

MTA doktori értekezés tézisei

Fejezetek a vízi makrogerinctelenek életéből – Elterjedés, szétterjedés, életmenet

Csabai Zoltán Szabolcs



Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Biológiai Intézet, Hidrobiológiai Tanszék

Pécs, 2025

Bevezetés

A krízisek kora – Köztudott, hogy a biológiai sokféleségre irányuló legnagyobb fenyegetéseket az emberiség és annak fenntarthatatlan erőforráshasználata jelenti (Dudgeon et al. 2006). Ugyanakkor a biodiverzitás alapvető hatással van mindannyiunk életére az ökoszisztéma-szolgáltatások biztosításával, az ökoszisztémák működésének fenntartásával, az idegenhonos fajok inváziójának korlátozásával, valamint kiemelkedő gazdasági jelentőségével (Díaz et al. 2006). Az elmúlt évtizedekben a globális édesvízi biodiverzitás drámai csökkenésen ment keresztül (Maasri et al. 2022), és bár folyóinkban bizonyos védelmi, szabályozási, helyreállítási és vízminőségjavító törekvések hatására tapasztaltunk némi javulást, mára ez is megtorpant (Haase et al. 2023), jelenleg az édesvízi fauna negyede közvetlenül kihalással fenyegetett (Sayer et al. 2025). Ezért elengedhetetlen a kutatások és a biodiverzitás védelmére koncentráló további intézkedések fokozása annak érdekében, hogy a még fennmaradt élővilágot és annak esszenciális funkcióit – a szükséges dinamikus változás és átalakulás biztosítása mellett – megőrizhessük (Maasri et al. 2022, Lynch et al. 2023). Mindez az érintett tudományágak és megközelítési módok szorosabb együttműködésével és az alapos, minden érintettet bevonó tervezés mellett jöhet létre (Erős et al. 2023).

Megvédeni azonban csak azt lehet, amit ismerünk, magában foglalva, hogy képesek vagyunk azonosítani, továbbá ismerjük az előfordulási területét, a terjedési mechanizmusait, a különféle jellegeit, az életmenetét és az ökológiai igényeit is. Alapvetően a tudomány feladata a krízis kezelése kapcsán a vízi biodiverzitás minél részletesebb megismerése és monitorozása, különös tekintettel a kevésbé ismert mikrobiális és gerinctelen csoportok esetében, a hatások értékelése, a fenntartható menedzsment stratégiák és restaurációs programok tudományos alapjainak kimunkálása, valamint a döntéshozók és a társadalom tájékoztatása és támogatása. Minden új ismeret, technológia, módszer és eljárás kiemelten fontos lehet, ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy fogytán az időnk és a lehetőségünk arra, hogy a biodiverzitás hanyatlását sikerrel mérsékelni tudjuk, vagy hogy annak következményeihez sikerrel alkalmazkodhassuk (Lynch et al. 2024), így legalább ennyire fontos a már meglévő információk rendszerezése, elérhetővé tétele is (Smits et al. 2025).

A bemutatott kutatási témák, célkitűzések és az értekezés szerkezete

Az értekezés témaköreinek kiválasztása komoly kihívást jelentett, mivel az elmúlt közel 30 évben szerteágazó kutatásainak összefoglalása egyetlen keretbe szinte lehetetlen feladat, hiszen kérdésfelvetésükben és módszereikben is jelentősen különböznek, közöttük látszólag az egyetlen kapcsolódási pontot a „vízi makrogerinctelen szervezetek”, mint a kutatás alanyai, adják. Az értekezésben végül három egymással szervesen nem kapcsolódó témakörben végzett kutatásainkat mutatjuk be.

Az első témakör, amely az „elterjedés” címet kapta (2. fejezet) összefoglalja mindazt a sokrétű erőfeszítést, ami révén igyekeztünk minél több terület feltárásával, minél több új előfordulási adat közreadásával hozzájárulni a vízi makrogerinctelen fajok elterjedésének és előfordulási jellemzőinek minél teljesebb megismeréséhez. Ismertetjük a faunisztikai gyűjtéseink legfontosabb eredményeit a Kárpát-medencében és a Földközi-tenger keleti medencéjét érintve, kiemelt csoportként bemutatjuk a vízbogarak hazai kutatásának történetét, trendjeit, jelenlegi állapotát, valamint európai szinten értékeljük a vízbogarak és vízipoloskák genetikai azonosíthatóságát lehetővé tévő referenciaadatbázisok lefedettségét és az ebben rejlő különbségek okait, a fejlesztés lehetőségeit. Minden e fejezetbe foglalt témakör fő vizsgálati kérdése a szünbiológia deviációs alapkérdésének egy-egy alosztala, avagy túlegyszerűsítve a „Mi hol él?”, amin felül igyekszünk némiképp arra is választ keresni, hogy mennyire vagyunk képesek megválaszolni ezt a kérdést Európa különböző vidékein.

A „szétterjedés” című második témakör (3. fejezet) a vízbogarak és vízipoloskák repülés révén történő szétszóródásának (diszperziójának) már régóta jól ismert és korábban ismeretlen elemeit igyekszik rendszerezni, azzal a nem titkolt céllal, hogy segítsen új megvilágításba helyezni ezt a metaközösségek formálásában kiemelten fontos szerepet játszó folyamatot. A diszperzió „eredményét” több ezer közlemény vizsgálta már, de mi ehelyütt magával a repülés folyamatával és az ebben szerepet játszó belső és külső tényezőkkel foglalkozunk. Elsőként részletesen leírjuk és kategorizáljuk az évszakos és napszakos repülési mintázatokat, majd egy egységes keretrendszer megalkotásával, saját kutatásainkból származó és mások által

publikált ismeretek integrálásával szűrőrendszerekbe soroljuk a repülési folyamatot kiváltó, szabályozó és befolyásoló tényezőket a mozgási inger megszületésétől az elinduláson és repülésen át az új élőhelyen történő beilleszkedésig, ezzel segítve e komplex folyamat megértését.

A harmadik, „életmenet” fejezet egyetlen, korábban kevésbé ismert, fokozottan védett, karizmatikus megjelenésű fajra, a balkáni hegyiszitakötőre (*Cordulegaster heros* Theischinger, 1979) koncentrál, ami az élőhelyének sérülékenysége és a globális változások kapcsán a közeljövőben várhatóan komoly kihívásokkal néz szembe. Feltárjuk az életmenetének, lárvális fejlődésének jellemzőit, meghatározzuk a mikro- és mezoélőhely preferenciáját, bemutatjuk a kirepülésének évtized léptékű változásait és a kirepülési aljzatválasztását, mindezekkel is elősegítve a faj és élőhelyeinek tudásalapú védelmét és kezelését.

A három fejezet konklúzióit az értekezésben közvetlenül nem kapcsoljuk össze egymással, hiszen más és más a vizsgálatok tárgya az egyes fejezetekben, de mindenképpen szeretnénk hangsúlyozni azt a könnyen belátható ténytet, hogy megfelelő kontextusba helyezve, azonos élőlényre vonatkoztatva bizony ezek egyértelműen és szorosan kapcsolódnak egymáshoz és hatással vannak egymásra. A többféle térléptékben értelmezhető elterjedés kialakításában, leginkább fenntartásában, annak időbeli változásaiban minden vízi gerinctelen taxon esetében szerepe van a diszperziónak, a röpképeseknél a repülésnek, míg a diszperziós kapacitás és az alkalmazott stratégiák kialakításában kulcsszerepet játszik az életmenet számos vonatkozása is.

Elterjedés – a vízi makrogerinctelenek a Kárpát-medencében és azon túl, különös tekintettel a vízbogarakra

Nem kérdéses, hogy az információ és a „big data” korát éljük (Hampton et al. 2013, Wüest et al. 2020), a technológiai fejlődés mára gyakorlatilag bármilyen mennyiségű adat tárolását, kezelését és feldolgozását lehetővé tette. Akár a globális, akár a lokális problémákat helyezzük a fókuszpontba, a gyors és hatékony megoldásához releváns adatokra van szükség, a lehető legnagyobb mennyiségben, széles időbeli és térbeli skálát lefedve (Proença et

al. 2017, Xia et al. 2020), szabad hozzáféréssel, a FAIR alapelveknek megfelelően (Wilkinson et al. 2016). A biodiverzitással kapcsolatos kutatások, a természetvédelmi kezelési és hatósági feladatok, a monitorozási tevékenység hatékony elvégzése egyre inkább megköveteli a nagy mennyiségben, számos élőlénycsoportra kiterjedő előfordulási adatok előzetes meglétét (Heberling et al. 2021), a legtöbb esetben kiegészülve a jellegadatbázisok (pl. Schmidt-Kloiber és Hering 2015, Sarremejane et al. 2020), a környezeti adatbázisok (pl. Boldrini et al. 2023) adataival és az ökoszisztéma szerkezetét és funkcióit leíró adatokkal (Pereira et al. 2013, Kissling et al. 2018). A sokféle elérhető adatbázisból a fajszintű előfordulási adatok mára talán legfontosabbá vált globális gyűjtőhelye a Global Biodiversity Information Facility (GBIF 2025).

Anyag és módszer – A faunisztikai adatgyűjtő munkánk során a Kárpát-medencében mintegy 2000, a Földközi-tenger keleti medencéjének szigetein több mint 550 mintavételi ponton végeztünk vízi makrogerinctelen szervezetekre irányuló mintavételeket változatos módszerekkel (vízhálózás, uszadékhálózás, kotróhálózás, csapdázás stb.) és időpontokban. További több mint 1000 helyről dolgoztunk fel más kutatók által rendelkezésünkre bocsátott mintákat, illetve bizonyos csoportok vonatkozásában az ország jelentősebb közgyűjteményének példányait. 2017-től kezdődően már nem csak morfológiai, hanem DNS vonalkód régiók szekvenálásával molekuláris módszereket is alkalmaztunk a fajszintű azonosítás során. A vízbogarak esetében összegyűjtöttük a teljes hazai irodalmat, az ezekből kigyűjtött információk alapján ismertettük a hazai kutatás trendjeit, a fajszámok változásait, az adatok mennyiségének alakulását a XIX. századtól napjainkig. A vízbogarak és a vízipoloskák 33 családjába tartozó 1537 faja esetében teljeskörű európai hiányelemzést végeztünk a BOLDSystems eszköztárát felhasználva annak érdekében, hogy meghatározzuk az egyes európai országok faunája DNS vonalkód lefedettségének mértékét.

Eredmények – A Kárpát-medence esetében mintegy 3000 gyűjtőhelyről származó több mint 100.000 faunisztikai adatot adtunk közre a teljes makrogerinctelen élőlénysspektrum több mint 700 fajára vonatkozóan, amelyek között nagy számban fordultak elő védett és fokozottan védett (39 faj), idegenhonos (kb. 30 faj), faunisztikai szempontból jelentős,

újrafelfedezett, ritka előfordulású (legalább 200 faj) fajok. Munkánk során 62 faj első előfordulását közöltük Magyarország területéről, további 2-2-2-1 faj első előfordulását említettük rendre Romániából, Csehországból, Horvátországból és Szlovákiából. Morfológiai és molekuláris vizsgálatok ötvözésével igazoltuk, hogy a nemrégiben leírt *Agabus lotti* Turner, Toledo et Mazzoldi, 2015 nem önálló faj, az *Agabus uliginosus* (Linnaeus, 1761) elsődleges szinonimája. Egyedfejlődése során az ivarszervek morfológiai fejlődése nem fejeződik be a bábállapotban, hanem a kibújás után is folytatódik, a „lotti” egyedek a még nem kifejlődött péniszű fiatal „uliginosus” egyedeknek felelnek meg.

A Földközi-tenger keleti medencéjének szigeteiről több mint 25.000 egyed feldolgozásával mintegy 300 taxon (Rodosz 124, Kréta 95, Korfu 84, Málta 127, Ciprus 165) előfordulásait regisztráltuk, melyek közül kettő Európa területéről első ízben került elő. Görögország faunájára nézve 3, Málta faunájára nézve 40, Ciprus vonatkozásában pedig eddig 5 taxon bizonyult újnak. Utóbbi kettő sziget esetében elkészítettük a makrogerinctelenek DNS vonalkód referencia könyvtárát is, amelyben Máltáról 154 BIN-be sorolódó 808 szekvencia, míg Ciprus esetében 113 BIN-be sorolódó 258 szekvencia áll jelenleg rendelkezésünkre. Az egyedi BIN-ek száma igen magas, rendre 40 és 35. Az adatsoraink minden sziget esetében számos ritka előfordulású, illetve endemikus taxon újabb előfordulásait is tartalmazzák, ezzel is fokozva az elterjedésük minél pontosabb ismeretét. Bizonyos fajok esetében eredményeink taxonómiai státuszváltozáshoz is vezettek (pl. *Laccobius cretaeus* Gentili, 1975), illetve új fajok leírását segítették (*Nebrioporus amicorum* Toledo, 2009, *Baetis mirkae* Soldan et Godunko 2008, *B. zdenkae* Soldan et Godunko, 2009).

A vízbogarak hazai faunisztikai alapvetésének frissítése és kutatásának trendjeit feltáró vizsgálataink során 556 közlemény információinak áttekintésével megállapítottuk, hogy a faunisztikai adatközlés és a vízbogár kutatás legintenzívebb időszakai a nemzeti parkok feltárásának megindulásához (1980-1993), illetve a határozókönyvek megjelenése utáni 2005-2015-ös időszakhoz köthetők. Ezután a vízbogár adatokat közlő szakcikkek száma erősen hanyatlásnak indult, ugyanakkor a közzétett adatok száma nem csökkent jelentősen, ami az adatközlési szokások megváltozásával,

az új típusú, rövid terjedelmű, csak metaadatokat tartalmazó adatkikkel és ezzel párhuzamosan az adatrepozitóriumokban és a releváns adatportálokon (pl. GBIF) közzétett nagy mennyiségű rekordot tartalmazó adatsorokkal magyarázható.

A vízbogarak és vízpoloskák pán-európai spektrumú, országos szintű DNS vonalkód lefedettségét vizsgáló kutatásuk során megállapítottuk, hogy 2020-ban a teljes európai fauna lefedettsége mindkét csoport esetén 50% körüli volt, ami országonként 60–100% között változott. Nyugat- és Észak Európában magasabb, Dél- és Dél-Kelet Európában alacsonyabb értékeket láthattunk. Igazoltuk, hogy mindennek okát a déli területeken a ritka fajok magas arányában, a magas összes fajszámban és e területek faunájának a kiterjedt vonalkódolási programokat futtató országok faunájával való csekély átfedésében kell keresnünk. Rámutattunk, hogy a nyilvános és privát rekordok aránya is eltérő Európa nyugati és keleti felén. Meghatároztuk azon országok körét, amelyek faunájának vonalkódolása leginkább előmozdíthatná az összeurópai lefedettség növelését. Az ez év elején (2025) megismételt hiányelemzés alapján a lefedettségi szintek jelentős növekedését láttuk, már 66 és 59%-os szintet regisztráltunk, ami jelentős előrelépést jelent. Európán belül a Pannon biogeográfiai régió, bár bogarak és poloskák terén általános lefedettségben 90–95% körüli értéket mutat, és ez általánosíthatónak tűnik más vízi makrogerinctelen csoportokra is, mindez nem a saját területéről származó példányokon, hanem szinte teljes egészében más régiókból származó szekvenciákból adódik. A régióban valószínűsíthető potenciálisan nagy arányú rejtett diverzitás miatt szerencsésebb lenne a referencia adatbázis létrehozása hazai példányok szekvenálásával.

Új tudományos eredmények, konklúzió és alkalmazási területek – Jelentős mennyiségű adatot szolgáltatunk a Kárpát-medence és bizonyos földközi-tengeri szigetek faunájának ismeretéhez mind morfológiai mind genetikai módszerek alkalmazásával, előfordulási és szekvenciaadatok gyűjtésével. Részletes irodalmi feldolgozás mellett frissítettük a hazai vízbogár alapvetést és részletes hiányanalízist végeztünk a pán-európai vízbogár és vízpoloska fauna genetikai diverzitásának és DNS vonalkód lefedettségének vonatkozásában kitekintve a Pannon biogeográfiai régió vízi makrogerinctelen faunájának lokális vonalkódokon alapuló ismeretére. Mindezek alapján

létrehoztuk a vizsgált régiókban a georeferált előfordulási adatbázisok és egy-egy területre vonatkozó DNS vonalkód referencia adatbázisok alapjait, ezzel is segítve az erre épülő további vizsgálatokat, legyenek azok akár közösségökológiai, természetvédelmi, monitorozási akár taxonómiai vagy filogeográfiai jellegű kutatások. Ezekkel évtizedes lemaradásunkat is igyekszünk pótolni, és meggyőződésünk, hogy ezek az erőfeszítések segítenek majd a Pannon biogeográfiai régió és a Földközi-tenger keleti felének szigetein meglévő unikális biodiverzitás összetételének minél pontosabb feltárásában, egy részben történeti képet nyújtva a globális folyamatok hatására fellépő változások detektálásában és megértésében, valamint a természetvédelmi célok definiálásában és azok hatékony elérésében.

Szétterjedés – Vízibogarak és vízipoloskák diszperziós repülésének napszakos és évszakos ütemezése és az azt befolyásoló hatások megértésének egységes keretrendszere

A természetben az egyed feletti szerveződési szinteken nem igazán találunk olyan élő rendszert, amely ne metapopulációs vagy metaközösségi szerveződés alapján működne, ezek dinamikájának az élőhelyfoltok helyi minőségi sokfélesége mellett a legfontosabb befolyásoló folyamata az egyedek szétszóródása, a diszperzió (Leibold et al. 2004). A vízirovarok jelentős részének, beleértve a vízibogarakat és vízipoloskákat is az aktív diszperzióra egy élőhelymozaikban szinte kizárólagos eszköze a repülés (Bilton et al. 2001).

A repüléssel történő diszperzió folyamatának – figyelembe véve a feltételeit, kialakulását és eredményét, valamint számolva a költségekkel, befektetéssel és felkészülési idővel – öt szakaszát különítik el (Bonte et al. 2012). A tényleges elindulás előtt találjuk a felkészülési fázist (pre-departure), ezt követi az elindulás (departure, emigration), amelyben megszületik élőhely elhagyásáról szóló döntés, majd a tényleges mozgás az élőhelyfoltok között [(inter-patch) movement, transience, transfer]. A negyedik a megérkezés (arrival, immigration, settlement), magában foglalva a döntést az új foltban maradásról is, majd a beilleszkedés (post-settlement) fázisa zárja le a repülési ciklust (Bonte et al. 2012).

A diszperzió folyamatára jelentős hatása van számos és igen változatos biotikus és abiotikus környezeti tényezőnek, de az, hogy a folyamat során mely egyedek mikor indulnak el, hogyan zajlik le a tényleges mozgás, és melyik új élőhelyen kísérik meg az egyedek a beilleszkedést, az azon múlik, hogy a jellegeik, belső meghatározottságuk milyen érzékenységet, fogadókésztséget mutat az egyes környezeti tényezők változására (Clobert et al. 2009). A külső (környezeti) tényezők és a belső (evolúciós háttér, az egyedfejlődés és részben a fenotipusos plaszticitás által meghatározott) aktuális állapot direkt összekapcsoltsága dönti el azt, hogy milyen egyedi vagy faji változatosság alakul ki a diszperziós folyamat során az időzítésben és a követett stratégiákban a környezet változásának függvényében (Nathan et al. 2008).

Anyag és módszer – Több különböző vizsgálatssorozat keretében a vizek polarizációs mintázatát leképező mesterséges felületek (fekete fényes mezőgazdasági fóliák) segítségével csapdáztuk a levegőben vizek kereső vízbogarakat és vízpoloskákat. A hosszú távú, heti gyakoriságú monitorozáshoz 2000-ben két, majd 2005-ben három darab, 9×3 méter oldalhosszúságú, fehér vászonszegéllyel ellátott fóliát alkalmaztunk, melyekről 24-órás időszakokban, óránkénti bontásban gyűjtöttük a beérkező egyedeket. A monitorozásra a hortobágyi Hagymás-lapos, egy gazdag vízirovarfaunával rendelkező alföldi mocsár partján került sor, amely 2000-ben márciustól június elejéig, a víztér kiszáradásáig, 2005-ben szintén márciustól október végéig tartott. 2004-ben három rövidebb kísérletssorozatban ugyanezzel a módszerrel, de különböző színű, méretű és távolságban elhelyezett fóliákkal teszteltük a szín, méret és távolság hatását a módszer hatékonyságára és a rovarok repülési/leszállási jellemzőire. 2011-ben a hagyományos fényszennyezés és a poláros fényszennyezés interakciójának vizsgálatát végeztük el egy terepi választásos kísérletben, melyben higanygózlámpák és 2×2 méteres oldalhosszúságú polarizáló és nem polarizáló felületek segítségével az említett hatásokat egyesével és együttesen „ajánlottuk fel” az érkező rovaroknak három ismétlésben. Mindhárom vizsgálat alkalmával folyamatosan mértük a relevánsnak tekinthető meteorológiai paramétereket (hőmérséklet, szélesebség, páratartalom, fénymennyiség). Az évszakos és a napszakos repülési intenzitás meghatározásához az adott nap vagy óra relatív repülési intenzitását vettük

figyelembe, amelyet az adott évszakban vagy napon megfigyelt legnagyobb repülési intenzitáshoz viszonyítottunk. Akkor tekintettünk egy csúcstot számottevő aktivitásnak, ha a legnagyobb megfigyelt érték legalább 20%-át elérte. A mintázatok elkülönítésében és elnevezésében is mindig a számottevő repülési csúcsok időszakait (évszak, napszak) vettük figyelembe.

Eredmények – A két év monitorozási adatait összesítve évszakonként három, összesen kilenc évszakos repülési (al)mintázatot különítettünk el. Tavasz főmintázatban a legnagyobb tavaszi csúcs mellett vagy nincs egyéb évszakos csúcs (tavasz almintázat, SP-0-0), vagy ez nyáron, illetve ősszel jelenik meg (tavasz-nyár, SP-su-0 és a tavasz-ősz, SP-0-au almintázat). A nyári dominanciával repülő fajok esetében vagy csak nyári csúcst látunk (0-SU-0), vagy járulékos csúcs észlelhető ősszel (0-SU-au) vagy ősszel és tavasszal is (sp-SU-au). A dominánsan őszi főmintázatban repülő fajoknál a csak őszi (0-0-AU) almintázat mellett azonosíthatjuk a tavaszi (sp-0-AU) és a nyári (0-su-AU) almintázatokat is.

A napszakos mintázatok esetében az évszakos különbségek miatt szintén ebben a bontásban érdemes vizsgálnunk. A tavaszi időszakban három [napközben (DT), délben-este (NE), délben (N)] mintázat jelenik meg. A nyári időszakban hat realizálódó napszakos repülési mintázatot azonosítottunk [reggel-délben-este (MNE), reggel-este (ME), reggel (M), délben-este (NE), este (E), reggel-délben (MN)]. Az őszi időszakban szintén három mintázat realizálódik [délben-este (NE), délben (N), este (E)].

A mintázatok kialakulásáért felelőssé tehető tényezők rendszerének megértéséhez saját eredményeink mellett mintegy 500 közlemény áttekintése után keretrendszerbe foglaltuk a kiváltó okokat, valamint az elindulást, az időzítést, a megtett utat, a megérkezést és beilleszkedést vezérlő hatásokat. Az egyes fázisok vagy szintek (felkészülés, elindulás, repülés, megérkezés, beilleszkedés) között különféle szűrőrendszereket (innenről „szűrők”) azonosítottunk. Az egyes szintek közötti egyedszám (vagy éppen fajszám) csökkenés minden esetben több különböző hatás eredménye, ezek a hatások – akár egymástól függetlenül, akár egymásra épülve, akár egymást erősítve vagy gyengítve – különböző szűrőket hoznak létre, amikben a környezeti hatások összekapcsolódnak az élőlények belső meghatározottságából fakadó

jellemzőivel (faji jellegek, vagy esetenként egyedi jellegek, species traits, individual traits). Ez alakítja ki a blokkoló vagy éppen megengedő hatást, eldöntve, hogy az adott szinten az élőlény képes-e tovább lépni a diszperzió folyamatában, illetve számára az adott szint túllépése szükséges-e.

E szűrőkből a keretrendszerünkben az egyes szintek között egyet-egyet, a teljes körfolyamat során ötöt azonosítottunk és nevesítettünk. Ilyen szűrőrendszereket alkotnak a folyamat egymást követő szintjeinek sorrendjében a Képesség szűrők (Ability filters), az Aktiváló szűrők (Launcher filters), az Időzítő szűrők (Timer filters), a Tájékozódási szűrők (Orientation filters) és a Kolonizációs szűrők (Colonization filters). A szűrők által tömörített hatások közül egyeseknek igen nagy irodalma van (pl. a Képesség szűrők, az Aktiváló szűrők, vagy akár a Kolonizációs szűrők egy része), ugyanakkor a folyamat több részéről a kutatásaink előtt szinte semmilyen információval nem rendelkezünk. Az aktiváló szűrők kapcsán igazoltuk a fenológiai viszonyok (szaporodási állapot) repülés generáló hatását (breeding flight), valamint bevezettük a kikényszerített repülés (enforced flight) fogalmát a kedvezőtlen környezeti feltételek (pl. kiszáradás) által indukált repülési aktivitásra. Az Időzítő szűrők mindhárom szintjét mi azonosítottuk első ízben, melynek során igazoltuk, hogy a napszakos repülési mintázatot a vízfelszín polarizációs érzékelhetősége, a minimális hőmérséklet elérésének szükségessége a repülésre alkalmaz időszakokban és a pillanatnyi időjárási keretek (szélsebesség, eső) határozzák meg. A Tájékozódási szűrők esetében kísérletesen igazoltuk a víztér méretének és a kiindulási helyről való távolságának jelentőségét. Szintén a Tájékozódási szűrők esetében tártuk fel, hogy a lámpafénnyel és a polarizált visszavert fénnel kapcsolatos ingerek direkt összekapcsoltsága nagyságrendekkel növeli az elterelt és csapdázott rovarok számát. A lámpafény tulajdonképpen kiterjeszti a polarizációs jel gyűjtőkörét, a két hatás összekapcsolódva sokkal nagyobb ökológiai és akár evolúciós károkat okozhat.

Új tudományos eredmények, konklúzió és alkalmazási területek – Részletesen bemutattuk a vízibogarak és vízipoloskák évszakos és napszakos repülési aktivitását, meghatároztuk és kategorizáltuk a fajokra jellemző évszakos és az egyes évszakokban megjelenő napszakos repülési mintázatokat, majd egy egységes keretrendszerbe foglalva, a repülés teljes

folyamatán végigvezetve, a képesség és a készítés létrejöttétől a tényleges élőhelyváltást eredményező repülési folyamaton át a megérkezésig és beilleszkedésig különböző szűrőrendszerek egymásutánosságán értelmezve bemutattuk a disperziós repülésre ható abiotikus és biotikus tényezőket. A repülési mintázatok megismerésére általunk bevezetett módszer, bár igen munkaigényes, de az eddig alkalmazottakhoz képest sokkal kevésbé elfogult és torzítatlan becslését teszi lehetővé a repülő/kolonizáló rovaregyüttesek mennyiségének és fajösszetételének, mindezzel elősegítve a közösségek dinamikájának minél teljesebb megértését. A befolyásoló tényezők keretrendszerbe foglalása segítheti az elméleti modellek pontosítását, teljesebbé tételét, ami a gyakorlatban pontosabb előrejelzéseket, hatékonyabb természetvédelmi és élőhelykezelési tervezést vagy beavatkozásokat eredményezhet. A befolyásoló tényezők jelentős része antropogén eredetű hatás, aminek pontosabb ismerete, a hatásmechanizmus és a konkrét károkozás mértékének feltárása segítheti olyan megoldások kidolgozását, amivel csökkenthető a negatív hatás és legalább mérsékelhető az ökológiai csapdaként fellépő jelenségek gyakorisága és intenzitása, ezáltal érdemben csökkenthető azok pusztító hatása.

Életmenet – a Balkáni hegyiszitakötő életmenetének, igényeinek és túlélési stratégiáinak feltárása

A balkáni elterjedésközpontú, de Kelet-Közép-Európában is jelentős populációkkal bíró *Cordulegaster heros* szárnyfeszítávolság tekintetében Európa legnagyobb szitakötőfaja (Schneider et al. 2021, 2024). Hazai előfordulása tekintetében legtöbb lelőhelyét és legerősebb populációit a Mecsekben és a Zselicben, valamint az Őrségben, a Soproni- és Kőszegi-hegységekben találjuk, de ismerjük előfordulásait a Bakonyból és az Aggteleki-Karsztról is (v.ö. Ambrus et al. 2018). A faj tér- és időbeli mennyiségi előfordulási jellemzői, annak dinamikája, a faj életciklusa, kibújási viselkedése hazai viszonylatban csak faunisztikai cikkekben elszórt egyedi megfigyeléseken alapuló megjegyzésekből volt némiképp sejthető. Hazai populációkon végzett ökológiai jellegű vizsgálatokról korábban még senki sem publikált, de relatíve szűk elterjedéséből fakadóan európai kitekintésben sem állunk sokkal jobban.

Gyakorlatilag csak Lang és munkatársai (2001) tanulmánya foglalkozott a faj ökológiai igényeinek, életciklusának és mennyiségi előfordulási viszonyainak feltárásával, az előfordulását befolyásoló tényezők szerepének megértésével.

A *C. heros* természetvédelmi szempontból mind hazai, mind európai viszonylatban kiemelt jelentőségű faj. Natura 2000-es jelölőfaj, az élőhelyvédelmi irányelv II. és IV. mellékletében is szerepel (Dévai 2014). Hazánkban fokozottan védett, pénzben kifejezett természetvédelmi értéke 100 000Ft (VM 2012). Az IUCN Vörös Lista korábban veszélyeztetettség közeli (NT) kategóriába sorolta, de az elmúlt 15 évben kelet-közép-európai terjeszkedésére utaló új előfordulások és a populációit általánosan stabil állapotúnak értékelő vizsgálatok nyomán a közelmúltban átkerült a nem fenyegetett (LC) kategóriába (Vinko et al. 2023, de Knijf et al. 2024). Magyarországi helyzete alapján a legfrissebb csoportspecifikus vörös lista (Kovács et al. 2017) a sérülékeny (VU) kategóriába sorolja, ami valószínű az azóta eltelt idő fejleményeinek tükrében felülvizsgálatra szorul. Dévai (2014) az állomány jövőbeli nagysága tekintetében egyre inkább csökkenő tendenciát valószínűsített, de a jelenlegi ismereteink és adataink alapján az elterjedési területek modellezése a legvalószínűbb klímamodelleket felhasználva az area jelentős növekedését jósolja (Fekete et al. 2023), azaz többek között e faj lehet rövid távon a klímaváltozás jelenlegi irányának egyik 'nyertese', részben rokona, a sötét hegyiszitakötő (*C. bidentata* Selys, 1843) rovására.

Anyag és módszer – Az életciklus és a mikroélőhely-preferencia vizsgálata során nyolc mecseki vízfolyáson végeztünk mennyiségi alapú lárvavizsgálatokat 2011 júniusától 2012 májusáig havi rendszerességgel, összesen 12 alkalommal. A mintavétel során minden patak esetében egy 200 méter hosszú szakaszon minden egyes időpontban újra és újra random módon kiválasztott 10 gázló és 10 medence típusú mezoélőhelyről vettünk mintát egy „standard pond net” segítségével, „kick and sweep” módszer alkalmazásával, két négyzetméteres alapterületről, egységnyi (3 perc) időráfordítással, folyásiránnyal szemben haladva az egymást követő mintavételek során. A helyszíni válogatást követően minden egyes lárvá esetében digitális tolómérővel megmértük a fejszélességet, a teljes testhosszt, a szárnytok hosszát, a labium hosszát, a metafemur hosszát és a mentum átmérőjét. A

lárvastádiumok [a kibújás előtti utolsó (F), az azt megelőző három (F-1, F-2, F-3) valamint a korai stádiumok (E)] elkülönítéséhez egy izometrikus (fejszélesség) és egy allometrikus (szárnytok hosszúság) növekedésű testparamétert használtunk. A vedléstől eltelt idő becsléséhez rögzítettük a kültakarójukat borító allochton részecskék mennyiségét egy háromfokozatú skálán, valamint meghatároztuk az állatok ivarát is, mielőtt visszaengedtük az egyedeket eredeti élőhelyükre. A mennyiségi eloszlásra potenciálisan hatóképesnek tekinthető környezeti jellemzőket három csoportra bontva (Lokális tényezők: medermorfológia, mezo- és mikroélőhely összetétel, a víz fiziko-kémiai jellemzői; Vegetációt jellemző tényezők: vegetáció típus, összetétel, természetesség; Klimatikus jellemzők: WordClim hőmérsékleti és csapadék jellemzők) szintén rögzítettük.

A kirepülési viselkedés és ritmus feltárásához két eltérő összetételű és szerkezetű vegetációval szegélyezett vízfolyást, a széles völgytalppal bíró völgyben futó, diverz vegetációval, egyik parton gazdag aljnövényzettel és cserjeszinttel jellemezhető Petőczy-árkot (PET), és a mély, helyenként sziklás völgyben futó, érintetlen bükkössel, a cserjeszint és a lágyszárú aljnövényzet teljes hiányával jellemezhető Körtvélyesi-forrást (KOR) választottuk. E helyeken két egymást követő évben végeztünk exuvium gyűjtéseket: 2011-ben 6-3-6 naponta, 2012-ben pedig háromnaponta, a teljes rajzási időszakot lefedve, május közepétől augusztus elejéig (2011) vagy július végéig (2012). Mindkét vízfolyás mentén a patak 200 méteres szakaszát 10 × 10 méteres oldalhosszúságú kvadrátokkal 'fedtük le' (20-20 kvadrát a partokon). A PET élőhely esetében 2013-tól a mintavételeket minden évben a kirepülési időszakban hatnapos ismétléssel egészen 2024-ig folytattuk, így arról az élőhelyről összesen 14 évnyi exuvium adat áll rendelkezésre. Minden kvadrátban a megadott időközönként alaposan átvizsgáltuk a talajfelszínt, a vegetációt és a partszegélyeket is. Minden megtalált exuvium esetében feljegyeztük a lárva által a vízszegélytől a kibújási helyig megtett (1) vízszintes, illetve (2) függőleges távolságokat, (3) a kirepüléshez választott aljzattípust [használt kategóriák: fa, cserje, lágyszárú, alámosás, exuvium, avar], valamint (4) az egyed ivarát. Mindkét patakszakasz mentén részletes partmenti vegetáció felmérés is készült.

A kiszáradástolerancia vizsgálatához egy mesterséges patakmodell alkalmazásával terveztünk összehasonlító kísérletet. Négy darab, egyenként 2,4 m hosszú, 0,8 m széles, egymástól teljesen elválasztott és független, automatikus keringtetéssel és vízsebességszabályozással működő, egyenként 0,25 m³ puffertartállyal rendelkező medret (továbbiakban kismeder) hoztunk létre, melyekben átszellőztetett csapvizet keringtettünk. A kismedrekbe egyenként 20 darab, azonos méretű (16 cm átmérőjű, 28 cm magasságú), és azonos összeállítású {20 cm magasságig 10-10 csőnél durva kavicsos [$\varnothing$ =6-8 mm, jelölése a továbbiakban C (coarse)], további 10-10 csőnél kvarchomokos [$\varnothing$ =1-2 mm, jelölése a továbbiakban F (fine)] átmosott aljattal feltöltött}, alsó oldalán zárt, a víz be- és kiáramlását biztosító furatokkal preparált PVC csövet helyeztünk. Előzetesen 90 lárvaegyedet gyűjtöttünk be egyetlen élőhelyről, melyekből 45 utolsó vagy utolsóelőtti (F, F-1) lárvastádiumú („nagy”, jelölése a továbbiakban B (big)), míg szintén 45 ezt megelőző (F-2 vagy annál fiatalabb) lárvastádiumú („kis”, jelölése a továbbiakban S (small)) volt. Egy órás akklimatizáció és testtömegmérés után 40 „nagy” és 40 „kis” lárv (csövenként egy) került a kísérletbe a következő elrendezésben. A kétféle lárvaméret (B és S) és a kétféle aljatzemcseméret kategória (C és F) alapján négyféle kezelést hoztunk létre (SF, SC, BF, BC), majd tökéletes blokk elrendezésben 5 blokk (5*4 cső) került egy kismederbe. A négy kismeder közül három esetében kiszáradást modelleztünk, ahol a lárvák bekerülését követő napon vízáramlást megszüntettük, további két nap múltán a vízszint csökkentésével a felszíni víz eltűnt, majd további 14 nap alatt fokozatosan csökkentettük az üledékben is a víz szintjét. A negyedik kismeder folyamatos vízáramlás és vízszint biztosítása mellett kontrollként szolgált. A lárvák állapotát és viselkedését, azok megzavarása nélkül naponta ellenőriztük. A leásás mélységét és a testtömeg változását a 14. 21. és 28. (utolsó) napokon rögzítettük, 5-5 random módon kiválasztott blokkot a kísérletből a zavarás és a testtömegméréshez alkalmazott rehidráció miatt végleg eltávolítva.

Eredmények – A mennyiségi mintavételek során a nyolc patakából egy év alatt több mint 2500 lárvaegyedet regisztráltunk. Az egy mintavételi helyről egy év alatt regisztrált legkevesebb egyed 41 darab (Hidasi-völgy) míg a legtöbb 1152 volt (Baranya-csatorna), az átlagos egyedsűrűségek 0,17 és 4,8 egyed/m² között alakultak. A hím és nőtény arány nem különbözött egytől. A

lárvastádiumok arányai az egyes vízfolyások között igen változatosnak bizonyultak. Az átlagos havi denzitás értékek alapján a vízfolyásokat négy jól elkülönülő, eltérő populációs struktúrával jellemezhető csoportba soroltuk. A vedléstől eltelt becsült idő és a stádiumok mennyiségi viszonyai alapján meghatároztuk a faj lárvális fejlődésének jellemzőit és ennek jellegzetes szakaszait: A végső stádiumú (F) lárvák aránya májusban és júniusban a kirepülésnek köszönhetően jelentősen lecsökkent. A nyáron lerakott tojásokból újonnan kikelő lárvákkal júliusban és augusztusban jelennek meg és a korai stádiumokban nagyon rövid időt töltenek el, jelentős részük novemberre már átlép az F-3 stádiumba. Szintén jelentős számú fiatal lárvá E stádiumban töltik a telet, és csak tavasszal lép át F-3 stádiumba. Azok a lárvák, melyek a tojásokból legkorábban kelnek ki, még ugyanabban az évben akár az F-2 stádiumot is elérhetik. Az F-3-as lárvák F-2 stádiumú lárvává fejlődése szinte folyamatosan megfigyelhető az év során, majd a lárvák több hónapot (körülbelül fél évet) töltenek F-2 stádiumban. A lárvák átalakulása F-2-ből F-1-be és F-1-ből F stádiumba szinte kizárólag május és augusztus között fordult elő, a kirepülési periódussal párhuzamosan. Az utolsó két stádiumban (F, F-1) a lárvák 1-1 teljes évet töltenek. Mindezek alapján a *C. heros* lárvális fejlődése a Mecsek hegységben legalább három, de maximum négy évig tart, ezt befolyásolhatják az élőhely környezeti, elsősorban klimatikus és hidrológiai viszonyai.

Az egyes élőhelyeken tapasztalt mennyiségi viszonyok és az élőhelyi jellemzők vizsgálata alapján igazoltuk, hogy a balkáni hegyiszitakötő egyedei minden lárvastádiumban a kisebb szemcseméretű aljzattípusokat részesítik előnyben, amelyek a medencékben nagyobb arányban fordulnak elő. Ez teszi a medencéket, részben kiegészítve a vízmélység és a vízszélesség változásával, minden lárvastádium által jobban kedvelt mezoélőhelyekké, ahol különösen a korai stádiumú lárvák leginkább megtalálják életfeltételeiket.

A kirepülési viselkedés és ütemezés vizsgálata során igazoltuk, hogy a lárvák jelentős vízszintes és függőleges távolságot tesznek meg, mielőtt elhagyják a lárvabőrt, és ez a távolság jelentősen függ a partmenti vegetáció összetételétől. A kirepülési aljzatként a fatörzs dominál, ugyanakkor a választást részben befolyásolja a rendelkezésre álló aljzatok aránya, azaz a vegetáció szerkezete nagyban meghatározza az aljzatválasztási viselkedést. A

kirepülés ütemezésében a 14 éves adatsorunk alapján mind a kezdő, mind a végdátumok tekintetében az egyes évek között akár egy hónapos ingadozás is látható, amely nagyban függ a bújó egyedek sűrűségétől (a teljes exuviumszám / 200m / év 11 és 101 között változott), amire nagy valószínűséggel az előző évi kiszáradás volt erős hatással.

A faj kiszáradás-toleranciáját vizsgálva bebizonyosodott, hogy a faj egyedei képesek voltak túlélni a rövid távú kiszáradást, amennyiben a leásás stratégiáját választják. A túlélés valószínűségét nagyban befolyásolta az üledék szemcsemérete és a lárvák mérete is. A finomabb szemcsésű aljzat nedvességtartalma huzamosabb ideig megmarad, akár a nagyobb méretű lárvák is könnyebben tudnak leásni benne, így előnyösebb a túlélés szempontjából.

Új tudományos eredmények, konklúzió és alkalmazási területek – Igazoltuk, hogy a *Cordulegaster heros* hazai lárvális fejlődési ideje 3–4 év. Részletesen bemutattuk, hogy a lárvák tér-időbeli eloszlását és a populációszerkezetet mind élőhelyek között, mint az egyes élőhelyeken belül nagyban befolyásolja a medence-gázló szerkezet és a mikroélőhelyek diverzitása, valamint utóbbiak egymáshoz viszonyított arányai az egyes élőhelyfoltokban. Egyértelmű preferenciát igazoltunk a finomabb szemcseméretű üledékben gazdag medencés élőhelyek irányába, különösképpen a kisebb méretű lárvák esetében. Feltártuk, hogy a partmenti vegetáció összetétele és szerkezete, valamint a meder partvonalának alakulása egyértelműen meghatározza a faj egyedeinek kirepülési viselkedését az egyes élőhelyeken: az egyedeknek a kirepülési pozíció felvétele előtt mindenképpen szükséges függőlegesen és legtöbbször vízszintesen is eltávolodni a víztől/talajszinttől, a kirepüléshez a leginkább preferált szubsztrátnak a fatörzs bizonyult. Megállapítottuk, hogy a faj egyedei képesek túlélni egy rövidebb idejű kiszáradást, ehhez a túlélést jelentősen növelő stratégiának bizonyult a leásás az üledékbe, melyet jelentősen befolyásol az üledék szemcsemérete és a lárvák testmérete. Bár még számos kérdés vár megválaszolásra, eredményeink kiváló támpontot nyújtanak a természetvédelmi hatóságok, erdészeti és vízügyi szervek számára a fenntartási és kezelési tervek elkészítéséhez. Egyértelműnek tűnik, hogy a faj megóvásához elengedhetetlen a medence – gázló szerkezet fenntartása, akár egy kotrás vagy egyéb beavatkozás utáni helyreállítás során, a kellően

diverz mikroélőhely-összetétel biztosítása, a partvonal természetes mivoltának megőrzése és a kísérő, partmenti erdei élőhelyek megőrzése, még egy esetleges erdészeti kezelés során is a kellő számú hagyásfa biztosítása, a fák újratelepítése, a teljes lágyszárú és cserje dominancia kialakulásának meggátlása. A klímaváltozás hatására az egyre növekvő kiszáradások szintén kihívást jelentenek majd a faj számára, így az ökológiai vízigény biztosítására való törekvésen túl egyre sürgetőbb feladat lenne a faj túlélési stratégiáinak részletes feltárása és lehetőség esetén ezek megtámogatása is.

Az értekezés alapjául szolgáló legfontosabb közlemények

Elterjedés fejezet

Boda P, Móra A, **Csabai Z** 2023: AMI-KMNP dataset: Occurrence records of aquatic macroinvertebrate species from a 10-year-long biodiversity survey in SE Hungary. *Journal of Limnology* 82(S1): 2118, DOI: [10.4081/jlimnol.2023.2118](https://doi.org/10.4081/jlimnol.2023.2118)

Boda P, Móra A, **Csabai Z** 2019: Aquatic macroinvertebrates from soda pans and adjacent wetland habitats of the Hungarian Puszta region with first records of four species from Hungary. *Spixiana* 42(2): 263–282.

Csabai Z, Borza P, Rewicz T, Pernecker B, Berta JB, Móra A 2020: Mass appearance of the Ponto-Caspian invader *Pontogammarus robustoides* in the River Tisza catchment: bypass in the southern invasion corridor? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 421: 9, DOI: [10.1051/kmae/2020003](https://doi.org/10.1051/kmae/2020003)

Csabai Z, Čiamporová-Zaťovičová Z, Boda P, Čiampor F 2023: 50%, not great, not terrible - Pan-European gap-analysis shows the real status of the DNA barcode reference libraries in two aquatic invertebrate groups and points the way ahead. *Science of the Total Environment* 863: 160922, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.160922](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160922)

Csabai Z, Soós N, Berchi GM, Cianferoni F, Boda P, Móra A 2017: Aquatic and semiaquatic Heteroptera (Nepomorpha and Gerromorpha) fauna of Greek holiday islands (Rhodes, Crete and Corfu) with first records of three species from Europe and Greece. *Zootaxa* 4231(1): 51–69, DOI: [10.11646/zootaxa.4231.1.3](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4231.1.3)

- Csabai Z**, Lókkös A, Pap Z, Móra A. 2017: Aquatic beetle fauna of Greek holiday islands (Rhodes, Crete and Corfu) (Coleoptera: Hydradephaga, Hydrophiloidea, Hydraenidae). *Spixiana* 40(1): 41–60.
- Dettner K, Kovács Z, Rewicz T, **Csabai Z** 2024: Age-dependant variation of aedeagal morphology in *Agabus uliginosus* and the status of *A. lotti* (Coleoptera: Dytiscidae). *ZooKeys* 1212: 153–177, DOI: [10.3897/zookeys.1212.130039](https://doi.org/10.3897/zookeys.1212.130039)
- Hájek J, Hendrich L, Vyhnaněk V, **Csabai Z** 2014(2015): *Eretes* diving beetles in Central Europe – witnesses of climate change? *Aquatic Insects* 36(3-4): 267–271, DOI: [10.1080/01650424.2015.1079639](https://doi.org/10.1080/01650424.2015.1079639)
- Rewicz T, Móra A, Tończyk G, Szymczak A, Grabowski M, Calleja E, Pernecker B, **Csabai Z** 2021: First records raise questions: Odonata DNA barcoding in the middle of the Mediterranean. *Genome* 64(3): 196–206., DOI: [10.1139/gen-2019-0226](https://doi.org/10.1139/gen-2019-0226)
- Szétterjedés fejezet
- Boda P, **Csabai Z** 2009: Seasonal and diel dispersal activity characteristics of *Sigara lateralis* (Leach, 1817) (Heteroptera: Corixidae) with special emphasis of the possible environmental factors and breeding state. *Aquatic Insects* 31(4): 301–314, DOI: [10.1080/01650420903110519](https://doi.org/10.1080/01650420903110519)
- Boda P, **Csabai Z** 2013: When do beetles and bugs fly? A unified scheme for describing seasonal flight behaviour of highly dispersing primary aquatic insects. *Hydrobiologia* 703: 133–147, DOI: [10.1007/s10750-012-1350-3](https://doi.org/10.1007/s10750-012-1350-3)
- Boda P, Horváth G, Kriska G, Blahó M, **Csabai Z**, 2014: Phototaxis and polarotaxis hand in hand: night dispersal flight of aquatic insects distracted synergistically by light intensity and reflection polarization. *Naturwissenschaften* 101(5): 385–395, DOI: [10.1007/s00114-014-1166-2](https://doi.org/10.1007/s00114-014-1166-2)
- Csabai Z**, Boda P, Bernáth B, Kriska G, Horváth G 2006: A “polarization sundial” dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology* 51(7): 1341–1350, DOI: [10.1111/j.13652427.2006.01576.x](https://doi.org/10.1111/j.13652427.2006.01576.x)
- Csabai Z**, Kálmán Z, Szivák I, Boda P 2012: Diel flight behaviour and dispersal patterns of aquatic Coleoptera and Heteroptera species with special emphasis on the importance of seasons. *Naturwissenschaften* 99(9): 751–765, DOI: [10.1007/s00114-012-0957-6](https://doi.org/10.1007/s00114-012-0957-6)

Életmenet fejezet

- Boda R, Bereczki C, Pernecker B, Mauchart P, **Csabai Z** 2015a: Life history and multiscale habitat preferences of the red-listed Balkan Goldenring, *Cordulegaster heros* Theischinger, 1979 (Insecta, Odonata), in South-Hungarian headwaters: does the species have mesohabitat-mediated microdistribution? *Hydrobiologia* 760: 121–132, DOI: [10.1007/s10750-015-2317-y](https://doi.org/10.1007/s10750-015-2317-y)
- Boda R, Bereczki C, Ortmann-Ajkai A, Mauchart P, Pernecker B, **Csabai Z** 2015b: Emergence behaviour of the red listed Balkan Goldenring (*Cordulegaster heros* Theischinger, 1979) in Hungarian upstreams: vegetation structure affects the last steps of the larvae. *Journal of Insect Conservation* 19(3): 547–557, DOI: [10.1007/s10841-015-9776-3](https://doi.org/10.1007/s10841-015-9776-3)
- Pernecker B, Mauchart P, **Csabai Z** 2020: What to do if streams go dry? Behaviour of Balkan Goldenring (*Cordulegaster heros*, Odonata) larvae in a simulated drought experiment in SW Hungary. *Ecological Entomology* 45(6): 1457–1465, DOI: [10.1111/een.12931](https://doi.org/10.1111/een.12931)

Felhasznált irodalom

- Ambrus A, Danyik T, Kovács T, Olajos P 2018: Magyarország szitakötőinek kézikönyve (Handbook of the Damselflies and Dragonflies of Hungary). Természettár Könyvsorozat. Magyar Természettudományi Múzeum, Herman Ottó Nonprofit Kft., Budapest, 290 pp.
- Bilton DT, Freeland JR, Okamura B 2001: Dispersal in Freshwater Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 159–181, DOI: [10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114016](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114016)
- Boldrini E, Nativi S, Hradec J, Santoro M, Mazzetti P, Craglia M 2023: GEOSS Platform data content and use. *International Journal of Digital Earth* 16(1): 715–740. [10.1080/17538947.2023.2174193](https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2174193)
- Bonte D, Van Dyck H, Bullock JM, Coulon A, Delgado M, Gibbs M, Lehoucq V, Matthysen E, Mustin K, Saastamoinen M, Schtickzelle N, Stevens VM, Vandewoestijne S, Baguette M, Barton K, Benton TG, Chaput-Bardy A, Clobert J, Dytham C, Hovestadt T, Meier CM, Palmer SCF, Turlure C, Travis JMJ 2012: Costs of dispersal. *Biological Reviews* 87: 290–312, DOI: [10.1111/j.1469-185X.2011.00201.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00201.x)
- Clobert J, Le Galliard JF, Cote J, Meylan S, Massot M 2009: Informed dispersal, heterogeneity in animal dispersal syndromes and the dynamics of spatially structured populations. *Ecology Letters* 12: 197–209, DOI: [10.1111/j.1461-0248.2008.01267.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01267.x)

- De Knijf G, Billqvist M, van Grunsven RHA, Prunier F, Vinko D, Trottet A, Bellotto V, Clay J, Allen DJ 2024: Measuring the pulse of European biodiversity. European Red List of Dragonflies & Damselflies (Odonata). European Commission, Brussels, 46 pp.
- Dévai G 2014: Ritka hegyszitakötő – *Cordulegaster heros* Theischinger, 1979. pp. 181–184. In: Haraszthy L (ed.): Natura 2000 fajok és élőhelyek Magyarországon. Pro Vértess Természetvédelmi Közalapítvány, Csákvár.
- Díaz S, Fargione J, Chapin FS III, Tilman D 2006: Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. PLoS Biology 4(8): e277, DOI: [10.1371/journal.pbio.0040277](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277)
- Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata ZI, Knowler DJ, Lévêque C, Naiman RJ, Prieur-Richard AH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA 2006: Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews 81: 163–182, DOI: [10.1017/S1464793105006950](https://doi.org/10.1017/S1464793105006950)
- Erős T, Hermoso V, Langhans SD 2023: Leading the path toward sustainable freshwater management: Reconciling challenges and opportunities in historical, hybrid, and novel ecosystem types. WIREs Water 10(3): e1645, DOI: [10.1002/wat2.1645](https://doi.org/10.1002/wat2.1645)
- Fekete J, De Knijf G, Dinis M, Padisák J, Boda P, Mizsei E, Várbíró G 2023: Winners and losers: *Cordulegaster* species under the pressure of climate change. Insects 14: 348, DOI: [10.3390/insects14040348](https://doi.org/10.3390/insects14040348)
- GBIF 2025: The Global Biodiversity Information Facility (year) What is GBIF?. <https://www.gbif.org/what-is-gbif> accessed 2025-01-07).
- Haase P, Bowler DE, Baker NJ, Bonada N, Domisch S, García Marquez JR, Heino J, Hering D, Jähnig SC, Schmidt-Kloiber A, Stubbington R, Altermatt F, Álvarez-Cabria M, Amatulli G, Angeler D, Archambaud-Suard G, Arrate Jorrín I, Aspin T, Azpiroz I, Bañares I, Barquín Ortiz J, Bodin CL, Bonacina L, Bottarin R, Cañedo-Argüelles M, Csabai Z, Datry T, de Eyto E, Dohet A, Dörflinger G, Drohan E, Eikland KA, England J, Eriksen TE, Evtimova V, Feio MJ, Ferréol M, Floury M, Forcellini M, Forio MA, Fornaroli R, Friberg N, Fruget JF, Georgieva G, Goethals P, Graça MAS, Graf W, House A, Huttunen KA, Jensen TC, Johnson RK, Jones JI, Kiesel J, Kuglerová L, Larrañaga A, Leitner P, L'Hoste L, Lizée MH, Lorenz AW, Maire A, Manzanos Arnaiz JA, Mckie BG, Millán A, Monteith D, Muotka T, Murphy JF, Ozolins D, Paavola R, Pařil R, Peñas FJ, Pilotto F, Polášek M, Rasmussen JJ, Rubio M, Sánchez-Fernández D, Sandin L, Schäfer RB, Scotti A, Shen LQ, Skuja A, Stoll S, Straka M, Timm H, Tyufekchieva VG, Tziortzis I, Uzunov Y, van der Lee GH, Vannevel R, Varadinova E, Várbíró G, Velle G, Verdonshot PFM, Verdonshot RCM, Vidinova Y, Wiberg-Larsen P, Welti EAR 2023: The recovery of European freshwater biodiversity has come to a halt. Nature 620(7974): 582–588, DOI: [10.1038/s41586-023-06400-1](https://doi.org/10.1038/s41586-023-06400-1)
- Hampton SE, Strasser CA, Tewksbury JJ, Gram WK, Budden AE, Batcheller AL, Duke CS, Porter JH 2013: Big data and the future of ecology. Frontiers in Ecology and the Environment 11: 156–162, DOI: [10.1890/120103](https://doi.org/10.1890/120103)

- Heberling JM, Miller JT, Noesgaard D, Weingart SB, Schigel D 2021: Data integration enables global biodiversity synthesis, *Proceeding of the National Academy of Sciences* 118(6): e2018093118, DOI: [10.1073/pnas.2018093118](https://doi.org/10.1073/pnas.2018093118)
- Kissling WD, Walls R, Bowser A, Jones MO, Kattge J, Agosti D, Amengual J, Basset A, van Bodegom PM, Cornelissen JHC, Denny EG, Deudero S, Egloff W, Elmendorf SC, Alonso García E, Jones KD, Jones OR, Lavorel S, Lear D, Navarro LM, Pawar S, Pirzl R, Rüger N, Sal S, Salguero-Gómez R, Schigel D, Schulz K-S, Skidmore A, Guralnick RP 2018: Towards global data products of essential biodiversity variables on species traits. *Nature Ecology and Evolution* 2: 1531–1540, DOI: [10.1038/s41559-018-0667-3](https://doi.org/10.1038/s41559-018-0667-3)
- Kovács T, Ambrus A, Danyik T, Olajos P 2017: Magyarország szitakötőinek Vörös Listája és faunisztikai bibliográfiája (Odonata). *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 41: 25–58.
- Lang C, Müller H, Waringer JA 2001: Larval habitats and longitudinal distribution patterns of *Cordulegaster heros* Theischinger and *C. bidentata* Sélys in an Austrian forest stream (Anisoptera: Cordulegastridae). *Odonatologica* 30: 395–409.
- Lynch AJ, Cooke SJ, Arthington AH, Baigun C, Bossenbroek L, Dickens C, Harrison I, Kimirei I, Langhans SD, Murchie KJ, Olden JD, Ormerod SJ, Owuor M, Raghavan R, Samways MJ, Schinegger R, Sharma S, Tachamo-Shah R-D, Tickner D, Tweddle D, Young N, Jähnig SC 2023: People need freshwater biodiversity. *WIREs Water* 10(3): e1633, DOI: [10.1002/wat2.1633](https://doi.org/10.1002/wat2.1633)
- Lynch AJ, Hyman AA, Cooke SJ, Capon SJ, Franklin PA, Jähnig SC, McCartney M, Phú Hòa N, Awuor Owuor M, Pittock J, Samways MJ, Silva LGM, Steel EA, Tickner D 2024: Future-proofing the emergency recovery plan for freshwater biodiversity. *Environmental Reviews* 32(3): 350–365, DOI: [10.1139/er-2022-0116](https://doi.org/10.1139/er-2022-0116)
- Maasri A, Jähnig SC, Adamescu MC, Adrian R, Baigun C, Baird DJ, Batista-Morales A, Bonada N, Brown LE, Cai Q, Campos-Silva JV, Clausnitzer V, Contreras-MacBeath T, Cooke SJ, Datry T, Delacámara G, De Meester L, Dijkstra KDB, Tu Do V, Domisch S, Dudgeon D, Erős T, Freitag H, Freyhof J, Friedrich J, Friedrichs-Manthey M, Geist J, Gessner MO, Goethals P, Gollock M, Gordon C, Grossart HP, Gulemvuga G, Gutiérrez-Fonseca PE, Haase P, Hering D, Hahn HJ, Hawkins CP, He F, Heino J, Hermoso V, Hogan Z, Hölker F, Jeschke JM, Jiang M, Johnson RK, Kalinkat G, Karimov BK, Kasangaki A, Kimirei IA, Kohlmann B, Kuemmerlen M, Kuiper JJ, Kupilas B, Langhans SD, Lansdown R, Leese F, Magbanua FS, Matsuzaki SS, Monaghan MT, Mumladze L, Muzon J, Mvogo Ndongo PA, Nejstgaard JC, Nikitina O, Ochs C, Odume ON, Opperman JJ, Patricio H, Pauls SU, Raghavan R, Ramírez A, Rashni B, Ross-Gillespie V, Samways MJ, Schäfer RB, Schmidt-Kloiber A, Seehausen O, Shah DN, Sharma S, Soininen J, Sommerwerk N, Stockwell JD, Suhling F, Tachamo Shah RD, Tharme RE, Thorp JH, Tickner D, Tickner K, Tonkin JD, Valle M, Vitule J, Volk M, Wang D, Wolter C, Worischka S 2022: A global agenda for advancing freshwater biodiversity research. *Ecology Letters* 25: 255–263, DOI: [10.1111/ele.13931](https://doi.org/10.1111/ele.13931)
- Nathan R, Getz WM, Revilla E, Holyoak M, Kadmon R, Saltz D, Smouse PE 2008: A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 105(49): 19052–19059, DOI: [10.1073/pnas.0800375105](https://doi.org/10.1073/pnas.0800375105)

- Pereira HM, Ferrier S, Walters M, Geller GN, Jongman RHG, Scholes RJ, Bruford MW, Brummitt N, Butchart SHM, Cardoso AC, Coops NC, Dulloo E, Faith DP, Freyhof J, Gregory RD, Heip C, Hoft R, Hurtt G, Jetz W, Karp DS, McGeoch MA, Obura D, Onoda Y, Pettorelli N, Reyers B, Sayre R, Scharlemann JPW, Stuart SN, Turak E, Walpole M, Wegmann M 2013: Essential biodiversity variable. *Science* 339: 277–278, DOI: [10.1126/science.1229931](https://doi.org/10.1126/science.1229931)
- Proença V, Martin LJ, Pereira HM, Fernandez M, McRae L, Belnap J, Böhm M, Brummitt N, García-Moreno J, Gregory RD, Pradinho Honrado J, Jürgens N, Opige N, Schmeller DS, Tiago P, van Swaay CAM 2017: Global biodiversity monitoring: From data sources to Essential Biodiversity Variables. *Biological Conservation* 213: 256–263, DOI: [10.1016/j.biocon.2016.07.014](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014)
- Sarremejane R, Cid N, Datry T, Stubbington R, Alp M, Cañedo-Argüelles M, Cordero-Rivera A, Csabai Z, Gutiérrez-Cánovas C, Heino J, Forcellini M, Millán A, Paillex A, Pařil P, Polášek M, Tierno de Figueroa JM, Usseglio-Polatera P, Zamora-Muñoz C, Bonada N 2020: DISPERSE: A trait database to assess the dispersal potential of European aquatic macroinvertebrates. *Scientific Data* 7: 386, DOI: [10.1038/s41597-020-00732-7](https://doi.org/10.1038/s41597-020-00732-7)
- Sayer CA, Fernando E, Jimenez RR, Macfarlane NBW, Rapacciolo G, Böhm M, Brooks TM, Contreras-MacBeath T, Cox NA, Harrison I, Hoffmann M, Jenkins R, Smith KG, Vié JC, Abbott JC, Allen DJ, Allen GR, Barrios V, Boudot JP, Carrizo SF, Charvet P, Clausnitzer V, Congiu L, Crandall KA, Cumberlidge N, Cuttelod A, Dalton J, Daniels AG, De Grave S, De Knijf G, Dijkstra KDB, Dow RA, Freyhof J, García N, Gessner J, Getahun A, Gibson C, Gollock MJ, Grant MI, Groom AER, Hammer MP, Hammerson GA, Hilton-Taylor C, Hodgkinson L, Holland RA, Jabado RW, Juffe Bignoli D, Kalkman VJ, Karimov BK, Kipping J, Kottelat M, Lalèye PA, Larson HK, Lintermans M, Lozano F, Ludwig A, Lyons TJ, Máiz-Tomé L, Molur S, Ng HH, Numa C, Palmer-Newton AF, Pike C, Pippard HE, Polaz CNM, Pollock CM, Raghavan R, Rand PS, Ravelomanana T, Reis RE, Rigby CL, Scott JA, Skelton PH, Sloat MR, Snoeks J, Stiassny MLJ, Tan HH, Taniguchi Y, Thorstad EB, Tognelli MF, Torres AG, Torres Y, Tweddle D, Watanabe K, Westrip JRS, Wright EGE, Zhang E, Darwall WRT 2025: One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. *Nature* 638: 138–145, DOI: [10.1038/s41586-024-08375-z](https://doi.org/10.1038/s41586-024-08375-z)
- Schmidt-Kloiber A, Hering D 2015: www.freshwaterecology.info - an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecological Indicators* 53: 271–282, DOI: [10.1016/j.ecolind.2015.02.007](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.007)
- Smits AP, Hall EK, Deemer BR, Scordo F, Barbosa CC, Carlson SM, Cawley K, Grossart HP, Kelly P, Mammola S, Pintar MR, Robbins CJ, Ruhí A, Saccò M 2025: Too Much and Not Enough Data: Challenges and Solutions for Generating Information in Freshwater Research and Monitoring. *Ecosphere* 16(3): e70205, DOI: [10.1002/ecs2.70205](https://doi.org/10.1002/ecs2.70205)
- Schneider T, Vierstraete A, Kosterin OE, Ikemeyer D, Hu FS, Novelo-Gutiérrez R, Kompier T, Everett L-Jr, Müller O, Dumont HJ, 2024: Molecular phylogeny of the family Cordulegastridae (Odonata) worldwide. *Insects* 15: 622, DOI: [10.3390/insects15080622](https://doi.org/10.3390/insects15080622)
- Schneider T, Vierstraete A, Müller O, van Pelt GJ, Caspers M, Ikemeyer D, Snegovaya N, Dumont HJ 2021: Taxonomic revision of eastern part of Western Palaearctic *Cordulegaster* using

- molecular phylogeny and morphology, with the description of two new species (Odonata: Anisoptera: Cordulegasteridae). *Diversity* 13: 667, DOI: [10.3390/d13120667](https://doi.org/10.3390/d13120667)
- Xia J, Wang J, Niu S 2020: Research challenges and opportunities for using big data in global change biology. *Global Change Biology* 26: 6040–6061, DOI: [10.1111/gcb.15317](https://doi.org/10.1111/gcb.15317)
- VM 2012: 100/2012. (IX. 28.) VM rendelete a védett és a fokozottan védett növény- és állatfajokról, a fokozottan védett barlangok köréről, valamint az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős növény- és állatfajok közzétételéről szóló 13/2001. (V. 9.) KöM rendelet és a növényvédelmi tevékenységről szóló 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet módosításáról. *Magyar Közlöny* 2012(128): 20903–21019.
- Vinko D, Billqvist M, De Knijf G, van Grunsven RHA, Prunier F 2023: *Cordulegaster heros*. The IUCN Red List of Threatened Species, e.T158700A208809715, DOI: [10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T158700A208809715.en](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T158700A208809715.en)
- Wilkinson MD, Dumontier M, Aalbersberg IJ, Appleton G, Axton M, Baak A, Blomberg N, Boiten JW, Da Silva Santos LB, Bourne PE, Bouwman J, Brookes AJ, Clark T, Crosas M, Dillo I, Dumon O, Edmunds S, Evelo CT, Finkers R, González Beltrán A, Gray AJG, Groth P, Goble C, Grethe JS, Heringa J, Hoen PAC't, Hooft R, Kuhn T, Kok R, Kok J, Lusher SJ, Martone ME, Mons A, Packer AL, Persson B, Rocca-Serra P, Roos M, Van Schaik R, Sansone SA, Schultes E, Sengstag T, Slater T, Strawn G, Swertz MA, Thompson M, Van Der Lei J, Van Mulligen EM, Velterop J, Waagmeester A, Wittenburg P, Wolstencroft K, Zhao J, Mons B 2016: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3: 160018, DOI: [10.1038/sdata.2016.18](https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18)
- Wüest RO, Zimmermann NE, Zurell D, Alexander JM, Fritz SA, Hof C, Kreft H, Normand S, Sarmiento Cabral J, Szekely E, Thuiller W, Wikelski M, Karger DN 2020: Macroecology in the age of Big Data – Where to go from here? *Journal of Biogeography* 47: 1–12, DOI: [10.1111/jbi.13633](https://doi.org/10.1111/jbi.13633)