

■ Szélsőséges vízjárás: új válaszokra van szükség

A duzzasztás szerepe a vízvisszatartásban

A vízvisszatartásra mint a vízkészlet-gazdálkodás eszközére mindig is szükség volt, mivel a térben és időben jelentkező vízigények nincsenek összhangban az elérhető vízkészletekkel. A vízvisszatartás szükségességét azért sem kell igazolni, mert már intézkedések szintjén bekerült a vízgazdálkodást érintő stratégiai tervekbe, a 2. és 3. Országos vízgyűjtő-gazdálkodási tervbe (OVGT2, OVGT3).

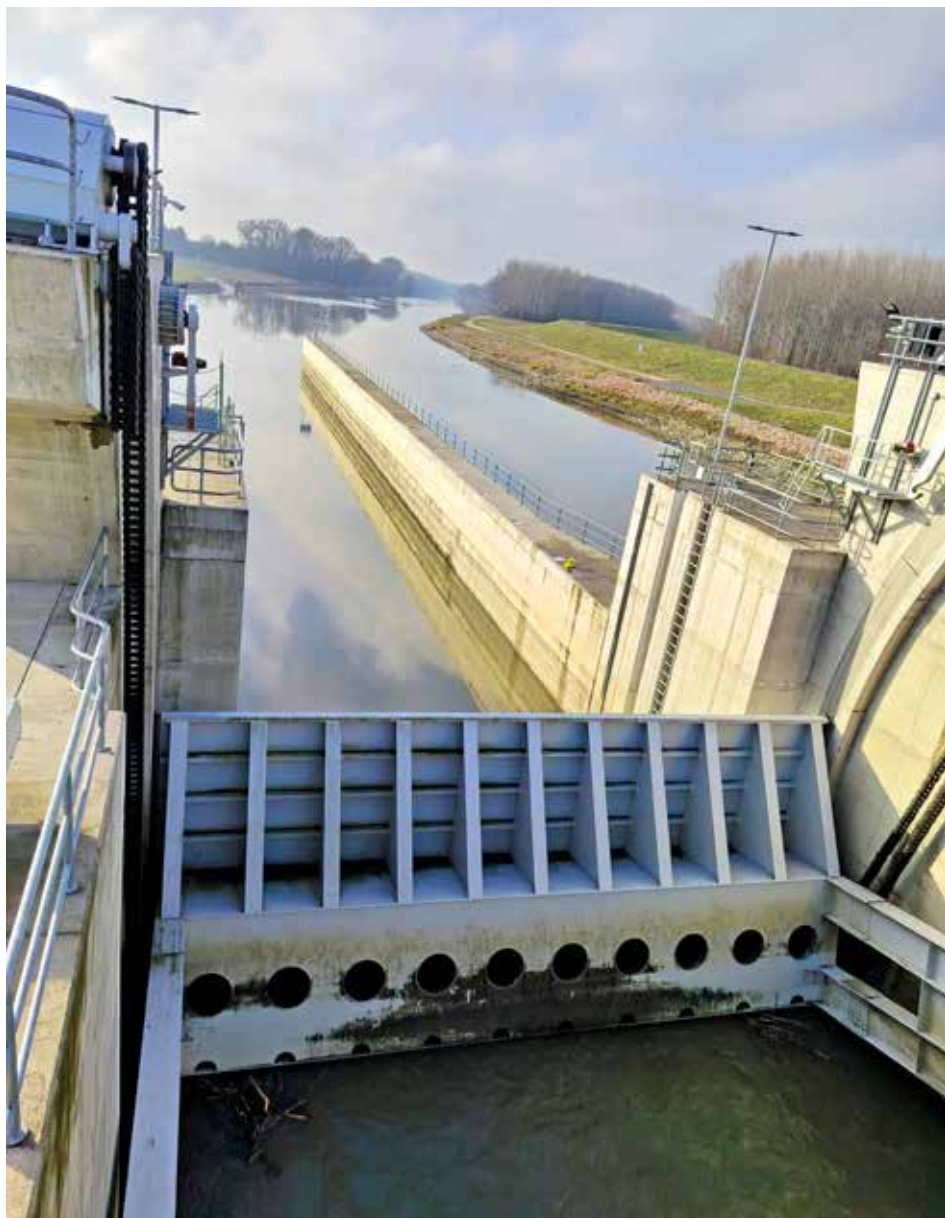


Hancz Gabriella
okl. vízépítő mérnök,
okl. vízgazdálkodási
és környezetvédelmi
szakmérnök

A vízvisszatartás fontossága a klímaváltozás tükrében

A vízvisszatartás fontossága megnőtt és sürgetővé vált a klímaváltozás nyomán tapasztalt és előre jelzett hidrometeorológiai változások miatt. Az előre jelzett változások időben nem fokozatosan jelentkeznek, hanem kiugró, rendkívüli mértékű változásokra kell számítani és a klímadaptációs módszerekkel – mint például a vízvisszatartás – ezekhez az elkerülhetetlen változásokhoz kell alkalmazkodni.

Hazánk legnagyobb része a meleg – száraz kategóriába esik a Péczely-féle osztályozás szerint, amely a vegetációs időszak átlagos hőmérséklete és az ariditási index alapján kategorizálja tájaink hő- és vízellátottságát, ami az aszály kockázat szempontjából indokolt megközelítés. Mérsékelten hűvös, illetve hűvös tartományok csak a magasan fekvő területeken figyelhetők meg. A Bükk-fennsík az egyetlen, ahol hűvös-nedves éghajlati viszonyok uralkodnak. Az emelkedő hőmérséklet hatását tükrözi, hogy míg az 1961–1990 időszakban (1. ábra) hazánk legnagyobb része a mérsékelten meleg-száraz klímaterületbe tartozott, addig az 1991–2020-as évekre a meleg-száraz kategória vált uralkodóvá (2. ábra). A korábbi években még több helyen előfordultak mérsékelten hűvös, illetve hűvös kategóriák, de ezek a legutóbbi évtizedekre



csak a magasan fekvő területekre húzódtak vissza, a Bükk-fennsík az egyetlen, ahol hűvös-nedves éghajlati viszonyok uralkodnak. A kategóriák nedvességet jellemző része a legtöbb helyen változatlan maradt, vagyis a csapadék sokkal kevésbé változott 30 év alatt, mint a hőmérséklet. Az Alföld nagy része azonban mérsékelten szárazról szárazra változott.

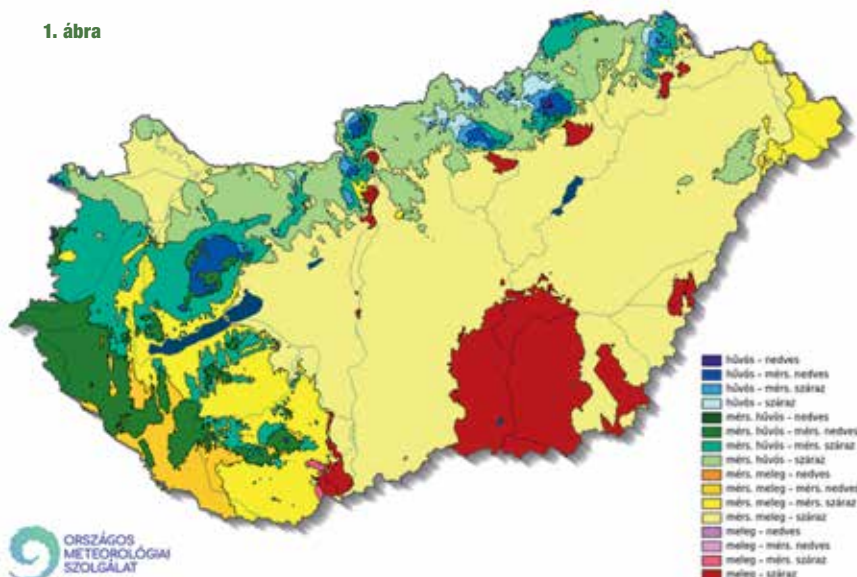
A 20. század elejéhez képest a tavaszi csapadékmennyiség csökkent, miközben az őszi csapadékosabbá vált, az éves országos átlag 4%-kal nőtt az előző 30 éves ciklusokhoz viszonyítva, vagyis az éves csapadék mennyisége nem csökkent. A 2001 és 2025 közötti egész évekre – nem csak a vegetációs időszakra – vonatkozó csapadék- adatokból készült statisztikák szerint az éves csapadékmennyiség a 25 éves időszak végére rövidebb időtartamokra koncentrálódik, egyben nő az ugyanannyi idő alatt lehullott csapadék mennyisége, összességében átlagosan 1,1 mm-rel hullik több csapadék a csapadékos napokon 2025-ben, mint 2001-ben. Részletesebben megnőtt a csapadékmentes időszakok hossza, csökkent a csapadékos napok száma; rövidebb lett a leghosszabb csapadékos időszak; nőtt az egyes csapadékmagasságokat meghaladó csapadékú napok száma; nőtt a legnagyobb napi csapadékösszeg és az öt nap alatt lehullott legnagyobb csapadékmennyiség; nőtt az a napi csapadéérték, amelynél a csapadékos napoknak csak 1%-án hullik több csapadék.

A nyári hónapokban a klimatikus vízmérleg (csapadék mínusz lehetséges párolgás) negatív, vízhiányt mutat a Pannon-medencében, míg a téli hónapokban pozitív, ami a vízvisszatartás tervezése szempontjából fontos adat. AVGT3 2021-es klímakockázati háttéranyaga szerint a kisvizek télen általában nőnek vagy bizonytalanok, nyáron viszont számos térségben csökkenés/bizonytalanság jelentkezik. Az idén tapasztalt aszály a vízvisszatartás kiaknázatlan lehetőségeinek kihasználását sürgeti.

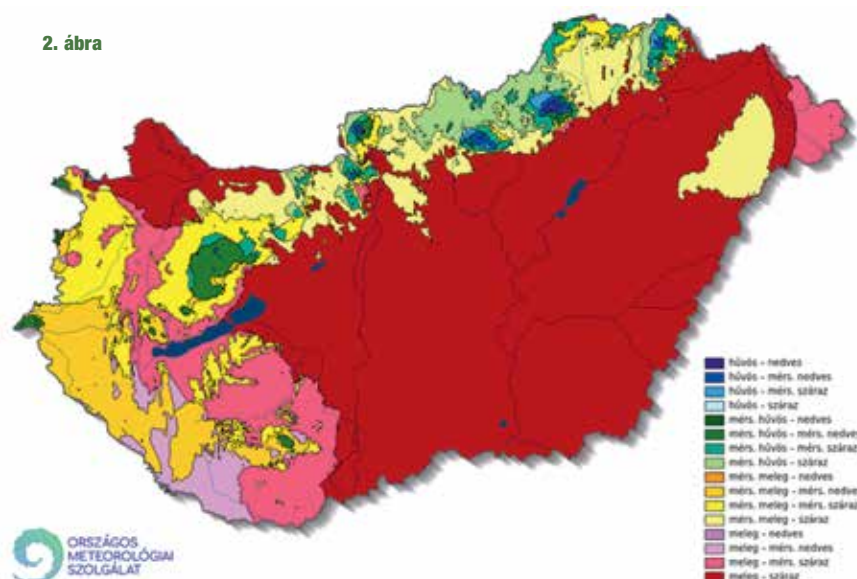
A klímaváltozás vízkivételt érintő hatásainak elemzése a KHV-ban

A KHV-rendelet 2017 óta megköveteli a vizsgált projektek éghajlatváltozással szembeni érzékenységelemzését, a hatásterület kitettségének értékelését, az éghajlati tényezők lehetséges hatásai-

1. ábra



2. ábra



nak elemzését és ezek kockázatértékelését – 314/2005. (XII. 25.) Korm.-rendelet. Egy vízgazdálkodási projekt, vagy vízhasználatához kötött project esetében vizsgálni kell, hogy például a kisvízhozam, aszály, hőmérséklet, szélsőséges csapadék, árvíz stb. jövőbeni változása (legalább az elmúlt harminc évre és a klímamodellekből származtatható jövőbeli, legalább harminc évre vonatkozó adatok alapján) hogyan hat magára a létesítményre és annak működésére. A hatóság a környezetvédelmi engedélyben éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást célzó intézkedéseket is előírhat, amennyiben azok a hatásvizsgálat eredményére tekintettel

nem járnak aránytalanul magas költséggel. Ezért felmerül a kérdés, hogy a Paks II KHV előtt ismert volt-e, hogy a dunai kisvizek csökkenhetnek. A válasz: igen, 1994-ben egy egész VITUKI-kötet foglalkozott célzottan a klímaváltozás hidrológiai következményeivel. A Paksnál is jelentkező kisvízhozam csökkenés és az ennél is jelentősebb hatású medermélyülés ismert előrejelzés volt, ami a hűtővízkivételek szempontjából együttes vizsgálatot igényelt. Az előrejelzések mellett 2003–2009 között minden évben előfordult –17 cm vagy annál alacsonyabb paksi vízállás és 2011. december 3-án új LKV (–58 cm = 84,80 mBf) alakult ki. 2018-ban

új LKV-rekord (-97 cm) alakultak ki. A Paks II KHT nem hagyta figyelmen kívül a klímaváltozás hatását a projektre. A dokumentáció külön éghajlati fejezetet és külön Duna-hidrológiai-hőterhelési modellezést tartalmaz. Egy BME-kutatás 2013-ban 2100-ig modellezte a klímaváltozás Duna-víz hőmérsékletre gyakorolt hatását, majd egy 2014-es szimulációs generátorral 2120-ig terjesztették ki az értékelést. A generátor Duna-vízhozamot és háttér-víz hőmérsékletet is előállított, és ezekből kritikus időszakokat határozott meg. Azt is ismert tényként tartalmazza a KHT, hogy a Felső-Duna-medencében várhatóan alacsonyabb nyári csapadék és ezzel összhangban várható alacsonyabb nyári vízhozam a magasabb hőmérséklettel kombinálva kisvízes időszakokban csökkenthetik a hőerőművek hűtővíz-kivételi lehetőségét. A KHT az 1965–2012 közötti paksi éves kisvízszintek trendjét vizsgálta, és a logaritmikus trendet optimista, a lineárist konzervatív becslésként definiálta. 2090-re ezek rendre kb. 0,3 m, illetve 1,8 m süllyedést jeleztek; a két módszer átlaga kb. 1,0 m. A VGT3 2021-es klímaközlési háttéranyaga szerint a kisvizek télen általában nőnek vagy bizonytalanok, nyáron viszont számos térségben csökkenés/bizonytalanság jelentkezik.

Rekonstruálva a KHT eredeti optimista, konzervatív és átlag prognózisának görbéit, ráhelyezve a 2016–2026 időszak mért eredményeit számszerűsíthető, hogy az új mérések összességében a konzervatív prognózishoz állnak közelebb, de annál is egyértelműen rosszabb értékek születtek.

A vízviSSzatartás módszereinek rangsorolása

A vízviSSzatartás módszerei, műszaki megoldásai sokfélék, így a helyi adottságokhoz, igényekhez igazíthatók. Közük nem lehet fontossági sorrendet felállítani, te az eddigi kutatási eredmények alátámasztják. Más módszerek alkalmazhatók a csapadék viSSzatartására a keletkezésének helyén és mások a már lefolyásra kerülő záporvíz lefolyási útvonalán, a vízfolyások medrében. Mindegyik szinten több megoldás közül válogathatunk az adottságokhoz igazodva. Az idén tapasztalt aszály és a tény, hogy a Duna vízgyűjtőjén hazánk fölött elhelyezkedő országokban is rendkívül ala-

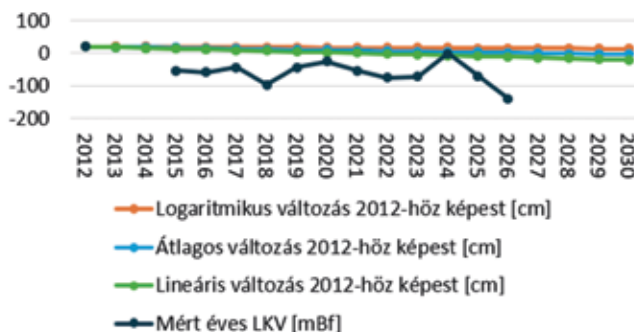
csony vízszinteket mértek a Dunában annak ellenére, hogy vízlépcsőrendszerekre fejlesztett mederbeli duzzasztást alkalmaznak (Németországban és Ausztriában összesen 32 duzzasztómű), arra hívja fel a figyelmet, hogy nem elég csupán a mederbeli vízviSSzatartás módszereire támaszkodni. Bár a keletkezés helyén történő vízviSSzatartás kisebb léptékű megoldás és a csupán kis csapadékok, valamint a nagyobb csapadékok első hullámának helybentartására alkalmas, jelentősége vitathatatlan, hiszen az itt lehullott csapadékkal csak mi gazdálkodunk, míg a fentebb fekvő országokkal közös vízgyűjtővel rendelkező vízfolyások medrében érkező vízhozam függ azok vízgazdálkodásától. Mindegyik szinten vannak kiaknázatlan lehetőségek, melyek mielőbbi kihasználása egyformán fontos és sürgős. A keletkezés helyén történő vízviSSzatartás módszerei a zöld infrastruktúra gyűjtőnéven ismert megoldások. Mindegyik zöld infrastruktúra megoldás a csapadékvíz helyben történő

közvetlen vagy közvetett – pl. beszívárogatás felszín alá – hasznosítását szolgálják.

A vízviSSzatartás mederben alkalmazható módszerei a duzzasztás különböző műszaki megoldásai, de minden esetben keresztműtárgyak. Ezek közül az alapján választunk, hogy a vízfolyás melyik szakaszán alkalmazzuk és milyen célokat szolgál. A duzzasztás a mederben egy vízlépcső mesterséges létrehozása, ami a keresztműtárgy fölötti és alatti vízszint különbségét jelenti.

A felső – nagy és közepes esésű, nagy vízjárású – szakaszon jellemzően völgyzárógátas tározók létesíthetők, melyek célja lehet a gát mögött tározott víz hasznosítása, energiatermelés, a gát alatti szakasz ökológiai vízigényének biztosítása és az árvízmentesítés. Hőolvasadás vagy komoly esőzések előtt a gát ürítésével mesterségesen lecsökkentik a vízszintet, hogy szabad tározókapacitást (pufferzónát) biztosítsanak az érkező árhullám viSSzatartására. Az ökológiai

3. ábra: előrejelzett és mért vízszintsüllyedés



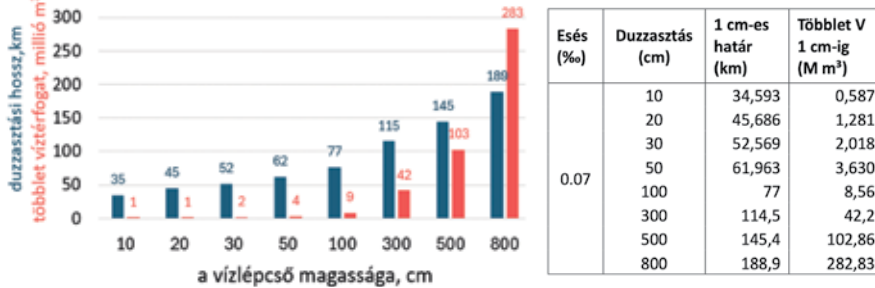
4. ábra

Hydrological Alterations - Impoundments - Expected Restoration Measures by 2027

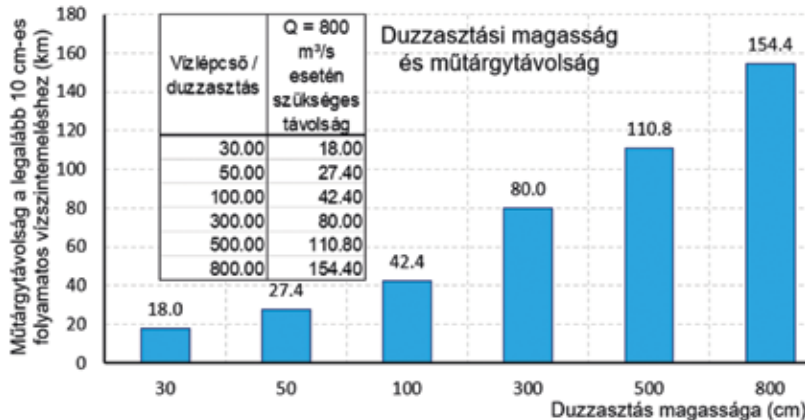
GHMMP Update 2021 - MAP 2



5. ábra: a duzzasztás hatása km-ben és m³-ben



6. ábra



vízigény azt a minimális vízmennyiséget jelenti, amelyet egy duzzasztómű vagy völgyzáró gát mögül kötelezően és folyamatosan át kell engedni az alvízi mederszakaszba a vízi élővilág túlélésének biztosítása érdekében. Ez a hozam vagy a folyón valaha mért legkisebb természetes vízhozam, vagy a sokéves átlagos vízhozam 10%-a. Ideális esetben a dinamikus ökológiai vízigény kielégítésére kell törekedni, ami a halak ívási időszakában nagyobb vízhozamot jelent, nyár végétől azonban elég a minimum, a sokéves átlagos vízhozam 10%-a. Az állandó magasságú völgyzáró gát és az ezzel létrehozott vízlépcső magassága 15÷300 m. Közepes esésű folyóink a Sajó, Bódva, Hernád, Rába, Zala felső szakasza, Kerka, Mura, a Sió Kapos alatti szakasza (<https://terkeptar.vizugy.hu/>).

A kis esésű szakaszokon fenékgátak, vagy duzzasztóművek létesítésével a vízfolyások természetes vízszintje mesterségesen megemelhető, aminek több célja lehet, legfőbbje a víz visszatartása, a talajvízszint megtámasztása, esetleg megemlése, a vízkivételek biztonságának fenntartása, a megemelt vízszintről oldalcsatornák, holtágak, vizes élőhelyek gravitációs táplálása, oldal-

csatornákon keresztül beszivárogatásra kijelölt helyek árasztása talajvízpótlás céljából, energiatermelés, a vízi út szükséges mélységének állandó biztosítása. A fenékgát állandó 1÷3 m magasságú építmény, megközelítheti a középvízszintet, vagy akár fölé is emelkedhet és 0,5÷2 m magas vízlépcsőt eredményez. Visszatartja a vizet, hogy a gát feletti szakaszon szárazság idején se süllyedjen egy kritikus szint alá a víz, növeli a vízmélységet és csökkenti a folyás sebességét a gát feletti szakaszon. Elsődleges célja a vízviszszatartás és a vízszint szabályozása. A folyami duzzasztóművek a mederbe épített küszöbhez rögzített mozgatható gátakkal ellátott létesítmények, amelyek a fenékgátnál nagyobb – 2÷20 m – vízlépcsőt tudnak létrehozni, ugyanakkor a vízszint szabályozását lehetővé teszik. A szabályozást lehetővé tevő korszerű mobil elemek lehetnek sík táblák, billenőtáblák, szegmenstáblák, felfújható gumigátak. A folyó meglévő medrében duzzasztják vissza a vizet nagy távolságra, a medertározás lehetőségét kihasználva. A Duna a Szigetközben, valamint a Felső-Tisza közepes esésű, ettől eltekintve a Duna és a Tisza hazai szakaszai kis esésű folyószakaszok.

A folyami duzzasztás kiaknázatlan lehetőségei

Magyarországon a Dunán nem működik olyan vízlépcső, amely lehetőséget biztosítana a nagyvízi időszakokban történő vízkészlet-felhalmozásra és az azt követő szabályozott vízpótlásra. Ennek következtében a hazai Duna-szakasz vízjárása közvetlenül követi a természetes vízhozam alakulását, amely a jelenleg tapasztalható, történelmi léptékű kisvízi vízállások kialakulásához vezet. A 4. ábrán látható a Duna vízgyűjtőjének tematikus térképe. A duzzasztott szakaszokat kéktől eltérő színnel – a zöld és sárga árnyalataival – mutatja. A kéktől eltérő színek azt jelzik, melyik évben valósulnak meg terv szerint azok a beavatkozások, melyek a duzzasztás negatív ökológiai hatásait csökkentik. Témánk szempontjából a kék szakaszokra szeretnénk rámutatni, ahol nincs duzzasztás (5. ábra).

A fokozatosan változó permanens vízmozgás modellszámításával végzett hidraulikai érzékenység-vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a duzzasztás mértékével nő a duzzasztott hossz és a többlet tározott víztérfogat is (5. ábra). Ahogy haladunk felfelé a Dunán, a duzzasztási magasság fokozatosan lecseng, és a vízmélység közelít a normál mélységhez (6. ábra). Nagyobb mederes és rövidebb duzzasztott szakaszt és kisebb tározott víztérfogatot eredményez. A számításból önmagában még nem következik, hogy az optimális megoldás sok, egymáshoz közel elhelyezett, kisebb keresztmű, vagy ennek ellenkezője, 2÷3 nagyobb esést koncentráló vízlépcső lenne. Ezeket a tervezési folyószakasz mentén jelentkező igényekhez és adottságokhoz igazítva kombinálni lehet, a duzzasztott szakaszok átfedésben lehetnek például, ha a cél talajvízszint megtámasztása, másol duzzasztás-mentes szakaszok maradhatnak, ahol a medereróziót fenékküszöbökkel célszerű megelőzni. 6. ábra

A duzzasztási görbéken (6. ábra) a piros vonal és a 0,07 ezrelék eséshez tartozó görbe metszéspontja jelöli ki a legnagyobb távolságot, a számított adatokat a táblázat tartalmazza (7. ábra, táblázat). A kérdéses Duna-szakaszon 0,07‰ természetes esés és kisvízhozam mellett például kb. 18 km-enként elhelyezett 30 cm magas művekkel, vagy kb. 42 km-enként elhelyezett 100 cm magas művekkel, vagy 154 km-enként elhelyezett 800 cm magas

művekkel stb. érhető el egy közel folyamatos, legalább 10 cm-es vízszintemelés a vizsgált vízhozam-tartományban. Ezek természetesen tetszőlegesen kombinálhatók az egyes szakaszokon jelentkező egyedi igényekhez igazítva.

A modellezett érzékenységvizsgálat eredményei alkalmasak a lehetséges beavatkozási változatok műszaki hatásainak és tendenciáinak feltárására, valamint az ésszerűen vizsgálandó duzzasztási tartomány előzetes lehatárolására, azonban önmagukban nem szolgáltatnak elegendő alapot egy ilyen nagy horderejű, hosszú távú következményekkel járó döntés meghozatalához.

Az előzetes változatképzés során alapvető hidraulikai és területi határfeltételként javasolt rögzíteni, hogy a tervezett üzemszerű duzzasztás a középvízi meder keretei között maradjon, ami itt nem került rögzítésre. Azok a változatok, amelyek e feltétel teljesülését már nem biztosítják, csak ettől elkülönített, hullámtéri hatásokra és árvízi levezetésre is kiterjedő vizsgálat keretében értékelhetők.

A döntés-előkészítés következő szakaszában ezért súlyozott, többkritériumos döntéselemzés (MCDA) elvégzése javasolt, a megvalósítás és üzemeltetés költségeinek és kockázatainak mérlegelése mellett egyéb szempontokat is javasolt számításba venni. A vízviszatartás szempontjából a talajvízkészletek visszapótlását elősegítő megoldások előtérbe helyezése javasolt, aminek a fontosságát a klímaváltozás miatt megnövekedett potenciális párolgás is megerősíti. Ez a beszívárogatás céljából történő vízkivétellel, vagy magasabb vízlépcsővel egyaránt biztosítható. Egy 5–8 méteres, tartós és hosszú felvízi hatású duzzasztás megfelelő földtani és hidraulikai kapcsolat esetén területileg kiterjedő talajvízszint-emelkedést és ezzel összhangban felszín alatti többlettárolást is eredményezhet, amennyiben ezt a valós adatokra épülő háromdimenziós hidrogeológiai modell alátámasztja. Kézenfekvő szempont lehet az energiatermeléssel kombinált megoldások számbavétele is, mert a vízenergiatermeléssel az energiaellátás biztonságát és a karbonhatékonyságot is növelhetjük.

Az egyes kritériumok súlyozásával meghatározható az a beavatkozási változat vagy mérettartomány, amely a kitűzött célok összessége szempontjából a legkedvezőbb kompromisszumot jelenti.

A duzzasztás hatásai és a negatív hatások ellensúlyozása

Talajvízszint-emelkedés a duzzasztott szakasz környezetében

A talajvíz utánpótlásában elsősorban a beszívárgó csapadék, egyes területeken pedig a folyók, patakok, tavak és csatornák játszanak szerepet. Mennyiségét csökkentheti a párolgás, a növényzet vízfelvétele, a felszíni vizek felé történő természetes szivárgás és az ember általi vízkivétel. A talajvíz és a felszíni vizek kapcsolata kétirányú lehet: a vízfolyás táplálhatja a talajvizet, máskor a talajvíz biztosítja a meder vízhozamának egy részét. Normál esetben a folyó megcsapolja a talajvizet, a felszín alatti víz a folyó felé áramlik. A medertározás a vízfolyás nyomvonala mentén hosszirányban történő duzzasztást jelent, ami a duzzasztott szakaszon egyben talajvízszint-emelkedést eredményez. Ha megemeljük a folyó vízszintjét duzzasztással, csökken a talajvíz elszívárgása folyó felé. Kellően magas folyóvízszint esetén az irány akár meg is fordulhat. Ezért a természetes megcsapolás csökkentése is talajvízszint-emelő hatású lehet. A VGT3 klímakockázat kezelését célzó önálló intézkedésként tartalmazza a duzzasztást a talajvízszint-süllyedés kompenzációjának eszközeként: „Folyók eltereléséből, bevágódásából származó alacsony folyó vízszint miatt bekövetkezett talajvízszint-süllyedés kompenzációja vízpótlással, mederbeli fenékgátas duzzasztással”. A véneki torkolati műtárgy, amely az ökológiai rehabilitációhoz szükséges vízszint tartásával és a környező talajvízszint megemelésével és megtámasztásával a beruházást követő években egyértelmű pozitív eredményeket mutatott.

Ökológiai átvihetőség

A Vízkeretirányelv (VKI) fő célja a felszíni vizek „jó ökológiai állapotának” elérése. A duzzasztást a VKI jelentős hidromorfológiai beavatkozásnak azonosítja, és alapvetően nem támogatja az új, indokolatlan duzzasztók építését, mert azok drasztikusan rontják az ökológiai mutatókat.

A keresztműtárgy és a hozzá tartozó vízszintkülönbség fizikai/hidraulikai akadály lehet, a halak nem tudnak felúszni az ívóhelyekre. Ha a műtárgy nem szüntethető meg, akkor hatásmérséklő intézkedést kell alkalmazni. A duzzasztás (a vízlépcső) külön hatás, mert megváltoztatja a vízmé-

séget, az áramlási és sebességviszonyokat. A sodráskedvelő fajok kiszorulnak, helyüket átveszik az állóvízi fajok, mert a szabadon áramló folyóvíz helyett a szakasz állóvíz jellegűvé válik. A VGT3 követelménye alapján az igények és hatások mérlegelését az üzemeltetés felülvizsgálata követi azzal a céllal, hogy a duzzasztás mértékét és módját a folyamatosan változó ökológiai állapotokhoz igazítsák. Üzemrendi előírás, hogy a duzzasztómű alatt mindig maradjon egy olyan minimális, dinamikusan változó vízhozam, ami fenntartja az alvízi ökoszisztémát. A VGT3 nem követeli meg, hogy minden keresztműtárgy minden vízállásnál átjárható legyen. Megfelelő vízsebesség és víztömeg az átjárást lehetővé teszi, ha a bukás alacsony. Az ennek megfelelő maximális átbukási magasságok a folyók alsó, lassabb szakaszán 10 cm, a felső, sebesebb szakaszán 30 cm. A VGT elfogadja, ha kisvíznél nem, de közép-/nagyvíznél átjárható a műtárgy, illetve, ha a duzzasztási időszakon kívül lehetséges a vándorlás. Jelentősnek tekinti a hatást, ha a befolyásolt szakaszok aránya meghaladja az 50%-ot, és a hidromorfológiailag befolyásolt szakasznak legalább 40%-a duzzasztott. Ilyen beruházás a véneki torkolati műtárgy, ahol nem csak a vízszintszabályozó szegmensgátak, de a hajószilip is működtethető halátjáróként is.

Hordalékcspada-hatás

A keresztműtárgy a hordalékmozgást akadályozza. A duzzasztott térben a víz sebessége lecsökken, a hordalék lerakódik. A felvíz feliszapolódik, a műtárgy alatt levonuló hordalékmentes víz pedig az alvízi medret erodálja, mélyíti, ezzel csökkenti a környező talajvízszintet. Nagyvizek idején alkalmazott iszapleeresztések, vagy a lerakódott kavics mechanikus áttelepítése az alvízi oldalra az üzemeltetés része kell legyen. Alvízi oldalon létesített fenékküszöbök alkalmazásával megakadályozható a meder eróziós mélyülése és a hordalék elmosódása, biztosítható a folyó fenékének stabilitása anélkül, hogy gátolná a hajózást vagy jelentősen megváltoztatná a vízsebességet. A fenékküszöb állandó magasságú (0,2–1 m) építmény, amely a legacsonyabb vízszint alatt van.

A több szempontú döntés-előkészítés során az egyes szempontok súlyozással történő figyelembevétele tükrözheti, melyik szempont elsődleges, és melyik kevésbé döntő.