

36. OTDK Biológia Szekció

**A kiszáradás, mint környezet stresszor hatása vízi
makrogerinctelenek morfológiájára**

Készítette: KIS PATRIK

HIDROBIOLÓGUS MSc I. évfolyam

Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar

Témavezető: PERNECKER BÁLINT

Konzulens: CSABAI ZOLTÁN

PÉCS, 2023.

Tartalom

Tartalom	2
I. Bevezetés és célkitűzés	3
I.1. Irodalmi áttekintés	3
I.2. Célkitűzések	9
II. Eszközök és módszerek ismertetése	10
II.1. Mintavételi hely és idő	10
II.2. Mintavételi módszer	12
II.3. Morfometriai mérések	13
II.4. Statisztikai módszerek	20
III. Eredmények bemutatása és elemzése	21
III.1. Kiszáradó és állandó patakokban élő állatok testparamétereinek összehasonítása	21
III.1.1. <i>Gammarus roeselii</i>	21
III.1.2. <i>Gammarus fossarum</i>	23
III.1.3. <i>Electrogena ujhelyii</i>	24
III.1.4. <i>Chaetopteryx major</i>	27
III.2. Fluktuáló aszimmetria vizsgálata	29
III.2.1. <i>Gammarus roeselii</i>	29
III.2.2. <i>Electrogena ujhelyii</i>	31
III.2.3. <i>Chaetopteryx major</i>	33
IV. Eredmények megvitatása és következtetések	34
V. Köszönetnyilvánítás	37
VI. Hivatkozott irodalmak jegyzéke	38

I. Bevezetés és célkitűzés

I.1. Irodalmi áttekintés

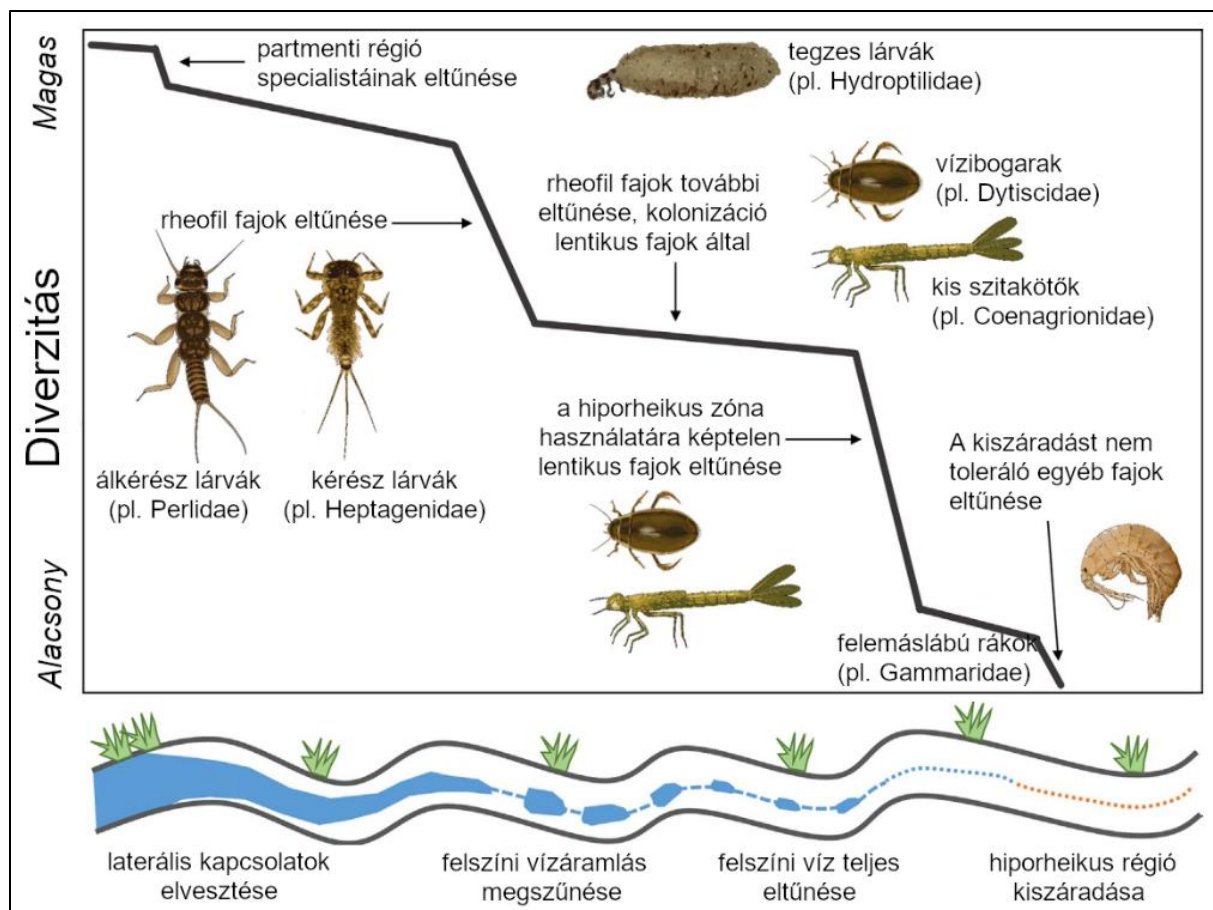
Vízi makrogerincteleneknek azokat az élőlényeket nevezhetjük, amelyek bizonyos életszakaszaikban vagy egész életükben vízi életmódot folytatnak, és 1 mm-nél nagyobbak, szabad szemmel is láthatók. Ezek az élőlények egy igen diverz csoportot alkotnak, tagjai a legtöbb klimatikus zónában és víztértípusban megtalálhatók, és a vízi ökoszisztémákban betöltött szerepük is igen változó lehet (Stubbington et al., 2017). A vízi makrogerinctelenek képviselői számos táplálkozásbiológiai funkcionális csoportba sorolhatók. A növényi szöveteket az aprítók hasznosítják (pl. *Gammarus* sp., Trichoptera, Plecoptera), a szilárd aljzatot borító algabevonatot a legelő, reszelő, kaparók fogyasztják (pl. Ephemeroptera, Trichoptera, Gastropoda). A vízárammal érkező szuszpendált tápanyagokat az aktív és a passzív szűrők képesek kinyerni (pl. Bivalvia, Culicidae, Simuliidae). A detritivorok a leülepedett finom szemcséjű partikulált szerves anyaggal (FPOM) táplálkoznak, továbbá vannak köztük fás törmeléket fogyasztó xilofágok, növényfűrők, aknázók, lyukasztók, ragadozók, paraziták és mindenevők is (Cummins, 2018). Ebből a diverzitásból is következik, hogy a vízi makrogerinctelenek fontos szerepet töltenek be a vízi ökoszisztémákban, valamint kiválóan jelzik az élőhelyük állapotát.

A múltban a vizek állapotának mérése, monitorozása kizárólag fizikokémiai paraméterek alapján történt, azonban hamar felismerték, hogy ez nem elegendő, ugyanis a vizek biológiai állapotát ez nem tükrözi (Romero et al., 2016). Egyértelművé vált, hogy szükség van az élőlények fiziológiai és ökológiai vizsgálatára is. A bioindikátorok alkalmazásával lehetséges a környezet biológiai változóinak felmérése, ugyanis az élőlények vagy élőlény csoportok fiziológiai és/vagy ökológiai válaszokkal reagálnak a környezet változásaira (López-López et al., 2015). Korunkban a vizek állapotát befolyásoló tényezők száma megnövekedett. Már nem csak a természetes folyamatok okozhatják az állapotromlást, hanem számos antropogén tevékenység következtében is tapasztalhatunk negatív irányú változást. A mezőgazdasági tevékenységek, ipari melléktermékek, lakossági hulladékok, a klímaváltozás stb., mind hozzájárulhatnak a vizek állapotának romlásához. Ezen változások nyomon követhetők a bióta szintjén is. A szennyezések eljutnak minden élettérbe, így a makrogerinctelenek is folyamatos expozíciónak vannak kitéve, az ökológiai rendszert érintő szennyezőket szervezetükben felhalmozzák, és a felettük lévő trófikus szintre is továbbítják (López-López et al., 2015). Az említett közösségek nem csak az élettani folyamataik megváltozásával tudják jelezni környezetük állapotát. A vízi makrogerinctelenek populációinak

struktúrájában bekövetkezett változások vizsgálatával is képet kaphatunk a vízterek állapotáról. A közepes zavarás hipotézis (Connell, 1978) szerint a legmagasabb diverzitás közepes zavarás mellett mérhető. A teljesen zavarás mentes élőhelyeken a diverzitás moderált, igen jelentős zavarás mellett pedig a diverzitás csökken. Így tehát az adott élőhely fajkészletének vizsgálatával is következtethetünk annak biológiai állapotára (Gerwing et al., 2017). A különböző taxonok különböző mértékben képesek elviselni a zavaró hatásokat. Míg egy érzékenyebb faj a legkisebb mértékű zavarás hatására is elvándorlással, esetleg kipusztulással reagál, addig vannak kevésbé érzékeny csoportok, amelyek intenzív diszturbancia mellett is képesek túlélni az adott élőhelyen. Így tehát a taxonok képviselői jelenlétükkel vagy hiányukkal jelzik élőhelyük minőségét (Lytle, 2008). Természetesen a fajsza szám mellett az egyedszám mutatói is fontos információkkal szolgálhatnak (pl. Nnoli et al., 2019).

A zavaró hatások nem csak kémiai szennyezők lehetnek, hanem tulajdonképpen bármilyen esemény, ami az ökoszisztéma valamely folyamatára, folyamataira befolyással van. Így tehát a vizek kiszáradását is zavarásnak tekintjük, amely a korábban leírtakhoz hasonlóan befolyással van a vízi makrogerinctelen együttesek összetételére (Boulton, 2003). Egy időszakosan kiszáradó vízfolyás állapotáról rengeteget tudhatunk meg, ha annak gerinctelen faunáját vizsgáljuk, a kiszáradás ugyanis nagyban befolyásolja a diverzitást, az abundanciát és a dominanciaviszonyokat (Řezníčková et al., 2007). Ahogy azt Extence (1981) esettanulmányában is jól szemlélteti, egy kiszáradás egészen más hatással lehet a különböző taxonokra. Például az *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) víziászka faj számára kedvező is lehet a kiszáradás, a melegebb víz ugyanis kedvez az egyedfejlődésnek és a szaporodásnak. Az *A. aquaticus* elszaporodásának következtében a faj fő fogyasztója a *Helobdella stagnalis* (Linnaeus, 1758) piócafaj egyedszáma is növekedni fog. Ezen és az ezekhez hasonló állatfajok tehát profitálni tudnak egy kiszáradó élettérből. Vannak olyan szervezetek is, amelyek kifejezetten rosszul reagálnak a víz eltűnésére. A vízmennyiség csökkenésével romlik a vízminőség (a kémiai szennyezők koncentrációja növekedhet, melegszik a víz, így csökken az oldott oxigén szintje). A *Potamopyrgus jenkinsi* (EA Smith, 1889) csigafaj erre kifejezetten érzékeny, tehát hiányával jelezheti a víz nem megfelelő állapotát. A generalista fajok egyaránt megtalálhatóak a különböző állapotú vizekben, ugyanis tág tűrőképességük okán képesek a szélsőséges körülményekhez is alkalmazkodni. Jelenlétük vagy hiányuk tehát nem feltétlenül szolgál információval a vízfolyás minőségéről (Deacon et al., 2019). A fenti példákon jól látszik, hogy a fajok ökológiai igényeinek ismeretében egy adott élőhely fajkészlete árulkodik a kiszáradás súlyosságáról, intenzitásáról.

Napjainkban a klímaváltozás hatásai egyértelműen érzékelhetőek. Az évi átlaghőmérséklet növekedésével, a légköri folyamatok átalakulásával, és a megváltozott vízhasználati szokások következtében a hidrológiai ciklus erősen módosult (Prudhomme et al., 2012; Abbaspour et al., 2012). Ennek következtében egyre több kiszáradási eseményt lehetett dokumentálni. Fontos látni, hogy egyes élőhelyeken a kiszáradások természetes folyamatok, amelyek ciklikusan vagy alkalomszerűen bekövetkeznek. A klímaváltozás azonban felgyorsítja ezt a természetes folyamatot, illetve olyan területeken is indukálja, ahol eddig nem volt jellemző (Mukherjee et al., 2018). A kiszáradó vizeken belül a kiszáradó áramlóziverek összefoglaló nevének (*Intermittent Rivers and Ephemeral Streams*) széles körben használt rövidítése az IRES (Datry et al., 2017). Ez a kategória olyan vízfolyásokat takar, amelyeknél a felszíni vízfolyás folytonossága különböző időközönként különböző valószínűséggel megszakad. Ez több módon is megvalósulhat. Vannak olyan esetek, amikor a gázlók kiszáradásával különálló medencék láncolata alakul ki. Ezek a medencék egymással kapcsolatban lehetnek a hiporheikus – vagyis a felszíni és felszín alatti víz határzónáján lévő – áramlással. Természetesen úgy is megnyilvánulhat a kiszáradás, hogy a meder teljes egészéből, mind a gázlókból, mind a medencékből eltűnik a víz. A víz folytonosságának megszakadását, így az IRES kategóriába tartozó vízfolyások kialakulását okozhatják a klimatikus viszonyok, továbbá a meder fizikai tényezői, a vízgyűjtő nagysága és tulajdonságai és a hordalék minősége és mennyisége, illetve e tényezők együttese (Datry et al., 2017). Az IRES egy fontos ökológiai tényezője, hogy a kiszáradási események az élőhely heterogenitásának fokozódásához vezetnek. Az áramló, kiszáradásban lévő, és a teljesen kiszáradt időszakok váltakozása lentikus (állóvízi), lotikus (áramló) és szárazföldi mozaikot eredményez. Ez a mozaikosság pedig a taxonómiai biodiverzitás növekedéséhez vezet, ugyanis ezek az élőhelyek így több faj ökológiai igényeit is ki tudják elégíteni a megfelelő fázisukban. Természetesen a taxonómiai diverzitás növekedése csak nagyobb léptékben és/vagy hosszabb időintervallum vizsgálata esetén mutatható ki. Ha például a vízfolyás egy kisebb szakaszát vizsgáljuk, és ezt egy rövidebb távú monitoring kereteiben tesszük, azt az eredményt várhatjuk, hogy a víz eltűnésével egyre csökken a diverzitás (Datry et al., 2014; Datry et al., 2017; 1. ábra). Tehát nem jelenthetjük ki, hogy a kiszáradások egyértelműen növelik a biológiai sokféleséget.



1. ábra: Boulton (2003) elméleti kiszáradási modellje alapján, Stubbington és munkatársai (2017) által készített ábra, ami a kiszáradás előrehaladása során küszöbértékek átlépésekor a fellépő zavaró hatás lépcsőzetes növekedését, és az ez által okozott diverzitás-csökkenést mutatja.

Egy kiszáradás során, ahogy a vízszint egyre alacsonyabb lesz, úgy tűnnek el a különböző taxonok. Először a parti vegetációt fogyasztó fajok (például Trichoptera: Hydroptilidae) érintettek, illetve a fák gyökereit bevonó szivaccsal táplálkozó Sisyridae (Szivacsfátyolkák) család tagjai. Ezután a reofil (áramlásokkedvelő) fajok képviselői esnek a kiszáradás áldozatává, ugyanis ezek a fajok magas oxigénszintet igényelnek, ami az áramlás lassulásával csökken. Ezek főleg az úgynevezett EPT fajok (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). A szűrőgető szervezetek (például Diptera: Simuliidae) az áramló víz eltűnésével képtelenek táplálkozni, így elpusztulnak. A különálló medencékben a hőmérséklet gyorsan emelkedik, ez az oldott oxigénszint további csökkenésével jár, amelyet egy szint felett a legtöbb vízi makrogerinctelen nem képes tolerálni. Amennyiben a medencék is teljesen kiszáradnak, a felszíni víz teljes eltűnésével minden kiszáradásra érzékeny faj eltűnik (Stubbington et al., 2017; 1. ábra).

Ahogy Lytle és Poff (2004) munkájukban összefoglalták, az idők során az élőlények megtanultak alkalmazkodni a kiszáradásokhoz. Különböző túlélési stratégiákat fejlesztettek ki annak érdekében, hogy átvészeljék ezeket az eseményeket. A kiszáradásokhoz való adaptáció több módja is megfigyelhető a vízi életközösségeknél. A ciklikusan, rendszeresen bekövetkező víz nélküli időszakok megjósolhatók, így a szervezetek ezekhez könnyebben tudnak alkalmazkodni, de a napjainkban egyre gyakrabban előforduló nem rendszeres zavarási események könnyen fel tudják borítani az ökológiai egyensúlyt. Számos élőlény az életmenet stratégiáját a periodikusan bekövetkező kiszáradási eseményekhez igazítja. Ez legfőképpen abban nyilvánul meg, hogy a reprodukciós folyamataikat úgy időzítik, hogy az utódok kikelése és fejlődése vízzel borított időszakban történjen meg, ezzel biztosítva a következő generáció túlélését. A repülő vízi rovarok esetében gyakran választott stratégia még az, hogy az életük azon szakasza, melyet levegőben töltenek, egybeesik a kiszáradó fázissal. Így a jobb diszperziós képesség birtokában képesek túlélni a zavarási eseményt. Természetesen ez az életmenet csak abban az esetben kifizetődő, ha hosszú ideje ugyanabban az időszakban következik be a kiszáradás, így az kiszámítható. Vannak olyan fajok is, amelyek a viselkedésük megváltoztatásával alkalmazkodnak a szélsőséges körülményekhez. Ez például abban nyilvánulhat meg, hogy a szaporodást és/vagy a peterakást csak a kiszáradás után, a víz visszatéréssel végzik el. A viselkedésbeli adaptáció már effektívebben biztosítja a túlélést a nem évszakos kiszáradások esetén. (Lytle & Poff, 2004).

A kiszáradó vízfolyások egy hosszabb száraz periódus után igen szegényes taxonómiai diverzitással rendelkeznek (lásd fentebb). A víz visszatéréssel mégis újra találhatunk makrogerincteleneket az adott élőhelyen. Ennek oka a rezisztencia és a reziliencia jelensége (Bogan et al., 2015). Egyes álkérés (Capniidae), árvaszúnyog (Chironomidae), vízfátyolyka (Corydalidae) és törpeszúnyog (Simuliidae) fajok úgy adaptálódtak a hosszabban tartó vízhiányhoz, hogy pete vagy lárv/nimfa életszakaszaik során diapauza időszakon esnek át, így képesek ellenállni a hosszú távú száraz körülményeknek is. A rezisztens taxonok az áramlás visszatéréssel 2-3 nap alatt újra megjelennek a vízfolyásban, és 8-10 hét alatt a diverzitás elérheti egy állandó vízfolyás sokféleségét. Természetesen nem minden élőlény képes rezisztens képleteket létrehozni, hogy átvészelve a száraz időszakokat. A jó diszperziós képességű fajok, érzékelve a nem megfelelő körülményeket, a reziliencia mechanizmusát választják, és elrepülnek az adott élőhelyről, és felkeresnek egy számukra alkalmasabb területet, úgynevezett refúgiumot. Ezen élőlények képesek érzékelni, ha a víz visszatért, és újra benépesíthetik a korábban kiszáradt élőhelyet. A reziliencia egy jó példája az *Agabus*

(Dytiscidae) fajok viselkedése. Az imágók légi diszperziós adottságai kiválóak, illetve képesek érzékelni a polarizált fényt, így elsőként tudják kolonizálni a szakaszt, ahová visszatért a víz. Ugyanakkor számos légi úton terjeszkedő állat nem képes detektálni a visszatérő vízfolyást, így egy izolált időszakos vízfolyás, amely térben messze van a refúgiumoktól (2 km), és hosszú hidrológiai ciklussal rendelkezik, viszonylag sok időbe telik (16 hét) mire újra kolonizálják a makrogerinctelenek (Bogan et al., 2015).

A makrogerinctelenek jól indikálják a környezetük állapotát, és reagálnak a zavarásokra is (lásd fentebb). Ezek a zavarásokra adott válaszok azonban nem csak a tömegességi viszonyok és a fajösszetétel szintjén figyelhetők meg, hanem az állatok morfológiai paramétereinek változásaként is megjelenhetnek. A zavarások – természetüktől függően – befolyásolhatják a szervezetek fejlődését, hatással lehetnek az élőlények növekedésére, meggyorsíthatják vagy visszafoghatják azt, így az átlagos testhossz és testtömeg is megváltozhat. Ezek pedig mind negatívan hathatnak az egyedek fitneszére, növelhetik a mortalitási rátát és hátráltatják a szaporodás sikerességét (Gutiérrez-Fonseca & Ramírez, 2020). A kémiai szennyezőkkel terhelt vízfolyásokban az állatok testmérete nagyobb, mint a nem szennyezett vizekben élőké (Kiffney & Clements, 1996). Ez azzal magyarázható, hogy a kis testmérettel bíró élőlények érzékenyebbek a szennyező anyagok koncentrációjának növekedésére, mint a nagyobb méretű társaik. Így a stresszor hatásának kitett közösségek túlélési esélyei javulnak, ha képesek a nagyobb testméret elérésére (Kiffney & Clements, 1996). Aspin és munkatársai (2019) munkájukban összefoglalták, hogy a kémiai szennyezők mellett más stresszorok – így a kiszáradások – is okozhatnak változásokat a testméret tekintetében. Azok a vízfolyások, amelyeknél különálló medencék alakultak ki a kiszáradás miatt, megfigyelhető, hogy megnő az állatok testtömege. Ez több szempontból is előnyös. Először is a csökkent vízmennyiség miatt megváltozik a közösségre jellemző ragadozó:zsákmány arány. A predátorok elleni védekezés egy hatékony módja a testméret növelése, ugyanis így nő a túlélés esélye. Emellett az emelkedő víz hőmérséklet, és a feldúsult tápanyagmennyiség kedvez az egyedfejlődésnek, így az felgyorsul, és nagyobb testméretet is eredményez (Aspin et al., 2019). A környezeti stressz jelenléte az állatok fejlődésére is hatással lehet (Clarke, 1993). A zavarásra adott válasz a tökéletes bilaterális szimmetriától való eltérésben is megnyilvánulhat, azaz az állatok testének jobb is bal oldalán eltérő méretű és nagyságú testrészeket találhatunk. A fluktuáló aszimmetria jelenségét főleg a rossz állapotú, szennyezett vizekben élő élőlényeken figyelték meg. Ezeknél a víztesteknél a szennyezőanyagok viszonylag magas koncentrációja fejlődési stabilitás

felborulásához vezet, kialakulhat fluktuáló aszimmetria, ezzel a szervezetek pedig indikálják környezetük állapotát (Clarke, 1993).

I.2. Célkitűzések

A szakirodalomban igen kevés információ áll rendelkezésre, arról, hogy a kiszáradás milyen hatással lehet a vízi makrogerinctelenek morfológiájára. Nincsenek arra irányuló vizsgálatok, hogy a környezeti stressz e formája milyen mechanizmusok útján hat az állatok megjelenésére, illetve, hogy a testtömeg, és testhosszúságon kívül érinthet-e más paramétereket. Szintén igen kevés információval rendelkezünk arról, hogy a kiszáradások okozhatnak-e a tökéletes bilaterális szimmetriától való eltérést. Magyarországról kevés adat van arról, hogy a kiszáradások milyen hatással vannak a vízi makrogerinctelen életközösségekre, és semmilyen vizsgálat nem irányul a morfometriai hatásokra.

Dolgozatomban olyan kérdésekre kerestem a választ, mint, hogy morfológiájukat tekintve van-e mérhető különbség a kiszáradó és állandó vizű vízfolyásból származó makrogerinctelenek között. Valamint, hogy a morfometriai (pl. bilaterális szimmetriára irányuló) vizsgálatok lehetnek-e eszközei a kiszáradások indikációjának. Mindezek érdekében munkámban összehasonlítottam egy erősebb (*Electrogena ujhelyii* [Sowa, 1981]) és egy gyengébb (*Gammarus roeselii* [Gervais, 1835]) diszperziós képességű faj morfometriai paramétereit, egyben megvizsgálva azt is, hogy az eltérő diszperziós képesség befolyásolja-e az esetleges morfológiai eltérések mértékét.

Az általam mért adatokat és azok eredményeit aztán összevetettem egy, a Pécsi Tudományegyetem Hidrobiológiai Tanszékének munkatársai által mért adatsorral. Ezen mérésorozatot *Gammarus fossarum* Koch, 1836 és *Chaetopteryx major* McLachlan, 1876 egyedek felhasználásával történt. Az egyedek szintén a Mecsek kisvízfolyásaiból származtak, azonban másik vízgyűjtőkről. Az összehasonlítás célja az volt, hogy átfogóbb képet kaphassak arról, hogy az esetleges jelenségek egymástól függetlenül, különböző élőhelyeken, illetve egyéb fajok és élőlénycsoportok esetében is jelentkeznek-e.

Alternatív hipotéziseim a következők:

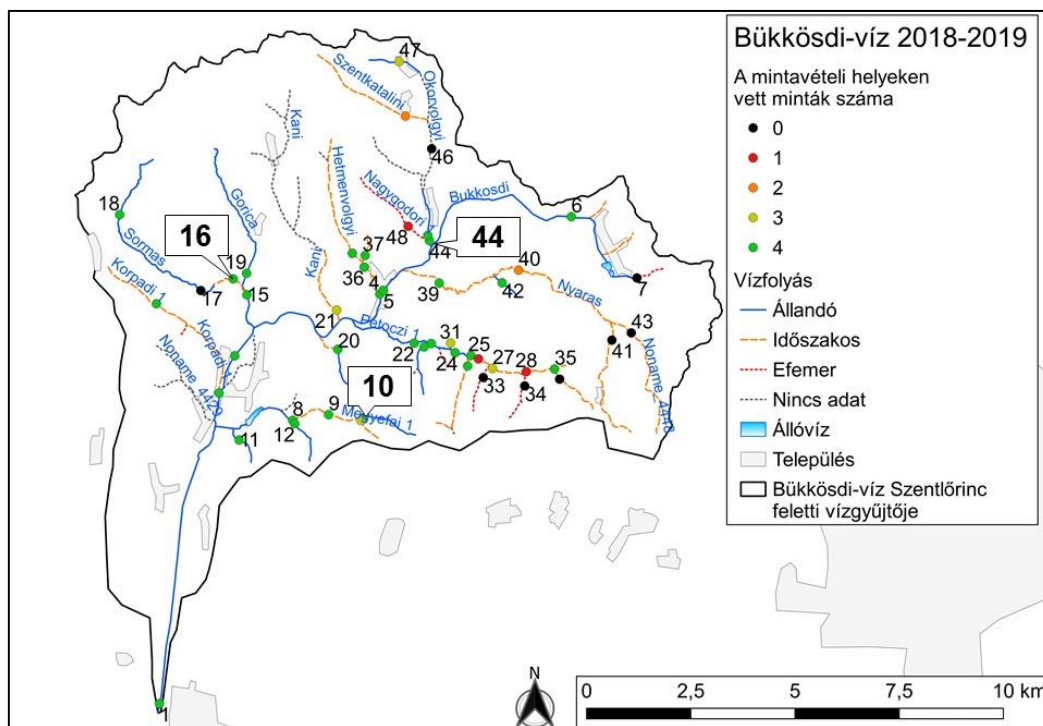
- A kiszáradó vízfolyásban élő makrogerinctelenek testmérete nagyobb, mint az állandóban élőké.

- A kiszáradás okozta környezeti stressz megváltoztatja az élőlények egyes testrészeinek megjelenését, méretét vagy arányait.
- A fluktuáló aszimmetria a stressz következtében megjelenik a kiszáradó vízfolyásból származó állatoknál.

II. Eszközök és módszerek ismertetése

II.1. Mintavételi hely és idő

A makrogerinctelen mintavétel, melyből a *Gammarus roeselii* és az *Electrogena ujhelyii* egyedek származtak, a Mecsek-hegységben, azon belül pedig a Bükkösi-víz vízgyűjtő rendszeren történt 2018-2019-ben. A vízgyűjtőn 49 mintavételi hely lett kijelölve, melyeken 4 alkalommal történt mintavétel: 2018.09., 2019.02., 2019.04., 2019.07. hónapokban.



2. ábra: A Bükkösi-víz és vízgyűjtője, és a kijelölt mintavételi helyek. Kiemelve láthatók a jelenlegi vizsgálathoz kiválasztott három (10, 16, 44) mintavételi hely. A térképről leolvasható, hogy melyik mintavételi hely állandó, melyik időszakos, és melyik efemer vízfolyáson lett kijelölve.

A méréseknél a tavaszi mintákkal dolgoztunk, 3 mintavételi helyet választottunk ki:

KM-16 - Sormás-patak (N 46.135402 E 17.998996, tengerszint feletti magasság: 166 m).

Sormás-patak: a felső szakasza állandónak vagy közel-állandónak tekinthető, míg a középső szakaszain periodikusan (egy-két évente) kiszárad. A legalsó szakaszain, a Gorica-ág

befolyójától szintén állandónak tekinthető. Legalsó szakaszán egy kisméretű víztározó fekszik, amely gyakran visszaduzzaszt, így az alsó szakaszon gyakran pangóvízi állapot alakul ki. Az általunk kiválasztott mintavételi hely a középső, kiszáradó szakaszon található.

Mintavétel dátuma: 2019.04.17.

KM-10 – Megyefai-árok (N 46.1057590 E 18.0399950, tengerszint feletti magasság: 237 m)

A főág alsó szakaszán egy víztározó fekszik, felette a vízfolyás természetközelinek tekinthető. Középső szakasza kiszáradással veszélyeztetett. Az általunk kiválasztott mintavételi hely a legfeleső, forrásközei tájékon található, ahol a patak állandónak tekinthető.

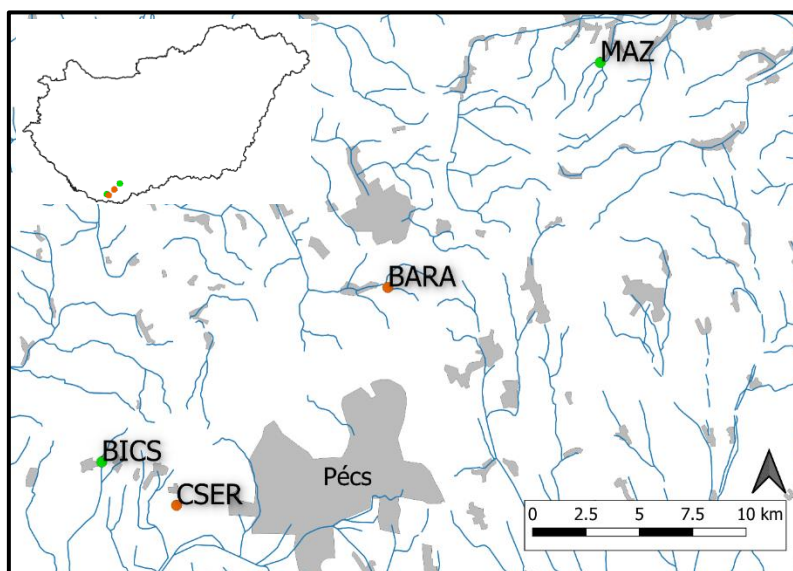
Mintavétel dátuma: 2019.04.16.

KM-44 Okorvölgyi-árok (N 46.1442450 E 18.0597524, tengerszint feletti magasság: 175 m).

Állandónak tekinthető mintavételi pont, ugyanis a felső szakaszon egy tározó található. A környéken zajló mezőgazdasági tevékenységek következtében, és Okorvölgy településen való átfolyása miatt szennyezett, degradált patakszakasz.

Mintavétel dátuma: 2019.04.18.

A *Gammarus fossarum* és *Chaetopteryx major* egyedek a Mecsek különböző pontjain vett, különböző vízgyűjtőkhöz tartozó kisvízfolyások mintáiból származnak. A mintavétel 2017 júniusában történt.



3. ábra: A Mecsek különböző pontjain kijelölt mintavételi helyek elhelyezkedése. Az ábrán zöld jelölést kaptak az állandó vizű patakszakaszok, narancssárga ponttal pedig a kiszáradó vízfolyások vannak feltüntetve.

A vizsgálat során az alábbi 4 mintavételi hely mintáival dolgoztunk:

BAR - Baranya-csatorna (N 46.160270 E 18.265116, tengerszint feletti magasság: 262 m)

A Kelet-Mecsekben található mintavételi pont a patak legfelső, elsőrendű, kiszáradó szakaszán található. Itt a patakot mindkét oldalról zárt, természetközeli erdő határolja, amely a mintavételi szakasz alatt kb. 100 m-rel a jobb és/vagy bal partoldalon is gyakran eltűnik a tarvágásoknak köszönhetően.

MAZ - Mázhalmi-vadvíz (N 46.257288 E 18.391366, tengerszint feletti magasság: 209 m)

A Baranya-csatornához hasonlóan a Mázhalmi-vadvíz is a Kelet-Mecsekben található patak. Ugyanakkor ezt a másodrendű, állandó vízborítottságú mintavételi szakaszt egy zavart, részben idegenhonos, ültetett erdő határolja.

CSEK - Cserkúti-árok (N 46.069093 E 18.136998, tengerszint feletti magasság: 218 m)

Másodrendű, kiszáradó patakszakasz a Nyugat-Mecsek lábánál, amely egy mély, meredekfalú, természetközeli erdővel határolt völgyben folyik, egyik oldalán közúttal határolva.

BICS - Bicsérdi-vízfolyás (N 46.086908 E 18.091451, tengerszint feletti magasság: 220 m)

A mintavételi pont a vízfolyás egy állandó, másodrendű szakaszán található, amelyet zárt, részlegesen zavart erdő és másodlagos cserjés vegetáció határol.

II.2. Mintavételi módszer

A vízi makrogerinctelenek mennyiségi mintavételezését a Pécsi Tudományegyetem Hidrobiológiai Tanszékének munkatársai, valamint az Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézetének munkatársai gyűjtötték. A mintavétel körülbelül 100 m hosszú szakaszból történt, amely minden egyes mintavételi helyen a vízfolyás adott szakaszára reprezentatívnek tekinthető. A mintavételi pontokon 12 almintát gyűjtöttek, ezeket úgy osztották el, hogy a szakaszon a mikrohabitatok százalékos eloszlásának megfelelően. Például, ha egy mintavételi helyen a mezolitikál (6-20 cm átmérőjű kavics) aljzat adta a meder borításának felét, akkor erről a mikroélőhely típusról 6 db almintát vettek. Minden almintát 0,5 mm szembőségű, 25 cm keretszélességű kéziálóval vettek kb. 25 x 25 cm (0,0625 cm²) alapterületről. A mintavétel során a begyűjtött almintákat összeöntötték, azaz kompozit mintaként kezelték azokat. A mintákat a mintavételi helyen úgynevezett dekantálás és szitasoron történő átmosás után előválogatták, ezután tömény DI-felületkezelő keverékkel (összetétel: max. 80% etanol, min. 18,5% 2-propanol, min. 1,5% metanol, max. 0,001% denatónium benzoát) felöntötték, így

tartósítva a későbbi laboratóriumi feldolgozásig. A dekantálás és a szitasoron való átmosás folyamata az alábbi volt:

- a. A kompozitmintákat 20 l űrtartalmú vödörkben patakvízzel felöntötték, majd a belekerült nagyobb objektumokat (köveket, leveleket és ágakat) lemosták és eltávolították.
- b. Finom keverés mellett dekantálták a mintában lévő állatokat.
- c. Ezután egy három szitából álló szitasoron (30 cm átmérőjű, 5 cm magas falú, 10 mm, 2 mm és 0,5 mm szembőségű, rozsdamentes acélból készült, egymásba illeszthető sziták) átöntötték ezt a vizet a dekantált állatokkal együtt.
- d. A b-c. pontokat többször ismételték, addig a pontig, amíg csak abiotikus aljzat maradt a vödörben.
- e. A szitasoron fennakadt mintát számos vödörnyi víz átöntése közben átmosták.

A terepen történő előválogatás célja a laboratóriumi feldolgozás idejének rövidítése, illetve a védett és fokozottan védett fajok (pl. *Cordulegaster heros* Theischinger, 1979) egyedeinek kiválogatása volt. Ez úgy történt, hogy a helyszínen nagyméretű világos színű fotótálcákra kiterítették a felső két, nagyobb szembőségű (10 mm és 2 mm) szita, valamint a vödör alján maradt abiotikus aljzat tartalmát, és kiválogatták belőle a vízi makrogerincteleneket. A legalsó, 0,5 mm szemcseméretű szita tartalmát teljes egészében elrakták a laborban történő mintaválogatásra. A laboratóriumi válogatás során a mintákban lévő makroszkopikus gerincteleneket rendek, illetve néhány esetben (például Chironomidae) családok szerint különítették el. Az így rendelkezésre álló taxon csoportok szerint szétválogatott mintákat a csoportok specialistái határozták meg faji szinten.

A mintavétel mind a 2017-es, mind a 2018-2019-es mintavételi alkalomkor hasonlóan zajlott.

II.3. Morfometriai mérések

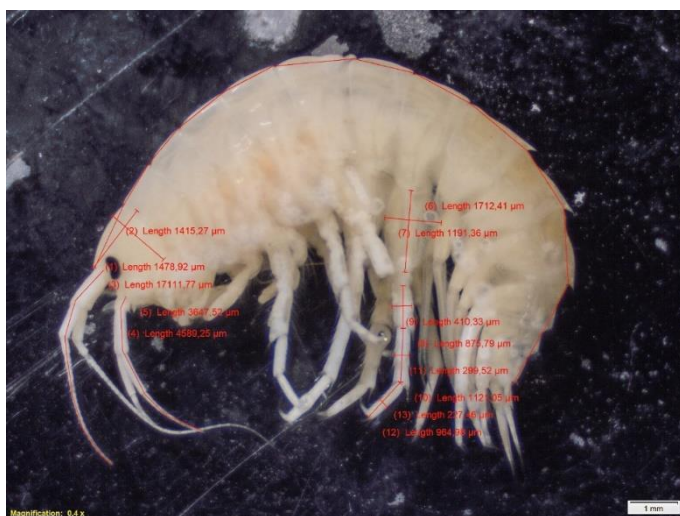
A mintákból készült adatbázis elemzése során megállapítottuk, hogy a vizsgálat elvégzésére a *Gammarus roeselii* Gervais, 1835 bolharák faj, és az *Electrogena ujhelyii* Sowa, 1981 kérészfaj a legalkalmasabb, ugyanis a két faj a mintavételi helyek nagy százalékában előfordult, jelen voltak mind állandó, mind kiszáradó vízfolyásokban. Előnyös tulajdonságuk volt továbbá, hogy nagy egyedszámban voltak megtalálhatóak számos mintavételi helyen, így a megfelelő mennyiségű adat könnyen előállítható volt a vizsgálatuk során. Ezen kívül a két faj eltérő diszperziós tulajdonságokkal rendelkezik. Míg vízi úton mindkét faj képes mind aktív,

mind passzív diszperzióra, addig a légi úton (aktívan és passzívan is) csak a szárazföldi életszakasszal is rendelkező *E. ujhelyii* képes terjedni. Ugyanezen előnyök elmondhatók a másik méréssorozattal kapcsolatban. A *G. fossarum* diszperziós tulajdonságait tekintve megegyezik a *G. roeselii*-vel, illetve a *C. major* közel áll az *E. ujhelyii*-hez (Sarremejane et al., 2020).

A tavaszi mintavételi időszak során begyűjtött minták állatai megfelelő méretűnek bizonyultak a mérések lebonyolítása szempontjából, illetve közel azonos fejlődési állapotban voltak. A mintavételi helyek kiválasztásánál figyelembe vettük, hogy a lehető legnagyobb egyedszámban származzon az adott helyről *G. roeselii* és *E. ujhelyii*, illetve fontos volt, hogy a helyek megfelelő távolságra legyenek egymástól, ezzel kizárható, hogy a lesodródás befolyásolja a mérést. Így a bolharákok esetében a KM-16 (kiszáradó) és KM-44 (állandó) mintavételi helyek, míg a kérészek tekintetében a KM-16 (kiszáradó) és KM-10 (állandó) helyek bizonyultak a legalkalmasabbnak.

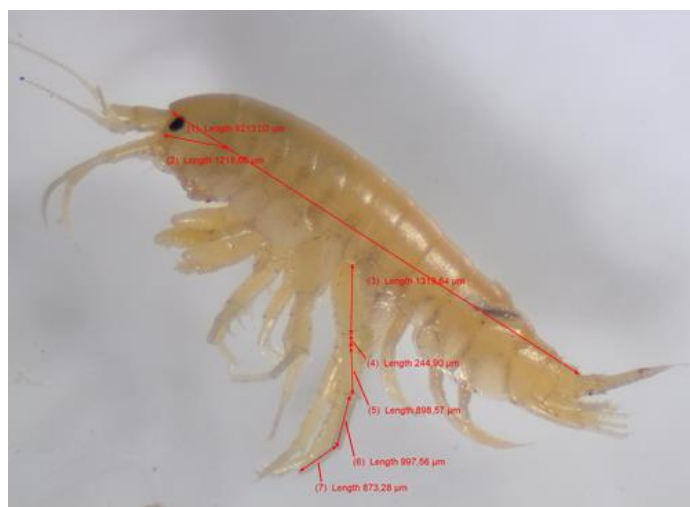
A rákok méréséhez Lipkowski és munkatársai (2019) munkáját vettük alapul. Az ő általuk a *G. roeselii* egyedeken mért számos morfometriai paraméterből azokat választottuk ki, amelyek egyrészt jól jellemzik az egyedek testméretét (pl. fejhossz, fejszélesség, teljes testhossz), másrészt összefüggésben lehetnek valamilyen módon a kiszáradás által okozott zavaró hatásokból eredő morfometriai változásokkal (pl. lábízek hossza és szélessége, antennák paraméterei). A kérészek esetében eredetileg Gutiérrez-Fonseca & Ramírez (2020) munkája alapján a teljes testhossz és a fej paraméterei mellett a láb ízek hosszának és szélességének vizsgálatát tűztük ki, azonban a minták előzetes szemrevételezése után látszott, hogy a kérészek lábai letöredeztek a hosszú tárolási időszak alatt. Emiatt az *E. ujhelyii* esetében a szárnykezdemény, a szemek, és a *cercus*-ok méreteinek vizsgálata mellett döntöttünk, ugyanis ezek a szervek az egyedfejlődés szempontjából igen érzékeny területek, illetve a szemek és a *cercus*-ok a külvilág érzékelésében fontos szerepet játszanak. Ezen okokból a stressz hatására a szárny és az érzékszervek morfológiájukban mutathatnak eltéréseket.

A *G. roeselii*, az *E. ujhelyii*, és a *C. major* esetében a mért testparaméterekből számított paraméterekkel is dolgoztunk (pl. lábízek hosszának és szélességének aránya, szemek és szárnykezdemény területe stb.). Az állatokon mért és az azokból számított összes testparamétert, valamint azok neveit és rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza, valamint a négy fajon történő méréseket a 4., 5., 6., 7. ábra mutatja.



4. ábra: Vizsgált paraméterek *Gammarus roeselii* esetében. (1) Fej hosszúsága, (2) Fej szélessége, (3) teljes testhossz, (4) 1-es antenna hosszúsága bal oldalon (5) 2-es antenna hosszúsága bal oldalon, (6) 7. pereopod basis hosszúsága bal oldalon, (7) 7. pereopod basis szélessége bal oldalon; (8) 7. pereopod merus hosszúsága bal oldalon, (9) 7. pereopod merus szélessége bal

oldalon, (10) 7. pereopod carpus hosszúsága bal oldalon, (11) 7. pereopod carpus szélessége bal oldalon, (12) 7. pereopod propod hosszúsága bal oldalon, (13) 7. pereopod propod szélessége bal oldalon. A páros testparamétereket (antennák és lábízek) a bal és jobb oldalon is vizsgáltam. Az állatokon mért és az azokból számított összes testparamétert, valamint azok neveit és rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.



5. ábra: Vizsgált paraméterek *Gammarus fossarum* esetében. (1) Teljes testhossz, (2) fej hosszúsága (3) 7. pereopod basis hosszúsága bal oldalon, (4) 7. pereopod merus hosszúsága bal oldalon (5) 7. pereopod carpus hosszúsága bal oldalon, (6) 7. pereopod propod hosszúsága bal oldalon, A páros lábízek a bal és jobb oldalon is lemérésre kerültek. Az

állatokon mért és az azokból számított összes testparamétert, valamint azok neveit és rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.



6. ábra: Vizsgált paraméterek *Electrogena ujhelyii* esetében. (1) Fej hosszúsága, (2) Fej szélessége, (3 és 5) szem szélessége bal és jobb oldalon, (4 és 6) szem hosszúsága bal és jobb oldalon, (7 és 8) Szem középvonaltól való távolsága bal és jobb oldalon, (9 és 10) szárnykezdemény hosszúsága bal és jobb oldalon, (11 és 12)

szárnykezdemény szélessége bal és jobb oldalon, (13) bal oldali cercus tőszélessége, (14) középső cercus tőszélessége, (15) jobb oldali cercus tőszélessége, (16) teljes testhossz. Az állatokon mért és az azokból számított összes testparamétert, valamint azok neveit és rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.



7. ábra: Vizsgált paraméterek *Chaetopterx major* esetében. (1a) Fej hosszúsága, (2a) fej szélessége. (1b) első láb femur hosszúság, (2b) első láb femur szélesség, (3b) első láb tibia hosszúság, (4b) első láb tibia szélesség. (1c) második láb femur hosszúság (2c) második láb femur szélesség, (3c) második láb tibia hosszúság, (4c) második láb tibia szélesség. (5c) harmadik láb femur hosszúság (6c) harmadik láb femur szélesség, (7c) harmadik láb tibia hosszúság, (8c) harmadik láb tibia

szélesség. Az állatokon mért és az azokból számított összes testparamétert, valamint azok neveit és rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A vizsgálat során mért és számított testparaméterek, azok magyar és angol nevei, valamint a mérés során használt rövidítések *Gammarus roeselii*, *Gammarus fossarum*, *Electrogena ujhelyii* és *Chaetopteryx major* esetében.

<i>Gammarus roeselii</i> , <i>Gammarus fossarum</i>		
Magyar név	Angol név	Rövidítés
Fej hosszúság	Head length	HL
Fej szélesség	Head width	HW
Fej arányai	Head length/head width	HL/HW
Teljes testhossz	Body length	BL
1-es antenna hossza baloldalon	Antenna 1 length (left)	A1L
2-es antenna hossza baloldalon	Antenna 2 length (left)	A2L
Basis hossza bal oldalon	Basis length (left)	BALL
Basis szélessége bal oldalon	Basis width (left)	BAWL
Basis arányai bal oldalon	Basis length/width (left)	BALL/BAWL
Merus hossza bal oldalon	Merus length (left)	MLL
Merus szélessége bal oldalon	Merus width (left)	MWL
Merus arányai bal oldalon	Merus length(width (left)	MLL/MWL
Carpus hossza bal oldalon	Carpus length (left)	CLL
Carpus szélessége bal oldalon	Carpus width (left)	CWL
Carpus arányai bal oldalon	Carpus length/width (left)	CLL/CWL
Propod hossza bal oldalon	Propod length (left)	PLL
Propod szélessége bal oldalon	Propod width (left)	PWL
Propod arányai bal oldalon	Propod length/width (left)	PLL/PWL
1-es antenna hossza bal oldalon	Antenna 1 length (right)	A1R
2-es antenna hossza bal oldalon	Antenna 2 length (right)	A2R
Basis hossza jobb oldalon	Basis length (right)	BALR
Basis szélessége jobb oldalon	Basis width (right)	BAWR
Basis arányai jobb oldalon	Basis length/width (right)	BALR/BAWR
Merus hossza jobb oldalon	Merus length (right)	MLR
Merus szélessége jobb oldalon	Merus width (right)	MWR
Merus arányai jobb oldalon	Merus length/width (right)	MLR/MWR
Carpus hossza jobb oldalon	Carpus length (right)	CLR
Carpus szélessége jobb oldalon	Carpus width (right)	CWR
Carpus arányai jobb oldalon	Carpus length/width (right)	CLR/CWR
Propod hossza jobb oldalon	Propod length (right)	PLR
Propod szélessége jobb oldalon	Propod width (right)	PWR
Propod arányai jobb oldalon	Propod length/width (right)	PLR/PWR
<i>Electrogena ujhelyii</i>		
Magyar név	Angol név	Rövidítés
Fej hosszúság	Head length	HL
Fej szélesség	Head width	HW
Fej arányai	Head length/width	HL/HW
Szem szélessége bal oldalon	Eye length (left)	ELL
Szem hosszúsága bal oldalon	Eye width (left)	EWL
Szem területe bal oldalon	Eye area (left)	(ELL*EWL)/2
Szem szélessége jobb oldalon	Eye length (right)	ELR
Szem hosszúsága jobb oldalon	Eye width (right)	EWR
Szem területe jobb oldalon	Eye area (right)	(ELR*EWR)/2
Jobb szem középvonaltól való távolsága	Middle line and left eye	ML
Bal szem középvonaltól való távolsága	Middle line and right eye	MR
Szárnykezdemény hossza bal oldalon	Wing pad length (left)	WLL
Szárnykezdemény szélessége bal oldalon	Wing pad width (left)	WWL
Szárnykezdemény területe bal oldalon	Wing pad area (left)	(WLL*WWL)/2
Szárnykezdemény hossza jobb oldalon	Wing pad length (right)	WLR

Szárnykezdemény szélessége jobb oldalon	Wing pad width (right)	WWR
Szárnykezdemény területe jobb oldalon	Wing pad area (right)	(WLR*WWR)/2
Bal cercus tőszélessége	Cercus width (left)	CL
Középső cercus tőszélessége	Cercus width (middle)	CM
Jobb cercus tőszélessége	Cercus width (right)	CR
Teljes testhossz	Body length	BL

<i>Chaetopteryx major</i>		
Magyar név	Angol név	Rövidítés
Fej hosszúság	Head length	HL
Fej szélesség	Head width	HW
Jobb első láb femur hosszúság	Sinister leg 1 Femur length	SX LEG 1 FL
Jobb első láb femur szélesség	Sinister leg 1 Femur width	SX LEG 1 FW
Jobb első láb femur aránya	Sinister leg 1 Femur length/width	SX LEG 1 FL/FW
Jobb első láb tibia hosszúság	Sinister leg 1 tibia length	SX LEG 1 TL
Jobb első láb tibia szélesség	Sinister leg 1 tibia width	SX LEG 1 TW
Jobb első láb tibia aránya	Sinister leg 1 tibia length/width	SX LEG1 TL/TW
Jobb második lábfemur hosszúság	Sinister leg 2 Femur length	SX LEG 2 FL
Jobb második lábfemur szélesség	Sinister leg 2 Femur width	SX LEG 2 FW
Jobb második láb femur aránya	Sinister leg 2 Femur length/width	SX LEG2 FL/FW
Jobb második láb tibia hosszúság	Sinister leg 2 tibia length	SX LEG 2 TL
Jobb második láb tibia szélesség	Sinister leg 2 tibia width	SX LEG 2 TW
Jobb második láb tibia arány	Sinister leg 2 tibia length/width	SX LEG2 TL/TW
Jobb harmadik láb femur hosszúság	Sinister leg 3 Femur length	SX LEG 3 FL
Jobb harmadik láb femur szélesség	Sinister leg 3 Femur width	SX LEG 3 FW
Jobb harmadik láb femur aránya	Sinister leg 3 Femur length/width	SX LEG3 FL/FW
Jobb harmadik láb tibia hosszúság	Sinister leg 3 tibia length	SX LEG 3 TL
Jobb harmadik láb tibia szélesség	Sinister leg 3 tibia width	SX LEG 3 TW
Jobb harmadik láb tibia arány	Sinister leg 3 tibia length/width	SX LEG3 TL/TW
Bal első láb femur hosszúság	Dexter leg 1 femur length	DX LEG 1 FL
Bal első láb femur szélesség	Dexter leg 1 femur width	DX LEG 1 FW
Bal első láb femur aránya	Dexter leg 1 femur length/width	DX LEG1 FL/FW
Bal első láb tibia hosszúság	Dexter leg 1 tibia length	DX LEG 1 TL
Bal első láb tibia szélesség	Dexter leg 1 tibia width	DX LEG 1 TW
Bal első láb tibia aránya	Dexter leg 1 tibia length/width	DX LEG1 TL/TW
Bal második lábfemur hosszúság	Dexter leg 2 Femur length	DX LEG 2 FL
Bal második lábfemur szélesség	Dexter leg 2 Femur width	DX LEG 2 FW
Bal második láb femur aránya	Dexter leg 2 Femur length/width	DX LEG2 FL/FW
Bal második láb tibia hosszúság	Dexter leg 2 tibia length	DX LEG 2 TL
Bal második láb tibia szélesség	Dexter leg 2 tibia width	DX LEG 2 TW
Bal második láb tibia arány	Dexter leg 2 tibia length/width	DX LEG2 TL/TW
Bal harmadik láb femur hosszúság	Dexter leg 3 Femur length	DX LEG 3 FL
Bal harmadik láb femur szélesség	Dexter leg 3 Femur width	DX LEG 3 FW
Bal harmadik láb femur aránya	Dexter leg 3 Femur length/width	DX LEG3 FL/FW
Bal harmadik láb tibia hosszúság	Dexter leg 3 tibia length	DX LEG 3 TL
Bal harmadik láb tibia szélesség	Dexter leg 3 tibia width	DX LEG 3 TW
Bal harmadik láb tibia arány	Dexter leg 3 tibia length/width	DX LEG3 TL/TW

A tavaszi KM-16 mintában 167, a KM-44-ben 778 darab *Gammarus roeselii* volt, amelyekből 50-50 egyedet választottam ki a mérésre. Almeida és munkatársai (2013) a rendelkezésre álló makrogerinctelenek közül az 50-100 legnagyobb egyedet választották ki, azonban mi ezt a módszert elvetettük, mivel így a nagyméretű egyedek valós arányaikhoz képest túlsúlyba kerülnek a mérések során. Ennek kiküszöbölésére, hogy az egész populációt jobban reprezentálja az általam lemerített minta, egy almintázásra alkalmas Petri-csészét készítettem, melyet 25 egyforma területű négyzetre osztottam. A Petri-csészére a mintában található állatoknak körülbelül a felét rátettem, egyenletesen eloszlatam, és minden négyzetből kiválasztottam a legnagyobb egyedet, majd 70%-os DI keverékbe helyeztem, a mérések elvégzéséig. Majd az egyedek másik felével mindezt megismételttem.

A kérészek esetében a KM-16 minta 71, míg a KM-10 minta 324 darab *Electrogena ujhelyii* egyedet tartalmazott. A KM-16-os minta minden egyedét előzetesen megvizsgáltam, és a méretük és állapotuk alapján elkülönítettem a mintában található összes, mérésre alkalmas egyedet, így 35 kérésszel tudtam dolgozni. A KM-10 minta során szintén almintázást végeztem. Ennek során szintén a 25 négyzetre osztott Petri-csészét alkalmaztam. Ebben az esetben azonban a legnagyobb egyedek kiválasztása torzította volna az eredményeket, ugyanis a kiszáradó vízfolyás mintájának 35 kiválasztott egyedei közt találtam több lárvastádiumú lárvát is, melyek más és más mérettartományba estek. Emiatt random szám generálással kiválasztottam egy négyzetet, és e négyzet minden mérésre alkalmas egyedét kivettem a későbbi mérésekhez. Ezt addig ismételttem, amíg összegyűjtöttem 35 állatot. Az *E. ujhelyii* egyedek mérése során szükség volt a fejek preparálására, hogy megfelelő szögben lehessen mérni a paramétereket. Ehhez bonctűt és csipeszeket használtam.

A *Gammarus fossarum* és a *Chaetopteryx major* egyedek mérése a Pécsi Tudományegyetem Hidrobiológiai Tanszékén történt 2019 júniusában. A *Gammarus* esetében mintavételi helyenként az 50-50 legnagyobb egyed került kiválasztásra és mérésre, így összesen 200 egyed vizsgálata történt meg. A tegzesfaj esetén pedig a 40-40 legnagyobb egyed mérése történt meg mintánként, ez összesen 160 egyedet jelent.

A méréseket egy Olympus MVX10 típusú sztereomikroszkóppal végeztem, mely egy MVPLAPO 0.63X objektívvel volt felszerelve. Ezen kívül még Märzhäuser MFD motorizált Z-tengely és Märzhäuser Tango controller volt a rendszerhez csatlakoztatva, illetve a mikroszkóp élőképét egy asztali számítógépen jelenítettük meg, ehhez egy Olympus SC50 kamera állt rendelkezésünkre. A méréseket az Olympus Stream Basic nevű kép analizáló szoftverével végeztem el. Ezzel a szoftverrel képes voltam a mikroszkóp élőképén

meghatározni a kijelölt pontok távolságát, mivel a szoftver a kiválasztott objektív és nagyítás ismeretében képes mikrométerben megadni a szoftveresen kijelölt szakaszok hosszát (3. és 4. ábra).

II.4. Statisztikai módszerek

A statisztikai elemzés során kétféle teszt-típust alkalmaztunk. A kiszáradó és a nem kiszáradó vízfolyásból származó állatok testparamétereinek értékeit kétmintás (független) tesztekkel (*independent samples tests*) hasonlítottuk össze. A fluktuáló asszimmetria vizsgálatánál az élőlények jobb és bal oldali testrészeinek páronkénti összehasonlítását páros tesztekkel (*paired samples tests*) vizsgáltuk. Minden összehasonlítás esetében elvégeztük a parametrikus tesztek használatához megkövetelt kritériumok (normalitás, varianciák homogenitása) tesztelését. A normalitás tesztelése minden esetben Shapiro-Wilk teszttel, a varianciák homogenitásának tesztelése pedig Levene teszttel történt. Ezek után minden olyan összehasonlítás estén, amely teljesítette a parametrikus tesztek használatának kritériumait, elvégeztük a statisztikai programban rendelkezésre álló összes parametrikus (kétmintás: Student és Welch; páros: Student) és nem-parametrikus tesztet (kétmintás: Mann-Whitney; páros: Wilcoxon előjelteszt) is. Azoknál az összehasonlításoknál, amelyek nem teljesítettek a feltételeket, csak a nem-parametrikus tesztek (kétmintás: Mann-Whitney; páros: Wilcoxon előjelteszt) végeztük el. Amennyiben a parametrikus és nem-parametrikus tesztek eredményében nem tapasztaltunk különbséget, akkor az eredmények könnyebb összehasonlíthatósága kedvéért minden esetben a nem-parametrikus teszt eredményével dolgoztunk. Amennyiben a parametrikus és nem-parametrikus tesztek eredménye eltért, akkor a kritériumok teljesítésének figyelembevétele mellett a lehető legerősebb statisztikai teszt eredményével dolgoztunk.

A kiszáradó és állandó patakokból származó állatok testméretével összefüggő paraméterek összehasonlításakor egyoldalú alternatív hipotézis tesztelést végeztünk, ahol is az alternatív hipotézisünk az volt, hogy a kiszáradó patakokban nagyobb testméretet érnek el az állatok az állandó vizekben élőkkel szemben. Minden más esetben kétoldalú alternatív hipotézis tesztelést végeztünk.

A statisztikai analízis elvégzéséhez a JASP program 0.16.1 ([JASP Team 2022](#)) verzióját használtuk.

III. Eredmények bemutatása és elemzése

III.1. Kiszáradó és állandó patakokban élő állatok testparamétereinek összehasonlítása

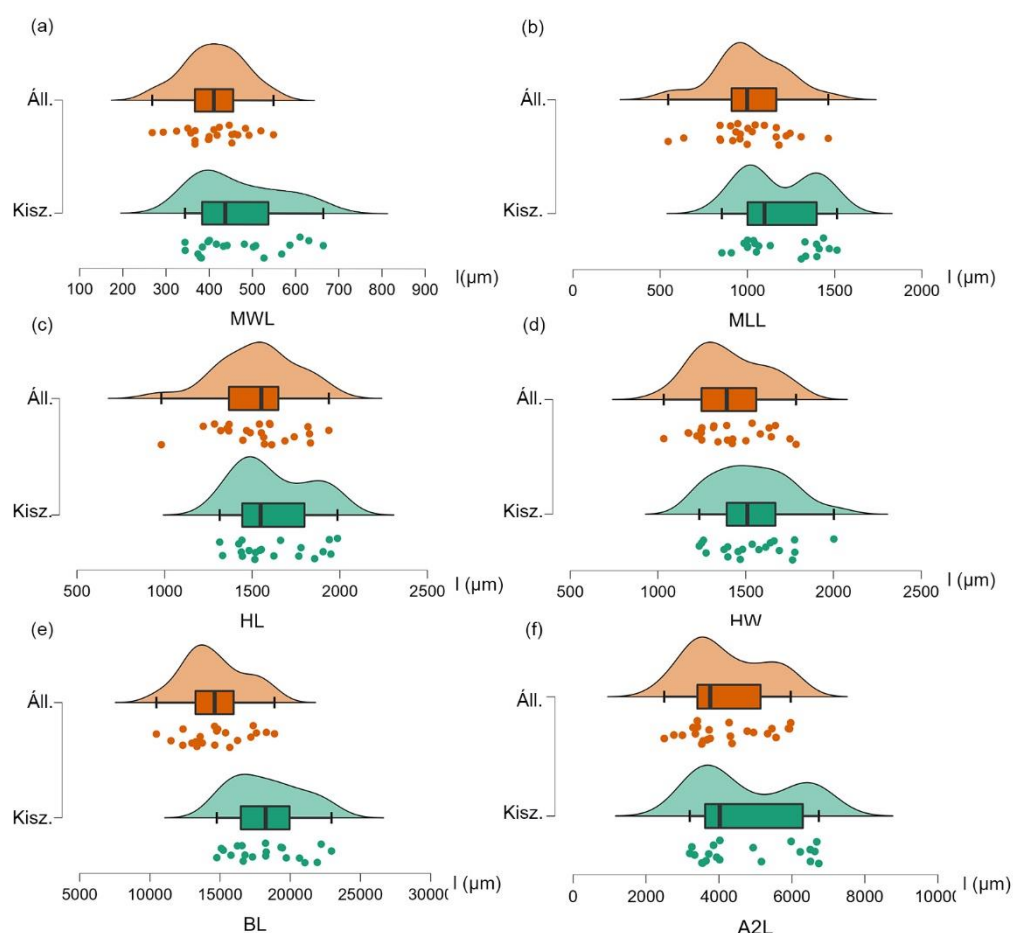
III.1.1. *Gammarus roeselii*

A kiszáradó vízfolyásból származó *G. roeselii* egyedek szinte minden mért paramétere nagyobb volt, mint az állandó vizű élőhelyeken élő rákoké (2. táblázat, 8a-f. ábra). Csúpn a bal és jobb oldali *basis* szélessége (BAWL és BAWR) nem mutat szignifikáns eltérést (2. táblázat).

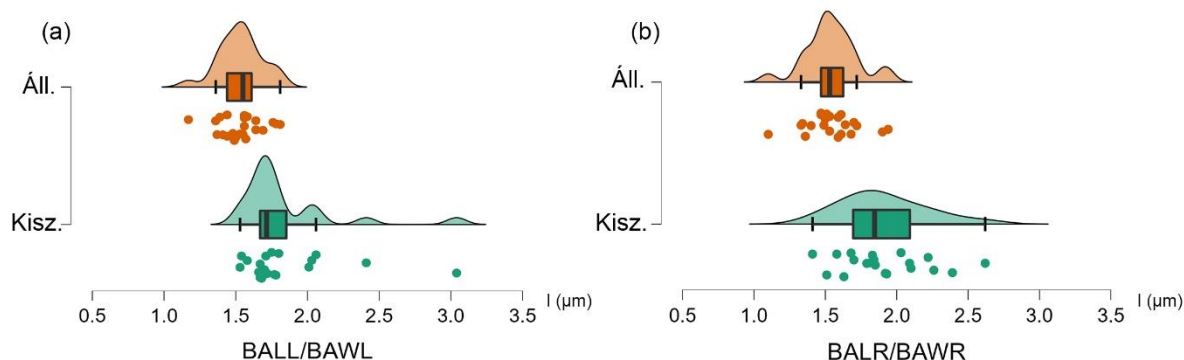
2. táblázat: Kiszáradó és állandó vízfolyások adatsorainak összehasonlítására használt kétmintás tesztek eredményei *Gammarus roeselii* esetén. df: szabadsági fokok száma (Mann-Whitney teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint, Ha: az alternatív hipotézis típusa (≠: kétoldalú, Int>Per: egyoldalú, ahol a kiszáradó>állandó) A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Gammarus roeselii</i>						
Testparaméter	Teszt	Teszt statisztika	df	p		Ha
HL/HW	Mann-Whitney	1028,5		0,127		≠
BALL/BAWL	Mann-Whitney	1891,5		8,999E-07	***	≠
MLL/MWL	Mann-Whitney	1239		0,516		≠
CLL/CWL	Mann-Whitney	1096		0,025	*	≠
PLL/PWL	Mann-Whitney	893		0,243		≠
BALR/BAWR	Mann-Whitney	1958		1,70E-08	***	≠
MLR/MWR	Mann-Whitney	1338		0,119		≠
CLR/CWR	Mann-Whitney	992,5		0,154		≠
PLR/PWR	Mann-Whitney	789		0,584		≠
HL	Mann-Whitney	1715,5		0,0006738	***	Int>Per
HW	Mann-Whitney	1830		0,00003235	***	Int>Per
BL	Mann-Whitney	2253		2,405E-12	***	Int>Per
A1L	Mann-Whitney	1178		0,039	*	Int>Per
A2L	Mann-Whitney	1378		0,003	**	Int>Per
BALL	Mann-Whitney	1583		0,003	**	Int>Per
BAWL	Mann-Whitney	1050,5		0,857		Int>Per
MLL	Mann-Whitney	1681,5		4,92E-05	***	Int>Per
MWL	Mann-Whitney	1578		0,000858	***	Int>Per
CLL	Mann-Whitney	1254		0,0001132	***	Int>Per
CWL	Mann-Whitney	1191		0,0009339	***	Int>Per
PLL	Mann-Whitney	1122,5		0,0003067	***	Int>Per
PWL	Mann-Whitney	1014		0,009	**	Int>Per
A1R	Mann-Whitney	1280		0,025	*	Int>Per
A2R	Mann-Whitney	1400		0,007	**	Int>Per
BALR	Mann-Whitney	1481		0,014	*	Int>Per
BAWR	Mann-Whitney	750,5		0,999		Int>Per
MLR	Mann-Whitney	1627,5		0,0001018	***	Int>Per
MWR	Mann-Whitney	1526,5		0,002	**	Int>Per
CLR	Mann-Whitney	1143,5		0,002	**	Int>Per
CWR	Mann-Whitney	1113		0,005	**	Int>Per
PLR	Mann-Whitney	991		0,004	**	Int>Per
PWR	Mann-Whitney	986		0,005	**	Int>Per
* = p<0.05 ** = p<0.01 *** = p<0.001						

G. roeselii esetében, amikor azt vizsgáltuk, hogy mely paraméterek arányában van eltérés a kiszáradó és nem kiszáradó területek állatai között, azt tapasztaltuk, hogy a *basis* hosszúság/szélesség aránya szignifikánsan, és nagy mértékben különbözik egymástól mind a bal, mind a jobb oldalon (BALL/BAWL és BALR/BAWR; 2. táblázat; 9a-b. ábra). További szignifikáns, de kisebb mértékű eltérés mutatkozik a bal oldali *carpus* hosszúság/szélesség arányában (CLL/CWL) (2. táblázat).



8. ábra: A kiszáradó és állandó vízfolyásokból származó *Gammarus roeselii* egyedek testméretét jellemző paramétereit összehasonlító dobozdiagrammokról leolvasható, hogy a kiszáradó (Kisz., zöld) patakokban mért értékek nagyobbak, mint az állandó patakokban (Áll., narancs) mérték. Az ábrán azokat a paramétereket tüntettem fel, amelyek a legjobban mutatják a különbségeket. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. $\square$: interkvartilis terjedelem; $|$: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; $\bullet$: adatpontok.



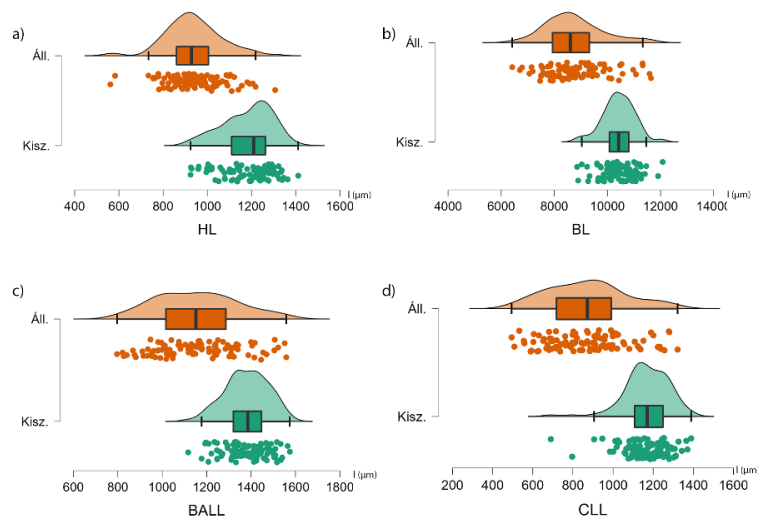
9. ábra: *Gammarus roeselii* 7. pereopod basis lábíz arányainak összehasonlítása kiszáradó és állandó vizű vízfolyások esetén. Az ábrákon jól látszik, hogy a box-plotok jól elkülönülnek egymástól, így egyértelmű a különbség a kiszáradó (Kisz., zöld) és az állandó (Áll., narancs) között. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

III.1.2. *Gammarus fossarum*

A *Gammarus fossarum* adatsora nem tartalmazott szélesség adatokat, így ebben az esetben arányszámításra nem volt lehetőség, így csupán az első hipotézist tudtuk tesztelni. Hasonlóan a tüskés bolharákhoz, a *G. fossarum* esetében is azt mutatják az eredmények, hogy a kiszáradó élőhelyek állatainak testméretei, és a végtagok méretei is nagyobbak. Kivétel nélkül minden mért paraméter szignifikáns eltérést mutat (3. táblázat, 10a-d. ábra).

3. táblázat: Kiszáradó és állandó vízfolyások adatsorainak összehasonlítására használt kétmintás tesztek eredményei *Gammarus fossarum* esetén. df: szabadsági fokok száma (Mann-Whitney teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint, Ha: az alternatív hipotézis típusa (Int>Per: egyoldali, ahol a kiszáradó>állandó) A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Gammarus fossarum</i>						
Testparaméter	Teszt	Teszt statisztika	df	p		Ha
HL	Mann-Whitney	9232		2,3422E-25	***	Int>Per
BL	Mann-Whitney	8992		8,9736E-23	***	Int>Per
BALL	Mann-Whitney	8556		1,8529E-18	***	Int>Per
BALR	Mann-Whitney	8501		5,9920E-18	***	Int>Per
MLL	Mann-Whitney	8369,5		9,2219E-17	***	Int>Per
MLR	Mann-Whitney	8287		4,8658E-16	***	Int>Per
CLL	Mann-Whitney	8950		2,4536E-22	***	Int>Per
CLR	Mann-Whitney	8636		3,2558E-19	***	Int>Per
PLL	Mann-Whitney	8324,5		2,2960E-16	***	Int>Per
PLR	Mann-Whitney	8329,5		2,0760E-16	***	Int>Per
* = p<0.05						
** = p<0.01						
*** = p<0.001						



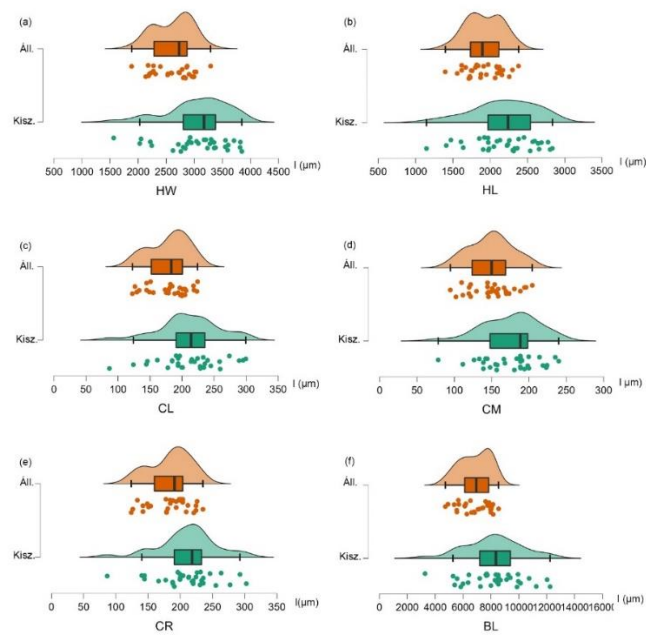
10. ábra: A kiszáradó és állandó vízfolyásokból származó *Gammarus fossarum* egyedek testméretét jellemző paramétereit összehasonlító dobozdiagrammokról leolvasható, hogy a kiszáradó (Kisz., zöld) patakokban mért értékek nagyobbak, mint az állandó patakokban (Áll., narancs) mértek. Az ábrán azokat a paramétereket tüntettem fel, amelyek a legjobban mutatják a különbségeket. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

III.1.3. *Electrogena ujhelyii*

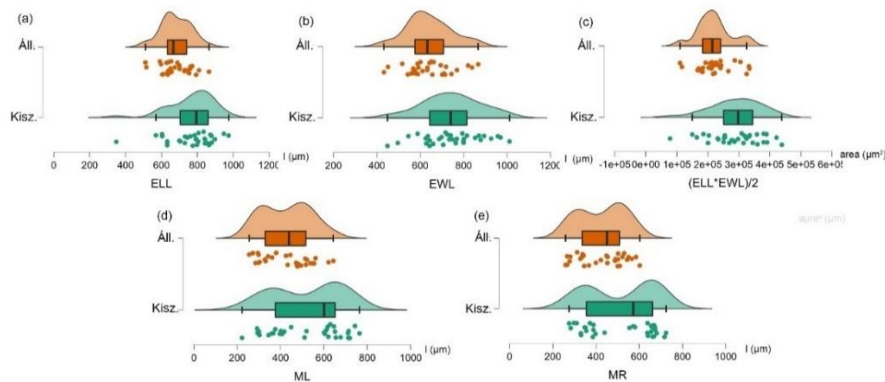
Az *Electrogena ujhelyii* esetében az összes testmérettel összefüggő paraméter, vagyis a testhosszúság (BL), a fej mutatói (HL és HW), és a cercusok tőszélességei (CL, CM, CR) is a kiszáradó patakból származó egyedek esetén szignifikánsan nagyobbak voltak (4. táblázat, 11a-f. ábra). A kiszáradó és nem kiszáradó élőhelyről származó állatok közötti egyéb szignifikáns különbséget pedig leginkább a bal szem paramétereiben és területében (ELL, EWL, $(ELL \cdot EWL)/2$) és a szemek középvonaltól való távolsága (ML és MR) esetében mutattunk ki (4. táblázat, 12a-e. ábra). A szemek középvonaltól való távolsága esetén a kiszáradó patakokban bimodális (két módusú) eloszlást tapasztaltunk (12d-e. ábra). Ezen kívül a bal szárny szélességében (WWL) mutattunk ki még egy szignifikáns különbséget a kiszáradó és állandó patakokból származó *E. ujhelyii* egyedek között (4. táblázat).

4. táblázat: Kiszáradó és állandó vízfolyások adatsorainak összehasonlítására használt kétmintás tesztek eredményei *Electrogena ujhelyii* esetén. df: szabadsági fokok száma (Mann-Whitney teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint, Ha: az alternatív hipotézis típusa ($\neq$: kétoldalú, Int>Per: egyoldalú, ahol a kiszáradó>állandó) A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Electrogena ujhelyii</i>					
Testparaméter	Teszt	Teszt statisztika	df	p	Ha
HL/HW	Student	-1,961	68	0,054	$\neq$
ELL	Mann-Whitney	869		0,003	** $\neq$
EWL	Mann-Whitney	815		0,018	* $\neq$
(ELL*EWL)/2	Mann-Whitney	872		0,002	** $\neq$
ELR	Mann-Whitney	772		0,062	$\neq$
EWR	Mann-Whitney	740,5		0,134	$\neq$
(ELR*EWR)/2	Mann-Whitney	775		0,057	$\neq$
ML	Mann-Whitney	821,5		0,007	** $\neq$
MR	Mann-Whitney	849		0,006	** $\neq$
WLL	Mann-Whitney	694		0,158	$\neq$
WWL	Student	2,154	66	0,035	* $\neq$
(WLL*WWL)/2	Mann-Whitney	700		0,137	$\neq$
WLR	Mann-Whitney	696		0,229	$\neq$
WWR	Mann-Whitney	731		0,104	$\neq$
(WLR*WWR)/2	Mann-Whitney	711		0,167	$\neq$
HL	Mann-Whitney	866,5		0,001	** Int>Per
HW	Mann-Whitney	901		2,79E-04	*** Int>Per
CL	Mann-Whitney	824		0,001	** Int>Per
CM	Mann-Whitney	761		0,003	** Int>Per
CR	Mann-Whitney	843,5		0,001	** Int>Per
BL	Mann-Whitney	847		0,003	** Int>Per
* = p<0.05					
** = p<0.01					
*** = p<0.001					



11. ábra: *E. ujhelyii* egyes testméretet jellemző paramétereinek összehasonlítása kiszáradó és állandó vizű vízfolyások esetén. Az ábrán a legnagyobb szignifikanciát mutató paraméterek láthatók. A két csoport jól elkülönül egymástól, leolvasható, hogy minden esetben nagyobb méretűek a kiszáradó patakból származó (Kisz., zöld) kérészek testrészei. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

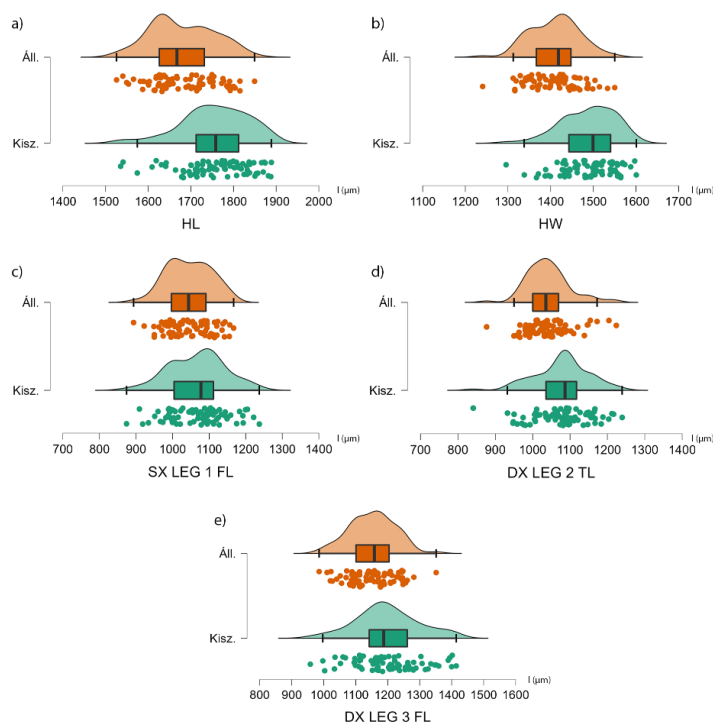


12. ábra: Szignifikánsan eltérő paraméterek a kiszáradó (Kisz., zöld) és állandó vizű (Áll., narancs) vízfolyásoknál *E. ujhelyii* esetében. A bal szem és a szemek középvonaltól való távolsága nagyobb volt a kiszáradó (Kisz., zöld) vízben élő kérészeknél, ez az ábrákon is jól látszik. A szem paramétereinél erősebben elkülönül a két csoport. A szem-középvonaltól való távolságoknál pedig az egyedek egy csoportja mutatott csak nagyobb értékeket a kiszáradó

esetben. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

III.1.4. *Chaetopteryx major*

Csakúgy, mint az előző 3 faj esetén, a kiszáradó vízfolyások *Chaetopteryx major* egyedei nagyobb testmérettel rendelkeznek. A fej hosszúsága, szélessége szignifikánsan eltér, továbbá a legtöbb lábon mért változó is ezt az eredményt mutatja. Kivételt képez a jobb első láb *femur*-jának hossza (5. táblázat, 13. ábra) A kiszáradó és állandó vízfolyások összehasonlítása 2 esetben mutatott szignifikáns eltérést a számított arányok tekintetében. A jobb első láb *femur*-ja, illetve a bal első láb *tibia*-ja különbözött ebben az esetben. (5. táblázat, 14. ábra) Az ábrákat megvizsgálva látható, hogy a *femur* esetében kiugró értékek torzítják az eredményt. A *tibia* arányainál azonban tényleges különbség látható, a kiszáradó patakoknál rövidebb, és szélesebb ez az íz (14b. ábra).



13. ábra. *Chaetopteryx major* egyes testméretet jellemző paramétereinek összehasonlítása kiszáradó és állandó vízű vízfolyások esetén. Az ábrán a legnagyobb szignifikanciát mutató paraméterek láthatók. A két csoport jól elkülönül egymástól, leolvasható, hogy minden esetben nagyobb méretűek a kiszáradó patakból származó (Kisz., zöld) kérészek testrészei. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

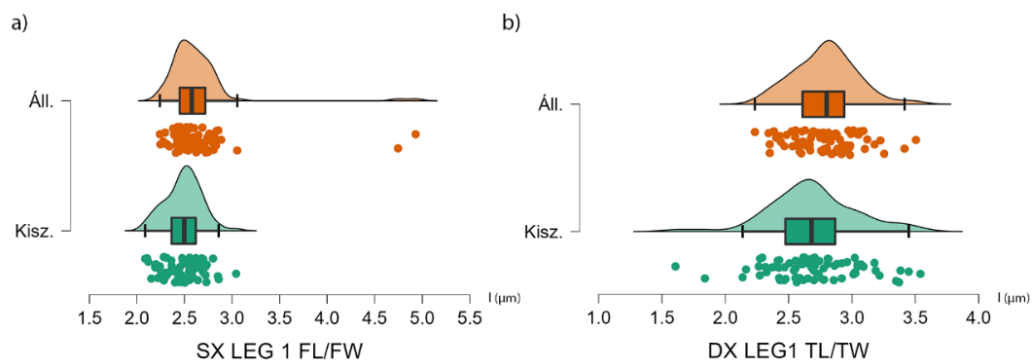
5. táblázat. Kiszáradó és állandó vízfolyások adatsorainak összehasonlítására használt kétmintás tesztek eredményei *Chaetopteryx major* esetén. df: szabadsági fokok száma (Mann-Whitney teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint, Ha: az alternatív hipotézis típusa (≠: kétoldalú, Int>Per: egyoldalú, ahol a kiszáradó>állandó) A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Chaetopteryx major</i>					
Testparaméter	Teszt	Teszt statisztika	df	p	Ha
SX LEG 1 FL/FW	Mann-Whitney	2389		0,006	** ≠
SX LEG1 TL/TW	Mann-Whitney	3239		0,895	≠
SX LEG2 FL/FW	Mann-Whitney	3769		0,052	≠
SX LEG2TL/TW	Mann-Whitney	3044		0,596	≠
SX LEG3 FL/FW	Mann-Whitney	3557		0,224	≠
SX LEG3 TL/TW	Mann-Whitney	3017		0,533	≠
DX LEG1 FL/FW	Mann-Whitney	3224		0,936	≠
DX LEG1 TL/TW	Mann-Whitney	2507		0,018	* ≠
DX LEG2 FL/FW	Mann-Whitney	3530		0,261	≠
DX LEG2 TL/TW	Mann-Whitney	3331		0,656	≠
DX LEG3 FL/FW	Mann-Whitney	3446		0,402	≠
DX LEG3 TL/TW	Mann-Whitney	3131		0,815	≠
HL	Mann-Whitney	4866		6.590×10^{-9}	**** Int>Per
HW	Mann-Whitney	5270		8.182×10^{-13}	**** Int>Per
SX LEG 1 FL	Mann-Whitney	3795,5		0,021	* Int>Per
SX LEG 1 FW	Mann-Whitney	4706		1.390×10^{-7}	**** Int>Per
SX LEG 1 TL	Mann-Whitney	4124,5		8.073×10^{-4}	**** Int>Per
SX LEG 1 TW	Mann-Whitney	3814,5		0,018	* Int>Per
SX LEG 2 FL	Mann-Whitney	4120		8.508×10^{-4}	**** Int>Per
SX LEG 2 FW	Mann-Whitney	3429		0,218	Int>Per
SX LEG 2 TL	Mann-Whitney	3761		0,028	* Int>Per
SX LEG 2 TW	Mann-Whitney	3811		0,019	* Int>Per
SX LEG 3 FL	Mann-Whitney	3679,5		0,051	Int>Per
SX LEG 3 FW	Mann-Whitney	3278,5		0,395	Int>Per
SX LEG 3 TL	Mann-Whitney	3762,5		0,028	* Int>Per
SX LEG 3 TW	Mann-Whitney	3931		0,006	** Int>Per
DX LEG 1 FL	Mann-Whitney	4320,5		6.615×10^{-5}	**** Int>Per
DX LEG 1 FW	Mann-Whitney	4435,5		1.251×10^{-5}	**** Int>Per
DX LEG 1 TL	Mann-Whitney	3737,5		0,033	* Int>Per
DX LEG 1 TW	Mann-Whitney	4528		2.945×10^{-6}	**** Int>Per
DX LEG 2 FL	Mann-Whitney	4049		0,002	** Int>Per
DX LEG 2 FW	Mann-Whitney	3847		0,014	* Int>Per
DX LEG 2 TL	Mann-Whitney	4399		2.157×10^{-5}	**** Int>Per
DX LEG 2 TW	Mann-Whitney	3870		0,011	* Int>Per
DX LEG 3 FL	Mann-Whitney	4139		6.806×10^{-4}	**** Int>Per
DX LEG 3 FW	Mann-Whitney	3938		0,006	** Int>Per
DX LEG 3 TL	Mann-Whitney	4008		0,003	** Int>Per
DX LEG 3 TW	Mann-Whitney	3911		0,008	** Int>Per

* = p<0.05

** = p<0.01

*** = p<0.001



14. ábra: Szignifikánsan eltérő számított arányok a kiszáradó (Kisz., zöld) és állandó vizű (Áll., narancs) vízfolyásoknál *C. major* esetében. Jól látható, hogy a femur esetén (a. ábra) a kiugró értékek torzítják a kapott eredményt. A tibia aránya (b. ábra) viszont valós eltérést mutat. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

III.2. Fluktuáló aszimmetria vizsgálata

III.2.1. *Gammarus roeselii*

A fluktuáló aszimmetria vizsgálatánál a kiszáradó vízfolyások esetében a *basis* hosszúsága, szélessége (BALL – BALR, BAWL – BAWR), és ennek a két paraméternek az arányai (BALL/BAWL-BALR/BAWR) mutattak szignifikáns eltérést a jobb és bal oldalon (5. táblázat, 15a-c. ábra). A többi páros paraméter nem mutatott különbséget a két testfél között. Az állandó vízfolyás *Gammarus*-ainak jobb és bal oldala csak az 1-es antenna (A1L – A2R) hosszúságában mutattak különbségeket (5. táblázat, 15d. ábra).

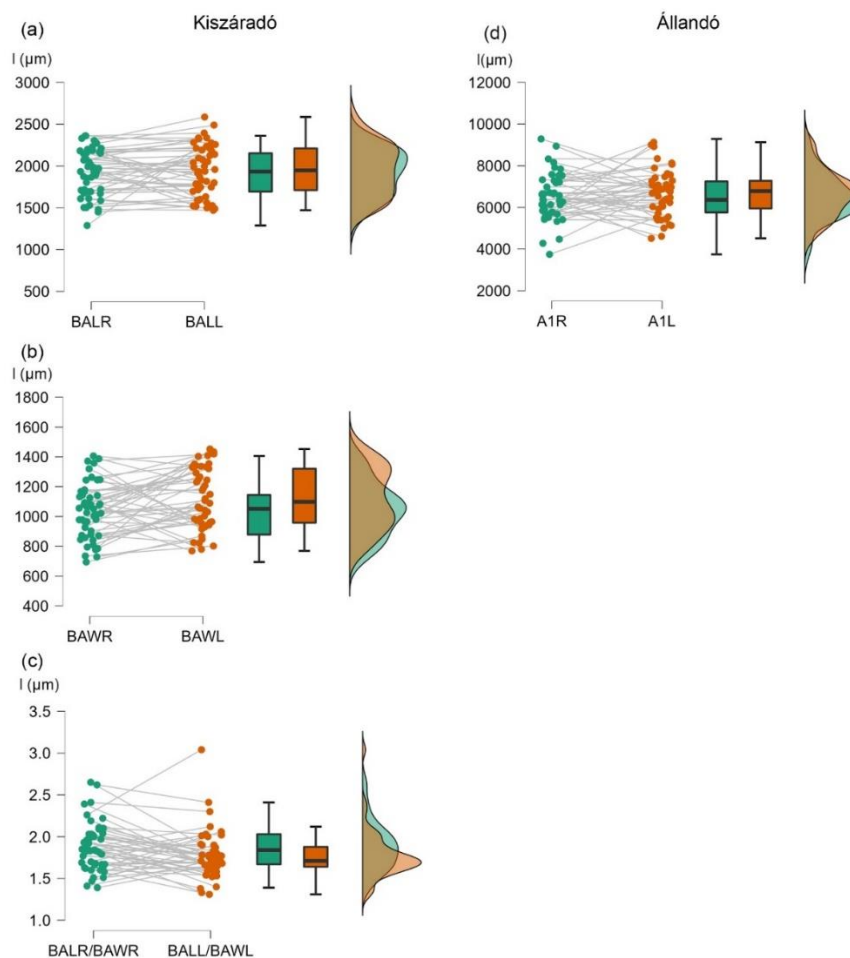
5. táblázat: Bal és jobb oldali paraméterek összehasonlítására használt páros tesztek eredményei *Gammarus roeselii* esetén. z: egy csoport rangátlagja, az összes rangátlaghoz viszonyítva, df: szabadsági fokok száma (Wilcoxon teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

Páros tesztek - Bal és Jobb oldali paraméterek összehasonlítása					
<i>Gammarus roeselii</i> Kiszáradó					
Testparaméter pár		Teszt	Teszt statisztika	z	df p
A1L	- A1R	Wilcoxon	364	-0,094	0,931
A2L	- A2R	Wilcoxon	557	1,014	0,317
BALL	- BALR	Wilcoxon	767	2,148	0,031 *
BAWL	- BAWR	Wilcoxon	845	2,974	0,002 **
CLL	- CLR	Wilcoxon	294	0,561	0,586
CWL	- CWR	Wilcoxon	330	1,234	0,224
MLL	- MLR	Wilcoxon	468	-0,315	0,759
MWL	- MWR	Wilcoxon	643	1,727	0,085
PLL	- PLR	Wilcoxon	213	-0,686	0,504
PWL	- PWR	Wilcoxon	214	-0,666	0,512
BALL/BAWL	- BALR/BAWR	Wilcoxon	318,5	-2,425	0,016 *
CLL/CWL	- CLR/CWR	Wilcoxon	236,5	-0,514	0,614
MLL/MWL	- MLR/MWR	Wilcoxon	362,5	-1,334	0,184
PLL/PWL	- PLR/PWR	Wilcoxon	255,5	0,147	0,891
<i>Gammarus roeselii</i> Állandó					
Testparaméter pár		Teszt	Teszt statisztika	z	df p
A1L	- A1R	Wilcoxon	658	2,234	0,025 *
A2L	- A2R	Wilcoxon	469	-0,303	0,768
BALL	- BALR	Wilcoxon	535	-0,307	0,763
BAWL	- BAWR	Wilcoxon	718	1,333	0,186
CLL	- CLR	Wilcoxon	332	-0,294	0,777
CWL	- CWR	Wilcoxon	398	0,702	0,492
MLL	- MLR	Wilcoxon	644	0,847	0,404
MWL	- MWR	Wilcoxon	544	0,572	0,571
PLL	- PLR	Wilcoxon	174	-1,683	0,095
PWL	- PWR	Wilcoxon	273	0,168	0,875
BALL/BAWL	- BALR/BAWR	Wilcoxon	419	-1,327	0,186
CLL/CWL	- CLR/CWR	Wilcoxon	296,5	-0,83	0,411
MLL/MWL	- MLR/MWR	Wilcoxon	484	-0,617	0,541
PLL/PWL	- PLR/PWR	Wilcoxon	228,5	-0,382	0,71

* = $p < 0.05$

** = $p < 0.01$

*** = $p < 0.001$



15. ábra: Bal-jobb oldali különbözőséget mutató paraméterek *Gammarus roeselii* esetén. Látható, hogy kiszáradó vízfolyások esetében a *basis* lábízék bal oldalon hosszabbak és szélesebbek, és ez az *basis* arányaiban is eltérést okoz. Az 1-es antennák hossza szignifikáns eltérést mutat. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

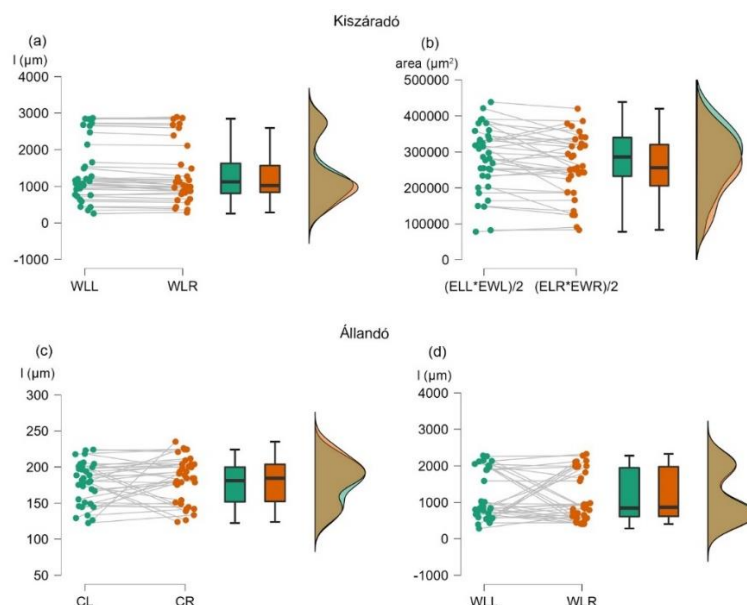
III.2.2. *Electrogena ujhelyii*

A kérészek esetében a kiszáradó vízfolyásnál kisebb mértékű fluktuáló aszimmetriát a szárnykezdemény hossza ($WWL - WWR$), és a szem területe $((ELL * EWL)/2 - (ELR * EWR)/2)$ mutatott (6. táblázat, 16a-b. ábra), míg az állandó patak esetében a *cercus*-ok ($CL - CR$) tőszélességénél, és a szárnykezdemény hosszánál ($WLL - WLR$) jelentkezett szignifikáns különbség (6. táblázat, 16c-d. ábra).

6. táblázat: Bal és jobb oldali paraméterek összehasonlítására használt páros tesztek eredményei *Electrogena ujhelyii* esetén. z: egy csoport rangátlaga, az összes rangátlaghoz viszonyítva, df: szabadsági fokok száma (Wilcoxon teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

Páros tesztek - Bal és Jobb oldali paraméterek összehasonlítása						
<i>Electrogena ujhelyii</i> Kiszáradó						
Testparaméter pár	Teszt	Teszt statisztika	z	df	p	
CL - CR	Wilcoxon	238,5	-0,186		0,86	
ELL - ELR	Wilcoxon	432	1,916		0,056	
EWL - EWR	Wilcoxon	425	1,802		0,073	
ML - MR	Wilcoxon	399	1,376		0,174	
WLL - WLR	Wilcoxon	445	2,522		0,011	*
WWL - WWR	Wilcoxon	327	0,504		0,624	
(ELL*EWL)/2 - (ELR*EWR)/2	Wilcoxon	459	2,359		0,017	*
(WLL*WWL)/2 - (WLR*WWR)/2	Wilcoxon	369	1,222		0,228	
<i>Electrogena ujhelyii</i> Állandó						
Testparaméter pár	Teszt	Teszt statisztika	z	df	p	
CL - CR	Wilcoxon	105	-2,973		0,003	**
ELL - ELR	Wilcoxon	252	-1,032		0,31	
EWL - EWR	Wilcoxon	242	-1,196		0,238	
ML - MR	Wilcoxon	296	0,277		0,789	
WLL - WLR	Wilcoxon	439	2,419		0,015	*
WWL - WWR	Wilcoxon	254	-0,744		0,467	
(ELL*EWL)/2 - (ELR*EWR)/2	Wilcoxon	222	-1,523		0,131	
(WLL*WWL)/2 - (WLR*WWR)/2	Wilcoxon	295	-0,043		0,973	

* = p<0.05
 ** = p<0.01
 *** = p<0.001



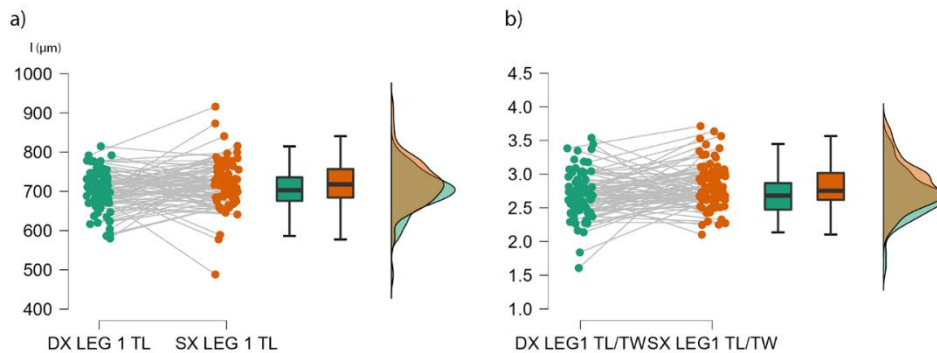
16. ábra: Bal-jobb oldali különbséget mutató paraméterek *Electrogena ujhelyii* esetén. □: interkvartilis terjedelem; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

III.2.3. *Chaetopteryx major*

Az állandó vízfolyások tegzesei nem mutattak szignifikáns eltérést a jobb és bal oldali testrészek összehasonlításakor. (7. táblázat) Ezzel szemben az kiszáradó vízfolyások esetében az első láb *tibia* íze mutat szignifikáns különbséget (táblázat hivatkozás). A *tibia* hossza (SX LEG1 TL – DX LEG1 TL) és a *tibia* aránya (SX LEG1 TL/TW – DX LEG1 TL/TW) is eltérést mutat (17. ábra).

7. táblázat: Bal és jobb oldali paraméterek összehasonlítására használt páros tesztek eredményei *Electrogena ujhelyii* esetén. z: egy csoport rangátlagja, az összes rangátlaghoz viszonyítva, df: szabadsági fokok száma (Wilcoxon teszt esetén nem kerül kiszámításra), p: szignifikancia szint. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Chaetopteryx major</i> Kiszáradó						
Testparaméter pár		Teszt	Teszt statisztika	z	df	p
SX LEG 1 FL	- DX LEG 1 FL	Wilcoxon	1224,5	-1,897		0,058
SX LEG 1 FW	- DX LEG 1 FW	Wilcoxon	1544,5	-0,362		0,719
SX LEG 1 FL/FW	- DX LEG1 FL/FW	Wilcoxon	1250	-1,775		0,076
SX LEG 1 TL	- DX LEG 1 TL	Wilcoxon	2051	2,067		0,039 *
SX LEG 1 TW	- DX LEG 1 TW	Wilcoxon	1272	-1,669		0,096
SX LEG1 TL/TW	- DX LEG1 TL/TW	Wilcoxon	2195	2,758		0,006 **
SX LEG 2 FL	- DX LEG 2 FL	Wilcoxon	1647	0,129		0,899
SX LEG 2 FW	- DX LEG 2 FW	Wilcoxon	1350	-1,295		0,196
SX LEG2 FL/FW	- DX LEG2 FL/FW	Wilcoxon	1843	1,07		0,286
SX LEG 2 TL	- DX LEG 2 TL	Wilcoxon	1436	-0,883		0,379
SX LEG 2 TW	- DX LEG 2 TW	Wilcoxon	1798	0,854		0,395
SX LEG2TL/TW	- DX LEG2 TL/TW	Wilcoxon	1326	-1,41		0,159
SX LEG 3 FL	- DX LEG 3 FL	Wilcoxon	1395	-1,079		0,282
SX LEG 3 FW	- DX LEG 3 FW	Wilcoxon	1275	-1,655		0,098
SX LEG3 FL/FW	- DX LEG3 FL/FW	Wilcoxon	1718	0,47		0,640
SX LEG 3 TL	- DX LEG 3 TL	Wilcoxon	1559	-0,293		0,772
SX LEG 3 TW	- DX LEG 3 TW	Wilcoxon	1465	-0,743		0,459
SX LEG3 TL/TW	- DX LEG3 TL/TW	Wilcoxon	1752	0,633		0,528
<i>Chaetopteryx major</i> Állandó						
Testparaméter pár		Teszt	Teszt statisztika	z	df	p
SX LEG 1 FL	- DX LEG 1 FL	Wilcoxon	1477	-0,686		0,494
SX LEG 1 FW	- DX LEG 1 FW	Wilcoxon	1303	-1,52		0,129
SX LEG 1 FL/FW	- DX LEG1 FL/FW	Wilcoxon	1904	1,362		0,174
SX LEG 1 TL	- DX LEG 1 TL	Wilcoxon	1861	1,156		0,249
SX LEG 1 TW	- DX LEG 1 TW	Wilcoxon	1710	0,432		0,668
SX LEG1 TL/TW	- DX LEG1 TL/TW	Wilcoxon	1728	0,518		0,606
SX LEG 2 FL	- DX LEG 2 FL	Wilcoxon	1488,5	-0,631		0,530
SX LEG 2 FW	- DX LEG 2 FW	Wilcoxon	1590,5	-0,141		0,889
SX LEG2 FL/FW	- DX LEG2 FL/FW	Wilcoxon	1649	0,139		0,891
SX LEG 2 TL	- DX LEG 2 TL	Wilcoxon	1822	0,969		0,334
SX LEG 2 TW	- DX LEG 2 TW	Wilcoxon	1878	1,237		0,217
SX LEG2TL/TW	- DX LEG2 TL/TW	Wilcoxon	1675	0,264		0,794
SX LEG 3 FL	- DX LEG 3 FL	Wilcoxon	1762	0,681		0,497
SX LEG 3 FW	- DX LEG 3 FW	Wilcoxon	1842	1,065		0,288
SX LEG3 FL/FW	- DX LEG3 FL/FW	Wilcoxon	1469	-0,724		0,470
SX LEG 3 TL	- DX LEG 3 TL	Wilcoxon	1676	0,269		0,790
SX LEG 3 TW	- DX LEG 3 TW	Wilcoxon	1522	-0,283		0,779
SX LEG3 TL/TW	- DX LEG3 TL/TW	Wilcoxon	1728	0,518		0,606
* = p<0.05			** = p<0.01		*** = p<0.001	



17. ábra. Bal-jobb oldali különbséget mutató paraméterek *Chaetopteryx major* esetén. Látható, hogy jobb oldali *tibia* íz magasabb értékeket mutat. A testparaméterek rövidítéseit az 1. táblázat tartalmazza. □: interkvartilis terjedeleme; |: medián; T: minimum and maximum értékek kiugró értékek nélkül; ●: adatpontok.

IV. Eredmények megvitatása és következtetések

A patakok kiszáradásának hatása a makrogerinctelen közösségekre kevésbé kutatott területe a hidrobiológiának. Arról pedig, hogy az vízi élőlények testfelépítésére milyen hatással vannak a kiszáradási események, még kevesebb információt találni. Dolgozatomban megvizsgáltam, hogy van-e különbség a kiszáradó és állandó vizű vízfolyásból származó makrogerinctelenek morfológiai paraméterei között, illetve kimutatható-e a kiszáradás következtében fluktuáló aszimmetria az egyedeken.

A kiszáradó vízfolyásból származó *Gammarus roeselii* egyedek szinte minden testparamétere (kivéve BAWL, BAWR) nagyobbak bizonyult, az állandó vízben élő egyedekkel összehasonlítva, a *Gammarus fossarum* esetén pedig minden mért tulajdonság nagyobb volt. Az *Electrogena ujhelyii*, és a *Chaetopteryx major* esetében is ugyanez tapasztalható. Minden testmérettel összefüggő paraméter szignifikánsan nagyobb volt a kiszáradó patakból származó kérészeknél, mint az állandó vizű élőhelyről gyűjtött állatoknál. A kapott eredmények egybevágóak Aspin és munkatársai (2019) megfigyeléseivel, miszerint az élőlényeket érintő stresszorok (így a kiszáradás is) indukálhatnak változásokat a testméretben. A kiszáradás következtében létrejövő testméret növekedésnek több oka is lehet. Ilyen okok lehetnek többek között a predátorok elleni védekezés, vagy az emelkedő vízhőmérséklet és feldúsult tápanyagmennyiségnek köszönhető felgyorsult egyedfejlődés (Aspin et al. 2019).

A testarányok és számított paraméterek tekintetében a *G. roeselii* esetében a *carpus* és a *basis* mutatott szignifikáns eltérést összehasonlítva a két élőhelytípust. A *carpus* arányaiban kimutatott különbség valószínűsíthetően a véletlennek köszönhető, ugyanis nem minden egyednél tudtam ezt a testrészt lemérni, mivel a minta hosszas tárolása következtében némely egyednél hiányzott ez a láb íz. A *basis* arányai bal és jobb oldalon is erősen szignifikáns különbséget mutattak. Itt a *carpus* esetében felmerülő probléma kizárható, hiszen ez a láb íz csak kevés egyednél tört le. A kiszáradó vízfolyásban élő bolharákok 7. pereopodjának *basis* íze keskenyebb, mint az állandó pataokban élő társaiké. Feltételezésünk szerint, ez összefügghet a két féle élőhelyen tapasztalható vízsebesség különbözőségével. Az állandó vizű patakok nagyobb mennyiségű áramló vize könnyen lesodródást okozhat. Ennek kompenzálása érdekében előnyös a rövidebb, szélesebb combíz, ugyanis az áramlással szemben úszás sokkal aktívabb és erőteljesebb mozgást igényel. Az *E. ujhelyii* vizsgálatánál a szemek paraméterei mutattak szignifikáns különbséget a kiszáradó és nem kiszáradó élőhelyek egyedei között. A különbség főleg a bal szem adatainál, és a szemek középvonaltól való távolságánál jelentkezett. Továbbá ezen esetekben tapasztaltunk bimodális eloszlást az adatsorban, vagyis az egyedek két csoportja jól elkülönül egymástól. Ennek oka az lehet, hogy a kiszáradó vízfolyásokban gyorsabb az állatok egyedfejlődése, így ugyanabban az időpillanatban több egyed ért el fejlettebb lárvastádiumot. Ez szintén alátámasztható azzal, hogy a kiszáradó vízfolyásban a feldúsult tápanyag és a hőmérséklet miatt gyorsabb az egyedfejlődés (Aspin et al. 2019), illetve azért is előnyös lehet, mert a víz eltűnése előtt kirepülő imágók nagyobb valószínűséggel élnek túl a kiszáradási eseményt. Valószínűsítjük, hogy az előrehaladottabb lárvastádiumú egyedek szemei távolabb esnek a fej középvonalától, ezért tapasztaltunk eltérést ezeknél a paramétereknél. A *Chaetopteryx major* tegzesfaj a jobb első láb *tibia* ízének arányaiban mutatott valós különbséget. A kiszáradó vízfolyásokban ez az íz rövidebb és keskenyebb, mint a kiszáradó patakok egyedeinél. Ismeretes, hogy bizonyos tegzesfajok lárvái a kiszáradási eseményekhez úgy adaptálódtak, hogy a száraz időszakokban az üledékbe ássák magukat. Így a védett, és nedvesebb környezetben képesek túlélni, és a víz visszatértével újra kolonizálni az élőhelyet (Wickson et al. 2012). Ezen túlélési stratégiához előnyös lehet, ha az első, főleg ásásra használt láb rövidebb, izmosabb. Feltételezzük, hogy a morfológiai eltérés és a jelenség között lehetséges tehát ok-okozati összefüggés.

A kiszáradás okozta fluktuáló aszimmetriát nem sikerült egyértelműen bizonyítani a kutatás során, azonban egyes paramétereknél jelentkezett szignifikáns különbség a két testfél között. *Gammarus roeselii* esetén a kiszáradó vízfolyásnál szintén a *basis* paramétereinél

adódtak különbségek. A szélesség, a hosszúság, és a két paraméter aránya is szignifikáns különbséget mutatott. Ennek oka feltételezhetően szintén a két élőhely különböző vízsebessége lehet, ugyanis úgy tűnik, hogy ez a tényező hatással van ennek az íznek a fejlődésére. A kiszáradás okozta stressz, a víz hiánya hatással lehet az egyedfejlődésre, ami jelentkezhetett a bal és jobb oldali combíz különbözőségében. Az állandó vízfolyások tüskés bolharákjainál az 1-es antennánál jelentkezett különbség a két testfél között. Ez a különbség valószínűleg csak a véletlen műve. Az 1-es antenna egy igen vékony, az alkoholban történő tárolás miatt könnyen letöredező képlet, így feltételezhetően nem valós a kimutatott aszimmetria. Az *E. ujhelyii* vizsgálatánál a kiszáradó vízfolyás állatai a szemterületnél, és a szárnykezdemény hosszánál mutattak aszimmetriát. A szárnykezdeményeknél tapasztalt kis mértékű eltérés valószínűleg a véletlen műve lehet, mivel ez a képlet a morfológiájából adódóan nehezen mérhető. A szem területének különbözősége pedig szintén adódhat a más-más lárvastádiumú egyedek jelenlétéből. Illetve az állandó vízfolyás kérészeinél a bal és jobb oldal *cercus*-ainak tőszélessége, és a szárnykezdemények hossza mutatott eltérést. A szárnykezdeményeknél tapasztalható eltérések – hasonlóan a kiszáradó patakoknál - valószínűleg szintén a véletlen művei. A cercus-ok a víz áramlásának érzékelésében vesznek részt, ezért lehetséges, hogy az itt tapasztalható eltérés oka szintén kereshető a két élőhelytípus közötti vízáramlás különbségében. Ugyanakkor érdekes, hogy ezt a bilaterális szimmetriától való eltérést az állandó vízfolyásnál mutattuk ki. Mivel ez a képlet szintén nagyon könnyen és gyakran letörik a minták hosszútávú tárolása közben, itt is feltételezhető, hogy a kimutatott különbség ebből adódik. A *Chaetopteryx major* bal és jobb oldali különbözőséget az első láb *tibia* ízénél mutatott. Mivel a kiszáradó és állandó élőhelyek egyedeinek összehasonlításánál is ez az íz mutatott eltérést, így feltételezhető, hogy a kiszáradás okozta stressz indukálhat változásokat ezen lábíz esetében is.

Összességében elmondható, hogy nem tudtuk egyértelműen kimutatni, hogy a kiszáradás más változásokat okozna a több és jobb diszperziós képességgel rendelkező *E. ujhelyii*, *C. major* és a terjedésre csak vízi úton képes *G. roeselii*, illetve *G. fossarum* esetében. Mind a négy fajnál a kiszáradó élőhelyeken nagyobb testméretű egyedek éltek, mint az állandó vízfolyásokban. Ezen kívül a kiszáradó patakok egyedeinél a testarányokban is felfedezhetőek voltak változások azon fajoknál, ahol tudtunk arányokat számolni. Ugyanakkor feltételezhető, hogy a kiszáradás másként okozza a különbségeket a két diszperziós képességgel rendelkező fajpár esetében. A bolharákoknál a testméret növekedése feltételezhetően – többek között – a ragadozók elleni védekezésből adódó szelekciónak köszönhető, valamint az eltérő áramlási

viszonyokból adódik a *basis* íz arányainak eltérése. A kérészfaj esetében pedig a kiszáradási időszak kezdete előtti kirepüléshez való adaptálódás okozhatja a gyorsabb egyedfejlődést, ami azonos időpillanatban nagyobb testméretben fejeződik ki. Illetve ennek köszönhető, hogy a kiszáradó élőhelyen előrehaladottabb lárvastádiumú egyedek találhatók, mint az állandó patakban, ami pedig a testarányok megváltozását okozhatja. Feltételezésünk szerint a tegzesfaj esetében a morfológiai változás azért tapasztalható, mert így a faj egyedei hatékonyabban tudnak védekezni a kiszáradással szemben.

A kiszáradás, mint környezeti stresszor tehát egyértelműen hatással van a vízi makrogerinctelenek morfometriai paramétereire. Az előzetesen kapott eredményünk ígéretes, hiszen elsőként ad arra utaló adatokat, hogy a kiszáradás nem csak az állatok testnagyságát befolyásolhatja, hanem bizonyos esetekben egy testrész morfológiájára is hatással lehet (pl. a *Gammarus roeselii*-nél a *basis* íz és a *Chaetopteryx major*-nál az első láb *tibia*-ja). A vizsgálat hasznos alapként szolgálhat további kutatásoknak, amelyekben érdemes lenne több különböző taxon és kiszáradási típus bevonásával, nagyobb mintaelemszámmal és elválasztott fejlődési stádiumokkal vizsgálni.

V. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a rengeteg segítséget témavezetőmnek, Pernecker Bálintnak, továbbá a PTE TTK Biológiai Intézet Hidrobiológiai Tanszék munkatársainak, akik nagy részt vállaltak a mintavétel, mintafeldolgozás és határozás során, illetve köszönöm nekik a sok szakmai segítséget és tanácsot. Szeretném még megköszönni az Ökológiai Kutatóközpont VÖI Tisza-Kutató Osztály munkatársainak is segítségüket, melyet a mintavételek és a határozás során nyújtottak. Nélkülük ez a dolgozat nem születhetett volna meg.

VI. Hivatkozott irodalmak jegyzéke

- Abbaspour, M., Javid, A. H., Mirbagheri, S. A., Givi, F. A., & Moghimi, P. (2012). Investigation of lake drying attributed to climate change. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9, 257-266. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0031-0>
- Almeida, D., Merino-Aguirre, R., & Angeler, D. G. (2013). Benthic invertebrate communities in regulated Mediterranean streams and least-impacted tributaries, *Limnologica*, 43, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.02.003>
- Aspin, T. W. H., Hart, K., Khamis, K., Milner, A. M., O'Callaghan, M. J., Trimmer, M., Wang, Z., Williams, G. M. D., Woddward, G. & Ledger, M. E. (2019). Drought intensification alters the composition, body size, and trophic structure of invertebrate assemblages in a stream mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, 64, 750–760. <https://doi.org/10.1111/fwb.13259>
- Bogan, M. T., Boersma, K. S. & Lytle, D.A. (2015). Resistance and resilience of invertebrate communities to seasonal and suprasedasonal drought in arid-land headwater streams. *Freshwater Biology*, 60, 2547-2558. <https://doi.org/10.1111/fwb.12522>
- Boulton, A. J. (2003). Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology*, 48, 1173–1185. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01084.x>
- Clarke, C. M. (1993). Fluctuating asymmetry of the invertebrate populations as a biological indicator of environmental quality. *Environmental Pollution*, 82, 207-211. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(93\)90119-9](https://doi.org/10.1016/0269-7491(93)90119-9)
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.
- Cummins, K. W. (2018). Functional Analysis of Stream Macroinvertebrates In: Gökce, D. *Limnology Some New Aspects of Inland Water Ecology*, (pp. 63-78). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79913>
- Datry, T., Bonada N., & Boulton, A. J. (2017). General introduction. In: Datry, T., Bonada N., Boulton, A. J. (eds.) *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams, Ecology and Management*, (pp. 1-20). Elsevier.
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology, *BioScience*, 64, 229–235. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit027>
- Deacon, C., Samways, M. J., & Pryke, J. S. (2019.) Aquatic insects decline in abundance and occupy low-quality artificial habitats to survive hydrological droughts. *Freshwater Biology*, 64, 1643– 1654. <https://doi.org/10.1111/fwb.13360>
- Extence, C. A. (1981). The effect of drought on benthic invertebrate communities in a lowland river. *Hydrobiologia*, 83, 217–224. <https://doi.org/10.1007/BF00008269>
- Gerwing, T. G., Gerwing, A. M. A., Macdonald, T., Cox, K., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2017). Intertidal soft-sediment community does not respond to disturbance as postulated by the intermediate disturbance hypothesis. *Journal of Sea Research*, 129, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.09.001>

- Gutiérrez-Fonseca, P. E., & Ramírez, A. (2020). Mayfly emergence production and body length response to hydrology in a tropical lowland stream. *PeerJ*, 8, e9883. <https://doi.org/10.7717/peerj.9883>
- JASP Team (2022). JASP (Version 0.16.1) [Computer software].
- Kiffney, P. M. & Clements, W. H. (1996). Size-dependent response of macroinvertebrates to metals in experimental streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15, 1352-1356. <https://doi.org/10.1002/etc.5620150814>
- Lipkowski, K., Plath, M., Klaus, S., Sommer-Trembo, C., (2019). Population density affects male mate choosiness and morphology in the mate-guarding amphipod *Gammarus roeselii* (Crustacea: Amphipoda), *Biological Journal of the Linnean Society*, 126, 899–911. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/bly201>
- López-López E., Sedeño-Díaz J. E. (2015). Biological Indicators of Water Quality: The Role of Fish and Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality. In: Armon R., Hänninen O. (eds.) *Environmental Indicators*. (pp. 643-661). Springer.
- Lytle, D. A. (2008). Life-history and Behavioural Adaptations to Flow Regime in Aquatic Insects In: Lancaster, J., Briers, R. A. (eds.) *Aquatic Insects: Challenges to populations: proceedings of the Royal Entomological Society's 24th symposium*. (pp. 122-138) CAB International.
- Lytle, D. A. & Poff, N. L. (2004). Adaptation to natural flow regimes, *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.002>
- Mukherjee, S., Mishra, A. & Trenberth, K. E. (2018). Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices. *Current Climate Change Reports*, 4, 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>
- Nnoli, H., Kyerematen, R., Adu-Acheampong, S. & Hynes, J. (2019). Change in aquatic insect abundance: Evidence of climate and land-use change within the Pawmpawm River in Southern Ghana, *Cogent Environmental Science*, 5, 1594511. <https://doi.org/10.1080/23311843.2019.1594511>
- Prudhomme, C., Young, A., Watts, G., Haxton, T., Crooks, S., Williamson, J., Davies, H., Dadson, S. & Allen, S. (2012). The drying up of Britain? A national estimate of changes in seasonal river flows from 11 Regional Climate Model simulations. *Hydrological Processes*, 26, 1115-1118. <https://doi.org/10.1002/hyp.8434>
- Sarremejane, R., Cid, N., Stubbington, R., Datry, T., 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, J. M., 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. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00732-7>
- Stubbington, R., Bogan, M. T., Bonada, N., Boulton, A. J., Datry, T., Leigh, C. & Vorste, R. V. (2017). The biota of intermittent rivers and ephemeral streams: aquatic invertebrates. In: Datry, T., Bonada, N., Boulton A. J. (eds.) *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams, Ecology and Management*, (pp. 217-243). Elsevier.

- Řezníčková, P., Pařil, P. & Zahrádková, S. (2007). The Ecological Effect of Drought on the Macroinvertebrate Fauna of a Small Intermittent Stream – An Example from the Czech Republic. *International Review of Hydrobiology*, 92, 514-526. <https://doi.org/10.1002/iroh.200610997>
- Romero, K. C., Río, J. P. D., Villarreal, K. C., Anillo, J. C. C., Zarate, Z. P., Gutierrez, L. C., Franco, O. L., & Valencia, J. W. A. (2016). Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecological Indicators*, 72, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.023>
- Wickson, S., Chester, E. T. & Robson, B. J. (2012) Aestivation provides flexible mechanisms for survival of stream drying in a larval trichopteran (Leptoceridae). *Marine and Freshwater Research*, 63, 821-826. <http://doi.org/10.1071/MF12095>