

ÁTTEKINTÉS A „KÖRNYEZETFENNTARTÓ VÍZJÁRÁS” MINT A FOLYÓVÍZI RENDSZER FENNTARTHATÓSÁGÁNAK FELTÉTELEIRŐL ÉS NEMZETKÖZI VIZSGÁLATI MÓDSZEREIRŐL

PROKOS HEDVIG–LÓCZY DÉNES

REVIEW ON THE ENVIRONMENTAL FLOW AS A CONDITION
OF SUSTAINABILITY OF THE FLUVIAL SYSTEM
AND INTERNATIONAL METHODS FOR ITS INVESTIGATION

Abstract

The actuality of this paper lies in the fact that sustainability and the associated eco-awareness are increasingly emphasised in today's environmental management and policy. In the fluvial environment water availability is a crucial issue. The paper provides both broader and stricter definitions for a new concept in the environmental assessment of rivers and their floodplains, environmental flow, and attempts to distinguish it from similar concepts. A classification and brief presentation of the most widespread and relevant methods for rating and analyzing environmental flow in international literature follows. Special attention is paid to the contributions geomorphologists make to the ecological investigations of river channels and riparian zones. Opportunities for the application of environmental flow assessment in an ongoing research directed at the determination of rehabilitation potential (the fulfilment of various ecosystem services) for the Hungarian Drava floodplain are also outlined, with special regard to the efficiency of restoration measures within the Ancient Drava Project.

Keywords: environmental flow, ecological flow, minimum flow, hydrology, river ecology, modified rivers, water availability, floodplain rehabilitation

Bevezetés

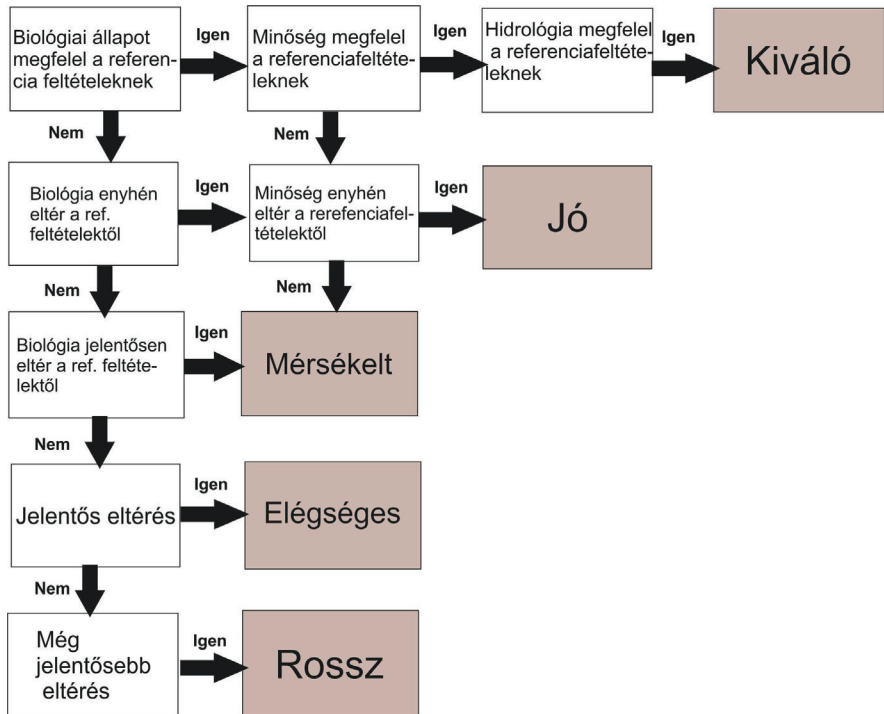
A növekvő népesség támasztotta egyre nagyobb vízigény kielégítése érdekében a 20. században az emberi társadalom jelentősen beavatkozott a folyók vízjárásába. Két fő irányt lehet kiemelni, nevezetesen a lefolyó vízmennyiség helyi csökkentését vízkitermeléssel vagy helyi megnövelését tárolással, esetleg vízáteremtéssel. A természeti környezet szempontjából ugyan mindkettőnek lehetnek előnyei és hátrányai is, a vízhiány általában mégis nagyobb gondot jelent. Ennek hatására kezdődtek olyan kutatások, amelyek célja, hogy a folyó természetes állapotának fennmaradásához, illetve annak helyreállításához feltétlenül szükséges vízjárás kialakítására tegyenek javaslatokat. Konkrét céljuk szerint tehát ezek a kutatások alapvetően két csoportba sorolhatók: egyesek a megelőzésre, a természetes állapot fenntartására összpontosítanak, míg mások – a szabályozott folyók esetében – bizonyos paraméterek és ezáltal természetközeli rendszer helyreállítására irányulnak. A nemzetközi szakirodalom szóhasználata szerint ezeknek az ökohidrológiai vizsgálatoknak a középpontjában az „environmental flow” (máshol „instream flow”) fogalma áll.

Fogalom-meghatározások

A Világbank megrendelésére készített egyik tanulmány (BROWN, C.–KING, J. 2005) megfogalmazása szerint *environmental flow*-nak nevezzük azt a folyómederben meghatározott, illetve oda mesterségesen betáplált vízhozamot, amely elegendő ahhoz, hogy az

élő és élettelen elemekből álló folyóvízi rendszer (ökoszisztéma) létfeltételeit biztosítsa. A folyóvízi ökoszisztémába a folyómeder élővilágán kívül beletartoznak az árterek, torkolatok, a talajvíztől függő biológiai rendszerek is. Ez a széles körben elfogadott kifejezés szintén magába foglalja az édesvízi, torkolati, part menti ökoszisztémák fenntartásához szükséges vízutánpótlás mennyiségét, azon túl pedig annak időzítését, időtartamát, gyakoriságát és minőségét (tehát nem csupán a pillanatnyi vízhozamot, hanem az éves vízjárást), valamint az emberi életteret és tőle függő jóléti elemeket (ACREMAN, M.–DUNBAR, M. J. 2004; ACREMAN, M. 2010). Abból az elképzelésből, illetve szükségszerűségből született, hogy a folyóvíz rendszerébe történő beavatkozásoknak geomorfológiai, ökológiai, társadalmi-gazdasági feltételeknek is meg kell felelniük. Az *Európai Unió Víz Keretirányelve*ben (European Commission, 2000) ugyan konkrétan ez a kifejezés nem szerepel, de a folyók elvárt jó ökológiai állapotának fenntartásához nyilvánvalóan szükséges a megfelelő mértékű és tartósságú vízhozam (ACREMAN, M. C.–FERGUSON A. J. 2010). A Keretirányelvben a jó állapot egy ötfokozatú skála negyedik szintje. A szintek meghatározására egy „igen-nem” választási lehetőségekből álló értékelési rendszer szolgál (1. ábra). A módosított állapotú (szabályozott, felduzzasztott) folyók jó ökológiai potenciáljának elérésében még nagyobb az environmental flow (illetve ha a mederben meghagyott vízmennyiséget hangsúlyozzuk, az instream flow) jelentősége.

Az environmental flow fogalmának megszületése és vizsgálati módszereinek kidolgozása az Egyesült Államokban 1951 óta működő, a nemzetközi természetvédelmi kutatásokban vezető szerepet betöltő intézmény, a Nature Conservancy nevéhez köthető (The



1. ábra A víztestek értékelési rendszere az Európai Unió Víz Keretirányelve szerint (ACREMAN, M. C.–FERGUSON, J. D. 2010 nyomán módosítva)

Figure 1 Evaluation system for water bodies according to the EU Water Framework Directive (modified after ACREMAN, M. C.–FERGUSON, J. D. 2010)

Nature Conservancy, 2010). Következésképp elsőként az Egyesült Államokban terjedt el, majd Dél-Afrikában (THARME, R. E. 2003), Ausztráliában (ARTHINGTON, A. H. 2012) és Európa-szerte is alkalmazni kezdték. Tekintve, hogy a folyórendszerek állapota globálisan romlik, a fogalom egyre gyakrabban jelenik meg a környezetpolitikai dokumentumokban és a jogszabályokban egyaránt (THARME, R. E. – KING, J. M. 2008).

A nemzetközi szakirodalomban több, az environmental flow-hoz hasonló kifejezés is ismert. Mint MEITZEN, K. M. et al. (2013) is megjegyzik, a biológusok számára az „environmental flow” nagyrészt az *ecological flow*-val (ecological water demand, ökológiai vízigény) azonos: a különböző fajok, a populációméret, a társulások fluktuációja és egyéb ökológiai folyamatok fenntartását jelenti. Általában azonban az environmental flow-t tágabban értelmezi a szakirodalom, hidromorfológiai feltételek teljesülését is beleértik (MEITZEN, K. M. et al. 2013).

Az Egyesült Államokból terjedt el a *minimum flow* (minimális vízhozam) kifejezés. Rendszerint azt a vízhozamot jelöli, amelyet a száraz évszakban is célszerű a folyó medrében meghagyni (BROWN, C. – KING, J. 2005). Az arid és szemi-arid vidékeken ez a mennyiség azonban messze elmaradhat az ökológiai vízigény mögött.

Mivel az „environmental flow” egyre gyakrabban használt fogalom, szükséges lenne megtalálni magyar megfelelőjét, de ez a tömör kifejezés magyarra nehezen lefordítható. Mivel a lényege az, hogy a folyó vízjárásának – az emberi társadalom vízfelhasználásán túl – ki kell elégítenie a természeti környezet legtágabban vett igényeit, magyarul talán *környezetfenntartó vízjárásnak* (a továbbiakban: KfV) lenne célszerű nevezni. Ez a megnevezés egyrészt kifejezi, hogy nem csupán a folyóvízi élővilág ökológiai vízigényéről van szó, másrészt utal arra is, hogy megállapításakor nem pillanatnyi vízhozamot vesznek figyelembe, hanem az év során változó igényekhez igazodó vízjárást.

Konkrét esetekben a környezetfenntartó vízjárás meghatározása számos természet- (hidrológia, geomorfológia, biológia, ökológia) és társadalomtudomány (közgazdaságtan, jog, szociológia) képviselőjének bevonását igényli. Ugyanakkor az, hogy mekkora legyen a valamely vízfolyáshoz rendeltendő szükséges vízszállítás, elsősorban társadalmi kérdés, a tudomány csak technikai szempontból adhat támogatást ennek meghatározásához (PAHL-WOSTL, C. et al. 2013). A KfV megállapításának egyik legfőbb „problémája, hogy a közepes évi lefolyás mekkora részének kivételével érhető el a gazdasági haszon és a környezeti költséghatékonyság egyensúlya” (SHARAD, J. K. 2012).

Ha ezt a fogalmat geomorfológiai vagy tájökológiai szempontból vizsgáljuk, a hangsúly azon van, hogy a mederbeli vízáramlás milyen mértékben képes fenntartani a morfológiai jellemzőket és folyamatokat, vízzel ellátni a folyó árterét, biztosítani, hogy a folyó és ártere betölthesse táji funkcióját. A folyóvízi ökológiai és geomorfológiai kutatások napjainkban egyre szorosabban összefonódnak (l. pl. TOCKNER, K. et al. 2002). A geomorfológusok a vízszállításra, a hordalékmozgásra és a folyóvízi formák fejlődésére vonatkozó komplex kérdésfeltevésekkel járulhatnak hozzá a KfV kutatásához (MEITZEN, K. M. et al. 2013).

A módszerek csoportosítása

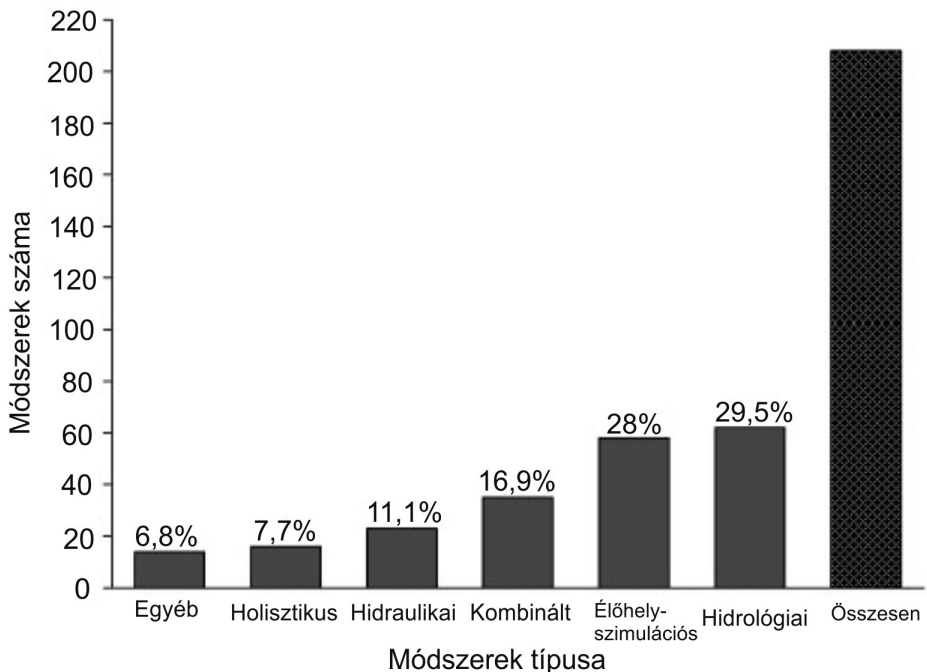
A fentiekből is következik, hogy a környezetfenntartó vízjárás megállapítására nem létezik minden szempontból tökéletes módszer; tudományterületenként más és más ismérvek kapnak hangsúlyt. Vízgazdálkodási beavatkozások esetén a főbb kritériumok a beavatkozás jellege (lecsapolás, folyószabályozás, vízátervezés, egyéb vízgazdálkodási projektek), a rendelkezésre álló pénz- és időkeret, valamint a jogszabályok, amelyek a vízhozamok meghatározását szabályozzák (DYSON, M. et al. 2005).

Az alkalmazott eljárásokban regionális különbségek is kimutathatók. Az északi félteke fejlett országaiban (Egyesült Királyság, Hollandia, Franciaország, Norvégia és Németország) a teljes körű, hidrodinamikai és élőhely-modellezést részesítik előnyben (THARME, R. E. 2003). A fejlődő országokban viszont inkább a holisztikus módszerek alkalmazása került előtérbe. Ennek oka az egész rendszerre vonatkozó kevesebb ismeret. Európa és a Közel-Kelet országaiban elsősorban a hidrológiai, Észak-Amerikában a hidraulikai értékelés és az élőhely-szimulációs, Ausztrálázsiai pedig főként a holisztikus módszerek használata jellemző.

A rendelkezésre álló minősítési módszereknek többféle csoportosítása lehetséges, a legyszerűbb a tudományágak szerinti osztályozás. Arra kell azonban törekedni, hogy egy adott időpontban és környezetben a szakértők minden vízfolyásnak lehetőleg csak egyfajta, minden tudományág szempontjából megfelelő és a döntéshozók számára is megvalósítható KFV-t javasoljanak.

Igen elterjedt a vizsgálati megközelítés szempontjából csoportosítani a módszereket. Ilyen alapon megkülönböztetünk előíró (preszkriptív, előre felállított forgatókönyv szerinti), illetve interaktív megközelítést. BROWN, C. és KING, J. (2005) szerint az interaktív módszerek egyre komplexebbé válnak az előíró módszerekhez képest. Jelenleg 44 különböző országban mintegy 207-féle (2. ábra) módszer létezik, – ezek között találunk adattáblákat (pl. Tennant-módszer), adatelemző módszereket, funkcionális elemzéseket (adott ökoszisztéma multidiszciplináris elemzése) és élőhely-szimulációs módszereket.

THARME, R. E. (2003) és SHARAD, J. K. (2012) összefoglalója alapján a módszerek az alábbi csoportokra bonthatók, amelyeknek egy-két jellemző példáját is bemutatjuk.



2. ábra A KFV értékkelő módszerek száma kategóriánként és a világon használt összes módszer (THARME, R. E. 2003 nyomán módosítva)

Figure 2 Distribution of methods for the assessment of environmental flow by categories and the total number of methods (modified after THARME, R. E. 2003)

Hidrológiai módszerek

Mivel vízügyi adatokra minden esetben szükség van a modellezéshez, a hidrológiai módszerek általában a kezdeti fázisban, becslésekhez használatosak, múltbeli, havi vagy napi bontású vízhozam-adatokra épülnek. Gyakran minimális vízhozamot (minimum flow) állapítanak meg, amely feltétlenül szükséges az ökoszisztéma fenntartásához. A *Tennant-féle módszerben* (TENNANT, D. L. 1976) ez a középvízhozam bizonyos százaléka, általában 30%, bár különleges esetekben (pl. Spanyolországban) már minimálisan a középvízhozam 10%-a is elegendő (JOWETT, I. G. 1997).

A *HEC-6 (Reservoir Sediment Control Application)* eljárást az Egyesült Államok Hadmérnöki Kara Hidrológiai Mérnöki Központja fejlesztette ki (USACE, 1995). A modell egydimenziós, nem rögzített határértékű, nyitott medrű, áramlási és hordalékszállítási numerikus modell. Viszonylag hosszú távon (több éven keresztül) vizsgálja a sűrűlódás és az ülepedés következtében bekövetkező változásokat a folyó hossz-szelvénye mentén. A vízfolyás folyamatos monitorozásából származó adatokat változó vízhozamú és időtartamú egyenletes áramlások szakaszaira bontják. Minden szakaszra szemcseméret-frakciónként kiszámítják a lehetséges hordalékszállítást, majd az összes szállított hordalék térfogatát. A sűrűlódás (nyírófeszültség), illetve az ülepedés mértékéből következtetnek a keresztmetszet alakváltozására. A szimulációk során figyelembe kell venni a mederérdességet, az áramlás hidraulikai jellemzőit, az üledékszállítás és a határfelületek geometriájának összefüggéseit.

További ismertebb hidrológiai módszer a főként az Egyesült Királyság területén használt Q95, valamint a Brazíliában, Kanadában és az Egyesült Királyságban alkalmazott Q90.

Hidraulikai módszerek

Mivel csupán a hidrológiai módszerek alkalmazásával igen nehéz kapcsolatot felállítani a biológiai paraméterek és a vízügyi jellemzők között, olyan módszerek is kialakultak, amelyek alapvető hidrológiai, hidraulikai, ökológiai adatokat és szakértői véleményeket alkalmazva, további mennyiségi és minőségi paramétereket (a halak élőhelyei különböző vízhozamú szakaszokon, illetve a lefolyó vízmennyiség és a hidraulikai jellemzők kapcsolata) is bevonnak a vizsgálatba. A hidraulikai szakaszban a jelenleg legelterjedtebb hidraulikai módszer elsősorban a nedvesített mederkerület, illetve a maximális mélység változásait méri.

A *nedvesített mederkerület* módszere értelmében megállapítják a különböző vízhozamokhoz tartozó nedvesített mederkerületet, és a közöttük tapasztalt összefüggést grafikonon ábrázolják. A görbe töréspontjaihoz rendelhető az a minimális vízhozam, amely a legkedvezőbb élőhelyet biztosítja a folyóra jellemző halfajok populációi számára (THARME, R. E. 2003).

A *HEC-RAS* (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) is az Egyesült Államok Hadmérnöki Karának szoftvere (US ACE, 2014). A szintén egydimenziós modell minden természetes és épített mederhálózat hidraulikus vizsgálatára alkalmas. Négy folyó-elemző egységből tevődik össze:

1. vízfelszínprofil-számítások egyenletes áramlásra és változó vízhozamra;
2. egyenletes áramlás szimulációja váltakozó vízjárás esetén;
3. üledékszállítási potenciál számítása szemcseméret-tartományok szerint, a vízjárás és a mederalak változásainak figyelembevételével;
4. vízminőségi elemzések (vízhőmérséklet, oldott nitrogén, oldott foszfor, alga, oldott oxigén, biológiai oxigénigény).

A hidrológiai, hidraulikai és élőhely-szimulációs modellek együttesen átfogó megközelítést nyújtanak. Az alapot itt is a vízjárás havi vagy még részletesebb bontású ingadozásai jelentik. A holisztikus módszereket általában két típusba sorolják (ARTHINGTON, A. H. 2012). Az egyik esetben zéró-áramlásból indulnak ki, és különböző paraméterek hozzárendelésével mesterségesen vízjárási modellt alakítanak ki (pl. a BBM-módszerrel; l. lentebb). A másik esetben az alapvető kérdés a következő: „Mennyit módosíthatunk egy folyó vízjárásán, mielőtt annak vízi ökoszisztémája jelentősen elkezdene megváltozni, illetve nagymértékben leromlani?”

A Dél-Afrikából származó *DRIFT*- (*Downstream Response to Imposed Flow Transformation*) eljárás (BROWN, C.–KING, J. 2005) öt fő lépése:

- a nedves és száraz évszakok vízjárásának, a kis és nagy áradásoknak elkülönítése a hosszú távú hidrológiai adatok feldolgozásával;
- annak megállapítása, hogyan befolyásolja a folyóvízi rendszert, ha egyes fenti összetevőket részlegesen vagy teljesen eltávolítunk;
- a vízjárás-változások következményeit feltáró, részletező biofizikai adatbázis létrehozása;
- a folyó jövőbeli állapotának előrejelzése a kis és nagy vízhozamok különböző kombinációira.

Előnye, hogy interaktív, tehát több, a vizsgálat kimenetelét bemutató forgatókönyvet vázol fel, amelyek egyúttal a gazdasági és társadalmi költségekre is adnak előrejelzést egy-három éves időtartamra, természetes állapotú és szabályozott folyókra egyaránt. A *DRIFT* hangsúlyozottan figyelembe veszi a vízjárás megváltozásából fakadó társadalmi következményeket is (PAHL-WOSTL, C. et al. 2013).

Talán a *BBM*- (*Building Block Methodologies*) módszer a legalkalmasabb arra, hogy segítse az EU Víz Keretirányelvében (European Commission, 2000) előírt jó ökológiai potenciál kialakítását (ACREMAN, M. C.–FERGUSON, A. J. 2010). Kidolgozói azt vallják, hogy a vízjárás minden „építőeleme” (a legnagyobb vízhozam, kisvízi vízhozam, közép-vízhozam) fontos szerepet játszik az ökoszisztéma fenntartásában (POFF, N. L. et al. 1997). Az árvízi vízhozam a mederátöblítéshez, az ártér és a folyóvízi vegetáció fenntartásához; a közepes vízhozam a halpopuláció növekedéséhez és vándorlásához; az alacsony vízhozam pedig a folyó egységes medrének, vízminőségének megőrzéséhez szükséges (SHARAD, J. K. 2012).

A Nature Conservancy *ELOHA*- (*Ecological Limits of Hydrologic Alteration*) módszerének megnevezése arra utal, hogy a hidrológiai változékonyság ökológiai hatásait igyekszik feltárni (POFF, N. L. et al. 2010). Az *ELOHA* a következő lépésekből áll:

1. hidrológiai megalapozás (folyószakaszonként mért napi vízhozam-adatok az eredeti és a jelenlegi, pl. duzzasztás utáni, állapotokra, vízfelhasználási adatok);
2. folyó- (szakasz-) tipizálás (ökológiai szempontból fontos vízjárási paraméterek, vízminőségi jellemzők, mederalak és -anyag, valamint a társulások fajösszetétele alapján – KENDY, E. et al. 2009);
3. a vízszállítás és az ökológiai állapot közötti összefüggések megállapítása különböző folyótípusokra (ökológiai indikátorok kiválasztása szakértői vélemények feldolgozása útján, az ökológiai elvek érvényesülését esettanulmányokkal ellenőrizve);
4. a szükséges vízgazdálkodás-politikai döntések előkészítése, meghozatala és végrehajtása (egyeztetések, ökoszisztéma-funkciók elsőbbségi sorrendjének és az ökológiai kockázatoknak a meghatározása, a megengedett hidrológiai változások rögzítése).

Az ELOHA-módszer ugyan alkalmas a KFV-ismérvek összeállítására, alkalmazásakor nem lehet eltekinteni az egyes folyók egyedi tulajdonságaitól. Ebben nyújt segítséget a szakértők és az összes érintett bevonása, valamint a számos esettanulmány tapasztalatainak kiértékelése.

A mennyiségi paramétereket egyes szerzők további vízminőségi paraméterekkel sürgetik kiegészíteni az ELOHÁ-t. Egyebek között hangsúlyozzák a természetes, évszakosan változó víz hőmérsékleti viszonyok helyreállítását, optimalizációs modellek kidolgozásának szükségességét (APSE, C. et al. 2008; OLDEN, J. D.–NAIMAN, R. J. 2010).

Az *élőhely-szimulációs módszerek* azt vizsgálják, hogy az egyes fajok, illetve indikátor fajok (halak) a folyó vízhozama függvényében: milyen feltételek mellett, hogyan terjednek, milyen vízhozam szükséges a fennmaradásukhoz, az egyes paraméterek változásai milyen változásokat indukálnak a populációban.

Az *IFIM (Instream Flow Incremental Methodology)* első változatát az Egyesült Államok Halászati és Élővilág-védelmi Szolgálatának folyóvízi csoportja dolgozta ki az 1970-es években (STALNAKER, C. B. et al. 1995; BROWN, C.–KING, J. 2005). Ez a legszélesebb körben használt, legjobban dokumentált módszer olyan minimális vízhozam-értékek meghatározására, amelyeket az Egyesült Államok tagállamaiban a vízhasználati engedélyek kiadásakor is figyelembe vesznek. Hidraulikai szimulációjához általában mindössze négy változót (vízmélység, -sebesség, mederanyag és -borítás) alkalmaz, csak a legkisebb vízhozamok esetén egészíti ki ezeket a vízi rovarok táplálék-ellátottságával és a ragadozók jelenlétével, mivel ezek a halak számára igen lényeges paraméterek.

Az IFIM-en belül többféle számítógépes modellt fejlesztettek ki. Ezek közül a Fizikai Élőhely Szimulációs Rendszer, a *PHABSIM (Physical Habitat Simulation)* célja, hogy a folyók vízhozama és a fizikai élőhelyek közötti kapcsolatot modellezze egy adott halfaj életszakaszaira vagy valamilyen rekreációs tevékenység számára (CWAM, 2014). Megállapítja a vízfolyás fizikai jellegét (MILHOUS, R. T.–WADDLE, T. J. 2012), majd hidraulikai és élőhely-alkalmassági kritériumokon alapuló szimuláció következik. A hidraulikai szimuláció a medermélységet, a meder egyéb jellemzőit és a sebességet tartalmazza, a víz hőmérséklet és vízminőség változói nem szerepelnek benne. A legszélesebb körben használt kimeneti érték a súlyozott hasznosítható terület, amely mennyiségi és minőségi szempontból egyaránt jellemzi a fizikai mikro-élőhelyet: a mikro-élőhely területét (m^2 -ben) viszonyítja az adott vízfolyás hosszához (m-ben) (pl. $100 m^2/1500 m$). Mivel a módszer a társadalmi-gazdasági hátteret is figyelembe veszi, felhasználható a vízgazdálkodási döntés-előkészítésben.

A KFV-módszerek ártéri geomorfológiai vonatkozásai

A folyóparti öv (ártér) élőhelyeinek minőségét alapvetően megszabja az ásványi és szerves anyagok lerakódása, amit viszont számos hidromorfológiai tényező befolyásol (STEIGER, J. et al. 2005):

- az árvízeseemények (hidroperiódus) jellege (gyakoriságuk, intenzitásuk, tartósságuk és az elöntés–szárazra kerülés váltakozása);
- a vízfolyás hidraulikája (vízmélység, áramlási sebesség, másodlagos áramlások, nyírófeszültség);
- a szállított hordalék fizikai tulajdonságai (a szemcsék mérete, tömörödöttsége, alakja);
- felszínalaktani jellegzetességek (folyóvízi formakincs és a felszínformákat felépítő üledékek szemcseméret-eloszlása, mikrodomborzat);

- felszínérdesség (a felszínformák, az élő és a holt növényzet magasságkülönbségei, ezek területi eloszlása; uszadékfa (mérete, előfordulási gyakorisága);
- az élő növényzet jellege (fajösszetétele, felépítése, magassága; borítotttság, felszín feletti biomassa, a fatörzsek alapterülete) és az állatvilág (vadállatok, háziállatok) alakító hatása.

A már említett, nedvesített kerületen alapuló módszerek az áramlás, a keresztmetszeti tulajdonságok és az ökológiai változók hosszabb távon működő kapcsolatrendszerét vizsgálják (SHARAD, J. K. 2012). Fő paramétereik a *nedvesített kerület* (wetted perimeter), a *mederesés* (slope of channel bed), a *medermintázat* (planform channel pattern), a *hordalék fajtája* (görgetett, lebegtetett). A folyómedrek részletes geomorfológiai tipológiája (ROSGEN, D. L. 1994) hasznos kiegészítője lehet az áramlási viszonyok jellemzésének.

KFV megállapítása a Dráva magyarországi szakaszára

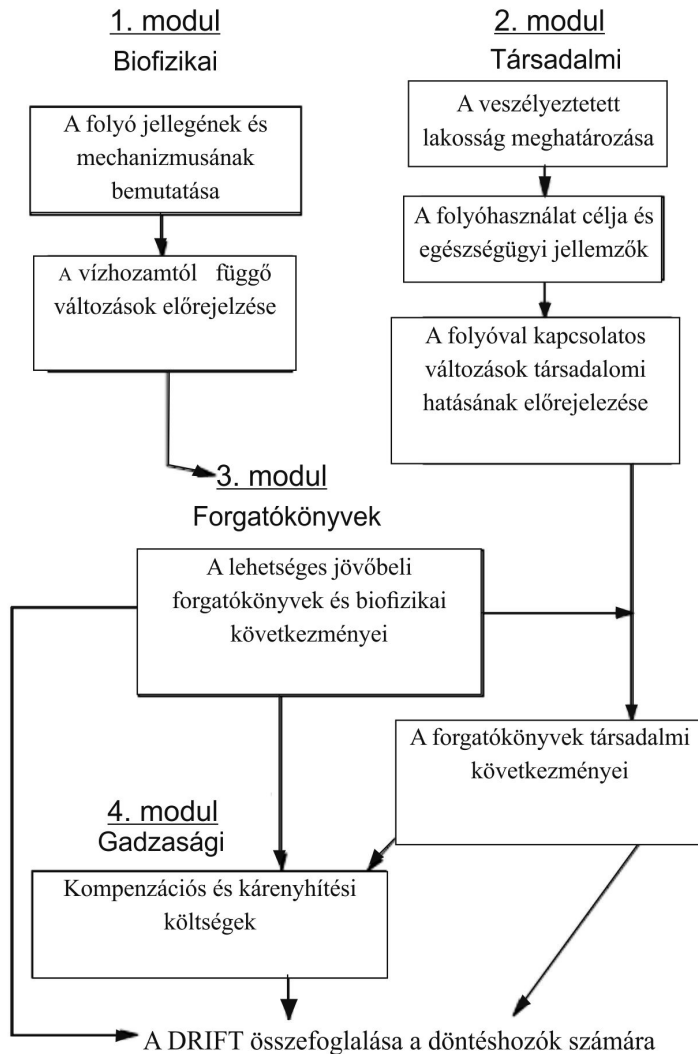
Az ökohidrologiai kutatásokhoz tartozó KFV-értékelés tehát sokféle céllal és megoldással történhet. A folyómeder és az ártér felszínformái közötti szoros kapcsolatot leginkább a holisztikus megközelítések veszik figyelembe. Különösen az ELOHA- (POFF, N. L. et al. 2010) és a DRIFT-módszer (KING, J. et al. 2003) emelhető ki ebből a szempontból (3. ábra). A mederalakító folyamatokon kívül az ártérfejlődés ökohidrogeomorfológiai kutatásával is érdemes kiegészíteni a hidrológiai és ökológiai vizsgálatokat (MEITZEN, K. M. et al. 2013), hiszen a KFV meghatározása fontos lépése a folyók és árterük helyreállításának is (MCKAY, S. K. 2013). Ausztráliában például ilyen megfontolásból fejlesztették ki a FLOWRESM-eljárást (ARTHINGTON, A. H. et al. 1999).

A folyók ökológiai állapotának javítása mellett egyre többen hangsúlyozzák az árterük ökoszisztéma-szolgáltatásainak fontosságát (GUMIERO, B. et al. 2013). A területfejlesztési tervekbe be kell építeni ezeknek a szolgáltatásoknak a fejlesztését, esetleg helyreállítását is.

Az ötlet, ami szerint érdemes lenne a fent említett módszerek közül valamelyiket hazai mintaterületen – nevezetesen a Dráva árterén Órtilostól Mattyig – alkalmazni, abból az apropóából ered, hogy az Ós-Dráva-projekt keretén belül a vízgazdálkodási és a tájgazdálkodási tervekben alapvető jelentőséget kap a vízutánpótlás. A megfelelő vízellátottság döntő feltétele annak, hogy a rehabilitációs tervek (Aquaprofit, 2010) fenntartható módon megvalósíthatók legyenek. A rehabilitáció célállapotának kijelölésekor nagy nehézséget jelent a referencia-állapotok meghatározása, mivel ezeknek a jelenlegi viszonyok már szinte soha sem felelnek meg Európában (HOHENSINNER, S. et al. 2008).

Nemrégiben egy vizsgálat (ROMANOWICZ, R. J.–OSUCH, M. 2011) kimutatta, hogy az éghajlati változások nyomán átalakuló víz- és földhasználat jellemzői csak interdiszciplináris vizsgálatokkal tárhatók fel. Az Ós-Dráva-program végrehajtásakor is figyelembe kell venni a globális éghajlatváltozás várható hatásait, amelyek nyomán az egész ökoszisztémára kiterjedő változásokkal kell számolni; ezek holisztikus módszerekkel tanulmányozandók.

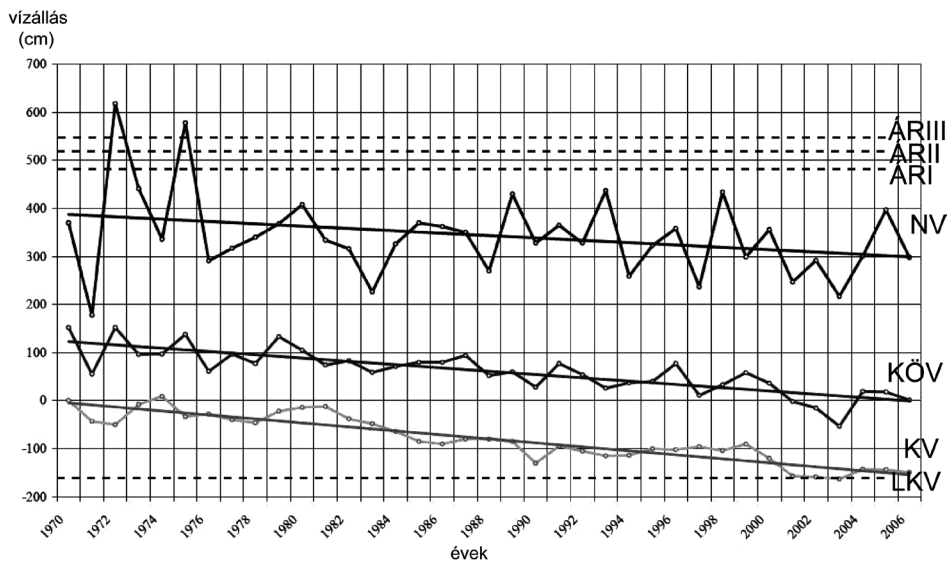
A Dráva ausztriai, szlovéniai és horvátországi szakaszán az 1960-as és 70-es években vízerőművek egész sora épült. A duzzasztások lényegesen átalakították a folyó vízjárását, a meder és a hullámtér geomorfológiáját (Fluvius, 2007), csökkent a folyó évi legmagasabb és középvízállásainak szintje (4. ábra), a bevágódás miatt ennél még nagyobb mértékben a kisvizek szintje. A vízjárás megváltozása módosította a hordalékszállítás és a



3. ábra A DRIFT négy modulja (KING, J. M. et al. [2003] után módosítva)
 Figure 3 The four modules of DRIFT (modified after KING, J. M. et al. 2003)

mederfejlődés folyamatait (KISS T.– ANDRÁSI G. 2011), a folyó vízminőségét (DOLGOSNÉ KOVÁCS A. 2008) és az ártér növényzetét (DÉNES A.– ORTMANN-NÉ AJKAI A. 1999). A talajvíztükör süllyedésén keresztül ez hátrányosan befolyásolta a mentett ártér, különösen pedig a holtágak vízellátottságát is. A KFV-t olyan szinten kell meghatározni, hogy elejét vegyük ezeknek a káros folyamatoknak.

Az Ós-Dráva-program megvalósítása során várhatóan fellépő hidrológiai változások monitorozására a Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság programot indított (DDKVÍZIG, 2014). Ezt egészítik ki a cún–szaporcai holtág környékén a Pécsi Tudományegyetem TTK Természet- és Környezetföldrajzi Tanszékének monitorállomásai, amelyek segítségével a megvalósuló tájrehabilitációs beavatkozások eredményességét kívánjuk ellenőrizni



4. ábra A Dráva éves nagy- (NV), közép- (KÖV) és kisvízi (KV) vízállásai és azok trendjei Barcsnál, 1971–2007 között (forrás: DDKVIZIG). ÁRI = az elsőfokú árvízi riasztás szintje; ÁRII = a másodfokú riasztás szintje; ÁRIII = a harmadfokú árvízi riasztás szintje; LKV = a legkisebb észlelt vízállás

Figure 4 Annual high (NV), medium (KÖV) and low (KV) water levels on the Drava River at Barcs, 1971–2007 (source: DDKVIZIG). ÁRI = first grade flood alert;

ÁRII = second grade flood alert; ÁRIII = third grade flood alert; LKV = lowest water level

– tájökölógiai szempontból, túllépve a szűken értelmezett költség-haszon elemzéseken. A kutatási program központi fogalma a rehabilitációs potenciál (LÓCZY, D. et al. 2014). Ez a KfV meghatározásán túl magába foglalja a legfontosabb értéki ökoszisztéma-szolgáltatások (árvízi víz visszatartás, a talajvízszint stabilizálása, a folyómeder és a holtágak közötti konnektivitás, folyó menti tompító öv fenntartása stb.) teljesülésének értékelését is.

Összefoglalás

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy az amerikai The Nature Conservancy nevéhez köthető *environmental flow* kifejezés napjainkra egyre inkább gyakorlati értelmet nyer. Jelen tanulmányban kísérletet tettünk ennek magyarra fordítására – és a fordítás nehézségeinek, magyarázatának leírására. Az, hogy a magyarra fordítás nem egyszerű, a kifejezés fogalmi komplexitásából adódik. Megjelenése „instream flow”-ként is ismerős lehet, azonban ez esetben csupán a mederben meghagyott vízmennyiségről beszélhetünk. Alapvető célja egy olyan komplex természeti-társadalmi-gazdasági kapcsolat- és döntéstámogató rendszer felépítése, amely figyelembe veszi a hidrológiai, hidraulikai, geomorfológiai, biológiai, gazdasági, szociális tényezőket egyaránt. Csoportosítása többféleképpen lehetséges – a modell által érintett, célterületként meghatározott tudományterület feltüntetése (biológia, geomorfológia, hidrológia); a modell rugalmasságát tekintve (preszkriptív, interaktív); illetve a modell jellegét tekintve (adatelemző, különböző paraméterekkel variálható).

Véleményünk szerint a felsorolt módszerek közül számunkra a holisztikus megközelítés lenne a leginkább célravezető, mégpedig annak összetettsége miatt. Az Ős-Dráva-projekt, valamint a jelenleg is futó OTKA-pályázat komplex társadalmi-természeti rehabilitá-

ciós célt tűztek ki megvalósításuk tárgyaként. Ennek megfelelően a vizsgálni kívánt ártéri rehabilitációs potenciál és a vízügyi, tájhasználati paraméterek átfogóan csak egy ilyen összetett modell keretein belül vizsgálhatók kellő alapossággal. Ez, figyelembe véve az egykori vizes területek, holtágak, morotvák lehetséges jövőbeli felhasználását nemcsak az árvízi védekezés megerősítéseként, az árhullámok tömpítása reményében, hanem a helyi társadalmi-gazdasági egységeknek a vízhasználatba való újbóli sikeres bekapcsolása érdekében történne.

PROKOS HEDVIG

PTE TTK Természet- és Környezetföldrajz Tanszék, Pécs
hedi@gamma.ttk.pte.hu

LÓCZY DÉNES

PTE TTK Természet- és Környezetföldrajz Tanszék, Pécs
loczyd@gamma.ttk.pte.hu

IRODALOM

- ACREMAN, M. 2010: Environmental flows. Managing River Flows for Salmonids. – Atlantic Salmon Trust, York, UK.
- ACREMAN, M. – DUNBAR, M. J. 2004: Defining environmental river flow requirements: A review. – *Hydrology and Earth System Science*, 8. 5. pp. 861–876.
- ACREMAN, M. C. – FERGUSON, A. J. 2010: Environmental flows and the European Water Framework Directive. – *Freshwater Biology*, 55. pp. 32–48.
- APSE, C. – DEPHILIP, M. – ZIMMERMAN, J. – SMITH, M. P. 2008: Developing instream flow criteria to support ecologically sustainable water resource planning and management. – The Nature Conservancy, Harrisburg, PA.
- Aquaprofit, 2010: Ős-Dráva Program – Összefogással az Ormánság fellendítéséért. Vezetői összefoglaló. – Aquaprofit Műszaki, Tanácsadási és Befektetési Zrt., Budapest. 29 p.
- ARNELL, N. W. 2004: Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios. – *Global Environmental Change*, 14. pp. 31–52.
- ARTHINGTON, A. H. 2012: Environmental Flows: Saving Rivers in the Third Millennium. – University of California Press, Berkeley, CA. 424 p.
- ARTHINGTON, A. H. – BRIZGA, S. O. – KENNARD, M. J. – MACKAY, S. J. – MCCOSKER, R. O. – CHOY, S. C. – RUFFINI, J. L. 1999: Development of a flow restoration methodology (FLOWRESM) for determining environmental flow requirements in regulated rivers using the Brisbane River as a case study. – In: *Proceedings of Hydrology*, 1999. Australian Institution of Engineers, Barton. pp. 449–454.
- ARTHINGTON, A. H. – THARME, R. E. – BRIZGA, S. O. – PUSEY, B. J. – KENNARD, M. J. 2003: Environmental Flow Assessment with emphasis on holistic methodologies. – FAO Corporate Document Repository. FAO, Phnom Penh, Cambodia. pp. 38–65.
- BROWN, C. – KING, J. 2005: Environmental Flows: Concepts and Methods. – In: DAVIS, R. – HIRJI, R. (eds): *Water Resources and Environment – Technical Note C. 1*. The World Bank, Washington, D. C. 28 p.
- CWAM, 2014: California Watershed Assessment Manual. PHABSIM. Letöltés dátuma: 2014. március 4. <http://cwam.ucdavis.edu/pdfs/PHABSIM.pdf>
- DDKVÍZIG, 2014: Integrált Drávai Monitoring. – Dél-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Pécs. Letöltés dátuma: 2014. március 3. <http://www.dravamonitoring.eu>
- DÉNES A. – ORTMANN-NÉ AJKAI A. 1999: Baranyai Dráva-holtágak általános és botanikai jellemzése és javaslatok természetvédelmi kezelésükre. – Janus Pannonius Múzeum Évkönyve, 43. pp. 5–26.
- DOLGOSNÉ KOVÁCS A. 2008: Antropogén tevékenységek hatásainak megjelenése a Dráva és főbb hazai mellékvízfolyásainak vízminőségében. – PhD-értekezés. PTE TTK Földtudományok Doktori Iskola, Pécs.
- DYER, F. – ELSAWAH, S. – CROKE, B. – GRIFFITHS, R. – HARRISON, E. – LUCENA-MOYA, P. – JAKEMAN, A. 2014: The effects of climate change on ecologically-relevant flow regime and water quality attributes. – *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28. pp. 67–82.
- DYSON, M. – BERGKAMP, G. – SCANTON, J. (eds) 2005: Débit – Les débits environnementaux: ce qu'il faut savoir. – IUCN, Gland – Cambridge. 152 p.

- European Commission, 2000: Directive 2000/60/EEC. Establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, Luxemburg. L327. pp. 1–71.
- Fluvius, 2007: Hydromorphological Survey and Mapping of the Drava and Mura Rivers. – FLUVIUS, Floodplain Ecology and River Basin Management, Vienna. 140 p.
- FRANZ, D. D.–MELCHING, C. S. 2012: Full Equations (FEQ) Model for the Solution of the Full, Dynamic Equations of Motion for One-Dimensional Unsteady Flow. – In: Open Channels and Through Control Structures. U.S. Geological Survey, Reston, VA.
- GUMIERO, B.–MANT, J.–HEIN, T.–ELSO, J.–BOZ, B. 2013: Linking the restoration of rivers and riparian zones/wetlands in Europe: Sharing knowledge through case studies. *Ecological Engineering*, 56. pp. 36–50.
- HOHENSINNER, S.–HERRNEGGER, M.–BLASCHKE, A. P.–HABEREDER, C.–HAIDVOGEL, G.–HEIN, T.–JUNGWIRTH, M.–WEISS, M. 2008: Type-specific reference conditions of fluvial landscapes: a search in the past by 3D-reconstructions. *Catena*, 75. pp. 200–215.
- JONES, G. 2002: Setting environmental flows to sustain a healthy working river. – Watershed, Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, Canberra, <http://freshwater.canberra.edu.au>
- JOWETT, I. G. 1997: Instream Flow Methods: A comparison of approaches. – *Regulated Rivers: Research & Management*, 13. pp. 115–127.
- KENDY, E.–SANDERSON, J. S.–OLDEN, J. D.–APSE, C. D.–DEPHILIP, M. M.HANEY, J. A.–ZIMMERMAN, J. K. H. 2009: Applications of the Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) in the United States. – Olden Research Group, Freshwater Ecology and Conservation Lab, University of Washington, Seattle, WA. http://depts.washington.edu/oldenlab/wordpress/wp-content/uploads/2013/03/Kendy-et-al-ELOHA-applications_2009.pdf
- KING, J. M.–BROWN, C. A.–PAXTON, B. R.–FEBRUARY, R. J. 2004: Development of DRIFT, a scenario-based methodology for environmental flow assessments. – Report to the Water Research Commission on project K5/1159 „Development of DRIFT, a second generation methodology for instream flow assessments”. Southern Waters Ecological Research and Consulting, University of Cape Town, Rondebosch, South Africa.
- KING, J.–BROWN, C.–SABET, H. 2003: A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. – *River Research and Applications*, 19. pp. 619–639.
- KISS T.–ANDRÁSI G. 2011: A horvátországi duzzasztógátak hatása a Dráva vízjárására és a fenékhordalék szemcse-összetételének alakulására. – *Hidrológiai Közlöny*, 91/5. 17–29.
- LÓCZY, D.–DEZSŐ, J.–CZIGÁNY, SZ.–GYENIZSE, P.–PIRKHOFFER, E.–HALÁSZ, A. 2014: Rehabilitation potential of the Drava River floodplain in Hungary. – In: GĂȘTESCU, P.–BREȚCAN, P. (eds): *Water Resources and Wetlands*. 2nd International Conference, Tulcea, Romania, 11–13 September 2014.
- MCKAY, S. K. 2013: Alternative environmental flow management schemes. – *Ecosystem Management and Restoration Research Program, Special Publication*, 46. U.S. Army Corps of Engineers, Athens, GA. 18 p. <http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/sr46.pdf>
- MEITZEN, K. M.–DOYLE, M. W.–THOMS, M. C.–BURNS, C. E. 2013: Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows. – *Geomorphology*, 200. pp. 143–154.
- MILHOUS, R. T.–WADDLE, T. J. 2012: Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows (v.1.5.1). – U.S. Geological Survey, Reston, VA. Letöltés dátuma: 2014. március 4. http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/pub_abstract.asp
- OLDEN, J. D.–NAIMAN, R. J. 2010: Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. – *Environmental Flows: Science and Management*, 55. 1. pp. 86–107.
- PAHL-WOSTL, C.–ARTHRINGTON, A.–BOGARDI, J.–HOFF, H.–LEBEL, L.–NIKITINA, E.–TSAGEI, D. 2013: Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. – *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5. pp. 341–351.
- PIÉGAY, H.–NAYLOR, L. A.–HAIDVOGL, G.–KAIL, J.–SCHMITT, L.–BOURDIN, L. 2008: Chapter 11. Integrative river science and rehabilitation: European experiences. In: BRIERLEY, G.–FRYIRS, K. (eds): *River Futures: Steps Towards Application of Integrative River Science*. Island Press, Washington, DC. pp. 203–220.
- POFF, N. L.–ALLAN, J. D.–BAIN, M. B.–KARR, J. R.–PRESTEGAARD, K. L.–RICHTER, B. D.–SPARKS, R. E.–STROMBERG, J. C. 1997: The natural flow regime. – *Bioscience*, 47. pp. 769–784.
- POFF, N. L.–RICHTER, B. D.–ARTHRINGTON, A. H.–BUNN, S. E.–NAIMAN, R. J.–KENDY, E.–ACREMAN, M.–APSE, C.–BLEDSOE, B. P.–FREEMAN, M. C.–HENRIKSEN, J.–JACOBSON, R. B.–KENNEN, J. G.–MERRITT, D. M.–O’KEEFEE, J. H.–OLDEN, J. D.–ROGERS, K.–THARME, R. E.–WARNER, A. 2010: The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. – *Freshwater Biology*, 55. pp. 147–170.
- ROMANOWICZ, R. J.–OSUCH, M. 2011: Assessment of land use and water management induced changes in flow regime of the Upper Narew. – *Physics and Chemistry of the Earth*, 36. pp. 662–672.
- ROSGEN, D. L. 1994: A classification of natural rivers. – *Catena*, 22. pp. 169–199.

- SHARAD, J. K. 2012: Assessment of environmental flow requirements. – *Hydrological Processes*, 26. pp. 3472–3476.
- STALNAKER, C. B.–LAMB, B. L.–HENRIKSEN, J.–BOVEE, K.–BARTHOLOW, J. 1995: The Instream Flow Incremental Methodology: A Primer for IFIM. – *Biological Report*, 29. U.S. Geological Survey, Washington, DC. 45 p.
- STEIGER, J.–TABACCHI, E.–DUFOUR, S.–CORENBLIT, D.–PEIRY, J.-L. 2005: Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone. – *River Research and Applications*, 21. pp.719–737.
- TENNANT, D.L. 1976: In-stream Flow Regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. – *Fisheries*, 1. pp. 6–10.
- THARME, R. E. 2003: A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. – *River Research and Applications*, 19. pp. 397–441.
- THARME, R. E.–KING, J.M. 2008: Development of the Building Block Methodology for instream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems. – University of Cape Town, Freshwater Research Unit – Republic of South-Africa Water Research Commission.
- The Nature Conservancy, 2010: The Nature Conservancy Conservation Gateway. – The Nature Conservancy, Harrisburg, PA.
https://www.conservationgateway.org/Documents/TNC_and_Environmental_Flows.pdf
- TOCKNER, K.–WARD, J. V.–EDWARDS, P. J.–KOLLMANN, J. 2002: Riverine landscapes: an introduction. – *Freshwater Biology*, 47. 4. pp. 497–500.
- University of Waterloo 2014: Civil Engineering Computing. – University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
http://www.civil.uwaterloo.ca/cive381/tutorials/hec-ras_tutorial_flume_example.pdf
- US ACE, 1995: HEC-6: Reservoir Sediment Control Applications. – US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center <http://www.hec.usace.army.mil/publications/TechnicalPapers/TP-148.pdf>
- US ACE, 2014: HEC-RAS. – US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>