribbak a kisméretű röpképes rovarok (pl.: *Amara* genus), melyeket feltehetően a levegőben zsákmányolnak (SZÉLES 2010; PALATITZ ET AL. 2011). A fent említett információk alapján azt feltételezzük, hogy az őszi időszakban jellemző mozgáskörzet növekedés az élőhely preferenciában beállt változásokkal, illetve azzal a ténnyel magyarázható, hogy nem kell a fiókáknak táplálékot visszahordani a fészkekhez. Fontos hangsúlyozni, hogy ez az elemzés egyfajta elővizsgálatnak tekinthető, és jelentősége abban áll, hogy nagyságrendi becslést ad a kék vércsék őszi mozgáskörzetéről, remélve, hogy a későbbiekben több madáron is lehetséges lesz a vizsgálat elvégzése.

A műholdas nyomkövetők által szolgáltatott adatokból jól látszik, hogy a jelölt egyedek (függetlenül attól, hogy Magyarországon vagy Ukrajnában tartózkodtak) megközelítőleg egyszerre kezdték meg a vonulásukat. Ez nem meglepő, hiszen a hosszútávú vonulókra jellemző módon nem a környezeti paraméterek határozzák meg elsődlegesen a vonulás időzítését, hanem a madarak által észlelt fotoperiódus.

Az általunk előzetesen felállított hipotézisek, miszerint a kék vércsék őszi vonulásuk során a túlélésre és az energiatakarékosságra optimalizálva termikek segítségével a szárazföldet követve vonulnak, tévesnek bizonyultak. Azt feltételeztük, hogy a kárpát-medencei állomány más eurázsiai elterjedésű ragadozókhoz hasonlóan a Kelet-Mediterrán-medence szárazföldi régióit érintve Szuezen át közelíti meg Afrikát, ehhez képest minden jelölt madár egyenesen dél felé indult. Minden egyed esetében a vonulás első szakasza nagyon gyorsnak mondható, átrepülték a Földközi-tengert, majd volt olyan egyed, amely megállás nélkül folytatta útját a Szahara felett is. Ezt a trajektória elemzés is megerősíti, mindhárom elemzett egyed esetében külön szegmensbe sorolta a modell ezt a szakaszt (mindhárom madár ~4 nap alatt eljut a Szahara déli területeihez). A kapott eredmények rávilágítanak, hogy az olyan ökológiai barrierék mint a tenger vagy a sivatag nem jelentenek olyan mértékű akadályt, mint amekkorára számítottunk. Persze elképzelhető, hogy ezeken a területeken a nagy sebesség a barrieréken való minél gyorsabb átkelést szolgálja.

A madarak valahol a Csád-Szudán határvonal közepe tájékán befordultak dél-nyugati irányba. A szegmensekre bontás ebben az esetben kicsit eltér a három elemzett egyed esetében. Virág és Csalán pontjait a modell is külön szegmensbe osztja ezen a területen, Csalán 6, míg Virág 4 napot tölt el ebben a régióban (Hárpia 13, Anita 6 napot tölt itt), ami a vonulás teljes időtartamát figyelembe véve jelentősnek mondható. (Heni mozgása nem lassult le ebben a zónában, a modell eredményei szerint egészen az Egyenlítő átlépéséig hasonló sebességgel haladt.) Feltételezésünk az, hogy a lassulás oka pont a fent említett barrierek elhagyása volt. A szavanna övezetbe érve már megfelelőbb az élőhely, és a madarak elegendő táplálékot találhatnak. Ugyan több madár adataira lenne szükség, hogy pontosabb képet kapjunk, de valószínűsíthetően egyfajta stopover régió szerepét tölti be a kék vércsék vonulásában a Csád-tó tágabb vonzáskörzete.

Az egyenlítői esőerdőhöz közeledve a jelölt madarak sebessége újra megnő, és a vonulási útvonalak meghatározta sáv beszűkül. Ezt a trajektória elemzés is alátámasztotta, Csalán esetében ez a szakasz egy önálló szegmensként jelenik meg (mely gyorsabb, mint a szavanna régióban), míg Heni esetében az első gyors szegmens részét képezi. Ebben az esetben Virág a kivétel, a modell ugyanis az Egyenlítőn való áthaladást már a telelőterületre jellemző mozgásokkal sorolja egy kategóriába (ez egyben azt is jelenti, hogy Virág mozgása nem gyorsult fel ezen a területen). Úgy tűnik, hogy a vércsék számára a tengeri és sivatagi barrierekhez hasonló nehézségeket jelenthet a trópusi területeken való átkelés, gondolva itt például a rendkívül csapadékos és a magasabb légköri régiókban viharos időjárásra (az esőerdőre egyébként jellemző táplálékbőség ellenére). Hasonló jelenséget a kabasólyom (*Falco subbuteo*) esetében is megfigyeltek, a szintén nyomkövetőkkel jelölt egyedek útvonala a követett kék vércsékhez hasonlóan beszűkült, ráadásul az egyenlítői esőerdő zónát is ugyanazon a sávon ütötték át (STRANDBERG ET AL. 2009). Feltételezésünk szerint a Csád régióban megfigyelhető befordulás és lassulás is az Egyenlítőn való áthaladáshoz köthető, míg a lassulás az energiatartalékok feltöltését, az irányváltás az esőerdő legkeskenyebb sávjának megközelítését tette lehetővé (STRANDBERG ET AL. 2009).

Az egyenlítői esőerdők elhagyását követően a madarak mozgása lelassult és ez a mozgásmintázat fennmaradt a telelőterületen is, legalábbis Januárig. A jelenség hasonlatos a sivatag elhagyását követővel. Feltételezésünk szerint, ahogy kiérnek a trópusi régióból és egyre nyíltabb lesz a növényzet, valamint mérsékeltebb lesz az éghajlat, úgy jutnak egyre több és több táplálékhoz. Heni és Csalán esetében a szépen különválnak ez a szakasz a szegmentálási elemzések szerint is. Mindkettőjük esetében ezek a pontok külön szegmenst alkotnak. Ahogy

fent említettük, Virág esetében a módszer ezeket a pontokat összevonja az egyenlítői régió pontjaival egy partícióba.

A jeladós madarak telelési időszakban megfigyelt mozgásaiból megbecsültük a kék vércsék telelőterületének méretét. A hozzávetőleg 1 millió km²-es magterület nem tekinthető kiemelkedőnek a hasonló vonulási stratégiát követő fajok között. Így sikerült pontosítani az eddig hiányos irodalmi adatokat és becslést adni a faj által téli időszakban használt területekről. A kapott eredmény beleillik a genetikai törzsfák által már kimutatott rokonsági viszonyokba, miszerint a kék vércséhez közelebb áll a szintén transz-equatoriális vonuló kabasólyom (*Falco subbuteo*), mint a vörös vércse (amely parciális vonuló) és a fehérkarmú vércse (*Falco naumanni*) (cikk). A fehérkarmú vércse ugyan hosszútávú vonuló, de a különböző területeken költő állományai különböző területeken telelnek, például a Spanyolországban költő madarak az Egyenlítőtől északra, a Száhel-övezet nyugati felén, míg a belső-ázsiai állomány az Indiai-óceánt átütve Dél-Afrikában (CATRY ET AL. 2011). Ebből arra következtethetünk, hogy a fehérkarmú vércsék vonulása valószínűleg kevésbé meghatározott genetikailag, tehát flexibilisebben képesek telelőterületet választani.

Jelen vizsgálat során sikerült számos új potenciális gyülekezőhelyet, egy egyed mozgáskörzetét, a jelölt madarak vonulási útvonalát meghatároznunk, illetve megbecsültük a nyomkövetős madarak által használt telelőterületet is. Eredményeink hozzájárulnak a kék vércséről rendelkezésünkre álló információk bővítéséhez, illetve a faj védelmében közvetlenül alkalmazható adatokkal is szolgálnak, melyek reményeink szerint elfoglalják majd megfelelő helyüket a fajvédelmi stratégiájának kidolgozásában.

5 Összefoglaló

A kék vércse térségünk egyetlen hazai és nemzetközi szinten is kiemelten védett telepesen költő, kistestű ragadozó madár faja. Obligát, transzekvatoriális vonuló, a telet valahol Afrika Egyenlítőtől délre eső területein tölti, bár sem vonulási útvonala, sem pontos telelőterülete nem ismert. A vonulást megelőző időszakban a madarak a fészkelő területen belül mozognak, az estéket közös – gyakran tradicionális – éjszakázó helyeken töltik. A madarak éves ciklusának ezen periódusa feltehetően igen fontos a túlélés szempontjából, hiszen ekkor halmozzák fel a vonuláshoz szükséges tartalék energiát. A kék vércsék pre-migrációs élőhelyhasználatáról, az éjszakázó helyek közötti mozgásmintázatról, a migrációs útvonalakról, illetve a telelőterületről szinte csak empirikus vagy anekdotikus információk álltak rendelkezésre a vizsgálatunkat megelőzően. 2009-ben 8 madarat szereltünk fel műholdas nyomkövetőkkel (PTT) egy LIFE Nature projekt keretein belül. Most először

kerültek ilyen jeladók kék vércsére, mivel eddig a nyomkövetők tömege nem tette lehetővé használatukat ezeken (és a hasonló tömegű) madarakon. A jeladók használatával elsődleges célunk a kék vércsék vonulási útjának és telelőterületének feltárása volt, ugyanakkor a kapott adatok segítségével lehetőségünk nyílt eddig még ismeretlen (Kárpát-medencén kívüli) gyülekezőhelyek feltérképezése, illetve a madarak potenciális egyedi mozgáskörzetének meghatározására. A nyomkövetők segítségével sikerült meghatároznunk 5 madár pre-migrációs mozgását, vonulási útvonalát, valamint telelőterületét is. Munkám során behatároltam 2 új lehetséges gyülekezőhelyet Magyarországon, valamint 6 új lehetséges őszi gyülekezőhelyet Dél-Ukrajna területén. Egyetlen - a pre-migrációs periódus nagy részét ugyanazon a gyülekezőn töltő jeladóval ellátott madár szolgáltatott kellő mennyiségű és minőségű adatot a mozgáskörzetének meghatározására. A 80%-os Kernel home range becslés alapján ez az egyed 73 km² területet járt be augusztus és szeptember között. A világon elsőként sikerült meghatároznunk 6 kék vércse őszi vonulási útvonalát, illetve behatárolnunk a telelőterületeiket. Ennek az eredménynek a jelentőségét növeli, hogy semmilyen korábbi információ nem állt rendelkezésre erre vonatkozóan, sem a szakirodalomban, sem a gyűrűzési adatbázisokban. Négy madár őszi útvonalát a vonulási útvonal szakaszok bayesi elemzésével jellemeztem. Eredményeim rávilágítanak arra, hogy a korábban vonulási barriernek tekintett Földközi-tenger, illetve a Szahara feltehetően kevésbé limitálja a madarak mozgását. Ellenben az egyenlítői éghajlatba érve a madarak mozgásmintázata megváltozik, az egyedek útvonalai konvergálnak, jelezve, hogy az esőerdő zóna feltehetően egy korábban nem ismert vonulási barriert jelent a kék vércsék számára. Az Afrika déli részére eljutott 6 madár téli mozgásmintázata alapján a kárpát-medencei populáció telelőterülete, a Zambézi folyó vízgyűjtő medencéjében található.

6 Summary

The Red-footed falcon is a small, colonial raptor species of high national and international conservation concern. These birds are trans-equatorial migrants, wintering in southern Africa. Typically, Red-footed Falcons disperse in the post-breeding period, spending the evenings in –often traditional- common roost sites. Pre-migration habitat use and large scale movements are thought to be highly important in the survival of these birds, as the metabolic reserves enabling successful autumn migration are accumulated in this period. However, little is known on how these birds utilize habitats around roost sites, the location of the roost sites, and on how these birds move in between roost sites. Moreover, only anecdotic and/or empirical information was available on the precise migration routes and wintering

grounds of this species. We fitted 8 adult female birds with satellite transmitters (PTTs) to unravel the mystery of pre-migration movements, autumn migration routes and the wintering grounds of Red-footed Falcons. Our primary objective was to use the data of the PTTs to analyse pre-migration movements within the Carpathian basin however, the data enabled us to map out potential roost sites outside the region. Moreover, we were able to assess the extent of the area utilized by one of the birds, spending the bulk of the pre-migration period around one roost site. We were able to determine the autumn migration routes and the wintering grounds of six tagged individuals. We used a Bayesian Trajectory Modelling technique to describe the autumn migration movement patterns of 4 birds. Our results point out 2 and 6 new potential roost sites in Hungary and in southern Ukraine, respectively. The 80% Kernel-home range of a single tracked individual was 73 km². The trajectory analyses revealed that the Sahara and the Mediterranean Sea is less likely to act as true migratory barriers for these birds, while the speed and movement patterns change within the tropical rainforest biome, indicating that this region is potentially a real obstacle for the falcons. The wintering grounds of the 6 individuals that made it to southern Africa was in the water catchment area of the Okavango, Zambezi, and Cubango Rivers in southern Angola and in northern Namibia.

7 Köszönetnyilvánítás

Elsősorban témavezetőimnek Dr. Harnos Andreának és Fehérvári Péternek tartozom köszönettel a rengeteg segítségért és türelemért, továbbá szeretném megköszönni Palatitz Péter és Solt Szabolcs munkáját, akik nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre. Köszönettel tartozom Prommer Mátyásnak és Nagy Károlynak az adatok szerkesztéséért, valamint hálás vagyok Molnár Lotár Istvánnak és Kiss Anitának a terepi munkában nyújtott segítségükért. Végül köszönöm kedvesemnek, Bedi Dórának, aki támogatott a dolgozat megírásának időszakában.

8 Irodalomjegyzék

- ALERSTAM, T. (1993): Bird Migration. Cambridge: Cambridge University Press.
- BÄCHLER, E., HAHN, S., SCHAUB, M., ARLETTAZ, R., JENNI, L., FOX, J.W., AFANASYEV, V. & LIECHTI, F. (2010): Year-Round Tracking of Small Trans-Saharan Migrants Using Light-Level Geolocators. *PLoS ONE*, 5/3: e9566.
- BAGYURA, J. & PALATITZ, P. (2004): Fajmegőrzési tervek, Kék vércse (*Falco vespertinus*). (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal).
- BARLEIN, F. (1985): Body weight and fat deposition of Palearctic passerine migrants into the central Sahara. *Oecologia*/66: 141-146.p.
- BERTHOLD, P. (1975): Migration: control and metabolic physiology. In: Farner, D. S. , King, J. R., eds.: Avian Biology. New York. Academic Press. 77-128.p.
- BERTHOLD, P. (1993): Bird Migration: a general survey. Oxford: Oxford University Press.
- BERTHOLD, P. & TERRILL, S.B. (1991): Recent advances in studies of bird migration. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 22: 375-378.p.
- BIEBACH, H., FRIEDRICH, W. & HEIN, G. (1986): Interaction of body mass, fat, foraging and stopover period in trans-sahara migrating passerine birds. *Oecologia*. 69: 370-379.p.
- BLEM, C.R. (1976): Patterns of lipid storage and utilization in birds. *Am Zool.* 16: 671-684.p.
- BLEM, C.R. (1980): The energetics of migration. In: S. A. Gauthreaux: Animal Migration, Orientation and Navigation. New York. Academic Press. 175-224.p.
- BLUM, J.D., TALIAFERRO, E.H., WEISSE, M.T. & HOLMES, R.T. (2000): Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern USA. *Biogeochemistry*. 49/1: 87–101.p.
- BORBÁTH, P. & ZALAI, T. (2005): Kék vércse (*Falco vespertinus*) őszi gyülekezése a Hevesi-síkon. *Aquila*. 112: 39-44.p.
- BURGMAN, M.A. & FOX, J.C. (2003): Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation*. 6/1: 19-28.p.
- BURT, W.H. (1943): Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy*. 24: 346-352.p.
- CALENGE, C. (2006): The package. *Ecological modelling*. 197/3-4: 516–519.p.
- CATRY, I., DIAS, M.P., CATRY, T., AFANASYEV, V., FOX, J., FRANCO, A.M.A. & SUTHERLAND, W.J. (2011): Individual variation in migratory movements and winter behaviour of Iberian Lesser Kestrels (*Falco naumanni*) revealed by geolocators. *Ibis*. 153/1: 154-164.p.

- CATRY, P., LECOQ, M., ARAÚJO, A., CONWAY, G., FELGUEIRAS, M., KING, J.M., RUMSEY, S., SALIMA, H. & TENREIRO, P. (2005): Differential migration of chiffchaffs *Phylloscopus collybita* and *P. ibericus* in Europe and Africa. *Journal of Avian Biology*. 36/3: 184–190.p.
- CHAMBERLAIN, C.P., BLUM, J.D., HOLMES, R.T., FENG, X., SHERRY, T.W. & GRAVES, G.R. (1996): The use of isotope tracers for identifying populations of migratory birds. *Oecologia*. 109/1: 132–141.p.
- CSÖRGŐ, T., KARCZA, Z., HALMOS, G., MAGYAR, G., GYURÁ CZ, J., SZÉP, T., BANKOVICS, A., SCHMIDT, A. & SCHMIDT, E. (2009): Magyar madár vonulási atlasz. Budapest: Kossuth Kiadó Zrt.
- VAN EERDEN, M.R., DRENT, R.H., STAHL, J. & BAKKER, J.P. (2005): Connecting seas: western Palaearctic continental flyway for water birds in the perspective of changing land use and climate. *Global Change Biology*. 11/6: 894-908.p.
- FEHÉRVÁRI, P., HARNOS, A., NEIDERT, D., SOLT, S. & PALATITZ, P. (2009): Modeling habitat selection of the Red-footed falcon (*Falco vespertinus*): A possible explanation of recent changes in breeding range within Hungary. *Applied Ecology and Environment*. 7/1: 59-69.p.
- FERGUSON-LEES, J., CHRISTIE, D.A., FRANKLIN, K., MEAD, D. & BURTON, P. (2001): Raptors of the World. London : Christopher Helm.
- DE FRUTOS, A. & OLEA, P.P. (2008): Importance of the premigratory areas for the conservation of lesser kestrel: space use and habitat selection during the post-fledging period. *Animal Conservation*. 11/3: 224–233.p.
- GAUTHIER-CLERC, M. & LE MAHO, Y. (2001): Beyond bird marking with rings. *Ardea*. 89/1: 221–230.p.
- GONZÁLEZ-SOLÍS, J., CROXALL, J.P., ORO, D. & RUIZ, X. (2007): Trans-equatorial migration and mixing in the wintering areas of a pelagic seabird. *Front Ecol Environ*. 5/6: 297–301.p.
- GREENBERG, R. & MARRA, P.P. (2005): Birds of two worlds: the ecology and evolution of migration. Baltimore: Johns Hopkins Univ Pr.
- GSCHWENG, M., KALKO, E.K.V., QUERNER, U., FIEDLER, W. & BERTHOLD, P. (2008): All across Africa: highly individual migration routes of Eleonora's falcon. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 275/1653: 2887.p.
- GUEGUEN, L. (2001): Segmentation by maximal predictive partitioning according to composition biases. In: Gascuel, O. and Sagot, M.F. (Eds.): *Computational Biology*. 32-44.p.
- GUNNARSSON, T.G., GILL, J.A., NEWTON, J., POTTS, P.M. & SUTHERLAND, W.J. (2005): Seasonal matching of habitat quality and fitness in a migratory bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 272/1578: 2319.p.

- HARASZTHY, L. & BAGYURA, J. (1993): A comparison of the nesting habits of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*) in colonies and in solitary pairs. In: In: Nicholls, M.K. and Clarke, R. (eds.): Biology and conservation of small falcons. London: Hawk and Owl Trust. 80-85.p.
- HARRIS, J., LIYING, S., HIGUCHI, H., UETA, M., ZENGWANG, Z., YANYUN, Z. & XIJUN, N. (2000): Migratory stopover and wintering locations in eastern China used by White-naped Cranes (*Grus vipio*) and Hooded Cranes (*G. monacha*) as determined by satellite tracking. *Forktail*. 16: 93-99.p.
- HORVÁTH, L. (1964): A kék vércse (*Falco vespertinus* L.) és a kis örgébics (*Lanius minor* Gm.) élettörténetének összehasonlító vizsgálata II. A fiókák kikelésétől az őszi vonulásig. *Vertebrata Hungarica*. VI./1-2.
- DEL HOYO, J., ELLIOTT, A., SARGATAL, J. & INTERNATIONAL, B. (1992): Handbook of the Birds of the World. Barcelona: Lynx Edicions.
- HUTTO, R.L. (1998): On the importance of stopover sites to migrating birds. *The Auk*. 115(4): 823-825.p.
- KENWARD, R. (2001): A manual for wildlife radio tagging. London: Academic Press.
- KJELLÉN, N., HAKE, M. & ALERSTAM, T. (2001): Timing and speed of migration in male, female and juvenile Ospreys (*Pandion haliaetus*) between Sweden and Africa as revealed by field observations, radar and satellite tracking. *Journal of Avian Biology*. 32/1: 57–67.p.
- KOVÁCS, S., CSÖRGŐ, T., HARNOS, A., FEHÉRVÁRI, P. & NAGY, K. (2010): Change in migration phenology and biometrics of two conspecific *Sylvia* species in Hungary. *Journal of Ornithology*. 152/2: 365-373.p.
- LÓPEZ-LÓPEZ, P., LIMÍ NANA, R. & URIOS, V. (2009): Autumn migration of Eleonora's Falcon (*Falco eleonora*) tracked by satellite telemetry. *Zoological Studies*. 48/4: 485–491.p.
- MEYBURG, B.U., MEYBURG, C. & BARBRAUD, J.C. (1998): Migration strategies of an adult Short-toed Eagle (*Circus gallicus*) tracked by satellite. *Alauda*. 66/1: 39–48.p.
- MINTON, C., GOSBELL, K., JOHNS, P., FOX, J.W. & AFANASYEV, V. (2010): Initial results from light level geolocator trials on Ruddy Turnstone (*Arenaria interpres*) reveal unexpected migration route. *Wader Study Group Bull*. 117: 9–14.p.
- MOREAU, R.E. (1972): The Palearctic-African Bird Migration Systems. London: Academic Press.
- MORRIS, S.R. (1996): Mass loss and probability of stopover by migrant warblers during spring and fall migration. *Journal of Field Ornithology*. 67/3: 456-462.p.
- NEWTON, I. (2008): The Migration Ecology of Birds. London: Academic Press.
- 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*. 271/1534: 59-64.p.
- PALATITZ, P., FEHERVARI, P., SOLT, S. & BORIS, B. (2010): European Species Action Plan for the Red-footed Falcon (*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1766). BirdLife International.
- PALATITZ, P., FEHERVARI, P., SOLT, S., KOTYMÁN, L., NEIDERT, D. & HARNOS, A. (2011): Exploratory analyses of foraging habitat selection of Red-footed falcon (*Falco tinnunculus*). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 57/3: 255–268.p.
- PALATITZ, P., SOLT, S., FEHÉRVÁRI, P. & EZER, Á. (2008): Kékvércse-védelmi Munkacsoport 2008. évi beszámolója. *Heliaca*. 1: 13-17.p.
- PATTERSON, T., THOMAS, L., WILCOX, C., OVASKAINEN, O. & MATTHIOPOULOS, J. (2008): State-space models of individual animal movement. *Trends in Ecology & Evolution*. 23: 87-94.p.
- PURGER, J.J. & TEPAVCEVIC, A. (1999): Pattern analysis of Red-footed falcon (*Falco tinnunculus*) nests in the Rook (*Corvus frugilegus*) colony near Torda (Voivodina, Yugoslavia), using fuzzy correspondences and entropy. *Ecological Modelling*. 117/1: 91-97.p.
- ROBINSON, W.D., BOWLIN, M.S., BISSON, I., SHANNON-BARNES, S., THORUP, K., DIEHL, R.H., KEUNZ, T.H., MABEY, S. & WINKLER, D.W. (2010): Integrating concepts and technologies to advance the study of bird migration. *Frontiers in Ecology and Environment*. 8: 354-361.p.
- RYDER, T.B., FOX, J.W. & MARRA, P.P. (2011): Estimating migratory connectivity of Gray Catbirds (*Dumetella carolinensis*) using geolocator and mark-recapture data. *The Auk*. 128: 448-453.p.
- SANDERSON, S.J., DONALD, P.F., PAIN, D.J., BURFIELD, I.J. & VAN BOMMEL, F.P.J. (2006): Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biological Conservation*. 131: 93-105.p.
- SHIMAZAKI, H., TAMURA, M. & HIGUCHI, H. (2004): Migration routes and important stopover sites of endangered Oriental White Storks (*Ciconia boyciana*) as revealed by satellite tracking. *Memoirs of the National Institute of Polar Research Special*. 162–178.p.
- SHIU, H.J., TOKITA, K., MORISHITA, E., HIRAOKA, E., WU, Y., NAKAMURA, H. & HIGUCHI, H. (2006): Route and site fidelity of two migratory raptors: Grey-faced Buzzards (*Butastur indicus*) and Honey-buzzards (*Pernis ptilorhynchus*). *Ornithological Science*. 5/2: 151–156.p.
- STEENHOF, K., BATES, K.K., FULLER, M.R., KOCHERT, M.N., MCKINLEY, J.O. & LUKACS, P.M. (2006): Effects of radiomarking on Prairie falcons: attachment failures provide insights about survival. *Wildlife Society Bulletin*. 34/1: 116-126.p.
- STRANDBERG, R., KLAASSEN, R.H.G., HAKE, M., OLOFSSON, P. & ALERSTAM, T. (2009): Converging migration routes of Eurasian hobbies (*Falco subbuteo*) crossing the African equatorial rainforest. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 276: 727-733.p.

- SZÉLES, Z. (2010): Kék vércse gyülekezőkori élőhely-használatának és táplálék-összetételének elemzése a dél-hevesi régióban. In: A DE MÉK Tudományos Diákköri Közleményei I. Debrecen: Debreceni Egyetem, Mezőgazdasági, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar. 97-105.p.
- WEBSTER, M.S., MARRA, P.P., HAIG, S.M., BENSCH, S. & HOLMES, R.T. (2002): Links between worlds: unraveling migratory connectivity. *Trends in Ecology & Evolution*. 17/2: 76–83.p.
- WORTON, B.J. (1987): A review of models of home range for animal movement. *Ecological Modelling*. 38: 277-298.p.
- WORTON, B.J. (1989): Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*. 70: 164-168.p.