

A PAKSI HŰTŐVÍZ-BEVEZETÉS ÖKOHIDRAULIKAI ÉRTÉKELÉSE

Füstös Vivien – dr. Erős Tibor – dr. Józsa János

BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Kivonat

Az emberi tevékenység többféle módon terhelheti a vízi ökoszisztémát. Erre egy példa a hőszennyezés, amely eredhet pl. atomerőművek használt (ezáltal felmelegedett) hűtővizének visszavezetéséből. Egy biológus-vízmérnök összetételű csoporttal terepi méréseket végeztünk a Paksi Atomerőmű hűtővíz-visszavezetését befoglaló 15 folyamkilométeres Duna-szakaszon 2020 tavaszán, nyarán és őszén. Egyidejűleg mintáztuk a szakasz halállományát, a hidromorfológiai paramétereket és a víz hőmérsékletét, majd az eredményeket együttesen értelmeztük, hogy a felmelegített hűtővíz ökohidraulikai hatásait feltárhassuk. A hűtővíz Dunába vezetése a dunai vízhőmérsékletekre gyakorolta a legnagyobb hatást, hőmérsékletkülönbséget okozva a folyó jobb és bal oldala között a visszavezetéstől alvízi irányban, amely elsősorban a befogadóval való átkeveredés folytán fokozatosan csökkent ugyan, de a vizsgált szakaszon legalább 1-2°C-os maradt. A három évszakban 36 halfaj közel 16400 egyedét mintáztuk mélyvízi és partmenti módszerekkel. A legnagyobb mélyvízi egyedsűrűséget évszaktól függetlenül egy oldalág-Duna összefolyásnál tapasztaltuk, a hűtővíz-visszavezetés által érintett területen. Összegezve, az egyedek térbeli eloszlása a vizsgált szakaszon erős variabilitást mutatott, amelyben azonban a hőcsóvának nem volt meghatározó szerepe.

Kulcsszavak

elektromos bentikus keretes hűzőháló, halállomány, hidromorfológia, atomerőmű, hőszennyezés

BEVEZETÉS

A víztestek hidromorfológiai jellemzőit érintő antropogén hatások többféle szempontból jelenthetnek fenyegetést a vízi ökoszisztémákra (*Dudgeon et al. 2006, Vörösmarty et al. 2010, Bukola et al. 2015, Reid et al. 2019*). A klímaváltozás, illetve annak már jelenleg is érzékelhető hatásai fényében különös figyelmet kell szentelni a vízhőmérséklet változását eredményező tevékenységeknek (*Daufresne et al. 2003*). Efféle tevékenységek széles skáláját listázta *Hester és Doyle (2011)*, ezek között megjelenik az ipar által használt vizek visszavezetése. Ennek tipikus példája hő- vagy atomerőművek használt, így felmelegedett hűtővizének visszavezetése egy víztestbe (*Madden et al. 2013, Raptis et al. 2016, Roy et al., 2022*).

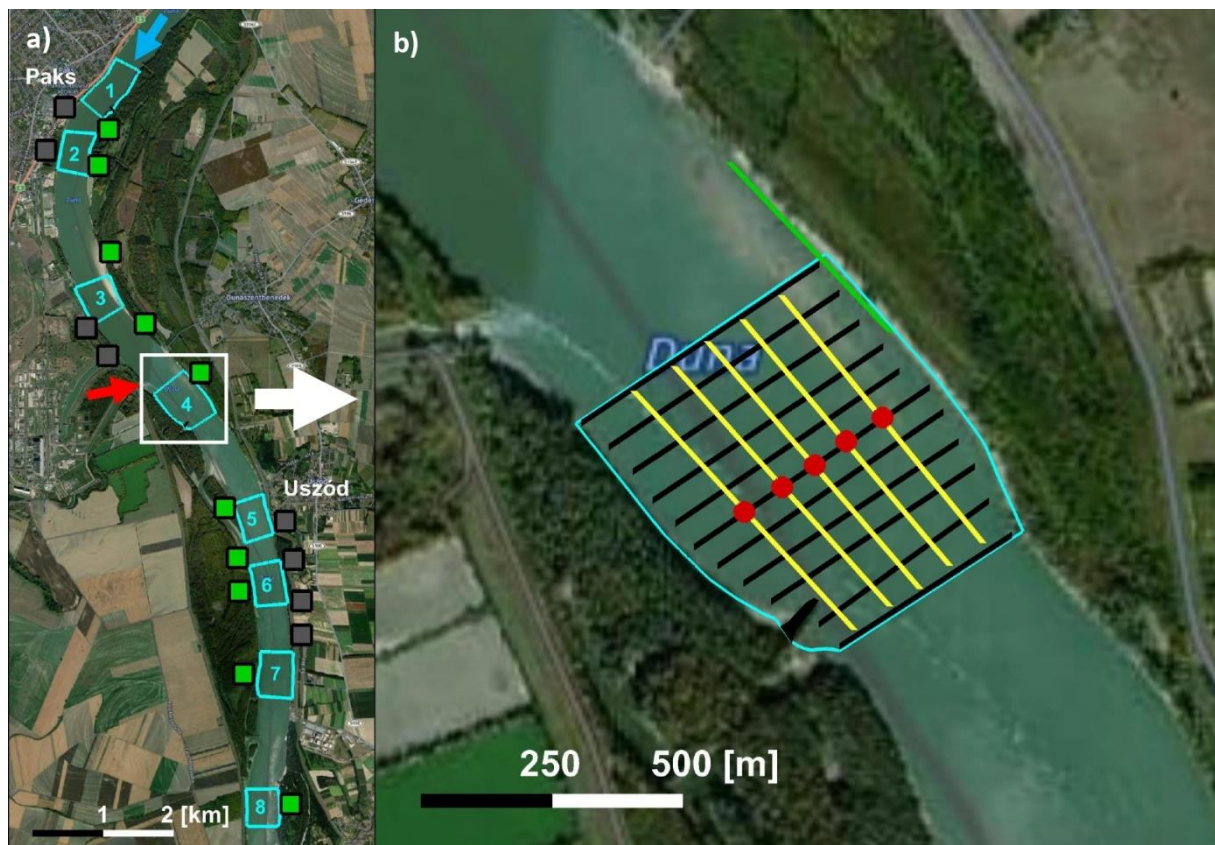
Az eddigi kutatások, amelyek az atomerőművek hűtővíz-visszavezetésének a biológiai sokféleségre gyakorolt hatását vizsgálják, jellemzően ellentmondásos eredményekre jutottak. Egy kínai víztározóban a fitoplankton közösség hatékonyan alkalmazkodott a közeli hőerőmű befolyó hűtővize által megnövelt hőmérsékletekhez (*Xu et al. 2021*). Ezzel szemben amerikai és brazil kutatásokban arra jutottak, hogy az óceánok partközeli környezetében élő barna makroalga közösségekre káros hatást gyakorolt a közeli atomerőművekből érkező melegebb víz (*Schiel et al. 2004, Széchy et al. 2017*). Egy folyami makrogerinctelen közösség egy részében egyértelmű változást okozott a közeli erőmű használt hűtővize, míg a közösség másik részére semmilyen hatást nem gyakorolt (*Worthington et al. 2015*).

A halak viselkedését megváltoztathatja a vízi környezet hőmérsékletének általános eltolódása (*Ebersole et al. 2001, Goniea et al. 2006*). Egy taiwani korallzátony környezetében vizsgált halállományra azonban nem volt különösebb hatással a közeli atomerőműből érkező melegvíz (*Jan et al. 2001*). Brazil kutatók arra jutottak, hogy a hőszennyezés megváltoztathatja a mélyvízi fajösszetételt és csökkentheti a fajgazdagságot (*Teixeira et al. 2009*), ugyanakkor azt is kimutatták, hogy az élőhely komplexitása, diverz mivolta enyhítheti ezeket a hatásokat (*Teixeira et al. 2012*). Ahogy *Hester és Doyle (2011)* rámutattak, egy melegvízbefolyás esetleges biológiai hatása attól is függ, hogy 1) a vizsgált faj hőtoleranciagörbéje mennyire

érzékeny a hőmérséklet eltolódására, illetve 2) a vízi környezet referenciahőmérséklete hol helyezkedik el a faj hőmérsékleti optimumához képest. A felsorolt kutatási eredmények jól példázzák, hogy a vízi élőlények hőmérsékleti változékonyságra adott válasza sok tényező együttes függvénye, és további, változatos környezetben elvégzett vizsgálatok szükségesek a jelenség általános megértéséhez.

Két vízfolyás találkozása különösebb hőmérsékletkülönbség nélkül is változékony környezetet alakít ki (Benda et al. 2004, Boyer et al. 2006, Baranya et al. 2015), amely szintén hatással lehet az élőlényekre (Rice et al. 2006, Jones és Schmidt, 2016). Egy melegvíz-visszavezetés és nagy folyam csomópontjánál azonban a vízhozamok nagyságrendi különbsége és a meleg víz hordalékhiánya miatt ezek a hatások feltételezhetően gyengítetten érvényesülnek.

Jelen munkában a Paksi Atomerőmű Dunába vezetett használt hűtővizének ökohidraulikai hatásait vizsgáltuk. A bevezetés nyomán kialakuló hőcsóva csak lassan keveredik a Duna vizével, kisvízi állapotban akár 60-80 km-rel később is kimutatható még (Szolnoky és Raum, 1991). Két kérdésre kerestük a választ: 1) milyen mértékben befolyásolja a hőcsóva a folyam hidromorfológiai és hőmérsékleti paramétereit, és 2) ez milyen változásokat idéz elő a halállomány összetételében? Eredményeinket a kvalitatív értékelés köztes fázisában mutatjuk be, feltárva ezzel azokat a fő csapásvonalakat, amelyek mentén a statisztikai analízist végezzük majd a kutatás következő lépéseként.



1. ábra. A vizsgált terület átnézeti helyszínrajza

a) A teljes vizsgált Duna-szakasz. Kék körvonallal, számozva a kijelölt alterületek; a part mentén szürke és zöld négyzetekkel a partmenti kövezett és természetes szakaszok; kék nyíllal az áramlási irány; piros nyíllal a hűtővíz-csatorna torkolata. **b)** A mérések kiosztása az alterületeken belül. Fekete vonalakkal a keresztmetsvényi ADCP- és hőmérések útvonalai; piros pontokkal a mederanyagmintázás és fixhajós hőmérés pontjai; sárga vonalakkal a mélyvízi halászat szakaszai; zöld vonalakkal a partmenti halászat egy szakasza.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált terület

A Paksi Atomerőmű hűtővize az 1526 fkm-szelvényben a jobb parton torkollik a Dunába. A vizsgált terület az ezt környező kb. 15 fkm-es Duna-szakasz, két ellentétes irányú ívvel, néhány szigettel, ezeket övező oldalágakkal (*1.a ábra*). Több sarkantyú is található a vizsgált szakaszon. A folyam szélessége itt 400-500 m, a hullámtér szélessége 1000-2000 m között alakul. Középvízi állapotban az átlagos vízmélység 4-5 m, az átlagos szelvényközépsébség 1,3 m/s, az átlagos vízhozam pedig 2200-2300 m³/s. A meleg víz ehhez képest egy tízes nagyságrenddel alacsonyabb, 100 m³/s-os hozammal érkezik. A szakasz partvonala többnyire természetes, kivéve a külső íveket, ahol kőszórást telepítettek a parterózió megelőzésének céljából.

Adatgyűjtés

Három alkalommal, 2020 tavaszán, nyarán és őszén kijelölt időpontokban végeztük a terepi méréseket. 8, egyenként 500 m hosszú, folyószélességű vizsgálati egységet, alterületet határoltunk le a szakaszon, felvítől alvíz felé számozva, ezeken történt a hidromorfológiai felmérés és a mélyvízi halmintázás (*1.b ábra*). Az alterületek közül három a melegvízbevezetéstől felvízi, a maradék öt alvízi irányba esett. A befolyáshoz legközelebbi, 4. alterület felső éle kb. 200 m-re húzódott a melegvízes csatorna torkolatától. Ebből kifolyólag ez az alterület tartalmazta a torkolattól 500 m-re hatóságilag kijelölt referenciaszelvényt, melyben a vízhőmérséklet nem haladhatja meg a 30°C-ot (*Szolnoky és Raum, 1991*). Az alterületeken felül további, szintén 500 m hosszú partmenti szakaszokat határoztunk meg (17 tavasszal, 18 nyáron és ősszel), a természetes és kőszórásos partvonalak mentén egyaránt, ahol partközeli halmintázást végeztünk. E szakaszok közül 9-et a melegvízcsatorna felvívén, 4-et az alvízi jobb part mentén, a maradékot az alvízi bal part mentén jelöltük ki.

Hidromorfológiai mérések

A hidromorfológiai mérések során négy paramétert: a vízmélységet, az áramlási sebességet, a mederanyag-összetételt és a hőmérsékletet vizsgáltuk (*1.b ábra*).

Mérőcsónakra szerelt akusztikus Doppler-elvű áramlásmérő műszer (ADCP) és valós idejű kinematikus (RTK) GPS alkalmazásával végeztük a mederfelmérést. Keresztszelvények mentén rögzítettük a vízmélységeket és az áramlási sebességek függőleges eloszlását. (Később, az adatfeldolgozás során a vízsebességeket függély mentén átlagoltuk.) Egy alterületen 11 db, egymástól egyenlő távol elhelyezkedő keresztszelvényt mértünk fel.

A mederanyag-mintavételt az alterületek középső keresztszelvényei mentén 5-5 pontban végeztük egy fém serleg segítségével. Összesen 40 mintát vettünk, ezeket később 104°C-on tömegállandóságig szárítottunk, majd szitálással határoztuk meg az egyes minták szemösszetételét.

Vízhőmérsékleteket a vízfelszínen és mélység mentén is mértünk. A vízfelszíni hőmérsékleteket az ADCP-vel rögzítettük a mederfelmérés során, míg a mélység menti méréseket egy Teledyne Digibar S hangsebességmérő műszerrel végeztük, ugyanazokban a pontokban, ahol a medermintázás is történt.

Halállomány mintázása

A 8 db kijelölt alterületen nappali mélyvízi halászatot végeztünk elektromos bentikus keretes húzóhálójával (EBKH), a partmenti szakaszokon pedig éjjeli elektromos halászattal mintáztuk az állományt. Az EBKH egy négyszögletű fém keretre szerelt háló, mérőcsónakból a mederfenékre süllyeszthető és ott a kerekein gördülve vontatható (Szalóky et al. 2014). A keret az anód, az előtte lebegő rézkábel a katód szerepét tölti be, közöttük egyenáram jön létre, amelytől a halak átmenetileg elkábulnak és belesodródnak az áramlással megegyező irányban vontatott hálóba. A mélyvízi halászatot a 8 alterületen 5-5, egymástól egyenlő távolságra elhelyezkedő 500 m-es hosszmenti szakaszon végeztük (1.b ábra). Egy-egy szakaszt követően a halak azonosítás és méretvétele után visszakerültek a folyóba. A partmenti halászatot szintén csónakból végeztük, a partközeli sekély részen, az áramlással egy irányban sodródva. Itt egy kézi szák kerete volt az anód, a katód pedig a csónak hátuljáról függő rézkábel. A szákkal kiemelt halakat a szakasz végéig egy vízzel teli ládában tároltuk, majd azonosítás után visszakerültek a folyóba.

EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

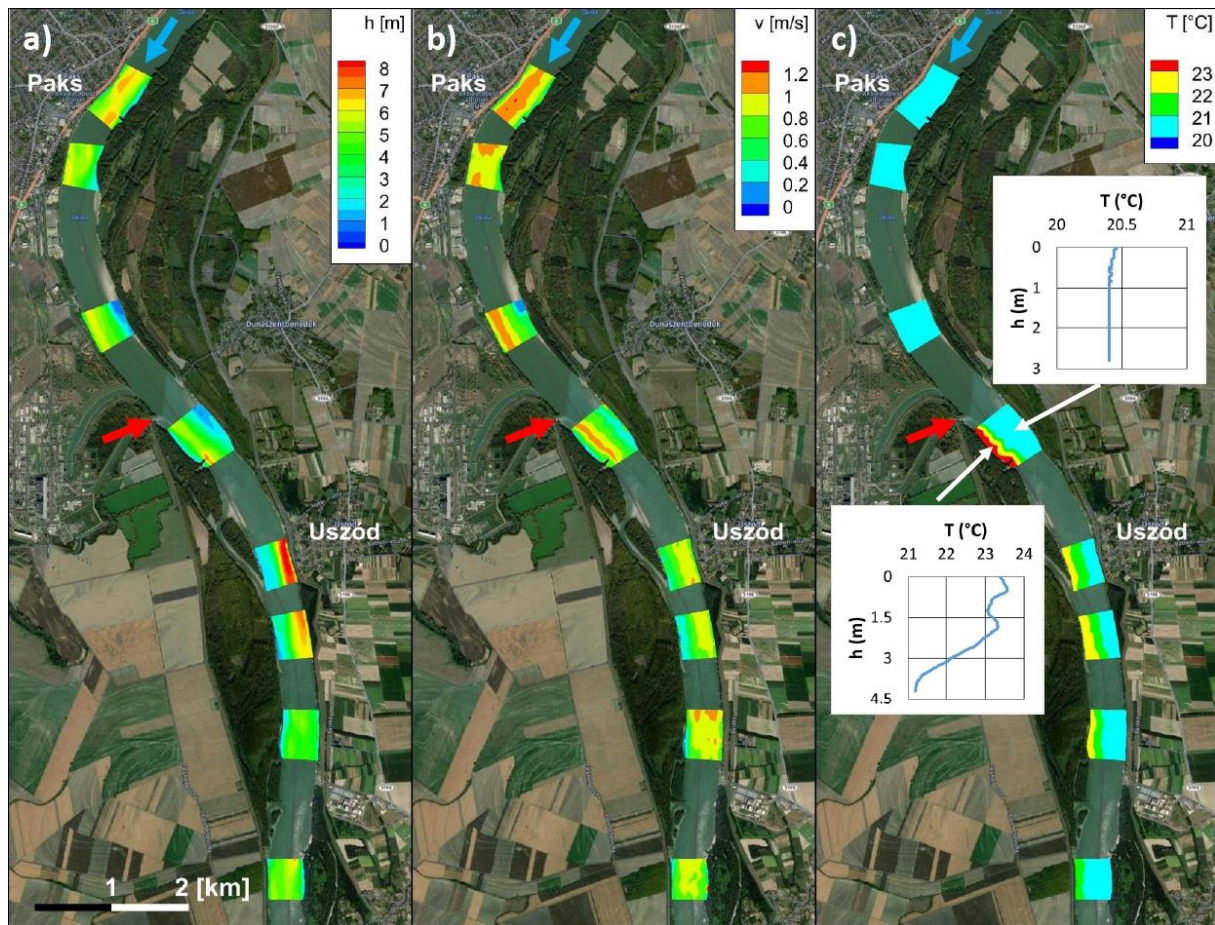
Hidromorfológiai paraméterek

Az ADCP-s szelvénymérésekből vízhozam származtatható, melyet később a vízügy adataival igazoltunk. Ezek alapján a három terepi mérés alkalmával a dunai vízhozamok az alábbiak voltak:

- Tavasz: 1700 m³/s
- Nyár: 2800 m³/s
- Ősz: 1800 m³/s
- (A melegvízes csatorna hozama évszaktól függetlenül: 100 m³/s)

A felmért vízmélységeket az adatfeldolgozás során lineárisan interpoláltuk az egyes alterületekre, erre a mérési keresztaszelvények kellően sűrű felvétele adott lehetőséget. A 2.a ábrán az őszi mérés eredményeit mutatjuk be. Jól kivehetőek a meanderező folyószakaszokra jellemző mederformák: az ívek a várakozásoknak megfelelően aszimmetrikus keresztmetszettel rendelkeznek, míg közöttük az inflexiók szakasz morfológiája összetettebb. A maximális vízmélységek (a sarkantyúk orránál kialakuló kopolyáknál és Uszód előtt a bal part mentén) 10-12 m között változtak az egyes mérések alkalmával. A beáramló hűtővíznek nem volt kimutatható hatása a medermorfológiára. Ez megfelel ismereteinknek, ugyanis a torkolathoz legközelebbi alterület is messzebb volt attól, mint amekkora a morfológiai változások térbeli kiterjedése (20-50 m) lehetett volna (Boyer et al. 2006, Baranya et al. 2015).

A felmért függély menti sebességprofilokból mélység mentén átlagolt sebességeket származtattunk, melyeket szintén interpoláltunk az alterületekre. A 2.b ábrán az őszi mérés eredményei láthatók. A vízmélység-adatokkal egybehangzó eredményeket kaptunk: a nagyobb áramlási sebességű foltokban a nagyobb eróziós potenciál nyomán többnyire mélyebb meder alakult ki a környezethez képest, míg az alacsonyabb sebességű területeken kiülepedésre számíthattunk, melyet igazoltak a vízmélység-adatok is. Jól kivehető volt a sarkantyúk áramlást terelő hatása, valamint az általuk árnyékolt zónák is. A maximális áramlási sebességek 1,45-1,60 m/s között alakultak a mérési alkalmak során. Az érkező meleg víznek mindössze gyenge, és feltehetőleg a közeli sarkantyúval megosztott hatása érzékelhető a magasabb sebességű fősodor-zóna enyhe szűkületében, a torkolattól alvízi irányban.



2. ábra. Az őszi mérés hidromorfológiai eredményei

A keresztmetsvényi ADCP-mérésekből az egyes alterületekre interpolálva. Kék nyíl jelöli az áramlás irányát, piros a melegvíz-bevezetés helyét. **a)** Vízmélységek, **b)** mélységátlagolt áramlási sebességek, **c)** vízhőmérsékletek, kiemelve két grafikonon a fixhajós, vízmélység mentén történt hőmérsékletmérés két jellemző karakterisztikája: balra alább a hőcsóván belül, jobbra fentebb a hőcsóván kívül.

A mederanyag-mintázás alapján a szakaszra jellemző mederanyag a homok, kevés kaviccsal. Az 1-es alterület jobb parthoz legközelebbi pontján többszöri próbálkozás ellenére sem sikerült mederanyagot venni. Ez arra enged következtetni, hogy ezen a szakaszon kevés a mobilis mederanyag (vagy egyáltalán nincs), és az alapkőzet képezi a mederfelszínt. A hőcsóván belül vett minták helyenként nagy mennyiségű kagylóhéjat tartalmaztak. Ezeket ugyan nem azonosítottuk, de feltételezhetően a Paks környékére jellemző egyedi fajösszetételű, főként invazív fajok alkotta kagylóállományhoz tartoztak (Bódis *et al.* 2011), ezt megerősíti a jelenlétükből következő tágabb hőtűrésük is. A hordalékot nem szállító meleg víznek a várakozásoknak megfelelően nem volt egyéb hatása a mederanyag összetételére.

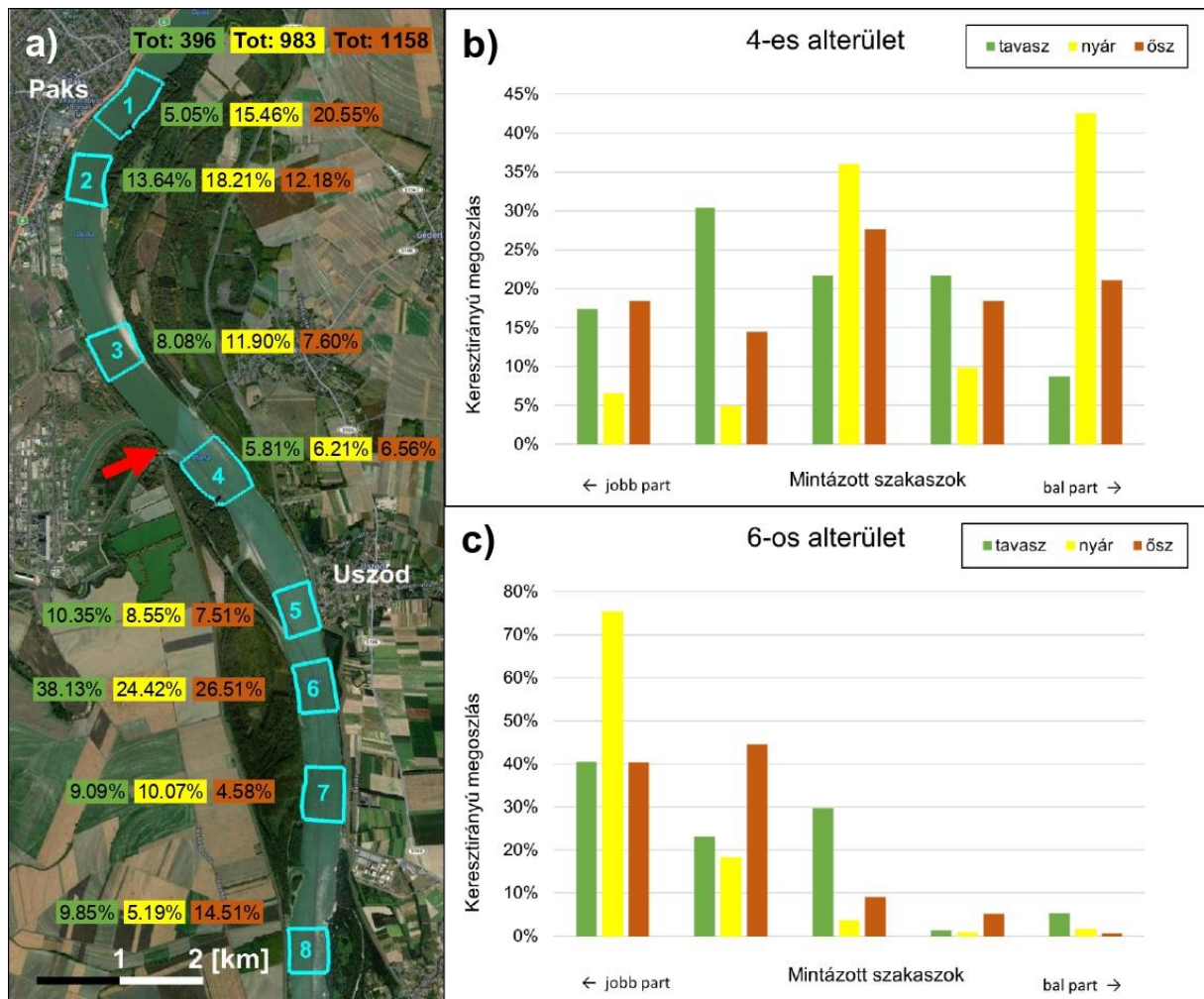
A terepi mérések által felölelt időtartamban figyelemmel követtük a dunai vízjárást. Mivel ez idő alatt nem érkezett komolyabb árhullám (a vízhozamok nem haladták meg a 4500 m³/s-ot), feltételeztük, hogy a mederanyag összetételében sem történt érdemi változás. Mindezek fényében a mederanyag-mintázást csak az első alkalommal, tavasszal végeztük el, és az ottani eredményeket érvényesnek tekintettük a további két alkalomra is.

A vízfelszíni hőmérséklet-adatokból is hőmérsékletmezőket interpoláltunk, a vízmélységekhez és áramlási sebességekhez hasonlóan. A 2.c ábra az őszi mérés adatait mutatja. A melegvíz-

torkolattól felvízi irányban és az alvízi bal parton minden évszakban egységes volt a víz hőmérséklet (amely egyben a Duna háttérhőmérséklete volt), amelytől jól elkülönült a jobb parton haladó hőcsóva. A torkolathoz legközelebbi, 4-es alterületen a két partvonal közötti hőmérsékletkülönbség 3-4°C körül alakult az egyes mérések alkalmával. Ez a különbség alvízi irányban lassan csökkent, de nem szűnt meg, és legalább 1-2°C-os maradt végig a vizsgált 15 fkm szakaszon, azaz a hőcsóva nem érte el a bal partot. Ez a Duna méretéből, szélességéből következően nem meglepő; ezzel szemben egy kisebb folyó (ahol az átkeveredés hamar megtörténik és a hűlés elhúzódóbb) valóban kitettebb a meleg víz környezeti hatásainak (Prats et al. 2010, Worthington et al. 2015). A függőleges hőmérsékleti profilok a hőcsóva által nem érintett pontokban mélység mentén egységes hőmérsékletet tükröztek; míg a hőcsóván belül a vízfelszín közelében magasabb értékeket mértünk, melyek a mederfenék felé közeledve valamelyest csökkentek, nem szükségszerűen a dunai háttérhőmérsékletre (2.c ábra grafikonjai). Az, hogy a legmagasabb (ilyenformán helyzettől függően mértékadó) hőmérsékleteket minden alkalommal a vízfelszínen tapasztaltuk, megerősíti annak lehetőségét, hogy a jövőben ezeket az adatokat távmérés útján nyerjük (pl. drónra szerelt termokamera alkalmazásával); ezzel hatékonyan növelhető a közel egyidejűleg vizsgált terület. Mérési eredményeink illeszkednek Szolnoky és Raum (1991) eredményeinek trendjébe, mi ugyanakkor intenzívebb hűlést tapasztaltunk a 4-es alterületen húzódó referencia-keresztzelvényig, amely ilyenformán minden alkalommal eleget tett a hozzá tartozó előírásnak.

Halállomány

A három évszak alatt 27 halfaj 2537 egyedét mintáztuk az EBKH halászattal. Az egyedek túlnyomó része, 85%-a három fajból került ki, ezek a halványfoltú küllő (*Romanogobio vladkovii*), a kerekfejű géb (*Neogobius melanostomus*) és a német bucó (*Zingel streber*) voltak. Az egyedek alterületek közötti eloszlása jellemzően véletlenszerű volt, szignifikáns mintázat nélkül, két szélsőérték-jellegű kivétellel (3.a ábra). A 4-es alterületen évszaktól függetlenül alacsony (de nem a legalacsonyabb) egyedszámot tapasztaltunk, szemben a 6-os alterülettel, ahol pedig minden évszakban a legnagyobb mennyiségű egyedét mintáztuk. Ezen a két alterületen az egyedek keresztirányú eloszlását is megvizsgáltuk, egyenként összehasonlítva az 5-5 hosszmenti halászott szakaszt (3.b-c ábra). A 4-es alterületen ez véletlenszerűnek bizonyult, nem mutatkozott egyértelmű preferencia a hűtővíz által melegített (+3-4°C) jobb oldali, vagy az alaphőmérsékletű bal oldali szakaszok iránt. Ez arra engedett következtetni, hogy a befolyó melegvíznek nem volt számottevő hatása az egyedek előfordulására. Megjegyezzük, hogy az eddigi kutatásokban egyaránt van példa ehhez hasonló mértékű hőmérsékletkülönbség által okozott negatív változásra (Schiel et al. 2004), és ennél nagyobb növekmény nem kimutatható környezeti hatására is (Xu et al. 2021); megfigyelésünk is ebbe az oszcillatív trendbe sorolható. A 6-os alterületen ezzel szemben egyértelmű egyedszám-növekményt tapasztaltunk a Duna jobb oldalára eső mintaszakaszokon. A felmért abiotikus (hidromorfológiai, fizikai) jellemzőket szakaszléptéken tekintve mindössze a hőcsóva hatására 1-3°C-kal megemelkedett víz hőmérséklet mondható sajátosnak; szembeötlő azonban egy nagyobb méretű oldalág alvízi torkolatának közelsége. A csomópont környezetére jellemző nagyobb léptékű heterogenitás egyedülálló az alterületek között, ilyenformán jó eséllyel ez az oka a kiemelkedő egyedsűrűségnek. Feltételezésünket alátámasztja egy korábbi kutatás, amely során megállapították, hogy az élőhely összetett mivolta csökkenthet, de akár felül is írhat olyan zavaró hatásokat, mint amilyen egy hűtővíz-visszavezetésből eredő többlet-víz hő lehet (Teixeira et al. 2012).



3. ábra. A mélyvízi halmintázások eredményei, két részletezett alterülettel

Piros nyíl jelöli a melegvíz-bevezetés helyét. A tavaszi, nyári és őszi eredmények rendre zöld, sárga és barna színnel jelölve szerepelnek.

a) A mintázott egységek százalékos megoszlása az egyes alterületek között, illetve fent a teljes mintázott egység, évszakos bontásban. b), c) A 4-es és a 6-os alterületen mintázott egység százalékos megoszlása keresztirányban, az 5 kijelölt szakasz között (1.b ábra sárga vonalai)

Megjegyezzük, hogy a hőmérsékletnövekmény: alaphőmérséklet hányados közel állandó volt az egyes évszakokban, szemben azzal, amekkorára egy esetleges téli mérés alkalmával lehetett volna. A helyi horgász közösség beszámolója szerint telente kifejezett halbőség jellemzi a hőcsóva által érintett területet, amely azt sejteti, hogy a fentebbi arányszám alkalmas ökohidraulikai paraméter lehetne. Az eddigi tapasztalatok szerint ugyanakkor a mélyvízi keretes húzóháló hatékonysága alacsonyabb a téli időszakban. A fentiek fényében ebben a kérdéskörben jó alkalmazhatóságát látjuk az ún. "citizen science"-nek, a horgászok információinak összegyűjtésével és rendszerezésével (pl. Lima et al. 2016).

A partmenti halászattal 32 halfaj 13861 egyedét gyűjtöttük a három évszak alatt összesen. Az egyedek kb. 80%-a a szélhajtó küsz (*Alburnus alburnus*), a kerekfejű géb, a halványfoltú küllő és a karikakeszeg (*Blicca bjoerkna*) fajokhoz tartozott. A partmenti minták egyedszám-eloszlása nem a mélyvízi eredményeket tükrözte, kimagasló egyedsűrűséget nem a 6-os alterület közelében, hanem az 1-es és 2-es alterületek között egy bal parti természetes

szakaszon tapasztaltunk. A szakasz egy sarkantyú alatt található, áramlási viszonyait is ez határozza meg (visszaforgó áramlás). A rézsű viszonylag meredek, ami bizonyos tartományban vízállásfüggetlenné teszi a vízmélységet, és ezen keresztül a mintázást is. Összehasonlításként, egy homokpad feletti vízmélység erősebben kitett a vízállás változásának. A 6-os alterület jobb oldalán kijelölt partmenti szakaszra esett egy ilyen homokpad, melyet a Duna-oldalág összefolyás alakított ki. A vízjárás évszakos alakulásának megfelelően tavasszal és ősszel a szakaszt viszonylag alacsony vízmélységek jellemezték, amely magyarázhatja a közelben tapasztalt kimagasló egyedsűrűséghez képest jóval csekélyebb eredményt.

Négy partmenti szakasz esett a meleg víz által befolyásolt területre (az atomerőmű alvize, jobb part). Ezekon (a többi partmenti szakaszhoz képest) legnagyobb egyedarányt éppen nyáron tapasztaltuk, amikor a víz hőmérséklet (ambiens és megemelkedett egyaránt) a legnagyobb volt: azaz ebben a tekintetben sem tudtuk a hőcsóva káros hatását kimutatni. Másrészt azonban még a megnövelt hőmérséklet sem haladta meg a 23-24°C-ot, így előfordulhat, hogy az itt élő fajok hőmérsékleti optimuma legalábbis nem alacsonyabb ennél az értéknél (*Hester és Doyle, 2011*).

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során a Paksi Atomerőmű használt hűtővizének hatását vizsgáltuk a Duna hidromorfológiai paramétereire és halállományának szerkezetére.

A Paksot övező 15 km-es Duna-szakasz hidromorfológiáját tekintve heterogén, helyenként erősen változékony jellegű. A mintázott halak területi megoszlása nagy variabilitást mutatott, ugyanakkor voltak jól elkülöníthető mintavételi egységek, amelyeken nagyobb egyedsűrűséget tapasztaltunk. Méréseink alapján arra következtetünk, hogy ezek a szélsőértékek inkább a természetes hidromorfológiai állapot, illetve folyamatok eredményei, a hőcsóvához köthető káros hatást nem tudtuk kimutatni.

Az alap víz hőmérséklethez viszonyított többlethő mértéke egyformán alacsony volt az egyes évszakokban. Mivel az alkalmazott halmintázási módszer hatékonysága tapasztalatunk szerint alacsonyabb a téli időszakban, nem tudtuk kimutatni, hogy ez a paraméter mekkora szerepet játszik a halállomány szerveződésében. Hogy a helyi horgász közösség megfigyeléseit (télen összegyűlik a hal a hőcsóva által melegített területeken) érdemben vizsgálhassuk, célszerű lenne akár az alkalmazott módszertant alkalmasan átdolgozni, akár a horgászok kollektív tudását összegyűjteni („*citizen science*”).

Összefoglalva, a hőcsóva által gyakorolt esetleges káros hatás a folyami halállomány összetételére nem volt kimutatható. A meleg víz hatása a fizikai környezetre csak kis területi léptéken volt számottevő, közepes léptéken inkább alacsonynak volt mondható. A halállomány területi eloszlását látszólag jobban meghatározták olyan természetes jellemzők, mint egy oldalág visszacsatlakozását övező diverz környezet. Ezt a megfigyelésünket nemzetközi eredmény is alátámasztja, a komplex hidromorfológia csökkenthet, bizonyos esetben akár teljesen felül is írhat antropogén hatásokat (*Teixeira et al. 2012*). Mindebből kifolyólag leszögezzük, hogy kis térléptékű zavarások hatásvizsgálata során is fontos a nagyobb térlépték elemzése, a helyes ok-okozati viszonyok feltárása érdekében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Köszönjük *Baranya S., Fleit G., Rehák A., Sály P., Specziár A., Szalóky Z., Tóth B., Tóth K., Vitál Z.* kollégáknak a terepi munkában való közreműködést.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baranya S., Olsen N.R.B., Józsa J.* (2015): Flow Analysis of a River Confluence with Field Measurements and Rans Model with Nested Grid Approach. *River Research and Applications*, 31, 28-41. doi:10.1002/rra.2718
- Benda L., Andras K., Miller D., Bigelow P.* (2004): Confluence effects in rivers: Interactions of basin scale, network geometry, and disturbance regimes. *Water Resources Research*, 40, W05402. doi:10.1029/2003WR002583
- Bódis E., Nosek J., Oertel N., Tóth B., Hornung E., Sousa R.* (2011): Spatial distribution of bivalves in relation to environmental conditions (middle Danube catchment, Hungary). *Community Ecology*, 12 (2), 210-219. doi:10.1556/comec.12.2011.2.9
- Boyer C., Roy A.G., Best J.L.* (2006): Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: Flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology. *Journal of Geophysical Research*, 111, F04007. doi:10.1029/2005JF000458.
- Bukola D., Zaid A., Olalekan E.I., Falilu A.* (2015): Consequences of Anthropogenic Activities on Fish and the Aquatic Environment. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*, 3:138. doi:10.4172/2375-446X.1000138
- Daufresne M., Roger M.C., Capra H., Lamouroux N.* (2003): Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, 10 (1), 124-140. doi:10.1046/j.1529-8817.2003.00720.x
- Dudgeon D., Arthington A., Gessner M., Kawabata Z., Knowler D., Lévêque C., Naiman R.J., Prieur-Richard A-H., Soto D., Stiassny M.L.J., Sullivan C.A.* (2006): Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81 (2), 163-182. doi:10.1017/S1464793105006950
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A.* (2001): Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish*, 10, 1-10. doi:10.1034/j.1600-0633.2001.100101.x
- Goniaea T.M., Keefer M.L., Bjornn T.C., Peery C.A., Bennett D.H., Stuehrenberg L.C.* (2006): Behavioral Thermoregulation and Slowed Migration by Adult Fall Chinook Salmon in Response to High Columbia River Water Temperatures. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135, 408-419. doi:10.1577/T04-113.1
- Hester E.T., Doyle M.W.* (2011): Human Impacts to River Temperature and Their Effects on Biological Processes: A Quantitative Synthesis. *Journal of the American Water Resources Association*, 47 (3), 571-587. doi:10.1111/j.1752-1688.2011.00525.x
- Jan R-Q., Chen J-P., Lin C-Y., Shao K-T.* (2001): Long-term monitoring of the coral reef fish communities around a nuclear power plant. *Aquatic Ecology*, 35, 233-243. doi:10.1023/A:1011496117632
- Jones N.E., Schmidt B.J.* (2016): Tributary effects in rivers: interactions of spatial scale, network structure, and landscape characteristics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74 (4), 503-510. doi:10.1139/cjfas-2015-0493
- Lima E.G., Begossi A., Hallwass G., Silvano R.A.M.* (2016): Fishers' knowledge indicates short-term temporal changes in the amount and composition of catches in the southwestern Atlantic. *Marine Policy*, 71, 111-120. doi: 10.1016/j.marpol.2016.05.008
- Madden N., Lewis A., Davis M.* (2013): Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature. *Environmental Research Letters*, 8, 035006. doi:10.1088/1748-9326/8/3/035006
- Prats J., Val R., Armengol J., Dolz J.* (2010): Temporal variability in the thermal regime of the lower Ebro River (Spain) and alteration due to anthropogenic factors. *Journal of Hydrology*, 387 (1-2), 105-118. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.04.002
- Raptis C.E., van Vliet M.T.H., Pfister S.* (2016): Global thermal pollution of rivers from thermoelectric power plants. *Environmental Research Letters*, 11, 104011. doi:10.1088/1748-9326/11/10/104011

- Reid A.J., Carlson A.K., Creed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T.J., Kidd K.A., MacCormack T.J., Olden J.D., Ormerod S.J., Smol J.P., Taylor W.W., Tockner K., Vermaire J.C., Dudgeon D., Cooke S.J. (2019): Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94, 849-873. doi:10.1111/brv.12480
- Rice S.P., Ferguson R.I., Hoey T.B. (2006): Tributary control of physical heterogeneity and biological diversity at river confluences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63 (11), 2553-2566. doi:10.1139/f06-145
- Roy P., Rao I.N., Martha T.R., Kumar K.V. (2022): Discharge water temperature assessment of thermal power plant using remote sensing techniques. *Energy Geoscience*, 3 (2), 172-181. doi:10.1016/j.engeos.2021.06.006
- Schiel D.R., Steinbeck J.R., Foster M.S. (2004): Ten years of induced ocean warming causes comprehensive changes in marine benthic communities. *Ecology*, 85, 1833-1839. doi:10.1890/03-3107
- Szalóky Z., György Á.I., Tóth B., Sevcsik A., Specziár A., Csányi B., Szekeres J., Erős T. (2014): Application of an electrified benthic frame trawl for sampling fish in a very large European river (the Danube River) – Is offshore monitoring necessary? *Fisheries Research*, 151, 12-19. doi:10.1016/j.fishres.2013.12.004
- Széchy M.T.M., Koutsoukos V.S., Barboza C.A.M (2017): Long-term decline of brown algal assemblages from southern Brazil under the influence of a nuclear power plant. *Ecological Indicators*, 80, 258-267. doi:10.1016/j.ecolind.2017.05.019
- Szolnoky Cs., Raum L. (1991): Regulation of the thermal loading by Paks Nuclear Power Station. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 35 (1-2), 41-50.
- Teixeira T.P., Neves L.M, Araújo F.G. (2009): Effects of a nuclear power plant thermal discharge on habitat complexity and fish community structure in Ilha Grande Bay, Brazil. *Marine Environmental Research*, 68 (4), 188-195. doi:10.1016/j.marenvres.2009.06.004
- Teixeira T.P., Neves L.M, Araújo F.G. (2012): Thermal impact of a nuclear power plant in a coastal area in Southeastern Brazil: effects of heating and physical structure on benthic cover and fish communities. *Hydrobiologia*, 684, 161-175. doi:10.1007/s10750-011-0980-1
- Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S.E., Sullivan C.A., Liermann C.R., Davies P.M. (2010): Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561. doi:10.1038/nature09440
- Worthington T.A., Shaw P.J., Daffern J.R., Langford T.E.L. (2015): The effects of a thermal discharge on the macroinvertebrate community of a large British river: implications for climate change. *Hydrobiologia*, 753, 81-95. doi:10.1007/s10750-015-2197-1
- Xu D., Wang H., Han D., Chen A., Niu Y. (2021): Phytoplankton community structural reshaping as response to the thermal effect of cooling water discharged from power plant. *Environmental Pollution*, 285, 117517. doi:10.1016/j.envpol.2021.117517