

Sorsfordító a fejlődésben – 2. rész: Válaszút előtt a világ vízgazdálkodása

Szöllősi-Nagy András

egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem

Kivonat

A közlemény megkísérli áttekinteni a vízgazdálkodás jelenlegi főbb globális kihívásait, a hazai helyzetet és a lehetséges megoldások körvonalait. Azzal érvel, hogy a népességdinamikai előrejelzések és a várható klímaváltozás tükrében a jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat nem tartható fenn a XXI. században és a víz lesz ezért századunk egyik legnagyobb, ha nem a legnagyobb kihívása – globálisan és várhatóan lokálisan is. Globális változás és adaptáció szükséges a vízgazdálkodás minden szintjén, az integrált vízgazdálkodástól kezdve az intézményes felépítésen át az oktatásig és kutatásig. A megállapítás egyaránt érvényes a fejlődő és iparosodott országokra. Különösen érvényes ez Magyarországot illetően, ahol az elmúlt évtizedek a dezintegrált vízgazdálkodás aggodalomra okot szolgáló példáját adták.

Kulcsszavak

globális változások, vízgazdálkodási hatások, klímaváltozás, nemstaciaritás, adaptív vízgazdálkodás, kutatás, intézményi dezintegráció.

Life changer in development - Part 2: Water Management of the World at the crossroads

Abstract

The paper overviews the current global perspective on water resources with an attempt to identify major likely future challenges, along with an outline of potential opportunities for solutions. There is a growing consensus in international environmental politics that water is going to be one of the main issues of the 21st Century. Given the projected demands for water, and the likely impact of climate variability and change, the present water use practices are clearly not sustainable. The paper attempts to identify the technical and social challenges that need to be addressed to establish sustainable water development and management practices for the future. It looks into the hydrological impacts of various global change drivers, such as climatic change as well as changes in population patterns and related changes, such as land use change, migration from rural to urban areas. All these changes imply strong non-stationarity. It is argued that the design methodologies, developed under the hypothesis of stationary hydrological processes, need to be revisited and updated. Potential impacts of climate change will also be outlined along with the likely increase in the occurrence of extreme events such as floods and droughts. A major change is needed at all levels of water management, from integrated water management through research and education both in developing and in industrialized countries. Properly integrated institutions are critical. This is particularly true for Hungary where the institutional set up of water management is fragmented.

Keywords

Global change, water resources impacts, climate change, non-stationarity, adaptive water management, institutional fragmentation.

BEVEZETÉS – AVAGY FOLYTATÁS ONNAN, AHOL KÖRÖSI CSABA ABBAHAGYTA

Számosan úgy érvelnek, ideértve e cikk alapjául szolgáló, a Magyar Hidrológiai Társaság XXXVI. Vándorgyűlésén elhangzott bevezető előadások két szerzőjét is, hogy ha az emberiségnek sikerül elkerülnie a XXI. században a nukleáris holokausztot - ami mindenek felett álló legfontosabb közös feladatunk - akkor a következő megoldandó kihíváshalmaz nagy valószínűséggel a vízzel lesz kapcsolatban. El kell ugyanis kerülni a vízzel kapcsolatos szélsőségek kockázatának várható növekedésétől a közegészségügyi helyzeten át a nemzetközi vízgyűjtőkön lehetséges konfliktusokat és/vagy háborúkat. A következőkben megkísérljük áttekinteni a honi vízgazdálkodásunk megkerülhetetlen peremfeltételeit jelentő főbb globális kihívásokat és meghajtókat, a hazai várható helyzetet és a lehetséges megoldások körvonalait. Az 1. rész (*Körösi 2018*) globális gondolatmenetét folytatva azzal érvelünk, hogy a népességdinamikai előrejelzések és a várható klímaváltozás tükrében a jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat nem

tartható fenn a XXI. században és a víz lesz ezért századunk egyik legnagyobb, ha nem a legnagyobb kihívása – globálisan és várhatóan lokálisan is.

Globális változás és adaptáció szükséges a vízgazdálkodás minden szintjén, az integrált vízgazdálkodástól kezdve az intézményes felépítésen át az oktatásig és kutatásig. A megállapítás egyaránt érvényes a fejlődő és iparosodott országokra és sajnálatosan különösen érvényes hazánkat illetően is, ahol az elmúlt közel három évtized a dezintegrált vízgazdálkodás aggodalomra okot szolgáló példáját adta.

MI A HELYZET GLOBÁLISAN?

A XX. századi népességrobbanás következtében – amikor is egy évszázad alatt a Föld népessége 2 milliárdról 6 milliárdra háromszorozódott, miközben a vízkivételek mennyisége globálisan meghatszorozódott - kinyílt egy olyan olló, amely gátolja humán és környezeti rendszereink fenntarthatóságát (*UN 2018*). Az egy főre jutó éves átlagos vízkészlet 1975 óta drámaian lecsökkent – a megközelítően 15 500 m³/fő/év világtáglagról az 5000 m³/fő/év átlag

vízmenyiségre. Hangsúlyozandó, hogy ez a szám globális átlagot jelent a jelenlegi 7,7 milliárdos lélekszámú emberiségre (<http://www.worldometers.info/world-population/>) vetítve és igen nagy a szórás Kanada 120 ezer m³/fő/év adatától, hazánk 11 700 m³/fő/év egy főre jutó vízmenyiségétől Jordánia 120 m³/fő/év értékéig. (Ez utóbbi nem melleleg 70 m³/fő/évre csökkent az elmúlt négy év során a közel-keleti háborús migráció következtében.)

A vízkészletek csökkenésére azonban nyilvánvalóan nem lehet olyan lineáris előrejelzést adni, mely szerint a következő 40 év alatt az emberiség alól "kifutna" vízkészlete, hiszen a hidrológiai ciklus állandóan megújítja a vízkészletet. Az is kétségtelen azonban, hogy további csökkenés várható az egy főre jutó vízkészlet mennyiségében mindaddig, amíg a század közepén a Földön már 9,6 milliárd ember fog élni. Ez már igen közel lesz a fenntarthatóság határához, és egyben a további növekedés határához, tehát ahhoz az állapothoz amikor humán és környezeti rendszereink a túlhasználát következtében visszafordíthatatlanul összeesnek.

A globális népesedési helyzet elmúlt két évezredben tapasztalt drámai változását *Kőrösi (2018) 1. ábrája* szemlélteti. Hogy mennyire drámai a helyzet azt talán egy sokkolóan szikár tény világítja meg a legjobban: az eddig élt *Homo Sapiens* fele kortársunk. Így hát csakugyan beléptünk egy új korszakba, az *Antropocén*ba (*Waters és társai 2016*), melynek során alapvetően megváltozott a víz körforgása, a hidrológiai ciklus is.

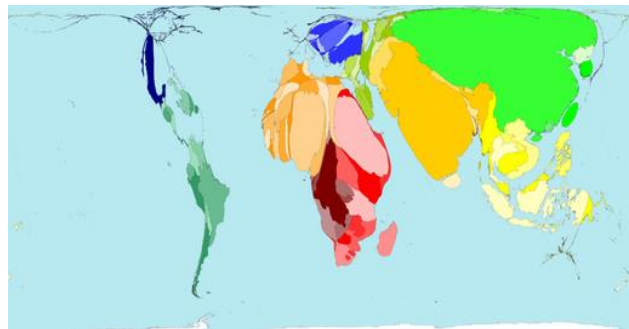
Ma a Föld édesvízkészlete épp annyi, mint a holocén klímaoptimum idején volt az 5000 és 9000 évvel ezelőtti periódusban. Az összes víz 97,5%-a tengerekben és óceánokban található, a maradék 2,5% az emberiség édesvízkészlete. Ennek kb. 60%-a szilárd víz, azaz jég és hó az Északi-sarkon, az Antarktikán, gleccserekben és a magas hegyi hótakaróban, valamint a permafroszton. A maradék 90%-a a felszínalatti nem megfagyott víz. Ami marad, az mindösszesen 42 000 km³ könnyen hozzáférhető felszíni vízkészletet jelent (*Shiklomanov és Rodda 2003*) tavakban, tározókban és vízfolyásokban. A felszíni vizek 90%-a lentikus, lassú áramlású vizekben van, nagyjából 40% a Bajkál-tóban, 20% a Nagy Tavakban, a maradék pedig kisebb tavakban (ideértve a Balaton 2 km³ vizét) és tározókban. A felszíni vízkészlet az összes víz – ideértve a tengereket és óceánokat is – mindösszesen 0,007%-a – ez utóbbit hívják tréfásan a hidrológia James Bond jelenségének. A felhasználók száma az utóbbi évszázad során azonban háromszoros exponencialitással növekedett, ami az elsődleges oka a vízkészletek egy főre jutó radikális csökkenésének. Ez a fejlődő országokban, elsősorban az Ázsiában várható népességnövekedéssel – ahol már most is az emberiség 60%-a él a globális vízkészletek 36%-kal – jelentősen növelheti a vízkészletekkel kapcsolatos konfliktus-potenciált, mivel a 36%-os arány ugyanaz marad, ám a népesség jelentősen meg fog nőni, még ha nagyjából marad is a 60%-os részarányánál.

A globális vízváltás tehát nem azt jelenti, hogy "kifut" alólunk a víz, hiszen a hidrológiai körfolyamat szorgosan dolgozik ennek elkerülésén. A válság ott van,

hogy miképpen is kormányozzuk intézményeinkkel vizeinket. Milyen jogi keretet hozunk létre s az milyen hatékonyan működik, hogyan üzemeltetjük a hidrometeorológiai észlelőrendszereinket, miként tesszük nyíltan hozzáférhetővé a vízzel mint közkinccsel kapcsolatos mérései adatainkat a köz számára, mennyire támogatja a tudományos kutatás a kormányzati döntéseket, egyáltalán: van-e nemzeti és regionális interdiszciplináris vízgazdálkodási kutatóintézet, miképp képezzük a szakmai utánpótlást, integrált vízgazdálkodást hozunk-e létre vagy önös politikai szándékok és lobbik mentén dezintegráljuk rendszereinket? És mindez csak egy kis csoport azokból a kérdésekből, amelyekkel szembe kell néznünk nemzeti, regionális és globális szinten.

TÉNYLEG GLOBÁLIS VÍZVÁLSÁG LESZ?

Hát nem válság az már most, ha naponta hatezer gyerek hal meg vízzel kapcsolatos betegségekben globálisan? Hogy évente 6-8 millió embertársunk hal meg vízzel kapcsolatos katasztrófákban és betegségekben? Hogy a szubsaharai afrikai betegségek 90%-a víz eredetű és a rossz vízminőség eredménye (*1. ábra*)? Hogy a szubsaharai kórházak betegeinek fele a víz, illetve az egészséges víz hiánya miatt van ott?



1. ábra. A nem megfelelő vízhozáférés területarányos megjelenítése (2011-es adatok alapján)

Figure 1. A biased but proportional display of inadequate water access (based on 2011 data)

Hogy harminc év alatt az egy főre jutó víz mennyisége drámain lepadt? Hogy 35 év múlva több, mint kilencmilliárd ember lesz a Földön, akiknek víz kell, csatornázás és szennyvízkezelés? Hogy ma több embertársunknak nincs hozzáférése a minimális szanitációhoz, mint 18 éve, a Millenniumi Fejlesztési Célok kezdetén? Hogy ez 2,6 milliárd ember? Hogy a világ szennyvizeinek 85%-a tisztítás nélkül kerül a befogadóba, ma már mérhető genetikai változásokat okozva a mikrofaunában? Hogy az elmúlt 30 évben az édesvízi élőlények száma megfeleződött?

Lehetne, és kell is a kérdések sorát folytatni, mert ezek az emberiség jövőjét jelentik (*UN World Water Development Report 2018*). Az ENSZ 17 Fenntartható Fejlesztési Célja (SDG-k) az ENSZ Közgyűlése által államfői szinten elfogadott vízió (lásd *Kőrösi 2018, 6. ábra*), ami egy keretrendszerben foglalja össze az emberiség számára 2030-ra elérendő célokat a fenntarthatóság érdekében, tehát annak érdekében, hogy elkerüljük rendszereink irreverzibilis változásait.

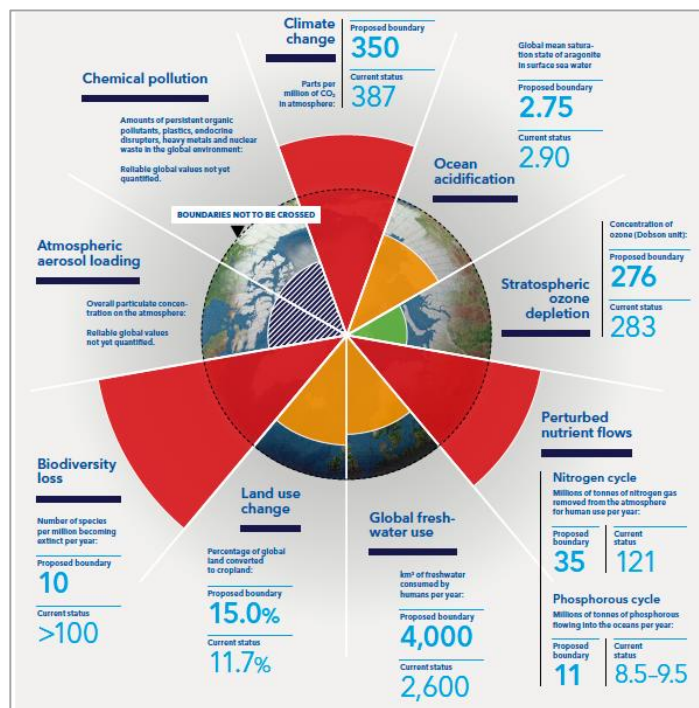
Az SDG-k két legfontosabb célja a szegénység és az éhínség felszámolása 2030-ra. Ez hihetetlenül ambiciózus két fő

cél, ám – adva a világgazdaság jelenlegi állapota és a gazdagság megléte és ugyanakkor elfogadhatatlanul aszimmetrikus megoszlása - nem elérhető. Más kérdés, hogy a világpolitika jelenlegi polarizálódó állapota, a *“We first”* és a *“Nekünk a mi országunk az első!”* ostoba, populista, kirekesztő, immorális és fenntarthatatlan önzése, a növekvő nacionalizmus, a szolidaritás elpárolgása, a militáns szélsőségek megerősödése, a bugyután hepciáskodó kismemzetállamoskodás a minden rendszerünket szétépereszítő globalizáció korában, a befelé fordulás és a xenofóbia ellenirányú folyamatokat indukál(hat)nak. Mindenesetre a víz az, ami a maradék 16 célt összeköti, mint azt a bevallottan szubjektív elrendezési 2. ábra szemlélteti.

Jó tíz éve *Rockström és társai (2009)* az egyes környezeti elemek átbillenési pontjainak becslésénél, - tehát azoknak a határpontnak a meghatározásánál, ami után rendszereink irreverzibilis állapotba kerülnek - úgy érvelt, hogy míg a biodiverzitás csökkenésénél és a klímaváltozásnál már túmentünk az átbillenési pontokon, ahonnan nincs visszatérés, az éves globális vízkivételeket illetően még távol vagyunk a 4000 km³-es planetáris határtól (3. ábra).



2. ábra. A víz, mint a Fenntartható Fejlődési Célok központi eleme
Figure 2. Water as the central element of Sustainable Developmental Goals

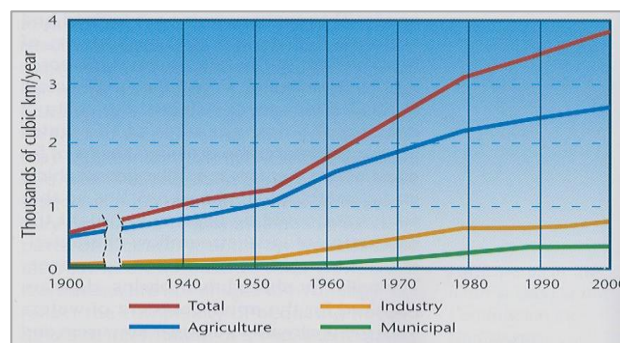


3. ábra. A planetáris határok (Rockström és társai 2009 nyomán)
Figure 3. Planetary boundaries for a few environmental variables (After Rockström et al., 2009)

Ám időközben a mérési idősorokból kiderült, hogy alig tíz év után már most majdnem ott tartunk (4. ábra).

Az ábrából az is jól látszik, hogy a vízhasználatok nagyjából 70%-ért a mezőgazdaság (és az élelmiszeripar felel), tehát ha ott akár kicsivel is lehet javítani a vízfelhasználás hatékonyságát, akkor azzal nagy lépést tehetünk a fenntartható vízgazdálkodás felé.

A hidrológiai változások legjelentősebb tényezője tehát az emberi tevékenység hatása. Erre mintegy ráakodik a természetes és antropogén okokra visszavezethető klímaváltozás hatása, ez utóbbi az ipari forradalom óta. E hatások mára nagyjából fele-fele arányban érvényesülnek.



4. ábra. A globális vízhasználat trendjei a XX. században
Figure 4. Trends in global water use in the 20th century

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A HIDROLÓGIAI CIKLUSRA

A klímaváltozás hidrológiai ciklusra gyakorolt fő hatása nagy valószínűséggel az lesz, hogy a víz körforgása felgyorsul. Ennek számos súlyos következménye lehet.

Azt, hogy a víz körforgása a globális felmelegedés hatására felgyorsul viszonylag elég egyszerűen be lehet látni – hozzáátéve rögvest, hogy ez a magyarázat a primitívségig leegyszerűsített, mert a klímarendszer számos komplexitását, a belső visszacsatolásokat és a rendszer kaotikus, valamint véletlenszerű viselkedését nem veszi figyelembe. Tehát: a Földről kifelé irányuló radiáció egy része az üvegházhatás eredményeként csökken, aminek következtében nő az atmoszféra átlaghőmérséklete. Ez már kimért jelenség és nem spekuláció. A megnövekedett hőmérséklet hatására megnő az evapotranspiráció, aminek következtében megnő a felhőképződés valószínűsége. Több felhőből több csapadék keletkezhet, aminek hatására egységnyi idő alatt megnövekszik a lefolyás. A megnövekedett lefolyásból tovább nő a párolgás ... és így tovább, tehát a víz körforgása várhatóan felgyorsul. Ha ez így van, akkor egységnyi idő alatt több szélsőséges hidrológiai esemény fordul elő. Megnő tehát az árvizek gyakorisága és mértéke. A folytonossági feltételnek minden körülmények között fenn kell állnia – ma épp annyi édesvíz van a Földön, mint a holocén klímaoptimum idején -, ami csak úgy történhet meg, hogy az aszályok időtartamának és kiterjedésének is növekednie kell. Hangsúlyozni kell persze, hogy az atmoszférikus és hidrológiai folyamatok ennél a primitív modellnél lényegesen bonyolultabbak, seregnyi visszacsatolás, erős nemlinearitás, káosz és sztochaszticitás jellemzi a rendszert – pont ez az oka, hogy a sok nagyléptékű szimulációs klímamodell számos esetben ellentmondásos eredményekre vezet, bár a főbb tendenciák azonosításában nincs kontrapozíció. A csapadékeloszlás idő- és térbeli változásával a felszínalatti vizek utánpótlódása is jelentős mértékben változhat, tehát a klímaingadozás és –változás az egész hidrológia ciklusra kihat. Újfént megjegyzendő azonban, hogy az emberi tevékenység hatása a hidrológia körfolyamatra lényegesen jelentősebb, mint a klímaváltozásé. *Vörösmarty és társai (2000)* szimulációs vizsgálatai ezt az arányt nagyjából 80 ill. 20%-ra becsülték 2050-re, azzal a scénárió alapfeltevéssel élve, hogy a népességváltozás az ENSZ előrejelzéseket követi, míg a széndioxid kibocsátás megkettőződik. A klímaváltozás tehát valóban "rarakódik" az antropogén hatásokra, bár részben maga is antropogén eredetű, azaz várhatóan tovább növeli a hidrológiai események bizonytalanságát, s így a vízgazdálkodás kockázati tényezőit is. Az elkövetkező harmincöt év közel harminc százalékos globális népességnövekedése, azaz a több, mint kilencmilliárdos emberiség, tehát várhatóan nagyságrendekkel nagyobb változást okoz a hidrológia ciklusban és a vízzel való gazdálkodásban, mint az ugyanezen időszak alatt várható klímaváltozás. Ezért tartják számosan fontosabbnak az adaptációs stratégiák kidolgozását a túlpolitikizált, szinte barokkosan bonyolult diplomáciai mitigációs manővereknél. A megol-

dás is antropogén - az emberiség kezében van. Ezért kritikus a Párizsi Klímamegállapodás (*UNFCCC 2015*) betartása. Ha az egyik legnagyobb üvegházgáz-kibocsátó kiszáll belőle, akkor annak következményeit a világ többi része nem tudja kompenzálni és egy újabb lépést teszünk rendszereink összeomlása felé. Kényszerből és mások immoralitása miatt, mert a hidrológiai ciklus sem ismer politikai határokat.

A víz a klímaváltozás elsődleges közege - akár a termikus expanzió következtében várható tengervízszint-emelkedésről, akár a hidrológiai ciklus szárazföldi részéről legyen szó, ideértve az olvadó gleccserek és a permafroszt szerepét is. Sajnálatos módon azonban pont a hidrológiai ciklus - a klímarendszer talán legérzékenyebb és legkevésbé értett része - kapja a legkisebb figyelmet a klímaváltozással kapcsolatos vitákban és a kutatásban is. Csak remélni lehet, hogy a Párizsi Megállapodás utánkövetése során a kormányok végre ennek, az emberiség túlélése szempontjából központi, szó szerint létkérdés megoldásának, valamint a víz általi és a vízzel való gazdálkodáson keresztüli adaptációnak is szentelnek időt és energiát.

A klímaváltozással kapcsolatos kormányközi tárgyalások, mint például az említett párizsi klímacsúcs és a COP sorozata (*Conference of the Parties*, a részes országok éves konferenciasorozata) nem gyorsan zajlanak – egy összetett és bonyolult folyamatról van szó, ahol közel kétszáz ENSZ tagország, esetenként markánsan eltérő politikai és gazdasági érdekei között kell megtalálni a mindenki által elfogadható konszenzust. A dolog természetéből fakadóan ez időbe telik. Sok időbe. Valószínűleg sokan vannak, akik kudarcnak minősítik a klímacsúcsot – különös tekintettel azután, hogy az Egyesült Államok 2017 nyarán bejelentette, hogy kiszáll az egyezményből, bár e bejelentés nagy dinamikával azóta is politikai alternáció tárgya. Vannak akik sikeresnek minősítik a klímaegyezményt, vannak csalódottak és vannak elégedettek is. Félő, hogy tudomásul kell vennünk: a világ mai állapota és feltételei mellett ennyit lehetett elérni. Ám tovább kell menni a megkezdett úton (5. ábra).



5. ábra. Berlini szoborcsoport: "Politikusok a globális felmelegedés ügyét tárgyalják" - és már a fülükig ér a víz
Figure 5. A public sculpture in Berlin entitled "Politicians are discussing the cause of global warming" - and the water comes to their ears

Evolúció és nem revolúció – még ha némelyek elégetlensége azt kívánna is. Komolyan meg kell vizsgálni és támogatni kell egy globális kormányközi víz-konferencia és tárgyalássorozat újbóli összehívását – annál is inkább, mert az eddigi első és eddig egyben az utolsó létfonosságú ENSZ vízügyi konferencia pont negyvenegy éve történt az argentinai Mar del Plata-ban.

Azóta pedig egy, s más azért történt. Ha más nem, hát annyi, hogy a Föld egy főre jutó vízkészlete a harmadára zsugorodott. Az ebből fakadó teendők ezért nagyon számosak és nemzetközi összefogás nélkül nem megoldhatók.

TÖBB VÍZ, KEVESEBB VÍZ?

Ez elmúlt évtizedekben számos jel mutatott tehát arra, hogy alapjaiban változott meg a hidrológiai ciklus. Mint láttuk, ennek egyik láttelepe a szélsőségek előfordulási valószínűségének megnövekedése. Meglévő klasszikus hidrológiai statisztikai módszereink, a minta homogenitásának, függetlenségének és azonos eloszlásának feltételezésével – azaz a stacionaritás hipotézisével – nem tudják megmagyarázni, vajon mi az oka annak, hogy a száz-éves, azaz száz évenként statisztikailag egyszer, de bármikor előforduló árvíz miért szinte húsz évenként fordul elő.

Ez ugye elég kínos, mert erre nem készültünk. Miként tudjuk a mértékadó árvízszinteket ebben a helyzetben egyáltalán értelmezni és használható tervezési módszereket adni a gyakorló mérnökök kezébe? Miként tudjuk eszközeinket a nemstacionárius hidrológiai jelenségekhez igazítani, és nem megfordítva, az adatok mesterséges egyöntetűvé tételével, mert a jövő nem olyan lesz, mint a múlt? Hogyan tudnánk a legjobban a klímaváltozás hatásaihoz alkalmazkodni?

Lehet, hogy módszerünk hibás s javítandó és nem a hidrológiai körfolyamat különös viselkedése az ok? Lehet, hogy nem vettük észre a változást? Félő, hogy a válasz erre a kérdésre igenlő. Bizony nem vettük észre, hogy a jövő más lesz, mint a múlt s hogy a stacionaritás feltételezése többé már nem igaz (*Milly és társai 2008*), ám a mérnöki méretezéshez szükséges, a méretek megállapítását szolgáló, vagyis mértékadó helyzeteket mégiscsak a változatlanúság feltételezésével becsüljük mind a mai napig világszerte – *fortsriftosan* úgy, ahogy a nemzeti szabványok előírják. Még akkor is, ha azzal áztatjuk magunkat, hogy *százezer éves adatsorokat generálunk* Monte Carlo módszerrel, tehát jó hosszú periódust fedünk le – ami igaz is, csak éppen olyan adatsort generáltunk, melynek statisztikai paramétereinek definíciószerűen ugyanazok (kell legyenek), mint az észlelt idősoroké, mert ha nem, akkor a Teremtőt szimuláljuk. A legjobb esetben is csak megtartottuk az észlelt idősorok információtartalmát, újat nem teremtettünk. És megmaradtunk a stacionaritás feltevésénél. Ez pedig jelentős rizikót okoz, akár az alul-, akár a felülméretezés kockázatát vonva maga után. A nem-stacionaritásnak tehát súlyos gyakorlati következményei lehetnek, melyek alapvetően megkérdőjelezzik vízgazdálkodási rendszereink méretezési alapelveit is, melyeken mérnökgenerációk sora nőtt fel. Például a százéves, vagy T-éves, gyakoriságú mértékadó árvízszint többé már nem értelmezhető – hiszen, túl a *Szöllősi-Nagy (2017)* által közölt bájos anekdotán - példák

egész sora igazolja, hogy a százévenként egyszer előforduló árvíz jószerevel sokkal gyakrabban fordul(hat) elő. Ebből aztán számtalan kárrendezési jogi vita és konfliktus keletkezhet műtárgyaink üzemeltetése kapcsán. Mi az oka a változásnak? A kivédhetetlen globális változások, melyek peremfeltételként határozzák meg lehetséges lokális cselekvéseinket. Az éghajlatváltozás említett hatásai mellett további nyomás helyeződik meglévő vízkészleteinkre a világban végbemenő globális demográfiai, ideértve a migrációs folyamatokat is, és a radikális urbanizáció miatt. Mint jeleztük, ezen folyamatok hatása sokszorososan meghaladja a klímaváltozás várható hatásait és már rövidtávon, azaz néhány évtizeden belül, még jelentősebben megváltoztatják a hidrológiai ciklus működését. Kulcskérdés tehát, hogy mérnöki műtárgyaink méretezési alapelveit hozzáigazítsuk a nem-stacionárius világhoz.

Míg a klímaváltozás lassú folyamat – kétszáz évnél kellett az ipari forradalom óta eltelnie ahhoz, hogy a hidrológiai ciklus változása mérhető legyen és kimutatható legyen a víz körforgásának felgyorsulása (intenzifikálása) következtében előálló nem-stacionárius állapot – addig az emberi tevékenység közvetlen hatása már néhány évtized alatt mérhető volt. A hatás elsődleges oka a demográfiai változás volt. A 2050-re várható 9,6 milliárdos népesség demográfiai dinamikájával (növekedés, mobilitás, migráció) és az ennek következtében előálló másodlagos föld- és vízhasználat változásával pedig alapvetően megváltoztatta a hidrológiai ciklus működését. Az emberi tevékenység hatásaira mintegy ráakadó klímaváltozás hatásainak kb. 80%-a vízzel kapcsolatos – azon keresztül, ill. annak hatására következik be. A vízzel való fenntartható gazdálkodás tehát az emberiség fenntarthatóságának kulcskérdése. Beláttuk, hogy a hidrológiai ciklus várható gyorsulása következtében meg fog növekedni a szélsőségek előfordulási valószínűsége, azaz megváltoznak a mértékadó helyzetek – azonközben a Föld vízkészlete épp annyi lesz, mint a holocén elején. Viszont a népesség növekedése következtében a század közepéig drasztikusan csökkenni fog az egy főre jutó vízkészlet – ez nyilvánvalóan nem fenntartható és súlyos konfliktusok forrása lehet nemzetközi és szub-szuverén szinten egyaránt (*Wolf 2007*).

ÉS A MEGOLDÁS? LÉTEZIK EGYÁLTALÁN?

Igen, létezik megoldás. És csak tőlünk függ.

Persze nem lesz könnyű a megfelelő megoldást megtalálni, mert régi paradigmákat kell ledöntönnünk. És nincsen egyetlen üdvözítő megoldás, hanem egy megoldástörténet van, amin belül tudunk csak lép(eg)ni. Nem lesz könnyű az *“egyen-es-csatorna-műtárgy-vasbeton-szerkezet”* klasszikus építőmérnöki paradigmából a *soft engineering* területére átevíckélnünk, ahol ökoszisztéma-szolgáltatások látnak el olyan funkciókat, melyeket eddig csak műtárgyakkal véltünk elérhetőnek. Nyilván több víztározás kell a víz-, élelmiszer- és energiabiztonság eléréséhez. Több tározás pedig nyilván nem érhető el a duzzasztás és a gátak helyes funkciójának megértése nélkül, legyen szó intenzívebb öntözésről, vízátvezetésről vagy erőművek megfelelő szintű és mennyiségű hűtővíz-szolgáltatásáról. Hasonló a helyzet a dunai nemzetközi hajózást illetően is – az idei őszi kisvizek ugyan kiugróan ala-

csenyak voltak, ám nem szingulárisak, mert több hasonlóra számíthatunk a jövőben. Rendkívül fontos az igen érzékeny és nagy sebezhetőségű felszínalatti vizekkel való racionális és fenntartható gazdálkodás. Ha a különböző vízadó rétegeket 80 méteres kutakkal kötjük össze, mindenféle átgondolás, hidrogeológiai szakvélemény, mérés és monitoring nélkül, akkor a nem-pontszerű szennyeződésekkel már teljesen elszennyeződött első vízadó szennynevet vezetjük át a lejjebb fekvő vízadó rétegekbe s fosztjuk így meg a jövő generációit a tiszta víztől. Több ez, mint politikai döntés egy szűk lobbis rövidtávú érdekeit kielégítendő. Ez már etikai kérdés. Mint ahogy az egész fenntartható vízgazdálkodás az.

VÍZTUDOMÁNYUNKRÓL TAMÁSKODVA: LEHETŐSÉGEINK ÉS KORLÁTAINK

A XXI. század vagy a tudás társadalma, vagy nem lesz XXI. század – hangzik egyre többen szerte a világban annak nyomán, hogy a 90-es évek közepe táján voltaképpen ledől a digitális korlát és – legalábbis a mezzo-szintű vízmérnöki gyakorlat szintjén – minden kiszámítható – mindez csak gépidő kérdése. És persze a tudás kérdése. Ez így van a vízgazdálkodásban is. Jól működő digitális modellek serege (*Vörösmarty és társai 2018*) áll a hidrológus, a gyakorlati vízmérnök és a stratégiai vízügyi tervező rendelkezésére különböző szinteken: a lokálistól a regionálisra át a globálisra. Példa erre lokális szinten a szennyvíztisztító telepek irányítástechnikája a szenzoroktól a szabályzó elemekig, regionális vízellátó rendszerek távirányítással történő optimális folyamatszabályozásától osztott intelligenciájú folyamatirányító rendszerekkel, a globális hidrológiai körfolyamat biogeokémiai fluxusainak számításáig térinformatikai rendszerben, összekapcsolva az atmoszferikus és szárazföldi részek elemeit, amire korábban soha nem volt lehetőség, részint az említett számítási korlátok, részint a megfelelő és elégséges mennyiségű adatok hiánya miatt. Az utóbbit illetően is hihetetlen fejlődés tanúi lehettünk az elmúlt negyed évszázadban. A műholdak és távérzékelési technikák ma már naponta egy exabájttal hidrológiailag releváns adatot továbbítanak a Földre tera Herz sebességgel. Ez ugye nagy szám: egy milliárd gigabájt, azaz egy darab egyes után tizennyolc nulla. Jó sok adat naponta.

Ám hogyan dolgozzuk mindezt fel és hogyan kapcsoljuk össze a különböző szintű modelleket, melyek egymásnak kölcsönösen peremfeltételei? Ráadásul sereg bizonytalanságot rejtenek magukban s így a *laplace*-i determinizmus csődöt mond, mert a hidrológiai ciklus nem egy 3D-s vízgép, melynek működése csinosan számítható a klasszikus determinisztikus hidrodinamika eszköztárával és rutin numerikus módszerekkel. A hidrológiai folyamatok - és a mátrix, amiben történnek - heterogenitásából fakadó véletlenszerűsége és a léptékváltás ezt az utat kizárja. Hogyan segítheti mégis a sok adat az operatív vízgazdálkodást? Miként lehet ebből az óriási napi adattömegből a jó döntés számára szükséges mintázatot kiszűrni? Az adatgyűjtési technikák fejlődésével - legyen szó az *in situ* intelligens szenzorokról, vagy az említett távérzékeléssel nyert adatokról – párhuzamosan fejlődtek a nagy adathalmazok gyors feldolgozására képes adatfeldolgozási módszerek. A *Big Data* és alakzatfelismerő algoritmusok a rekurzív tanulás elvét alkalmazva hihetetlen sebességgel szűrik ki a

különböző szintű, bizonytalansággal terhelt adatokban rejlő mintázatot. A tanuló algoritmusok már a mesterséges intelligencia (MI) tartományába tartoznak s bár távolinak tűnhet, mégis közeli a lehetőség a gépi tanuláson alapuló digitális vízgazdálkodás diszciplinájának és gyakorlatának megteremtéséhez.

Úgy tűnik tehát, hogy az MI alkalmazásával hamarosan összekapcsolhatók lesznek a vízgazdálkodási döntések különböző szintjei a lokálistól a globálisra. Ezek a különböző szintű vízgazdálkodási gépek/modellek várhatóan egyfajta sajátos IoT rendszert (*Internet of Things*) képeznek, lehetővé téve, hogy a lokális optimumok egy globális optimum részei legyenek, azonban kölcsönösen egymás peremfeltételei is. Válaszokat kaphatunk majd olyan kérdésekre is, hogy miként kell műtárgyainkat méretezni egy olyan világban, ahol a stacionaritás feltétele – amelyen mérnökgenerációk sora nőtt fel - első megközelítésben sem igaz. Mint jeleztük, ezekre a kérdésekre ugyanis sem a klasszikus hidrodinamika, sem a Monte Carlozós számpasszírozás nem ad jó választ. A kockázat viszont marad, szintje meg ismeretlen.

Egy dolgot nem szabadna elfelejtenünk: a vízgazdálkodás elsősorban nem műszaki kérdés, hanem társadalmi. Ha pedig társadalmi, akkor politikai, sőt: etikai. A vizes szakma története tele van trójai falovakkal, ahol ez tetten érhető – elég talán a Bős-Nagymaros nevű döglött politikai múlóra utalni. A szakma akkor nem hallgatott a társadalomra. Igaz, azt a politika akkoriban, jó harminc éve, nem is engedte, s cinikusan játszotta ki egymás ellen az érintett szereplőket. Ha a víz társadalmi kérdés, akkor viszont döntési modelljeinkben megkerülhetetlen a társadalom lehetséges válaszmechanizmusainak modellezése, ami vélhetően legalább egy nagyságrenddel bonyolultabb feladat, mint a 2/3D lokális hidraulikai számítás, mert a társadalmi válaszokban nagyságrendekkel több a bizonytalanság (és a kockázat). Hogy ezt sikerrel oldja-e meg az ágens-alapú viselkedésmoделlezés (*Akhbari és Grigg 2013*) és beilleszthető-e ez a környezeti folyamatok fluxusainak modellezésébe, nos ez az a nagy kérdés, amire várhatóan az MI ill., a gépi tanulás ad majd választ a nem távoli jövőben. Az MI várhatóan lényegében fogja átalakítani a humán kondíció egészét és részleteit, a tervezési szabványoktól és eljárásoktól a földmunkagépek használatán át a vízgyűjtő szintű stratégiai tervezésig. Aki ezt nem fogja fel, az intellektuálisan menthetetlen, mert nem érti a XXI. századot.

Mert tanulnunk állandóan kell. És persze a mesterséges intelligencia mellé természetes intelligencia is szükséges a döntéshozók részéről. Ez már keményebb dió - tetszőleges politikai rezsime fennállása esetén is (*Somlyódy 2018*). Az adaptáció készsége tanulás nélkül nem szereshető meg egy egyre komplexebb és globálisan egyre inkább összehuzalozott világban. Újabb adalék ez a magyar víztudomány intézményrendszere alapvető újjáépítésének szükségességéhez és a VITUKI kormányokon átívelő kivéreztetésével, majd kivégzésével keletkezett vákuum és tudásszakadék megszüntetéséhez (*6. ábra*).



6. ábra. A VITUKI hült helye, ill. a helyén az 5 milliárdért tervezett Nemzeti Atlétikai Stadion látványterve (A grafika forrása: 168 óra, 2018)

Figure 6. Once upon a time this was the location of VITUKI but it is gone now to replace it with ambitious plans for a new National Athletics Stadium designed for 5 billion HUF, not built yet though (Graphics source: 168 Hours 2018)

Ma már világosan látszik, hogy a VITUKI elsovsz-tása, majd megszüntetése jelentős hiba volt – hogy ez rafinált ingatlan panama volt-e, vagy a politika bűne, azt majd megválaszolja az idő. Mindenesetre sajnálatos tény, hogy az átfogó és koordinált magyar víztudományi kapacitás lényegében szétesett, illetve – még ha esetenként kitűnő – zömében egyetemi tanszéki tudományos műhelyekre atomizálódott. Víztudományunk mérhető nemzetközi hatása drasztikusan csökkent. Az egyetemi tanszékeken folyó kutatómunka nem helyettesíthette egy hosszú távú, átfogó, a kormányzati vízügyi politika és a gyakorlat igényeit prioritásnak tudó koherens nemzeti vízgazdálkodási tudományos kutatási program kidolgozását és végrehajtását. Ezért volt nagy öröm, hogy a Magyar Tudományos Akadémia vezetése 2015-ben elhatározta a tudományos igényeknek megfelelő és a gyakorlati munkát korszerű tudománnyal segítő interdiszciplináris nemzeti víztudományi program előkészületi munkálatainak beindítását.

A Nemzeti Víztudományi Program (MTA 2016) meghirdetésével felcsillant a remény, hogy a helyzet változhat. Azonban számos ok következtében, melyek nem nélkülözték az egyéni ambíciókat sem, sajnos idejekorán hamvába hullt a kísérlet. Egy, a nemzetközi követelményeknek megfelelő, a várható eredményekkel, időbeli ütemezéssel és becsült készletigényekkel, valamint a résztvevők tervezett szerepvállalásával ellátott koherens program kidolgozása mind a mai napig fájoan várat magára (MTA 2018). Legalább ennyire kár, hogy az Akadémia szerzői jogokra hivatkozva letiltotta - jelezvén, hogy az „nem időszerű” – az MTA Elnöki ad hoc Bizottság vonatkozó Jelentésének publikálását, és így voltaképpen megakadályozta a szélesebb szakmai vitát, ami a továbblépés szükséges feltétele – lett volna. Talán újra kellene gondolni a továbblépés módozatait, figyelembe véve az Akadémia képességeit, ám egyben meghaladva korlátait, különös tekintettel a gyakorlat valós igényeire. A keret, a Kvassay Jenő Terv (OVF 2018) már megvan.

EPILÓGUS

Wittgenstein szerint a világ mindaz, aminek az esete fennáll – már csak egy új, a kormányzat szakpolitikai döntéseit segítő vízgazdálkodási kutatóintézet hiányzik ahhoz a hazai vízgazdálkodásban, hogy a hazai vizes társadalom (is) része lehessen a tudás-társadalom nemzetközi világának.

Végül egy, a *stricto sensu* tudományon túlívelő kérdés: intézményeink dezintegráltsága. Erősen nehezíti helyzetünket a magyar vízgazdálkodás intézményrendszerének széttagoltsága, ami a hatékonyság jelentős kerékkötője. A klímaváltozás, melynek hatásai elsősorban a hidrológiai ciklusra hatnak, új kihívások elé állítja a magyar hidrológiai és meteorológiai szolgálatokat. Ha valóban elfogadjuk a hidrológiai ciklus integráló szerepét – márpedig más logikus választásunk nincs - akkor annak bármely helyen való szétvágása önkényes, mert sérti az integritás elvét. A hidrológiai ciklus atmoszferikus és szárazföldi körforgásra történő szétválasztása is ilyen. Még inkább sérti ezt az alapelvet, ha a felszíni és felszínalatti vizek mennyiségi és minőségi adatait intézményi szinten is elkülönítve kezeljük. Alapkérdés az adatokhoz való nyílt hozzáférés is. Ami állami, azaz adófizetői pénzből gyűjtött adat, az közkincs és nem lehet adatkufárkodás tárgya. Az adatok szabadon kell hozzáférhetőek legyenek mindenki számára.

IRODALOM

Akhbari, M. és Grigg, N. S. (2013). A Framework for an Agent-Based Model to Manage Water Resources Conflicts. *Water Resource Management*. DOI 10.1007/s11269-013-0394-0.

Kőrösi Cs. (2018). Sorsfordító a fejlődésben. 1. rész: Válaszút előtt a világ. *Hidrológiai Közöny jelen száma*

Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R.M. Hirsch, Z.W. Kundzewicz, D.P. Lettenmaier, R.J. Stouffer (2008). Stationarity is Dead. *Water Management Science*. 319:573-574.

MTA (2016). Jelentés és javaslat a magyar víztudomány valamint az operatív hidrológia honi helyzetéről és intézményrendszerének kívánatos fejlesztéséről, az MTA Elnöki Víztudományi ad-hoc Bizottságának jelentése, nem publikált kézirat, Budapest.

MTA (2018). <https://mta.hu/nemzeti-viztudomanyi-program/a-nemzeti-viztudomanyi-kutatasi-program-107659>.

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F.S. Chapin, III, E.F. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H.J. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J.A. Foley (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475, doi:10.1038/461472a.

OVF (2018). Nemzeti vízstratégia (Kvassay Jenő Terv). <http://www.kormany.hu/download/6/55/01000/Nemzeti%20V%3C%ADzstrat%3C%A9gia.pdf>. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest.

Shiklomanov, I.A. és Rodda, J.C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*.

UNESCO International Hydrology Series, Cambridge University Press, Cambridge.

Somlyódy L. (2018). Most már csak dönteni kéne a legfelsőbb helyeken - Somlyódy László akadémikus a természetes vizeink állapotáról. Barotányi Zoltán interjúja. Magyar Narancs. 30, 39, 8-10.

Szöllősi-Nagy A. (2017). Milyen (m)értéket ad a mértekadó? Mérnök Újság, December, p13.

UNFCC (2015). *The Paris Agreement*, United Nations, New York.

UNESCO (2018). UN World Water Development Report. Paris.

Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., Richard B. Lammer, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth, Science, Vol. 289, Issue 5477, pp. 284-288.

Vörösmarty C. J., Vanesa Rodríguez Osuna, Anthony D. Cak, Pamela Green, Zachary Tessler, Fabio Corsi, Anik Bhaduri, Stuart Bunn, Jorge Gastelumendi, Ian Harrison, Richard Lawford, Peter J. Marcotullio, Michael

McClain, Robert McDonald, Peter McIntyre, Margaret Palmer, Richard Robarts, András Szöllősi-Nagy, Stefan Uhlenbrook (2018). Ecosystem-based water security and the sustainable development goals. Ecohydrology & Hydrobiology, July.

Waters, Colin N., Jan Zalasiewicz, Colin Summerhayes, Anthony D. Barnosky, Clément Poirier, Agnieszka Gajuszka, Alejandro Cearreta, Matt Edgeworth, Erle C. Ellis, Michael Ellis, Catherine Jeandel, Reinhold Leinfelder, J. R. McNeill, Daniel deB Richter, Will Steffen, James Syvitski, Davor Vidas, Michael Wagreich, Mark Williams, An Zhisheng, Jacques Grinevald, Eric Odada, Naomi Oreskes, Alexander P. Wolfe (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. Science. Vol. 351 Issue 6269, aad2622.

Wolf, A. T. (2007). Shared Waters: Conflict and Cooperation, Annu. Rev. Environ. Resour., 32:3.1–3.29.

168 óra (2018). https://168ora.hu/data/cikkek/147/1477/cikk147713/budapesti_atletikai_stadion_napur_architect_fit_800x10000_fit_800x10000.jpg

A SZERZŐ



SZÖLLŐSI-NAGY ANDRÁS Vízmérnök, hidrológus, Dr. Techn., PhD, Dr. Habil., az MTA doktora, Prof. Dr. HC mult., egyetemi tanár a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen, Budapest; a Felsőfokú Tanulmányok Intézete (iASK), Kőszeg, tudományos tanácsadója; a Sustainable Water Futures Programme, Brisbane, Ausztrália, elnöke; UNESCO Nemzetközi Hidrológiai Program (IHP), Kormányközi Tanácsának leköszönt elnöke, jelenleg ex-officio a kelet-középeurópai régió elnökhelyettese, a Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) tagja, az MHT tudományos, szakmai lapja, a Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának elnöke, korábbi főszerkesztője. Hazai szakmai pályáját a VITUKI-ban kezdte Kienitz Gábor Rendszerhidrológiai Osztályán és a VITUKI tudományos főigazgatóhelyetteseként fejezte be 1989-ben. Eközben a IIASA-ban és a Waterloo Egyetemen dolgozott. Ezután az UNESCO párizsi székhelyén volt az IHP igazgatója 20 éven át, majd a delfti (Hollandia) UNESCO-IHE Institute of Water Education rektora volt 5 évig. A Magyar Mérnök Akadémia tagja és a World Academy of Arts and Science fellow-ja.