

Kitekintés a vízlépcsők biológiai szakirodalmára

Lengyel Szabolcs

*KLTE, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék
4010 Debrecen, Egyetem tér 1.*

Mottó: „Az a víz, melyet engedünk a tengerbe folyni, haszontalan.” (J. V. Sztálin 1929)

Összefoglaló: A vízlépcsők élővilágra gyakorolt hatásának megvilágítása érdekében keresést végeztem a legjelentősebb referált folyóiratokban megjelent, a vízlépcsők biológiai hatásaival foglalkozó tudományos cikkek körében. A fellelt tanulmányok a vízlépcsőknek a folyóvízi és folyómenti élővilágra gyakorolt közvetett és közvetlen hatásairól számolnak be. A vízi élőhelyek fizikai-kémiai módosulásai a vízkémiai paraméterek változását, az üledékfelhalmozódás felerősödését, a víz elemösszetételének változását ölelik fel, mely utóbbi akár a tengerek eutrofizációjával is kapcsolatban lehet. A vízlépcsők egyéb közvetett hatásaként említik az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását. A folyóvízi közösségek a vízlépcsők építésére általában diverzitás-csökkenéssel válaszolnak. Ezt eddig a fito- és zooplanktonról valamint makroszkopikus állatközösségekről mutatták ki. A kagylók és halak számára a vízlépcsők fizikai barriert jelentenek. A halakra gyakorolt egyéb hatások a vándorlási és más életmenet-stratégiák megváltozásában, a vándorlás alatt megnövekedett mortalitásban, illetve a fajok eltűnésében jelentkeznek. A folyómenti élővilágra gyakorolt egyik legszembetűnőbb hatás a szárazodás, mely a növényzet diverzitásának csökkenéséhez és egyes fajok végleges eltűnéséhez vezet. E folyamatot az állatvilág passzív módon, a kétéltűek és a hullók csoportja például élőhelyeik megszűnése miatt követi. A vízlépcsőknek azonban talaj- és árvízvédelmi funkciójuk révén az élőhelyek fenntartásában, adott esetben pedig, például száraz, sivatagos területeken új élőhelyek létesítésében is szerepe lehet. A cikkek közül néhány a vízlépcsők geológiai kockázatairól és biztonsági kérdéseiről szól. Más tanulmányok a biológiai problémákra javasolt áthidaló megoldások (pl. a természetes vízhozam ingadozásának utánzása, elkerülő utak építése vándorló halak számára, stb.) szerepét hangsúlyozzák. Hasonlóképpen foglalkoznak cikkek a vízlépcsők lebontása után bekövetkezett kedvező hatásokról, például halközösségek megerősödéséről és a folyómenti élőhelyek látványos javulásáról. Összességében a fellelt cikkek többsége (95,2%) a vízlépcsőknek az élővilág vizsgált részére gyakorolt hátrányos hatásáról számol be, mely arány szignifikánsan eltér a véletlen megoszlástól ($p < 0,0001$). A cikkek között nem volt magyar első szerző által írt munka és egy cikk sem foglalkozott a bős-nagymarosi építkezések következményeivel.

Kulcsszavak: vízlépcső, vízlépcsők biológiai hatásai, ökológia, áttekintés, Bős-Nagymaros

Bevezetés

Napjainkban ismét fellángolt a bős-nagymarosi vízlépcső építése körüli vita. Az építési tervek értékeléséhez érdemes a hatástanulmányokon kívül a témában külföldön, referált folyóiratokban megjelent biológiai szakcikkek konklúzióit megvizsgálni. Jelen munkám rövid összefoglalással karöltve közli a fontosabb tudományos folyóiratokban megjelent ilyen témájú cikkek referenciáit, azzal a nem

titkolt reménnyel, hogy a hivatkozott anyag az ökológusok és természetvédők számára a véleményformálásban és a döntéshozókkal való tárgyalásban használható lesz.

Módszerek

1998. március elején a számítógépes világhálózat, az Internet segítségével keresést végeztem az 1980-as évek óta a vízlépcsőkkel kapcsolatban a biológiai folyóiratokban megjelent tudományos cikkek körében. A keresés a FirstSearch nevű Internetes szolgáltatással történt, és két adatbázist ölelt fel. A BasicBIOSIS a 350 legalapvetőbb, a könyvtárakban leggyakrabban előforduló referált tudományos folyóiratban megjelent cikkek adatbázisa, a Biological Abstracts része, mely 1994 elejétől tartalmaz cikkeket és kivonatokat. A másik adatbázis, a Biol-AgrIndex 250, az élettudományokat és mezőgazdasági tudományokat képviselő referált folyóirat cikkeit katalogizálja 1983. júliusától kezdve. A keresőszavak a lehető legáltalánosabbak voltak, úgymint „dam(s)” azaz „vízlépcső(k)”. A keresés az 1990-es évek tudományos cikkeire vonatkozóan teljesnek mondható, míg a nyolcvanas évek elején, illetve azelőtt megjelent cikkeket viszont nem ölelte fel.

Áttekintés

A vízlépcsők élővilágra gyakorolt általános hatásai

Közvetett hatások. A fellelt szakirodalom alapján a vízlépcsők mind közvetett, mind pedig közvetlen módon hatnak környezetük élővilágára. Az egyik legfontosabb közvetett hatásnak a vízkémiai paraméterek változásait tartják (McCully 1996). A duzzasztók feletti lassúbb folyószakaszok és víztározók felületének párolgása miatt nagymértékben megnő a folyóvíz sótartalma (Richter *et al.* 1997). Egy másik vizsgálat szignifikánsan nagyobb oldott szervesanyag tartalmat mutatott ki a vízlépcső alatti folyószakaszon (Wehr & Thorp 1997).

A másik legjelentősebb közvetett hatásként a duzzasztott részben megnövekedett üledékfelhalmozódást, illetve a duzzasztás alatti parti eróziót említik (White 1988, McCully 1996). A vízlépcső alatt a megnövekedett sebességű folyó megbontja a part addigi fizikai szerkezetét, és gyakran az alapkőzetig vájja ki medrét, mint azt pl. a Colorado folyónak vízlépcsőket (Glen Canyon dam és Hoover dam) követő szakaszain tapasztalták. A hordalékától a vízlépcsők által megszabadított folyó azonban nemcsak saját folyása mentén, hanem a tengerek partján is jelentős eróziót okozhat (White 1988, Aubrey 1993).

A hordalékmentes folyók vizének elemösszetétele oly mértékben változik, hogy az nemcsak magukban a folyókban, hanem végső állomásukban, a tenge-

rekben is jelentős változásokat okoz. E hatás fontosságára és aktualitására utal egy tavaly, a *Nature*-ben német szerzők (Humborg *et al.* 1997) tollából megjelent cikk. E szerzők a tájképileg és fekvésileg a tervezett nagymarosi vízlépcsőhöz hasonló vaskapui duzzasztónak a Fekete-tenger élővilágára gyakorolt hatását hosszú távú adatsorokkal vizsgálták. Kimutatták, hogy a vaskapui erőműnél a folyóból kivont szilikátok hiánya a Fekete-tengerben nitrogénfeldúsuláshoz, így fokozott primer produkcióhoz vezetett, és ily módon nagymértékben felelős a tenger egészének eutrofizációjáért. E munka volt az első, amely a vízerőművek-vízlépcsők ilyen nagyléptékű hatását kimutatta.

Viszonylag új keletű az az eredmény, amely szerint a vízlépcsőkkel duzzasztott víztározók fontos forrásai az üvegházhatást okozó gázoknak (Fearnside 1995, 1996a, 1996b, Pearce 1996). Néhány tudós vitatja ezt a nézetet (Rosa *et al.* 1996). Mindazonáltal konkrét adatsorokkal bizonyított tény, hogy a hatalmas felületű víztározók létesítésével a légkör vízgőztartalma olyannyira megnőhet, hogy az üvegházhatást okozó gázok emissziója a megtermelt energia mennyiségére vonatkoztatva felülmúlhatja a hagyományos, fosszilis tüzelőanyagokat alkalmazó erőművek kibocsátását (Fearnside 1997). A vízlépcsők azonban nemcsak vízgőzt juttatnak a légkörbe, hanem jelentős mennyiségű metánt is. Ennek oka, hogy a duzzasztott, lassúbb folyású szakaszokon a vízben beinduló reduktív folyamatok jelentős mennyiségű metánt termelnek (Pearce 1996).

Az élővilágra gyakorolt közvetlen hatások

A folyóvízi közösségek változásai. A biotikus hatások a legtöbb szerző szerint a vízlépcső által érintett folyószakaszok és part menti területek biodiverzitásának csökkenésében nyilvánulnak meg. A hajózási célú duzzasztások megváltoztatják a folyó fitoplankton közösségeit. A vízlépcsők alatti szakaszokon lecsökkent sebességű folyásban csökken a bentikus formák gyakorisága (Wehr & Thorp 1997). A zooplankton közösségek összetétele ezzel szemben nem mutatott korrelációt a vízerőművektől való távolsággal, viszont a denzitás és a folyó sebessége között negatív korrelációt tapasztaltak (Thorp *et al.* 1994).

A folyóvizek makroszkopikus állatközösségeire gyakorolt negatív hatásról nagyszámú cikk szól. Több taxonnal, nevezetesen észak-amerikai rákokkal, szitakötőkkel, kagylókkal, halakkal és kétéltűekkel foglalkozik Richter és mtsai. (1997) összefoglaló munkája. E szerzők a fenti taxonok szakértőinek megkérdezésével azonosították 135, fogyatkozóban lévő faj fenyegetettségének mértékét és annak okait. Felmérésük szerint a fogyatkozás három legfőbb okának egyike a vízlépcsők által megváltoztatott vízhozam-ingadozás volt. E hatás legkifejezettebben Észak-Amerika szárazabb nyugati harmadán érvényesült. A szerzők kifejezik reményüket, hogy sok vízlépcső közeljövőben esedékes újraengedélyeztetési eljárásánál maximálisan figyelembe veszik a lehetőséget a természetes vízhozam-ingadozások visszaállítására.

Több vízi gerinctelen taxonnak a Colorado folyó egyik vízlépcső alatti szakaszán történt változását vizsgálta Voelz és Ward munkája (1991). A makroszkopikus gerinctelenek denzitása a vízlépcsőhöz közeli szakaszokon mutatott maximumot, míg faji diverzitásuk nőtt a vízlépcsőtől mért távolsággal. E fauna-gradiens a vízlépcső alatti három kilométeren változott leggyorsabban, majd egyre lassabban, ami jelzi a folyó közösségeinek regenerációs képességét (Voelz & Ward 1991). Ugyanez a szerzőpáros néhány évvel később a Colorado államban folyó Blue River kérészeinek longitudinális eloszlását vizsgálta. Tanulmányuk (Voelz & Ward 1996) szerint a kérészek eloszlásának világos határt szabnak a vízlépcső által okozott környezetátalakító hatások, mivel azok a faktorok, melyek a víztározó felett hatóképesnek bizonyultak, csak a vízlépcsőtől folyásirányban jókora távolságra hatnak ismét a kérészek eloszlására. Egy másik, vízlépcső alatti folyószakaszon néhány faj kivételével a kérészek teljesen eltűntek azután, hogy a víztározóból a felszíni, 4-5 °C-kal melegebb vizet a folyóba engedték (Voelz *et al.* 1994).

Még a viszonylag kisméretű vízerőművek is teljes fizikai barriert jelentenek több állatsoportnak, így például egyes kagylóknak és halaknak (Watters 1996). A vízlépcsők halakra gyakorolt hatásai igen változatosak (Winston *et al.* 1991, Nestler *et al.* 1992, Lutz 1995).

A fizikai paraméterek közül a vízben oldott gázok nyomásviszonyait (Lutz 1995), és a zaj (Nestler *et al.* 1992) hatását vizsgálták. A vízlépcső után az alacsonyabb vízszintű folyóban a hidrosztatikai nyomás csökkenésével az oldott gázok túltelített állapotba kerülnek (Lutz (1995) a mérések mintegy háromnegyedében talált ilyen állapotot), és letális szintű gázbuborék-traumát okoznak a halakban. A következmény: halpusztulás (Lutz 1995).

Bizonyos halfajok érzékenyek egyes frekvenciatartományokra (Nestler *et al.* 1992). E tény lehetőséget ad arra, hogy az adott frekvenciájú hang kibocsátásával a halakat a vízerőművektől távol tartsák (Nestler *et al.* 1992). Ez azért fontos felfedezés, mert a turbinákon való átkelés jelentős mortalitással jár a vándorló fajokban. Ez a közvetlen mortalitás az *Alosa sapidissima* nevű heringfaj ivadéka-inál a kisebb vízlépcsőknél 2,7%-nak adódott, az érzékenyebb *Oncorhynchus tshawytscha* nevű lazacfajnál és nagyobb vízlépcsőknél pedig 7-8%-nak (Mathur & Heisey 1994, Mathur *et al.* 1996). A mortalitásra vonatkozó egyéb becslések a turbina típusától függően akár a 82%-os értéket is elérhetik (Mathur *et al.* 1996).

A vízlépcsők nem egy esetben megváltoztatják a folyóvíz kémiai paramétereit. Egyes vízerőműveknél a megnövekedett fluor-koncentráció okozott halpusztulást (Damkaer & Dey 1989). Enyhébb esetekben a fluor-feldúsulás megnöveli a vízerőművek területén való áthaladáshoz szükséges időt a vándorló halfajok számára. A halak későbbi túlélését és reprodukcióját ez a késlekedés hátrányosan érinti (Damkaer & Dey 1989).

A folyókba ékelt betonszerkezetek befolyásolják a halak vándorlási és egyéb életmenet-stratégiáit (Barthem *et al.* 1991). A súlyosabb esetekben azonban a vízlépcső építése az érzékenyebb halfajok kipusztulásával végződik. Az Oklahoma állambeli Red River északi ágában épített vízerőmű például négy csel-lefaj helyi eltűnését okozta (Winston *et al.* 1991). Ponton & Copp (1997) eredményei szerint pedig a vízerőművek működése következtében a halközösségek összetétele megváltozik, mégpedig úgy, hogy az érzékenyebb fajok kipusztulnak a vízlépcsőtől folyásirányban lévő területeken. A közösségszerkezet azonban a kisebb léptékű beavatkozások hatására is változhat, például a nem őshonos fajok térhódítása révén. Martinez és mtsai. (1994) a Colorado állambeli White River folyón épített víztározó halközösségekre gyakorolt hatását követték nyomon. Adataik szerint az építkezés előtt az őshonos fajok aránya magasán meghaladta a nem őshonos fajok gyakoriságát, mind a leendő víztározó felett és alatt. A víztározó megépítése után viszont a duzzasztás felett a fajok 90%-a nem őshonos faj volt, míg ugyanez az arány 80% volt a vízlépcső alatti szakaszon.

A halakhoz hasonlóan a folyóvizek magasabb rendű gerincesei, így pl. kajmánok (Mourao & Campos 1995) és édesvízi delfinek (Reeves & Leatherwood 1994) is érzékenyek a vízlépcsők okozta élőhely-változásra, így lokális kipusztulásuk szinte bizonyosra vehető a vízlépcsőépítés után.

A vízlépcsők hatásai a folyó menti élővilágra

Általános vélemény a felkutatott cikkek körében, hogy a vízlépcsők hátrányosan befolyásolják környezetük biodiverzitását (Nemecek 1997). E hatások jó része közvetlen, és azonnal kimutatható, pl. a halak esetében, ám gyakran csak hosszabb távon értelmezhetők, ilyenek például a növényzet változásai (Ligon *et al.* 1995).

Több szerző is hangsúlyozza a vízlépcsőépítéssel és folyószabályozással együtt járó szárazodást (Luoma 1996, Nilsson *et al.* 1997, Williams 1997). Hosszú évtizedek óta megfigyelt tény, hogy a duzzasztott víztározók környékén a természetes vegetáció visszaszorul (Nemecek 1997, Williams 1997). Mindennek ellenére egészen a közelmúltig semmiféle tudományos bizonyíték nem létezett, mely e vélt ok-okozati összefüggést alátámasztotta volna. Éppen ezért nagy jelentőségű Nilssonnak és munkatársainak a *Science-ben* tavaly megjelent cikke. A svéd szerzők hosszú távú adatsorokkal vizsgálták a duzzasztott víztározók növényzetre gyakorolt hatását. Az adataikat Svédország északi és keleti részének folyóit kísérő növényzetéről gyűjtötték, mely folyók egyik része duzzasztott, azaz szabályozott vízhozamú, másik része pedig a természetes állapotot képviseli. Ez a körülmény nagyszerű lehetőséget nyújtott a vízlépcsők által okozott hatások megfelelő kontrollal, azaz a természetes folyókkal történő összehasonlítására. Nilsson és mtsai. (1997) cikkéből kiderül, hogy a duzzasztott-szabályozott folyók partján több mint 40%-kal kevesebb növényfaj találja meg életfeltételeit, mint a

hasonló földrajzi helyzetű, geológiai adottságú és vízhozamú természetes folyók partján. Hosszú távú (az 1920-as évektől kezdődő) adatsorokkal bizonyították azt is, hogy a vízlépcsők megépítése után a partmenti növényzet diverzitása ugyan két-három évtizedig emelkedik, viszont ezt követően folyamatosan csökken, és még a maximum diverzitási értékénél sem éri el a természetes, soha nem szabályozott folyók mentén kialakult vegetáció diverzitását. Egyszerűbben szólva: a növényzet soha nem heveri ki a duzzasztás következményeit (Williams 1997).

A folyó menti vegetáció diverzitásának csökkenése bizonyos növényfajok kipusztulásával jár. A kanadai St. Mary folyón az 1951-ben épült víztározó például jelentős mértékben felelőssé tehető a vízgyűjtő terület nyár- (*Populus balsamifera*, *P. angustifolia*, *P. deltoides*) állományainak hirtelen csökkenéséért (Rood *et al.* 1995). Légifotók elemzése alapján az 1951 és 1985 között eltelt 34 év alatt a nyárállományok területi csökkenését 68%-ra teszik. Egy másik vízerőműnél 48%-os területi csökkenést regisztráltak húsz év alatt, mialatt egy szomszédos, szabályozatlan folyó mellett a csökkenés mindössze 1%-os (és statisztikailag nem-szignifikáns) volt (Rood & Heinze-Milne 1989). A csökkenést mindkét fenti tanulmány a szárazodás magoncok mortalitását növelő hatásának tulajdonítja. Egy még hosszabb időintervallumot felölelő vizsgálat szerint a folyópartoknak a szabályozott vízjárás miatt megnőtt stabilitása csökkentette az árterek élőhelymozaikosságát, és egy faj dominánssá válásával a diverzitás nagyfokú csökkenéséhez vezetett (Barnes 1997).

A vízlépcsőépítés gyakran jár a globális biodiverzitás szempontjából értékes területek elárasztásával. Példa erre Tanzánia néhány különleges erdőtersülsa, melyek a Kihansi folyón épített vízlépcső miatti árasztásnak esnek áldozatul (Lovett *et al.* 1997).

Az állatvilág a természetes vagy természetközeli vegetáció visszaszorulását szükségszerűen és kényszerűen követi (McCully 1996). A vizekhez kötődő kételtűek és hullók vagy a duzzasztás, vagy élőhelyeik egyéb okból történő eltűnése miatt pusztulnak ki (Richter *et al.* 1997). A Kalifornia északnyugati részén élő sárgalábú béka (*Rana boylei*) állományának csökkenésében például nagy szerepet játszott peterakóhelyeinek eltűnése. A Lewiston folyón épített vízlépcső másik hatása a peték csökkent túlélése volt (Lind *et al.* 1996).

A vízlépcsők nem egy esetben veszélyeztetett gerincesfajok populációit fenyegetik (Mourao & Campos 1995). A vízlépcsőépítés hatásainak felméréséhez többen javasolnak a lehető legtöbb taxonnal folytatott előzetes állományfelméréseket (Mourao & Campos 1995, Luoma 1996). Példának lehetne említeni Copp és mtsai. (1994) halakkal folytatott állomány felmérő vizsgálatát, melynek aktualitását éppen a bösi vízlépcső 1992-es szlovákiai üzembe helyezése adta.

A vízlépcsők pozitív hatásai

A fellelt cikkek közül néhány a vízlépcsőknek és duzzasztásoknak az élővilágra gyakorolt pozitív hatásáról számol be. Így például száraz, sivatagos területeken a víztározók új élőhelyeket létesíthetnek. Északnyugat-Indiában az 1960-as években épített Pong Dam víztározón a területen addig ismeretlen fajok, réce-, sirály- és partimadár-fajok telepedtek meg, és a terület madarainak fajdiverzitása nagymértékben nőtt (Pandey 1993).

A kisebb gátak közvetett módon hasznosak lehetnek a növényzet számára, például talaj-, és árvízvédelmi szempontból (Betts 1984). A vízlépcsők léptékénél jóval kisebb duzzasztások hatásaival több cikk is foglalkozik. Kedvező hatást jelentenek a duzzasztott tavak például a vadállomány számára (Bleich & Weaver 1983). Dél-Afrikában ritka szitakötőfajokat sikerült meglelepíteni, és általában a szitakötők diverzitását növelni kisebb, mezőgazdasági jellegű duzzasztásokkal (Samways 1989).

Vízlépcsők: kockázatok

Habár csak érintőlegesen kapcsolódik a biológia tárgyköréhez, a vízlépcsőkben rejlő kockázati tényezőkkel több, biológiai irányultságú lap is foglalkozik. A vízlépcsők régiójának geológiai szerkezetéből fakadó veszélyekre figyelmeztet Cherry (1996) cikke. A Lesothoban épített Katse vízlépcső a kelet-afrikai Nagy Hasadék-völgy folytatásában lévő medencében tart vissza mintegy kétmilliárd tonna vizet. Ez az óriási tömegű víz egyes geológusok véleménye szerint mintegy 3 cm-rel „behorpasztja” a Föld felszínét a gáttól felfelé eső 6 km átmérőjű medencében, és így befolyásolhatja a szeizmológiailag amúgy is aktív terület rétegeinek és törésvonalainak helyzetét. Két esetben okozott már ilyen „indukált” földrengés katasztrófát a vízlépcsőben okozott károk és árvizek révén. Mindkét esemény Indiában történt; az első, 1967-ben bekövetkezett szerencsétlenségnek 177 halálos áldozata volt, a második pedig közel 10 ezer ember halálát okozta 1993-ban (Cherry 1997).

Egy hasonló katasztrófa veszélye az asszuáni Nagy-gátnál is fennáll (Werner 1997). A különbség az, hogy a veszély itt nagyobb a csapadékosabb években, amikor az 500 km hosszú tározóban akkora tömegű víz gyűlik össze, mely szeizmikus értelemben destabilizálja a területet. Ez a hatás a mélyebben fekvő törésvonalak elcsúszását, földrengést, illetve a gát átszakadását eredményezheti (White 1988, Werner 1997).

A vízlépcsők biztonsága a fentiek alapján kulcskérdés az ilyen beruházásnál. Az Egyesült Államokban kivitelezett nem állami beruházásoknál, azaz koncessziós és magánépítkezéseknél felmerülő biztonsági és felelősségi kérdésekre figyelmeztet Haugh (1984) cikke. Az imént említett, vízlépcsők által okozott károkat a tulajdonos vagy üzemeltető az esetek nagy részében nem képes saját forrásból rendezni, így valamilyen szinten szükség van az állami felelősségvállalásra.

lásra. Haugh (1984) szerint az állami felelősség az emberi élet és tulajdon védelmét kell, hogy felölelje, míg a tulajdonos-üzemeltető felelősségi körébe kell, hogy tartozzanak a környezeti károk.

Lehetséges áthidaló megoldások

A vízlépcsők negatív hatásai némely esetben enyhíthetők. A legfontosabb környezet-átalakító hatást, a szabályozott vízjárás okozta változásokat például jó eséllyel mérsékelni lehet a folyó természetes vízjárásának utánzásával (Travnichek *et al.* 1995). Ehhez két fő tényező szükséges. Az egyik, hogy egy előzetes vizsgálatok alapján kijelölt minimum vízmennyiségnek mindenkor a folyó vízlépcsőt követő szakaszába kell jutnia. A másik fontos kritérium az, hogy a vízlépcsőn átengedett víz mennyisége kisebb időbeli ingadozást mutasson, illetve az ingadozás megközelítse a természetes vízjárás szezonális ingadozását (Travnichek *et al.* 1993). Az Egyesült Államokban, Alabama államban levő Tallapoosa folyónál például a minimum-átfolyás biztosítását követően a vízlépcső alatti 3 km-es folyószakaszon előforduló halfajok száma megduplázódott, és az addigi tágtúrású fajok mellett a specialista fajok aránya 40%-ról 80%-ra nőtt.

A fajösszetétel és diverzitás kedvező változásai mellett a halak fiziológiai értelemben is kedvezően reagálnak a minimum átfolyás bevezetését követően. Weisberg és Burton (1993) három gyakori halfaj táplálékfogyasztását, kondícióját és növekedési rátáját vizsgálta. Eredményeik szerint a minimum átfolyás biztosítását követően a bentikus gerinctelenek abundanciája szignifikánsan megnőtt, mely bővebb táplálékkinálatot jelentett a halaknak, és ez a halak kondíciójának (testtömeg/testhossz hányados) és növekedési rátájának (testhossz/életkor) növekedését eredményezte (Weisberg & Burton 1993).

A vízlépcsők a vándorló halak számára jelentős akadályokat jelentenek (1. fentebb). E probléma megoldására az Egyesült Államokban a harmincas évek óta építenek a vízlépcsőket elkerülő utakat halak számára (Kynard & O'Leary 1993). Az elkerülő utak sikere azonban kétséges, és függ a folyótól és a vándorló halfajoktól is. Néhány esetben, például a Columbia folyón levő Bonneville vízlépcsőnél az elkerülő utak sikeresnek mondhatók, mivel 70-75%-kal több lazacivadék jutott át a vízlépcsőn, mint az elkerülő út megépítése előtt (Gessel *et al.* 1991). Más esetekben azonban, mint például a Massachusetts állambeli Holyoke vízlépcsőnél ennek ellenkezőjét tapasztalták (Kynard & O'Leary 1993). E vízlépcsőnél ugyanis a rádióadókkal jelölt *Alosa sapidissima* nevű heringfaj egyedeinek mindössze 21%-a jutott át az elkerülő utakon. A sikertelenség okát abban látják, hogy a halak nem szívesen használják a megépített terelőj áratokat, így a várakozás és táplálékhiány miatt nagymértékű mortalitást szenvednek (Kynard & O'Leary 1993).

A vízlépcsők lebontása

A vízlépcsők folyóvízi élőhelyekre gyakorolt negatív hatásait felderítve több helyen felismerték a folyók természetes, szabályozatlan folyásának jelentőségét, és indítottak vízlépcső-, illetve vízerőmű-lebontási programokat. Habár e programok viszonylag újkeletűek, van arra példa a szakirodalomban, hogy a vízi gátak lebontása milyen hatásokkal jár a folyók életközösségeire. Az Egyesült Államok Wisconsin államában levő Milwaukee folyón épített Woolen Mills vízlépcső lebontását követően például látványos javulás következett be a folyómenti élőhelyek állapotában és a természetes, szabályozatlan folyókhoz hasonló karakterű halközösségek jöttek létre (Kanehl *et al.* 1997). E folyamat sikerén és más kedvező tapasztalatokon felbuzdulva az amerikai környezetvédő mozgalmak több helyen a vízlépcsők lebontásáért kezdtek nyomást gyakorolni a döntéshozókra (Elfring 1990, Chatterjee 1997). E nyomás következtében például olyan eset is előfordult, hogy konkrét tudományos vizsgálatokat követően maga a Szövetségi Energiaszabályozási Hivatal (Federal Energy Regulatory Commission) javasolta vízlépcső lebontását, mint például a Maine állambeli Kennebec folyón levő Edwards vízlépcső esetében (Malakoff 1997). A legfőbb biológiai érv ebben az esetben a kipusztulással fenyegetett vándorló halfajok megmentése volt (Malakoff 1997).

A vízlépcsők lebontása azonban nemcsak az élővilág számára kedvező, hanem árvízvédelmi szempontból is előnyös. Az Egyesült Államok központi mérnöki testülete (US Army Corps of Engineers) például ötvenéves működés után jutott arra a felismerésre, hogy a folyók által biztosított korridorok kiszélesítése, azaz az árterületek növelése és restaurációja hatékonyabb, és a folyóvízi élőhelyek szempontjából kedvezőbb megoldás, mint a gátak és tározók építése (Christensen 1997). A megnövelt árterületeken mezőgazdasági művelést terveznek, illetve természetvédelmi területeket alakítanak ki az egykori mocsaras-vizenyős élőhelyek restaurációjával (Christensen 1997). E felismerés nagyban hozzájárult ahhoz, hogy Kaliforniában 1997-ben összesen nyolc kisebb vízlépcsőt bontottak le, és 1998-ban tizenötöt terveznek „eltüntetni” (Chatterjee 1997). A vízlépcsők lebontásának jelentőségét mutatja, hogy a közvélemény érdeklődésének megfelelően a probléma gyakran szerepel a médiában (pl. Anonymous 1997a).

Mіндеzen kedvező tapasztalatok és fejlemények természetesen csak olyan közegben nyilvánulhatnak meg, amelyben a környezeti-ökológiai szempontok jobban érvényesülnek a döntéshozási folyamatban. E folyamatnak több komponense van. Egyik, hogy a tudományos közvélemény hivatalos állásfoglalásai nagy súllyal vesznek részt a problémák megítélésében. A vízlépcsőkkel kapcsolatosan például az Amerikai Halásztudományi Társaság (American Fisheries Society) hivatalos állásfoglalását lehetne említeni (Tyus & Winter 1992), mely részletesen bemutatja a vízlépcsőknek a halakra gyakorolt hatásait és megoldási mó-

dókat is javasol. Hasonló megközelítésű Laitin (1995) cikke, mely erdészeti szempontból tekinti át a problémát.

Az általános problémafelvetésben és a megoldások megismertetésében a médiának óriási szerepe van. Ennek alátámasztására az elektronikus média mellett az ismeretterjesztő folyóiratok szerepét lehetne kiemelni. A vízlépcső-problematika kapcsán itt Luecke (1990), Anonymous (1991 b) és Reisner (1997) cikkét érdemes példaként felhozni. Tanulságos példának a vízlépcsők engedélyeztetési eljárását lehetne említeni. Az amerikai vízierőművek-vízlépcsők mostanában esedékes újraengedélyeztetésénél például nagy nyomás nehezedett a civil szféra felől a kormányzatra, hogy az engedélyek kiadásánál jobban érvényesítse a környezeti-ökológiai szempontokat. E nyomás eredményeképpen a Clinton-kormány a Szövetségi Energiaszabályozási Hivatal engedélyeket kiadó bizottságának élére a környezetvédelmi kérdésekben járatos és eziránt elkötelezett hivatalnokokat jelölt (Baker 1994), mely lépés nagyobb teret biztosít a környezeti-ökológiai szempontok érvényesülésének.

Végezetül pedig a konkrét „ügyek” kapcsán felmerülő, eseti állásfoglalások és ismertető szerepét lehetne kiemelni. A fellelt cikkek közül néhány a vízlépcsők körüli vita és a lebontásukért folytatott kampány kapcsán mutatja be ennek jelentőségét. A Grand Canyon megmentése érdekében például a Colorado folyó egyik legnagyobb erőműve, a Glen Canyon Dam ellen az egyik legbefolyásosabb környezetvédő szervezet, a Sierra Club emelt szót (Elfring 1990). A kibontakozó vitában több ügynökség részvételével folytattak egyeztetéseket, melynek során mindenki számára elfogadható kezelési tervet dolgoztak ki (Elfring 1990). Hasonló probléma érintette a Colorado folyó egy másik vízlépcsőjét, a Two Forks vízlépcsőt; itt is az erőmű által átengedett vízmennyiség volt a vita tárgya (Luecke 1990).

Összegzés

A vízlépcsők összegzett biológiai hatásának objektív elemzésére összevettem az élővilágra kedvező, illetve a hátrányos hatásokról beszámoló tudományos cikkek számát. A Hivatkozott irodalom c. részben szereplő és a vízlépcsőket megemlítő 63 cikk közül 42 (66,7%) foglalkozik a vízlépcsők valamilyen biológiai hatásával. Ezek közül 40 (95,2%) a vízlépcsőknek az élővilág vizsgált részére gyakorolt hátrányos hatásáról számol be, és 2 (4,8%) cikk említ pozitív hatásokat. Ha nullhipotézisünk az, hogy a vízlépcsők nem károsak az élővilágra, akkor a 42 cikk fele, azaz 21 kerülne a negatív, és 21 a pozitív konklúziójú cikkek közé. A talált arány (40 negatív és 2 pozitív cikk) ettől szignifikánsan eltér (feltételes binomiális egzakt teszt [conditional binomial exact test, Rice 1988], $p < 0,0001$), így jogos a megállapítás, hogy a vízlépcsők károsan hatnak az élővilágra. Ez az

állítás még akkor is érvényes, ha a két cikket, mely ugyan sokkal kisebb léptékben, de a duzzasztások előnyeiről szól (Bleich & Weaver 1983, Samways 1989) a pozitív cikkek közé számítjuk (40 negatív és 4 pozitív cikk, feltételes binomiális egzakt teszt, $p < 0,0001$).

A vízlépcsőkkel foglalkozó 63 cikk első szerzőinek országonkénti megoszlása a következő volt: Egyesült Államok: 37 (59,7%), Egyesült Királyság: 12 (19,0%), Kanada: 6 (9,7%), Brazília: 2 (3,2%), Németország: 1 (1,6%), Francia Guyana: 1 (1,6%), ismeretlen: 4 (6,5%). Annak ellenére, hogy a bős-nagymarosi vízlépcsőrendszer terve több mint 20 éve, a bős-gabcikováai „C-variáns” pedig több mint öt éve valóság Magyarországon, mindössze egy cikk szerepel a referált folyóiratokban (Copp *et al.* 1994), melynek aktualitását e vízlépcső adta. E cikk azonban inkább előzetes állományfelméréssel, mint a hatás vizsgálatával foglalkozik. A referált folyóiratokban sem a dunai vízlépcső(k) hatásával, sem magyar első szerző tollából származó, vízlépcsőkkel kapcsolatos cikket nem lehetett felteni.

Irodalomjegyzék

- Anonymous (1997a): New plán for rescuing the salmon: Breaching of dams would let endangered fish swim to sea. - *New York Times* **146**: B8.
- Anonymous (1997b): A dammed shame. - *Amicus Journal* 19: 7.
- Aubrey, D. G. (1993): Coastal erosion's influencing factors include development, dams, wells, and climate change. - *Oceanus* **36**: 5-9.
- Baker, B. (1994): Aquatic systems a concern as the government relicenses dams. - *BioScience* **44**: 433.
- Barnes, W. J. (1997): Vegetation dynamics on the floodplain of the lower Chippewa River in Wisconsin. - *Journal of the Torrey Botanical Society* **124**: 189-197.
- Barthem, R. B., de Brito Ribeiro, M. C. L. & Petrere, M. (1991): Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon basin. - *Biological Conservation* **55**: 339-345.
- Betts, L. A. (1984): Against heavy odds, Iowa watershed dams do their job. - *Soil and Water Conservation News* 5: 5.
- Bleich, V. C. & Weaver, R. A. (1983): "Improved" sand dams for wildlife habitat management. - *Journal of Range Management* **36**: 133.
- Chatterjee, P. (1997): Dam busting. - *New Scientist* **154**: 34-37.
- Cherry, M. (1996): Tectonic rift 'may threaten' Lesotho dam. - *Nature* 380: 193.
- Christensen, J. (1997): California floods change thinking on need to tame rivers. - *New York Times* **146**: C4.
- Copp, G. H., Gutí, G., Rovny, B. & Cerny, J. (1994): Hierarchical analysis of habitat use by 0+ juvenile fish in Hungarian/Slovak flood plain of the Danube River. - *Environmental Biology of Fishes* 40: 329-348.
- Damkaer, D. M. & Dey, D. B. (1989): Evidence for fluoride effects on salmon passage at John Day Dam, Columbia River, 1982-1986. - *North American Journal of Fisheries Management* 9: 154-162.

- Elfring, C. (1990): Conflict in the Grand Canyon: how should Glen Canyon dam be operated? - *BioScience* 40: 709-711.
- Fearnside, P. M. (1995): Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'Greenhouse' gases. — *Environmental Conservation* 22: 7—19.
- Fearnside, P. M. (1996a): Hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: response to Rosa, Schaeffer & dos Santos. - *Environmental Conservation* 23: 105-108.
- Fearnside, P. M. (1996b): Montreal meeting on 'greenhouse' gas impact of hydroelectric dams. - *Environmental Conservation* 23: 272-273.
- Fearnside, P. M. (1997): Greenhouse-gas emissions for Amazonian hydroelectric reservoirs: the example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. — *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- Gessel, M. H., Williams, J. G. & Brege, D. A. (1991): Juvenile salmonid guidance at the Bonneville Dam second powerhouse, Columbia River, 1983-1989. - *North American Journal of Fisheries Management* 11: 400-412.
- Haugh, J. S. (1984): Safety of non-federal dams: who's responsible? - *Agricultural Engineering* 65: 18-20.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A. & V. Bodungen, B. (1997): Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. - *Nature* 386: 385-388.
- Jukofsky, D. (1992): Rainforest at risk: dam construction effects on rainforest ecosystem. - *American Forests* 98: 36-38.
- Kanehl, P. D., Lyons, J. & Nelson, J. E. (1997): Changes in the habitat and fish community of Milwaukee River, Wisconsin, following removal of the Woolen Mills Dam. - *North American Journal of Fisheries Management* 17: 387-400.
- Kynard, B. & O'Leary, J. (1993): Evaluation of a bypass system for spent American shad at Holyoke Dam, Massachusetts. - *North American Journal of Fisheries Management* 13: 782-789.
- Laitin, J. (1985): The Big A affair. - *American Forests* 91: 46-49.
- Ligon, F. K., Dietrich, W. E. & Trush, W. J. (1995): Downstream ecological effects of dams. - *BioScience* 45: 183-192.
- Lind, A. J., Welsh, H. H., Jr. & Wilson, R. A. (1996): The effects of a dam on breeding habitat and egg survival of the foothill yellow-legged frog (*Rana boylei*) in northwestern California. - *Herpetological Review* 27: 62-67.
- Lovett, J. C., Hatton, I., Mwasumbi, L. B. & Gerstle, J. H. (1997): Assessment of the impact of the Lower Kihansi Hydropower Project on the forests of Kihansi Gorge, Tanzania. - *Biodiversity and Conservation* 6: 915-933.
- Luecke, D. F. (1990): Controversy over Two Forks Dam. - *Environment* 32: 42-45.
- Luoma, J. R. (1996): The drying of the rivers. - *Audubon* 98: 26-28.
- Lutz, D. S. (1995): Gas supersaturation and gas bubble trauma in fish downstream from a midwestern reservoir. - *Transactions of the American Fisheries Society* 124: 423-436.
- Malakoff, D. A. (1997): Agency says dam should come down. - *Science* 277: 762.
- Martinez, P. J., Chart, T. E., Trammell, M. A., Wullschleger, J. G. & Bergersen, E. P. (1994): Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado. - *Environmental Biology of Fishes* 40: 227-239.
- Mathur, D. & Heisey, P. G. (1994): Turbine-passage mortality of juvenile American shad at a low-head hydroelectric dam. - *Transactions of the American Fisheries Society* 123: 108-111.
- Mathur, D., Heisey, P. G. & Euston, E. T. (1996): Turbine passage survival estimation for chinook salmon smolts (*Oncorhynchus tshawytscha*) at a large dam on the Columbia River. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 542—549.
- McCully, P. (1996): *Silenced rivers: the ecology and politics of large dams*. - Zed Books, NJ, USA.
- Milliman, J. D. (1997): Blessed dams or damned dams?. - *Nature* 386: 325.

- Mourao, G. & Campos, Z. (1995): Survey of broad-snouted caiman *Caiman latirostris*, marsh deer *Blastocerus dichotomus* and capybara *Hydrochaeris hydrochaeris* in the area to be inundated by Portó Primavera Dam, Brazil. - *Biological Conservation* **73**: 27-31.
- Nemecek, S. (1997): Frankly, my dear, I don't want a dam. How dams affect biodiversity. - *Scientific American* **277**: 20.
- Nestler, J. M., Ploskey, G. R. & Pickens, J. (1992): Responses of blueback herring to high-frequency sound and implications for reducing entrainment at hydropower dams. - *North American Journal of Fisheries Management* **12**: 667-683.
- Nilsson, C., Jansson, R. & Zinko, U. (1997): Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation. - *Science* **276**: 798-800.
- Pandey, S. (1993): Changes in waterbird diversity due to the construction of Pong Dam reservoir, Himachal Pradesh, India. - *Biological Conservation* **66**: 125-130.
- Pearce, F. (1996): Trouble bubbles for hydropower. - *New Scientist* **150**: 28-31.
- Ponton, D. & Copp, G. H. (1997): Early dry-season community structure and habitat use of young fish in tributaries of the River Sinnamary (French Guiana, South America) before and after hydrodam operation. - *Environmental Biology of Fishes* **50**: 235-256.
- Reeves, R. R. & Leatherwood, S. (1994): Dams and river dolphins: can they co-exist? - *Ambio* **23**: 172-175.
- Reisner, M. (1997): The beautiful and the dammed. - *Amicus Journal* **19**: 40-42.
- Rice, W. R. (1988): A new probability model for determining exact P-values for 2 ± 2 contingency tables when comparing binomial proportions. - *Biometrics* **44**: 1-22.
- Richter, B. D., Braun, D. P., Mendelson, M. A. & Master, L. L. (1997): Threats to imperiled freshwater fauna. - *Conservation Biology* **11**: 1081-1093.
- Rood, S. B. & Heinze-Milne, S. (1989): Abrupt downstream forest decline following river damming in southern Alberta. - *Canadian Journal of Botany* **67**: 1744-1749.
- Rood, S. B., Mahoney, J. M. & Reid, D. E. (1995): Instream flows and the decline of riparian cotton woods along the St. Mary River, Alberta. - *Canadian Journal of Botany* **73**: 1250-1260.
- Rosa, L. P., Schaeffer, R. & Santos, M. A. D. (1996): Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of 'greenhouse' gases? - *Environmental Conservation* **23**: 2-6.
- Samways, M. J. (1989): Farm dams as nature reserves for dragonflies (Odonata) at various altitudes in the Natal Drakensberg Mountains, South Africa. - *Biological Conservation* **48**: 181-187.
- Thorp, J. H., Black, A. R. & Haag, K. H. (1994): Zooplankton assemblages in the Ohio River: seasonal, tributary, and navigation dam effects. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **51**: 1634-1643.
- Travnichek, V. H., Bain, M. B. & Maceina, M. J. (1995): Recovery of a warmwater fish assemblage after the initiation of a minimum-flow release downstream from a hydroelectric dam. - *Transactions of the American Fisheries Society* **V2A**: 836-844.
- Tyus, H. M. & Winter, B. D. (1992): Hydropower development: American Fisheries Society policy statement. - *Fisheries* **17**: 30-32.
- Voelz, N. J., Poff, N. L. & Ward, J. V. (1994): Differential effects of a brief thermal disturbance on caddisflies (Trichoptera) in a regulated river. - *American Midland Naturalist* **132**: 173-182.
- Voelz, N. J. & Ward, J. V. (1991): Biotic responses along the recovery gradient of a regulated stream. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**: 2477-2490.
- Voelz, N. J. & Ward, J. V. (1996): Microdistributions of filter-feeding caddisflies (Insecta: Trichoptera) in a regulated Rocky Mountain river. - *Canadian Journal of Zoology* **74**: 654-666.
- Watters, G. T. (1996): Small dams as barriers to freshwater mussels, (Bivalvia, Unionoida) and their hosts. - *Biological Conservation* **75**: 79-85.

- Wehr, J. D. & Thorp, J. H. (1997): Effects of navigation dams, tributaries, and littoral zones on phytoplankton communities in the Ohio River. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 378-395.
- Weisberg, S. B. & Burton, W. H. (1993): Enhancement of fish feeding and growth after an increase in minimum flow below the Conowingo Dam. - *North American Journal of Fisheries Management* 13: 103-109.
- Werner, L. (1997): Dam safety: does record flooding threaten the Aswan High Dam? - *Scientific American* 277: 31-32.
- White, G. F. (1988): The environmental effects of the High Dam at Aswan. - *Environment* 30: 4-11.
- Williams, N. (1997): Dams drain the life out of riverbanks. - *Science* 276: 683.
- Winston, M. R., Taylor, C. M. & Pigg, J. (1991): Upstream extirpation of four minnow species due to damming of a prairie stream. - *Transactions of the American Fisheries Society* 120: 98-105.

An overview of the literature on the biological effects of dams

Lengyel, Sz.

*Department of Evolutionary Zoology and Human Biology, Kossuth L. University
H-4010 Debrecen, Egyetem tér 1, Hungary*

Abstract: The most important refereed journals were searched for scientific papers published about the biological effects of dams in order to evaluate the influence dams exert on living systems. The articles found report on both direct and indirect effects of dams on the riverine and riparian biota. The physical and chemical modifications of waterbed habitats encompass the alteration of water chemistry parameters, enhanced sedimentation and change in the element composition of the river water, the latter of which can even be connected to the eutrophication of seas. The emission of greenhouse gases is also mentioned as an indirect effect of dams. In general, riverbed communities react with a decrease in diversity to the building of dams. This effect has been demonstrated in phyto- and zooplankton as well as macroscopic animal communities. For mussels and fish dams represent physical barriers. Other effects of dams on fish include the alteration of migration and other life history strategies, increased mortality during migration and the extinction of species. One of the most significant effects on the riparian biota of dams is drought, which leads to a decrease in plant diversity and the final disappearance of some species. Dams may, however, function to maintain habitats due to their role in soil and flood protection, and in some cases, for example in arid desert areas, they may play a part in creating new habitats. Some of the articles concern the geological risks and security issues of dams. Other papers emphasize the role of solutions suggested to alleviate the biological problems (e.g., imitation of the variability of the natural flow of water, construction of passages for migratory fishes, etc). Similarly, articles deal with the positive effects of the removal of dams, for example, the stabilization of fish communities and the spectacular improvement of riparian habitats. In summary, the majority (95.2%) of the articles found inform about negative effects on the investigated part of the biota, which ratio is significantly different from a random distribution ($p < 0.0001$). None of the articles found was written by a Hungarian first author and none has dealt with the consequences of the Bős-Nagymaros construction projects.

Keywords: dam, biological effects of dams, ecology, review, Bős-Nagymaros