

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola

**Folyóvízi szövőtegzes-lárvák (Trichoptera: Hydropsychidae)
zonális előfordulásának okai, magyarázata, modellezése és
alkalmazott ökológiai vonatkozásai
észak-magyarországi és észak-alföldi vízfolyásokban**

PhD értekezés

Ficsór Márk

Témavezető:

Dr. Csabai Zoltán

tanszékvezető, egyetemi docens

PTE TTK Hidrobiológiai tanszék

PÉCS, 2024

1. BEVEZETÉS

Az ökológiai fülke, vagy *niche* egy olyan többdimenziós tér, melynek tengelyeit különböző környezeti tényezők alkotják, s amelyen belül egy adott faj populációi, egyedei fennmaradni képesek (Chase & Leibold, 2003; Hutchinson, 1978; MacArthur & Levins, 1967). A niche ezen hipotetikus tengelyeinek megismerése, feltérképezése és tanulmányozása, s ezzel együtt a fajok elterjedését befolyásoló környezeti paraméterek meghatározása alapvető eleme az ökológiai kutatásoknak. E konkrétan leírható és mennyiségekkel jellemezhető paraméterek aktuális értékei, lokális különbségei és hosszú távú változásai közvetlen hatással vannak az egyes fajok jelenlétére vagy hiányára, és sok esetben új fajok kialakulásának (speciáció) kulcsfaktorai is lehetnek (Hughes et al., 2009; Mayr, 1973).

A fenti folyamatok különleges jelentőségű szinterei a folyóvízi ökoszisztémák, ahol a víz egyirányú áramlása számos abiotikus és biotikus környezeti tényező – mint pl. a vízhozam, az áramlási sebesség, a víztér éves átlaghőmérséklete, a mederanyag szemcsemérete vagy a szárazföldi energiabeáramlás – gradiensszerű, folytonos eloszlást mutató változását hozza létre a forrástól a torkolat irányába. Ezek a környezeti gradiensek számos folyóvízi élőlénycsoport – pl. halak, makroszkopikus vízi gerinctelenek – fajainak esetében jellegzetes zonációs elterjedési mintázatot alakítanak ki (Allan, 1995; Gordon et al., 1992; Hynes, 1970; Illies, 1961; Stutzner & Dolédec, 2011; Vannote et al., 1980). Ilyen zonációs elterjedéssel jellemezhető csoport a szövőtegzések (Trichoptera: Hydropsychidae) családjának fajai is.

A szövőtegzések, kiváltképp a névadó *Hydropsyche* nemzetség fajai a folyóvízi rendszerekben sajátosan átfedő, szekvenciális elterjedési mintázatot mutatnak, ahol az egyes folyószakaszok egy-egy, általában azonban inkább kettő vagy három karakterisztikus fajnak adnak otthont (Roux et al., 1992).

A világszerte meglehetősen egységes megjelenésű, bár elterjedési területenként más-más fajokat felvonultató szekvenciális zonáció, valamint a nemzetségbe tartozó fajok vízszennyezéssel, szervesanyag-terheléssel és más antropogén hatásokkal szembeni érzékenységének széles spektruma miatt a szövőtegzés-lárvák kiváló bioindikátorok, és egyben ideális modellszervezetek a környezeti faktorok és az elterjedési mintázatok kapcsolatának vizsgálatához (Bonada et al., 2004; Higler & Tolcamp, 1983; Pírvi et al., 2015). Bár a Hydropsychidae család tagjai gyakori szereplői az alkalmazott ökológiai kutatásoknak és a makroszkopikus vízi gerincteleneken alapuló ökológiai minősítési

rendszereknek, a zonális elterjedésüket közvetlenül befolyásoló környezeti faktorok részletes feltárása, valamint azok hatásainak tisztázása és modellezése mindezidáig nem valósult meg teljeskörűen.

A Közép-Európában előforduló szövőtegzések lárváinak longitudinális zonációját befolyásoló legfontosabb abiotikus és biotikus környezeti faktorok között kiemelkedő fontosságúak az olyan, gradiens-szerű hosszirányú eloszlást mutató paraméterek, mint a víztér hőmérsékletváltozásának éves spektruma (Statzner & Dolédec, 2011), az áramlási sebesség (Hildrew & Edington, 1979; Tachet et al., 1992) vagy a mederanyag szemcseméret-eloszlása (Alstad, 1980, 1982; Fuller & Mackay, 1980; Fuller et al., 1983; Wallace, 1975; Wallace et al., 1977), de fontos szerep jut az inkább vízminőség szempontjából érintett tényezőknek, mint az oldott oxigéntartalom (Becker, 1987; Philipson, 1954; Philipson & Moorhouse, 1974), a szervesanyag-terhelés (Buczyńska, 2013; Camargo et al., 2005; Pirvu et al., 2015; Vuori, 1995), a sótartalom (Piscart et al., 2005; Sala et al., 2016; Zinchenko & Golovatyuk, 2013) vagy épp a nehézfémek (Bonada et al., 2005; Tszedel et al., 2016; van der Geest et al., 1999) és általában a szervesanyag-terhelés (Engels et al., 1996; Higler & Tolkamp, 1983; Stuijzand et al., 1999; Vuori, 1995). A biotikus környezeti faktorok (pl. a fajok biológiai jellemzői, az élőhely- és a tápláléktípusok egymás közötti felosztása, az eltérő életciklus-sajátosságok vagy a versengés jelensége) leginkább az azonos élőhelyen előforduló fajok együttélése szempontjából jelentősek, bár egyes faktoroknak, mint pl. a hálóépítési sajátosságoknak, s azon keresztül a táplálék szemcseméretének preferenciájában mutatkozó különbségeknek közvetett szerepe lehet a longitudinális elterjedési mintázatok kialakításában (Alstad, 1982; Malas & Wallace, 1977; Wallace, 1975; Wallace et al., 1977).

A fajok elterjedése és a környezeti változók közötti kapcsolatrendszer feltárása leggyakrabban elterjedési modellek (SDM-ek) létrehozásával történik (Franklin, 2010), melyek segítségével egyaránt meghatározható a fajok jelenléte (vagy hiánya) és egy-egy adott változó között fennálló kapcsolat megléte, annak – a többi vizsgált változóhoz viszonyított – jelentősége, ahogyan az is, miként alakul a jelenlét/hiány valószínűsége a változó különböző értékeinek esetén. Kellően komplex, körültekintően megválasztott változók alkalmazásával felállított modellek a jelenlét (vagy hiány) és az egyes változók közötti kapcsolatok ismeretében predikcióra lehetnek képesek egy-egy faj lehetséges megjelenését illetően korábban feltáratlan vagy el nem foglalt élőhelyeken.

Az elterjedési modellek megalkotásának egyre szélesebb körben elterjedt eszközei a gépi tanulási (machine learning – ML) algoritmusok, melyek a korábban alkalmazott,

általában lineáris, leíró jellegű statisztikai módszerekhez és ordinációs technikákhoz képest jobban alkalmazhatóak az ökológiai kutatások során jellemzően létrejövő hiányos vagy egyenlőtlen eloszlású, többváltozós adatsorok elemzésére, emellett – a legtöbb esetben – képesek a vizsgált változók fontossági sorrendjének felállítására és a felismert összefüggéseken alapuló, nagy pontosságú előrejelzések (predikciók) létrehozására is (Elith et al., 2006; Guisan et al., 2002, Knudby et al., 2010; Olden et al., 2008, Šmilauer & Lepš, 2014, Valavi et al., 2021). Az egyes ML-algoritmusok mindezek mellett még össze is szerelhetők (ensemble modelling), tovább növelve a vizsgált adatokban rejlő összefüggések felismerésének, és a felismert mintázatokon alapuló előrejelzések pontosságát (Rokach, 2010; Wolpert, 1992).

2. CÉLKITŰZÉSEK

A meglehetősen egységes megjelenésű, bár elterjedési területenként más-más fajokat felvonultató szekvenciális zonáció, valamint a *Hydropsyche* génuszba tartozó fajok vízszennyezéssel, szervesanyag-terheléssel és más antropogén hatásokkal szembeni érzékenységének széles spektruma miatt a szövőtegzés-lárvák kiváló bioindikátorok, és egyben ideális modellszervezetek a környezeti faktorok és az elterjedési mintázatok kapcsolatának vizsgálatához. Bár a Hydropsychidae család tagjai gyakori szereplői az alkalmazott ökológiai kutatásoknak és a makroszkopikus vízi gerincteleneken alapuló ökológiai minősítési rendszereknek, a zonális elterjedésüket közvetlenül befolyásoló környezeti faktorok részletes feltárása, valamint azok hatásainak tisztázása és modellezése mindezekig nem valósult meg teljes körűen.

Kutatásaink során célul tűztük ki:

- (1) a vizsgált területen előforduló 10 különböző *Hydropsyche* faj lárváinak elterjedését befolyásoló legfontosabb fizikai-kémiai, élőhelytípusokhoz kapcsolódó, valamint területhasználattal összefüggő változók azonosítását,
- (2) a kiválasztott változók alapján a hasonló ökológiai preferenciával jellemezhető fajok csoportosítását (clustering), és
- (3) a kiválasztott változók, mint prediktorok alkalmazásával egy több ML-algoritmuson alapuló, "összeszerelt" statisztikai modell megalkotását.

A fenti lépések eredményeinek kiértékelésével megismerhetők a csoport zonális elterjedését kiváltó legfontosabb tényezőket és azok közvetlen vagy közvetett hatását a fajok előfordulására nézve, egy megfelelően megépített modellel pedig megbecsülhető lehet a modellben szereplő fajok vagy fajcsoportok várható előfordulása ismeretlen faunájú vízterekben, ahogyan a fajok/fajcsoportok elterjedési mintázatának megváltozása is különböző klímaszenáriók esetén.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az értekezés alapjául szolgáló mintavételek 2009 és 2018 között történtek 94 különböző folyóvízi mintavételi helyen Észak-Magyarországon és az Észak-Alföldön a Tisza folyó jobb oldali vízgyűjtő területén. A szövőtegzés-lárvák gyűjtését a teljes makroszkopikus vízi gerinctelen csoport részeként az Európai Unió Víz Keretirányelvéhez (VKI) kapcsolódó biológiai monitoring vizsgálatok részeként az AQEM-protokoll előírásait követő módszertan (Boda et al., 2023) szerint végeztük.

A vizek fizikai-kémiai paramétereinek meghatározására a VKI monitoring végrehajtásáért területileg felelős Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Kormányhivatal Népegészségügyi Főosztályának (BAZ VKH NFO) Környezetvédelmi Mérőközpontjában, akkreditált módszerek alkalmazásával került sor, az élőhelytípusok borítási értékeit pedig a makroszkopikus vízi gerinctelen élőlénycsoportot érintő mintavételek során jegyeztük fel. Egyes hidrológiai paraméterek mérési adatait az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉMVIK) biztosította számunkra.

Az adatok elemzéséhez alapvetően dimenziócsökkentő eljárásokat, döntési fa alapú gépi tanulási (machine learning – ML) algoritmusokat, és regressziós modelleket alkalmaztunk.

Dimenziócsökkentés (pl. redundancia elemzés – RDA, hierarchikus osztályozás) során az eredeti, sok dimenzióval (esetünkben környezeti változóval) rendelkező adathalmazban olyan új attribútumokat tárunk fel, amelyek az eredeti attribútumok (dimenziók, változók) lineáris kombinációi, vagy meghatározzuk a dimenziók egy olyan csoportját, amely mentén az adathalmaz bizonyos elemei hasonlítanak egymáshoz, de különböznek más elemektől.

A döntési fa (decision tree) alapú gépi tanulási módszerek olyan predikciós algoritmusok, amelyek gyenge predikciós képességgel jellemezhető, egyszerű döntési fákat hoznak létre, melyek jellemzőit és predikcióit azután különböző módon egyesítik,

összegzik, hatékonyabb predikciós képességgel rendelkező algoritmusokat állítva elő. Az általunk alkalmazott algoritmusok: *Random Forest* (RF – Breiman, 2001), *Bagged Adaptive Boosting* (AdaBag – Freund & Schapire, 1997), *Gradient Boosting* (GBM – Friedman, 2001) és *Extreme Gradient Boosting* (XGB – Chen & Guestrin, 2016) a ML-módszerek két alapvetően különböző típusába, a „zsákolásos” (bootstrap aggregating = „bagging”) mintavételre alapuló, illetve a „boosting” eljárásra alapuló algoritmusok közé tartoznak.

A regressziós modellek csoportjába tartozik az adatlemzés egyik végső lépése során alkalmazott, ún. „büntetett” multinomiális logisztikus regresszió (*Penalized Multinomial Logistic Regression* – PMLR) (Anderson & Blair, 1982), amely egy esemény bekövetkezésének valószínűségét igyekszik prediktálni úgy, hogy az esemény bekövetkezésének esélye egy vagy több független változó (prediktor) lineáris kombinációja.

Az adatok előkészítését követően az egyes fajok jelenlétét/hiányát befolyásoló legfontosabb környezeti tényezőket ötszörösen keresztvalidált Random Forest modellekkel (Liaw & Wiener, 2002) határoztuk meg, a végső modellek által legfontosabbnak ítélt változók közül pedig az adott faj jelenlétét mutató esetek 1/10-ének megfelelő mennyiséget tartottunk meg.

A hasonló ökológiai igényű fajok csoportokba rendezésének első lépéseként redundancia analízist (RDA – Oksanen et al., 2020) használtunk, amelynek első négy tengelyén az egyes fajok által elfoglalt pontértékeiből távolság-mátrixot képeztünk, majd ezt a mátrixot hierarchikus osztályozásnak (Kassambara & Mundt, 2020) vetettük alá. A hierarchikus osztályozás eredményeként egy csoportba sorolt fajokat együtt, csoportként kezeltük a további adatelemzési lépések során.

A faj(csoport)ok és a kiválasztott környezeti tényezők közötti kapcsolat modellezése során ún. „stacking ensemble” technikát alkalmaztunk (Wolpert 1992), melynek első lépésként a teljes adatsort véletlenszerűen szétosztottuk 3/4–1/4 arányban egy-egy reprezentatív tanulási (3/4) és teszt (1/4) adatsorra. A négy 1. szintű alapmodellt (RF, GBM, AdaBag és XGB) a teljes adatsor random felosztással kapott 3/4-ed részén „tanítottuk be” ötszörös keresztvalidálás alkalmazásával. Ezzel az eljárással mind a 4 algoritmus esetében egy olyan adatsort (predikciókat) kaptunk, amelyek a tanulás során a modell számára egyenként „láthatatlan” egységekre vonatkozó becslések eredményei. Ezeket az adatsorokat független változóként használtuk a végső (meta-) modell tanulási fázisában.

A 2. szintű modelleket az 1. szint tanulási fázisai során meghatározott hiperparaméterekkel futtatuk le az adatok felosztásával létrehozott 1/4 részt tartalmazó teszt halmazra. Ezzel a lépéssel egy olyan mátrixot kaptunk, melyben a „függő változók” az eddigiekhez hasonlóan a domináns faj(csoport)ok, a „független változók” pedig a 2. szintű alapmodellek predikciói.

Végző lépésként, a létrehozott modell teljesítményének kiértékelése céljából büntetett multinomiális logisztikus regresszió segítségével az 1. szintű modellek teljesítményét kombinálva, az általuk létrehozott predikciókból tanulva becsléseket tettünk a modell számára „ismeretlen”, de azonos típusú változókat tartalmazó adatsor függő változóira. A modellek predikciós teljesítményét minden esetben a pontosság (Accuracy), a Cohen-féle kappa együttható (κ) és a vevő működési karakterisztika-görbék alatti terület (AUC) kiszámításával értékeltük.

4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Faunisztikai eredmények

A 10 éves mintavételi intervallumban 10 szövőtegesfaj – a *H. angustipennis*, a *H. bulbifera*, a *H. bulgaromanorum*, a *H. contubernalis*, a *H. fulvipes*, a *H. incognita*, a *H. instabilis*, a *H. modesta*, a *H. pellucidula* és a *H. saxonica* – összesen 9376 db lárvaegyedét gyűjtöttük be összesen 278 mintavételi esemény alkalmával. Az abundanciaadatok és a környezeti változók adatainak összevonását követően az elemzésekhez használt teljes adathalmazunk 215 „esetből” állt. Legnagyobb egyedszámban és gyakorisággal a kevésbé érzékeny, antropogén hatásokkal szemben nagyobb toleranciával jellemezhető fajok kerültek elő.

A kimutatott 10 *Hydropsyche* faj ökológiai preferenciák szempontjából széles spektrumot fed le. A *H. fulvipes*, a *H. instabilis* és a *H. saxonica* a vízrendszerek krenális régiójában, valamint a rithrális régió felsőbb részein fordult elő, a *H. incognita* és a *H. pellucidula* a rithrális régió teljes hosszára jellemző volt, míg a nagyobb folyókban és folyamokban előforduló *H. contubernalis* és a *H. bulgaromanorum* a potamális régiók mintavételi helyeiről kerültek elő. A legnagyobb tűrőképességgel jellemezhető *H. angustipennis*, *H. bulbifera* és *H. modesta* fajok előfordulását a vízrendszerek középső szakaszainak különböző méretű, változatos víztereiben számíthattunk (Waringer & Graf,

2011). Az előfordulási adatok a *Hydropsyche* génuszra jellemző és ismert zonációs mintázatot követték.

A vizsgált környezeti háttérváltozók és hatásuk a szövőteges-fajok elterjedésére

A 10 előforduló faj jelenléte/hiánya szempontjából összesen 13 környezeti háttérváltozó bizonyult meghatározó jelentőségűnek. Ezek szerint a *H. fulvipes*, *H. instabilis* és *H. saxonica* fajokat magában foglaló *fulv_inst_saxo* fajcsoport tagjai a magasabb térszínű, nagyobb szemcseméretű habitatokkal rendelkező, alacsonyabb átlaghőmérsékletű, alacsonyabb só- és nitrát-tartalmú vizeit részesítik előnyben, míg a potamáli régiók jellemző fajainak (*H. modesta*, *H. contubernalis* és *H. bulgaromanorum*) előfordulására a forrástól számított nagyobb távolságú, nagy vízhozamú folyóvizekben számíthatunk. A rhitrális régió kis- és közepes méretű vízfolyásainak jellemző fajai és fajcsoportjai változatos preferenciákkal jellemezhetők, nyilvánvaló azonban a magasabb tűrőképességgel rendelkező fajok (kiváltképp a *H. angustipennis*) antropogén terhelésekkel összefüggésbe hozható változókkal – pl. kémiai-oxigénigény (COD) ill. ortofoszfát-foszfor tartalom (PO₄P) – szembeni toleranciája.

Figyelemre méltó a fontosnak ítélt 13 változó változatos térléptéke, azok között ugyanis kis térléptékben mért környezeti paramétereket (ilyenek a pontszerűen mért fizikai-kémiai változók, pl. vezetőképesség, kémiai oxigénigény, ortofoszfát-foszfortartalom stb.), közepes térléptékű – megközelítőleg 50–100 m-es léptékben mért –, habitat-jellegű paramétereket (pl. finom és durva szemcseméretű szubsztrátok aránya) és nagy térléptékben mért geográfiai jellegű változókat (pl. tengerszint feletti magasság) is megfigyelhetünk.

A hasonló ökológiai igényű fajok csoportosítása

A fajok abundanciaértékei és a kiválasztott környezeti változók közötti kapcsolatok további elemzését célzó redundancia-analízis (RDA) első négy tengelye az előfordulási adatok varianciájának rendre 38,23%, 19,44%, 18,94% ill. 11,91%-át magyarázta.

A hierarchikus osztályozás a vizsgált 10 fajt 6 csoportba sorolta, melyek közül 3 csak egy-egy fajt (*H. bulgaromanorum*, *H. contubernalis* és *H. modesta*), a többi kettőt (*H. incognita* + *H. pellucidula*, ill. *H. angustipennis* + *H. bulbifera*) vagy hármat (*H. fulvipes* + *H. instabilis* + *H. saxonica*) foglal magába. A csoportosítás igen pontosan tükrözi a fajok irodalmi adatoknak – pl. Pitsch, 1993; Waringer & Graf, 2011; Dohet, 2002; Lechthaler &

Stockinger, 2005 – megfelelő, folyóvízi szinttájakkal, valamint a környezeti terheléssel szembeni preferenciáit, illetve toleranciáját.

Külön csoportba (*bulg*) került a legnagyobb folyók potamális régiójában előforduló *H. bulgaromanorum*. Hozzá legközelebb a szintén egy-egy fajt tartalmazó *cont* és *mode* csoportok fajai (*H. contubernalis*, *H. modesta*) kerültek, melyek az előzőhöz hasonló szinttájakon jellemzőek, de a vizsgált területen átlagosan nagyobb tengerszint feletti magasságú helyekről kerültek elő, mint az előző faj. Az elválási pontok távolsága szerint következő *angu_bulb* csoport fajai (*H. angustipennis* és *H. bulbifera*) a potamális régiókba csak a legritkább esetben hatolnak le, sokkal inkább jellemzőek a rithrális régió kis- és közepes méretű folyóvizeire (Lechthaler & Stockinger, 2005; Waringer & Graf, 2011). Az *inco_pell* csoport képviselői (*H. incognita* és *H. pellucidula*) a rithrális régiók tipikus fajai, amelyek magasabb térszíneken is előfordulhatnak; tűrőképességük az előző csoporténál szűkebb. Az előzőektől teljesen elkülönülő osztályba (klaszterbe) került *fulv_inst_saxo* csoport a hegy- és dombvidéki kisvízfolyások környezeti terhelésekre leginkább érzékeny fajait (*H. fulvipes*, *H. instabilis* és *H. saxonica*) tömöríti. Az ide tartozó fajok elterjedési területükön belül mindenhol a legmagasabb térszín lakói, s egyben a génusz környezeti terhelésekkel szemben legérzékenyebb tagjai (Edington & Hildrew, 1995; Graf et al., 2008, Higler & Tolkamp, 1983; Statzner & Dolédec, 2011).

A környezeti háttérváltozók és a fajcsoportok domináns jelenléte közötti kapcsolat modellezésének eredményei

A kalszterezés eredményeként létrejött csoportok domináns jelenlétét előrejelző 1. szintű alapmodellek közepes vagy gyenge predikciós potenciállal rendelkeztek, viszont az általuk meghatározott legfontosabb változók listája nagy hasonlóságot mutatott, emellett a környezeti változók térléptékének változatossága is megmaradt, függetlenül attól, hogy a függő változó – ti. a domináns faj(csoport)ok – "felbontását" a hierarchikus osztályozással csökkentettük. Leggyengébben közülük az AdaBag (AUC = 0,715, pontosság = 0,475, Kappa = 0,269) algoritmus teljesített, ezt követte az XGB (AUC = 0,760, pontosság = 0,468, Kappa = 0,296), majd a GBM (AUC = 0,777, pontosság = 0,506, Kappa = 0,332) következett, a legpontosabb predikciókat pedig a RF (AUC = 0,802, pontosság = 0,526, Kappa = 0,347) adta. A korábbi vizsgálatok során tapasztalt teljesítményükhöz (pl. Valavi et al., 2022; Zhang et al. 2019) viszonyított gyenge teljesítmény minden bizonnyal az

egyenlőtlen adateloszlás (Benkendorf et al., 2013), a viszonylag alacsony esetszám (van Proosdij et. al., 2016) és a szigorú validálási követelmények számlájára írható.

A végső (meta-) modell mindhárom kiértékelési metrikája jelentősen magasabb értéket mutatott, mint az 1. szintű alapmodelleké (AUC = 0,847, pontosság = 0,769, Kappa = 0,686), emellett a csoportok jelenlétét előrejelző képessége (szenzitivitás – TPR) a *H. bulgaromanorum* ill. *H. contubernalis* fajokat magában foglaló két csoport esetében maximálisnak (*bulg*: TPR = 1,000 ill. *cont*: TPR = 1,000), a *H. angustipennis* és *H. bulbifera* fajokat tömörítő csoport esetében pedig szintén igen magasnak bizonyult (*angu_bulb*: TPR = 0,9084). A modell fajcsoportokra vonatkozó "összteljesítményét" mérni hivatott, szenzitivitás és specificitás átlaga alapján számolt igazított pontosság (balanced accuracy) értéke a *bulg*, *cont* és *fulv_inst_saxo* csoportok esetében volt a legmagasabb (1,000, 0,978 ill. 0,888), az *angu_bulb*, *inco_pell* és *mode* csoportok esetében pedig a legalacsonyabb (0,856, 0,689 ill. 0,621).

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a *Hydropsyche*-fajok lárváinak jelenlétét/hiányát befolyásoló, legfontosabb paraméterek nagyobb része gradiens-szerű hosszirányú eloszlást mutat, míg kisebb számban hatással vannak rá olyan tényezők is, amelyek jellemzően inkább a vizek ökológiai állapotának indikátorai, és értékeiknek alakulása főként antropogén eredetű diffúz vagy pontszerű terhelések folyamánya.

Az elterjedés szempontjából legfontosabbnak ítélt környezeti változók együttes hatása elemzésének eredményeként olyan csoportokat (clustereket) tudtunk létrehozni, melynek tagja(i) – akár egyetlen fajról van szó, akár többről, – igazoltan hasonló ökológiai igényekkel bírnak.

A faj(csoport)ok domináns előfordulásának környezeti tényezők által befolyásolt lehetőségeit megtanulni, statisztikai nyelvre fordítani, valamint azokat előre jelezni hivatott, gépi tanuláson (ML) alapuló végső modell kellő pontosságú predikciókra volt képes, így megállapítottuk, hogy

– megfelelő környezeti paraméterek ismeretében egy adott (rész)vízgyűjtőn előforduló *Hydropsyche* fajok lárváinak elterjedési mintázata jól modellezhető gépi tanulás (ML) alapú statisztikai algoritmusokkal;

– a folyóvízi élőhelyek mozaikossága, valamint a vízrendszerek dendritikus felépítéséből adódó, sajátos hosszirányú kapcsolata miatt folyóvízi ökoszisztémák modellezése esetén kiemelt fontosságú a változatos térléptékű változók alkalmazása;

– a fajok előfordulási adatainak természetszerű egyenetlensége miatt szigorúan felügyelt (5-szörösen keresztvalidált) tanulási metódus alkalmazása esetén egy-egy önálló ML-algoritmussal kevésbé pontos, de azok "összeszerelésével" (stacking ensemble) kellő pontosságú modell állítható fel az elterjedési mintázat magyarázatára;

– a fenti módszerrel felállított modell segítségével kellő pontossággal becsülhető meg egy-egy szövőtegzés faj vagy fajcsoport lárváinak domináns jelenléte, illetve hiánya ismeretlen faunájú vizekben;

– a modell alkalmas lehet az elterjedési területek/mintázatok változásainak vizsgálatára különböző klíma- vagy környezeti scenáriók keretében;

– hasonló spektrumú gyűjtési és mérési adatok megléte esetén az általunk alkalmazott modellezési technika alkalmas lehet más élőlénycsoportok fajainak/taxonjainak környezeti változóktól függő elterjedési mintázatainak vizsgálatára is.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- ALLAN, J. D. (1995): Stream ecology. – Chapman & Hall, London, 388 pp.
- ALSTAD, D. N. (1980): Comparative biology of the common Utah Hydropsychidae (Trichoptera). – American Midland Naturalist 103: 167-174.
- ALSTAD, D. N. (1982): Current speed and filtration rate link caddisfly phylogeny and distributional patterns on a stream gradient. – Science 216: 553-554.
- ANDERSON, J. A. – BLAIR, V. (1982): Penalized maximum likelihood estimation in logistic regression and discrimination. – Biometrika 69(1): 123-136.
- BECKER, G. (1987): Net-building behaviour, tolerance and development of two caddisfly species from the river Rhine (*Hydropsyche contubernalis* and *H. pellucidula*) in relation to the oxygen content. – Oecologia (Berlin) 73: 242-250.
- BENKENDORF, D. J. – SCHWARTZ, S. D. – CUTLER, D. R. – HAWKINS, C. P. (2023): Correcting for the effects of class imbalance improves the performance of machine-learning based species distribution models. – Ecological Modelling 483: 110414.
- BODA, P. – VÁRBÍRÓ, G. – FICSÓR, M. (2023): Módszertani Kézikönyv a Víz Keretirányelv feladataihoz kapcsolódóan a makroszkopikus vízi gerinctelenek mintavételéhez és ökológiai állapotértékeléséhez. - Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 60 pp.
- BONADA, N. – ZAMORA-MUÑOZ, C. – RIERADEVALL, M. – PRAT, N. (2004): Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. – Environmental pollution 132: 509-521.
- BONADA, N. – VIVES, S. – RIERADEVALL, M. – PRAT, N. (2005): Relationship between pollution and fluctuating asymmetry in the pollution-tolerant caddisfly *Hydropsyche exocellata* (Trichoptera, Insecta). – Archiv für Hydrobiologie 162: 167–185.
- BREIMAN, L. (2001): Random Forests. – Machine Learning 45: 5-32.
- BUCZYŃSKA, E. (2013): The influence of a dam reservoir on caddisflies (Trichoptera) of an upland river on the example of the River Bystrzyca (south-eastern Poland). – Ochrona Środowiska I Zasobów Naturalnych 24: 17-22.
- CAMARGO, J. A. – ALONSO, A. – SALAMANCA, A. (2005): Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. – Chemosphere 58: 1255-1267.
- CHASE, J. M. – LEIBOLD, M. A. (2003): Ecological niches: Linking classical and contemporary approaches. – University of Chicago Press, Chicago, 221 pp.

- CHEN, T. – GUESTRIN, C. (2016): XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. – KDD '16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, August 2016: 785–794.
- DOHET, A. (2002) - Are caddisflies an ideal group for the biological assessment of water quality in streams? – In: W. MEY (ed.): Proceedings of the 10th International Symposium on Trichoptera, Potsdam, Germany – Nova Supplementa Entomologica, Keltern 15: 507-520.
- EDINGTON, J. M. – HILDREW, A. G. (1995): A revised key to the caseless caddis larvae of the British Isles, with notes on their ecology. – Freshwater Biological Association Scientific Publications 53: 1-119.
- ELITH, J. – GRAHAM, C. H. – ANDERSON, R. P. – DUDÍK, M. – FERRIER, S. – GUISAN, A. – HIJMANS R. J. – HUETTMAN, F. – LEATHWICK, J. R. – LEHMANN, A. – LI, J. – LOHMANN, L. G. – LOISELLA, B. A. – MANION, G. – MORITZ, C. – NAKAMURA, M. – NAKAZAWA, Y. – OVERTON, J. MCC. M. – TOWNSEND PETERSON, A. – PHILLIPS, S. J. – RICHARDSON, K. – SCHACHETTI-PEREIRA, R. – SCHAPIRE, R. E. – SOBERÓN, J. – WILLIAMS, S. – WISZ, M. S. – ZIMMERMANN, N. E. (2006): Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. – *Ecography* 29(2): 129-151.
- ENGELS, S. – NEUMANN, D. – LÖBBEL, H. – BRÜHNE, M. (1996): Waiting for Hydropsyche – why has only one of at least four local Hydropsyche species returned into the Lower Rhine? – *Large Rivers* 10: 313–314.
- FRANKLIN, J. (2010): Mapping species distributions: spatial inference and prediction. – Cambridge University Press, 340 pp.
- FREUND, Y. – SCHAPIRE, R. E. (1997): A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. – *Journal of Computer and System Sciences* 55(1): 119-139.
- FRIEDMAN, J. H. (2001): Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. – *The Annals of Statistics* 29(5): 1189-1232.
- FULLER, R. L. – MACKAY, R. J. (1980): Feeding ecology of three species of Hydropsyche (Trichoptera: Hydropsychidae) in southern Ontario. – *Canadian Journal of Zoology* 58: 2239-2251.
- FULLER, R. L. – MACKAY, R. J. – HYNES, H. B. N. (1983): Seston capture by Hydropsyche betteni nets (Trichoptera, Hydropsychidae). – *Archiv für Hydrobiologie* 97: 251-261.

- GORDON, N. D. – MCMAHON, T. A. – FINLAYSON, B. L. (1992): Stream hydrology. – Wiley, Chichester, 526 pp.
- GRAF, W. – MURPHY, J. – DAHL, J. – ZAMORA-MUÑOZ, C. – LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M. J. (2008): Trichoptera. – In: SCHMIDT-KLOIBER, A. – HERING, D. (eds.): Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms vol. 1., Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, 388 pp.
- GUISAN, A. – EDWARDS, T. C. – HASTIE, T. (2002): Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. – *Ecological Modelling* 157: 89-100.
- HIGLER, L. W. G. – TOLKAMP, H. H. (1983): Hydropsychidae as bio-indicators. – *Environmental Monitoring and Assessment* 3: 331-341.
- HILDREW, A. G. – EDINGTON, J. M. (1979): Factors facilitating the coexistence of Hydropsychid caddis larvae (Trichoptera) in the same river system. – *Journal of Animal Ecology* 48: 557-576.
- HUGHES, J. M. – SCHMIDT, D. J. – FINN, D. S. (2009): Genes in streams: using DNA to understand the movement of freshwater fauna and their riverine habitat. – *BioScience* 59: 573-583.
- HUTCHINSON, G. E. (1978): An introduction to population ecology. – Yale University Press, New Haven and London, 271 pp.
- HYNES, H. B. N. (1970): The ecology of running waters. – University of Toronto Press, Toronto, Ontario, Canada, 555 pp.
- ILLIES, J. (1961): Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. – *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 46: 205-213.
- KASSAMBARA, A. – MUNDT, F. (2020): factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. – R package, version 1.0.7.
- KNUDBY, A. – BRENNING, A. – LEDREW, E. (2010): New approaches to modelling fish-habitat relationships. – *Ecological Modelling* 221(3): 503-511.
- LECHTHALER, W. – STOCKINGER, W. (2005): Trichoptera – Key to Larvae from Central Europe (DVD)
- LIAW, A. – WIENER, M. (2002): Classification and Regression by randomForest. – *R News*, 2(3), 18-22.
- MACARTHUR, R. – LEVINS, R. (1967): The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. – *The American Naturalist* 101(921): 377-385.

- MALAS, D. – WALLACE, J. B. (1977): Strategies for coexistence in three species of net-spinning caddisflies (Trichoptera) in second-order southern Appalachian streams. – Canadian Journal of Zoology 55: 1829-1840.
- MAYR, E. (1947): Ecological factors in speciation. – Evolution 1(4): 263-288.
- OKSANEN, J. – BLANCHET, F. G. – FRIENDLY, M. – KINDT, R. – LEGENDRE, P. – MCGLINN, D. – MINCHIN, P. R. – O’HARA, R. B. – SIMPSON, G. L. – SOLYMOS, P. – STEVENS, M. H. H. – SZOECES, E. – WAGNER, H. (2020): vegan: Community Ecology Package. – R package, version 2.5-7.
- OLDEN, J. D. – LAWLER, J. J. – POFF, N. L. (2008): Machine learning methods without tears: A primer for ecologists. – The Quarterly Review of Biology 83(2): 171-193.
- PHILIPSON, G. N. (1954): The effect of water flow and oxygen concentration on six species of caddis fly (Trichoptera) larvae. – Proceedings of the Zoological Society of London 124: 547-564.
- PHILIPSON, G. N. – MOORHOUSE, B. H. S. (1974): Observations on ventilatory and net-spinning activities of larvae of the genus *Hydropsyche* (Trichoptera, Hydropsychidae) under experimental conditions. – Freshwater Biology 4: 525-533.
- PÎRVU, M. – ZAHARIA, C. – SATMARI, A. – PÂRVULESCU, L. (2015): Spatial ecology of *Hydropsyche incognita* (Trichoptera: Hydropsychidae) in the Carpathians. – European Journal Of Entomology 112: 106-113.
- PISCART, C. – LECERF, A. – USSEGLIO-POLATERA, P. – MORETEAU, J.-C. – BEISEL, J.-N. (2005): Biodiversity patterns along a salinity gradient: the case of net-spinning caddisflies. – Biodiversity and Conservation 14: 2335–2349.
- PITSCH, T. (1993): Zur Larvaltaxonomie, Faunistik und Ökologie mitteleuropäischer Fließwasser-Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera). – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung – Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung – Sonderheft S 8: 316 pp. – Technische Universität Berlin.
- ROKACH, L. (2010): Ensemble-based classifiers. – Artificial Intelligence Review 33: 1-39.
- ROUX, C. – TACHET, H. – BOURNAUD, M. – CELLOT, B. (1992): Stream continuum and metabolic rate in the larve of five species of *Hydropsyche* (Trichoptera). – Ecography 15: 70-76.
- SALA, M. – FARIA, M. – SARASÚA, I. – BARATA, C. – BONADA, N. – BRUCET, S. – LLENAS, L. – PONSÁ, S. – PRAT, N. – SOARES, A. M. V. M. – CAÑEDO-ARGUELLES, M. (2016): Chloride and sulphate toxicity to *Hydropsyche exocellata* (Trichoptera,

- Hydropsychidae): Exploring intraspecific variation and sub-lethal endpoints. – *Science of the Total Environment* 566–567: 1032–1041.
- ŠMILAUER, P. – LEPŠ, J. (2014): *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5*. (2nd edition) – Cambridge University Press, 376 pp.
- STATZNER, B. – DOLÉDEC, S. (2011): Phylogenetic, spatial and species-trait patterns across environmental gradients: the case of *Hydropsyche* (Trichoptera) along the Loire River. – *International Review of Hydrobiology* 96: 121-140.
- STUIJFZAND, S. C. – ENGELS, S. – VAN AMMELROOY, E. – JONKER, M. (1999): Caddisflies (Trichoptera: Hydropsychidae) used for evaluating water quality of large European rivers. – *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 36: 186-192.
- TACHET, H. – PIERROT, J. P. – ROUX, C. – BOURNAUD, M. (1992): Netbuilding behaviour of six *Hydropsyche* species (Trichoptera) in relation to current velocity and distribution along the Rhône River. – *Journal of the North American Benthological Society* 11: 350-365.
- TSZYDEL, M. – MARKOWSKI, M. – MAJECKI, J. (2016): Larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Hydropsychidae) as indicators of stream contamination by heavy metals in Łódź agglomeration. – *Zootaxa* 4138: 127-138.
- VALAVI, R. – ELITH, J. – LAHOZ-MONFORT, J. J. – GUILLERA-ARROITA, G. (2021): Modelling species presence-only data with random forests. – *Ecography* 44(12): 1731-1742.
- VALAVI, R. – GUILLERA-ARROITA, G. – LAHOZ-MONFORT, J. J. – ELITH, J. (2022): Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. – *Ecological Monographs* 92(1): e01486.
- VAN DER GEEST, H. G. – GREVE, G. D. – DE HAAS, E. M. – SCHEPER, B. B. – KRAAK, M. H. S. – STUIJFZAND, S. C. – AUGUSTIJN, K. H. – ADMIRAAL, W. (1999): Survival and behavioural responses of larvae of the caddisfly *Hydropsyche angustipennis* to copper and diazinon. – *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 1965-1971.
- VAN PROOSDIJ, A. S. J. – SOSEF, M. S. M. – WIERINGA, J. J. – RAES, N. (2016): Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. – *Ecography* 39: 542–552.
- VANNOTE, R. L. – MINSHALL, G. W. – CUMMINS, K. W. – SEDELL, J. R. – CUSHING, C. E. (1980): The River Continuum Concept. – *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 27: 130-137.

- VUORI, K-M. (1995): Species- and population-specific responses of translocated hydropsychid larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) to runoff from acid sulphate soils in the River Kyrönjoki, western Finland. – *Freshwater Biology* 33: 305-318.
- WALLACE, J. B. (1975): Food partitioning in net-spinning Trichoptera larvae: *Hydropsyche venularis*, *Cheumatopsyche etrona* and *Macronema zebratum*. – *Annals of the Entomological Society of America* 68: 463-472.
- WALLACE, J. B. – WEBSTER, J. R. – WOODALL, W. R. (1977): The role of filter-feeders in flowing waters. – *Archiv für Hydrobiologie* 79: 506-532.
- WARINGER, J. – GRAF, W. (2011): Atlas der mitteleuropäischer Köcherfliegenlarven – Atlas of Central European Trichoptera Larvae. – Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, 468 pp.
- WOLPERT, D. H. (1992): Stacked generalization. – *Neural Networks* 5: 241-259.
- ZHANG, L. – HUETTMANN, F. – ZHANG, X. – LIU, S. – SUN, P. – YU, Z. – MI, C. (2019): The use of classification and regression algorithms using the random forests method with presence-only data to model species' distribution. – *MethodsX* 6: 2281-2292.
- ZINCHENKO, T. D. – GOLOVATYUK, L. V. (2013): Salinity tolerance of macroinvertebrates in stream waters (Review). – *Arid Ecosystems* 3: 113-121.

7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

A doktori értekezés alapjául szolgáló tudományos közlemények

FICSÓR, M. – CSABAI, Z. (2021): Longitudinal zonation of larval Hydropsyche (Trichoptera: Hydropsychidae): abiotic environmental factors and biotic interactions behind the downstream sequence of Central European species. – *Hydrobiologia* 848: 3371–3388. (IF= 2.822, SJR= Q1), DOI: [10.1007/s10750-021-04602-0](https://doi.org/10.1007/s10750-021-04602-0)

FICSÓR M. – CSABAI, Z. (2023): Machine learning model ensemble based on multi-scale predictors confirms ecological segregation and accurately predicts the occurrence of net-spinning caddisfly larvae species groups (Trichoptera: Hydropsychidae) at catchment-scale. – *Ecological Indicators* 146: 109769. (IF= 6.9 (2022), SJR= D1), DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.109769](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109769)

Ezek összesített impakt faktora: 9,722

Az ezekre kapott független hivatkozások száma: 10

A doktori értekezés témájában elhangzott előadások

FICSÓR M. (2015): Adatok Észak-Magyarország és az Észak-Alföld szövőteges-faunájához (Trichoptera: Hydropsychidae) a fajok elterjedési mintázatának vizsgálatával lárvaadatok alapján. – XII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Csapod, 2015.

FICSÓR, M. (2016): The influence of abiotic factors on the regional distribution of larval net-spinning caddisfly species (Trichoptera: Hydropsychidae) in Northern Hungary and in the Northern Great Plain. – 2nd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research, Pécs, 2016.

FICSÓR M. – VÁRBÍRÓ G. (2017): Abiotikus környezeti tényezők hatásának vizsgálata hegy- és dombvidéki előfordulású szövőteges-lárvák elterjedési viszonyaira észak-magyarországi vízfolyásokban. – XIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Pécs, 2017.

FICSÓR M. (2017): A *Hydropsyche modesta* Navás, 1925 (Trichoptera: Hydropsychidae) szövőteges-faj ökológiai igényeinek vizsgálata észak-magyarországi vízfolyásokban lárvaadatok alapján. – LIX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2017.

- FICSÓR M.** (2019): Koegzisztencia vagy kompetíció? Hegy- és dombvidéki szövőtegzés-lárvák együttélési viszonyainak vizsgálata észak-magyarországi előfordulási adatok alapján. – XIV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Debrecen, 2019.
- FICSÓR M.** (2021): Mit kérdezhetünk, és milyen válaszokat várhatunk gépi tanulási (machine learning – ML) modellünktől fajok és fajcsoportok elterjedési mintázatának vizsgálata során? – Szövőtegzés-lárvák (Trichoptera: Hydropsychidae) példája észak-magyarországi vízfolyásokban. – XV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Agárd, 2021.
- FICSÓR, M.** – **CSABAI, Z.** (2021): Seeing the forest for the trees – experiences of the application of non-linear machine learning algorithms in modelling the distribution of net-spinning caddisfly larvae (Trichoptera: Hydropsychidae) in North-Hungarian streams and rivers. – LXII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2021.
- FICSÓR, M.** – **CSABAI, Z.** (2022): Hydropsyche in the multiverse of rivers – a multi-scale, multi-model ensemble approach to explain the longitudinal distribution of larval net-spinning caddis. – LXIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2022.
- FICSÓR M.** – **CSABAI Z.** (2023): Koegzisztencia vagy kompetíció II. - Elkülöníthetők-e az azonos ökológiai preferenciákkal jellemezhető Hydropsyche-fajcsoportok tagjai a környezeti változók hatásaira adott válaszaik alapján? – XVI. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Tihany, 2023.

Egyéb témában készült tudományos közlemények

- FICSÓR M.** – **NAGY K.** (2009): Referencia- és „kvázi”-referenciahelyek makroszkopikus vízi gerinctelen közösségeinek vizsgálata az Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség illetékességi területén. – Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica 20: 87-98.
- FICSÓR M.** (2011): Adatok a folyami szitakötők (Odonata: Gomphidae) Északkelet-magyarországi előfordulásához lárvavizsgálatok alapján. – Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica 26: 67-74.
- FICSÓR, M.** - **SZABÓ, A.** (2011): Contribution to the aquatic macroinvertebrate fauna of Szinva and its tributaries, NE Hungary. – Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica 26: 75-88.

- BORZA, P. – CZIROK, A. – DEÁK, CS. – **FICSÓR, M.** – HORVAI, V. – HORVÁTH, ZS. – JUHÁSZ, P. – KOVÁCS, K. – SZABÓ, T. – VAD, CS. F. (2011): Invasive mysids (Crustacea: Malacostraca: Mysida) in Hungary: distributions and dispersal mechanisms. *North-Western Journal of Zoology* 7(2): 222-228.
- VÁRBÍRÓ, G. – FEKETE, O. – ORTMANN-AJKAI, A. – **FICSÓR, M.** – CSER, B. – KOVÁCS, K. – KISS, G. – CZIROK, A. – HORVAI, V. – DEÁK, CS. (2011): Developing a multimetric macroinvertebrate index on mountainous, small and medium sized water bodies. – *Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica* 26: 211-220.
- FICSÓR, M.** (2013): Contribution to the aquatic mollusc fauna of Northern Hungary and the Northern Great Plain. Part I: Gastropoda. – *Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica* 31: 41-62.
- FICSÓR, M.** (2014): Contribution to the freshwater Mollusc fauna of Northern Hungary and the Northern Great Plain. Part II: Bivalvia. – *Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica* 32: 51-65.
- CSERCSEA, A. – BOZÓKI, T. – KRASZNAI, E. Á. – **FICSÓR, M.** – VÁRBÍRÓ, G. (2015): Contribution to the aquatic macroinvertebrate fauna of the Eger-apatak (eger stream) in Northern Hungary. – *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis* 39: 5-16.
- KRASZNAI, E. Á. – BODA, P. – CSERCSEA, A. – **FICSÓR, M.** – VÁRBÍRÓ, G. (2016): Use of self-organizing maps in modelling the distribution patterns of gammarids (Crustacea: Amphipoda). – *Ecological Informatics* 31: 39-48.
- MÁLNÁS, K. – KOVÁCS, K. – **FICSÓR, M.** – JUHÁSZ, P. – MÜLLER, Z. – OLAJOS, P. – KISS, B. (2016): Appearances of the non-indigenous *Helobdella europaea* Kutschera, 1987 (Hirudinea, Glossiphoniidae) in Hungarian watercourses. – *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis* 40: 17-20.

Egyéb témában elhangzott szóbeli és poszterelőadások

- FICSÓR M.** – NAGY K. – IMRE A. (2006): Az Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség illetékességi területén 2005-ben a Víz Keretirányelv keretén belül végrehajtott makrozoobenton-vizsgálatok. – III. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Göd, 2006.

- FICSÓR M.** – NAGY K. (2007): Makroszkopikus vízi gerinctelen közösségek vizsgálata különböző biológiai vízminősítő módszerek (ASTERICS, karakterfaj-elemzés, BMWP) tükrében az ÉMI-KTVF illetékességi területén 2006-ban. – IV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Tihany, 2007.
- FICSÓR M.** – NAGY K. (2009): Referencia- és „kvázi”-referenciahelyek makroszkopikus vízi gerinctelen közösségeinek vizsgálata az Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség illetékességi területén. – VI. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Villány, 2009.
- FICSÓR M.** – SZABÓ A. (2011): Hosszú távú és szezonális vizsgálatok a Szinva-patak és befolyóinak makroszkopikus vízi gerinctelen faunáján. – VIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Jósvafő, 2011.
- FICSÓR M.** (2011): Adatok a folyami szitakötők (Odonata: Gomphidae) északkeletmagyarországi előfordulásához lárvavizsgálatok alapján. – VIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Jósvafő, 2011.
- VÁRBÍRÓ G. – FEKETE O. – ORTMANN-NÉ AJKAI A. – **FICSÓR M.** – CSER B. – KOVÁCS K. – KISS G. – CZIROK A. – HORVAI V. – DEÁK Cs. (2011): Makrogerinctelen multimetrikus index kidolgozása hegyvidéki vízfolyásokra. – VIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Jósvafő, 2011.
- FICSÓR M.** – SZABÓ A. (2012): A Szinva patak vízminőségének vizsgálata a makrogerinctelen fauna alapján – A Multimetrikus Makrozoobenton Index (HMMI) a gyakorlatban. – IX. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Gyula, 2012.
- BORZA P. – CSER B. – CZIROK A. – DEÁK Cs. – **FICSÓR M.** – HORVAI V. – HORVÁTH Zs. – KOVÁCS K. – PETRI A. – VAD Cs. F. (2013): Adatok a síkvidéki felszíni Niphargus-fajok (Crustacea, Amphipoda, Niphargidae) magyarországi elterjedéséhez. – X. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Szalafő, 2013.
- FICSÓR M.** (2013): Adatok Észak-Magyarország és az Észak-Alföld vízi puhatestű faunájának ismeretéhez: I. rész. Csigák. – X. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Szalafő, 2013.
- KOVÁCS K. – **FICSÓR M.** (2013): Új Helobdella faj Magyarországon? – X. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Szalafő, 2013.

- FICSÓR, M.** (2014): Contribution to the aquatic Mollusc fauna of Northern Hungary and the Northern Great Plain. Part II: Bivalvia. – 1st Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research, Szarvas, 2014.
- CSERCSEA A. – BOZÓKI T. – KRASZNAI E. – VÁRBÍRÓ G. – **FICSÓR M.** – BODA P. (2015): Az Eger-patak hidrozoológiai vizsgálata. – XII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Csapod, 2015.
- BOZÓKI T. – CSERCSEA A. – **FICSÓR M.** – KRASZNAI E. – VÁRBÍRÓ G. – BODA P. (2017): Az urbanizáció hatása a vízi makrogerinctelen közösségekre az Eger-patakon. – LIX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2017.
- SZELES J. – BOZÓKI, T. – **FICSÓR M.** – B-BÉRES V. – DRENOVÁ CZ M. – BÉKÉSI Cs. – NAGY S. A. – VÁRBÍRÓ G. (2021): Síkvidéki kisvízterek válasza az eltérő vízszintekre. – XV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Agárd, 2021.
- VÁRBÍRÓ G. – **FICSÓR M.** – ZAGYVA A. T. – BODA P. (2021): A harmadik vízgyűjtő-gazdálkodási terv makroszkopikus vízi gerinctelenekre vonatkozó eredményei. – XV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Agárd, 2021.
- SZELES, J. – BOZÓKI T. – **FICSÓR M.** – B-BÉRES V. – NAGY S. A. – DRENOVÁ CZ M. – BÉKÉSI Cs. – VÁRBÍRÓ G. (2022): Eltérő minőségű síkvidéki vízterek makroszkopikus gerinctelen élőlényközösségének trait alapú elemzése. – LXIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2022.
- BOÓZ B. – **FICSÓR M.** – PERNECKER B. – MÓRA A. – CSABAI Z. (2023): Elhanyagolt kétszárnyúak: Megjósolhatjuk-e a figyelmen kívül hagyott családok előfordulási jellemzőit a gyakran vizsgált és ismertebb családok alapján? – XVI. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Tihany, 2023.