

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 106. ÉVF. 1. SZÁM • 2026
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 106, ISSUE 1 • 2026



<https://doi.org/10.59258/HK>

A HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY ELŐFIZETÉSE

A <https://www.hidrologia.hu/hidrologiai-kozlony-megrendelo-lap/> címen található űrlap kitöltésével és visszaküldésével megrendelhető nyomtatott formában a Hidrológiai Társaság szaklapja, a Hidrológiai Közlöny.

Kiadványunk 2026. évi előfizetői díjai az alábbiak:

cégeknek 1-4. szám – 15 600 Ft / év

tagtársainknak 1-4. szám – 6 000 Ft / év

A megrendelés folyamatosnak minősül, azt lemondani előző év december 31-ig lehet.

Az árak az 5% Áfát, valamint a postaköltséget tartalmazzák.



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztő

Ács Éva

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor, Baross Károly, Bíró Tibor, Bódis Gábor, Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk, Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl Zsuzsanna, Keve Gábor, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Koris Kálmán, Kovács Sándor, Licskó István, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szilágyi Ferenc, Szlávik Lajos, Szűcs Péter, Tamás János, Ungvári Gábor

Kiadó

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Tel: +36-(1)-201-7655
Fax: +36-(1)-202-7244
E-mail: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Váradi József, a Magyar Hidrológiai Társaság társelnöke



Indexelik

OJS, REAL, ROAD, COMPASS,
MATARKA
HU ISSN 0018-1323,
ISSN 2939-8495 (Online)

Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó 3

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Lovas Attila, Ungvári Gábor, Vizi Dávid Béla, Kis András,
Harsányi Gábor: Víz-szakpolitikai innovációk és
továbbfejlesztési lehetőségeik a 2025-ös aszályvédekezés
tapasztalatai és az InnWater kutatási program eredményei
alapján 4

Iritz László, Laurinyecz Pál, Mészáros Nóra, Szalay Miklós†:
Kisvízi készletek becslése - módszertani áttekintés 18

Soha Tamás, Juhász Kristóf Péter, Hartmann Bálint: Szivattyús
energiatároló létesítmények területalkalmassági vizsgálata az
Észak-magyarországi régióban 32

Kálmán Attila, Bene Katalin: Fenntartható napelemes-szivattyús
vízenergia hasznosítás elterjedésének vizsgálata egy dombvidéki
település példáján a Velencei-tó vízgyűjtőjén 43

Márialigeti Károly, Tolnai Béla: A partiszűrűsű kutak vas és
mangán szennyezésének eredetéről 60

FÓRUM – Víz a tájban – Klíma adaptáció konfliktusokkal

Kiss Tímea, Balogh Péter: Vízszintemelés az Alföldön -
De hogyan? Szegedi kerekasztal-beszélgetés 76

ESEMÉNYEK

Borsányi Mátyás, Laky Dóra: Beszámoló a 19. Ivóvízbiztonsági
konferenciáról – 2025. október 15. 84

KÖNYVAJÁNLÓ

Józsa János: Bontsd ki tehetségedet, hogy gondozd mások
tehetségének kibontakozását 87

NEKROLÓG

Dániel József – Keve Gábor és Albert Gábor megemlékezése 88

Cimlapkép: Az élet röpke pillanata (Juhász Bernadett, a Dulovics Dezső Konferencia Fotópályázat díjnyertes fotója)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

Veronika MAJOR

Deputy Editor-in-Chief and Copy Editor

Károly KONECSNY

Assistant Editor

Éva ÁCS

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Károly BAROSS, Tibor BÍRÓ, Gábor BÓDIS, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKÉNE STEINDL, Gábor KEVE, Zoltán KLING, Károly KONECSNY, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, István LICSKÓ, Veronika MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, Ferenc SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, Péter SZÜCS, János TAMÁS, Gábor UNGVÁRI

Publisher

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655,
Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: József VÁRADI,
Co-President of the Hungarian Hydrological Society



Indexed in

OJS, REAL, ROAD, COMPASS,
MATARKA
HU ISSN 0018-1323
ISSN 2939-8495 (Online)

Contents

Veronika MAJOR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

Attila LOVAS, Gábor UNGVÁRI, Dávid Béla VIZI, András KIS,
Gábor HARSÁNYI: Water policy innovations and their further
development possibilities based on the experiences of the 2025
drought protection and the results of the InnWater research
program 4

László IRITZ, Pál LAURINYECH, Nóra MÉHÉSZ, Miklós
SZALAY†: Assessing low flow water resources 18

Tamás SOHA, Kristóf Péter JUHÁSZ, Bálint HARTMANN: Site
suitability assessment of pumped-hydro energy storage facilities
in the Northern Hungary region 32

Attila KÁLMÁN, Katalin BENE: Examining the spread of
sustainable solar-pumped hydropower utilization using the
example of a hilly settlement in the Lake Velence watershed
(Hungary) 43

Károly MÁRIALIGETI, Béla TOLNAI: The origin of
iron-manganese contamination in bankfiltration wells 60

FORUM – Water in the landscape – Climate adaptation with conflicts

Tímea KISS, Péter BALOGH.: Water level rise in the Hungarian
Great Plain - But how? Szeged roundtable discussion 76

EVENTS

Mátyás BORSÁNYI, Dóra LAKY: Report on the 19th Drinking
Water Safety Conference – October 15, 2025. 84

BOOKREVIEW

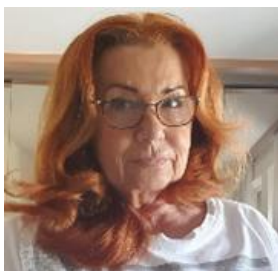
János JÓZSA: Develop your talent to take care the maturing of
others' talent 87

OBITUARY

József DÁNIEL: Commemoration of Gábor KEVE and Gábor
ALBERT 88

Cover photo: A fleeting moment of life (Bernadett JUHÁSZ, first prize-winning
photo of the Dulovics Dezső Conference Photo Contest)

Előszó



adunk közre!

Lovas Attila, Ungvári Gábor, Vizi Dávid Béla, Kis András és Harsányi Gábor: *Víz-szakkpolitikai innovációk és továbbfejlesztési lehetőségeik a 2025-ös aszályvédekezés tapasztalatai és az InnWater kutatási program eredményei alapján* című tanulmánya a 2025. évi nyári aszályvédekezés tapasztalataira építve mutatja be a kiterjesztett Tisza–Körös–völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) működését és az alkalmazott, menetrendezésre alapozott koordinált vízkészlet-gazdálkodás eredményeit.

Egyre nagyobb figyelmet kell szentelnünk a rendelkezésre álló kisvízi készleteink becslésére. Iritz László, Laurinyecz Pál, Méhész Nóra és Szalay Miklós†: *Kisvízi készletek becslése - módszertani áttekintés* című közleménye a mértékadó vízkészletek hazai és nemzetközi gyakorlatban alkalmazott megközelítéseket tekinti át.

Soha Tamás, Juhász Kristóf Péter és Hartmann Bálint: *Szivattyús energiatároló létesítmények területalkalmassági vizsgálata az Észak-magyarországi régióban* című tanulmánya egy észak-magyarországi területen vizsgálja azokat a helyszíneket, ahol kisléptékű szivattyús energiatároló (SZET) létesítményeket lehet kialakítani.

Kálmán Attila és Bene Katalin: *Fenntartható napelemes-szivattyús vízenergia hasznosítás elterjedésének vizsgálata egy dombvidéki település példáján a Velencei-tó vízgyűjtőjén* című munkája egy dombvidéki település példáján bemutatja be az alacsony szén-dioxid-kibocsátású, költséghatékony, fenntartható vízgazdálkodás és energiatárolás kombinálási lehetőségével elérhető hasznokat. Ez az integrált megközelítés és módszertan mintaként szolgálhat más dombvidéki települések számára, valamint szomszédos önkormányzatok együttműködéséhez is.

Márialigeti Károly és Tolnai Béla: *A partiszűrési kutak vas és mangán szennyezésének eredetéről* című tanulmánya a partiszűrési esetén vizsgálja a vas és mangán eredetét, keresve az elszennyeződés meggátolásának lehetőségét.

A Hidrológiai Közlöny „VÍZ A TÁJBAN – KLÍMA ADAPTÁCIÓ KONFLIKTUSOKKAL” című, a „Víz a Tájba Program”-nak dedikált FÓRUM rovatában Kiss Tímea és Balogh Péter: *Vízszintemelés az Alföldön - De hogyan? Szegedi kerekasztal-beszélgetés* című írását adjuk közre, melyben a független kutató és a tájgazdász értékeli az elhangzottakat.

Az ESEMÉNYEK rovatban mutatjuk be Borsányi Máttyás és Laky Dóra: *Beszámoló a 19. Ivóvízbiztonsági konferenciáról – 2025. október 15. című* írását, mely a konferencia előadásainak rövid bemutatását és ajánlásait is tartalmazza.

Az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) Vízügyi Tudományos Tanácsa által kezdeményezett „A jövőépítés a vízgazdálkodásban” című könyvsorozat legfrissebb kötete 2025 decemberében jelent meg Józsa János: *Bontsd ki tehetségedet, hogy gondozd mások tehetségének kibontakozását* címmel. KÖNYVISMERTETÉS rovatunk ezt a szellemesen, néha finom iróniával megírt, tipikusan „józsajános” könyvet mutatja be.

A NEKROLÓG rovatunkban tisztelettel búcsúzzunk Dániel József Tanár úrtól, a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum, majd Főiskola legendás matematika-fizika szakos tanárától.

Rövid híreinkben hívjuk fel a figyelmet a Magyar Hidrológiai Társaság XLIII. Országos Vándorgyűlésére, melyet Gödöllőn, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusán rendeznek meg 2026. július 1. és 3. között. Ugyancsak a rövid híreinkben számolunk be a *PLANET Budapest 2026 fenntarthatósági expó* vízgazdálkodási rendezvényeiről is, ahol a Hidrológiai Közlöny is bemutatkozhatott.

Köszönetemet fejezem ki a szerzőknek, a bírálókknak és a szerkesztőbizottságnak, hogy munkájukkal segítették a kötet megjelenését.

A Hidrológiai Közlöny a 2026-ban kiadásra kerülő harmadik angol kötete már kiadás alatt van. Azonban a 2027-es kötetünkhöz ismételten várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonlóan magas tudományos színvonalú angol nyelvű közleményeket! Az angol nyelvű kéziratokra vonatkozó közlési útmutató letölthető: <https://tinyurl.com/5c32k7br>.

Good luck!

Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Víz-szakpolitikai innovációk és továbbfejlesztési lehetőségeik a 2025-ös aszályvédekezés tapasztalatai és az InnWater kutatási program eredményei alapján

Lovas Attila¹, Ungvári Gábor², Vizi Dávid Béla¹, Kis András², Harsányi Gábor¹

¹ Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 5000 Szolnok, Boldog Sándor István Krt. 4.

² REKK Kft Vízgazdasági Csoportja, 1116 Budapest, Kubikos utca 18. (e-mail: gabor.ungvari@rekk.hu)

DOI: 10.59258/hk.22177



Kivonat

Magyarország vízgazdálkodása egyre súlyosbodó kihívásokkal szembesül a klímaváltozás következtében fokozódó aszályok és a regionális léptékű vízhiány miatt. A tanulmány a 2025. évi nyári aszályvédekezés tapasztalataira építve mutatja be a kiterjesztett Tisza–Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) működését és az alkalmazott, menetrendezésre alapozott koordinált vízkészlet-gazdálkodás eredményeit. Az elemzés rámutat, hogy 2025-ben a Tisza-völgy egészére kiterjedő, készletorientált irányítás képes volt a kommunális, mezőgazdasági, ipari és ökológiai vízigények együttes kielégítésére úgy, hogy a részvízgyűjtő felszíni vízfolyásait tekintve pozitív vízmérleg alakult ki. Az aszályvédelmi akcióterv és a „Víz a tájba!” program együttes alkalmazása növelte a rendelkezésre álló vízkészleteket, egyes térségekben a talajvízszintre is kedvező hatást gyakorolva. A menetrendezés igazságosan kezelte az alvízi–felvízi fekvésből fakadó konfliktusokat, egyenlő hozzáférést biztosítva valamennyi vízhasználó számára. A Közép-Tisza-Vidéki Vízügyi Igazgatóság területére elvégzett ex post költség-haszon elemzés igazolja, hogy a 2025-ben hozott vízgazdálkodási döntések gazdaságilag racionálisak voltak és mérhető módon szolgálták a közjót. A tanulmány következtetése szerint a 2025. évi gyakorlat kijelölte a jövő fenntartható, rendszerszintű vízkészlet-gazdálkodásának irányát, amelynek érdekében javaslatokat is megfogalmaz.

Kulcsszavak

Vízkészletek, szakpolitika, aszályvédekezés, vízhiány, vízmérleg.

Water policy innovations and their further development possibilities based on the experiences of the 2025 drought protection and the results of the InnWater research program

Abstract

Hungary's water management is facing increasing challenges due to the increasing droughts and regional water shortages due to climate change. The study, based on the experience of the 2025 summer drought management activities presents the operation of the extended Tisza–Körös Valley Cooperative Water Management System (TIKEVIR) and the results of the applied, time-scheduling based coordinated water resource management. The analysis shows that in 2025, the resource-oriented management covering the entire Tisza Valley was able to satisfy the communal, agricultural, industrial and ecological water needs together, so that a positive surface water balance was established at the sub-catchment level. The joint application of the drought protection action plan and the “Water into the Landscape!” program increased the available water resources, also having a positive impact on the groundwater level in some regions. The scheduling fairly addressed conflicts arising from downstream-upstream location, ensuring equal access for all water users. The ex-post cost-benefit analysis conducted for the area of the Middle Tisza Water Directorate confirms that the water management decisions made in 2025 were economically rational and served the public good in a measurable way. The study concludes that the practice in 2025 set the direction for future sustainable, systemic water resource management and proposes water policy instruments to apply.

Kulcsszavak

Water resources, water policy, drought prevention, water deficit, water balance.

BEVEZETŐ

Magyarország fokozatosan szembesül az Európa mérsékelt éghőbe tartozó területein tapasztalható kiszáradás, vízvesztés folyamatának hatásaival. Erre a kihívásra jelenleg még nincs koherens, átfogó és a gyakorlatban is jól teljesítő szakpolitikai válasz. Az alkalmazkodás a különböző ágazati feladatellátási kötelezettségek gyakorlati kihívásainak megoldása érdekében történő változtatások mentén zajlik, ez a vízügyi területen a vízkészlet-gazdálkodás olyan elemeire is kiterjed, amelyekre korábban, a vízháztartási helyzetből adódóan nem kellett hasonló mértékű figyelmet fordítani, így szervezési megoldások, a gyakorlatban tesztelt protokollok elvétele léteztek itthon a kezelésükre. Szabályozatlanul

hagyva őket azonban az egyébként rendelkezésre álló lehetőségeinket sem tudjuk majd kihasználni.

A kiterjesztett, teljes Tisza–Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszerben (TIKEVIR) a 2025. évi aszályvédekezés során megvalósított szervezési megoldás, az úgynevezett „menetrendezés” mellett, hogy ellátta a feladatát és hozzájárult, hogy a kritikus feltételek ellenére megfelelő mennyiségű víz legyen az igények szerinti helyen és időben; a vízkészlet-gazdálkodási információk értékelésének új lehetőségeit is megteremtette. Egyúttal gyakorlatban bizonyított példát nyújt az alvízi–felvízi fekvés igazságos kezelésére is.

A területi vízgazdálkodási rendszer vízszolgáltatása során különbséget kell tenni aközött, hogy i) a korábbi gyakorlathoz képest kedvezőtlenebb feltételek között új megoldások segítségével a vízszállítás és szétosztás hatékonyságának javításával lehet-e biztosítani a vízkészlet jogosultságok kielégítését vagy ii) a jogosult mennyiségeket kell-e korlátozni. A 2025-ös év e különbség tekintetében egy átmeneti, különleges időszak volt, mikor elegendő volt a szétosztás hatékonyság javítása, de karnyújtásnyira voltak ennek a módszernek a gyakorlati határai is, ami után már nem lehetett volna elkerülni az egyéni jogosult mennyiségek korlátozását.

Ezek a tapasztalatok lehetőséget nyújtanak arra, hogy a vízkészlet-gazdálkodás alapproblémáinak elméleti alapjait egy megélt, hazai gyakorlati példákra építve lehessen bemutatni. Ez a fogalomtisztázás nem önmagában érdekes, hanem alapjául szolgál egy adekvát helyzetértékelés elkészítésének és készletgazdálkodási javaslatok megfogalmazásának, amelyek - ha elfogadásra kerülnek – megteremtik a jelenlegi vízkészlet-gazdálkodási kereteken túl a „Víz a tájba” típusú vízpótlási igények rendszerszintű, maximális hatékonyságú megvalósítását is.

Mind maga a (sokszor aszályvédekezésnek hívott) vízhiány kárelhárítási folyamat, mind annak utólagos (ex post) értékelése számos innovációt tár fel, vagy mutat rá innovatív megoldások alkalmazási lehetőségére. Ez, vagyis a meglévő infrastruktúra és vízkészletek jobb kihasználását lehetővé tevő szervezési megoldások megvalósításának az elősegítése a témája az InnWater (A társadalmi innovációra építő, többszintű és ágazatközi vízgazdálkodási kormányzás megújítását célzó) Horizon Europe kutatási programnak (URL2), amely lehetővé tette az ex post értékelések elvégzését.

MÓDSZERTAN

A bemutatásra kerülő információk egyrészt a 2025-ös aszály, vízhiány elleni védekezés kárelhárítási folyamatából származnak, a vízháztartási helyzet alakulását és a vízkészlet elosztási döntéseket mutatják be, amelyek a kiterjesztett TIKEVIR rendszer működtetése során születtek. A döntéselőkészítési tevékenységet (számítások és koordináció) az Országos Vízügyi Irányító Törzs (OVIT) kijelölése alapján a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (továbbiakban KÖTIVIZIG) keretében felállított központi ügyelet végezte a teljes Tisza-völgyre. Másrészt értékeljük a védekezési folyamatot egy költség-haszon szemléletű ex post elemzéssel, ami a vízrendszer vízhiány elleni védekezésre alkalmassá tételére és működtetésére fordított többlet költségeket veti össze a hasznokkal. Ez utóbbiak jelen esetben azok a káresemények, amelyek a beavatkozás hatására elkerülhetőek voltak (pl. alacsonyabb szintű termés kiesés formájában).

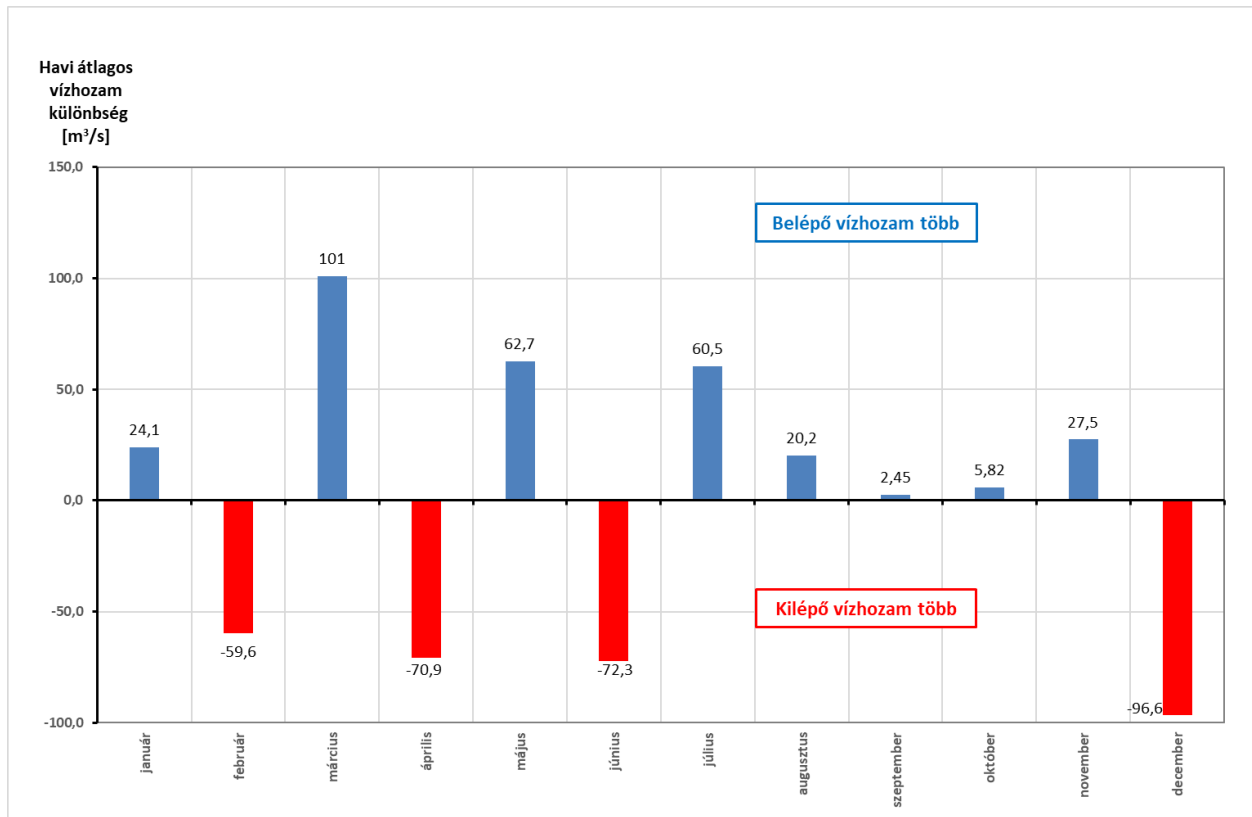
EREDMÉNYEK

Áttekintő

Az aszályvédekezési folyamat ismerete nélkül nem lehetne bemutatni az alkalmazott újítás jellegzetességeit, sem a menetrendezés folyamatának jelentőségét, vagy a feltárt információkat. Ezért először a vízhiány elleni védekezési folyamatot írjuk le, a folyamat megvalósítását lehetővé tevő innovatív/szervezési megoldásokkal együtt. Ezután kerül sor a védekezési megoldások segítségével elkerült károk nagyságának becslését bemutató fejezetre. Ez utóbbi a lehetőségekből adódóan nem a teljes rendszerre, hanem csak a KÖTIVIZIG területére eső rész-rendszerre tud fókuszálni, azonban a teoretikus következtetések levonására így is megfelelő.

A 2025 nyarán alkalmazott kiterjesztett TIKEVIR szintű vízkészlet elosztási rendszer, a menetrendezés, a 2022-ben a Zagyván - majd a TIKEVIR közvetlen hatásterületén, de központi koordináció nélkül - alkalmazott eljárás szervezési megoldásaira épült. A menetrendezés funkciója az, hogy az egyes öntözőrendszerekben felmerült vízigények kiszolgálásának egyidejűségét csökkenteni lehessen, ezáltal az egyidejűleg igénybe vett víz-mennyiség alacsonyabb lesz. Ehhez az érintett felhasználókkal folyamatos kapcsolattartás szükséges, meghatározva azt, hogy egy adott nap mely időszakában melyik felhasználó vételezhet vizet. Ezzel elkerülhető az egyedi felhasználó szempontjából a szolgáltatott vízszugár csökkentése. Ehhez szükséges a vízfelhasználás időszakának pontos, menetrendezett meghatározása, figyelembe véve minden, az adott öntözőrendszerben bejelentkezett felhasználó vízigényét.

A korábbi gyakorlattól történő fő eltérés az volt, hogy 2025-ben a koordináció a kiterjesztett TIKEVIR keretében a teljes magyarországi Tisza-völgyre kiterjedt, ami Magyarország felét: 47 000 km²-t tesz ki. Ennek az volt az elvi alapja, hogy a menetrendezés csak akkor lehet sikeres, ha abban mindenki részt vesz és azt mindenki fegyelmezetten betartja. Ez a megoldás a gyakorlatban biztosította az alvízi és felvízi helyzetben fekvő vízhasználatok közötti igazságos készlet allokációt. Ezen kívül a koordináció nem csak a gazdasági (mezőgazdasági, ipari és kommunális) vízhasználatokra terjedt ki, hanem az ökológiai vízigényeket és a tájba kivezetendő vízigényeket is figyelembe vette. A bemutatott folyamatok átfogó mérőszámaként alkalmazni lehet a Tisza magyarországi vízgyűjtő területére belépő és onnan kilépő felszíni vizek havi átlagos vízhozamának különbségét. 2025-re ezt jeleníti meg az 1. ábra, érzékeltetve, hogy a Tisza-völgy felszíni vízmérlege pozitív volt, azaz kevesebb víz folyt ki az országból, mint ami befolyt, ami egyúttal azt is jelenti, hogy a Tisza részvízgyűjtőjén keletkezett víz (2,5 km³) az országhatáron belül maradt, tározódott, vagy beszívárgott.



1. ábra. A Tisza magyarországi vízgyűjtő területére belépő és onnan kilépő felszíni vizek havi átlagos vízhozamának különbsége 2025-ben (KÖTIVIZIG 2025)

Figure 1. Difference in average monthly surface water discharge entering and leaving the Tisza river basin in Hungary in 2025 (KÖTIVIZIG 2025)

A védekezési folyamat leírása

A hidrológiai folyamatok

A menetredezés életbeléptetésére 2025. július 1-én került sor, mivel a vízkészletek kielégítése szempontjából mértékadónak tekintett tokaji állomáson a napi középvízhozam értékek 3 napos mozgóátlaga június végére 185 m³/s alá csökkent, és a szeptember 15-ig tartó védekezés alatt 61 napig nem is haladta meg. A mértékadó vízhozam értéket az év tavaszán elfogadott TIKEVIR vízkorlátozási terv állapította meg. A felkészülés időben történt.

A regionális rendszer részeként a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok saját hatáskörben vízrendszerenként kezdték meg a menetredezést. A TIKEVIR hatásterületén a vízügyi kezelésben lévő tározókban, csatorna-medrekben a maximális vízszintek tartását a vízügyi igazgatóságok saját hatáskörben már korábban elrendelték a „Vizet a tájba!” program keretében.

A Vízkorlátozási Intézkedési Terv szerinti vízkészlet megosztás első napjaiban (2025. július 1-8.) a Tisza magyarországi szakaszán a 2022. évi vízhiány legrosszabb időszakához hasonló vízhozamok voltak. A tiszabecsi határszélvénynél július elején 42,9 m³/s-ig csökkent a vízhozam, ami csupán 15 m³/s-mal volt magasabb a 2022. nyarán regisztrált legalacsonyabb értéknél. A védekezés teljes időszakában az országba a Tiszán Tiszabecsnél belépő legalacsonyabb vízhozamot szeptember 8-án regisztrálták, 33,7 m³/s vízhozammal. A védekezés ideje alatt kettő alkalommal is 60 m³/s alá csökkent a Tiszalöki Vízlépcsőn átvett vízhozam (augusztus 18-20. között 51 m³/s,

szeptember 9-10-én 57 m³/s), ami Kiskörénél a minimum továbbítandó vízhozam.

A készletek hatékonyabb elosztása mellett fontos megemlíteni, hogy a hidrometeorológiai helyzet is jobb volt 2025 nyarán. A rendkívül száraz nyár elejét követően - amikor a vízállások a teljes duzzasztásmentes szakaszon LKV közeli, vagy az alatti értékre csökkentek - több esetben is volt csapadék a felső vízgyűjtőterületeken. Ezek egyik esetben sem eredményeztek jelentős, vagy tartós vízszintemelkedést, de arra elegendőnek bizonyultak, hogy a tározott vízkészleteket ismét a maximálisához közeli tartományba lehetett emelni mind a Tisza-tó, mind a csatornák vonatkozásában. Ennek következtében a 2025-ös évben a 2022-es évben tapasztaltakhoz képest kiegyenlítettebb vízpótlást sikerült megvalósítani, ami régióként különböző módon jelentkezett:

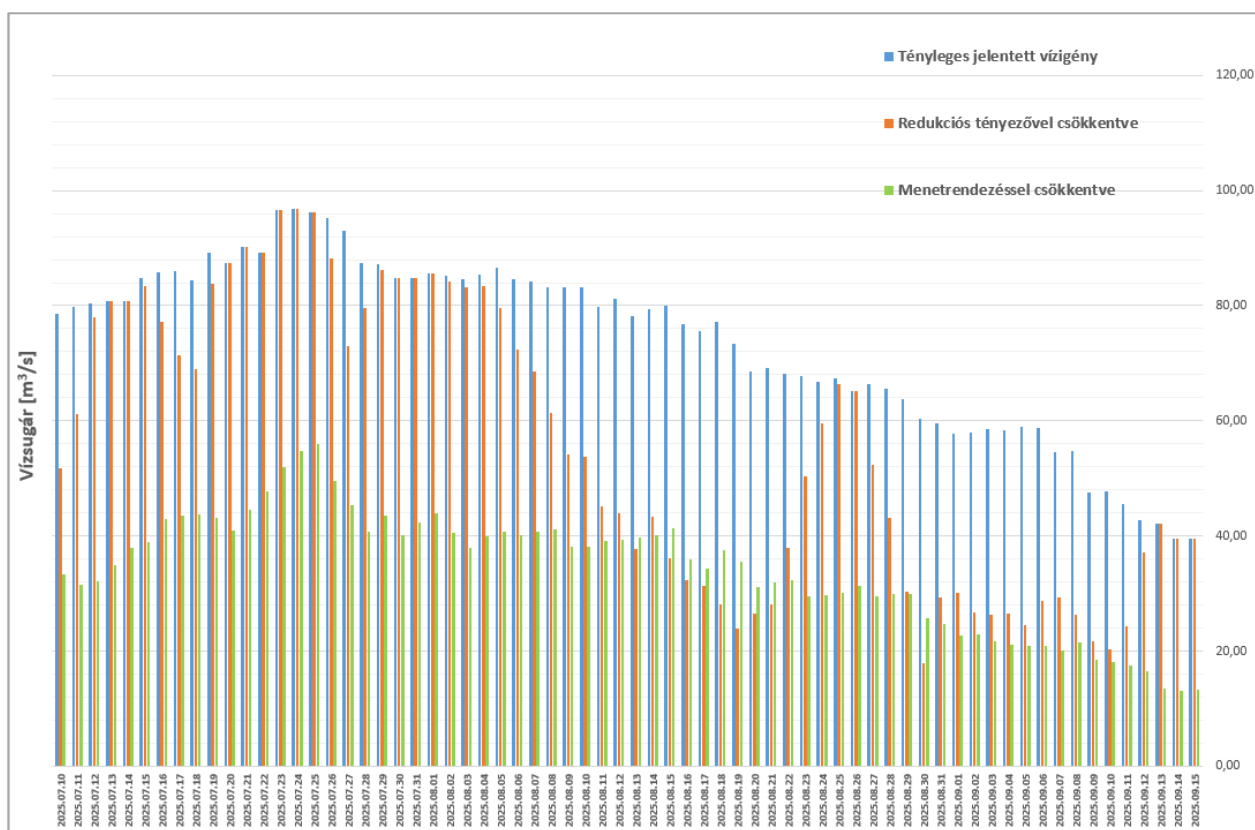
A Kisköre alatti duzzasztásmentes folyószakaszon – köszönhetően a szolnoki felszíni vízkivételi mű részleges felújításának – a korábbi 65 m³/s-os minimum értéknél alacsonyabb, 58-61 m³/s minimális vízhozam tartása elegendő volt Kiskörén. Ez egyenértékű egy 15,5 millió m³-es tározó létesítésével! Ezzel egyúttal minimálisan több vizet lehetett a vízpótló rendszerek irányába kormányozni. Az alacsonyabb alvízszintű zsinórüzem új LKV-t eredményezett Kisköre-alsón (-342 cm), Tiszaroffon (-383 cm) és Szolnokon (-301 cm). A szolnoki vízkivételi mű üzembiztonsága érdekében a provizórium az ideai vízhiány védekezés során is kiépült.

A Körös-völgy vízpótlása a Nagykovácsai-főcsatornán keresztül 2025-ben több időszakban is magasabb tudott lenni az előírt $16 \text{ m}^3/\text{s}$ -nál. Július 12. és 18., valamint július 21. és augusztus 08. között $20\text{--}24 \text{ m}^3/\text{s}$ közötti vízátvétel volt a keleti és nyugati ágon. Az előírthoz képest alacsonyabb átvételt augusztus 18. és 26. között kellett csak fenntartani, ekkor először 12 , majd $10 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra csökkent az átvétel a keleti ágon. A menetrendezés időszakában (július 1.-szeptember 15.) összesen 65 millió m^3 -rel több víz került átvételre a Körös-völgybe 2022. ugyanezen időszakához képest. A Keleti-főcsatornán keresztül a Körösök vízpótlását a nyár folyamán végig a műszaki feltételek által lehetséges legnagyobb értéken tartotta a TIVIZIG. Fontos azonban megjegyezni, hogy a Bakonszegi vízleadó műtárgyon átvett vízmennyiséget célszerű lenne növelni.

Az összehangolt intézkedések eredményeképp 2025-ben a Tisza tározási kapacitásának jóval kisebb mértékű igénybevételére volt szükség, mint 2022 során. A Tisza-

tóban megközelítőleg 15 millió m^3 többlet vízkészlet visszatartására volt lehetőség az alacsonyabb alvízszint tartással, valamint a 735 ± 5 cm-es emelt nyári vízszint az üzemrend alapvető részévé vált. Ennek is köszönhetően a 2022-es 85 cm-es vízszintcsökkenéssel szemben (megközelítőleg 107 millió m^3 tározott készletcsökkenés), 2025-ben augusztus közepén 18 cm volt a legnagyobb felvízszint csökkenés, ekkor 722 cm-ig apadt a tározó vízszintje. Ez az érték azonban még mindig a normál nyári üzemvízszint (725 ± 5 cm) tartományában volt. Mindez segített a tó vízszintjének csökkenésével előálló, jellemzően rekreációs / turisztikai kiesések (költségek) elkerülésében (lásd: Idegenforgalmi hatások fejezet).

Az 2. ábrán a menetrendezés során megvalósított víz-igény tervezés, elosztás szabályozási tevékenység és a megvalósult vízhasználatok mennyiségei követhetők nyomon az aszályvédekezés 2025. július 7-e és szeptember 15-e között tartó időszakában.



2. ábra. Jelentett vízigény és a redukciós tényezővel csökkentett lehetséges vízúgár értéke összevetve a menetrendezéssel leadott vízmennyiséggel a kiterjesztett TIKEVIR szolgáltatási területén

Figure 2. Reported water demand and the potential water jet reduced by the reduction factor compared to the water volume delivered by scheduling in the extended TIKEVIR service area

A kék oszlopok a vízgazdálkodási engedélykésztés alapján bejelentett előzetes napi vízigények nagyságát mutatják. A piros oszlopok a hidrometeorológiai helyzetre, a beérkező vízmennyiségre támaszkodva elosztható vízmennyiséget jelölik, ez az a korlát, amit a napi gyakoriságú döntésben meghatározott redukciós tényező alakulása tükröz. A zöld oszlopok a vízhasználók által ténylegesen igénybevett vízkészlet mennyiséget mutatják. Azokban az időszakokban került felhasználásra a Tisza-tó tározott vízkészletéből, amikor a zöld oszlopok napi értékei magasabbak a piros oszlopok napi értékénél.

A védekezési folyamat szervezési újításai, koherencia javítási intézkedések

A TIKEVIR területén a menetrendezés alkalmazására először 2022 nyarán került sor a Zagyva vízkészletére települt közvetlen mezőgazdasági vízhasználatok körében. Itt az a különleges helyzet létezett, hogy a vízhasználók, mivel a folyó vízkészletét közvetlenül használhatják vízgazdálkodási engedély alapján ún. mezőgazdasági vízszolgáltató mű igénybevétele nélkül, emiatt nincsenek semmilyen előzetes bejelentésre, adatszolgáltatásra, együttműködésre kötelezve. (Az öntöző csatornákon keresztül vételező

vízhasználók esetében jogszabályi kötelezettség a szerződéskötés, ami a szolgáltatás igénybevételének a feltétele.) A Zagyva esetében a vízhasználók és az igazgatóság, mint vízszolgáltató között egy együttműködési megállapodás került aláírásra, aminek alapja az egyes vízhasználók vízjogi engedélye volt. A vízhasználókkal egyenként kötött megállapodásban a felek rögzítették a vízigénylés és a vízhez juttatás, illetve vízvételzés megvalósításának protokollját. A vízhasználók elfogadták, hogy az engedélyükben szereplő vízmennyiségeket az igazgatóság abban az esetben tudja kielégíteni, ha követik a megállapodásban rögzített protokollt, amelynek része a mennyiségek korlátozásának lehetősége is (ami egyébként a szolgáltatást nyújtó vízkészlet-gazdálkodó jogszabályban rögzített lehetősége (1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról). Ezzel lényegében egy együttműködési platform jött létre, amely a kommunikációt és a pontosan ütemezett (menetrendezett) vízszétosztás tervezését, megvalósítását és ellenőrzését teszi lehetővé. A menetrendezés rendszerén keresztül volt biztosítható az, hogy minden vízhasználó azonos feltételekkel jusson hozzá a számára allokkált vízkészlethez, függetlenül attól, hogy fizikailag a vízrendszer mely pontján van a vízkivétel. Ez, tehát a vízrendszerben alvízi helyzetben lévők készlet-hozzáféréseinek gyakorlati garantálása alapvető rendszer irányítói / állami feladat (a vízrendszer működtetésén keresztül megvalósítandó egyik közérdek). A Zagyva példáján 2022 nyarán a menetrendezés alkalmazásra került a közvetlen TIKEVIR területén is, amit az érintett négy igazgatóság külön szervezett.

A 2025-ös aszályvédekezési időszakban a vázolt menetrendezési keret a teljes magyarországi Tisza-völgyre kiterjesztett TIKEVIR egészére alkalmazásra került. Ez egy jelentős léptékváltás, mind a technikai megvalósítás, mind az alapvető állami feladat, az egyenlő feltételek melletti hozzáférés elvének érvényesítése szempontjából. Az egységes vízszétosztási eljárásrend, a TIKEVIR Vízkorlátozási Intézkedési Terv főbb rendszer-fejlesztési elemei a következők voltak:

(1) Egycsatornás kommunikáció elrendelése (kérés, utasítás távmondásban, kommunikáció megadott ügyeleti központi telefonszámon, védekezési e-mailek keresztül, TIKEVIR összekötők kijelölése).

(2) Szükség volt a TIKEVIR területén szolgáltatott vízmennyiségek egységes figyelembevételére és folyamatos készletértékelésre.

(3) A menetrendezést minden esetben a területileg illetékes vízügyi igazgatóság végezte a KÖTIVIZIG koordinálása mellett, az OVIT felügyeletével.

(4) Bővíteni kellett a vízkészlet-megosztás számításához szükséges vízigény bejelentő tábla és számolótábla struktúrákat az eredeti TIKEVIR Vízkorlátozási Intézkedési Terven felüli tényezőkkel, mint az Aszályvédelmi Akció Terv (AVAT) és a „Vizet a tájba” program vízigénye.

(5) A (rendkívüli) vízigények engedélyezésével kapcsolatban egységes elvek meghatározása: a régiók azonos mértékben részesedjenek és biztosítva legyen az egyenlő esélyű hozzáférés a teljes vízrendszer tekintetében.

(6) Az OVIT által összehangolt vízhozammérési terv kidolgozására és megvalósítására került sor a vízszétosztási

tevékenységek hatékony követése céljából. A TIKEVIR vízmérlegével kapcsolatban nem csak folyamatos tiszai vízhozam-mérésekre volt szükség, hanem a mellékfolyók és a főbb vízátervezetések, főcsatornák vízhozamainak folyamatos mérése is. Ez szolgált a folyamatos vízkészlet-számítás alapjául.

Az Országos Vízügyi Irányító Törzs 2025. június 30-án a 015078-OVF távmondatában rendelte el a kiterjesztett TIKEVIR Vízkorlátozási Intézkedési Terv szerinti vízkészlet-megosztást, melynek már részei voltak a fentebb felsorolt elemek.

A területileg illetékes vízügyi igazgatóságok a menetrendezés bevezetéséről és módjáról írásban értesítették a vízfelhasználókat, akik ezt követően jelentették a vízügyi igazgatóságok számára a tényleges vízigényeiket. Ez, a gazdálkodóktól érkező rendszeres igénybejelentés lényegi elemét adta a Tisza-völgy szintű, összehangolt vízszolgáltatás végrehajtásának, valamint a jelen közleményben tárgyalt vízkészlet-gazdálkodási értelmezésének.

A Vízkorlátozási Intézkedési Tervbe beépült elemek egyrészt szervezés-technikai innovációt tartalmaztak, azaz meglévő intézkedési elemek egységes rendszerbe illesztését és nagyobb mennyiségű információ befogadására való alkalmassá tételét jelentették, mint az (1), (2), (3), (4), (6) esetében. A megvalósított víz-szétosztás alapvető rendező elve volt (5), hogy a vízkészlet szétosztása a régiók között is, majd azokon belül a vízkészlet hasznosítók számára a vízrendszeren belüli fizikai elhelyezkedésüktől függetlenül azonos feltételekkel biztosítsa a rendelkezésre álló készletekhez való hozzáférést. Ez a rendszeren belüli készlet-hozzáférés garantálása a közérdek érvényre juttatása.

Az aszály védelmi akció terv segítségével elkerült károk

A 2025. év nyarán több kezdeményezésre is sor került, amelyek az aszályhelyzetre reagáltak. Az itt bemutatott számítások a menetrendezésnek tulajdonítható hatások, mint hasznok és a vízszolgáltatási infrastruktúra vízállítási képességének javítását célzó állami többlet források, mint költségek hatását vizsgálják. A Közép-Tisza Vízügyi Igazgatóság számára erre a célra, az Aszályvédelmi Akció Tervből mintegy egy milliárd Ft állt rendelkezésre. A vizsgálat nem a TIKEVIR egész rendszerére, hanem annak az igazgatóság kezelésébe tartozó területére irányult. A szűkebb fókusz oka, hogy erre a területre álltak megfelelő struktúrában rendelkezésre (az InnWater - Horizon kutatási program munkájának keretében) a szükséges mezőgazdasági termelési és vízfelhasználási adatok. A vizsgálat nem az aszály általános hatásaival foglalkozik, hanem arra koncentrált, hogy milyen hatással járt a magasabb vízelosztási hatékonyság és tartalékmegőrzés a vízkészlethasználatra jogosult öntöző, rizs és halastavi vízhasználók körében, valamint az elkerült szélsőségesen alacsony vízszint a Tisza-tó, elsősorban idegenforgalmi, rekreációs tevékenységei számára. További pozitív hatások – például a Tisza-tó és a holtágak természeti értékeinek védelme – szintén javítják a társadalmi hasznosságot, azonban ezek becslésére jelen elemzésben nem volt lehetőség. A számításokhoz a KSH területi statisztikai adatait és szakirodalmi forrásokat használtunk (URL), valamint

augusztus végén interjúkat készítettünk gazdálkodókkal és a Tisza-tavi turizmusban érdekelt vállalkozások vezetőivel (REKK 2025).

Mezőgazdasági hasznok (elkerült többlet károk)

Az aszályvédelmi akcióterv keretében, a vizsgált terület rendszerei számára biztosított források lehetővé tették, hogy a vízrendszer mentén a vízigények kielégítésének ne lehessen szűk keresztmetszete a forráshiány miatt idejében el nem végzett fenntartási tevékenység. Ezeket a beavatkozásokat egészítette ki a menetrendezés, mint szervezési beavatkozás, ami a vízhasználók (gazdálkodók, halastavak üzemeltetői) számára két szempontból eredményezett megtakarításokat:

- **Hatékonyabb vízfelhasználás:** Mivel a vízkivételek a vízügyi szakemberek által kidolgozott és naponta frissített, vízhasználónként lebontott menetrend alapján, ütemezetten történnek, így a szűkös készletek jobban hasznosulnak, kevesebb víz folyik kihasználatlanul végig a csatornarendszeren. Ennek köszönhetően összességében több víz jut el a földekre és a halastavakba. Ez azt jelenti, hogy ha a rendelkezésre álló készletek nem lennének elegendőek, akkor kisebb arányú korlátozást kell elszenvetniük ahhoz a képest, ha ugyanebben a helyzetben nem történt volna hozzáférés-menetrendezés.
- **Kiszámítható vízszolgáltatás:** Egyes öntözőfürtökben és csatornaszakaszokon, de akár regionálisan a „felvízen” elhelyezkedő gazdálkodók (idő)korlátozás nélküli vízkivétele jelentősen csökkentené a lejjebb fekvő területek vízellátását, ami termés kieséshez vezetne. Előfordulhat az is, hogy a gazdák ugyan végül hozzájutnak a

lekötött vízmennyiségükhöz, de csak túl későn, vagy állandó készenlétben kell várniuk a kiszámíthatatlan vízhozamra, ami szintén többletköltséget okoz, egyes magas értékű kultúrák esetén pedig ez a termés jelentős károsodását eredményezi. A menetrendezés mindezeket, a kiszámíthatatlanságból adódó veszteségeket előzi meg, ezzel hozzájárul a stabilabb és magasabb értékű termeléshez.

A hasznok számszerűsítéséhez először az öntözött területek által megtermelt gazdasági értéket becsültük. Interjúk, szakirodalmi források (AKI 2020-2023, AKI 2025) és a KÖTIVIZIG működési területére kultúrátípus szerinti bontásban rendelkezésre álló, 2018-as, az öntözött földek adataira vonatkozó keresztmetszeti felmérés alapján összeállítottuk, hogy öntözés mellett az egyes növényfajoktól milyen termésátlag várható, majd az aktuális (elsősorban 2025. évi, ennek hiányában 2023–2024. évi) piaci árakkal számolva meghatároztuk a megtermelhető értéket.

2025-re rendelkezésünkre állt a KÖTIVIZIG területén vízzel ténylegesen ellátott területek nagysága hármastásban: öntözött mezőgazdasági terület, rizsföld, halastó. Részletes, öntözőfürtönkénti termelési adatok azonban csak 2018-ból érhetők el, ezért ezeket vettük alapul a 2025. évi termelési érték becsléséhez. Az így számított eredményeket a 2. táblázat mutatja be. Az öntözéssel és vízszolgáltatással ellátott területek teljes jelenlegi termelési értéke 28 milliárd forintba becsülhető. A tényleges érték ettől némileg eltérhet, azonban becslésünk szerint összességében 26-30 milliárd forint közé tehető a vizsgált területekhez kapcsolódó bevételek nagysága.

1. táblázat. A KÖTIVIZIG működési területén vízzel ellátott területek és a megtermelt érték nagysága
Table 1. Areas supplied with water in the KÖTIVIZIG operating area and the amount of value produced

KÖTIVIZIG vízzel ellátott területek (2025)	A terület nagysága (ha)	Éves átlagos árbevétel (Ft/ha)	Teljes árbevétel (mrd Ft, 2025. évi árszínvonal)
Öntözés (elsősorban szántó)	29 403	780 000	22,9
Rizs	2 315	1 000 000	2,3
Halastó	3 421	1 000 000	3,4
Összesen	35 139		28,6

A menetrendezett öntözés és a beavatkozásokkal (pl. csatornák tisztítása, műtárgyak helyreállítása) megbízhatóbbá tett vízellátás révén elkerült veszteségek mértékéről nem áll rendelkezésre táblaszintű, idősoros információ, ami a kalkuláció alapjául szolgálhat, ezért nagyságrendjüket a gazdálkodói interjúk alapján becsültük. A gazdák egy részét a menetrendezés nem érintette – például ott, ahol pufferkapacitások biztosították, hogy a számukra megfelelő időpontban öntözhesse nek. Mások viszont valós alkalmazkodásra kényszerültek, elsősorban az időzítés terén.

Az interjúk (REKK 2025) tanúsága szerint menetrendezés nélkül a hibrid- és csemegekukorica-területek egy részén (ahová már nem jutott volna megfelelő ütemezéssel víz) a termés nagy része elveszhetett volna. A gabonaféléknél és a napraforgónál pedig 25–50%-os termés kiesésre lehetett volna számítani. Feltételezve, hogy a területek 10–20%-a került volna ilyen helyzetbe, és az átlagos termés-

veszteség 60%-ot tett volna ki (a nagyobb fajlagos értéket képviselő kukoricánál több, a gabonaféléknél kevesebb), a teljes árbevétel 6–12%-a esett volna ki. Így összességében 1,8–3,5 milliárd forint közötti érték került megmentésre csak a KÖTIVIZIG területén. Fontos hangsúlyozni, hogy ez az eredmény konzervatív feltételezéseken alapul: a fajlagos termést, a terményárakat és a veszteség mértékét is inkább alul-, mint felülbecsültük.

A jövőre nézve lényeges tanulság továbbá, hogy a gazdálkodók az öntözési vízmennyiség rendelkezésre állása mellett a csatornák áteresztőképességét is kulcsfontosságúnak tartják. Ennek korlátait jelenleg sok helyen a benőtt növényzet és a hiányos karbantartás okozza. Több gazda is jelezte, hogy saját gépekkel és munkaerővel is szívesen hozzájárulna a csatornák tisztításához, amennyiben erre hivatalos felkérést vagy legalább jóváhagyást kapna.

A menetrendezés folyamata során keletkező vízszolgáltatási és vízhasznosítási információk egy további fontos területet is feltártak. A vízjogi engedélyekben lekötött és az adott év öntözési vízhasználatra bejelentkezett jogosultak összességében jelentős mértékben nem használták ki a számukra biztosított vízmennyiséget. Ez a tény egyrészt könnyebbé tette a védekezés megvalósításában, az egyidejűségekből adódó problémák megoldásában, valamint

több víz jutott az átvezetésekre, holtág töltésekre és ökológiai vízpótlásra. Ugyanakkor, ha csak az öntözött és rizs termesztésre berendezett területeket és terményértéküket tekintjük és azt feltételezzük, hogy az öntözésre bejelentkezett, de ténylegesen nem öntözött területeken a többi terület átlagos termény értéke került volna előállításra, akkor további 11,6 milliárd Ft értékű mezőgazdasági termelés valósulhatott volna meg, ahogy azt az alábbi táblázat is mutatja.

2. táblázat. A meg nem valósult öntözés (beleértve a rizstermelést is) haszonlehetőség költsége a társadalom számára
Table 2. Opportunity cost of foregone irrigation (including rice production) to society

	Megvalósult	Az összes engedélyezett területet feltételezve	Különbség
Öntözött terület (ezer hektár)	31,7	46,3	14,6
Becsült termény érték (mrd Ft)	25,1	36,7	11,6

A készletek elosztásának tervezése az igényüket visszajelző vízhasználók lekötési jogosultságai alapján készült. Az így tervezett 95 millió m³ vízmennyiségből végül 56 millió m³ (60%) került tényleges gazdasági célú felhasználásra. A halastavak vízhasználatával megemelve a 140 millió m³-es rendelkezésre álló mennyiségből 89 millió m³ került a területen felhasználásra. Vannak tehát tartalékok a vízszolgáltatási rendszerben, azonban ahhoz, hogy ezeket minél jobban ki is lehessen használni, szükség van egy megreformált tervezési és vízelosztási rendszerre. Erre a TÁRGYALÁS fejezetben térünk vissza. Azonban a vízhasználatok és vízkészletek aránya a fejlesztések fizikai korlátainak kérdését is felvetik.

Idegenforgalmi hatások

A bevezetőben bemutatásra került, hogy a 2022-es és a 2025-ös nyári időszak közel azonos súlyosságú aszályhelyzet volt, de jelentős különbség volt a Tisza-tó vízszint süllyedésében (85 cm és 18 cm), ezért a 2022-es év idegenforgalmi jellemzői szolgálhatnak egyfajta összehasonlításként. 2022 nyarán a tó idegenforgalmi bevételei elmaradtak az éves teljesítményen belüli, hosszabb időszakra jellemző aránytól (3. ábra).

A Tisza-tó idegenforgalmi teljesítményére a vízszint kismértékű ingadozása önmagában nincs komoly hatással, odafigyelést igényel, ha a 2025-ös évben tapasztalt szint alá megy, de ez kezelhető. Probléma akkor jelentkezik, ha a vízszint kritikusan alacsony, amikor a strandokon megszűnik a fürdési lehetőség. (Megszakad a part-vízfelület kapcsolat, az odaérkező számára a part közvetlen látványa elveszti a tó jelleget, a vízi utak és a tanösvények használhatatlanná válnak. Ez az állapot következett be 2022-ben, 2025-ben viszont nem.)

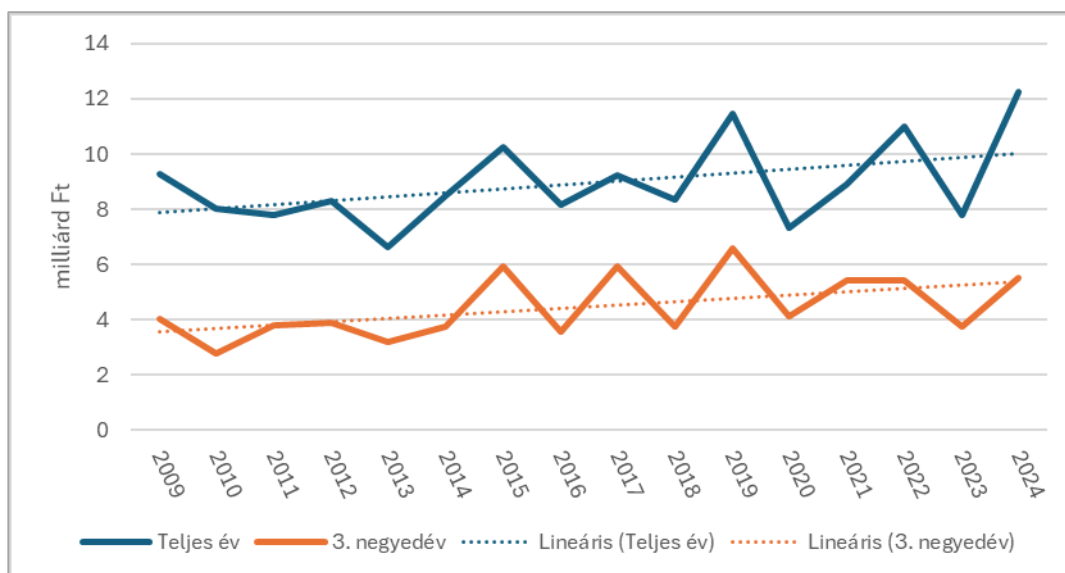
Általában az idegenforgalmi költségek évek közötti változásának fő mozgatóereje az egy főre jutó GDP alakulása és az adott nyár időjárása. A 2022-es évben mind az időjárás alakulása, mind az egy főre jutó hazai termékérték növekedése az idegenforgalmi költségek szempontjából az átlagtól kedvezőbb irányú elmozdulást indokolt volna. Ezzel

szemben az év idegenforgalmi teljesítményében a nyári teljesítmény aránya jelentősen elmarad a sokéves átlagtól. (Ezzel szemben a 2023-as év alacsony nyári teljesítményére mind az egy főre jutó GDP, mind az időjárás alakulása kedvezőtlenül hatott, függetlenül a tó kedvezőbb nyári állapotától.) A 2022-es év során az idegenforgalmi teljesítményben jelentkező aránykülönbséget az alapján lehet feltételezni, hogy a szélsőségesen alacsony vízszintnek (beleértve annak média reprezentációját is) nagyságrendileg milyen mértékű hatása lehetett.

Az idegenforgalmi vonzerőt jelentő lehetőségek közül a strandok kitettsége a legnagyobb, a nyári időszakban a Hortobágy-Tisza-tó turisztikai régióba az egy napos belföldi célú utazások a forgalom nagyságrendileg 20%-át teszik ki (a turisztikai célú költést tekintve). Ugyanakkor a strandok és környékük állapota a saját súlyán túlmutató jelentőséggel bír, mert az innen származó képek és média figyelem negatívan tudja befolyásolni az utazási kedvet olyan esetekben is, amikor az utazás célja nem csak a fürdés (a többnapos belföldi utak és a külföldi vendégek esetében).

A Hortobágy-Tisza-tó turisztikai régió turisztikai költéseit (teljesítményét) egy nyári napra 150 millió Ft-ra becsültük a KSH Adattár információi alapján (URL1), aminek nagyságrendileg 20%-a származik az egy napos belföldi utazóktól, 35-40%-a belföldi többnapos utazásokból és 45-50% a külföldi látogatásokból (a 2022-2024-es időszak adatai alapján).

A 2022-es év teljesítményében a nyári időszak alacsonyabb részaránya egy elmaradt teljesítményre utalhat. Ez a teljesítmény tömeg (1,5-1,8 mrd Ft) nagyságrendileg megegyezik azzal, ha 30 napra 80%-os csökkenést feltételezünk az egy napos forgalomban, 40% csökkenést a több napos belföldi forgalomban és 20%-os csökkenést a külföldiek látogatásaiban. Az, hogy 2025-ben a Tisza-tó vízkészlet tartalékából kevesebbet kellett igénybe venni a 2022 év mértékéhez képest ilyen léptékű idegenforgalmi teljesítmény kiesést segített elkerülni.



3. ábra. A Hortobágy-Tisza-tó turisztikai régióban az idegenforgalomhoz köthető költségek alakulása éves összesen és ebből a 3. negyedév teljesítménye (millió Ft). Megjegyzés: A kiadások 2024-es reál áron vannak feltüntetve (URL1)

Figure 3. Development of tourism-related spending in the Hortobágy-Tisza Lake tourist region, annual total and performance of the 3rd quarter (million HUF). Note: Expenditures are shown in real prices for 2024 (URL1)

TÁRGYALÁS

A vízhiány értelmezése a TIKEVIR szolgáltatási területén

A menetrendezés módszerének használata transzparens képet adott a vízkészlet-gazdálkodás előtt álló kihívásokról, de annak mozgásteréről, a továbblépés célszerű (szükséges) irányáról is.

A rendelkezésre álló vízmennyiség és a készlet-elosztás iránt megjelent igények alapján azt lehet mondani, hogy 2025-ben menetrendezve minden igény kielégítésre került, tehát sem vízkészlet szűkösség, sem vízhiány nem jelentkezett a területen. Érezzük azonban, hogy ez az értékelés leegyszerűsítő és egyben ellentmond a terepen megélt tapasztalatnak. Az adekvát helyzetértékeléshez külön kell értelmezni (1) az infrastruktúra vízsztosztó kapacitásának korlátosságából fakadó helyzeteket; (2) a vízkészlet jogosultsággal rendelkező vízhasználók direkt felhasználási lehetőségeit és (3) a terület vízháztartási helyzetét, amelynek változásai következtében széles körben érzékelhetővé vált a víz közvetlen és közvetett hiánya. Ez utóbbi csoportba tartoznak bele az öntözést nem folytató mezőgazdasági termelők is. Azért emeljük be az értelmezésbe ezt a szintet is, mert erre a folyamatosan romló regionális vízháztartási helyzetre a vízsztosztó infrastruktúra széleskörűbb hasznosításával és a készletként nyilvántartott mennyiség feletti vízhozamok eljuttatásával már lehet hatást gyakorolni.

Az infrastruktúra vízsztosztó kapacitásának kihasználtsága

A készletek szétosztásának menetrendezett megvalósítására azért volt szükség, hogy biztosítani lehessen a felhasználók azonos feltételekkel történő hozzáférését, mert a Tiszán érkező vízhozamból a vízelosztó rendszerekbe közvetlenül táplálható vízmennyiség alacsonyabb volt, mint az egyidejű (nem-koordinált, esetleges időpontokban megvalósuló) felhasználás kiszolgálásához szükséges betáplálható mennyiség. Azaz jelentkezett egy infrastruktúra

kapacitás korlát, növelni kellett a víz-elosztórendszerek kiszolgálási hatékonyságát.

A menetrendezés során a vízjogi engedélyekben nevesített, ezért lekötöttként kezelt és kiszolgálni tervezett vízkészletekből kellett kiszolgálni mindazt a mennyiséget, amelynek a felhasználására igény jelentkezett (2. ábra kék oszlopai). Az egyéni korlátozások elkerülése a menetrendezés során bevezetett rendszerszintű korlátozások mellett (2. ábra piros oszlopai) azért volt lehetséges, mert a vízjogi engedélyekkel lekötött mennyiségek nem minden jogosultja élt tényleges felhasználási igénnyel.

A menetrendezés és a tervezettnél alacsonyabb szinten realizálódott felhasználás együtt tették lehetővé, hogy a jogosult készlethasználaton túlmenően egyedi rendkívüli igényeket és ökológiai célú vízpótlásokat is meg lehetett valósítani (együtt az 2. ábra zöld oszlopai). Így volt lehetőség arra is, hogy a Tisza-tó tározó kapacitására csak kis mértékben kellett támaszkodni (az 1. ábra azon szakasza, ahol a zöld oszlopok magasabbak, mint a piros oszlopok) és elkerülhetőek voltak az „Idegenforgalmi hatások” fejezetben bemutatott negatív hatások.

A vízelosztás menetrendezés által elérhető magasabb hatékonyságának egyre nagyobb jelentősége lesz abban az esetben is, ha a jövőben még alacsonyabbá válik a nyári beérkező vízhozam és abban az esetben is, ha megnő a jogosult készletmennyiségen belül a ténylegesen felhasznált mennyiségek aránya. Ebben a helyzetben szükség lesz a menetrendezés időegységének szűkítésére (ez 2025-ben 8 órás időegység volt, de pl. a Zagyván a készletek csökkenése miatt már 4 órás időegységeket kellett alkalmazni. Erre a helyzetre való felkészülést szolgálhatja, ha a felhasználók fejlesztik a tározópuffer-kapacitásukat, ami nem a teljes nyári vízigény betározására, hanem a termelési célú felhasználás és a vízszolgáltatás időzítése közötti eltérés áthidalását szolgálhatja.

A menetrendezés lényeges eleme a teljes vízrendszer szintjén a hozzáférhető vízmennyiség meghatározása (a redukciós tényező hozzáigazítása a napi léptékű változásokhoz) és a kiszolgált régiók számára a víz azonos feltételekkel való hozzáféréseinek technikai (vízkormányzási) megvalósítása. A menetrendezés keretében 2025-ben nem került sor a felhasználások érdemi korlátozására, de erre az intézkedésre is fel kell készülnie a vízkészlet-gazdálkodás stratégiai szintjén. Ez a kérdés túlmutat a menetrendezés rendszerén, ezen a ponton válik el a víz szétosztásának (disztribúció) és a készlet jogosultságok elosztásának (allokáció) kérdése.

A vízkészlet-jogosultságok kihasználtsága

Hosszabb távon a menetrendezés legnagyobb hozzáadott értéke a vízháztartási folyamatokhoz való alkalmazkodás szempontjából az általa biztosított transzparens helyzetfeltárásban fog megmutatkozni. A lekötött, de igénybe nem vett készletek aránya két témára világít rá:

Egyrészt vízkészlet szabályozói oldalról arra, hogy jelen helyzetben a vízkészletek jobb hasznosítására nem a víz árazásán, hanem a lekötött, de fel nem használt készletek negatív ösztönzésén keresztül lehetne hatni. Ez megfontoltabb éves tervezésre készítetné a gazdálkodókat.

Másrészt arra is rámutat, hogy a mezőgazdasági termelés fajlagos hozzáadott értékének – és ezen keresztül az általános jövedelmezőségének – javításában nem a vízszolgáltatás költségének megfizettetése vagy elengedése (a díjak támogatása) játszik meghatározó szerepet. (Ebben az időszakban a mezőgazdasági felhasználók mentesültek mind a vízkészletjárulék, mind a mezőgazdasági vízszolgáltatási díj megfizetése alól.) Az öntözéses gazdálkodás kialakításának kulcskérdése a vízszolgáltatás többlet költségét is kitermelni képes termelési rendszerek létrehozása. Ez a képesség a területi vízszolgáltató szempontjából ugyanakkor egy peremfeltétel, melyet figyelembe kell venni, megváltoztatása azonban hosszabb távú gazdaságfejlesztési kérdés.

A mezőgazdasági vízhasználóknak ez, a lehetőségektől elmaradó készletfelhasználási képessége egyértelmű jelzés arra, hogy középtávon sem érdemes az öntözéses gazdálkodás kiterjesztésétől várni a klímaváltozás okozta vízháztartási léptékű problémák kezelését, már csak a táji vízpótláshoz szükséges vízmennyiségek eltérő nagyságrendje miatt sem. Az öntözéses gazdálkodás készletfelhasználásának hatásossága (és a nem öntözött mezőgazdasági területek termőképessége is) nagy mértékben függ a termelés tágabb környezetének vízháztartási állapotától.

Területi léptékű vízháztartási állapot – tartós és fokozódó vízhiány

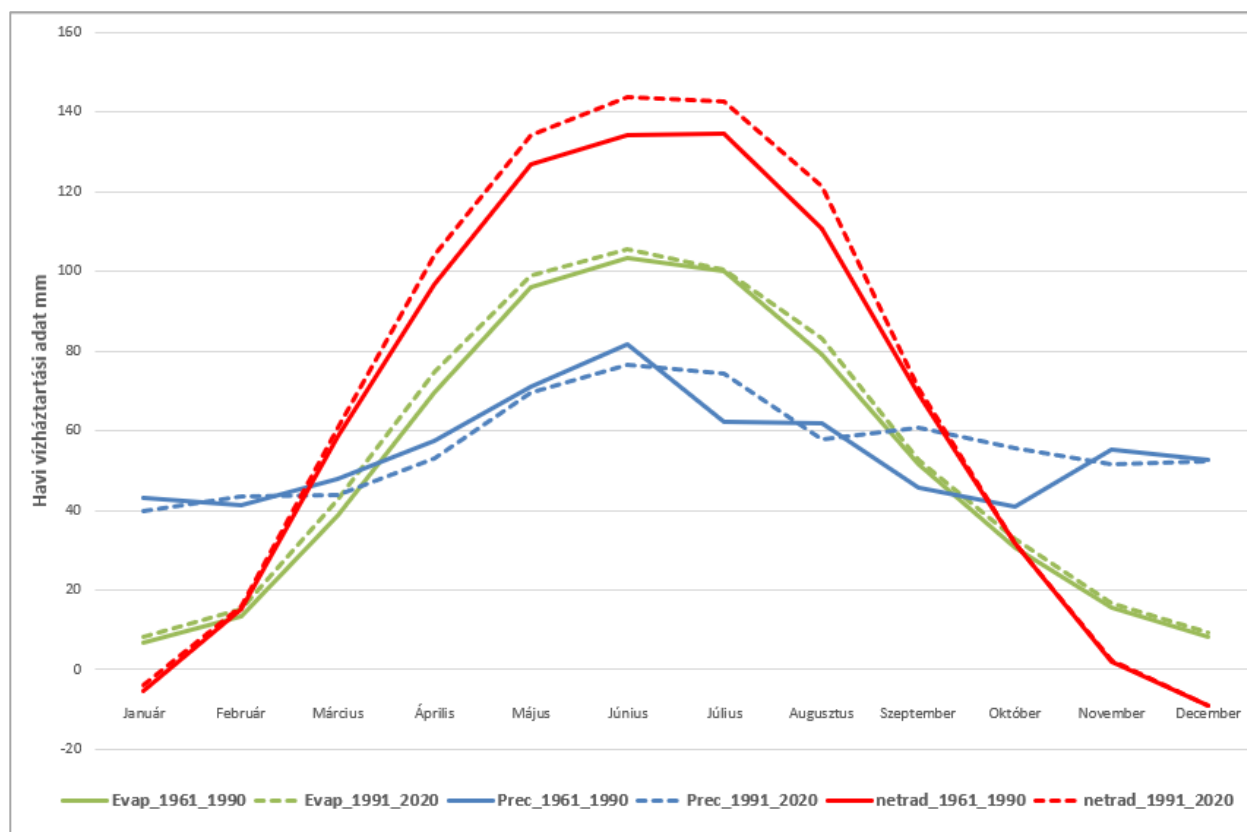
Nem csak arra van szükség, hogy a mezőgazdaság több vizet használjon fel, hanem elsősorban arra, hogy a mezőgazdaság által felhasználni képes mennyiségnél jóval több víz legyen jelen a regionális vízháztartási folyamatokban. Ez egyrészt a talajvíztartalékok regionális léptékű visszapótlásának szükségét jelenti, másrészt azt, hogy a nyári napsütés nettó sugárzási energiátöbbletét, ami a párolgási kényszeret hajtja, minél nagyobb mértékben lehessen páro-

logtatás útján semlegesíteni. E két folyamat együttes hatásként lehet befolyásolni a mikro- és mezoklimatikus viszonyokat, ami a nyári hőhullámok intenzitásának mérséklésében nyilvánul meg. Ennek a két, összekapcsolódó beavatkozásnak a sikerességét a vizsgált terület nyári párolgási vízdeficitjével lehet mérni. A lokális vízháztartási állapotot, mint a vízhasznosítások és a természeti környezetből nyert szolgáltatások feltételrendszerét ez az indikátor írja le úgy, hogy az értelmezhető legyen a területi vízgazdálkodási rendszer működtetése szempontjából.

A nyári párolgás/párolgotatás vízhiánya a felszín elérő nyári napenergia többletből származó párolgási kényszer és a ténylegesen megvalósuló felszíni párolgás közötti különbséget jelenti. Ez egy dinamikus viszony, ha nő ez a deficit, az a felszínről felszabaduló magasabb hőképződéssel (nagyobb felforrósodással) jár a légkör felszínközeli néhány méteres rétegében. A nyári párolgás vízhiányának nagyságát az ősszel induló hidrológiai ciklus folyamatainak kölcsönhatása határozza meg, a csapadék mennyisége mellett elsősorban az, hogy mekkora a párolgásra kényszerítés, mekkora talajnedvesség tartalékokkal (vagy annak hiányával) érkezik el egy terület a kritikus nyári időszakhoz.

A 4. ábrán a nyári párolgás vízhiányát mozgó makrofolyamatok változása látható az Alföld területére vonatkozó adatokat bemutató. Az ábra a Báder és Szilágyi (2023), Szilágyi, Báder és Józsa (2025) közlemények módszertanával készült, az Alföld adminisztratív régióinak területére. (Az adatok felhasználására az InnWater és a BME kutatóinak az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program, Fenntartható Technológiák Alprogram, Fenntartható Vízkészlet-gazdálkodás kutatási projektje közötti együttműködés keretében került sor.)

A 4. ábrán a szaggatott vonalak az 1991-2020-as időszak átlagait jelenítik meg, a folytonos vonalak az 1961-1990-es időszakra vonatkoznak. A 4. ábra legfontosabb üzenete, hogy a szárító és melegítő energiát is jelentő nettó sugárzás a vegetációs időszak teljes hosszában növekedett, miközben ezt a kényszerítő hatást a tényleges párolgás mértéke csak korlátozottan tudta követni. Ezt jeleníti meg a nyári párolgás vízdeficitjének növekedése, ahol a párolgással nem semlegesített energia a hőképződéshez járul hozzá. (Ennek pályája látható a 5. ábrán). Az időszakokra vonatkozó átlagok értelmezésekor érdemes szem előtt tartani, hogy nagyon eltérő időjárású éveket tartalmaznak. Az ezredforduló és a 2000-es évtized hozta el a Tisza rekord árvizeit. Látható a csapadékmintázat megváltozása, ami minden elemében a nyárig tartó talajnedvesség-tartalék felhalmozódása ellen hat (az őszi áthelyeződő csapadéknövekedés, tavasszal romló talajtárolási képesség a növekvő párolgási kényszer, az alacsonyabb mennyiségű, ráadásul intenzívebb csapadékesemények és mindezekkel együtt, lényegében változatlan össz mennyiségű nyári csapadék miatt). Ez az összetett folyamat áll annak a háttérben, hogy a nyári párolgás érdemben nem tudott lépést tartani a növekvő kényszerrel, a lokális hőképződés-megelőzés képessége romlott. A nyári átlaghőmérséklet a két időszak között másfél fokkal növekedett.



4. ábra. Vízháztartási alapfolyamatok változása az 1961-1990 és az 1991-2020 időszakok átlagában - havi összeg mm-ben kifejezve.

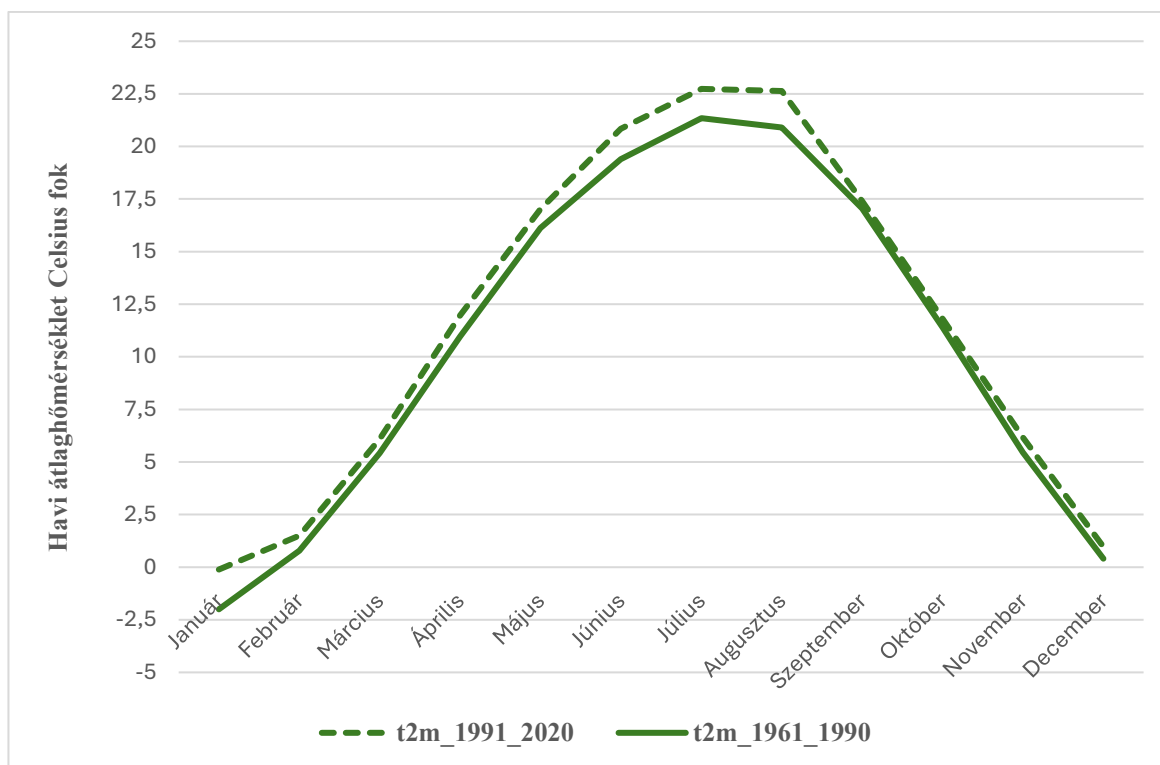
Piros görbék – a nettó sugárzás párolgás egyenértéken kifejezve; Zöld görbék - párolgás; Kék görbék - csapadék
 Figure 4. Changes in basic water balance processes in the average of the periods 1961-1990 and 1991-2020 - expressed in monthly total mm. Red curves - net radiation expressed in evapotranspiration equivalent; Green curves - evapotranspiration; Blue curves - precipitation

A 3. táblázat adataiból látható, hogy a megtapasztalt romlás a nyári időszakban bekövetkező, párolgással nem fedezett nyári nettó sugárzás növekedésből származik. Ha az 4. ábrán vízszlop-magasságban kifejezett vízmennyiségeket az Alföld 36 ezer km²-es területére átszámítva fejezzük ki (a 3. táblázat jobb oldali oszlopai) a nyári párolgási víz deficit 3 500-ról 4 300 millió m³-re, 788 millió m³-rel romlott. Ennek a mennyiségnek a nyári párolgási folyamatokba juttatásával lehetne a két időszak közötti kedvezőtlen elmozdulást kiegyenlíteni. Az adatokból leszűrhető az a következtetés is, hogy ennek a deficitnek a hatásos csökkentéséhez egyrészt szükséges a csapadék sokkal hatékonyabb megőrzése és beszívárogtatása az év egésze során, azonban ez a megoldás önmagában már nem elegendő a korábbi időszakinál jelentősen magasabb párolgatói kényszerrel járó körülmények között. A hiány csökkentése csak vízpótlással együtt kezelhető.

A vízelosztó rendszer 2025 nyarán nyújtott teljesítménye alapján az egész éves kapacitását tekintve a rendszer alkalmas ilyen nagyságrendű vízmennyiség kiszol-

gálására. A nyári teljesítményét kiterjesztve az év további időszakaira még 2-2,5 km³ vízmennyiség szállítására van kapacitás. Ráadásul a többi évszakban az ehhez szükséges vízmennyiség is nagyobb valószínűséggel áll rendelkezésre.

A bemutatott léptékű nyári párolgás/párolgatói teljesítmény leadása sem mennyiségében, sem a tenyészőidőszak alatti megoszlásában nem azonos nagyságrend azzal, ami az öntözési gazdálkodás keretei között megvalósítható. Ezért nem célszerű a mikroklima szabályozás megvalósulását az öntözés kiterjesztésétől várni. Fordítva, a regionális léptékű nyári párolgási vízhiány csökkentésétől várható az öntözés hatásosságának javulása is. Ha bármilyen mértékben megvalósul a nyári párolgási vízhiány csökkentése, az egy regionális léptékű közjóléti szolgáltatás, amelynek a vízigényét ugyanazon a vízrendszeren lehet és kell megvalósítani, mint a gazdasági célú vízhasználatokét. Ez felveti a rendszer elemeinek újraértékelését, azaz, ha tényleges komplex használatot szeretnénk, akkor túl kell lépni a hagyományos: belvíz-, öntöző- és kettős működésű csatorna fogalmán.



5. ábra. Havi (2 m-rel a felszín feletti) átlaghőmérsékletek az 1961-1990 és az 1991-2020 időszakok átlagában
Figure 5. Monthly average temperatures (2 m above the surface) for the periods 1961-1990 and 1991-2020

3. táblázat. A 4. ábra fő adatai a nyári időszakra összegezve
Table 3. Summary of the main data of Figure 4 for the summer period

	A nyári párolgás vízhiányának, összetevőit és változása				
	mm	mm	mm	millió m ³	millió m ³
Összetevők	1961-1990	1991-2020	Változás	1991-2020	Változás
Nyári nettó sugárzás energia (Nap)	379	407	28	14 705	1 025
Nyári párolgás	282	289	7	10 424	237
Tényleges nyári párologtatási víz deficit	97	119	22	4 281	788

Van-e vízkonfliktus?

Konfliktusban áll-e egymással a gazdasági célú és a közjóléti célú vízigény? Igen, ha minden területi vízigényt a jelenlegi vízrendszer nyári időszakában akarunk kielégíteni. Erre, az időszakában koncentrált, felhasználásában szétterülő szolgáltatási igényre sem a vízszállító infrastruktúra kapacitása, sem a nyári időszakban átfolyó vízmennyiség nem elegendő, még a Tisza-tó tározási kapacitásával együtt sem. Ha azonban az infrastruktúra egész éves vízszállító kapacitását, és az év folyamán átlagosan rendelkezésre álló vízhozamot tekintjük, akkor a kétfajta vízigény összességében és távlati mennyiségében kielégíthető.

Mivel az év egészét tekintve nem a felszíni vízhozam jelenti a szűk keresztmetszetet, a gazdasági szereplők számára a valódi értéket a szolgáltatás időzítése és a vízigény nagy biztonsággal történő kielégítése adja. A köz számára ezzel szemben az érték nem a rendelkezésre állás időzítésében, hanem abban rejlik, hogy a nyári hőhullámok csillapításához szükséges vízigény minél nagyobb területen és minél nagyobb mértékben kerüljön kielégítésre.

Jelenleg az átfolyó vízmennyiségnek csak egy kisebb részét tekintjük vízkészletnek, amivel nem gazdálkodunk hatékonyan, miközben a nagyobb részével egyáltalán nem gazdálkodunk. Az ebben rejlő lehetőségre is kedvező példát adott 2025 a Tisza-völgy egészére érvényes pozitív vízmérleggel (1. ábra)!

Az adekvát helyzetértékeléshez szükséges szem előtt tartani, hogy a készletgazdálkodási szabályozásunk és a kialakult gyakorlat - és jogi szabályozás - egy kedvezőbb vízháztartási időszakból származik. Az a vízmennyiség (leadható vízsugár) jelenti a vízjogi engedélyekben rögzített jogosultságok keretét, amelyet egész évben, a legkedvezőtlenebb nyári időszakban is nagy biztonsággal ki lehet elégíteni. A viszonyítási alap az augusztusi 80%-os készlet, ami jelenleg már nem tartható. Ebből adódóan jelenleg nem tekintjük a készletgazdálkodás részének azokat, az év egy-egy időszakában rendelkezésre álló vízhozamokat, amelyek az ökológiai minimumigény és a vízjogi engedélyekben biztosított mennyiségek felett állnak rendelkezésre (folynak át az országon). Van tehát vízmennyiségi fedezete a regionális léptékű nyári párolgási vízhiány

csökkentésének, és nyári időszakon kívül van szabad szállítási kapacitása is a vízzsálító rendszernek.

A fentiek mellett költségvetési forrásfelhasználási konfliktus származik jelenleg abból, hogy nem önállóan definiált közfeladat a nyári párolgás/párologtatás vízhiányának regionális léptékű csökkentése, más szóval a közjóléti célú ökológiai vízszolgáltatás. Ez megkülönböztetendő a jelenlegi vízkészlet-gazdálkodási rendszerben nevesített gazdasági célú vízhasználatoktól és a lokális ökológiai célú használatoktól. A jelenlegi logikában minden vízigény egyéni, vagy részcsopórt-érdekű használat, amiért a használó (elvben) fizet. Mind a magán (elsősorban mezőgazdasági), mind a közösségi (települési, vagy természetvédelmi igazgatósági) vízigényeket jelentősen korlátozza az érintettek fizetőképessége. Az alacsony igénybevétel növeli a fajlagos költségeket, ami visszahat a használatra. A közjóléti célú ökológiai vízpótlás hiányában a vízrendszer alulhasznált, a közjóléti hatás pedig nem jön létre, így pedig olyan túlfórósódás és talajnedvesség vesztés (közrossz) alakul ki, ami egyébként elkerülhető lenne. A 2025-ös nyár abban a tekintetben is újdonságot jelent, hogy a központi költségvetésből jellemzően támogatott gazdasági vízhasználatok mellett megfogalmazódott egy erőteljes társadalmi igény és lehetőség a jóléti és természeti célú vízpótlások megvalósítására. Ez egy teljesen új helyzet, amihez célszerű hozzáigazítani a jelenlegi, hasznosítás-szemléletű készletgazdálkodási és készlet rendelkezésre bocsátási rendszert, mind fizikai, mind pénzügyi aspektusaiban.

VÍZ-SZAKPOLITIKAI, SZERVEZÉSI ÉS IRÁNYÍTÁSI JAVASLATOK – „WATER GOVERNANCE INNOVATION”

A 2025 nyarán, a TIKEVIR működtetése során nyert tapasztalatokra és információkra támaszkodva megfogalmazhatóak javaslatok annak érdekében, hogy a vízrendszer működtetésén keresztül javítani lehessen az infrastruktúra kihasználtságát, növelni a vízkészlet-felhasználás értéktermelő képességét és csökkenteni a hőhullámok kialakulásának lehetőségét.

A csomag három területre fókuszál. Javasoljuk a TIKEVIR szolgáltatási területen (1) a menetrendezés kiterjesztését az év egészére; (2) a vízkészlet-gazdálkodás kétszintűvé alakítását; (3) a közjóléti célú ökológiai vízigény fogalmának bevezetését.

A menetrendezés kiterjesztése az év egészére

Az intézkedés célja az állami kezelésben lévő vízzsálító infrastruktúra magas szintű kihasználtságának elérése. A megvalósítás technikai eszköze a menetrendezés kiterjesztése, melynek keretében a vízhasználóknak egységes online rendszerben heti léptékben előre kell jelezniük a tényleges vízkivételi igényüket. Ezzel lehetővé válik a ki nem használt szállítási kapacitás és az engedélyezett, de az adott időpontban nem hasznosított készletek más igények számára történő felszabadítása. A jelenlegi, vízjogi engedéllyel rendelkező használati/átvételi pontok csoportja mellett új csoportként javasoljuk megjeleníteni a vízfogadásra kész területek átadási pontjait, amely csoport vízfogadása hozzá tud járulni az elsődleges célhoz a régió nyári párolgási vízhiányának csökkentéséhez. A vízfogadásra

kész területek tulajdonosai azzal válnak a platform részévé, hogy meghatározzák, milyen paraméterek (időszak, vízsugár, összmenyiség, egyéb feltételek) mellett készek vízmennyiség befogadására, beszívárogtatásra és a nyár egész időtartama alatt a párologtatásra. A vízfogadásra kész területek számának és befogadási kapacitásának bővülésével a rendszerirányító számára lehetővé válik a dinamikus heti léptékű menetrendezés keretében (a hidrológiai előrejelzések ismeretében) a jogosult vízkészlet-igények kielégítésén túl a nem hasznosított kapacitások párosítása a megfelelő paraméterekkel rendelkező fogadó területekkel. A vízkészlet-jogosultsággal rendelkező vízhasználók csoportjára és az adott feltételek esetén vízfogadásra kész területekkel rendelkezők csoportjára eltérő szabályrendszer kell, hogy vonatkozzon, ezt szolgálja a javaslat-csomag második eleme.

A vízkészlet-gazdálkodás kétszintűvé alakítása

A rendszer első szintje a jelenlegi vízkészlet-gazdálkodási rendszer, emellett áll fel a területi vízpótlásra fordítható vízmennyiség elosztásának új, második szintje. A két szint eltérő vízszolgáltatási feltételrendszert jelent. Az első szint fő jellemzője, hogy a vízszolgáltató vállalja a lekötési jogosultságban foglalt mennyiségek nagy biztonsággal történő kielégítését, aminek készletfedezete a jelenleg nyilvántartott és lekötött vízkészletek. A második szint esetében nincs tételes felelősségvállalás vízszolgáltatásra. A vízszolgáltatás fedezete az év különböző időszakaiban a befolyó felszíni vízmennyiségen alapul, a gazdasági célú vízkészlet-kivezetések és a folyóban hagyandó minimális ökológiai vízmennyiség összegén túl rendelkezésre álló befolyó mennyiség biztosítja ezt. Ez az a mennyiség, amit a regionális vízügyi igazgatóságok a 2025 nyarán alkalmazott, regionális szempontból arányos szétosztás elve mentén párosítanak össze az adott időszakban vízfogadásra kész területekkel.

Ebben a két szintre bontott keretben kezelhető a két, eltérő logikájú vízhasználat, továbbá nem sérülnek a már kibocsátott jogosultságok, ugyanakkor megteremthetőek a keretei az időszakos víztöbbletek tudatos társadalmi-termetészeti célú hasznosításának.

A közjóléti célú ökológiai vízpótlás fogalmának bevezetése

Javaslatunk szerint az a felszíni vízpótlás tekintendő közjóléti célú ökológiai vízpótlásnak, amely a fogadó területre fenntartja a hatékony beszívárogtatást, a talajnedvesség-felhalmozás lehetőségét és jelentős párologtatási teljesítményt képes nyújtani a vegetációs időszak egésze során. (Azaz élő növényzet, vagy víz borítja és a növényzet nem kerül eltávolításra a nyár folyamán.) Ez a vízpótlás megfeleltethető a 147/2010. (IV. 29.) Korm. Rendeletben nevesített ökológiai vízpótlás fogalmának (2. § 23a...ökológiai célú vízpótlás: felszíni víztöbbletből vagy szabad vízkészletből árterekre vagy mélyfekvésű területekre, vízmegtartás vagy más természet célból történő vízkivezetés a fenntartható vízkészlet-gazdálkodás biztosítása érdekében), így alkalmas a menetrendezés kiterjeszthetőségében kiemelt szerepet kapó „Vízfogadásra kész területek” rendszerbe emeléséhez (regisztrálásához), és a vízpótlás során jelentkező vízigény

rendszerbe illesztéséhez. Így beemelhetők a kétszintű vízkészlet-gazdálkodás második szintjének feltételes készlethasználoi körébe.

Érdemes ugyanakkor felhívni a figyelmet, hogy az állam által ellátandó közfeladatok közé ezidáig nem került be a közjóléti (értve ezalatt az átfogó regionális léptékű környezeti) célokat szolgáló vízpótlás tevékenysége. Ez a feladat, mint állami szintű kötelezettség levezethető az *Alaptörvény* „P” cikk (1) pontjából – P) cikk (1): Magyarország védi és fenntartja a természeti erőforrásokat, különösen a termőföldet, az erdőket, a vízkészletet, a biológiai sokféleséget, valamint a kulturális értékeket, mint a nemzet közös örökségét, és a jövő nemzedékek számára való megőrzésük az állam és mindenki kötelessége – azonosítható vele az idézett kormányrendeletben az ökológia vízpótlás vízmennyisége, azonban közfeladat akkor válik belőle, és pénzügyi forrás akkor rendelhető hozzá, ha a feladat a központi költségvetésben nevesítésre kerül. Ez a feltétel jelenleg nem teljesül. Visszatekintve a területi vízgazdálkodási rendszer működtetésével kapcsolatban az állami feladatok egyértelmű lehatárolása a rendszerváltás óta nem történt meg (*Öko Zrt. 2018*). A kérdés az elmúlt évtizedben már regionálisan, de országos mértékben is tapasztalható kiszáradási folyamat kapcsán azonban átgondolásra és változtatásra érdemes. Ugyanis a kiszáradás elkerülése, vagy lassítása az az országos közérdek, amit az állami szerepvállalással lehet azonosítani.

A közfeladatként való elismerése lehetővé teszi, hogy a megvalósítását szolgáló infrastruktúra fenntartása egyértelmű állami feladat legyen, ami így csökkenti a jelenlegi vízhasználók által a *Víz Keretirányelv* értelmében fedezendő vízrendszerhasználati díjakat. Emellett lehetőséget teremt arra, hogy a vízhasználók pénzügyi hozzájárulása a saját közvetlen környezetük vízi infrastruktúrájának fenntartására irányulhasson, segítve a hiányzó helyi érdeket képviselő és kiszolgáló vízgazdálkodási szerveződések létrejöttét.

Kiegészítő javaslat a jelenlegi vízkészlet-gazdálkodás rendjéhez

A menetrendezés 2025-ös, TIKEVIR-léptékű működtetése átfogó és koherens képet adott a vízkészlet-hasznosítás alacsony kihasználtságáról. A helyzet javítása érdekében megfogalmazható az a javaslat, hogy – a vízszolgáltatás díjtételeinek kérdéséről függetlenül – egyrészt célszerű lenne a lekötési jogosultságokhoz kapcsolódóan tartósan nem használt vízmennyiségek negatív ösztönzését bevezetni annak érdekében, hogy a készletek felszabaduljanak, és új hasznosítók számára hozzáférhetővé váljanak; másrészt indokolt lenne szankcionálni azt az esetet, amikor egy vízhasználó az előzetesen bejelentett vízhasználati igényét visszajelzés nélkül nem veszi igénybe, ezzel meghiúsítja a tervezhető továbbhasznosítást.

KÖVETKEZTETÉSEK

A TIKEVIR kiterjesztése és a szolgáltatási területén a 2025. évi nyári aszályhelyzet kezelése érdekében bevezetett, a rendelkezésre álló vízkészletek alapján dinamikusan koordinált menetrendezés hatékony eszköznek bizonyult annak biztosítására, hogy valamennyi vízhasználó földrajzi elhelyezkedésétől (felvízi–alvízi pozíciójától) függetlenül azonos feltételek mellett juthasson hozzá a hasznosítható vízkészlethez. A rendezett hozzáférés eredményeként a KÖTIVIZIG

által ellátott területen mintegy 26-30 milliárd Ft értékű öntözött mezőgazdasági termelést sikerült megóvni a jelentős aszálykároktól. Ennek becsült haszna kb. 1,8-3,5 mrd Ft volt. Emellett a 2022. évhez képest kisebb mértékben volt szükség a Tisza-tó vízkészlet-tartalékainak igénybevételére, így elkerülhetővé vált a 2022. évi tapasztalatok alapján becsülhető, mintegy 1,5–1,8 milliárd Ft nagyságrendű idegenforgalmi bevételkiesés.

A menetrendezés folyamata során előállt üzemeltetési információk emellett koherens módon feltárták az alacsony szintű vízkészlet-hasznosulást. A lekötési jogosultsággal rendelkező területek által igénybe nem vett vízkészlet, jelentős (csak a KÖTIVIZIG területére számítva 10 mrd Ft-ot elérő) további terményérték előállítására lett volna elegendő. Ez a helyzet felveti, a lekötött készlet fel nem használt részére egy negatív ösztönző eszköz időszerűségét.

A menetrendezés lényegében egy platform, a vízszolgáltatás iránti igény jelzésének és a víz rendelkezésre állásának időzítését kapcsolja össze, ugyanakkor a benne rejlő lehetőségek túlmutatnak a nyári időszak gazdasági vízhasznosításának megszervezésén. A TIKEVIR-en megvalósított menetrendezés kiterjesztése az év egészére lehetőséget biztosíthat ahhoz, hogy a vízszállító kapacitások és jelenleg nem hasznosított vízkészletek hozzájáruljanak a regionális léptékű vízpótlási igény kielégítéséhez. Az aszálymérsékléshez szükséges a nyári párolgás vízhiányának a csökkentése, amelyet a vízpótlás tenyészidőszakon kívüli megvalósítására kell alapozni. A TIKEVIR egész évre számított, teljes mértékben kihasznált szállítókapacitása ehhez már számottevő mértékben hozzá tud járulni. Az ehhez szükséges újító javaslatokat fogalmazza meg a közlemény.

A menetrendezés kiterjesztett platformján keresztül lehet rendszerezett módon kezelni a közcélú vízpótlás iránti társadalmi igényt is, az ökológiai vízpótlást megvalósítani akaró helyi szerveződések vízigényének formalizálását, az azonos feltételek mentén történő készlethozzáférés biztosítását. A platform készletoldala ad információt az állami feladról, a térben és időben hozzáférhetővé tett mennyiségekről, a bejelentett igényoldala pedig a területi érdekeltek vízfogadó készségének és képességének szintjéről. A kettő eltérése mutatja meg az éghajlatváltozás kihívására adott társadalmi alkalmazkodás helyzetét.

Végül, indokolt a közjóléti célú ökológiai vízpótlás fogalmának bevezetése és rendszerszintű kezelése, amely a regionális léptékű aszálymérséklést és környezeti alkalmazkodást szolgáló vízigényeket is integrálja a menetrendezés keretei közé. A TIKEVIR készletelosztásához használt platform alkalmas arra, hogy az ilyen típusú, nem piaci jellegű, de közérdekű vízhasználati igények formalizált módon megjelenjenek, és az elérhető vízkészletekkel összehangoltan kerüljenek kielégítésre. Ez az intézkedés egyúttal alapot teremthet a közcélú ökológiai vízpótlás állami feladatként való elismeréséhez és hosszú távú finanszírozhatóságához is.

IRODALOMJEGYZÉK

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról

147/2010. (IV. 29.) Korm. Rendelet

Alaptörvény

AKI (2020-2023). Tesztüzemi rendszer adatok, 2020-2023.

AKI (2025). Agrárpiaci jelentések, 2025. 15. száma.

Báder, L., Szilágyi, J. (2023). Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. Periodica Polytechnica Civil Engineering.
<https://doi.org/10.3311/PPci.21836>

KÖTIVIZIG (2025). Vízrajzi adatbázis.

Öko Zrt. (2018). A közérdekű és magánérdekű feladatok lehatárolása, díjképzés és finanszírozási mechanizmus fejlesztése, egységesítése, valamint a mezőgazdasági célú vízhasználatokra vonatkozó adatszolgáltatás bővítésének megalapozása. Budapest.

Szilágyi, J., Báder, L., Józsa, J. (2025). A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban. Hidrológiai Közlemény, 105(3), 4–12. <https://doi.org/10.59258/hk.20549>

REKK (2025). Interjúk, Gazdálkodói és idegenforgalmi szolgáltatókkal készített interjúk, 2025 augusztus-szeptembere folyamán.

Víz Keretirányelv

URL1. A KSH statisztikai adattárából használt információk forrása:

- <https://statinfo.ksh.hu/Statinfo/themeSelector.jsp?lang=hu> Növénytermesztés

- statinfo.ksh.hu/Statinfo/QueryServlet?open-Link=d7099d4bd5a46dc6db6631a5728d6085365815cf800083163e7320dd3e762e10 - Töbnapos belöldi utak jellemzői

- statinfo.ksh.hu/Statinfo/QueryServlet?open-Link=fa22498d52e4e3efbf99981cde42105182aedb2419fc3c2711f1e03ac03b7d87 - Egynapos turisztikai célú belöldi utazások

- statinfo.ksh.hu/Statinfo/QueryServlet?open-Link=efba8fcd89a9a2c9be4d6ee050523c1b288b81156b10defc5f158163fda24e - Magyarországra tett külföldi utazások főbb mutatói 2022-től

- statinfo.ksh.hu/Statinfo/QueryServlet?open-Link=b1ae7e860d86f6cdb160d72913e59a860f4254f7b7fa9fc4f7e518553da97b04 - A Magyarországra tett külföldi utazásokhoz kapcsolódó kiadások 2022-től

- statinfo.ksh.hu/Statinfo/QueryServlet?open-Link=bb0086b50c5f01a9360423d8a56c83c5a7deb5f177add69dcf80af263cdfdb - Turisztikai szálláshelyek kapacitása havonta

URL2. www.innwater.eu

SZERZŐK



LOVAS ATTILA 1997-ben okleveles építőmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen. 2009-től a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (KÖTIVIZIG) igazgatója. 40 éves tapasztalattal rendelkező vízgazdálkodási szakember. Számos tiszai és dunai vízkárelhárítási védekezésben vett részt, az elmúlt tizenhét évben a Tiszán már központi védelemvezetőként. 2024. óta az Országos Vízügyi Tudományos Tanács tagja, 2019. óta a Global Water Partnership (GWP) Magyarország elnöke, az MHT-nek 1986 óta tagja.



UNGVÁRI GÁBOR PhD közgazdász, a REKK Vízgazdasági Csoportjának tagjaként elsősorban a hazai, illetve a környező régióra vonatkozó vízhasználatok és vízkárelhárítási tevékenységek gazdasági és környezeti szempontú elemzéseinek szakértője. 1999 óta számos vízkészlet-gazdálkodási, interdiszciplináris kutatási és szakértői programban vett részt, többek között az aszály, árvíz kockázat és a belvíz probléma kezelése, felszín alatti vízkészletek szabályozása és a vízgyűjtő-gazdálkodás területén. A Magyar Hidrológiai Társaság és a Vízügyi Tudományos Tanács tagja.



VIZI DÁVID BÉLA 1991-ben született, BSc (2014) és MSc (2016) diplomáját környezetmérnökként szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. 2015-től a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Vízrajzi Osztályán dolgozott, 2025. februárjától pedig mint műszaki titkár dolgozik az Igazgatóságon. Tagja volt a 2019. évi XV. Európai Ifjúsági Vizes Parlament magyar delegációjának. Számos nemzetközi projekt (többek között a Danube Floodplain, InnWater, IDES, LAREDAR) szakmai munkájában vett részt. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



KIS ANDRÁS közgazdász, a REKK Vízgazdasági Csoportjának munkatársa. Több mint 25 éve végez vízgazdasági és környezetgazdasági elemzéseket, ezen belül kiemelten foglalkozik a víziközmű-szolgáltatások díjainak modellezésével és szabályozásával, valamint az árvízvédelem, az aszálykezelés, a vízkészlet-gazdálkodás, az éghajlatvédelem és az erdőgazdálkodás közgazdasági kérdéseivel. Széles körű tapasztalattal rendelkezik európai uniós kutatási és szakértői projekteken, kormányzati tanácsadásban, nemzetközi képzési programok tervezésében és vezetésében.



HARSÁNYI GÁBOR okleveles építőmérnök, a KÖTIVIZIG műszaki igazgató-helyettese 22 éves tapasztalattal rendelkezik területi vízgazdálkodási feladatokban, különösen árvíz- belvíz- és öntözőrendszerek üzemeltetése terén. Az elmúlt években projektmenedzserként részt vett több nemzetközi projektben. Emellett regionális, kistérségi vízgazdálkodási fejlesztési tervekben is dolgozott.

Kisvízi készletek becslése - módszertani áttekintés

Iritz László¹, Laurinyecz Pál², Mész Nóra¹, Szalay Miklós^{3†}

¹ VIZITERV Environ Nonprofit Kft., 1012 Budapest, Kuny Domokos utca 13-15. (e-mail: <iritz.laszlo@environ.hu>)

² Magyar Hidrológiai Társaság, 1092 Budapest, Üllői út 25.

³ Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány utca 1/D. † Elhunyt 2024. december 24-én.

DOI: 10.59258/hk.22302



Kivonat

A témaválasztást a Vízügyi-gazdálkodási Terv második felülvizsgálatának (VGT3) részét képező Integrált Vízkészlet-gazdálkodási Országos Terv (IVOT) készítése során feltárt, vizeink hidrológiájában mutatkozó változások indokolták. Jelen tanulmány kitér a vízkészleteink legutóbbi évtized(ek)ben tapasztalt változásaira, és utal a határszelvényeinken keresztül hozzánk belépő vízkészletek alakulására, valamint a csökkenő tendencia mögött rejlő hidrometeorológiai okozati összefüggésekre. Azt is tudomásul kell venni, hogy a hazánk területére belépő, és számunkra létfontosságú határainkon túl keletkező vízkészleteket a szomszédos országok is hasznosítják, és ez a jövőben csak fokozódik. A vízigények ismét növekednek hazánkban is az ipari és a mezőgazdasági fejlesztések intenzívebb válása következtében. A tények ismeretében mind nagyobb figyelmet kell szentelnünk a rendelkezésre álló kisvízi készleteink becslésére a jelen időszakban, és előre kell tekintenünk a várható változásokra. Ezért a vízjogi engedélyeztetés területén előtérbe kerül a szabályozási szintek meghatározása, illetve felülvizsgálata. A bekövetkezett aszályos ciklusok és vízkorlátozást igénylő időszakok is arra késztették az illetékeseket, hogy újítsák meg az operatív irányítást szabályozó dokumentumokat és a vele együtt járó intézkedési terveket. Jelen közlemény a mértékadó vízkészletek hazai és nemzetközi gyakorlatban alkalmazott megközelítéseit tekinti át. Összefoglalásra kerülnek azok az indokok is, amelyek a jelenleg mértékadó kisvízi készlet meghatározásának megújítását igénylik. Röviden megemlítsük a vízkészlet-gazdálkodási mérleg éves szintű, havi bontású vizsgálatára való kiterjesztése céljából elvégzett fejlesztés is. A közlemény a továbbiakban betekintést nyújt a mértékadó kisvízi készletek becslése során felmerülő bizonytalanságok kérdéskörébe. Külön figyelmet kap a feltáratlan kisvízfolyások vízügyi értékeinek készletmeghatározása – összefoglalva a nemzetközi, valamint a hazai megközelítéseket. A tanulmány befejezőként összefoglalja a vízügyi ágazat előtt álló azon feladatokat, melyeknek ellátása biztosítja a jövőben a hatékony vízkészlet-gazdálkodást. A szerzők egyben hangsúlyozzák, hogy a határvízi, regionális és nemzetközi szervezetek égisze alatt zajló együttműködések fokozott figyelmet igényelnek, valamint a vízkészlet-gazdálkodás operatív szintű alkalmazásának fontosságát, ami túlmutat a klasszikus vízügyi üzemeltetői és szakigazgatási feladatokon.

Kulcsszavak

Kisvizek, vízkészletek, kisvizek változása, vízkészletek meghatározása, adathiányok pótlása, kisvízfolyások mértékadó készletei, mértékadó készlet felülvizsgálata.

Assessing low flow water resources

Abstract

The reasons of choosing the current subject were the changes in the hydrological regime of rivers in Hungary observed during the preparation of Integrated Water Management Plan (IWMP). The latter one constituted a part of river basin management plans (RBMPs) created within the EU's Water Framework Directive (WFD). The current paper reviews the changes in the river flow regimes those entering the Hungarian territories as well as the underlying hydrometeorological interactions in the upper river basins. It must also be taken into account that the water resources generated in the upper river catchments are of exceptionally importance for Hungary, while their use upstream from other the state borders are also increasing. The water demands are increasing in Hungary because of the gross of industrial and agricultural production. Based on the facts, it is necessary to devote increasing attention to the assessment of water resources during the low flow periods. It is also required to study the possibility of future changes in the hydrological regimes. Consequently, the need for updating the assessment of low flow values, which are laying the foundations for water use permitting procedures is obvious. The frequent droughts and as an outcome, the restricted water uses force the authorities to update the governing documents and along these the action plans. The paper is screening the approaches applied in assessing the low flow water resources applied in Hungary as well as in the international practice. The necessary updating of the currently applied methodology in water resource assessment required a new approach in water balance computations. The paper provides an overview about the uncertainties occurring in the assessment of water resources design values. Special attention is paid to the catchments not being monitored. The national and international approaches to assess the water resource design values are elaborated. The paper in the end collects the tasks for the Hungarian Water Sector in order to ensure an effective water resource management in the future. The authors emphasize that special attention should be paid to the water management co-operations in the bilateral cross-boundary contexts as well as in basin-wide frameworks and under the aegis of international organisations. The importance of implementation of water resources management that points beyond the traditional practice of running the water sector is highlighted.

Keywords

Low water flow, water resources, changes in low flow regimes, assessment of low flow, missing data issues, design low flow values, revision of design low flow values.

A KÖZLEMÉNY TÁRGYKÖRÉNEK LEHATÁROLÁSA

Jelen tanulmány a kisvízi készletek rendkívül kiterjedt tárgyköréből emel ki olyan témákat, amelyekkel a szerzők az utóbbi időben a VIZITERV Environ Nonprofit Kft. (a továbbiakban: VIZITERV Environ) munkáinak keretében foglalkoztak. A teljes témakört magába foglaló háttér projekt híján a szerzők nem törekedtek a téma teljeskörű feldolgozására, hanem azokra a kérdésekre összpontosítanak, melyek a megbízások tárgyát képezték. Ugyanakkor felhívják a figyelmet az előttünk álló feladatokra is.

Az országhatárt alkotó vagy azt metsző vízfolyásaink vízjárásában bekövetkezett csökkenő tendenciát mutató változásokról már több ízben beszámoltunk, többek között a VIZITERV Environ és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék munkatársaival a hidrológiai versus meteorológiai elemek alakulását egymással kapcsolatos összefüggésben vizsgáltuk (Báder és társai 2025). Ugyanakkor, a csökkenő vízkészletekkel szembenő az igény. A kialakult feszített vízkészlet-gazdálkodási állapot visszahat a vízhasználatok szabályozására, aminek az alapját képezik a mértékadó készletek. Tanulmányunkban ismertetjük a mértékadó készletek meghatározására elfogadott hazai és a más országokban alkalmazott megközelítéseket. A magyar szakmai körökben gyakran elhangzanak az érvényben lévő úgynevezett augusztusi 80%-os alapon nyugvó hazai gyakorlat megújítását igénylő vélemények. Ennek a megújulásnak előfutárjaként készültek el a Tisza-völgyben a havi időlépésű 12 hónapot felölelő vízkészlet-gazdálkodási mérleg numerikus megvalósításának módszertana és eszköze, valamint a jellemző vízkészlet-gazdálkodási scenáriók számításai.

A mértékadó vízkészletek számítása standard módon elvégezhető a mért adatok alapján. Azonban az eredményül kapott értékekben még így is rejlenek bizonytalanságok, amelyekre közleményünk felhívja a figyelmet. A feladat különösen bonyolult adathiányos vízgyűjtők vizsgálatakor. Az ilyen esetekben alkalmazható módszereket is ismerteti a tanulmány. Jelen közlemény a JAVASLATOK című fejezettel zárul, mely két fő irányba mutat. Egyrészt, összefoglalja azokat a feladatokat, melyeket a hazai mértékadó vízkészlet megújítása érdekében el kell végezni, másrészt vizeink hazánkban túli eredete miatt ráirányítja a figyelmet a vízkészleteink biztosításához szükséges vízügyi diplomáciai tevékenységre.

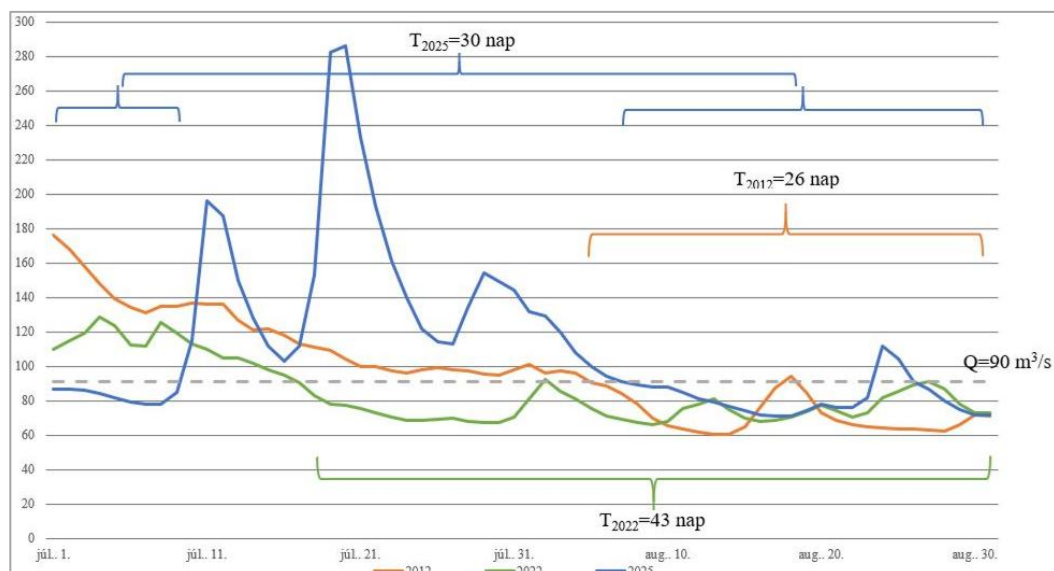
VÍZKÉSZLETEINK ALAKULÁSA

Felszíni vízkészletnek tekintjük a számottevő vízhozamú, jelentős területet behálózó vízfolyások által biztosított vízmennyiséget, amely vízhasználat szempontjából megfelelő minőségű. Nagyságrendileg megállapítható, hogy hazánk mintegy 100 vízfolyásának a hozama összességében 3000 km hosszon haladja meg a 100 l/s átlagos éves értéket. Ezek a víztestek jelentik a magyarországi vízkészletek alapját (Zsuffa 1996). Nagy folyóink (Duna, Dráva, Mura, Rába, Tisza, Szamos, Bodrog, Sajó, Hernád, Körösök és Maros) beérkező és az országon keresztül folyó vízmenyisége mintegy 100 km³/év. A hasznosított felszíni vízkészleteink mennyisége a partiszűrűsű vízkivételekkel

együtt mintegy 5 km³/év. Ily módon felszíni vízkészleteink nagyságrendben sokszorosan meghaladják az országunkban megvalósuló vízkivételeket (Kocsis 2024). Mindazonáltal, az éghajlatváltozás arra késztet minket, hogy egyre nagyobb figyelmet fordítsunk a kisvízi készletek mérésére, becslésére és hasznosításának mértékére. A helyzet komolyságára hívja fel a figyelmet két aszályos évünk összehasonlítása is. Nagy csatornáink vízkivételi kapacitása a Tiszából összesen mintegy 90 m³/s, mely mennyiségre az aszályos időszakban szükség is van különösen a Tiszántúlon. A kialakult helyzet komolyságát jellemzi, hogy 2012-ben 25 nap volt már, amikor a felső vízgyűjtőről érkező vízhozam nem érte el ezt a mennyiséget, jöllehet a korábbi évtizedekben az ilyen napok száma tíz alatt volt. A helyzet még súlyosabb volt 2022-ben, amikor is a kritikus napok száma elérte a 43-at (1. ábra). A vízhiányos napok száma 2025-ben 30 nap volt.

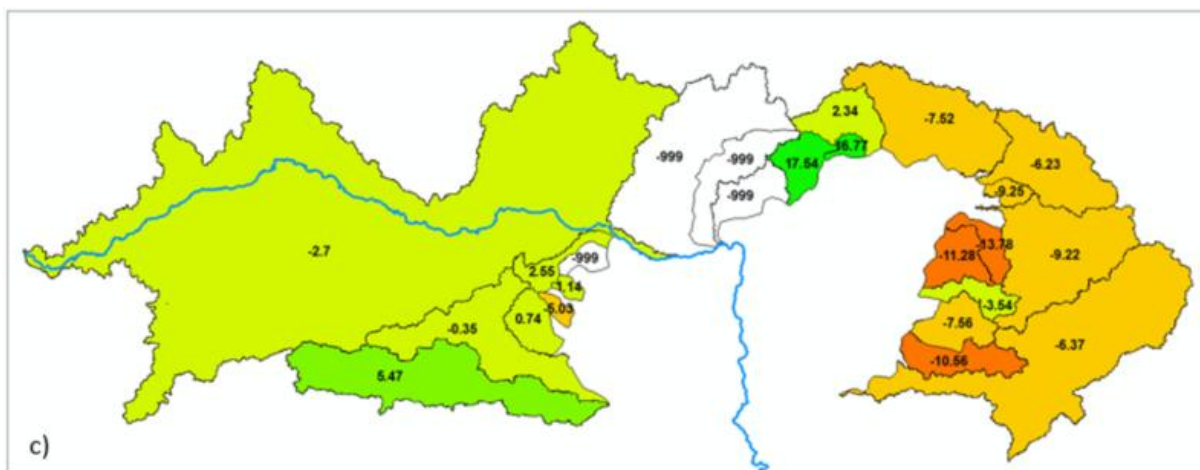
Az elmúlt 40 év két egymást részben átfedő 30 éves időszakára (1981-2010 és 1991-2020) megvizsgáltuk, hogy a vízmérleg főbb tagjainak területi átlaga hogyan változott a határszelvények feletti vízgyűjtőkön (Báder és társai 2025). A nyugati határszelvények vízgyűjtőin nőtt a csapadék mennyisége, kivétel a Duna belépő szelvénye feletti terület, mert ott értéke alig változott. A keleti határszelvények vízgyűjtőin csökkent az éves csapadékösszeg. A kiadási oldal legnagyobb tagja a területi párolgás, amely mindenütt nőtt. Ez azért rendkívül fontos jelenség, mert Magyarországon a területi párolgásnak a csapadékhhoz viszonyított aránya a 86-90%-ot is eléri. A lefolyás változása is differenciált képet mutat a nyugati illetve a keleti határszelvényeinkben. Például, a Dráva vízgyűjtőjén nőtt a lefolyás, míg a keleti határon belépő vízfolyások esetében az éves középvízhozamértékek jelentősen csökkentek (2. ábra).

A vízjárás területi és időbeni változékonysága következtében számos hazai tájegységünkben időszakos vízhiányok jelentkeznek, vagy legalábbis a vízmérleg feszítetté válik. A Tisza 12-havi Vízkészlet-gazdálkodási Mérlege (VIZITERV Environ 2022), és az Integrált Vízkészlet-gazdálkodási Országos Terv, IVOT (VIZITERV Environ 2023) azonosította a vízhiányos régiókat. A Tisza-völgy 12-havi vízkészlet-gazdálkodási mérlegére még a későbbiekben visszatérünk. Itt csak röviden azt jegyezzük meg, hogy két kiemelt térség, – a Nyírség érintett része és a Duna-Tisza közti Homokhátság – vízkészlet-gazdálkodási felmérésére, illetve a vízpótlási intézkedések előkészítésére a közelmúltban két tanulmány is készült (VIZITERV Environ 2020a, 2022). Az eredmények többek között rámutattak arra, hogy hazánk vízhiányos régióiban és térségeiben a vízkészlet-gazdálkodási egyensúly megteremtéséhez nélkülözhetetlen külső vízforrás biztosítása, amelyet egyedül nagy folyóink vízkészletére lehet csak alapozni. Ugyanakkor, kisvízfolyásaink hasznosítható vízkészletét is minősíteni kell, mivel ezekre, mint vízforrásokra, avagy mint befogadókra is szükség van. Kisvízfolyásaink kisvizeinek megbízható mérése, és a készletek becslése speciális feladat. Ilyen munkák támogatására az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) megbízásából a VIZITERV Environ (2020a) monográfiát készített.



1. ábra. A Tisza folyó Záhony szelvényének napi középvízhozamai 2012, 2022 és 2025 évek júliusában és augusztusában ($Q=90 \text{ m}^3/\text{s}$ jelöli a nagy csatornák műszakilag tervezett vízkivételi kapacitásának összegét)

Figure 1. Daily mean discharge values at the gauge Záhony on the Tisa River: July and August 2012, 2022 and 2025 ($Q=90 \text{ m}^3/\text{s}$ marks the summary of technically designed water withdraw capacities into the main irrigation canals)



2. ábra. Lefolyás éves átlag értékeinek változása a határszelvényekben %-ban kifejezve (Báder és társai 2025)

A határon túli vízgyűjtők jelzése a határszelvények vízhozamátlagai alapján: élénkzöld növekményt, halványzöld tónus jelentéktelen változást, sárga és piros tónus csökkenést jelöl

Figure 2. The changes (in %) of yearly mean discharge values (Báder et al. 2025)

The shading of the upstream catchment areas beyond the Hungarian state borders: bright green – increase, light green – not significant change, yellow and red – decrease

KISVÍZI KÉSZLETEK JELENTŐSÉGE

A kisvízi készletek számbavétele fontos, többek között vízkészlet-gazdálkodási, vízellátási, hajózási, környezetvédelmi és egészségvédelmi szempontokból. Az elmúlt néhány évben a folyók alacsony vízjárása már nemcsak az őszi kisvizek idején jelentkezett, hanem nyáron is, ezáltal időben egybe esett a legnagyobb vízigények jelentkezésével. Ezekben az időszakokban, illetve ezeket megelőzően jelentősebb csapadékmennyiség már hosszabb ideje nem hullott, ugyanakkor a léghőmérséklet viszonylag magas volt, a párolgás messze meghaladta a lehullott csapadék értékét. Következésképpen a mezőgazdaság öntözővíz igénye kiemelkedően nagy volt, viszont a vízállások a folyómedrekben alacsonyak voltak, és megnehezítették a vízkivételeket, mivel a megnövekedett emelő / szívó magasságok miatt a szivattyúk teljesítőképessége csökkent. Ezekben az

időszakokban a mérsékelt vízhozamok nem biztosították a bevezetett szennyvizek megfelelő fokú hígítását sem, ráadásul a csekély kisvízi áramlási sebességek miatt a szennyvízcsóvák elkeveredése is mérséklődött.

Konfliktushelyzet áll elő, amikor a vízhasználatok engedélyezését kérik és a már vízjogi engedéllyel rendelkezők igénylésének együttes mennyisége meghaladja a vízfolyásból – a vonatkozó rendelet alapján – meghatározott kivethető vízmennyiséget. A konfliktushelyzet tovább élődik, amikor aszály idején a már vízjogilag engedélyezett vízkivételekhez szükséges mennyiségek sem állnak rendelkezésre. Ilyen esetekben az érdekellentéteket a szabályozott elosztási gyakorlat és az előre megtervezett vízkorlátozások enyhíthetik. A vízkorlátozást két szabályozó elem vezérli, úgymint a felhasználók prioritási sorrendje, illetve az egyenmértékű teherviselés régiók között és az

egy- egyes vízhasználó csoportokon belül. Természetesen, a lakosság vízellátása, az egészségügy és gyermekgondozás prioritást élvez.

Az engedélyezési eljárás és a vízkormányzás 'normál' és 'rendkívüli' esetekben is a vízkészlet-gazdálkodási mérlegben alapul, amelynek a kidolgozása megköveteli a kisvízi készletek pontos felmérését. Mint ismeretes, a készletek meghatározásának biztonsága egy sor körülmény függvénye, többek között befolyással bír a vízhozam adatok pontossága is. Ez utóbbi további tényezők függvénye, például az elérhető mérő- és számítástechnikai eszközök állományától, a vízrajzi mérések térbeli és időbeni sűrűségétől, az alkalmazott módszertantól, és nem utolsósorban a műszaki személyzet felkészültségétől.

MÉRTÉKADÓ VÍZKÉSZLETEK MEGHATÁROZÁSA

A kisvízi mérőszámok jelzik az engedélyezett vízhasználatok mennyiségi és időbeni korlátait. Az engedélyek egyik változata rögzíti azt a vízmennyiség értéket, mely a mederben hagyandó vízhozam levonása után a vízfolyásból kivehető. Másik esetben a mederben hagyandó vízkészlet korlátjának áthágását megengedik, de időben és/vagy mennyiségben korlátozzák. Harmadik esetben vízminőségi határértékek szabják meg a hígítás céljából a mederben hagyandó vízmennyiségeket.

Mértékadó vízkészletek meghatározásának módszerei

Megvizsgálva a nemzetközi gyakorlatot, megállapítható, hogy az országok a mértékadó vízkészleteket, illetve a mederben hagyandó vízmennyiségek korlátjait – a vízhasználatok és a természeti adottságok függvényében – különböző követelmények alapján határozzák meg. A mérőszámok meghatározásának módja ezen túlmenően lehet országos, regionális, vagy helyszíni-specifikus.

A kisvízi vízhozamnak országonként számos definíciója ismeretes (ATIVIZIG 2025):

- kisvízi határérték,
- vízhozam küszöbérték,
- kritikus kisvízhozam érték,
- referencia vízhozam.

Zelenhasi és társai (1987) szerint a mértékadó kisvízhozam a 90%-os valószínűségű éves legkisebb vízhozamnak felel meg. Păduraru és társai (1974) szerint kisvízes időszakról akkor beszélhetünk, ha a vízhozam a legkisebb napi közepes vízhozam 50%-os értéke ($\leq Q_{\min 50\%}$) alá csökken. A wallingfordi Hidrológia Intézet tanulmánya a kisvízi készletek jellemzésében a napi átlagvízhozamok 95%-os tartósságú értékét $\{Q_{95(1)}\}$, valamint az éves hét nap hosszúságú minimumok átlagát $\{MAM_{(7)}\}$ tekintette kulcsfontosságú paraméternek (Gustard és társai 1992). Ezen mennyiségek fölötti készletek állnak a vízhasználók rendelkezésére. Ugyanez a tanulmány megemlíti nemzetközi példákat, például hogy Franciaországban a vízhasználat alatti folyószakasz minimális vízhozama a sokévi közepes vízhozamnak 1/10-e. Azon folyók esetében, ahol a sokévi közepes vízhozam meghaladja a $80 \text{ m}^3/\text{s}$ értéket, a biztosítandó legkisebb vízhozam a vízhasználat alatti folyószakaszon a sokévi közepes vízhozam legalább 1/20 ré-

sze. Németországban az $5 \text{ m}^3/\text{s}$ -nál kisebb vízfolyások esetében a sokévi átlag vízhozam egyharmadát kell a mederben hagyni.

A Meteorológiai Világszervezet (WMO 2008) vizsgálata szerint a kisvízi mérőszámokat számos országban a monitoring állomásokon a tíz év alatt mért legalacsonyabb napi $\{1Q_{10}\}$, vagy hét napos átlag vízhozamok $\{7Q_{10}\}$ statisztikája alapján számolják ki. Vagyis csak addig adható ki vízkivételi engedély, amíg biztosított a mederben maradó napi $\{1Q_{10}\}$ vagy hét napos átlag vízhozam $\{7Q_{10}\}$. A mozgó átlagokkal való számítás a rövid idejű fluktuációk kiküszöbölése érdekében történik. Általában használatos a hét napos átlagolás, de előfordul 30, sőt 120 napos mozgó átlagablak is. Természetesen minél szélesebb a mozgó ablak, annál jobban kisimulnak az ingadozások.

A minőségi alapú kisvízi mérőszám a mederben hagyandó, hígítást szolgáló víz mennyiségét a szennyezés előfordulási gyakoriságának és annak tartósságának alapján szabályozza (EPA 2021). A Folyamatos koncentráció kritériuma (CCC) a több (gyakran négy) napos átlagos szennyező koncentráció, melyet három éves időszak alatt egy esetben szabad csak túllépni. A kritikus időszak hossza lehet négy nap, de kiterjedhet akár 30 napra is. A kritérium célja, hogy a vízi környezet védelme céljából kellő mennyiségű hígító víz maradjon a mederben. Az akut hatásoktól való védelmet szolgálja a maximum koncentráció határértéke (CMC), mely egy-órás átlag koncentráció túllépését egy alkalommal engedi meg három évenként. A biológiai kritériumok meghatározása szennyező- és helyszíni-specifikus. A CCC-alapú szabályozás esetén a $\{7Q_{10}\}$ érték ajánlott kritériumi értéként, míg a $\{1Q_{10}\}$ érték javasolt a CMC alkalmazás esetében. Biológiailag meghatározott kisvízi határértékek esetében a CCC háromévenként egyszer engedi meg azt, hogy a négy napos átlagvízhozam a határérték alá süllyedjen $\{4B_3\}$, míg a CMC mérőszám egy napos határérték alá süllyedést $\{1B_3\}$ engedélyez három éves gyakorisággal. A minőségi, illetve az ökológiai kisvízi határértékeket a szennyezők típusa és/vagy a helyszíni biológiai adottságok függvényében határozzák meg.

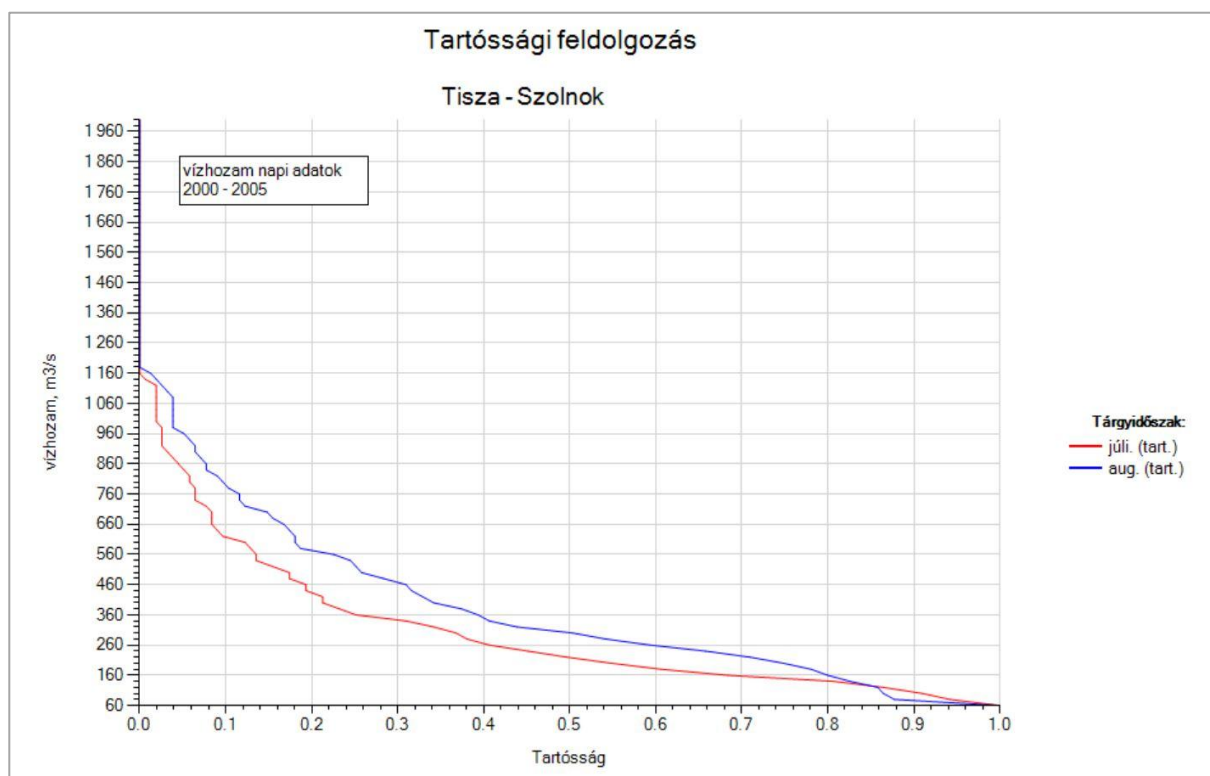
Mértékadó vízkészletek meghatározásának hazai szabályozása

A Kovács és Domokos (1996) szerzőpáros kutatási célból a magyarországi folyókra a Kille (1970) által kidolgozott módszert alkalmazta. Eszerint a referencia kisvízhozam értékek, a havi legkisebb vízhozamok 50%-os valószínűségi értékének feleltek meg. A jelenlegi hazai szabályozás nem ezt a módszert követi.

A magyarországi folyók mederben hagyandó legkisebb vízhozamait a „30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról” című miniszteri rendelet szabályozza. Az érvényben lévő szabályozás szerint vízkészlet-gazdálkodási engedélyeztetés során a vízigényeket a rendelkezésre álló készletekkel kell szembe állítani. A 8. § (2) szerint a felszíni vízkivételek, átvezetések tervezésekor a mederben hagyandó vízhozam értéke legalább a mértékadó kisvízi vízhozam (80%-os tartósságú augusztusi napi közepvízhozam) kétharmada. Tehát, a kiadott vízjogi enge-

délyekben igényelt vízmennyiségek összege nem haladhatja meg az augusztusi napi középvízhozamok 80%-os tartósságú értékének egyharmadát. Ezen mértékadó érték megválasztásának háttérében az a megfontolás rejlik, hogy az állam – mint a vízkészletek tulajdonosa – a lefolyásnak ezen kontingensét tekinti a társadalmi igények kielégítésére méltányos, szabályozott és biztonságos módon elosztható erőforrásnak. A megközelítés alapköve, hogy az országban általában – és ezen belül a Tisza magyarországi vízgyűjtőjén is – híján vagyunk az olyan méretű tározási lehetőségeknek, amelyekkel a sokéves középvízhozamhoz közelítő lefolyástartomány készlete hasznosítható lenne. Emiatt tekinti a magyar vízkészlet-gazdálkodás csak a sokéves középvízhozamnak mindössze felét-ötödét kitevő kisvízi tartományt elegendő biztonsággal rendelkezésre álló alapnak.

A szakértők véleménye szerint az augusztusi 80%-os vízhozam, mint mérőszám a sokévtizedes alkalmazás során bevált. Ugyanakkor ma már gyakran felmerül a felülvizsgálat igénye is. Az újraértékelést igénylők indokai között elhangzik, hogy az éghajlatváltozás következtében már nem feltétlenül az augusztusi vízjárás korlátozza a kisvízi készleteket. Példaként mutatjuk a 2000-2005 évek napi középvízhozamai alapján számított tartóssági görbéket, ahol a júliusi görbe alatta marad az augusztusinak (3. ábra). Ezen túlmenően, csúcsvíz-igények jelentkezhetnek júliusban is. Erre példa az aszályos 2022-es év, amikor a júliusban szolgáltatott vízmennyiségek országos szinten meghaladták az augusztusi értékeket (1. táblázat).



3. ábra. Napi középvízhozamok tartósságának alakulása a legnagyobb vízigényű hónapokban (2000-2005)
Figure 3. Duration curves during the months with largest water demands (years 2000-2005)

1. táblázat. Ténylegesen szolgáltatott vízmennyiségek 2022 júliusában és augusztusában (m³)
Table 1. Water volumes supplied in July and August 2022

Ténylegesen szolgáltatott vízmennyiség 2022-ben (m³)				
Hónap	Öntözés	Rizs telepek vízpótlása	Halastavak vízpótlása	Összesen
Július	30 083 555	9 632 350	46 462 108	86 178 013
Augusztus	15 158 028	4 816 175	23 304 954	43 279 157

Aszály esetén korlátozások bevezetésére van szükség, mivel a vízjogilag már lekötött vízmennyiségek nem állnak rendelkezésre. Vízkorlátozási intézkedések esetén a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény (továbbiakban: Vgtv.) 15.§ -a, illetve a mezőgazdasági vízszolgáltató művek üzemeltetéséről szóló 2/1997. (II.18.) KHVM rendelet előírásai szerint kell eljárni. A gyakorlatban a vízügyi igazgatóságok meghatározhatják az egyes folyószakaszokra vonatkozóan lekötött és rendelkezésre álló sza-

bad vízkészleteket, és szükség esetén – kisvízi időszakokban – ezek függvényében vezethetik be a korlátozó intézkedéseket (ATIVIZIG 2025). A Tisza-Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszerben (TIKEVIR) az Intézkedési Terv (OVF 2025) a vízkészlet kormányzásának alapja. Az itt alkalmazandó eljárás lényege, hogy az érintett vízhasználó rendszerek között a korlátozás mértékét a rendelkezésre álló vízkészlet, illetve a vízhasználók által előre bejelentett tényleges vízigények arányában

meghatározott redukciós tényező alkalmazásával lehet szabályozni. Ez a „valós idejű” vízelosztási gyakorlat feloldhatja a merev (augusztusi 80%-os) szabályozást. Ugyanakkor, a redukciós tényezők alapuló megközelítés területek közötti egyenlő teherviselést is biztosíthat.

Mégis mi az akadálya az ún. augusztusi 80%-os mérőszám felülvizsgálatának? Az okok között szerepel, hogy nem készült olyan hatásvizsgálat, amely az egész témakört átfogná, bemutatta a korlátozás ellentmondásait, a felülvizsgálat feltételeit és az új rendelkezés életbeléptetésének következményeit.

A hatásvizsgálat magába kell, hogy foglalja többek között az alábbi feladatokat:

- Kisvízi készletek meghatározását vízfolyásonként, jellemző szakaszonként, jelentős vízkivételeknél, stb.
- Éven belüli vízjárás alakulásának vizsgálatát.
- Vízhasználatok időbeni megoszlásának vizsgálatát az év során.
- Vízhasználatokat befolyásoló és korlátozó tényezők hatásának vizsgálatát a hasznosítható készletekre, melyek az
 - ökológiai vízigények,
 - hajózás igényei,
 - rekreáció vízigényei,
 - befogadóval szemben támasztott követelmények (pl. hígítás).
- Hasznosítható vízkészletek várható alakulását az éghajlatváltozás tükrében: vízfolyásonként, folyószakaszonként, körzetenként.
- A potenciális új mérőszámok hatását a vízhasználókra.
- Megvalósítás munkaigényét és költségvonzatát:
 - műszaki feldolgozások,
 - jogi dokumentáció (pl. vízjogi engedélyek felülvizsgálata),
 - hatósági eljárások,
 - átállás költségigénye stb.
- A gyakorlati alkalmazás részfeladatait.

SZÁMÍTÁSOK KISVÍZI KÉSZLETEKKEL

Statisztikai alapon nyugvó vízgazdálkodási mérleg

A statisztikai alapú vizsgálatok a vízgazdálkodási döntés-előkészítés, stratégiakialakítás, valamint a vízjogi engedélyeztetés során kerülnek alkalmazásra. A jelen alfejezet a statisztikai alapokon nyugvó vízkészlet-gazdálkodás módszertanát és gyakorlatát tekinti át tömören. A megközelítés lényege, hogy a már hosszabb ideje észlelt vízhozam-idősorok alapján meghatározott mértékadó vízhozamértékek kerülnek meghatározásra, és ezeket az értékeket vetik össze a nyilvántartott, becsült, illetve előrejelzett vízhasználatokkal.

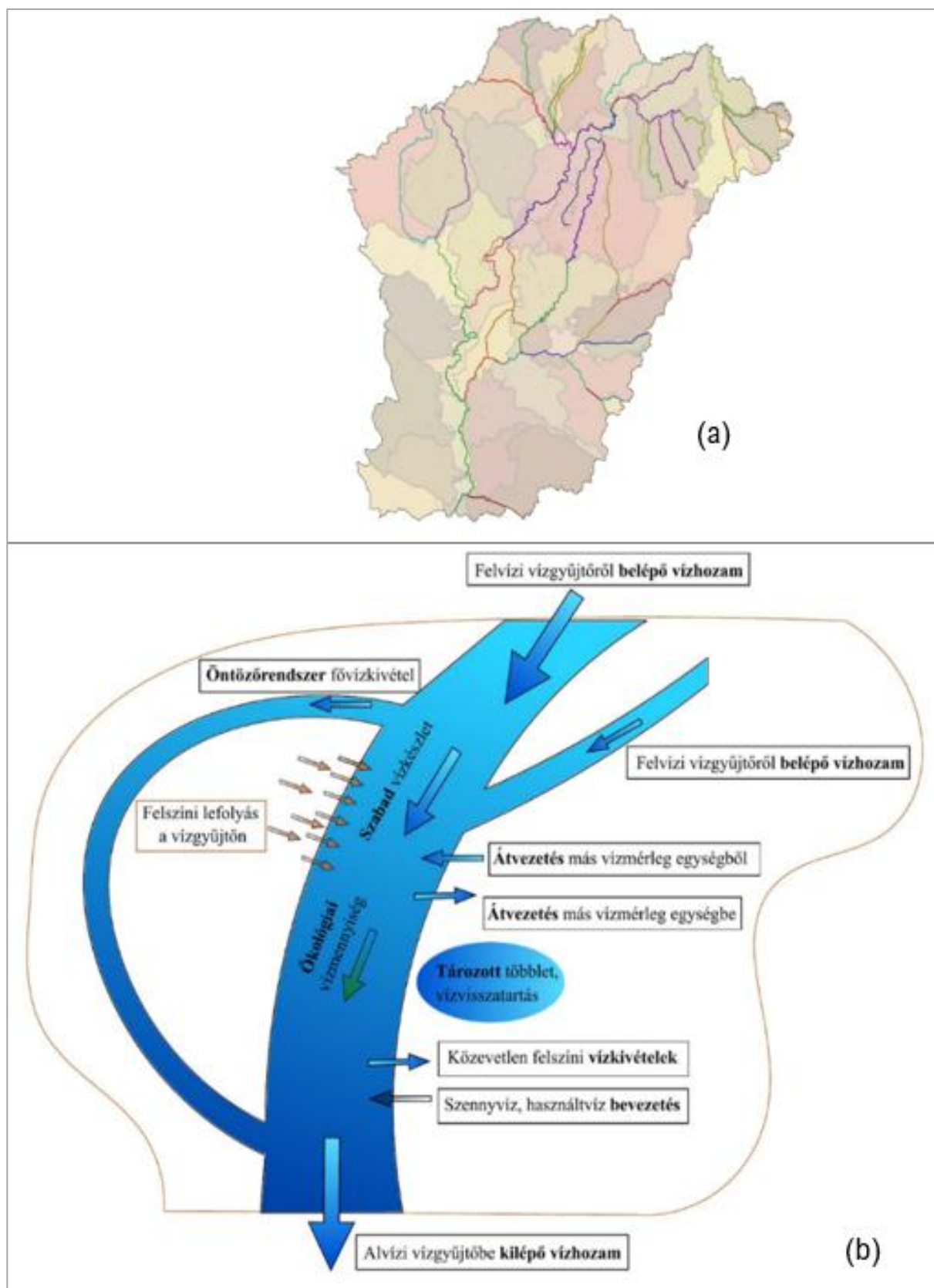
Mint már az előzőekben is szó volt róla, a hazai vízkészlet-gazdálkodás hagyományosan nem a lefolyás teljes mennyiségével, hanem csak a kisvízi időszak (augusztus) vízhozam-tartományával méri össze a vízigényeket. Ugyanakkor, évek óta erősödött az a szakmai elvárás, hogy legyen lehetőség több, esetleg valamennyi hónapra kiterjedő vízkészlet-gazdálkodási elemzésre is. A *VIZITERV Environ (2022)* elkészítette a teljes évet átfogó vízkészlet-gazdálkodási mérleg módszertanát, majd ezt követően annak numerikus eszközét, amely stratégiai döntések támogatására alkalmas. A mérleg területi felbontása igen részletes, mivel a projekt a Tisza-völgy hazai területét 57 vízfolyás-szakaszra, illetve az ezekhez tartozó 57 vízgyűjtőre bontotta fel (4. ábra).

A mértékadó vízkészlet-gazdálkodási helyzeteket a számítások során scenáriók jellemezték:

- vízkészlet bevételi elemeit alkották
 - a határon belépő vízkészletek, vagy azok jellemző értékei,
 - az országon belül képződő vízkészletek;
- vízhasználat kiadási oldalát képezték
 - a „nem-rendkívüli” vízhasználati helyzetek,
 - a szélsőségesen aszályos helyzetek (maximális vízigények);
- vízkormányzó és vízsztosztó létesítmények változatai pedig az alábbiak voltak:
 - létesítmények jelenlegi kapacitással,
 - kibővített szállítási kapacitások rekonstrukció, és/vagy kiépítés eredményeképpen.

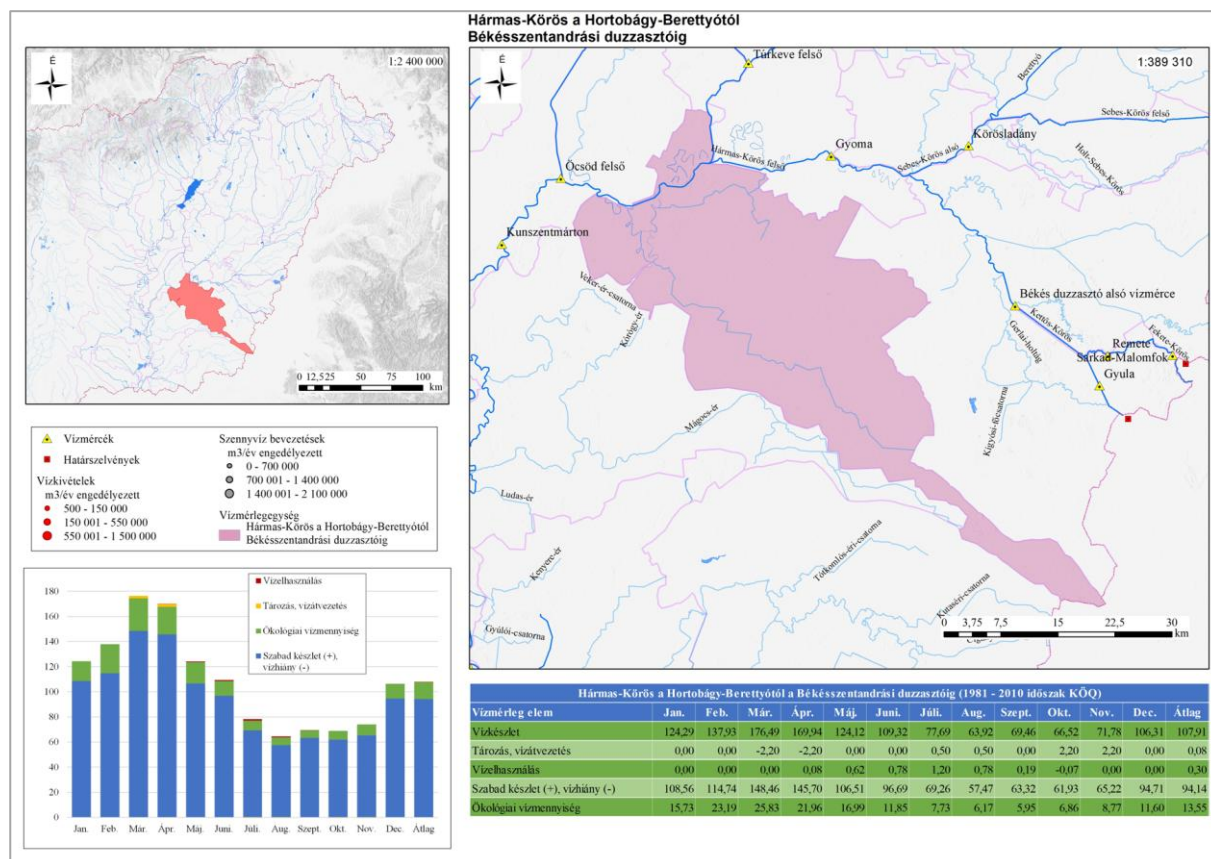
A számítási eredmények egyik példáját az 5. ábra mutatja be.

A magyarországi teljes Tisza-völgyet átfogó és azon belül részletes területi felbontást tartalmazó 12-havi vízkészlet-gazdálkodási mérleg és annak numerikus eszköze döntéselőkészítést szolgál. A feladat nem foglalta magába az új szabályozás teljes kidolgozását. Az elvégzett számítások különböző mértékadó, feltételezett és kritikus helyzeteket modelleztek, lehetővé téve az esetleges új vízkészlet-gazdálkodási szabályozások, éghajlatváltozás, hazai és határon túli lefolyást befolyásoló intézkedések hatásának értékelését. Minderről Szalay Miklós a Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) 2023. június 14-én megtartott rendezvényén részletesen beszámolt (*Szalay és Rátky 2023*).



4. ábra. A Tisza magyarországi vízgyűjtőjének vízkészlet-gazdálkodási területi felbontása (a) és az egységek vízkészlet-gazdálkodási elemei (b)

Figure 4. Territorial division of the Hungarian part of Tisza River-basin (a) and components of the water resource managements (b)



5. ábra. 12 havi vízkészlet-gazdálkodási mérleg havi középvízhozamok (KÖQ) a Békésszentandrás duzzasztónál
Figure 5. Water resource balance based on monthly discharge averages (KÖQ) at Békésszentandrás dam

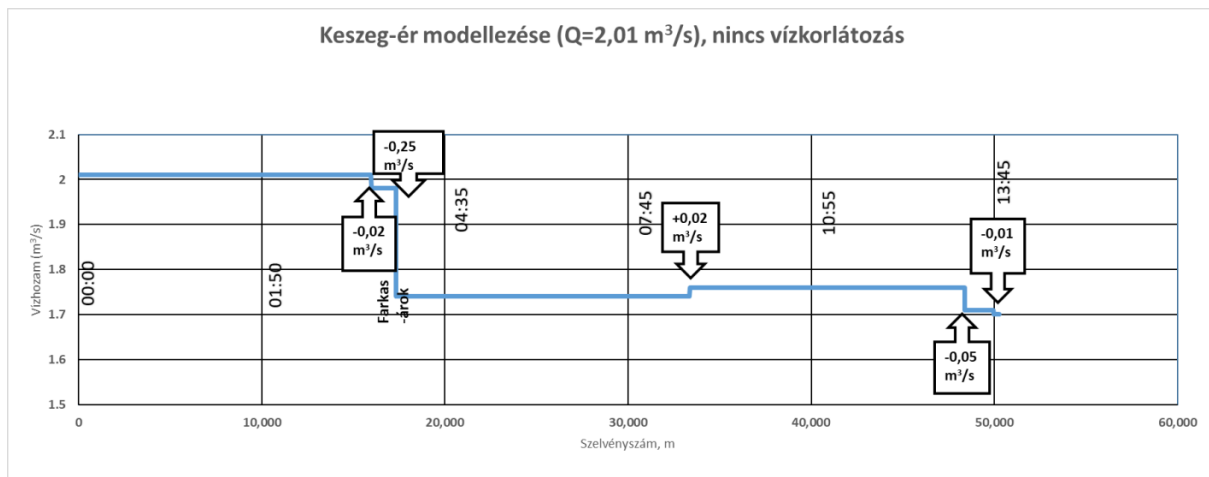
Dinamikus vízkészlet-gazdálkodási modell

A dinamikus vízkészlet-gazdálkodás is – hasonlóan a statisztikus eljárásához – a vízmérleg egyenleten alapul, azonban itt az összetevők valós idejű adatok. A dinamikus vízkészlet-gazdálkodás valós idejű, operatív feladatokat old meg, figyelembe véve a vízszállító, vízkormányzó és víztározó létesítmények hidraulikai tulajdonságait, a vízgyűjtőkön végbemenő hidrológiai folyamatokat. Ennek eredményképp az adott időszakban az aktuális vízigények számára a ténylegesen rendelkezésre álló vízkészlet elosztását alapozza meg. Az eljárás célfüggvényként alkalmazza a felhasználók pozícióját a prioritási listán, a gazdasági feladatokat és a környezetvédelmi megfontolásokat. Az ismertetett tényezők mellett kiemelten fontos, hogy a statikus és dinamikus vízkészleteinket mennyiségi- és minőségileg is fenntartható módon vegyék igénybe.

A felállított modellnek az operatív vízkormányzáson túlmutató képessége, hogy támogathatja a vízszétosztó rendszerek üzemelési szabályzatának felülvizsgálatát, a különböző üzemállapotokban követendő szabályok tesztelését.

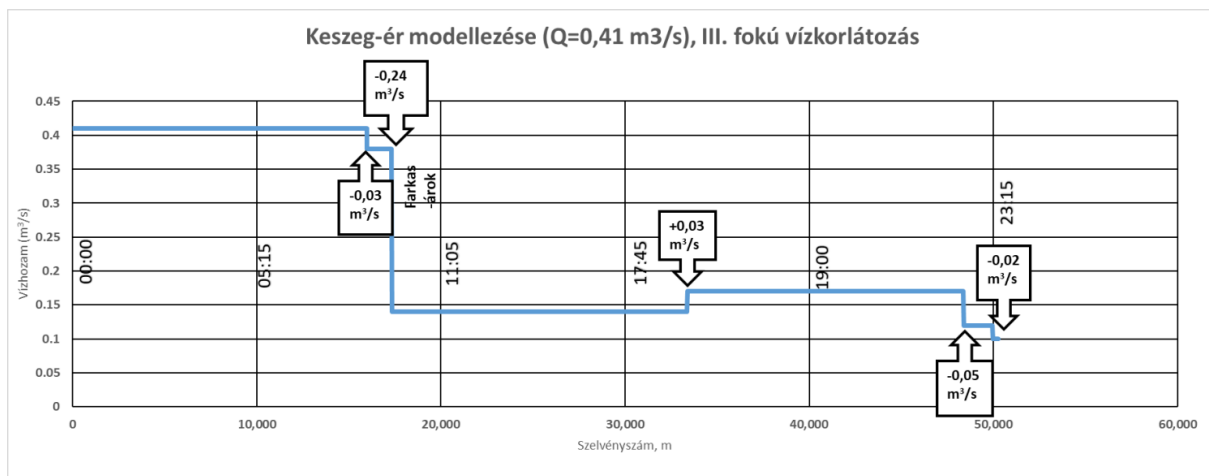
A dinamikus vízkészlet-modellezés számára elsődlegesen a HEC-RAS (River Analysis System) és a HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) programrendszerek (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center 2000 és 2008) kerültek kiválasztásra, többek között azért, mert a magyar vízügyben már más vonatkozásban is alkalmazásra kerültek.

A dinamikus vízkészlet-gazdálkodási modellezés összesen 72 db hidrodinamikai esetet foglalt magába. Minden modell a vízügyi igazgatóságok szoros és aktív együttműködésével, valamint jóváhagyásával készült. A HEC-HMS modellt alapvetően azokon a főként dombvidéki vízgyűjtőkön javasolt használni, ahol a lefolyás többé-kevésbé természetes. A síkvidéki területeken, ahol a lefolyás többségében mesterséges rendszerekben történik, a vízkészlet-gazdálkodás lényegében üzemirányítás jellegű, ezért itt az alkalmazandó modell a HEC-RAS. Az ezzel végzett számítási eredményeket mutatja be a 6. és 7. ábra (VIZITERV Environ 2020a).



6. ábra. Keszeg-ér vízkészlet-gazdálkodási hossz-szelvénye vízkorlátozás nélkül
(belépő vízhozam a felső szelvényben $Q = 2,01 \text{ m}^3/\text{s}$)

Figure 6. Water resource profile along Keszeg-creek in case of no-limitations in water uses
(input flow through the upstream cross-section $Q = 2,01 \text{ m}^3/\text{s}$)



7. ábra. Keszeg-ér vízkészlet-gazdálkodási hossz-szelvénye III. fokú vízkorlátozás esetén
(belépő vízhozam a felső szelvényben $Q = 0,41 \text{ m}^3/\text{s}$)

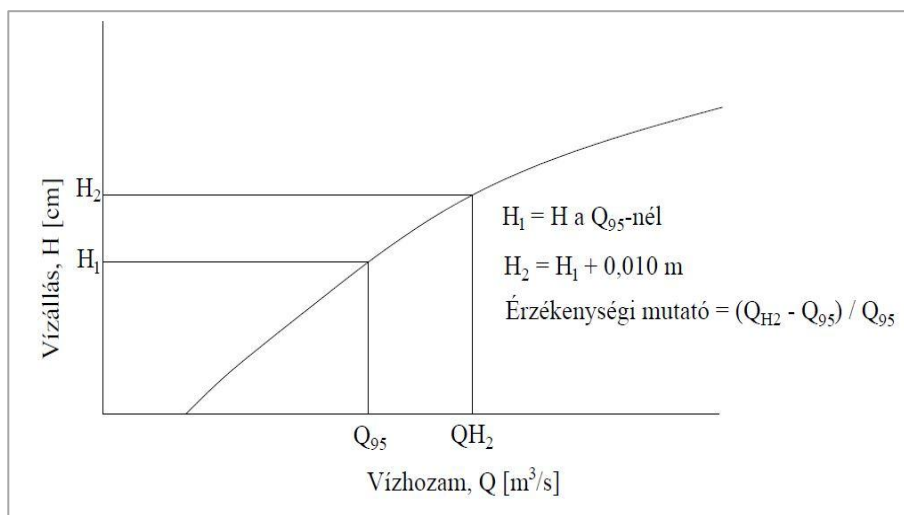
Figure 7. Water resource profile along Keszeg-creek in case III. stage of limitations in water uses
(input flow through the upstream cross-section $Q = 0,41 \text{ m}^3/\text{s}$)

MÉRTÉKADÓ VÍZKÉSZLETEK BECSLÉSI BIZTONSÁGA

A hazánkban a vízrajzi tevékenység által gyűjtött adatok egységes vízrajzi adatbázisba kerülnek (OVF 2023), melyhez a Műszaki Hidrológiai Statisztikai Programcsomag (MHstat2) csatlakozik (VIZITERV Environ 2021). Ennek a két elemnek a segítségével a mért adatok alapján a vízkészletek standard módon meghatározhatók. A kisvizek pontos meghatározásának közismert alaptétele, hogy megbízható eredményeket mért vízrajzi adatok alapján kaphatunk. Ugyanakkor a mért alapokon történő kisvízi becslés is rejt magában hibaforrásokat, tehát a bemenő értékek megbízhatósága bizonyos sávban fluktuál. A hazai szakmai körökben is köztudott, hogy a kisvízi készletek meghatározása különös figyelmet igényel, mivel az észlelési, valamint a mérési pontatlanságok viszonylag nagyok is lehetnek, melyek súlya kisvízi tartományokban fokozottan

torzíthatja az eredményeket. Ennek ellenére a szabályozásokban nincs benne az a követelmény, hogy jelentős ingadozás terhelheti a szabályozási mértékeket.

A távjelzős vízmércék vizsgálata kimutatta, hogy a vízállás leolvasásának hibái átlagosan 10%-os eltérést okozhatnak a vízkészletek becslésében (Freestone és Christian 1983). A napi átlagos vízhozamok meghatározásában elkövethető hiba aránya nő a vízállások csökkenésével, és a vízállás / vízhozam hibák együttesen akár 12%-ig terjedő eltérést okozhatnak a kisvízi tartományokban (Horner és társai 2018). A Wallingfordi Hidrológiai Intézet tanulmányában érzékenységi indexet vezettek be (Gustard és társai 1992), mely mutatja, hogy vízállás-vízhozam kapcsolatban mennyit változik a vízhozam értéke, ha a vízállásleolvasásában 1 cm nagyságú hiba történik (8. ábra).



8. ábra. Kisvizek érzékenységi indexe (Gustard és társai 1992)
Figure 8. Sensitivity index of lowflow (Gustard et al. 1992)

Összefoglalóan, a kisvizek becslésének hibaforrásai mért adatok esetén:

- pontatlan vízállás leolvasás / rögzítés;
- mederváltozások, melyek hatása erőteljesen jelentkezik alacsony vízállások esetében;
- vízhozamgörbe összetett jellege;
- vízhozam mérés átlagos hibája éves szinten különböző, az alkalmazott technika szerint átlagban $\pm 5\%$, az ADCP műszer esetében pedig $\pm 7\%$;
- sebesség-terület vízhozam számítások során az eseti mérési hiba elérheti, vagy, kissé meg is haladhatja a 30%-t (Horner és társai 2018).

A VIZITERV Environ (2020a) jelentése magába foglalta a kidolgozott kisvízi vízhozammérések megbízhatóságát célzó javaslatokat, melyekből a műszerek jókarban tartásának vonatkozásait az MHT XL. Szolnokon tartott Országos Vándorgyűlésen ismertették (Albert és Berke 2023).

VÍZKÉSZLETEK BECSLÉSE ADATHIÁNY ESETÉN

Magyarországon a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv második felülvizsgálata (VGT3) során 885 vízfolyást vettek nyilvántartásba, és ezek között nagy számban (mintegy 500) találtak jellegüknél fogva kisvízfolyásokat (OVF 2022). A kisvízfolyás osztályába olyan nyílt felszínű, természetes vagy mesterséges medrek kerültek, amelyek általában könnyen áthidalhatók, és legfeljebb néhány m^3/s vízhozammal rendelkeznek. Gyakori eset, hogy ezeken a vízfolyásokon a vízrajzi tevékenység nem rendszeres, vagy egyáltalán nincs. Azonban a hasznosítható vízkészletek szempontjából (avagy mint befogadót) ezeket a kisvízfolyásokat is minősíteni szükséges. A feladatot teljesítő hidrológus által alkalmazandó eljárás megválasztása függ a feladat típusától, a vízyűjtő természetföldrajzától, a munkára fordítható időmennyiségtől, de nem kevésbé az alkalmazó felkészültségétől.

A WMO a kisvizekkel foglalkozó tanulmányában összefoglalja az adathiányos esetekben előálló bizonytalanságok csökkentésére irányuló általános alaptételeket (WMO 2008):

- Megbízható becslés érdekében, mért adatok hiányában, a vizsgált vízfolyásra vagy annak szakaszára egyéb mérési szelvényekben, vagy a közeli vízyűjtőkön meglévő adatokat célszerű alkalmazni.
- A vizsgálandó vízfolyásról fel kell tárni azon kiegészítő információkat, amelyek a kisvíz becslését elősegíthetik.
- Korszerű elemző és becselő szoftvereket kell alkalmazni.

Adathiányos vízyűjtők kisvízhozamainak generálása az alábbi eljárásokkal végezhető el (Smakhtin és Watkins 1997):

Analógián alapuló regresszió

Először a vízrajzi szempontból feltárt vízyűjtőkre az éves vízhozamok átlagát kell kiszámítani. Majd a keresett mértékadó kisvízi tényezőket (például 75%-os {Q75}, 80%-os, {Q80}, 95%-os {Q95} tartósságú kisvízi indexeket kell meghatározni. Ezt követi a regressziós modell felállítása, amely kapcsolatot teremt az átlagolt vízhozam adatok előfordulási valószínűséggel meghatározott értékek között. Harmadik lépésben a hidrológiai szempontból analóg területek párosítását szükséges elvégezni. Lehetőség szerint minél több rendelkezésre álló releváns tényezőt kell összehasonlítani (topográfia, talaj, növénytakaró, csapadéjellemzők stb.). A párosítás megtörténte után, a vízrajzi szempontból feltárt területek számított átlagos adatait kell területarányosan transzformálni az adathiányos vízyűjtőkre. Majd a feltárt vízyűjtőkön felállított átlagolt versus valószínűségi lefolyás függvényeket lehet alkalmazni a mértékadó kisvízi jellemzők előállítására a hasonló (analóg) természetföldrajzi tulajdonságokkal jellemezhető adathiányos vízyűjtőkön.

A feltáratlan és feltárt vízgyűjtők sikeres párosításának legkritikusabb követelménye, hogy a vizsgált vízgyűjtők jellemzői lehetőleg nagyon hasonlóak legyenek. Annak elbírálása, hogy ezek a jellemzők mennyire hasonlítanak a két vízgyűjtő esetében igen összetett kérdésfelvetés. Egy vizsgált régióban például a hidrológiai „válasz” a hidrológiai folyamatokat szabályozó domináns vízgyűjtő-jellemzőktől függ (esésviszonyok, növényzet, talaj stb). Más esetben a meteorológiai viszonyok bírnak döntő hatással, pl. melegebb száraz éghajlat esetén a kisvízi vizsgálatok során az evapotranspiráció szerepe lehet uralkodó. Éppen ezért kell kiemelni, hogy a halmazokba rendezést nehéz automatizálni, ezért gyakran tapasztalt hidrológus intuíciójára is szükség van.

Térképezés

A lefolyás térképezését mért vízhozam adatok felhasználásával végzik. A legszélesebb körben alkalmazott térképezési típus a fajlagos felszíni lefolyás kontúrtérképe. Ezek a térképek - hasonlóan a domborzati kontúrtérképekhez - izovonalakkal jelölik a lefolyás szempontjából azonos területeket. A térképezést segíti az a feltételezés, hogy az egy adott mérőállomásra becsült, jellemző lefolyási tulajdonságok kiterjeszthetők a szelvényhez tartozó vízgyűjtő egészére. A számolt lefolyási jellemzők a mérőállomásokhoz tartozó vízgyűjtők középpontjaihoz rendelésével manuálisan, vagy számítógépes szoftverek segítségével megrajzolhatók a körvonalak. A kisvízi térképek megbízhatóságát több tényező befolyásolhatja: a mérőállomások száma és elhelyezkedése, a mért adatok minősége, a térkép felbontása stb. Mindemellett a kisvízi térképek egyszerűen és viszonylag gyorsan használhatók mérőállomással nem rendelkező vízgyűjtők lefolyásának becsüléséhez.

Ma már mind az analógián alapuló regresszió mind a térképezés feladatainak elvégzésében hatékonyan alkalmazhatók térinformatikai szoftverek.

Modellek

A mesterségesen generált vízhozam idősorok alternatív megoldást nyújthatnak a kisvízi becslések végrehajtására olyan vízgyűjtőkön, ahol nincs vízrajzi mérőállomás. Az elmúlt évtizedekben számos csapadék-lefolyás modell látott napvilágot, amelyek adatgenerálás céljára használhatók. A Hidrológiai Modellek Áttekintése című közlemény (Gayathri és társai 2015) kategorizálja is ezeket a modell-típusokat.

A determinisztikus modellek alkalmazásának az a lényege, hogy a hidrometeorológiai adatok és vízgyűjtő karakterisztikák egyértelműen meghatározzák a lefolyó víz mennyiségét és annak időbeni eloszlását. Determinisztikus (fizikai alapokon nyugvó) modellek alkalmazására akkor van lehetőség, ha rendelkezésre állnak bemenő adatként hidrometeorológiai idősorok (csapadék, léghőmérséklet, levegő páratartalma), valamint a lefolyásra ható vízgyűjtő karakterisztikák (terület nagysága és tagoltsága, medertulajdonságok, lejtő- és talajviszonyok, hidrogeológiai jellemzők, növénytakaró stb.).

Osztott paraméterű modellek alkalmazhatók akkor, ha a bemenő adatok és/vagy a vízgyűjtő karakterisztikák a területet mozaikszerűen lefedik.

Összevont paraméterű modell alkalmazására van csak lehetőség abban az esetben, amikor kiterjedt és összetett vízgyűjtők esetén a területre átlagolt természetföldrajzi jellemzők és hidrometeorológiai idősorok állnak rendelkezésre.

A konceptuális (fogalmi) modellek, a vízgyűjtőn végbemenő lefolyási, beszívargási, párolgási folyamatokat elemi tározók sorával reprezentálják. A bemenő hidrometeorológiai adatok azonosak a determinisztikus és az összevont modellek adatigényével. A modell alkalmazása első lépésként megköveteli a kalibrálást. Más szóval a modellel előállított vízhozamnak illeszkednie kell az észlelt vízhozam-idősorhoz. A kalibrálás tapasztalt modellezőt igényel, hogy a modellparaméterek értékeinek variálásával megtalálja az észlelt bemenő hidrometeorológiai és a kimenő vízhozam adatok közötti kapcsolatot. Konceptuális modell közvetlenül nem alkalmazható vízhozam adatok pótlására, mivel annak elemei tározók és a paramétereit nem lehet a vízgyűjtő természetföldrajzi tulajdonságaiból megbecsülni. A modell ilyen célú alkalmazására akkor van lehetőség, ha a modellt hasonló vízgyűjtőkre már kalibrálták, vagy a paramétereket regionálisan már feltérképezték.

Empirikus modellek egyszerű képleteken alapulnak és használhatók kisvízi indexek előállítására adathiányos vízgyűjtőkön, ha a körzetben találhatók azonos jellegű vízgyűjtők, melyek képletben alkalmazott paraméterei transzformálhatók a vizsgált vízgyűjtőre, vagy azokat már feltérképezték a régióban.

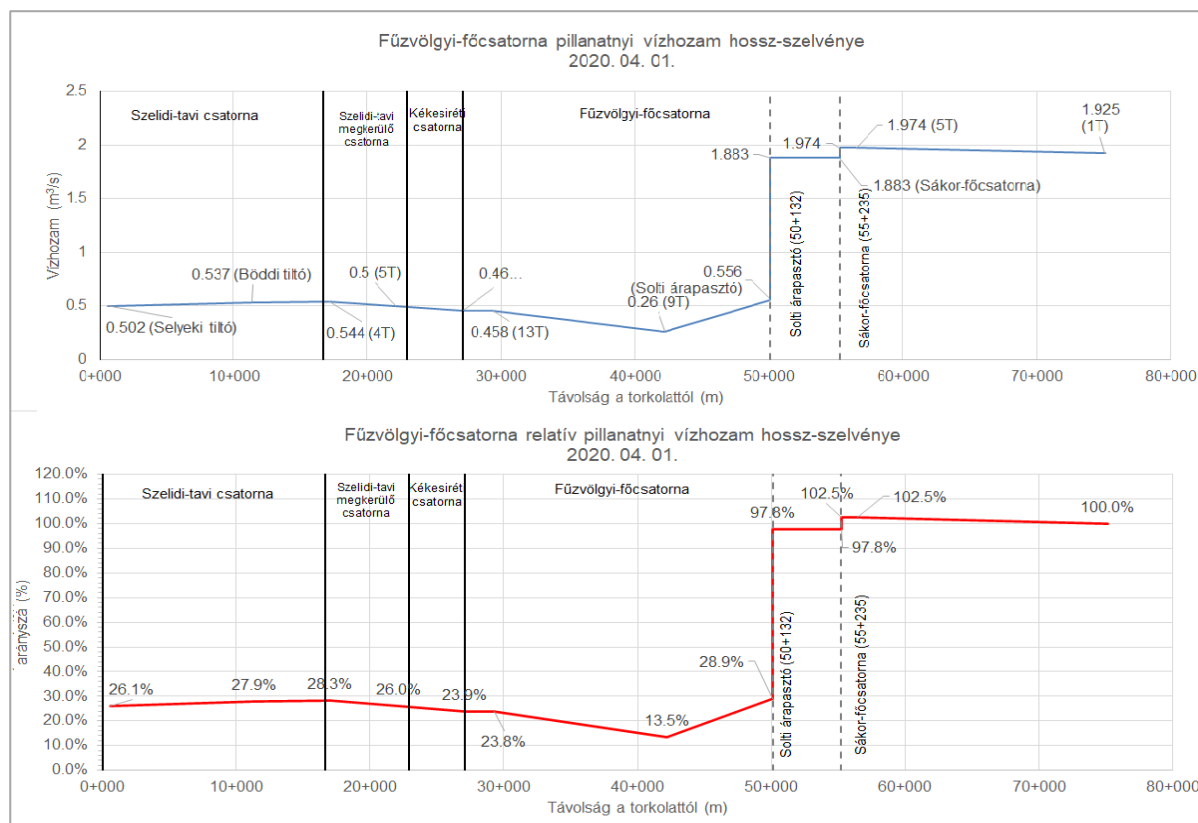
Vízhozam hossz-szelvény

A Magyarországon az 1900-as évek végén mért vízhozam hossz-szelvények összehasonlító elemzése kimutatta, hogy a vízfolyás torkolatától L_i távolságban t_n időpontban mért vízhozam és a torkolattól L_j távolságban t_n időpontban mért vízhozam aránya nagyjából megegyezik egy másik tetszőleges időpontban (t_m) ugyanezen helyszíneken mért vízhozamok egymáshoz viszonyított arányaival:

$$(Q_{(L_i,t_n)})/(Q_{(L_j,t_n)}) = (Q_{(L_i,t_m)})/(Q_{(L_j,t_m)}) \quad (1)$$

A pillanatnyi kisvízi vízhozam hossz-szelvény mérési és szerkesztői feladatait a Műszaki hidrológia című tankönyv II. kötete (Zsuffa 1997) részletezi. Első lépésként ki kell választani a fő vízfolyás mentén a jellemző szelvényeket. Ezek a mérőszelvények mellékvízfolyások torkolati szelvényei felett és alatt, valamint olyan szakaszokon szükségesek, ahol a vízjárásban a hossz mentén intenzív változás várható, például felszín alatti betáplálás, vagy víznyelés, víziközmű csatlakozás vagy műtárgy megléte miatt stb.

Pillanatnyi kisvízi hossz-szelvény példaként a Füzvölgyi-főcsatorna adatait (2020.04.01.) mutatjuk be (9. ábra).



9. ábra. Füzvölgyi-főcsatorna pillanatnyi vízhozam hossz-szelvénye (Sziebert 2021 után)

Figure 9. Instantaneous longitudinal profile of water discharges along the Füzvölgyi main irrigation canal (after Sziebert 2021)

A mederhossz mentén a méréseket közel azonos időpontban kell elvégezni, de mindenképpen úgy, hogy a mérések azonos hidrológiai állapotot tükrözzenek. A hossz-szelvény felrajzolása során a mérési pontosságot ellenőrizni kell. Ennek megfelelően, a mellékvízfolyás torkolati vízhozamát (Q_i), össze kell vetni a befogadó vízfolyás torkolat felett (Q_f) és alatt (Q_a) mért vízhozamaival. A mért adatok akkor tekinthetők elfogadhatónak, ha a vízhozamokra teljesül Kirchhoff I. törvénye (maximum 5%-os szórással):

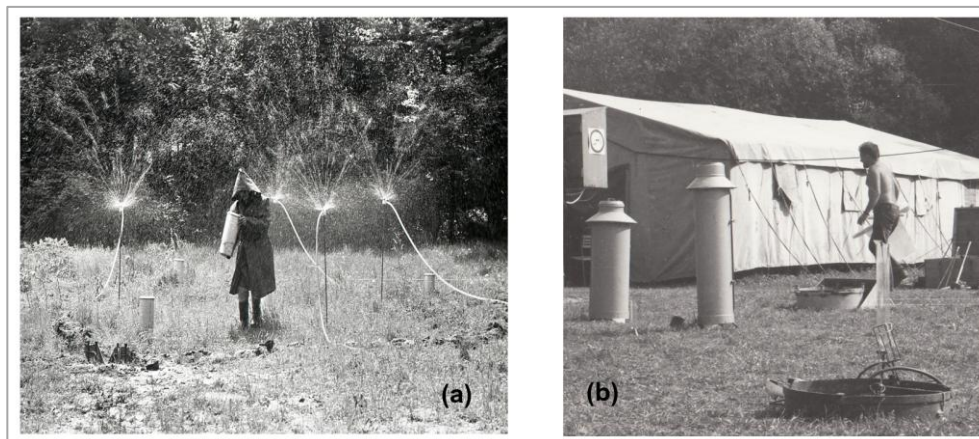
$$Q_i = Q_a - Q_f \quad (2)$$

Ha az eredmények nem elégítik ki a fenti (5%-os) kritériumot, akkor a méréseket meg kell ismételni. Amennyiben a hossz-szelvény felvétele egynél több napot vesz igénybe, a vízfolyás alapállomásán ellenőrizni kell a mérési idő alatt bekövetkezett vízhozamváltozást. Ha az eltérés meghaladja az 5%-ot, az eredmények értékelésénél fel kell tüntetni.

Ezen arányossági feltételt elfogadva, a kisvízi mértékadó vízkészletek kiterjeszthetők a vízfolyás mentén azon szakaszokra, ahol nincs vízrajzi mérés. Amennyiben szabványos mérőszámokat (például augusztusi $Q_{80\%}$ -os mértékadó vízkészletet) kell előállítani a vízfolyás mentén, akkor a mérési szelvényekben kiszámított mértékadó értékeket a hossz-szelvénnyel párhuzamosan lehet kiterjeszteni.

Expedíciós vízgyűjtő-feltárás

Amennyiben egy adathiányos vízgyűjtő specifikus jellege miatt a regionalizált hidrológiai paraméterek nem illeszthetők, vagy feltárt, analóg vízgyűjtő nem található a közelben, akkor a hidrológiai jellemzőket a cél-kisvízgyűjtőre nem lehet irodai módszerekkel meghatározni. Ilyenkor az adatgenerálást helyszíni (in-situ) mérésekre támaszkodva kell elvégezni. Vízgyűjtőterület hidrometriai feltárásának in-situ módszereit és gyakorlatát a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Vízudományi Karának Lászlóffy Woldemár Hidrometriai Mérőtelepén (Magyaregregy) több évtizede folytatott hidrometriai mérőgyakorlatainak kézikönyve részletezi (Eszékly és Zsuffa 1978). A módszer alapján a kisvízgyűjtőn jellemző terepviszonyok között elemi parcellákat jelölnek ki. A lefolyási parcellákat különböző intenzitással öntözik, és a csapadék mértékét mérőrédekkel regisztrálják (10/a ábra), a lehatárolt terület lefolyását Thompson-bukóval mérik. Az adatfeldolgozás eredményeképpen megkapják a lefolyás időbeni alakulását a csapadékinzertitás és a beszivárgási sebesség függvényében. A mérések eredményeit kiterjeszthetjük a vízgyűjtő azonos jellegű részterületeire. Klaszterekbe sorolt parcellák összessége mozaikszerűen lefedi a teljes kisvízgyűjtőt. További alapadatot biztosít a hidrológiai paraméterek becsléséhez a beszivárgás és csapadék értékeit egyidejűleg észlelő kísérlet (10/b ábra). Megjegyezzük, hogy ma már a képeken ábrázolt, az 1970-es években a magyaregregyi mérőgyakorlatokon alkalmazott mérési technikánál korszerűbb eszközök is léteznek, de az alapelvek változatlanok.



10. ábra. Magyarereggyi Mérőtelepen, 1970-es évek (a) Lefolyási tényező becslése elemi részvízgyűjtőn, (b) beszivárgás mérése - háttérben a mérőtelep alapítója Zsuffa István tanár úr (NKE VTK fotóarchívumból)

Figure 10. Measuring site at village Magyarereggy, years around 1970 (a) assessing of runoff coefficient on an elementary catchment area, (b) measuring infiltration – Professor István Zsuffa the founder of the field station is in the background (NKE VTK Photo archive)

Végezetül megjegyzendő, hogy a vízkészletek becsléséhez adathiányok esetében kvalifikált és nagy gyakorlattal rendelkező hidrológus szakemberekre van szükség. De ilyen szakember megléte esetén is a vízkészletek számításához szükséges adatok időben és térben korlátozott jellege, vagy teljes hiánya szűkíti a megbízható vízkészlet-gazdálkodás engedélyeztetésének, tervezésének és üzemirányításának lehetőségeit.

JAVASLATOK

A mértékadó vízkészletet szabályozó 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet szükségszerű felülvizsgálatának rá kell mutatnia a mostani korlátozások ellentmondásaira, ki kell dolgozni az új szabályozás feltételeit és meg kell vizsgálni az életbeléptetésének következményeit. A feladatok részletezését az IVOT anyaga tartalmazza (VIZITERV Environ 2023).

Vízkészleteink mennyiségi és minőségi vonatkozásban is nagymértékben függenek a Duna vízgyűjtőjén felettünk lévő országokban a vízkészletek állapotát befolyásoló hidrológiai folyamatoktól és emberi tevékenységektől. Függségünk azt igényli, hogy a kétoldalú határvízi és a Duna vízgyűjtőjére kiterjedő, valamint a nemzetközi szervezetek (ENSZ, EU, nemzetközi ügynökségek) keretében működő együttműködésekben képviselendő pozícióinkat áttekintsük. Ez rendkívül időszerű, mivel több kétoldalú egységes koncepció és a követendő tárgyalási irányvonal kialakítása céljából határvízi és egyéb együttműködésben a vízkészlet-gazdálkodás ma nem kap kellő figyelmet, illetve az esetek nagy részében nincs napirenden.

Az előrelátásunk érdekében a határszelvények a természetes lefolyás változását tükröző és a felső vízgyűjtőkön megvalósuló lefolyást befolyásoló beavatkozások következtében jövőben kialakuló vízkészleteink mennyiségét becsülni kell. Ennek a feladatnak a megvalósítása érdekében folytatni kell a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) és a VIZITERV Environ által megkezdett K+F munkát, amely a határainkon túli (felső) vízgyűjtők hidrometeorológiai változásait és vízkészleteink alakulását vizsgálja különböző időtávlatokban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban említett VIZITERV Environ által végzett és hivatkozott vizsgálatok szerzői között voltak: Ganszky

Márton, Rátky Éva és Sziebert János. Munkájukért külön köszönet illeti őket.

IRODALOMJEGYZÉK

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról.
- 2/1997. (II. 18.) KHVM rendelet a mezőgazdasági vízszolgáltató művek üzemeltetéséről.
- 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról.
- Albert K., Berke B. (2023). Forgószárnyas műszerek pontosságának vizsgálata (előadás), MHT XL. Országos Vándorgyűlés, Győr.
- ATIVIZIG (2025). A TIKEVIR üzemirányítás megújításához szükséges kritikus vízállások és vízhozamok felülvizsgálata. Összeállította: Szarvas Ferenc hidrológus. Kézirat. Szeged.
- Báder L., Iritz L., Nagy E. D., Négyesi K., Szalay M.† (2025). Határainkon túl eredő vízkészleteink 1981-2020 közötti változásának integrált elemzése. Hidrológiai Közöny 105. évf. 2. szám. <https://doi.org/10.59258/hk.19230>
- EPA (2021). Definition and Characteristics of Low Flows, United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/hydrowq/definition-and-characteristics-low-flows>
- Eszékly O., Zsuffa I. (1978). Vízgyűjtőterület hidrometriai feltárása – Mérőgyakorlat, Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Magyarereggyi Hidrológiai Kísérleti és Oktatási Telep.
- Freestone, H.J., Christian, R. (1983). Index to hydrological recording stations in New Zealand, Hydrology Centre, Christchurch.
- Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J. (1992). Low flow estimation in the United Kingdom. UK.
- Horner, I, Renard B, Le Coz, J., Branger, F, McMillan, HK, Pierrefeu, G (2018). Impact of stage measurement errors on streamflow uncertainty. Water Resours Research 54, pp. 1952-1976. <https://doi.org/10.1002/2017WR022039>
- Kille, K. (1970). Das Verfahren MoMNQ: ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigere Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse.

Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Sonderheft Hydrogeologie-Hydrochemie, Hannover.

Kocsis K. (2024). Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. 2. átdolgozott kiadás, Budapest, HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet. 188 p.

Kovács Gy., Domokos M. (1996). A kisvízi események jellemzőinek becslése. Vízügyi Közlemények LXXVIII. évf., 4. füzet.

OVF (2022). Országos Vízügyi Főigazgatóság - Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve – 2021, <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/vgt3-elfogadott/>, Budapest.

OVF (2023). Vízirajzi adatok, <https://www.ovf.hu/vizrajz-vizminoseg/vizrajzi-adatok>

OVF (2025). Vízkorlátozási Intézkedési Terv a Tisza Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszerben (TIKEVIR), Budapest.

Păduraru, A., Popovici, V., Marțian, F., Diaconu, C. (1974). Analiza factorilor meteorologici care au generat scurgeri minime remarcabile pe riurile României în perioada 1950-1970. Studii de Hidrologie XLII. IMH București.

Smakhtin, V., Watkins, D. (1997). Low Flow Estimation in South Africa. Rhodes University, Dél-Afrika.

Szalay M., Rátky É. (2023). A tizenkét havi vízkészlet-gazdálkodási mérleg modellről, az a mögött álló metodikáról, adatbázisról és a kapcsolódó felhasználói felületről. Hidraulikai és Műszaki hidrológiai Szakosztályülés (kézirat).

Sziebert (2021). Vízyűjtőfeltárás hazai gyakorlata (kézirat). Budapest.

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (2000). HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual.

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (2008). HEC-RAS Hydrologic Analysis System, User's Manual.

VIZITERV Environ (2020a). Az Országos Vízügyi Főigazgatóság 2020. évi szakmai feladataihoz szükséges szakmai, tervezési, oktatási és előkészítési feladatok, feladat: Vízkészlet-gazdálkodási célú mérések vízrajzi esz-köztárának vizsgálata.

VIZITERV Environ (2020b). Felszíni vízkészlet számítási módszerek a VGT-3 számára. Összeállította: Dr. Bálint Zoltán és Bálint Márton, Nyíregyháza.

VIZITERV Environ (2021). MHstat2 Felhasználói kézikönyv. Budapest.

VIZITERV Environ (2022). Tisza-völgy Tizenkét Havi Vízkészlet-gazdálkodási mérleg modellje, Összeállította: Szalay Miklós és Rátky Éva. Budapest.

VIZITERV Environ (2023). Integrált Vízkészlet-gazdálkodási Országos Terv (IVOT). Tanulmányt összeállította: Ganszky Márton, Iritz László és Szalay Miklós. Budapest.

WMO (2008). Manual on Low-flow, Estimation and Prediction. Svájce.

Zelenhasic, E., Salvai, A., Srdjevic B. (1987). A Tisza kisvízi eseményeinek sztochasztikus elemzése. Hidrológiai Közöny 1987 (67. évfolyam). 1. szám. 1987. Január-Február.

Zsuffa I. (1996). Műszaki hidrológia I. Budapest.

Zsuffa I. (1997). Műszaki Hidrológia II. Budapest.

SZERZŐK



IRITZ LÁSZLÓ okleveles hidrológus mérnök (Szt. Pétervári Hidrológiai Egyetem, 1972), PhD hidrológiában (Uppsala University, 1990), nyugalmazott egyetemi tanár (Lund Műszaki Egyetem Vízmérnöki Tanszék, Svédország), és címzetes egyetemi tanár (Pannon Egyetem), a VIZITERV Environ Nonprofit Kft. hidrológus tervező mérnöke. Hidrológiai és vízkészlet-gazdálkodási feladatokon dolgozik. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



LAURINYEZ PÁL okleveles infrastruktúra-építőmérnök (BME, 2012), a VIZITERV Environ Nonprofit Kft munkatársa 2017-2025 között, 2021-2025 között annak műszaki igazgató-helyettese volt, a Magyar Mérnöki Kamara tagja, a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



MÉHÉSZ NÓRA okleveles geográfus (ELTE TTK, 2010), okleveles hidrológus (ELTE TTK, 2010).

Hidrológusként dolgozik a VIZITERV Environ Nonprofit Kft.-nél. A Magyar Hidrológiai Társaság és a Magyar Földrajzi Társaság tagja.



SZALAY MIKLÓS[†] okleveles vízépítőmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem, 1975), okleveles hidrológus (Dipl. Hydrol, Delft, IHE 1980), az MHT tagja. A vízügyi ágazatban több évtizedes múlttal rendelkezik. Az utóbbi évek során az Országos Vízügyi Főigazgatóság Vízyűjtő-gazdálkodási Osztályán és a VIZITERV Environ Nonprofit Kft.-nél szakági szakértőként dolgozott vízkészlet-gazdálkodási és hidrológiai feladatokon. 2024. december 24-én hunyt el.

Szivattyús energiatároló létesítmények területalkalmassági vizsgálata az Észak-magyarországi régióban

Soha Tamás¹, Juhász Kristóf Péter², Hartmann Bálint³

¹ térinformatikus, F4STER – Future 4 Zrt. (e-mail:gis@f4ster.hu)

² doktorandusz, Villamos Energetika Tanszék, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. (e-mail:kristof.juhasz@f4ster.hu)

³ tudományos főmunkatárs, Villamos Energetika Tanszék, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. (e-mail:hartmann.balint@vet.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.22210



Kivonat

A tanulmányt képző vizsgálat célja az volt, hogy egy Észak-magyarországi területen azonosítsa azokat a helyszíneket, ahol kisléptékű szivattyús energiatároló (SZET) létesítményeket lehet kialakítani. A vizsgálat során felszíni vizekből, külszíni és mélyművelésű bányákból, valamint zöldmezős területekből álló helyszíneket kerestünk, ahol két víztározó medencét lehet létrehozni. A tervezett energiatároló létesítmények kis kapacitásúak (1-20 MWh), és építésük, üzemeltetésük méretüknél fogva várhatóan mérsékelt környezeti hatással járna. A 2 665 km²-es területet térinformatikai (GIS) környezetben digitális domborzatmodellel és vektoros adatokkal vizsgáltuk. A GIS szoftverek és modern eljárások segítségével területalkalmassági vizsgálatot végeztünk, figyelembe véve számos kritériumot egy többszemponút döntéshozatali módszert alkalmazva. A nemzetközi összehasonlító elemzések (benchmarkok) és jó gyakorlatok figyelembevételével, valamint a SZET technológia meghatározott műszaki paramétereinek alkalmazásával a helyszíneket többlépcsős leválogatásnak vetettük alá. Végül 21 helyszínt választottunk ki, amelyeket háromdimenziós megjelenítések illusztrálnak. A vizsgálat lefutása alapján a kidolgozott módszertan megfelelő a kisléptékű SZET-ek helyszíneinek meghatározására, illetve az eredmények szerint a mintaterület kifejezetten alkalmas ezen létesítmények megvalósítására. A vizsgálatot az EB Hungary Invest Kft. megbízásából a F4STER – Future 4 Zrt. végezte a jelen közlemény szerzői által. A közlemény tartalma a megbízó hozzájárulásával és az ipari titkok tiszteletben tartásával kerül közzétételre, a potenciális létesítményi helyszínek konkrét megjelölése nélkül.

Kulcsszavak

Szivattyús energiatároló, környezeti hatás, GIS, többszemponút döntéshozatali eljárás, digitális domborzatmodell.

Site suitability assessment of pumped-hydro energy storage facilities in the Northern Hungary region

Abstract

The aim of the study was to identify sites in a Northern Hungarian area where small-scale pumped-hydro energy storage (PHES) facilities could be developed. During the study, we searched for sites consisting of surface waters, open-pit and underground mines, and greenfield areas where two water storage basins could be created. The planned energy storage facilities have a small capacity range (1-20 MWh), and their construction and operation are expected to have a moderate environmental impact due to their size. The 2 665 km² area was examined in a geographic information system (GIS) environment with a digital elevation model and vector data. Using GIS software and modern procedures, we conducted a site suitability study, taking into account several factors using a multi-criteria decision-making method. Taking into account international benchmarks and good practices, and applying the specific technical parameters of the PHES technology, the sites were subjected to a multi-stage selection. Finally, 21 locations were selected, which are illustrated by three-dimensional visualizations. Based on the course of the study, the developed methodology is suitable for determining the locations of small-scale PHES s, and according to the results, the sample area is particularly suitable for the implementation of these facilities. The study was carried out by F4STER – Future 4 Zrt. and the authors on behalf of EB Hungary Invest Kft. The content of the article is published with the consent of the client and with respect for industrial secrets, without specific designation of potential facility locations.

Keywords

Pumped-hydro energy storage, environmental impact, GIS, Multi-Criteria Decision-Making, digital elevation model.

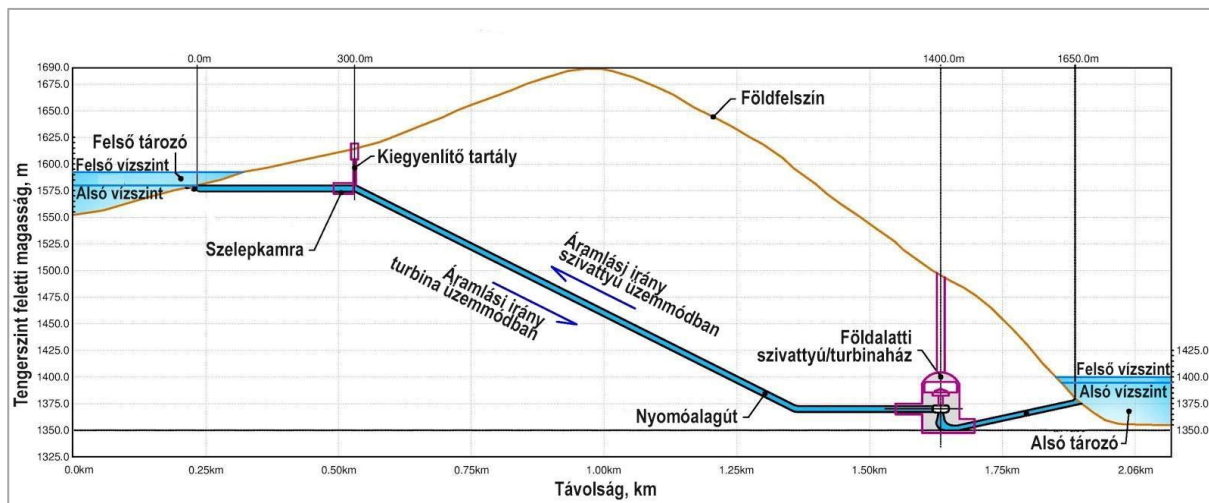
KISLÉPTÉKŰ SZIVATTYÚS ENERGIATÁROLÓK BEMUTATÁSA

A megújuló energiaforrás alapú energiatermelés arányának növekedése miatt a villamosenergia-rendszer rugalmasságának fenntartása érdekében a hálózati energiatárolás megvalósítása kiemelten fontossá vált az elmúlt években. Az energiatárolóknak két fő csoportja létezik. A közvetlen energiatárolók (szuperkondenzátorok, szupravezető mágneses energiatárolók) magát a villamosenergiát tárolják el

későbbi felhasználásra. A közvetett energiatárolók (szivattyús energiatárolók, sűrített levegős energiatárolók, lendkerekes energiatárolók, akkumulátorok, hidrogén üzemanyagcella) az energiát valamilyen más formába alakítva tárolják el. A szivattyús energiatárolók (SZET) a villamosenergiát mechanikus (helyzeti illetve mozgási) energiává alakítják át. A szivattyús-tározós vízerőművek általános felépítését az 1. ábra szemlélteti. A két víztározó – alsó és felső – között fogyasztási völgyidőszakban a felső

tározó feltöltése történik, azaz az erőmű szivattyú üzemben működik. Fogyasztási csúcsidőszakban fordított irányban, a felső tározóból az alsó tározó felé folyó víz a turbinálapátokon munkát végez, ezáltal villamos energiát

termel. Ez az erőművi generátorban megtermelt villamosenergia távozik a villamosenergia-rendszeren keresztül a fogyasztók felé (Gutiérrez-Arántegui és Lacal-Arántegui 2015).



1. ábra. Szivattyús energiatároló sematikus ábrája (Badarch 2015)

Figure 1. Schematic diagram of a pumped-hydro storage system (Badarch 2015)

Szivattyús-tározós erőműben tárolható összes energiamennyiség:

$$E = \eta \rho g H V \quad (1)$$

ahol: η : a szivattyús-tározós erőmű hatásfoka, ρ : a víz sűrűsége [kg/m^3], g : gravitációs gyorsulás [m/s^2], H : a tározók közti magasságkülönbség (esés) [m], V : szállítandó víztérfogat [m^3].

A nagyléptékű energiatárolás ma ismert leghatékonyabb módja a szivattyús energiatárolás alkalmazása. Ez azt jelenti, hogy nagyobb mennyiségű energia tárolható bennük, mint a többi ma ismert energiatárolási technológiával (akkumulátor, lendkerekes energiatároló, sűrített levegős energiatároló stb.). Ezáltal nagyon hasznos elemei hálózati tartalékként (frekvencia- és feszültségszabályozáshoz) a villamosenergia-rendszernek. Jelenleg a szivattyús energiatárolás kiforrott technológiájának számít. 2025-ben szerte a világon több mint 190 GW SZET üzemelt, és az egyre bővülő kapacitások földrajzi irányát jól szemlélteti, hogy a globálisan 150 GW építés alatt álló kapacitásból 90 GW Kínában valósul meg (URL4).

A technológia kisléptékű változata is létezik, azonban ez még további fejlesztésre, javításra szorul (Crettenand 2012). A kisléptékű szivattyús-tározós vízerőműveknek kisebb a környezeti hatása – azaz szén-dioxid ekvivalense – a nagyléptékű kialakításánál és szerepe a helyi vagy regionális területre terjed ki. Alkalmazásuk csökkenti a fogyasztási csúcsigényt, ezáltal segítségükkel elkerülhető vagy elhalasztható a hálózat megerősítése. A kisléptékű szivattyús-tározós erőművekkel a kis- és középfeszültségű vonalak feszültségproblémái is kezelhetők (Rogea és társai 2017).

A kisteljesítményű szivattyús tározós vízerőművi technológia a 100 kW és 10 MW közötti beépített teljesítményű szivattyús energiatárolókra vonatkozik. 2012-ben Svájc villamosenergia-termelésének 57%-át az ország vízerőműveinek termelése adta, amelyből 6% (3,8 TWh) kisteljesítményű szivattyús-tározós vízerőművekből származott. A kis vízerőművek technológiája alapvetően fejlett

megújuló energiaforrás alapú technológiának számít, azonban a környezetbe illesztés, illetve a létesítési költségek terén még további fejlesztés szükséges. A technológia egyik nagy előnye a többi megújuló energiaforráshoz képest az alacsonyabb energiatermelési ár. A másik előnye pedig az, hogy a technológia összekapcsolható más technológiákkal, például az ivóvíz vagy az öntözővíz hálózattal (Crettenand 2012).

A kisteljesítményű szivattyús-tározós vízerőművek előnyös tulajdonságain (Crettenand 2012):

- megújuló energiaforrás,
- nagyon magas hatásfok (más technológiákhoz képest, 80% feletti),
- rövid megtérülési idő (high energy payback ratio),
- nagyon alacsony szén-dioxid-kibocsátás,
- hozzájárul az ellátásbiztonsághoz,
- munkahelyteremtés (építőipari munkák),
- többcélú infrastruktúrába integrálható (öntöző- vagy ivóvízhálózat),
- hosszú élettartam.

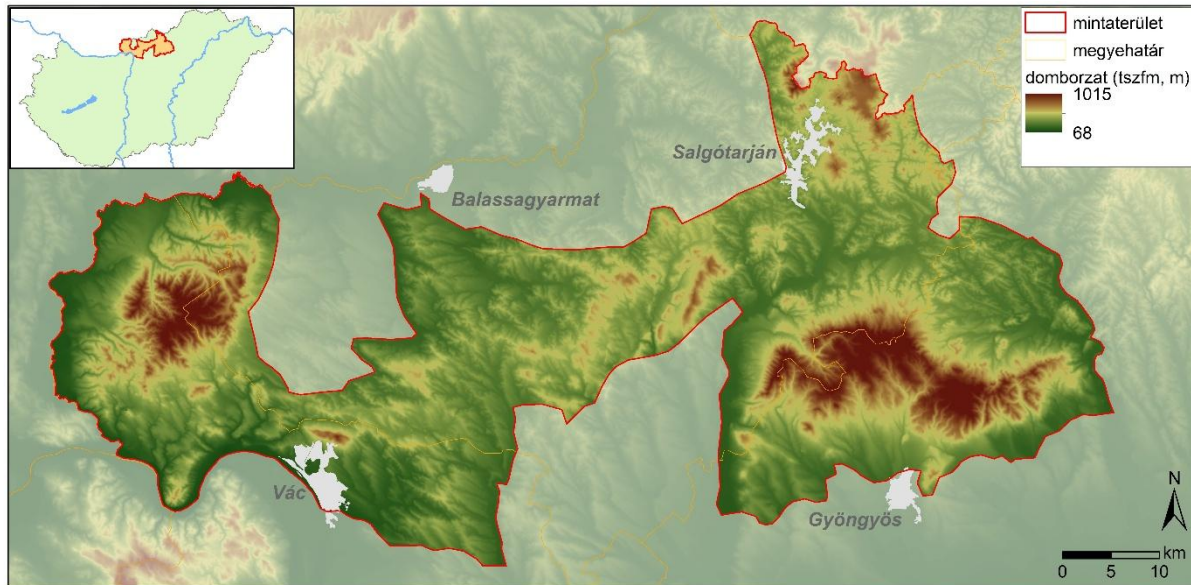
A kisteljesítményű szivattyús-tározós vízerőművek hátrányos tulajdonságai (Crettenand 2012):

- a környezetre és a tájra gyakorolt negatív hatás (megfelelő intézkedésekkel korlátozható),
- villamosenergia-termelés jelentősen függ a vízgazdálkodástól,
- hagyományos villamosenergia-termeléshez képest magasabb termelési költségek,
- jelentős társadalmi elutasítás,
- az üledékek feltölthetik a víztározókat, csökkentve ezzel a tározókapacitást és az összes eltárolható energiamennyiséget,
- néhány nagyobb teljesítményű vízerőművel gyorsabban elérhető a tagországok által vállalt Európai Unió célkitűzései, mint több, kisebb teljesítményű vízerőművel,
- regionális területtervezés nélkül feldarabolhatja, részekre oszthatja a vízgyűjtőt (csökkenő tárolható energiamennyiség).

VIZSGÁLT TERÜLET

A vizsgálati terület a megrendelő igényeinek megfelelően és a F4STER szakértőinek javaslata alapján a két fél által közösen lett kijelölve. A terület Észak-Magyarország azon vidékeit foglalja magába, melyek 1) Nógrád vármegyében találhatók vagy azzal szomszédosok, 2) a vizsgált technológia számára megfelelő domborzati adottságokkal rendelkeznek. A vizsgált terület emiatt természetföldrajzi objektumokhoz (folyók), adminisztratív határokhoz (északi országhatár) és a hazai kistájakhoz (*Dövényi 2010*) igazodik. A vizsgált terület térképét a 2. ábra mutatja be. A határok a terület nyugati végétől indulva a következők:

A Visegrádi-Dunakanyar dunai bal partja az Ipoly torkolatától a Gombás-patak torkolatáig, a Kosdi-dombság déli pereme mentén a Galgáig. Északra a Nézsa-Csővári-dombság, a Központi-Cserhát, a Zagyva-völgy északi része Lőrincig, a Mátra-lába és a Nyugati-Mátra, Magas-Mátra, a Déli-Mátra mentén a Tarna jobb partjáig, a Parádi-Recski-medence, a Felső-Tárnai-dombság nyugati pereme, a Medves-vidék az országhatárig, a Karancs, a Központi-Cserhát északi pereme az Ór-heggyel, a Terényi-dombság nyugaton a Lókos-patak mentén a Börzsönyi-peremhegységig, majd a területet lezárva az Ipoly mentén a folyó dunai torkolatáig.



2. ábra. A vizsgált terület elhelyezkedése és domborzata
Figure 2. Location and topography of the area investigated

A terület összesen 2 665 km² kiterjedésű. Domborzatát és vízrajzát tekintve nagyon változatos. A Duna Vác vízmérce magassága 98,12 mBf (mederben), legmagasabb pontja a Mátrában lévő Kékes (1 014 m). Vízrajzát tekintve megtalálható a hazánkban legmagasabb vízhozamú Dunától a közepes vízhozamú Ipolyon és Zagyván át egészen az időszakos vízfolyású völgyekig minden kategória, illetve természetes és mesterséges állóvizekben is gazdag. Diverzitásának köszönhetően alkalmas a SZET-ek fogadóképességének részletes vizsgálatára.

ADAT ÉS MÓDSZER

Felhasznált adatok

A felhasznált adatok térinformatikai szempontból alapvetően két csoportra bonthatók: raszteres és vektoros adatok. Mindkét kategória elemei a későbbiekben ismertetett megbízható, magas minőséget képviselő forrásokból származnak, előállításukat tekintve általánosan naprakésznek tekinthetők, melyeket különböző ellenőrzésekkel (ortofotós validálás, korábbi terepi ismeretek, adatszolgáltatók véleményének kikérése) biztosítottunk. Az adatkategóriák elemeit a következőkben ismertetjük.

A megrendelő által megjelölt SZET méretkategória és az ilyen lépték vizsgálatához szükséges felszíni leképezés minőségének biztosítása érdekében 10 m-es terepi felbontású digitális domborzatmodellt (DDM) alkalmaztunk. A DDM a jelen tanulmányban elvégzett térinformatikai

helyszínválasztási eljárások „lelkét” képviseli. Terepi felmérésekből származik és maradéktalanul lefedi a teljes mintaterületet. A 10 m-es felbontás azt jelenti, hogy a DDM rácshálójának minden pixele 10 m oldalhosszúságú, saját tengerszint feletti méterben (egész szám) kifejezett magassági értékkel rendelkezik. A hazánkban, ilyen nagy kiterjedésű területekhez használt domborzatmodellekhez képest kiváló minőséget képvisel.

A DDM-en előforduló esetleges rejtve maradó kisebb hibák kiküszöbölése érdekében simítást végeztünk a környezetéhez képest negatív irányban jelentősen eltérő pixelek javítására (Fill művelet az ArcMap-ben). A kevés esetben megjelenő teraszosságot és árkos leképződéseket a hibás részek kivágásával, a környezetben lévő pixelek értékeit felhasználva, interpolációval javítottuk. Az egyes természetföldrajzi és művi elemek pozíciójának ellenőrzéséhez további raszteres állományokat, így recens légi- és űrfelvételeket alkalmaztunk.

A vektoros állományok egy részét a tájékozódást segítő, ideiglenesen használt topográfiai elemek tették ki, melyek a hivatalos, 2019-es Országos Területrendezési Tervből (OTRT) származnak. További vektoros adatok a vizsgálat során ténylegesen felhasznált olyan objektumok, mint a természetes és mesterséges víztestek, a külszíni bányák és a mélyművelésű bányák. A víztestek (folyó és állóvíz egyaránt) részben hivatalos adatbázisokból (OTRT,

vízügyi igazgatóságok korábbi adatbázisaiból, Vízügyi-Törvény- és Gazdálkodási Tervből, részben pedig a légi és űrfelvételek interpretációjának manuális létrehozásából származnak. A külszíni bányák az MBFSZ-től (*URL1*) és a Corine Land Cover (*URL2*) páneurópai területhasználati adatbázisából származnak. Ezen adatok és a valós lehetőségek között nagy eltérést tapasztaltunk, ezért a bányászat okozta felszíni tájsebek listáját ugyancsak űrfelvételek interpretációjával jelentősen kibővítettük. Emiatt az egyes bányák aktuális státusza, a művelési terület pontos kiterjedése és a bányagödörök mélysége bizonytalan, melynek ellenőrzésére helyileg illetékes szakértő bevonását és helyszíni szemlét javasolunk. A bizonytalanság nemcsak térfogatcsökkenést, de adott esetben a bemutatott értékhez képest nagyobb térfogatot is jelenthet, a bemutatott térfogatertékek ezért fenntartással kezelendők. A bányagödörök horizontális kiterjedése mindezek ellenére, az alkalmazott vizsgálati léptéket figyelembe véve, nagyságrendileg megbízhatónak tekinthető. A mélyművelésű bányákra vonatkozó információkat a mintaterületen Megrendelő bocsájtotta rendelkezésünkre a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságának (korábban MBFSZ) adatközlése nyomán. Ez az adatbázis az aknák felszíni kibukkanási helyeit és az aknák neveit tartalmazza, azonban a mélységükről, térfogatukról, állapotukról és egyéb paramétereikről nem szolgál információval.

Ez alapján a területen azonosított és a vizsgálat szempontjából releváns objektumok:

- víztestek: 144 db, a legnagyobb (a Dunát és az Ipolyt kivéve) 160 ha kiterjedésű, átlagosan 67 154 m²;
- külszíni bányák: 72 db, a legnagyobb 20 ha területű, átlagosan 34 660 m²;
- mélyművelésű bányák: 140 db (pontosított objektumok).

A Zagyva, annak hossza és esése miatt több szegmensből tevődik össze, és ugyanez igaz a több kitermelési foltból halmazt alkotó bányaterületekre is. A vizsgálat további lépései okán ezek külön objektumként voltak kezelve. A további vektoros állományok, illetve a domborzatmodell részletesebben a területalkalmassági vizsgálatot leíró fejezetben szerepelnek. A tényleges vizsgálatok megkezdése előtt különféle adatkezeléseket végeztünk az állományokon: hibás elemektől való tisztítás, projekció Egységes Országos Vetületi rendszerbe, fájlformátumok közötti konverziók, adatbázis-rendezer, geometriai és attribútum-hibajavítás, előkészítés a modellezésre.

Módszertan

A vizsgálatok elvégzéséhez az ArcGIS térinformatikai szoftver 10.4-es változatát, Surfer 3D grafikus szoftvert és MS Office eszközöket használtunk. Az alább bemutatott módszertan *Soha (2017)* korábbi módszertanának továbbfejlesztett és a piaci igényekhez igazított változata.

A mintaterület SZET-létesítmény fogadására való alkalmasságát meghatározó, jelen kutatásban figyelembe vett tényezők a domborzat, a területhasználat, a lakott területek elhelyezkedése, a védett természeti területek, az úthálózat és a villamosenergia-hálózat hasonló jellegű területalkalmassági és telephelyválasztási vizsgálatok során

általánosan alkalmazott kritériumok, és figyelembevételük a SZET esetében is indokolt. Jelen esetben a víztestek, külszíni és mélyművelésű bányák ugyancsak a területalkalmassági kritériumok sorát bővítik.

Az egyes területalkalmassági kritériumok térbeli aspektusát SZET létesítmény telepítési kedvezőségének szempontjából kategorizáltuk, és az egyes kategóriákat egy 1-10-ig terjedő skála értékeihez társítottuk. A skálán az 1-es érték a legkevésbé alkalmas, míg a 10-es a legalkalmasabb területeket jelöli, ezek tehát területalkalmassági pontértékek. Azon területek, melyek az adott kritérium alapján alkalmatlanok SZET befogadására („tiltott területek”), 0 értéket kaptak. A figyelembe vett kritériumokat és azok tulajdonságait, értékeléseiket a következőkben a tanulmány szövegesen ismerteti, míg a kategóriákat és azok pontértékeit együttesen, az *1. táblázat* mutatja be. A külszíni és mélyművelésű bányák és víztestek korábban bemutatásra kerültek. A területalkalmassági vizsgálat során 300 m-es távolsági osztásközöket alkalmaztunk, illetve a kivittelezési és technológiai realitásokat mérlegelve a vizsgálatból kizártuk az ilyen objektumoktól 3 000 m-nél távolabb eső lehetséges területeket.

A telephelyen való építkezéshez előnyben részesülnek a vízszintes síkhoz közeli területek. A 0° és 10° közötti meredekségű területeket vettük figyelembe, míg a 10°-nál nagyobb lejtőmeredekségű területek nem alkalmasak. A mintaterület domborzatának leképezéséhez digitális domborzatmodellt alkalmaztunk. A területhasználat szempontjából komplex szemléletmódot igényel, figyelembe véve környezeti, társadalmi és műszaki szempontokat. A Corine Land Cover 2018-as adatbázisát használtuk, bár a 25 ha-os felbontás miatt fenntartásokkal kezelendő. A zöldmezős kategóriák közül a szántóföldek és intenzív legelők kaptak a legmagasabb pontértékeket, míg a szőlők és gyümölcsösök a legalacsonyabbat. A beépített területek, erdők, hulladéklerakók és felszíni vizek kizártak. A védett természeti területek a legszigorúbb védettségben részesültek, és a beruházások számára tiltottak. A nagyobb térbeli kiterjedésű elemek, mint a természetvédelmi területek és nemzeti parkok, 100 m-es védősávot kaptak. A területalkalmassági pontérték fokozatosan növekszik a védett területektől távolodva. A SZET üzemek esetleges zajszennyezése vagy rezgése káros hatást válthat ki a lakosságra. A vizuális megjelenés miatt fellépő negatív tájképi hatás is problémát jelenthet. A települési belterületek és nem lakott, de beépített területek 0 pontértéket kaptak. A pontértékek a védőzónák peremétől távolodva növekednek. A villamosenergia-hálózathoz való közelség alapvető fontosságú a csatlakozási költségek alacsonyan tartása érdekében. A középvezettségű elosztóhálózatot vettük figyelembe, amely képes fogadni a létesítmények által termelt villamosenergiát. Az alkalmassági pontértékek fokozatosan csökkennek a villamosenergia-hálózattól távolodva. A nehéz munkagépek és szállítók számára szükséges a könnyű megközelíthetőség a kivittelezés ideje alatt. Bár később ez az igény mérséklődik, a karbantartási munkálatokhoz és üzemi balesetek esetén továbbra is szükség van a megfelelő közúti kapcsolatokra. Az OpenStreetMap (*URL 3*) burkolt közúthálózatát, dűlőutakat és erdészeti utakat vettük figyelembe, feltételezve, hogy burkolás után alkalmasság lehetnek nagy tengelyterhelésű járművek számára. A területalkalmassági besorolás az úthoz közel veszi fel a legmagasabb értékeket, majd ettől távolodva fokozatosan csökken.

1. táblázat. A vizsgálat során figyelembe vett területalkalmassági tényezők pontozása és kizárt területeik
Table 1. Scoring of site suitability factors considered and the excluded areas

	Domborzat (°)	Területhasználat (CLC kód)	Távolság (m)				
			Víztestek és bányák	Védett természeti T-ek	Lakott területek	Villamosenergia- hálózat	úthálózat
Kizárás (0)	> 10	122, 123, 124, 131, 132, 141, 142 (beépített területek)	3000 <	NP, TK, TT, Natura2000, NÖH, Ex Lege, Természeti emlékek, Ramsari T-ek, Országos Tájképvédelmi Övezet	Belterület		
Pontérték							
1	9-10	221 (szőlők)	0-300	0-100	0-150	4500 <	900 <
2	8-9	222 (gyümölcsös)	300-600	100-200	150-300	4000-4500	800-900
3	7-8		600-900	200-300	300-450	3500-4000	700-800
4	6-7	311, 312, 313, 324 (erdő és cserjés)	900-1200	300-400	450-600	3000-3500	600-700
5	5-6	242 (komplex művelésű minták)	1200-1500	400-500	600-750	2500-3000	500-600
6	4-5	243 (részben megművelt)	1500-1800	500-600	750-900	2000-2500	400-500
7	3-4	321 (Természetes gyepek)	1800-2100	600-700	900-1050	1500-2000	300-400
8	2-3		2100-2400	700-800	1050-1200	1000-1500	200-300
9	1-2	231 (legelők)	2400-2700	800-900	1200-1350	500-1000	100-200
10	0-1	131, 211, 411, 511, 512, (bányák, szántók, vizek és lápok)	2700-3000	900 <	1350 <	0-500	0-100

Az egyes területalkalmassági kritériumokat a megrendelővel közösen tartott műhelymunka során súlyoztuk az Analytic Hierarchy Process-t (AHP) segítségével (Saaty 1990). Ez a módszer a különböző többszempontú döntéshozatali eljárások között is igen egyszerűnek tekinthető, ezért gyakran használják bizonyos technológiák, akár energiaipari létesítmények telephely-alkalmassági vizsgálatainál, emiatt SZET-ek helyszínválasztása során is megfelelő.

Az AHP egy mátrixban szerepelteti a döntés során figyelembe venni kívánt szempontokat, jelen esetben a területalkalmassági tényezőket, majd a döntéshozókat támogató szakértők minden szempontot egy páros összehasonlításnak vetnek alá, melyben az egyes szempontok saját magukkal is össze vannak vetve. A relatív fontosságához megállapított értékeket a 2. táblázatban lévő mátrix szemlélteti. A mátrix készítőjének szaktudása alapján meg kell állapítania, hogy egy összehasonlításban X szempont

ennyivel fontosabb Y szempontnál (a táblázatban zöld mezők), melyet egy 1-től 9-ig terjedő skála segítségével pontoz, ahol 1=ugyanannyira fontos; 3=mérsékelten fontos; 5=fontos; 7=nagyon fontos; 9=extrém fontos. A pontozás során a 2, 4, 6 és 8-as, közbenső értékek is alkalmazhatók. A mátrixos elrendezés miatt Y szempont X-szel való összevetésére is sor kerül, ekkor értelem szerűen az X-Y összehasonlításnál adott pontérték reciproka (a korábbi példánál maradva 0,2) jelenik meg (fehér mezők). X szempont saját magával való összevetésének értéke minden esetben 1, vagyis ugyanannyira fontos (szürke mezők). A mátrix elkészítésekor különös hangsúlyt fektettünk a társadalmi és környezeti szempontok fontosságának kiemelésére. Az AHP számítási módszertanát Saaty (1990) részletesen ismerteti. A szükséges számításokat követően eredményül kapott súlyértékek már felhasználhatók az adott tényező csoporton belüli fontosságának megállapítására (2. táblázat utolsó oszlopa).

	Domborzat	Víztestek és/vagy bányák	Területhasználat	Védett természeti területek	Lakott területek	Villamosenergia-csatlakozás	Úthálózat	Súlyérték
Domborzat	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	4,00	0,23
Víztestek és/vagy bányák	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	5,00	0,24
Területhasználat	0,33	0,33	1,00	0,20	0,50	2,00	1,00	0,08
Védett természeti területek	0,50	0,50	5,00	1,00	1,00	2,00	5,00	0,18
Lakott területek	0,33	0,33	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,09
Villamosenergia-csatlakozás	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	1,00	7,00	0,13
Úthálózat	0,25	0,20	1,00	0,20	1,00	0,14	1,00	0,05

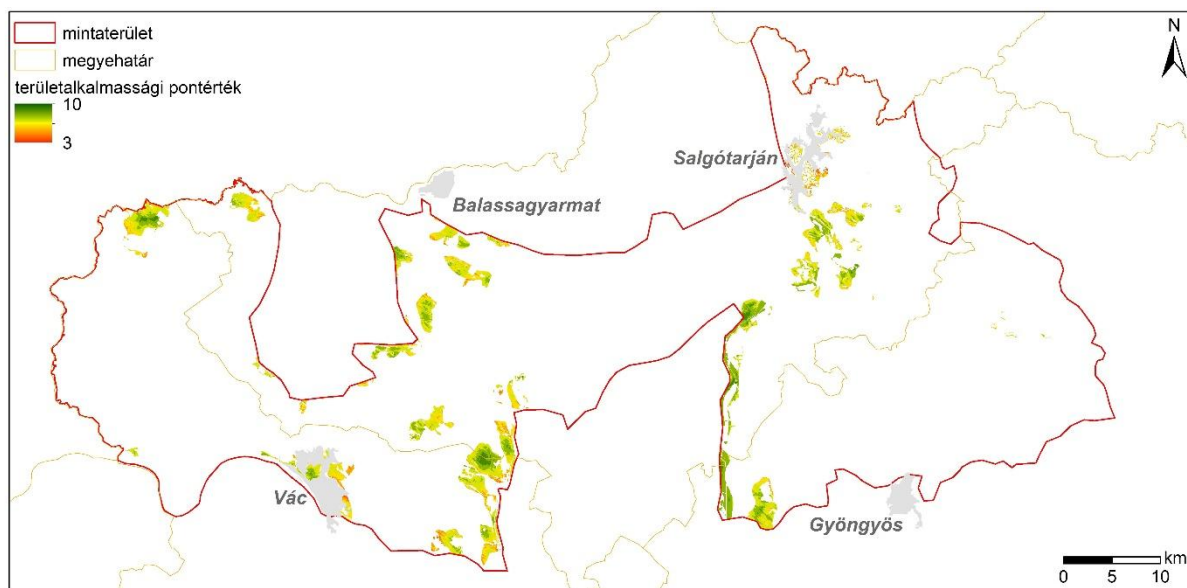
2. táblázat. A szivattyús energiatárolók területalkalmassági tényezői az Analytic Hierarchy Process mátrixban
Table 2. Area suitability factors of pumped-hydro storage in the Analytic Hierarchy Process matrix

EREDMÉNYEK

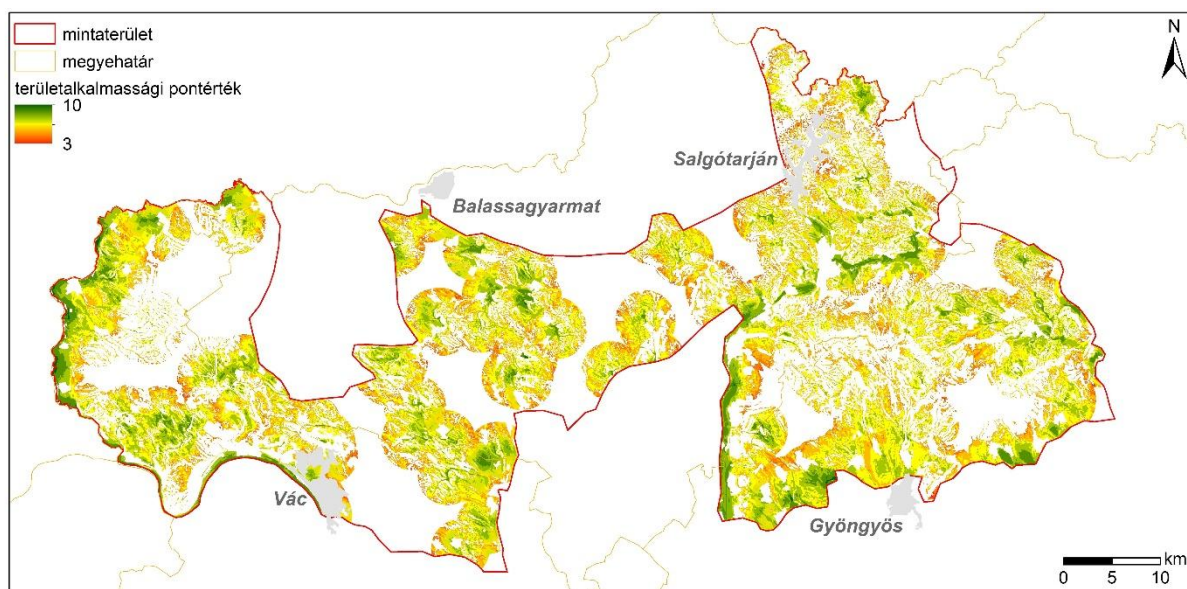
Területalkalmasság értékelése

Két területalkalmassági vizsgálat készült: egy szigorúbb, mely kizár bármiféle védett területet a SZET létesítés lehetősége előtt, míg egy megengedőbb változat ezt a kategorikus tiltást nem alkalmazza. A vizsgált terület súlyozott szempontokból előállított területalkalmassági térképe a várakozásoknak megfelelően elsősorban a kizárt területek kiterjedésével hívja fel magára a figyelmet, főként a szigorúbb modellváltozatban (3. ábra). A kizárt területek aránya 95% a szigorú modellben, míg 65% a megengedőben. A valamennyire alkal-

masnak ítélt területek elterjedése az utóbbi, természeti védettséget nem alkalmazó változatban már sokkal homogénebb, köszönhetően a mintaterületen többé-kevésbé egyenletesen eloszló három vizsgált objektumkategóriának (4. ábra). A figyelembe vett objektumokhoz kapcsolható medenceparók kialakítására alkalmas területeket a megengedőbb modellből származtattuk, és mindegyik szerepel a vizsgálatban tekintet nélkül arra, hogy mekkora alkalmassági pontértékekkel rendelkeznek. A területalkalmassági értékelést a végleges helyszínválasztás során használtuk fel újra a lehetséges létesítményi helyszínek jellemzésére.



3. ábra. Területalkalmasság szivattyús energiatároló fogadására a szigorúbb értékelés alapján
 Figure 3. Area suitability for receiving pumped-hydro storage based on the more stringent assessment

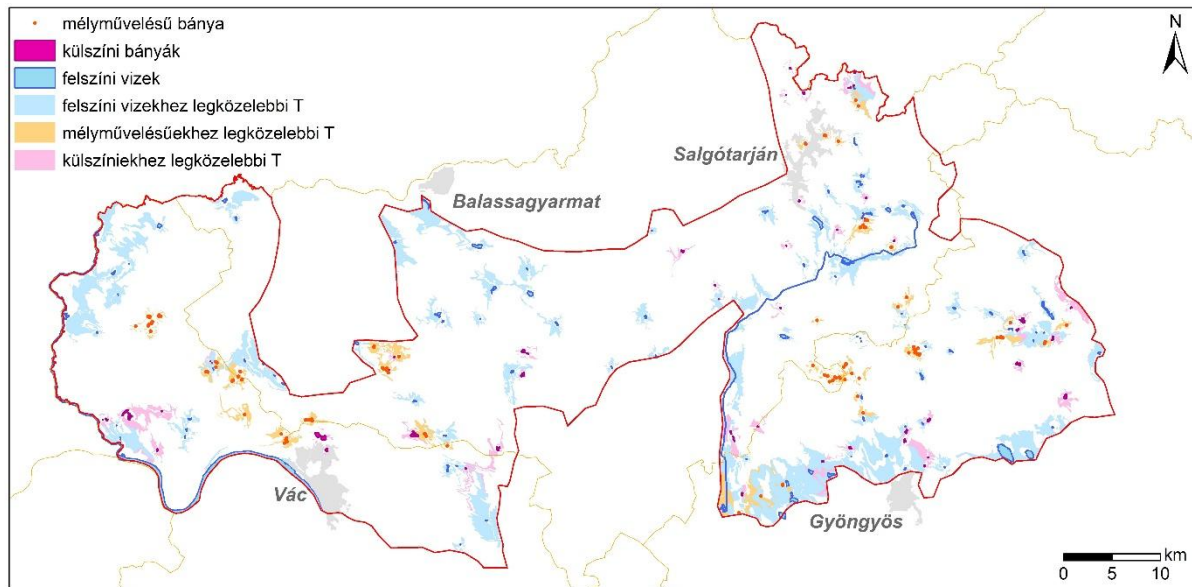


4. ábra. Területalkalmasság szivattyús energiatároló fogadására a megengedőbb értékelés alapján
 Figure 4. Area suitability for receiving pumped-hydro storage based on the more permissive assessment

Potenciális helyszínek

A területalkalmassági vizsgálat megengedő változatának 0-nál nagyobb értékű területeinek raszteres állományából vektoros (ez esetben poligonális) réteg készült, mely már alkalmas a további, részletes térinformatikai műveletek és leválogatások elvégzésére. Ennek eredményeként számos, jellemzően a vizsgálati léptéknek megfelelő kiterjedésű elemet kaptunk. A 9 0481 elemből a 200 m²-nél kisebb kiterjedésű elemek törlésre kerültek, míg a későbbi könnyebb kezelhetőség érdekében a 300 000 m²-nél nagyobb egybefüggő foltokat a DDM-ből képzett 5 m-es

szintvonalakkal daraboltuk fel. Csak az egyes objektumcsoportok elemeihez legközelebb eső első 50 poligonnal folytunk a további számítások (5. ábra). Ez a vizekhez kapcsolódók esetében 7 200, külszíni bányákhoz 3 600, míg mélyművelésű bányákhoz kapcsolódva 7 000 poligont jelent. A szintvonalakkal való feldarabolás alkalmazásának másik oka, hogy így lehetőség nyílik könnyen, vizuális elkülönítéssel megállapítani egy adott, alkalmasnak ítélt területről, hogy rajta az új víztározó völgyzárógátas kialakítású lehet-e. Ezt a példaeredményeket bemutató 8-9. ábra szemlélteti.



5. ábra. A figyelembe vett felszíni vizek, külszíni- és mélyművelésű bányák elhelyezkedése, illetve a környezetükben a másik medence számára potenciálisan hasznosítható területek

Figure 5. Location of the considered surface waters, open-pit and underground mines, and the areas in their surroundings that can potentially be utilized for the other basin

A közelségi vizsgálatokból pontos euklideszi távolságokat számítottunk az objektumok és az új medence kialakítására alkalmas területekhez. A DDM-ből kinyert tengerszint feletti magasságértékeket a poligonokhoz társítottuk olyan formán, hogy azok a lefedett domborzat átlagmagasságait kapták meg. Törlésre kerültek a vizsgált objektumokat metsző (azonos helyen lévő) poligonok.

Egyszerűsítésként függőleges falú gátakat feltételeztünk a térfogatszámításoknál. A meglévő víztestek, empirikus módon átlagosan 2 m mélyeknek lettek becsülve (kivéve a hivatalos értékkel rendelkező víztározók). A külszíni bányák becsült átlagmélysége 10 m. A mélyművelésűekről nem rendelkezünk információval, ezért ezen kategória esetén nem tudtunk térfogatot számolni. Az ilyen objektumokhoz való kapcsolódások térfogatait nem lehetséges megállapítani mindaddig, amíg pontos paraméterek nem állnak rendelkezésre. Az újonnan kialakítandó helyszínek (a poligonok) átlagmélysége egységesen 4 m-ben lett meghatározva, szakértői becslésre hagyatkozva. Számos poligon túl nagy kiterjedésű volt, ezért a térfogatszámításoknál azt az elvet követtük, hogy a nagy rendelkezésre álló területeken csak akkora helyszín kijelölése szükséges, amekkora a medencepárok kisebbik térfogati értékkel rendelkező tagjával megegyezik. Például, ezáltal elkerülhető, hogy egy medencepár felső tározója szükségtelenül nagy legyen, amennyiben az alsó elhelyezkedésű tag nem tudja befogadni a felsőben felhalmozódott vizet. Az eljárás a műszaki és gazdasági racionalitások által támogatott igényeknek tesz eleget.

A lehetséges medencepárok közötti távolság és a tengerszint feletti magasságkülönbségük hányadosa alapján leválogatásra kerültek a 0,1 értéknél nagyobb és legalább 10 m-es magasságkülönbséggel jellemezhető kapcsolatok, a tanulmányban korábban bemutatott szakirodalom alapján. Ennél a lépésnél a következő statisztikákat kaptuk:

- víztest – poligon csatlakozás: 1 890 db (52,13 km² összterület),
- külszíni bányák – poligon csatlakozás: 1 436 db (32,98 km² összterület),
- mélyművelésű bányák – poligon csatlakozás: 1 967 db (39,38 km² összterület).

Ezen poligonok jellemző paramétereinek eloszlását a 6. ábra (víztest kapcsolat) és a 7. ábra (külszíni bányák kapcsolat) ismerteti. Ettől a lépéstől a mélyművelésű bányák felhasználásának további vizsgálata a szükséges műszaki paraméterek hiányában ellehetetlenült.

Ahhoz, hogy a lehetőségek számát elfogadható tartományba szorítsuk le, további leválogatást végeztünk. Egyrészt a lehetséges medencepárok közötti távolság és a tengerszint feletti magasságkülönbségük hányadosa alapján kizárásra kerültek a 0,2 értéknél rosszabb aránnyal jellemezhető kapcsolatok. Másrészt a két medence közötti légvonalban mért távolságot legalább 30 m-ben állapítottuk meg, amely már elengedő lehet a gépház elhelyezésére. Harmadrészt pedig a poligonra becsült eltávolítható energia mennyisége alapján szűrtünk: a projekt által célzott energiapiaci termékek várható belépési korlátját jelentő 1 MWh alatti kapacitásokat kizártuk, míg a felső korlátot 20 MWh-nál húztuk meg.

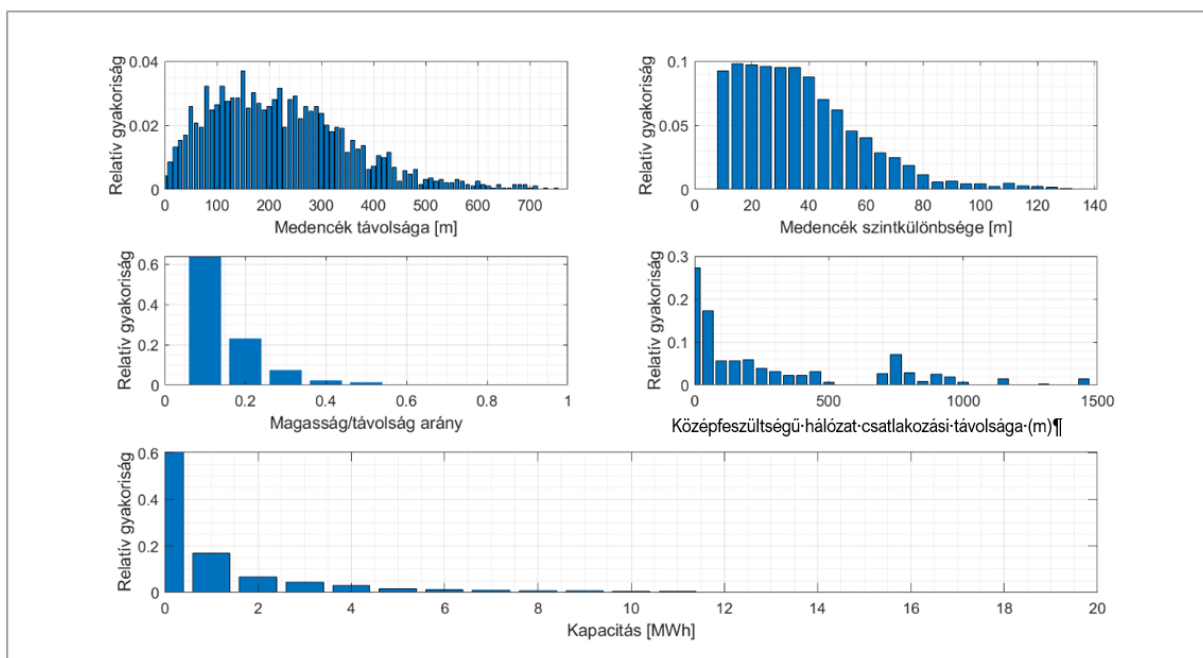
A szűrések elvégzése után az alábbi mennyiségekkel tudtunk tovább dolgozni:

- víztest – poligon csatlakozás: 270 db (10,89 km² összterület),
- külszíni bányák – poligon csatlakozás: 466 db (12,66 km² összterület).

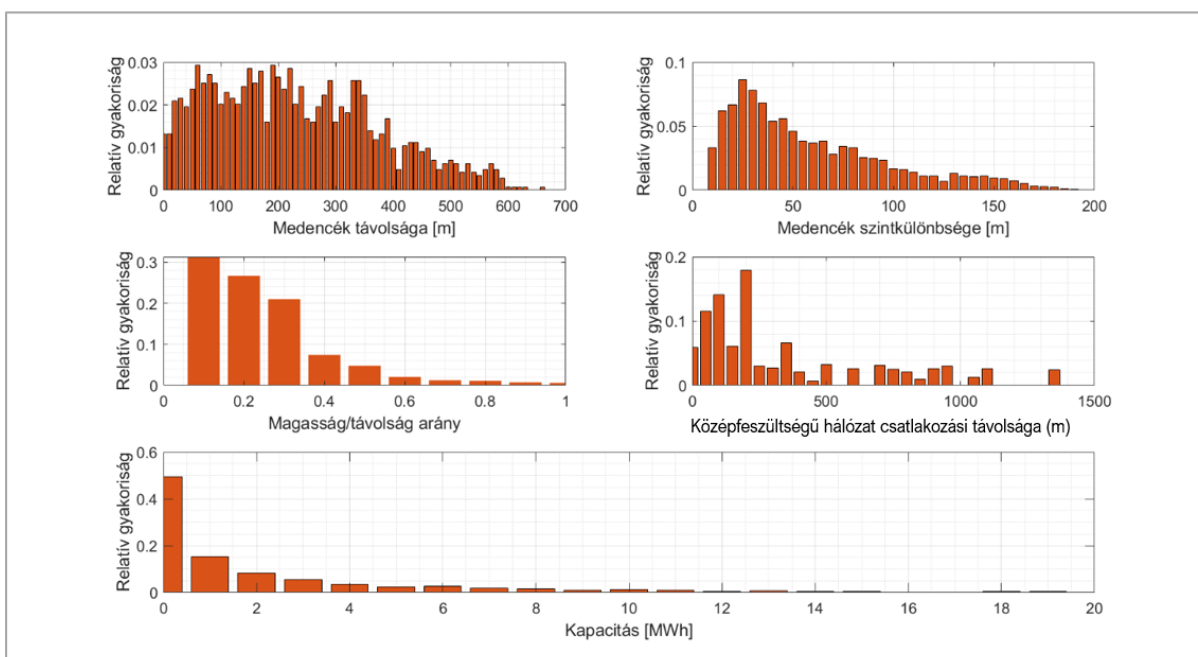
A munka első fázisának eredményeként részletes vizsgálatra 11 víztesthez kapcsolódó és 10 külszíni bányához kapcsolódó helyszínt választottunk javaslatként. Ezeket a helyszíneket a második szűrést követően úgy választottuk ki, hogy azok egy-egy helyszínen

a lehető legtöbb megvalósítható alternatívát tudják felmutatni; ez a kapcsolódó poligonok számával mérhető. Minden esetben fontos hangsúlyozni, hogy a javasolt helyszínek esetén a részletes véleményezést megelőzően az adatok pontosítására van szükség; a víztestek

esetén kiemelt fontosságú a meglévő víztömegek meghatározása (vízmélység, térfogat), míg a külszíni bányák esetén a SZET létesítése szempontjából legjobb potenciált mutató helyek között több is üzemelő bányát jelent.



6. ábra. A víztest – poligon csatlakozások jellemző adatai
Figure 6. Typical data of water body – polygon connections



7. ábra. A külszíni bánya – poligon csatlakozások jellemző adatai
Figure 7. Typical data of open pit mine – polygon connections

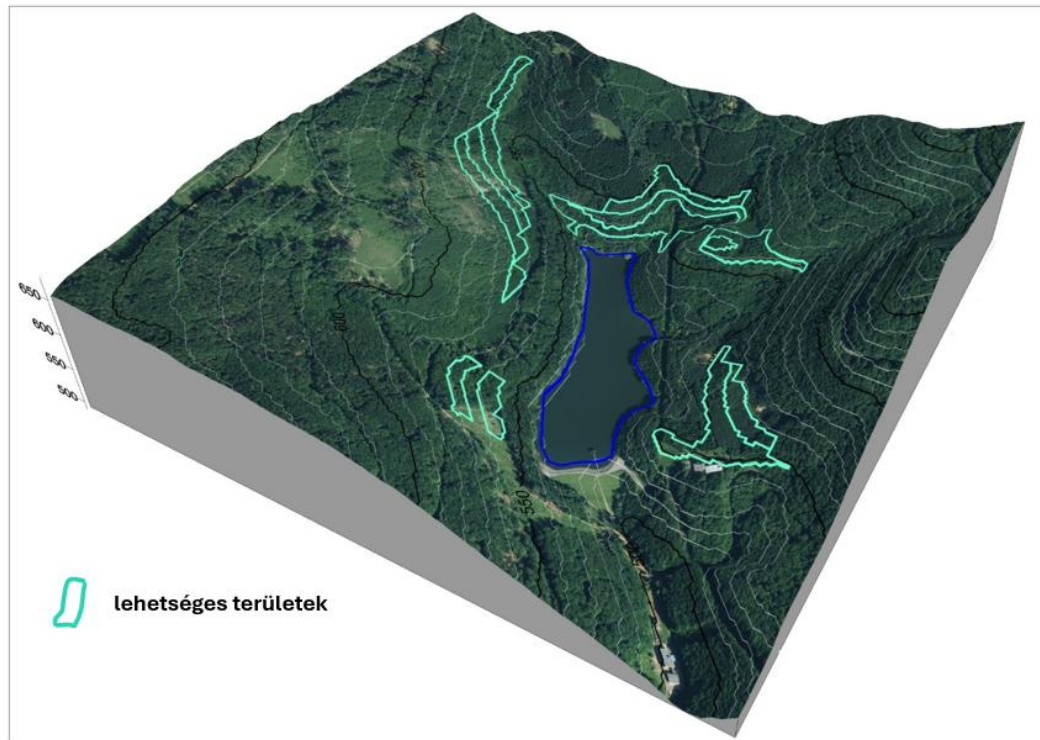
Példaeredmények felszíni víz- és külszíni bányakapcsolatos SZET-re

A számos eredmény közül, szem előtt tartva az ipari titkokat, csak két helyszín kerül bemutatásra. Az ábrákról elrejtésre kerültek a koordináták és egyéb műszaki információk. A 8. ábra által bemutatott 3D modell egy olyan helyszínt ábrázol, melynek meglévő vízteste a Mátrában található víztározó, 525 méter tengerszint feletti

magasságban. Érdekessége, hogy ez az ország legmagasabban fekvő ivóvízellátást végző víztározója. A műszaki paramétereket tekintve a tó felszíne 101 000 négyzetméter, térfogata közel 202 600 m³. A meglévő víz közelében 11 lehetséges víztest lett megállapítva (türkiz körvonalakkal) a felső víztározó kialakításához a bemutatott paramétereknek megfelelően. Az így kijelölt területek körvonalai, melyek a szintvonalakkal határoltak (ennek köszönhetik

sokszor elnyúlt alakjukat), nem feltétlenül követik le a tényleges körtöltés alaprajzát. A kijelölt felső tározó területéből csupán annyit kell felhasználni a tervezés és a kivitelezés során, amely a célértékeket eléri (tárolható energia mennyisége), de sose nagyobb térfogatút, mint a meglévő

víztest térfogata. A többféle hozzákapható terület más-más megvalósítási lehetőséget biztosít. Az elérhető minimális magasságkülönbség 13 méter, a maximális 47 méter. A területi adottságok miatt a maximálisan termelhető energia mennyisége 4,97 MWh.



8. ábra. Meglévő, völgyzárógátas kialakítású víztározóhoz kapcsolható területek szivattyús energiátároló létrehozásának céljából (példa). Az ábra a domborzat érzékeltetésének kedvéért a Z tengely mentén torzított

Figure 8. Areas that can be connected to an existing dam-type reservoir for the purpose of creating a pumped-hydro storage system (example). The figure is distorted along the Z axis to illustrate the relief

A 9. ábrán látható, napjainkban is művelt külszíni bánya ugyancsak a Mátrában található, 457 méter tengerszint feletti magasságban. A kitermelés végeztével a jövőben rekultiválható volna (kellő földmunkát követően) a terület SZET felső tározójaként való átalakítással. A műszaki paramétereket tekintve a bánya területe 105 000 négyzetméter, térfogata becslve 156 000 m³. A bánya kiváló földrajzi helyzetben van SZET szempontjából, közelében 17 lehetséges víztestet fogadni képes terület lett kijelölve az alsó víztározó kialakításához. Az elérhető minimális magasságkülönbség 19 méter, a maximális 95 méter. A területi adottságok miatt a maximálisan termelhető energia mennyisége 19,01 MWh.

KONKLÚZIÓ

A munka során bizonyítást nyert a kidolgozott módszertan eredményessége, mely számos potenciális helyszínt felfedezett a mintaterületen, és a nagy elemszámból is hatékonyan volt képes kiválasztani (megrendelői igények és a nemzetközi benchmark alapján) a legkedvezőbbeket. Ennek köszönhetően a helyszínválasztási folyamat következő lépései során már sokkal kevesebb lehetséges helyszínből lehet tovább szűkíteni a kört és kiválasztani azokat, melyek kivitelezési szempontból megfelelnek a feltételeknek. E módszertan esetében a kulcsszó tehát a hatékonyság. Az eljárás alkalmas nagy földrajzi területek, így régiók vagy akár egész országok SZET-beruházási szempontú területalkalmassági vizsgálatára a megfelelő adatok birtokában. Az alkalmazott

GIS-es módszertan az alkalmazott paraméterek megváltoztatásával könnyedén formálható más megrendelői igényekre és tudományos kutatási kérdések megválaszolására is.

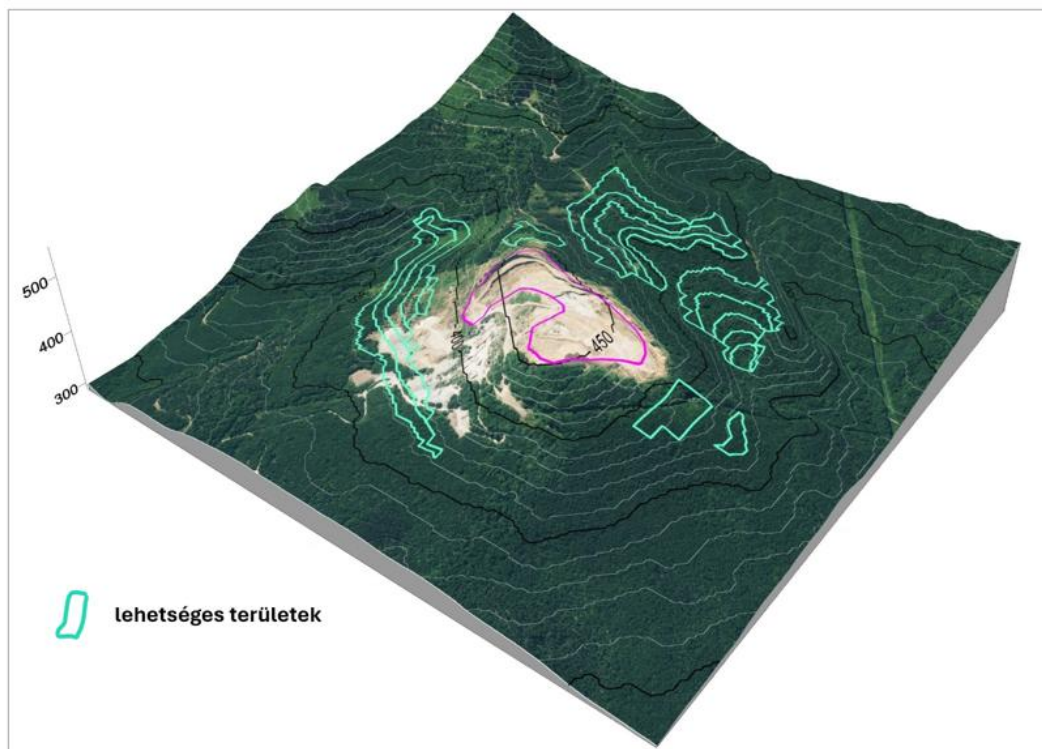
A téradatok rendelkezésre állása és feldolgozása tekintetében megfelelőek voltak az ilyen nagy földrajzi léptékben, de mégis (a technológia elterjedt méreteihez képest) kis területek felkutatására alkalmas térinformatikai adatok, különös tekintettel a legfontosabb, digitális domborzatmodell és más távérzékelési rétegek. A feldolgozás és az eredmények kiértékelése során általános tapasztalat, hogy a nagy felbontás bár általában előnyös, de bizonyos esetekben hátrányokkal is jár. Ilyen eset például az egyes felszínek elaprózottsága vektorizálást követően.

A meglévő felszíninformákhoz való ragaszkodás további kötöttségként értelmezhető. Ez főként akkor jelent problémát, ha egy kizárólag helyszíni bejárással, terepi geodéziai eszközökkel felmérhető bányauregre nem érhető el pontos térfogatadatok. Ugyanez vonatkozik a felszíni vizekre is, melyek közül csak azokról áll rendelkezésre hivatalos adat (vízmélység vagy vízutánpótlás sérülékenysége), ha az a VGT3 (URL5) szerint már kellően nagy, és a víztest kategóriába esik. Ez a mintaterületen csak két víztározóról mondható el. Ennek megfelelően a tanulmányban javasoltként bemutatott felszíni vizek és bányák térfogatszámításai csak közelítő értékkel szolgálnak, mely bizonytalanságot a részletes terepi felmérésekkel kell mérsékelni. A tanulmányban

bemutatott értékek az alkalmazott földrajzi vizsgálati lépték miatt jelen módszerekkel nem pontosíthatók.

A mintaterület jelentős részét érinti valamilyen természetvédelmi oltalmú kategória, olyan mértékben, hogy a legkedvezőbb helyszínek mindegyike ilyen területen fekszik.

Ez nem feltétlenül szab gátat egy beruházás számára, azonban ilyen esetekben fokozott óvatossággal kell eljárni a természeti környezet megóvása érdekében. Javasolt a választott helyszínek részletes környezeti hatásvizsgálata és a potenciális zavaró tényezők mérséklésére való törekvés.



9. ábra: Hegytetőn lévő külszíni fejtésű bányá, illetve a környezetében megfelelő adottságokkal rendelkező területek szivattyús energiatároló kialakításának céljából (példa). Az ábra a domborzat érzékeltetésének kedvéért a Z tengely mentén torzított
Figure 9: An open-pit mine on a mountaintop, or areas with suitable conditions in its surroundings, for the purpose of developing a pumped-hydro storage system (example). The figure is distorted along the Z axis to illustrate the relief

IRODALOMJEGYZÉK

Badarch, A. (2015). Hydropower scheme to strengthen CES of Mongolia. Project proposal-Final version <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2314.6489>

Crettenand, N. (2012). The Facilitation of Mini and Small Hydropower in Switzerland: Shaping the Institutional Framework (with a Particular Focus on Storage and Pumped-Storage Schemes), Thèse No 5356, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Dövényi Z. (2010). Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, p. 876.

Gimeno-Gutiérrez, M., Lacal-Arántegui, R. (2015). Assessment of the European potential for pumped hydro-power energy storage based on two existing reservoirs, Renewable Energy, vol. 75, pp 856-868. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.068>

Lu, B., Stocks, M., Blakers, A., Anderson, K. (2018). Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage, Applied Energy, vol. 222, pp 300-312. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.177>

Rogea, A., Girard, R., Kariniotakis G., (2017). A generic GIS-based method for small Pumped Hydro Energy Storage (PHES) potential evaluation at large scale,

Applied Energy, vol. 197, pp 241-253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.103>

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process, European Journal of Operational Research, vol. 48., pp 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

Soha, T., Munkácsy, B., Harmat, Á., Csontos, Cs., Horváth, G., Tamás, L., Csüllög, G., Daróczi, H., Sáfián, F., Szabó, M. (2017). GIS-based assessment of the opportunities for small-scale pumped hydro energy storage in middle-mountain areas focusing on artificial landscape features, Energy, vol. 141, 2017, pp 1363-1373. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.051>

URL1. SZTFH térképszervert - <https://map.mbfisz.gov.hu>

URL2. CORINE Land Cover - <https://land.copernicus.eu/products/corine-land-cover>

URL3. OpenStreetMap - <https://www.openstreetmap.org>

URL4. <https://www.hydropower.org/>

URL5. <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/vgt3-elfogadott/>

A SZERZŐK

SOHA TAMÁS okleveles geográfus, térinformatikus, doktorjelölt, 2022-től a Főpolgármesteri Hivatal alkalmazott térinformatikai szakreferense és a Budapesti Szolár térkép vezető fejlesztője. HUN-REN Energiatudományi Központ tudományos segédmunkatársa, illetve a F4STER – Future 4 Zrt. térinformatikusa. Kutatási témája a regionális léptékű térbeli energiatervezés, megújuló energiaforrások potenciálvizsgálata, a fenntartható környezetgazdálkodás és energetikai létesítmények telephelyválasztása többszemponútú döntéshozatali eljárásokkal. Jelen tanulmány mögötti vizsgálat vezetője.



JUHÁSZ KRISTÓF PÉTER energetikai mérnök, villamosmérnök, PhD-hallgató a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME), a Villamos Energetika Tanszéken. Energetika mérnök BSc és villamosmérnök MSc diplomáját a BME-n szerezte, PhD-tanulmányait 2024 februárja óta folytatja. Kutatási érdeklődése a villamosenergia-rendszerek stabilitása, a rendszerinercia változásainak hatásai, az elosztóhálózatok megfigyelhetősége, valamint az okos hálózati megoldások és adatvezérelt üzemeltetés területeire fókuszál. 2022 óta mérnöktanácsadóként dolgozik az F4STER – Future 4 Zrt.-nél.



HARTMANN BÁLINT 2008-ban végzett okleveles villamosmérnökként a BME-n. 2013-ban szerzett tudományos fokozatot, 2022-ben habilitált, jelenleg a Villamos Energetika Tanszék tudományos főmunkatársa, illetve a HUN-REN Energiatudományi Központ tudományos főmunkatársa. Kutatási témáinak fókuszában az átviteli- és elosztóhálózatok topológiai tulajdonságainak, fejlődési folyamatának megismerése állnak, valamint annak feltárása, hogy az előbbieket hogyan befolyásolják a rendszer energia- és ellátásbiztonságát.



A Magyar Hidrológiai Társaság a Közép-Duna völgyi Területi Szervezettel, valamint az OVF Üzemi Szervezetével közösen a XLIII. Országos Vándorgyűlést Gödöllőn, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusán rendezi meg 2026. július 1. és 3. között.

A konferencia bemutató filmje itt tekinthető meg: Az MHT 2026. évi XLIII. Országos Vándorgyűlésének beharangozó filmje - YouTube

A előadásra történő jelentkezés módja és a formai követelmények részletesen az MHT honlapján olvashatóak: <https://www.hidrologia.hu/events/xliii-orszagos-vandorgyules/>

A Vándorgyűlésen való részvétel jelentkezési lapját ugyancsak az MHT honlapján és a májusi Hírekben teszik majd közzé.

Fenntartható napelemes-szivattyús vízenergia hasznosítás elterjedésének vizsgálata egy dombvidéki település példáján a Velencei-tó vízgyűjtőjén

Kálmán Attila¹, Bene Katalin²

¹ egyetemi tanársegéd, Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék / Vízgazdálkodási Kutatócsoport 9026 Győr, Egyetem tér 1., Magyarország (e-mail: kalmatlan.attila@sze.hu)

² egyetemi docens, Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék / Vízgazdálkodási Kutatócsoport 9026 Győr, Egyetem tér 1., Magyarország (e-mail: benekati@sze.hu)

DOI: 10.59258/hk.22211



Kivonat

A Magyarország szomszédjában zajló háború következtében emelkedtek az energiaárak és az ellátási kockázatok, miközben az éghajlatváltozás hatására az extrém aszályos, vízhiányos nyarak konfliktusokat és gazdasági károkat eredményeznek. A hagyományos, fosszilis villamosenergia-termelés hozzájárul az üvegházhatású gázok légköri kibocsátásához, amely tovább súlyosbítja az aszályos időszakokat. A Velencei-tó környéki népesség évtizedek óta dinamikus módon növekszik, amely változó területhasználatot eredményez. A vízgazdálkodási problémák megoldása akuttá vált, a vízgyűjtő szűkös vízkészlete negatívan hat az ökoszisztémákra, a turizmusra, a mezőgazdaságra és a gazdasági kilátásokra. A dombvidéki településeken növekszik a villámárvizek kockázata, miközben alacsony a víz visszatartás mértéke, de a telepített napelemes rendszerek aránya jelentősen meghaladja az országos átlagot. A kutatás a megújuló napenergia termelőkapacitások és a villámárvizek visszatartásának komplex vizsgálatát és integrált hasznosítási lehetőségét mutatja be egy dombvidéki település példáján keresztül. Megvizsgáltuk a napelemes kapacitások és a földrajzi adottságokat kiaknázó multifunkciós záportározók közös, többcélú hasznosítási lehetőségeit. Hidrodinamikai modellel vizsgáltuk a szivattyús energiatároló rendszer áramlási viszonyait, valamint azok multifunkciós használatát: csapadékvíz-gazdálkodás villámárvíz-mérsékléssel, évszakon átívelő zöldenergia tározás, mezőgazdasági, vadgazdálkodási, rekreációs és kék-zöld infrastruktúrák integrálása. A tározók tervezése figyelembe vette a földrajzi jellemzőket, a csapadékat adatokat és lefolyást, az energiaigényeket, a napelemek teljesítményét. Az integrált rendszer optimalizálása többcélú, fenntartható vízhasználatra és alacsony karbonlábnyomra történt. Egy dombvidéki település példáján bemutattuk az alacsony szén-dioxid-kibocsátású, költséghatékony, fenntartható vízgazdálkodás és energiatárolás kombinálási lehetőségével elérhető hasznokat. A módszertan elősegíti a fenntarthatósági célok - környezeti, társadalmi, gazdasági - térnyerését, továbbá a csapadékvíz visszatartással és többcélú felhasználásával csökkenti az éghajlatváltozás okozta negatív hatásokat, valamint elősegíti a helyi és regionális fejlődést. Ez az integrált megközelítés és módszertan mintaként szolgálhat más dombvidéki települések számára, valamint szomszédos önkormányzatok együttműködéséhez is.

Kulcsszavak

Vízgazdálkodás, természetalapú megoldások, vízenergia, fenntarthatóság, megújuló energia, többcélú tározók, érintettek, záportározó.

Examining the spread of sustainable solar-pumped hydropower utilization using the example of a hilly settlement in the Lake Velence watershed (Hungary)

Abstract

The war in Hungary's neighbourhood has increased energy prices and supply risks, while extreme droughts and water shortages due to climate change are causing conflicts and economic damage. Traditional fossil-based electricity generation contributes to greenhouse gas emissions, which further exacerbate droughts. The population around Lake Velence has been growing dynamically for decades, resulting in changing land use. The need to address water management issues has become acute, and the scarce water resources in the catchment area have a negative impact on ecosystems, tourism, agriculture and economic prospects. The risk of flash floods is increasing in hilly settlements, while the level of water retention is low, but the proportion of installed solar systems significantly exceeds the national average.

The research presents a complex examination of renewable solar energy production capacities and the integrated utilisation potential of flash flood retention through the example of a hilly settlement. We examined the joint, multi-purpose utilization opportunities of multifunctional stormwater reservoirs that exploit solar capacities and geographical features. We examined the flow conditions of the pumped energy storage system and their multifunctional use with a hydrodynamic model: rainwater management with flash flood mitigation, cross-seasonal green energy storage, integration of agricultural, wildlife management, recreation and blue-green infrastructures. The design of the reservoirs took into account geographical characteristics, rainfall data and runoff, energy requirements, and solar panel performance. The integrated system was optimized for multi-purpose, sustainable water use and a low carbon footprint.

Using the example of a hilly settlement, we demonstrated the benefits that can be achieved by combining low-carbon, cost-effective, sustainable water management and energy storage. The methodology promotes the advancement of sustainability goals - environmental, social, economic - and reduces the negative impacts of climate change through rainwater retention and multi-purpose use, as well as promotes local and regional development. This integrated approach and methodology can serve as a model for other hilly settlements, as well as for cooperation between neighboring municipalities.

Keywords

Water management, nature-based solutions, hydropower, sustainability, renewable energy, multipurpose reservoirs, stakeholders, stormwater reservoir.

BEVEZETÉS

Európa jelentős villamosenergia fogyasztó, 2022-ben az éves felhasználás 3 315 TWh volt, amely a globális fogyasztás mintegy 13%-a (URL15). Ezzel az egy főre jutó felhasználás majdnem másfélszerese a világszintű átlagnak. Az energiamix utóbbi években megfigyelhető dinamikus átalakulásának hatására a termelés közel 45%-a valamilyen megújuló energiából – szél, víz, nap, biomassza – származik, míg harmada még mindig fosszilis – kőolaj, földgáz, szén – alapú (URL2). A növekvő megújuló arány, valamint a korábban kialakult nagyfokú orosz kőolaj és földgáz függőség kettős kihívás elé állítja a jelenlegi villamosenergia rendszert. Egyfelől az orosz-ukrán háború hatására az európai szénhidrogén ellátás bizonytalanná vált, másfelől a dinamikus bővülő napelemes kapacitások – az ingadozó termelési jellemző okán – növelik a rendszer instabilitását. Mindezekén túl, az éghajlatváltozás hatására a kontinens súlyos kihívásokkal – szélsőséges aszályos nyarak – szembesült az elmúlt 3 évben (Pinke és társai 2024). A szárazság hatással volt a helyi és regionális vízkörfolyamatokra is, a nyári csapadékesemények intenzívebbé váltak és a villámárvizek gyakorisága is növekedett (Maetens és társai 2024). Ez a negatív változás nem csupán a közösségek életében, hanem számos kulcsfontosságú ágazat, mint például a növénytermesztés, az állattartás, az élelmiszerellátás, a vízgazdálkodás, a turizmus, vagy az erdő- és vadgazdálkodás működésében is érezhető volt (Lahlali és társai 2024).

A megújuló energiaforrások a villamosenergia-termelés folyamatosan növekvő arányát jelentik. Az utóbbi években különösen a napelem-kapacitások növekedtek jelentős mértékben, ugyanakkor a hagyományos fosszilis és nukleáris üzemanyag-alapú erőművek továbbra is meghatározó szereplői a rendszernek. Részből azért, mert a jelenlegi zöldenergia-kapacitások elmaradnak a teljes villamosenergia igénytől, részből azért, mert még megoldatlan probléma a megújuló energiatermelés és a fogyasztási igények időben eltérő áthidalása (Ashurov és társai 2019). Bár számos kutatás-fejlesztés zajlik energiatároló rendszerek terén és jelenleg is különféle rövid és hosszú távú tárolási megoldások léteznek a megújuló energia túlermelésére (Dimitriev és társai 2020), ezek nagyságrenddel elmaradnak a jelenlegi napelem-kapacitásoktól, továbbá a beüzemelésre kerülő tározókapacitások bővülési üteme sem követi a napelemek gyors telepítési ütemét (URL14). Az éghajlatváltozás negatív hatásainak enyhítése, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, az energiaellátás-biztonság és a versenyképesség javítása érdekében szükséges és előnyös a megújuló energiaforrások térnyerésének fokozása. Mivel a következő években várhatóan folytatódik a szél- és főként a napenergia-kapacitások további dinamikus bővülése, ezért - a termelés időbeni ingadozása és a fogyasztástól eltérő időben jelentkezése miatt - szükséges a rendszert terhelő kihívások hangsúlyosabb kezelése és a tározókapacitások bővítése (URL5).

A klímaváltozás mind a természetes, mind az épített környezetre hatással van, és gyakran negatívan befolyásolja a kialakult gazdasági rendszereket, társadalmi folyamatokat (Abbass és társai 2022). A vízgazdálkodást, a csapadékvízvezetést régóta kiszolgáló szürke infrastruktúrák egyre nehezebben kezelik a mai szélsőséges csúcs-

hozamokat, az évtizedekkel ezelőtt tervezett lefolyási hozamok elmaradnak az utóbbi években tapasztalt villámárvizek árhullám-csúcsaitól. Mindeközben az elmúlt évek extrém hosszan tartó aszályos időszakai hatására számos csatorna és folyómeder az év nagy részében száraz marad, a tápláló vízhozam és a talajvízszint drasztikusan csökkent (Haasnoot és társai 2020). A kiterjedt burkolt felületekkel rendelkező városi területek, valamint a dombvidéki területek egyre inkább ki vannak téve a villámárvizeknek és az ezek okozta kellemetlen előtéseknek (Feng és társai 2021). A települések előtt kialakított záportározók hatékonyan képesek csökkenteni a villámárvizek csúcsait, ezáltal enyhítve a települési vízelvezető rendszerek terhelését. Továbbá a visszatartott csapadékvizet az eseményt követően lassan be is lehet szivárogtatni, vagy másodlagosan lehet hasznosítani.

A jelenlegi energia- és aszálykihívások miatt az árvíz-csúcs-csökkentő tározókban visszatartott víz másodlagos hasznosítása számos környezeti, gazdasági és társadalmi előnnyel járhat (Kálmán és Bene 2023). A visszatartott csapadékvíz növelheti a biológiai sokféleséget és javíthatja a helyi mikroklimát, enyhítheti a városi hőszigetelést és növelheti a vízbiztonságot. Öntözés révén pedig mérsékelheti az aszálykárokat, ezáltal támogatva az élelmiszer-biztonságot. Az összegyűjtött és tározott csapadékvíz energiarendszerekbe történő integrálása lehetővé teszi a megújuló forrásból történő hosszú távú energiatárolást (URL12). Dombvidéki területeken a csapadékvíz-tározókban, tavakban való visszatartása közvetlen előnyökkel jár, és energiaforrásként szolgálhat. A tározók többcélú hasznosításával a víz másodlagos célokra is felhasználhatóvá válik, hasznossága kibővül (Papadakis és társai 2023).

A napelem-kapacitások gyors térnyerésével és a termelés nap sugárzásfüggő, szakaszos jellege miatt a kereslet-kínálat kiegyensúlyozása érdekében nagy kapacitású energiatároló rendszerekre van szükség (Chanda 2023). A meglévő, nagyteljesítményű megoldások közül a vízenergia-tárolás kiemelkedik, mind rövid, mind hosszú távú tárolás esetén. A módszer lényege, hogy a magasabb helyen tárolt vízben potenciális energiaként áll rendelkezésre az energia, amely az alacsonyabb szintre áramlással kinetikus energiává alakul és így villamos energiát termel. A rendszer három jelentős előnye: 1. gyors reakció ideje, mivel néhány perc alatt képes csúcstermelést leadni, 2. közel zéró szén-dioxid-kibocsátás mellett működik, 3. a termelt villamos energia egységköltsége szempontjából költséghatékony (Ansorena és társai 2022). A vízenergia kritikus szereplő a globális energiapiacra, hiszen míg a teljes energiatermelés körülbelül 3%-át adja, addig a villamosenergia-tárolási kapacitás több mint 96%-át biztosítja (Jurasz és társai 2022). A magas beruházási költségek gyorsabb megtérülése érdekében fontos olyan helyszíneket és másodlagos felhasználási módokat választani, amelyek csökkentik a megtérülési időt (Gutiérrez-Bahamondes és társai 2021).

A vízenergiái infrastruktúrák egyik speciális típusa a szivattyús-tározós vízerőmű, amely két, különböző magasságban lévő tározó közötti vízmozgatást foglal magában energiatárolás vagy villamos energia termelése céljából (Souček és társai 2023). A hagyományos vízerőművekkel összehasonlítva, a szivattyús tározó rendszerek elsősorban

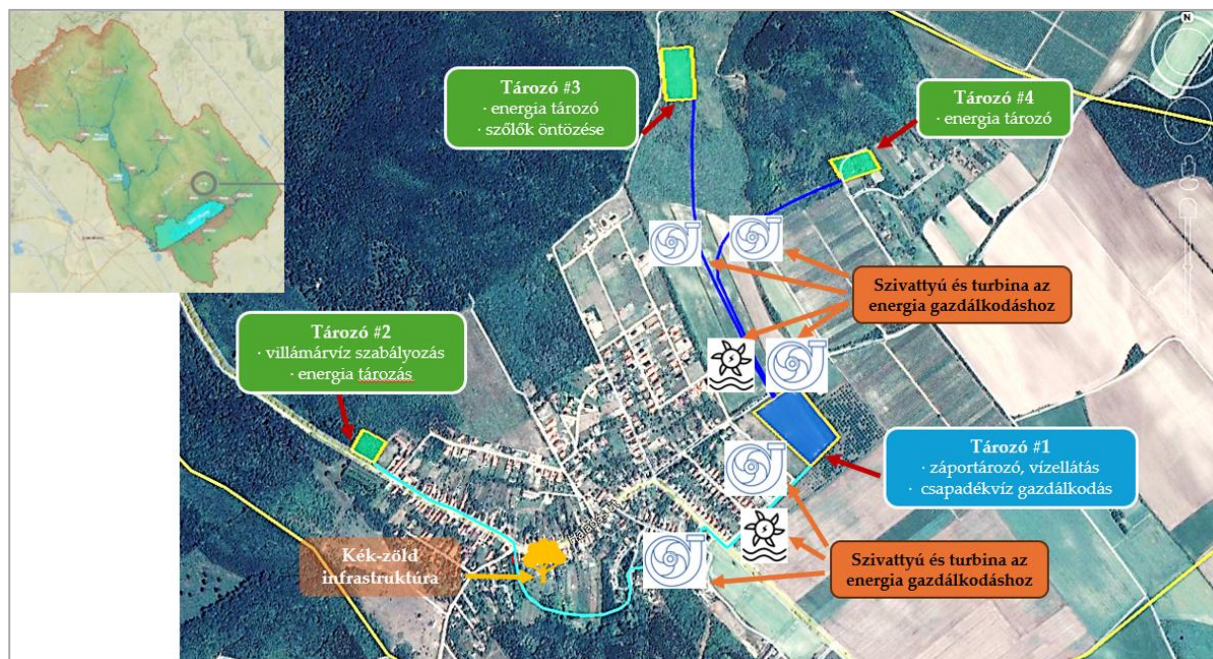
a szivattyúzási módjukban, méretükben, részleges terhelés alatti működési kapacitásukban és topológiai jellemzőikben különböznek, ezért alkalmasak az időben változékony megújuló energiaforrásokkal való együttműködésre (*Morabito és társai 2019*). Napsütésben energiát tárolnak, napsütésmentes időben pedig villamos energiát szolgáltatnak. A szivattyús víztározók sokféle területen létesíthetők, hiszen a víz, a két tározó között, kvázi zárt rendszerben áramlik. A kialakítás korláta így valójában a megfelelő domborzati viszonyok – az alsó és felső tározók közötti megfelelő szintkülönbség – megléte. A napelem-kapacitások gyors bővülésével – napos időben, a déli órákban – egyre gyakoribbá válnak a negatív villamosenergia-árak a spot villamosenergia-piacon, a pillanatnyi villamos energia keresletet meghaladó – túlermelést okozó - megújuló energiatermelés miatt. A termelés nagyfokú ingadozásával együtt jár az instabilitás kockázatának növekedése, a növekvő számú kiserőmű frekvencia aszinkronja következtében (*Mlilo és társai 2021*). Ennek kezelése az átviteli rendszer stabilitása miatt kiemelt jelentőségű, amelyre a szivattyús energiatározók – a villamos energia rugalmasabb irányíthatósága miatt – jótékony hatással vannak, miközben a negatív villamosenergia-árak ezen rendszerek megtérülési idejére pozitívan hat (*Bocca 2024*). A nagy teljesítményű szivattyús vízerőművek jellemzően 10 MW-ot meghaladó kapacitásúak, azonban egyre nagyobb az érdeklődés – a jelenleg kevésbé elterjedt – háztartási vagy közösségi használatra tervezett kisebb – 10-1 000 kW teljesítményű – rendszerekre (*Kishore és társai 2021*). A következő évtized ezen kisméretű szivattyús vízenergia-tároló rendszerek jelentős bővülését hozhatja, amelyek további járulékos előnyt hoznak a helyi környezet, helyi közösség számára (*Flaminio és Reynard 2023*). A többcélú víztározók elsődlegesen energiatárolásra, míg másodlagosan számtalan szolgáltatásra használhatók, mint például árvíz- és aszályvédelem, öntözés, villamosenergia-termelés, ökoszisztéma-támogatás, rekreáció, vadászat, halászat (*Woś és társai 2022*). A megfelelő módszertannal és az érintettek bevonásával ezek a célok - energiagazdálkodás, vízkészlet-gazdálkodás, ökoszisztéma-szolgáltatások és gazdasági növekedés - hatékonyan és fenntarthatóan egymást kiegészítik; a korlátozott erőforrások esetében csökken a verseny mértéke (*Gonzalez és társai 2020*).

Míg az éghajlatváltozás kiváltó okainak kezelése továbbra is létfontosságú, a változó körülményekhez való alkalmazkodás fenntartható, az éghajlatváltozáshoz rugalmas megoldásokkal ugyanolyan fontossá válik, amelyhez a kisléptékű szivattyús vízerőművek jelentősen hozzájárulhatnak (*Sharifi 2021*). Jelen kutatás egy gyakorlati módszertant kíván kidolgozni a villámárvizek kezelésére és hasznosítására, a Velencei-tó vízgyűjtő területén található, magas napelemes penetrációval rendelkező dombvidéki település példáján keresztül. A javasolt fejlesztés a villámárvizek kockázatát csökkentő csapadékvíz-gazdálkodásba integrálja az energiatárolást, az öntözést, a rekreációt és a kék-zöld infrastruktúrákat, csillagszerűen elhelyezett

többfunkciós tározós hálózat használatával. A tározók méretei és vízvisszatartó képessége a historikus csapadékadatokból számított lefolyás és a meglévő napelemek által termelt többletenergia alapján került meghatározásra, egy többlépcsős optimalizálási folyamat során. A tározók prioritását – elsődleges, másodlagos funkciók –, valamint a lekapcsolási sorrendeket a helyi sajátosságok és igények határozzák meg. Az optimalizálás célja az egész éves, település szintű energiafüggetlenség, a szigetüzemű működés elérése, amelyben minimalizálására kerültek a rendszer hidrodinamikai veszteségei. A működési hatékonyság mellett a környezeti és pénzügyi értékelés is megtörtént, a jelenleg, hagyományos villamosenergia-ellátás és a módosított energiamix egy közvetlen energia-audittal (DEA), valamint a kibocsátott CO₂ semlegesítés költségével került összehasonlításra. A változatok gazdasági elemzéséhez a teljes életciklus-költségelemzés (LCCA) került alkalmazásra, amely kombináltan értékeli a fenntartható fejlődés mindhárom pillérét: a környezeti, a társadalmi, és a gazdasági lábakat.

TERÜLET BEMUTATÁSA

A Közép-Dunántúlon, Székesfehérvár és Budapest vonzáskörzetében található a népszerű, szikes, viszonylag sekély átlagos vízmélységű, 24,2 km² területű Velencei-tó (*URL16*). Bár a tó vízgyűjtőjének területe viszonylag kicsi, mindössze 602,3 km², mégis változatos és gazdag vízi ökoszisztémával rendelkezik (*URL17*). Dombvidéki és síkvidéki területek egyaránt megtalálhatók, az északi részén fekvő Vértes-hegység karsztlejtőitől és a Zámolyi-medencétől kezdve a Mezőföld déli síkságain keresztül a Velencei-medencéig. A vízgyűjtő északi részein a karsztközet és a porózus talaj hatására a beszivárgás jelentős, ezáltal csökkentve a felszíni lefolyást, miközben az ökológiailag egyedülálló és gazdaságilag fontos Velencei-tó párolgási vesztesége jelentős (*URL7*). Az éghajlatváltozás hatására a nyári aszályos időszakok várhatóan súlyosbodni fognak az elkövetkező évtizedekben, ami fokozott párolgáshoz és ezáltal a tó vízszintjének, valamint erőforrásainak további kimerüléséhez vezetnek, amelynek hatásait a környező tóparti közösségek is megérzik (*URL8*). A Velencei-tótól kb. 2 km-re északkeleti irányban található a dombvidéki Nadap (*1. ábra*), ahol az Országos Szintezési Fő Alappon is található. A település központja a Velencei-tó vízszintje felett található mintegy 95 méterrel, kb. 195 méter tengerszint feletti magasságban. Kis lélekszáma és területe ellenére, Nadap legalacsonyabb és legmagasabb pontja között több mint 80 méteres – 149 - 232 m tszm – a szintkülönbség. Továbbá a közvetlen környező területeken a szintkülönbség megközelíti a 200 métert. Nadap nagy részére a lejtős terep jellemző, 5%-os vagy annál nagyobb meredekséggel, de sok helyen a 10%-nál, illetve néhol a 15%-ot is meghaladó lejtés is megfigyelhető. A dombvidéki jelleg mellett számos kisebb sík, illetve sík közeli terület is megtalálható, amelyek alkalmasak, illetve könnyen alkalmassá tehetők vízvisszatartási intézkedésekre és fenntartható víztározók létesítésére, ahogy azt az *1. ábra* mutatja.



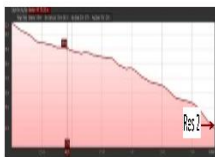
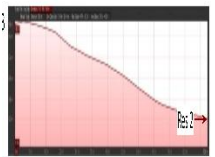
1. ábra. Nadap elhelyezkedése a Velencei-tó vízgyűjtőjén; a többcéli tározók bemutatása
Figure 1. Location of Nadap in the watershed of Lake Velence; presentation of the multipurpose reservoirs

A megjelölt tározók egymással csillagszerűen összekapcsolhatók, hogy egy integrált víz-, energia- és ökológiai hálózattá váljanak, amely képes kielégíteni a különböző vízhasználói igényeket. A négy tározó mellett kisebb tavak is találhatóak a rendszerben, amelyek célja elsősorban ökológiai, rekreációs, és a biodiverzitás növelése, kék-zöld folyosók létesítésével. Ezek vízmennyisége több nagyságrenddel kisebb – $10\text{--}100\text{ m}^3$ – a fő tározókéval. Az 1. ábrán 1. számmal jelölt tározó fekszik a legalacsonyabban, ez az úgynevezett alsó tározó, míg a 2., 3. és 4. tározók magasabban helyezkednek el, ezek a felső, szivattyús vízenergia tározók. A felső tározók együttes vízviasszatartó képessége megegyezik az alsó tározóéval, amely lehetővé teszi a rendszer zárt hurokban történő működtetését (Stocks és társai 2021). A tározók főbb jellemzőit és tervezett funkcióit az 1. táblázat foglalja össze. Az elsődleges záportározó funkciónak köszönhetően, a viasszatartott lefolyó csapadékvízből történő vízutánpótlás segít kompenzálni a tározók párolgási veszteségeit, miközben azok kiszolgálják az öntözési és egyéb vízzel kapcsolatos igényeket. A 2. számú felső tározó védeni képes a települést a hirtelen dombvidéki árhullámoktól zivatarok idején, míg az 1. számú alsó tározó összegyűjti a települési csapadékvíz-hálózaton keresztül gravitációsan lefolyó vizeket a későbbi hasznosítás érdekében. Ezen funkciók alapvető fontosságúak a tervezés során, ahogy az energiatárolás és hasznosítás is. A tározók közötti kétirányú kapcsolat létrehozása lehetővé teszi mind a szivattyúzási, mind a turbina üzemmódot. A tározók elhelyezése és azok másodlagos funkciói az érdekelt felek igényei alapján kerültek meghatározásra. A 2. számú víztározó egy tájvédelmi terület és egyben egy újonnan létrehozott vadász- és vadspark szélén található, ahol a víztározó itatóként enyhítheti a nyári aszályok vadvilágra gyakorolt negatív hatásait (Owusu és társai 2022). Ez a terület egyedülálló oktatási és szabadidős látványosságként is szolgálhat, lehetővé téve a látogatók számára, hogy egy kilátópontról, akár éjszaka is megfigyeljék a vad-

világot. Ezzel szemben a 3. és 4. számú víztározók környezete növénytermesztésre és szőlészeti tevékenységre használt, amelyek alapján a tározók alapvetően öntözési és borászati funkciókat látnak el. Az alsó kifolyási szintek magasabban helyezkednek el, mint a környező öntözendő terület, amely lehetővé teszi a fenntartható vízkiszolgálást, a víz gravitációs úton áramlását az érintett területekre.

Nadap 2022-re a legnagyobb, ingatlanarányos napelem penetrációval rendelkező település lett Magyarországon, az ingatlanok 21%-a rendelkezik napelemmel, mint megújuló energiaforrás (URL9). A jövőben a telepített napelemek száma várhatóan tovább emelkedik, ezzel növelve a megújuló energiatermelési kapacitásokat. Az éves napenergia-termelés jelenleg megfelel a település éves villamosenergia-igényének, a fűtési energiát nem számítva (Kálmán és Bene 2025). A napenergia-termelés azonban napon belül és az évszakok között erősen ingadozik. A termeléshez szükséges napsugárzás és a fogyasztási szokások nincsenek összhangban, ezen időbeni eltérést energiatároló rendszerrel lehet kiegyensúlyozni. Az egy főre jutó magas napelemszám és a dombvidéki, jelentős szintkülönbségek miatt a szivattyús vízenergia-tároló rendszer egy lehetséges fenntartható alternatíva, akár a szigetüzemű működéshez is. Mindezeket túl, a vármegye Magyarország egyik legszelesebb területe, ahol az átlagos szélsébség 2002 és 2022 között meghaladta a $3,5\text{ m/s}$ -ot. Ebben az időszakban a 2 m/s -nál nagyobb szélsébségű szeles napok átlagos száma évente 202 nap volt, míg a 3 m/s -nál nagyobb szélsébségű napok száma elérte a 107 napot (URL10). A kis, háztartási méretű szélturbinák jellemzően $2,0\text{ m/s}$ bekapcsolási szélsébséget igényelnek (Kishore és társai 2014), míg a nagyobb turbinák bekapcsolási szélsébsége $3,0\text{ m/s}$ (Ajayi és társai 2019). A vízenergia mellett a szélenergia kiegészítő lehetőséget jelent a fenntartható, karbonsemleges energiamix fejlesztéséhez, de annak vizsgálata nem tárgya jelen kutatásnak.

1. táblázat. Tározók elhelyezkedése és tervezett funkcióik
Table 1. Location of reservoirs and their intended functions

	Tározó 1.	Tározó 2.	Tározó 3.	Tározó 4.
Elhelyezkedés és fenékszint	Pázmándi út (145 mBf)	Lovasberényi út (203 mBf)	borászati fennsík (190 mBf)	Csúcsos-hegy (198 mBf)
Tározó vízfelszíne	2,8 ha (28 000 m ²)	0,5 ha (5 000 m ²)	1,5 ha (15 000 m ²)	0,75 ha (7 500 m ²)
Tározó hasznos vízmélysége	5 m	5 m	5 m	6 m
Tározó max. víztérfogata	140 000 m ³	25 000 m ³	75 000 m ³	45 000 m ³
A tározó elsődleges funkciója	1. Árvízcsúcs csökkentés és csapadékvíz tározás 2. Alsó tározó és vízpótló létesítmény	1. Villámárvíz szabályzás, csúcs hozam csökkentés és víztározás; 2. Energia- tározás	1. Energia-tározás (felső tározó) 2. Szőlőterület öntözése	1. Energia-tározás (kiegészítő felső tározó)
A tározó másodlagos funkciója	3. Rekreáció és turizmus; 4. Mikroklíma javítás és hősziget hatás csökkentés	3. Vadállomány itatása, vadgazdálkodás; 4. Erdészeti tevékenység támogatása; 5. Rekreáció, vadmegfigyelési pont	3. Borászat technológiai vízellátása (kék-zöld infrastruktúrákon újrahasznosítva) 4. Rekreáció és turizmus; 5. Mikroklíma javítás	2. Szőlő és gyümölcsös öntözés; 3. Vadállomány, vadgazdálkodás és itatás; 4. Kiskerti növénytermesztés támogatása
Magassági elrendezés 1. tározóhoz képest				

MÓDSZERTAN

Jelen kutatásban egy módszertant készítettünk dombvidéki települések számára kisméretű szivattyús vízerőművek megvalósításához. A szivattyúzáshoz szükséges energiát a helyi napelemek, míg a szükséges vizet a csapadékvíz visszatartása és a vízgazdálkodás biztosítja. A megfelelő földrajzi adottságokkal rendelkező települések előzetesen megtervezhetik az energiatározós rendszert, a járulékos másodlagos előnyök, a társadalmi szükségletek és a környezetvédelem gazdasági potenciáljának figyelembevételével, csökkentve a klímaváltozás várható negatív hatásait. A szivattyús vízenergia-rendszer főbb összetevői: alsó és felső víztározók, szivattyú- és turbinarendszerek, csőhálózatok, energiaellátás és rendszervezelés.

A hidrológiai számítások az öntözéshez, az itatáshoz és a tározók elhelyezéséhez kapcsolódó folyamatok bemutatásához szükséges. A lineáris energetikai modellek a napenergia termelést és az áramfogyasztást kapcsolják össze. A nemlineáris hidrodinamikai modell a csőáramlás és a szivattyúműködés veszteségeit veszik számításba. Az optimalizáláshoz kombinált - lineáris és nemlineáris - módszertant dolgoztunk ki. A többcélú optimalizálás segít egyensúlyt teremteni a hasznok és ráfordítások között a különböző víz- és energia-felhasználók esetében. Nyomottvízes rendszerekben a sűrűlódás és a szivattyú működése teszi ki a legnagyobb üzemeltetési költségeket, ezért az optimalizáláshoz alkalmazott MATLAB megoldó célja a nyomásvesztés és az energiafogyasztás minimalizálása (Makaremi és társai 2017). A jó szivattyúüzemelés minimális napi kapcsolást használ, ami csökkenti az üzemeltetési költségeket és a befektetés megtérülését. A szivattyús vízenergia tározó rendszer előzetes tervezését, a többcélú hasznosítást és optimalizálást a 2. ábra mutatja

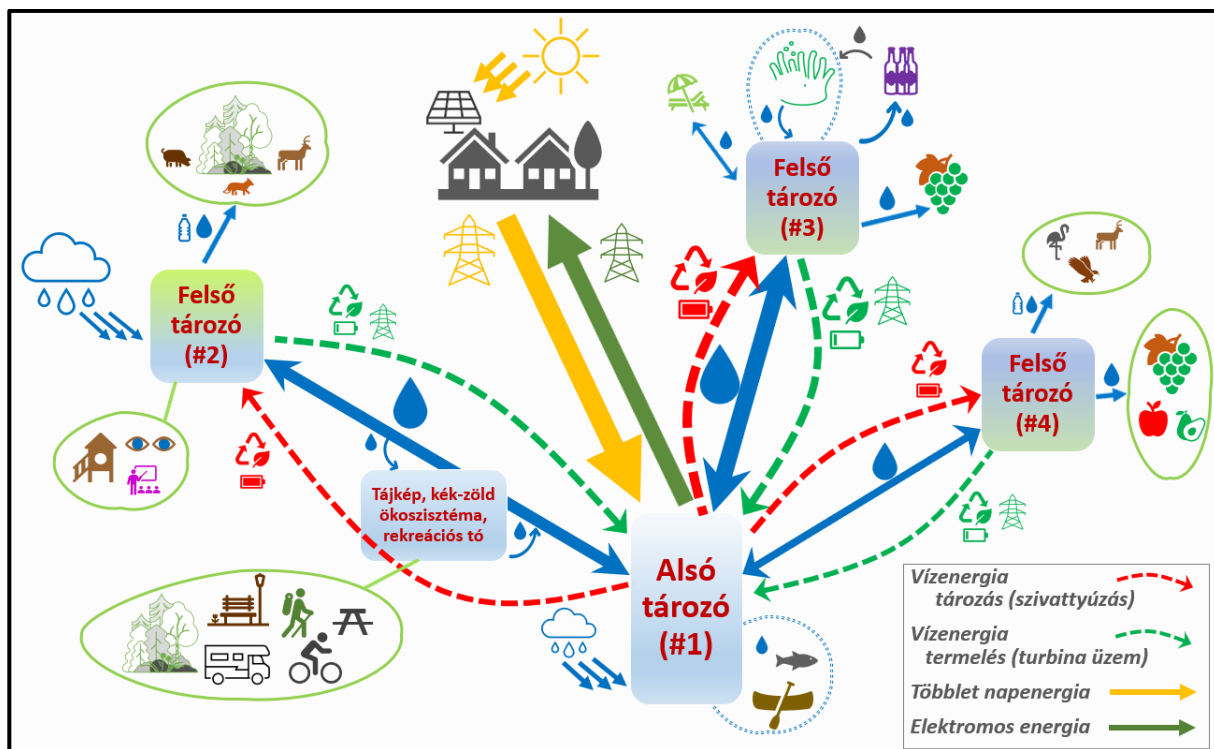
be. A modell ugyanakkor nem terjed ki az üzemeltetési feladatokhoz kapcsolódó szabályozási funkciókra.

A rendszert három fő energiaáram hajtja: a vízenergia-potenciál változása, a besugárzott napenergia változása és a fogyasztók energiaigénye. Ezek egymástól függenek; a több napenergia és energiatermelés növeli a vízben tárolt potenciális energiát. A napenergia többlet része (a fogyasztói igényen felül) energiát szállít a szivattyúkhoz (narancssárga nyíl). Ezzel az energiával a szivattyúk a vizet az alsó tározóból (1) a felső tározókba (2,3,4) emelik, ahol napokig, hetekig vagy akár évszakon átívelően is tárolni képesek. Az ábrán a piros nyilak az energia tárolást, míg a kék nyilak a víz fizikai mozgását jelzik. Amikor a fogyasztási igény meghaladja a napenergia-termelést, a felső tározókból kivett víz meghajtja a turbinákat – helyzeti energia kinetikussá alakul (zöld nyilak) –, majd elektromos energiává (sötétzöld nyíl).

A zöld energiatárolás mellett a rendszer csapadékvíz-gazdálkodást is biztosít. A településhatáron történő árhlámcsúcs-csökkentés a belterületi villámárvizek kockázatát is jelentősen csökkenti. Ezért a vízenergia hasznosításának első és legfontosabb lépése a csapadékesemények vizsgálata, a csúcs hozam mérséklése. A település külterületén található magasabb területeken a csapadékvíz visszatartása kettős célt szolgál: villámárvízi kockázat mérséklése és vízenergia tárolása. A kettős funkció csökkentheti a tározó megtérülési idejét, miközben számos előnnyel jár. Jelen kutatásban a 2. számú tározó hatékonyan valósítja meg ezt a kettős funkciót, míg a 1. számú tározó a településen belül gyűjti össze a csapadékvizet, a párolgási veszteségek kompenzálása és az öntözési igények biztosítása érdekében (kék esőcseppek a 2. ábrán). Az ábra a vízkészletek másodlagos hasznosítását is bemutatja, továbbá az

ikonok méretei – kék esőcseppek, kék felhők, piros-zöld akkumulátorok, nagyfeszültségű hálózatok –, valamint a nyílak vastagságai utalnak az energia- és vízmennyiségi

nagyságrendekre. Például az évente az 1. és 4. tározó között mozgatott víz mennyisége elmarad mind az 1. és 2., mind az 1. és 3. tározó között mozgatott víz mennyiségétől.



2. ábra. A többcélú víztározók módszertani bemutatása
Figure 2. Methodological presentation of multipurpose reservoirs

Csapadékvíz gazdálkodás

A szivattyús tározórendszer működését javítja a természetes hozzáfolyás, a lefolyások betározása, így az árhullám csúcsok mérséklése. Az így készletezett víz bővíti a lehetséges másodlagos funkciókat, miközben csökkenti a rendszer megtérülési idejét. A jelen kutatásban végzett becsléseket javasolt felülvizsgálni a megvalósítási tanulmány során, mivel az alulbecsülte a lefolyást, így az energiatárolási potenciált is. A tározók közül az 1. és 2. számú kifejezetten a lefolyó vizek összegyűlekezését szolgálják, így szerepük a villámárvízi kockázatok mérséklésében és csapadékvíz-gazdálkodásban jelentős. A település dombvidéki jellege és kis területe miatt négy csoportba soroltuk a részvízgyűjtőket: 1. közutak, főutak és járdák; 2. külterületi erdőterületek; 3. külterületi szántó és művelt földterület; és 4. lakókerti övezetek. A számításhoz használt méretek és lejtési adatok a QGIS-3.28.2-Firenze (URL18), a Google Earth-9.177.0 (URL19) segítségével kerültek meghatározásra. A lefolyások és a vízhozamok meghatározására a racionális módszert alkalmaztuk, amelyben az utak és járdák C lefolyási együtthatóját egységesen 0,9-re, az erdős területekét, valamint a szántó és művelt területekét 0,2-re állítottuk, ahogy a belterületi családi házas területekét is. A csapadékesemények az OMSZ adatbázisában érhetők el (URL4). A 2002.01.01. és 2022.12.31. között napi eseményekből számítottunk átlagos havi és éves csapadékmennyiségeket, és ez alapján határoztuk meg a nyári aszályos időszakokban az öntözési igényeket. A terület- és csapadékadatokból számított lefolyás meg-

határozása Excel-ben történt. A tározók kellő térfogattal rendelkeznek még extrém zivatar esetén is a lefolyó vízmennyiség befogadására.

A vízigények kielégítése szempontjából a víztározók két fő funkcióbba sorolhatók: energia (tárolás és termelés) és kiegészítő szolgáltatások. A szolgáltatások közé tartozik: a gazdasági előnyök növelése (a mezőgazdasági területek öntözésével a hozamok növelése), az aszály vadvilágra gyakorolt hatásainak enyhítése (a vadon élő állatok itatása), a társadalmi jólét növelése, valamint a biológiai sokszínűség (kék-zöld folyosók és kapcsolódó tavak táplálása).

A kiválasztott mezőgazdasági területen szőlőültetvény található, amelynek öntözése szükséges a vegetációs időszakban. A szőlőtőkék tervezett öntözése május 1-től szeptember 30-ig tart. A nyári csúcsidőszakokban a levelek párolgása jelentősen megnő, havonta akár 20-25 cm víz is elpárologhat, ezért az öntözési ütemterv a következők szerint alakul: májusban, júniusban és szeptemberben minden második nap (havi 15 nap), júliusban és augusztusban pedig naponta (havi 30-31 nap), kivéve az esős napokat. A forró évszakban a vízigény a termőhajtások esetében kb. 0,017-0,023 m³ négyzetméterenként hetente, amit a számításban 0,003 m³-nek vettünk öntözési ciklusonként, míg a nem termő hajtások esetében 0,0015 m³-nek. A 3. ábra mutatja be és foglalja össze az öntözött területek méretét, főbb jellemzőit és a település külterületén való elhelyezkedésüket (pirossal lehatárolt területek).



3. ábra. A tervezett öntözendő területek és a vaditató elhelyezkedése
Figure 3. Location of the planned irrigated areas and the water trough

A település északi részén egy új vadrezervátum és vadászterület került kialakításra az erdőn belül. A terület kerítéssel körülhatárolt a vadon élő állatok védelme és az emberek biztonsága érdekében, megakadályozva az állatok vándorlását. A nyári aszályos időszakban sok állat jellemzően a közeli Velencei-tóhoz látogatott inni, de a bekerített területen tartózkodók nem férhetnek hozzá ehhez a vízforráshoz, ami rontja a populáció egészségét és szaporodási képességét. Az állatok számára szükséges a jobb vízhozáférés. Az egyik hatékony megoldás egy itatórészt, egy oldalsó zóna kialakítása a 2. számú tározónál a vadon élő állatok itatására (Mioduszewski 2012). A szarvasok átlagosan napi 3-5 liter vizet, a vaddisznók 15-20 litert, a kisebb vadak pedig 0,5-1 litert igényelnek. A 2018-as adatok szerint a vadászterületen kb. 3400 szarvas, 800 vaddisznó és 250 kisebb vad él (URL13). A vadrezervátum ezen populációk körülbelül egytizedét tartja fenn, ami meghatározza a fajlagos itatási célú vízigényt.

A kék-zöld folyosó fenntartásához, a kisebb tavak és vízfolyások vízellátásához szükséges vízmennyiség kb. 1,5-2 l/s, azaz kb. 6-7 m³/h, így a teljes napi igény 150 m³. A víz nagy része a felső 2. számú tározóból származik, és az alsó 1. számú tározóba folyik, így a vízvesztesség - főként a felszíni vízkészlet beszívargás okozta csökkenése miatt - becslések szerint 20-25%, azaz napi 30 m³.

Energia tározás

A szivattyús vízenergia tározós rendszer szén-dioxidmentes működése érdekében, a használt energiának megújuló forrásból kell származnia. Bár a szélerőenergia hatékony megoldás lenne a radiális szivattyúk üzemeltetéséhez a közvetlen forgómozgás miatt, a szélerőművek jelenleg korlátozottan elérhetők, ezért a napenergia az elsődleges energiaforrás. Nadapon magas a napelemes rendszerek elterjedtsége, ami megfelelő alapot biztosít egy szivattyús-tározós rendszer fenntartható energiaellátásához. Az éves napenergia termelés a Google Earth és e-kozmű rendszerek napelem kataszterek alapján került meghatározásra,

feltételezve, hogy a jelenleg használatban lévő napelemek átlagos területe kb. 1,5 m², névleges teljesítményük pedig 400 W (Kálmán és Bene 2024). A lehatárolt felületekből arányosítva, egész számra kerekítéssel kiszámítható a napelem panelek száma és az egységteljesítménnyel felszorozva a tényleges napelem-termelési potenciál meghatározható. Egy mért napelemes rendszer napi időszámát alapul véve, az inverter hatásfokával és a rendszer tájolási tényezőjével korrigálva a teljes település szintű napelem termelési időszám meghatározható. A villamosenergia felhasználást a lakosok és a lakóépületek száma alapján lehet megbecsülni. Az átlagos energiafogyasztás a háztartásonkénti létszámtól függően változik, statisztikai adatok alapján az egy fős háztartás havonta kb. 120 kWh-t, a két fős háztartás 180 kWh-t, míg a négy fős háztartás 200 kWh-t fogyaszt. A négyfős családi ház jellemzően havi 230 kWh villamos energiát használ, a fűtési energián felül (Kálmán és társai 2024). Amennyiben egy ingatlan elektromos fűtésre támaszkodik, a fogyasztása ennek megfelelően növekszik. A közműtérkép (URL1) adataiból kiszűrhetők a gázhálózatra nem csatlakoztatott ingatlanok, amelyekről feltételezhető, hogy villamos energiát használnak fűtésre, amely így növeli a valós villamos-energia felhasználást.

A tározók létrehozásának elsődleges célja a település villamosenergia ellátás-biztonságának és stabilitásának javítása és a villamos energia igényének megújuló, zöld energiával történő kielégítése, így a rendszernek a napsütéses időben termelt többlet napenergiát szükséges tároznia. A szivattyús vízenergia tározók alkalmasak mind a túltermelés tárolására, mind a betárolt energia később történő felhasználására. A legnagyobb veszteséget a hidrodinamikai csőszűrlődások és a szivattyúk veszteségei jelentik, amelyek nemlineáris egyenletek. A veszteségek olyan főbb tényezőktől függenek, mint a csőátmérők és csőjellemzők, valamint az áramlási sebességek. Az optimalizálás egy iteratív megoldóval történt Matlab-ban, általunk elkészített programmal. Egyszerűsítésként a nyomott

csöveket egyenesnek, a belépési-kilépési keresztmetszeteikenél veszteségmentesnek vettük fel. Az optimalizálásnál az áramlási sebességet 1-10 m/s közötti tartományra állítottuk; megcélózva a szivattyús vízerőművek esetében alkalmazott 1-5 m/s csőáramlási sebesség értékeket (Thapa és társai 2016). A rendszer 1D a cső középvonala mentén, a csőfal merev és a vízsűrűség állandónak tekintett (Gureczky és társai 2022). A szállítómagasság a tározók közötti mBf szintkülönbségből adódik, ahol az egyszerűsítés érdekében állandó értékkel számoltunk és valamennyi tározó esetében a középszinthez tartozó vízfelszín magasságot használtuk, szemben a folyamatosan változó magasságkülönbséggel. A középszint alkalmazásával a változó szintkülönbséghez képest kialakuló teljesítmény alul- és felülbecslés kiegyenlítődik – telített, illetve alacsony vízszintű tározói esetek – és így az ebből adódó hiba az eredményre minimális hatással van. A víztetés hatásának minimalizálása érdekében egy lassan nyitó/záró mechanizmussal ellátott térfogatáram-szabályzó elem beépítése szükséges, mint amilyen például a motoros tolózárr vagy a forgószáras szelep az áramlási sebesség hirtelen változásainak megakadályozására a nyomócsőben (Adamkowski és társai 2008). A lassú nyitás ellenére a maximális kimeneti teljesítmény gyorsan elérhető marad. Az indítási és leállási veszteségek csökkentése érdekében, hogy a csőhálózat folyamatosan telítve legyen, a rendszerbe visszacsapó szelepek beépítése is javasolt. Ugyan a nagyobb csőátmérők növelik a turbinák energiatermelését (Putra és társai 2022), a csőhálózatban tartózkodó víztérfogat növekedés miatt a szivattyúzási hatékonyságra negatívan hatnak, míg a kisebb csőátmérők növelik a nyomásvesztést, így a csőátmérő optimalizálása kiemelten fontos.

A víztározók maximális energiátároló kapacitása a 1. egyenlettel számítható, míg az éves energiamérleg a 2. egyenlettel. A víz felső tározókba történő szivattyúzása energiátárolást jelent, ami veszteséges, energiaigényes folyamat. Napsütéses időben a termelt napenergia egy része helyben felhasználásra kerül, a többit a szivattyúk segítségével a felső tározókba. A tározók maximális vízenenergia tárolókapacitása (kWh-ban), a betározható maximális zöldenergia mennyisége: (1) egyenlet és az éves energiamérleg meghatározása, amely a fogyasztók által közvetlenül fel nem használt napenergia azon része, amely szivattyúzásra – és így vízenenergia, mint zöldenergia betározásra – fordítható, napi bontásban: (2) egyenlet:

$$C_{\text{tár}} = \sum_{i=2}^4 \frac{\rho \cdot g \cdot H_i \cdot V_i}{3600 \cdot 10^3} \quad (1)$$

$$PL_{\text{sziv}} = \sum [(P_{\text{napelem}} - C_{\text{napelem}}) + |C_{\text{napelem}}| \cdot (1 - f_{\text{évszak}})] \cdot \eta \quad (2)$$

ahol $C_{\text{tár}}$ [kWh] a felső tározók tárolókapacitása; ρ [kg/m³] a víz sűrűsége, amely 1 000 kg/m³; g [m/s²] a gravitációs gyorsulás, amely 9,81 m/s²; H_i [m] az alsó és az i -edik felső tározó közötti magasságkülönbség ($i=\{2;3;4\}$), azaz a tényleges vízmagasság; V_i [m³] a hasznos vízmennyiség, amely az i -edik tározóból a nyomócső és a turbinán keresztül áramolhat; PL_{sziv} [kWh] a szivattyúk energiavesztésének összege; P_{napelem} [kWh] a napi napenergia-termelés; C_{napelem} [kWh] a helyi közvetlen napenergia-fogyasztás, naponta; $f_{\text{évszak}}$ [-] egy energiafelhasználási tényező, amely a tározókból származó vízenenergia-felhasználás arányát

jelöli (az érték $f=\{\text{nyár}=0,7; \text{ősz/tavaszi}=0,5; \text{tél}=0,3\}$); η [-] a szivattyú hatásfoka.

Gazdasági értékelés

A szivattyús vízenenergia bekapcsolásával a település energiamixe megváltozik, az energiaigénye nagyobb részben zöld energiaforrásból kerülne kielégítésre, ezáltal a szén-dioxid kibocsátás változik. Az energiamix változása közvetlen energiaauditál (DEA) került értékelésre, amelyhez a számított eredmények és a szakirodalmi adatok adtak segítséget. Jelenleg az energiaigény kisebb részben a helyi napenergia-termelésből, nagyobb részben pedig a villamos átviteli hálózatról kerül kielégítésre. Ezek arányának ismerete mellett meghatározható a teljes energiafelhasználás [kWh] megoszlása és a villamosenergia egységár ismeretében pénzben [HUF] kifejezhető. A kiterjesztett vizsgálat környezeti hatásvizsgálat is végezhető, hiszen az energiamix változással a CO₂ kibocsátás [kg-ban] is módosul. A karbon-lábnyom eltérő valamennyi energiaforrás esetében, a napelemes energiatermelés CO₂ kibocsátása 0,03–0,04 kgCO₂/kWh, míg a szivattyús vízerőmű kibocsátása 0,05–0,09 kgCO₂/kWh (URL11). Magyarország 2024-es energiamixe alapján a becsült CO₂ kibocsátási tényező 0,24–0,25 kgCO₂/kWh között van (URL6). Az energiatermelés szénlábnyomai (CLCO₂) a vizsgált esetekben a 3. egyenlettel kerültek kiszámításra:

$$CL_{CO_2} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i \cdot ET_i}{E_{\text{total}}} \quad \text{ahol } E_{\text{total}} = \sum E_i \quad (3)$$

ahol E_i a különböző energiamixhez tartozó éves villamosenergia-termelés (kWh-ban), ET_i az emissziós tényező napenergia esetén 0,04 kgCO₂/kWh, vízenenergia esetén 0,08 kgCO₂/kWh és az átviteli hálózatról származó villamosenergia esetén kb. 0,25 kgCO₂/kWh. A CO₂ kibocsátás semlegesítési egységköltsége pedig kb. 28 Ft/kgCO₂.

A rendszer pénzügyi értékelése egy kombinált jelenérték-meghatározás alapú gazdasági-környezeti módszerrel (NPV_{lcca, cba}) történt a 4. egyenlettel, amely tartalmazza (1) a vízenenergia-tároló rendszer beruházási, karbantartási és üzemeltetési költségeit 50 éves időhorizonton egy diszkontált életciklus-költségelemzésben (LCCA), valamint (2) a különböző energiaforrások használatával és így a változó villamosenergia bekerülési árakból származó üzemeltetési költségmegtakarítást (Ft/kWh), és a CO₂ kibocsátás semlegesítési költségeinek csökkenését.

$$NPV_{lcca, cba} = I + \sum_1^t \frac{OP \cdot (1+p)^{t-1}}{(1+i)^t} + \sum_1^t \frac{MT \cdot (1+p)^{t-1}}{(1+i)^t} + \sum_1^t \frac{P_{e-mix}}{(1+i)^t} \pm \sum_1^t \frac{NCO_{2t}}{(1+i)^t} \pm \sum_1^t \frac{INC_k}{(1+i)^t} \quad (4)$$

ahol I a kezdeti beruházási költsége, valamint a napelemek feldísz (25. évi) rendszer cseréjének költsége (Ft); OP a kiindulási éves üzemeltetési költség (Ft), amely a „p” áremelkedés hatására változik a teljes vizsgált időszakban, MT az éves karbantartási költség (Ft), amely a „p” áremelkedés hatására változik a teljes vizsgált időszakban; P_{e-mix} a felhasznált energiamix egységára (Ft/kWh); i a finanszírozás kamatlába (3,0%/év); p az áremelkedés, az inflációs ráta (2,0%/év); t a vizsgált élettartam (50 év); INC_k az állam által nyújtott támogatás vagy büntetés, valamint az egyéb célokra felhasznált víz értékesítéséből származó

éves többletbevétel, a másodlagos vízhasználók hozzájárulása (+ ha támogatás/bevétel; - ha adó/bírság); Az NCO_2 , az éves kibocsátott CO_2 semlegesítési költsége (+ semlegesítés esetén; - abszorpció esetén).

EREDMÉNYEK

A tározott csapadékvíz többcélú felhasználása csökkenti egy település globális kihívásoknak való kitettségét, beleértve az éghajlatváltozás káros, negatív hatásait. A település felett lefolyó csapadékvíz visszatartása a víz- és földenergia-gazdálkodást segítheti. A tározó kialakítása költségköltséghatékonyabban valósítható meg a többcélú felhasználás miatt. Jelen kutatásban ezt a funkciót a 2. számú tározó látja el. A tározó feltöltését részben a csapadékvíz-visszatartás, részben pedig az alsó, 1. számú tározóból történő szivattyús töltés biztosítja.

Csapadékvíz-gazdálkodás

A tervezett szivattyús-tározó rendszer kvázi zárt vízkörforgás mellett működik, a víz az alsó-felső tározók közötti szabályozott áramlásával. A rendszer azonban külső vízellátást is igényel a másodlagos felhasználások, például az itatás, valamint a párolgásból eredő veszteségek kompenzálására. A feltöltés, valamint a vízpótlás elsődleges vízforrása a lefolyó, valamint a tározókra hulló csapadékvíz, amelyhez szükséges a helyi hidrológiai események megismerése. A tározók kettős célt szolgálnak: egyrészt a nappal termelt többlet napenergia tárolását - energia kiegyensúlyozás -, másrészt az őszi, téli és tavaszi többlet vizek visszatartását - vízkészlet gazdálkodás - az éghajlatváltozás okozta aszálykárok mérséklése érdekében. A vizsgált 20 éves időszakban a 35315-ös

számú MetStation állomáson mért átlagos éves csapadékmennyiség az átlag alatti, mindössze 532 mm. A nyári időszakban (122 nap) mindössze 12-15 olyan nap van, amikor a napi csapadékmennyiség eléri a legalább 5 mm-t. A növénytermesztés védelme és a biztonságos termés hozam érdekében az öntözés szüksége növekszik. A racionális módszerhez a település és környezete részvízgyűjtőkre lett osztva, hogy meghatározható legyen az éves maximálisan visszatartható csapadékvíz mennyisége. Ennek megfelelően a lefolyásból évente rendelkezésre álló összes csapadékvíz 62 815 m³. Az ebből a 2. sz. felső tározó felé kormányozható mennyiség 10 812 m³, míg a fennmaradó mennyiséget, azaz 52 003 m³ az 1. sz. alsó tározó tudja kezelni. Ez jelentős vízmennyiség a település erősen dombvidéki jellege, valamint a nagy kiterjedésű erdős, mezőgazdasági és szőlészeti területek miatt. Az alvízgyűjtők lejtése 5,0-18,3% között változik, és a település területének kb. 60%-áról a lefolyás gravitációsan az 1. számú víztározó felé irányul, amely egy lokális medence.

Vízigények

Az öntözést a június 1. és szeptember 30. közötti időszakra határoztuk meg; a 3.2. fejezetben leírt öntözési ütemterv szerint. Egy teljesen csapadékmentes nyári időszak esetén az öntözési napok elméleti maximuma 92. Ezzel szemben az elmúlt évtized csapadékidőszorai alapján az öntözési napok száma 52-63 nap között változott, beleértve a 2020-as évek szélsőségesen aszályos nyarait is. A négy megjelölt szőlővel borított terület öntözési vízigénye, a legszárazabb év öntözési, itatási gyakoriságához szükséges mennyiségeket a 2. táblázat foglalja össze.

	Napi itatási igény / öntözési ciklusonkénti vízigény	Teljes nyári időszak vízigénye (63 öntözési nap / 4 havi itatás)	Nyári időszakon kívüli (okt-máj) itatási / öntözési vízigény
Szőlőtábla 1	52,5 m ³	3 308 m ³	0 m ³
Szőlőtábla 2	- m ³	- m ³	0 m ³
Szőlőtábla 3	171 m ³	10 773 m ³	0 m ³
Szőlőtábla 4	126 m ³	7 938 m ³	0 m ³
Őz-szarvas	1,2 m ³	146 m ³	219 m ³
Vaddisznó	1,5 m ³	183 m ³	273 m ³
Kistestű vadak	0,2 m ³	24 m ³	36 m ³
Összesen	352,4 m ³	22 372 m ³	528 m ³
Mindösszesen:		23 252,4 m ³	

2. táblázat. Öntözési és itatási célú vízhasználatok a felső tározókból

Table 2. Water use for irrigation and drinking purposes from the upper reservoirs

Az éves átlagos öntözési és itatási vízigény kb. 23 000 m³. Ezt egy gravitációs elosztórendszer juttatja a 3. számú tározóból a szőlőtövekhez, illetve közvetlenül elérhető 2. számú tározóból. Ezek tervezett kapacitása meghaladja az éves másodlagos célú vízigényt, így biztosítva a megfelelő vízellátást, miközben ellátja az elsődleges energetikai célú funkciókat. A kettős funkcióval a tározók közös előnyöket teremthetnek a helyi közösségnek és környezetének. A tározók a szélsőséges eseményeket is kezelik, a maximális kapacitás elérése esetén túlfolyón keresztül a többlet lefolyik egy közeli csatornában az 1. sz. tározó felé, így megtartva vizet.

Energiatározás

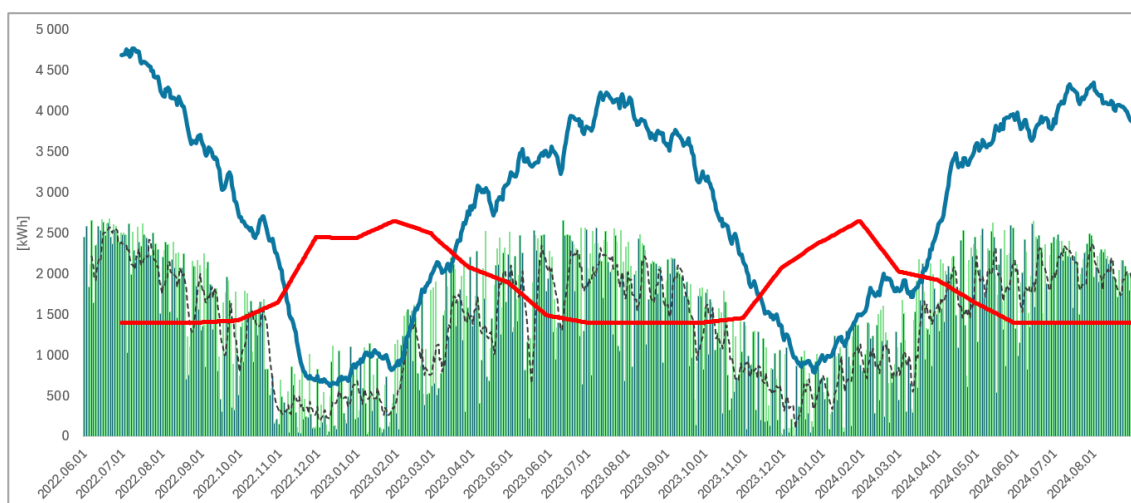
A településen meglévő és a térképen beazonosított napelempanelok alapján meghatározásra került a terület teljes napenergia-termelési kapacitása. A lehatárolt napelemes felületek és a panelenkénti becsült átlagos 1,5 m² méretből

és 400 W teljesítményből 1 086 darab napelem panel adódott, amelyek névleges, település szintű pillanatnyi teljesítménye 434,4 kW. Bár a település évente több mint 2 000 napsütéses órát élvez, ami elméletileg közel 900 MWh éves napelem termelési kapacitást eredményezhetne, a tényleges teljesítmény a változó körülmények miatt – téli alacsonyabb beesési szög, túl meleg idő, hóborítottság stb. — lényegesen alacsonyabb, mindössze 487,6 MWh a vizsgált két év átlagában. A téli napi napenergia-termelés nagyjából a nyári szint egyötöde-hatoda, annak ellenére, hogy a nappali órák számában a különbség ezen évszakok között kevesebb, mint 50%.

A tényleges települési szintű termelés meghatározásához egy működő, 10,2 kW-os napelemes rendszer szolgált referenciaként, valós rögzített teljesítményadatokkal. Az adatok skálázásával és a vonatkozó veszteségtényezők alkalmazásával készült el a településszintű becslés a

tényleges napenergia-termelésről, amit a 4. ábra szemléltet. A zöld oszlopok a napi termelést jelölik, a szürke

pontvonal pedig a 7 napos mozgóátlagot, kiemelve a napenergia ingadozását.



4. ábra. A napelemes energiatermelés napi bontásban (zöld) és annak 7-napos mozgóátlaga (szürke), a villamosenergia-fogyasztás 30 napos mozgóátlaga (piros), valamint a napelem-kapacitások megkétszerezésével elérhető energiatermelés 30-napos mozgóátlaga (kék)
Figure 4. Daily solar energy production (green) and its 7-day moving average (gray), 30-day moving average of electricity consumption (red), and 30-day moving average of energy production achievable by doubling solar capacity (blue)

A két vizsgált év közötti éves energiatermelés mennyiségének különbsége alig több, mint 3%. Az ábra összehasonlítja a teljes napenergia-termelés (szürke vonal) és a háztartások energiafelhasználásának 30 napos mozgóátlagát, beleértve az elektromos fűtési igényeket is (piros vonal). Nyáron a napenergia-termelés meghaladja a helyi igényeket, míg télen a fogyasztás a rendelkezésre álló megújuló energiát. Ideális esetben a nyári többlet napenergiát hatékony energiátárolási megoldásokkal lehetne tárolni télire. A termelési és keresleti görbék alatti területek integrálásával számszerűsíthető a jelenlegi éves napenergia-termelés, és összehasonlítható a teljes villamosenergia-fogyasztással. A jelenlegi napelemes kapacitás jelentős, de mégsem elegendő a település egész éves energiaigényének fedezésére. A kiegyensúlyozott energiaellátás eléréséhez a napelemes energiatermelés 40%-os növelésére lenne szükség. A becslés ideális, veszteségmentes körülményeket feltételez. A valóságban a tárolás hiánya még nagyobb, kb. megduplázott kapacitásnövekedést (kék vonal) igényelne és szezonális tárolást, a teljes energiafüggetlenség eléréséhez. További napelem telepítésekkel a rendszer, illetve a tározó mérete és a vízmérleg-számítások alapján kielégíthetné az egész éves energiaigényt.

Rendszer kialakítás

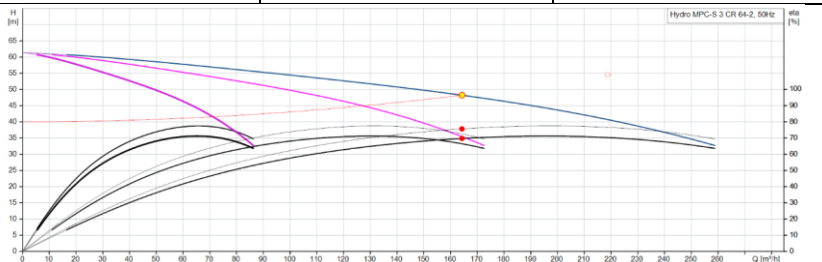
A tervezett szivattyús vízenergia tározó rendszer egy alsó és három többfunkciós felső tározót tartalmaz. Az ezeket összekötő csővezeték átmérőit, az áramlási sebességeket, a vízhozamokat és egyéb peremfeltételeket részben a helyi adottságok, részben az elvárt energiatermelés határozza meg. Az irodalmi ajánlások alapján a csőáramlási sebességre $v = 1\text{--}4$ m/s érték, a település energiafogyasztási függvénye alapján pedig a vízhozamra $Q = 0,03\text{--}0,3$ m³/s érték lett megadva. A tervezett vízhozamok tározónként részben eltérőek az energiatermelő kapacitások és felhasználói igények alapján, így a 2., 4. sz. tározók esetében $Q = \{0,03 \text{ m}^3/\text{s}; 0,06 \text{ m}^3/\text{s}; 0,12 \text{ m}^3/\text{s}; 0,18 \text{ m}^3/\text{s}\}$, míg a 3. sz. tározó esetében $Q = \{0,06 \text{ m}^3/\text{s}; 0,12 \text{ m}^3/\text{s}; 0,18 \text{ m}^3/\text{s}; 0,3 \text{ m}^3/\text{s}\}$ értékeket kapott. A tervezett módszertan differenciál-

tan optimalizálja a különböző energiatermeléseket, a lakosság változó villamosenergia-felhasználási igényei alapján. Csőátmérőkre 200-300 mm adódott a különböző tározók esetén, amely megfelel az előzetesen meghatározott betározási és termelési vízhozam-kritériumoknak, a legkisebb hidrodinamikai veszteség mellett. A veszteség tartalmazza a szivattyúk dinamikus hidrosztatikai nyomásesését, a csővezeték súrlódása által okozott nyomásvesztéséget az alsó-felső tárolók közötti csőszakaszban, továbbá a csövek töltési idejének csökkentését, a szivattyúk hatásfokának növekedése és a beruházási költségek csökkentése érdekében. A tározók között 2 szivattyú telepítésével csökkenthető az egy szivattyúra jutó emelési magasság, ami kedvező hatással van a beruházási költségekre és a szivattyú üzempontjára, azaz a hatásfokára. A beállított paraméterek alapján a rendszerhez illeszkedő szivattyúkat a 3. táblázat foglalja össze, a szivattyúk a Grundfos online adatbázisából kerültek kiválasztásra (URL3). A szivattyúk működése miatti számított teljes éves energiavesztés 217 728 kWh.

A vízenergia-potenciál növelés - a felső tározókba történő készletezés - késő tavasszal, kora nyáron zajlik, amikor jelentős napenergia-többlet van; csak május-június-július hónapokban 220 204 kWh. Ráadásul ezen időszakban elegendő esővíz áll rendelkezésre az alsó tározóban, hogy a felsők feltöltésre kerülhessenek. A tervezett víztározókkal a jelenlegi napelem-kapacitások április elejétől szeptember végéig kiegyensúlyozhatják a termelést és a fogyasztást a 2022. június 1. és 2024. október 31. közötti időszak napi napenergia-termelési adatok alapján, majd szeptember végétől energiatermelő funkcióra vált, mivel a 7 napos energiamérleg mozgóátlaga negatívvá válik, és az is marad tavaszig. Ezáltal az ingatlanokon elérhető jelenlegi napelem-kapacitás 228 705 kWh víztározó-kapacitást igényelne, hogy éves szinten kiszolgálja a villamosenergia-igényeket. Ezzel szemben a tervezett rendszer maximális energiátárolási képessége - a 3 felső tározó kapacitása - 18 468,6 kWh (4. táblázat), ami egy nagyságrenddel kisebb, mint amit az egész éves működés megkövetel.

3. táblázat. Szivattyú és rendszer jellemzők

Table 3. Pump and system characteristics

	Tározó #2	Tározó #3	Tározó #4
Szállítómagasság	69 m	54,5 m	59,5 m
H dinamikus (csővez.súrl. vesz.)	14,5 m	12 m	10 m
H statikus (tározó magasság kül.)	54,5 m	42,5 m	49,5 m
Térfogatáram	60,74 l/s	61,31 l/s	61,31 l/s
Áramlási sebesség	0,84 m/s	0,85 m/s	0,85 m/s
Szivattyú típus	Hydro MPC-S 3 CR64-2 U2 D-C-P-A	Hydro MPC-S 4 CR64-2 U2 D-P-B-A	Hydro MPC-S 4 CR64-2 U2 D-P-B-A
Hatásfok (szivattyú+motor)	70,6%	62,8%	62,8%
Jelleggörbék			

4. táblázat. A tervezett szivattyú víztározó rendszer teljes energiatározó képessége

Table 4. Total energy storage capacity of the designed pump storage system

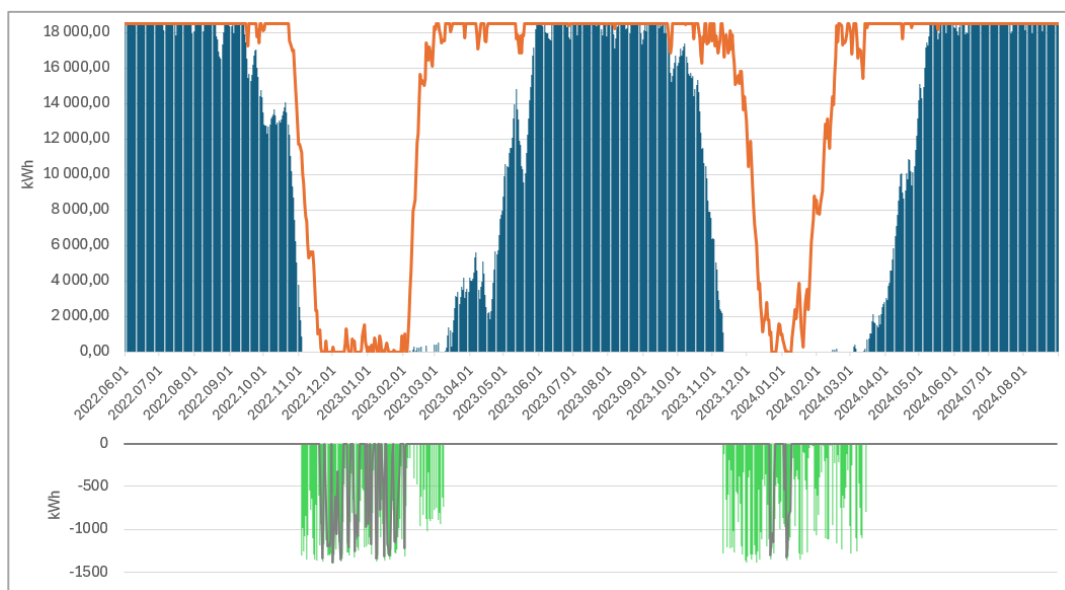
	Tározó #2	Tározó #3	Tározó #4
Hasznos térfogat	25 000 m ³	75 000 m ³	45 000 m ³
Átl. szintkülönbség	54,5 m	42,5 m	49,5 m
Max. energia tározó képesség	3 712,8 kWh	8 685,9 kWh	6 069,9 kWh
Teljes energia	18 468,6 kWh		

A tervezett tárolókapacitás tízszeresére növelése – kb. 25 hektár vízfelület és 1,5 millió m³ víztérfogat – a meglévő napelemekkel történő egész éves üzemeltetés fenntartása érdekében irreális. Ezzel szemben a napelempanel megduplázásával gyökeresen megváltoztatható a termelés-fogyasztás és a tárolás energiamérlege. A tervezett tározók energiakiegyenlítő hatása a megduplázott napelemes termelési kapacitással nagymértékben megnő és a szükséges tárolókapacitás 25 234 kWh-ra csökken. A meglévő napenergia-termelés 7 napos átlaga április elején jelentősen megnő, és tartósan a helyi fogyasztási szintek felett marad. Ennek eredményeként a felső víztározók teljes feltöltődéséhez szükséges 4 hetes intervallum legkésőbb május közepére eltelik, így a tárolók május 31-ig biztosan teljesen feltöltött állapotba kerül. Az 5. ábra mutatja a felső tározók napi energiaszintjét és annak változását (kék-jelenlegi; narancssárga-duplázott napelem kapacitás) és a szükséges külső villamosenergia-pótlás mértékét (zöld-jelenlegi; szürke-duplázott napelem kapacitás) június 1-től kezdődően, az elmúlt 2 év tényleges napenergia-termelése és villamosenergia-fogyasztása alapján.

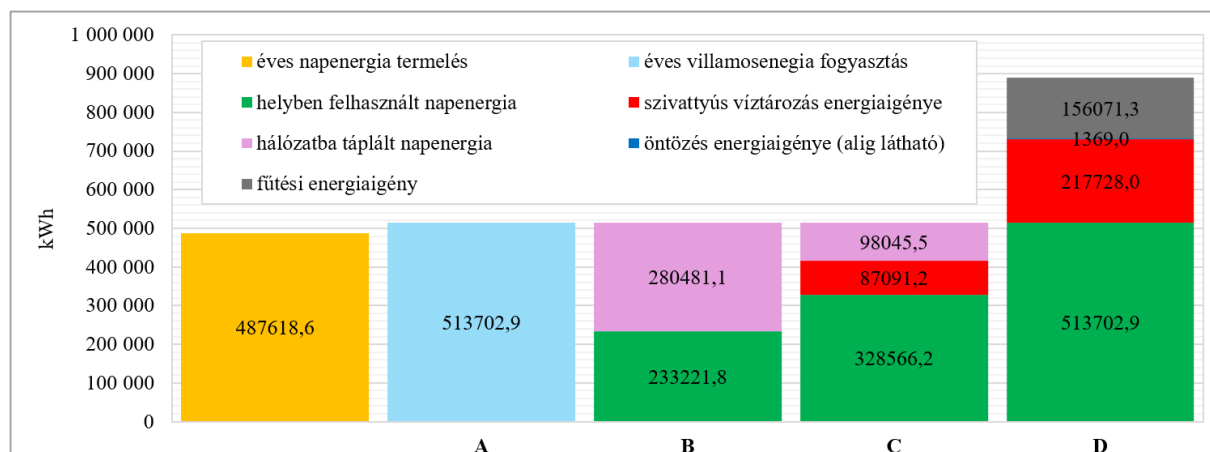
Ez már egy fenntartható üzemeltetést tesz lehetővé, külső energiaforrásból történő pótlás nélkül is. A 25,2 MWh (szükséges tárolókapacitás megduplázott napelemekkel) és a 18,5 MWh (tervezett tárolókapacitás) közötti

különbség részben kiegészíthető az 1. sz. tározóban lévő természetes lefolyás visszatartásával. Továbbá a napelemes kapacitások további növelésével, esetleg a tározók kismértékű bővítésével, vagy éppenséggel a szivattyúk hatásfokának további javításával. A meglévő napelemes kapacitás duplázása közel egy nagyságrenddel csökkenti a külső villamosenergia-forrásokból származó szükséges energiaellátást. A település teljes éves villamosenergia-fogyasztása 513 703 kWh. A meglévő napelemes kapacitásokkal a napi külső forrásból történő energiapótlás évente átlagosan 98 046 kWh, a teljes igény 19,1%-a, míg a megduplázott napelemes kapacitással átlagosan 27 697 kWh, a teljes igény 5,4%-a lenne.

Jelenleg a település nem rendelkezik energiatároló rendszerrel. A megtermelt napenergia jelentős része az átviteli hálózatba kerül és a településen kívül felhasználásra, vagy túlermelési időszakban lekapcsolással elvesz, így a teljes termelés csupán részben támogatja a helyi klímacélokot és a zöld átállást. Habár a jelenlegi teljes napenergia-termelés közel azonos a teljes éves villamosenergia-fogyasztással, annak csak kis része hasznosul helyben közvetlenül. A meglévő napelem-termelés forgatókönyveit a 6. ábra mutatja be, a szivattyús-energiatároló rendszerrel történő kiegészítéssel és a napelemes kapacitás megduplázásával.



5. ábra. A felső tározókban tárolt energia napi bontásban a meglévő napelemes kapacitásokkal (kék) és tervezett napelem-kapacitás duplázás esetén (narancs); valamint az átviteli hálózatról kiegészítendő villamosenergia-igény (alsó ábra, zöld és szürke)
Figure 5. Daily breakdown of energy stored in the upper reservoirs with existing solar panel capacities (blue) and planned solar panel capacity doubling (orange); and the electricity demand to be supplemented from the transmission network (bottom figure, green and grey)



6. ábra. Napelemes és vízenenergia-termelési változatok, valamint a település energiaigénye
Figure 6. Solar and hydroelectric power generation options and the energy demand of the settlement

A település energiafogyasztását, valamint napenergia- és tervezett vízenenergia-termelését négy különböző forgatókönyv szerint vizsgáltuk. Jelenleg a meglévő éves napenergia-termelés kb. 487,6 MWh (narancs oszlop), míg a teljes éves villamosenergia-fogyasztása fűtés nélkül kb. 513,7 MWh (A, világoskék oszlop). Ezek megközelítőleg azonos nagyságrendűek, így ezen adatok alapján a település energetikailag önálló lehetne. A napelemek működési jellege miatt azonban a termelés rendkívül ingadozó, és gyakran eltér a fogyasztási igényektől. Emiatt a ténylegesen megtermelt napenergiának csak egy része, 233,2 MWh (B, zöld oszlop) hasznosítható közvetlenül, a fennmaradó rész, 280,5 MWh betáplálásra kerül az elosztó villamosenergia-hálózatba, vagy egyszerűen elvész. A jelenlegi, energiatárolás nélküli helyzetet a B változat mutatja be. Amennyiben a tervezett többcélú víztározók megvalósulnak, C változat, az energiamérleg megváltozik, és nagyobb arányban – 328,6 MWh – hasznosul helyben a megtermelt napenergia, és kevesebb villamosenergia-vásárlásra – 98 MWh – van szükség a

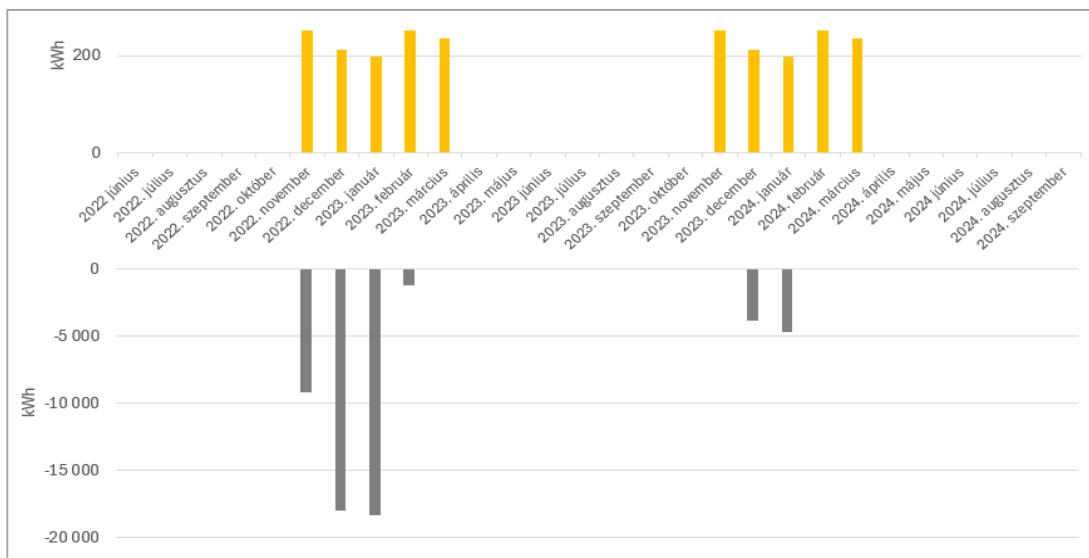
hálózatról. Bár a szivattyús víztározók üzemeltetése javítja a zöldenergia helyi hasznosítási arányát és csökkenti a szénlábnyomot, a rendszer működtetése energiát igényel. Ez a rendszer átlagosan évi 87,1 MWh-t használ, amit a C változat piros oszlopa jelöl.

A víztározók tervezett többcélú hasznosításával az éves energiafogyasztás megnő, és kétszeresen meghaladja a meglévő termelést. A fő energiafogyasztók: 1. a település teljes éves villamosenergia-fogyasztása; 2. a szivattyúzásból, a vízenenergia-tárolási funkcióból eredő energiavesztesség; 3. a háztartások teljes éves fűtési energiája és az öntözési igényből származó szivattyúzási energia. A napelemes termelési kapacitás megduplázása – 975,2 MWh, D. változat – és a tervezett szivattyús-tározós rendszerrel történő összekapcsolással egész évben önfenntartó, kvázi szigetüzemű, zöldenergia termelési-fogyasztási egyensúly alakítható ki. Ebben a változatban a vízenenergia rendszer üzemeltetésének éves energiaigénye 217,7 MWh, ami a felső és alsó tározók közötti vízmozgatás – csőszűrlődés, radiális

szivattyúk üzemeltetés – üzemkörülményeiből adódik. Az energiamérlegben ez a veszteség napelemes termeléssel fedezhető, így zöldenergiával kielégíthető.

Az energiamérlegre jótékony hatással van a csapadékok megfelelő kormányzása, a tározóba irányítása a téli

hónapokban. A 7. ábra mutatja a rendszer ezen kiegészítését (szürke), amely 1 089,9 kWh-val képes javítani az energiamérleget. Hasonlóan, a felső tározók vízszintjének 50 cm-rel történő emelésével 1 859,2 kWh-val javítható a rendszer éves energiamérlege.



7. ábra. A napelemes-vízenergia rendszerből hiányzó felhasználói teljesítmény igény (sárga) és annak lehetséges pótlása csapadékvíz gazdálkodással (szürke)

Figure 7. Missing user power demand from the solar-hydro system (yellow) and its possible replacement with rainwater management (gray)

A 6. ábrán bemutatott 4 vizsgált eset eltérő éves energiamix és villamosenergia-igényt szemléltet, amelyek eltérő CO₂ lábnyomot és villamosenergia-költséget jelentenek. Az átviteli hálózatról származó villamosenergia egységára 70 Ft/kWh, míg a helyi napenergia-termelés becsült egységára 12 Ft/kWh, a helyi vízerőművekből származó pedig 19 Ft/kWh. A jelenlegi működési formában – részben helyi napenergia-ellátás (233 222 kWh/év), részben az

átviteli rendszerből történő vásárlás (280 481 kWh/év) – közel 80 t CO₂-t bocsát ki évente. A napelemes rendszerek telepítését megelőző időkből, amikor a villamosenergia beszerzés kizárólag az átviteli hálózatról történt (kb. 128 t CO₂/év), a CO₂ kibocsátás láthatóan érdemben csökkent. Mindazonáltal a szivattyús vízerőmű létesítésével és a napelemek bővítésével további jelentős javulás érhető el, amint azt az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat. A villamosenergia igények éves CO₂ kibocsátása és a villamosenergia összköltsége
Table 5. The CO₂ emission of electricity demand and total electricity costs annually

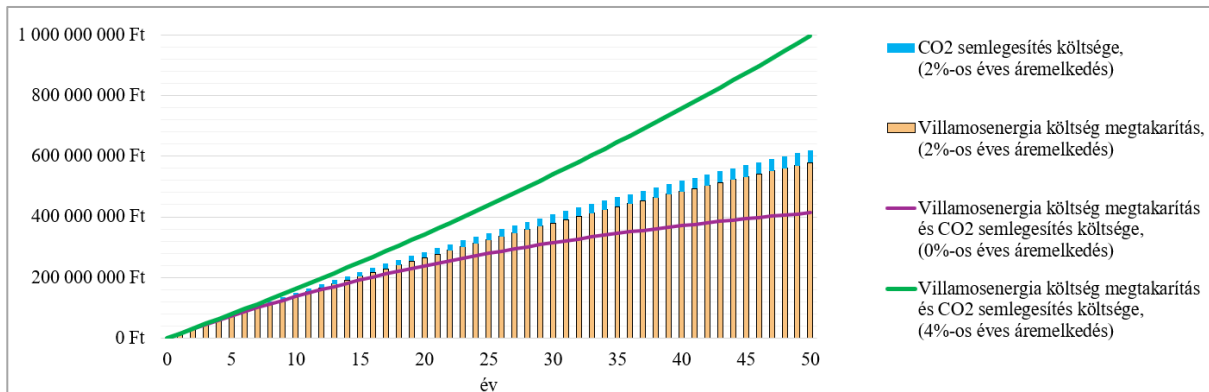
	A változat	B változat	C változat	D változat
Átviteli hálózat használata	128 426 kgCO ₂ (42 612 eFt)	70 120 kgCO ₂ (23 266 eFt)	48 347 kgCO ₂ (16 042 eFt)	-
Napelemes rendszer használata	-	9 329 kgCO ₂ (2 764 eFt)	12 812 kgCO ₂ (3 796 eFt)	17 587 kgCO ₂ (5 210 eFt)
Szivattyús vízenergia rendszer használata	-	-	7 628 kgCO ₂ (1 883 eFt)	23 210 kgCO ₂ (5 729 eFt)
Éves összes CO₂	128 426 kgCO ₂	79 449 kgCO ₂	68 787 kgCO ₂	40 797 kgCO ₂
Éves teljes költség	42 612 eFt	26 030 eFt	21 721 eFt	10 939 eFt

A tározók és a szivattyús vízenergia rendszer létesítésével csökkenthető az éves villanyszámla és a település CO₂ kibocsátása is, ami a napelemes kapacitások megkezdésével tovább javítható. Az A változatban szereplő kizárólag az átviteli hálózatról történő villamosenergia beszerzéshez képest a D változat esetében az éves villamosenergia-ráfordítás közel 70%-kal, az éves CO₂ kibocsátás pedig 75%-kal csökkenthető. Utóbbit a jelenlegi állapottal

(B változat) összevetve, környezeti szempontból a CO₂ kibocsátás a felére csökkenthető – évente 39 tCO₂-vel kevesebb –, gazdasági szempontból pedig az éves villanyszámla közel 60%-kal csökkenthető, évi 15 millió forint megtakarítással. Az 50 éves élettartam során megtakarítható költségeket a 8. ábra szemlélteti. A B és a D változatok között elérhető közvetlen villamosenergia-költség megtakarítás mértékét a narancssárga oszlopok mutatják –

átlagos 2%-os évenkénti áremelkedés esetén –, amelyhez hozzáadódik az alacsonyabb CO₂ kibocsátás miatt elérhető semlegesítés elmaradt költsége. A kettő együttesen közel 620 millió forint diszkontált összeget jelent az 50 éves időtartam alatt. Változatelemzésként megvizsgálásra került az eltérő áremelkedési ráta alkalmazása. Az 50 éves élettartam során végig változatlan villamosenergia árakat feltételezve – azaz 0%-os áremelkedés mellett, amely igen valószínűtlen forgatókönyv –, a D változattal

így is kb. 413 millió forint megtakarítás lenne elérhető. Ugyanakkor évi 4%-os átlagos áremelkedési ütem mellett az 50 évre vetített diszkontált megtakarítás csupán a közvetlen energiaköltségen és a zöldenergia használata miatti kisebb volumenű CO₂ semlegesítésen kb. 997 millió forintnak felelne meg, változatlan energiaigények mellett. Amennyiben ekkora összegű fenntartható energetikai fejlesztés valósulna meg, a befektetés még az esetben is megtérülne.

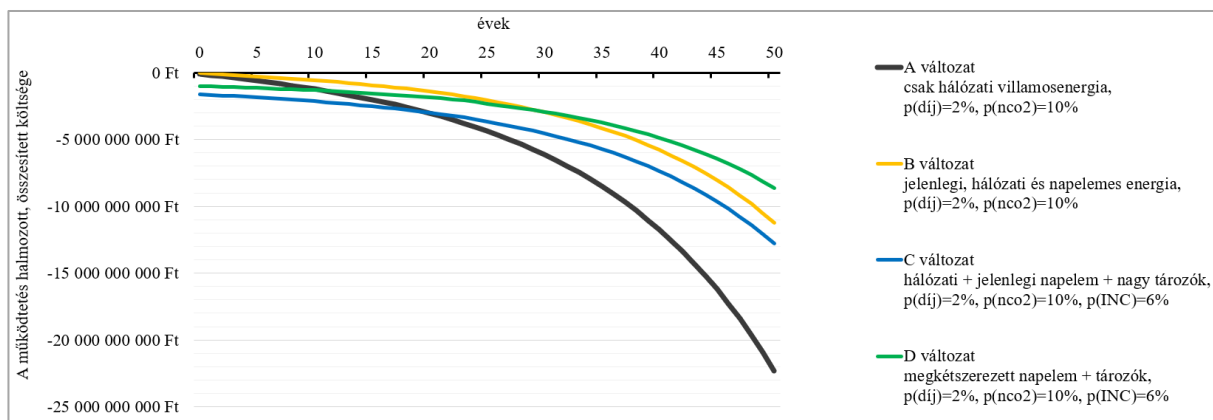


8. ábra. A napelemes-vízenergia-rendszerrel elérhető környezeti (csökkent CO₂ semlegesítési) és pénzügyi (csökkent egységnyi villamosenergia költség) megtakarítás a B és D változatok között, eltérő árnövekedési ráta esetén

Figure 8. The environmental (reduced CO₂ neutralization) and financial (reduced unit electricity cost) savings achieved with the implementation of the solar-hydropower system between B and D energy-mix variants, under different price growth rates

A szivattyús vízenergetikai beruházások évtizedes megtérülési idővel rendelkeznek. Ugyanakkor a közvetlen hatások figyelembevételével, mint például a napenergia és a vízenergia termelés alacsonyabb CO₂ lábnyoma és így alacsonyabb semlegesítési költsége – az átviteli hálózathoz vételezett részben fosszilis alapú villamosenergiához képest –, a fejlesztés megtérülési ideje csökkenthető. Továbbá, amennyiben a multifunkciós víztározók másodlagos hasznosításából származó előnyök is értékelésre kerülnek, a megtérülési idő tovább csökkenthető. Ezek a másodlagos hasznosítások társadalmi és környezeti

előnyökkel is járnak, így lerövidítik a zöldenergia fejlesztések – mint a kombinált napelemes szivattyús vízenergia rendszerek – megtérülési idejét. A 9. ábra bemutatja, hogy az 50 éves élettartamon vizsgálva a 4. változatot egy pénzügyi-társadalmi-gazdasági diszkontált értékelési modellben (LCCA), a napelemes-szivattyús energiamix (D változat, zöld görbe) felülteljesíti a másik 3 változathoz képest. A hagyományos, kizárólag az átviteli hálózathoz vételezett villamosenergia használata a legkevésbé fenntartható (szürke görbe), hiszen beruházási költségek nélkül is rövid időn belül költségesebbé válik.



9. ábra. A 4 energiamix változat (A, B, C, D) gazdasági-környezeti elemzése az 50 éves élettartamon az LCCA módszerrel

Figure 9. The financial and environmental assessment of the 4 energy-mix scenario (A, B, C, D) over the 50-year lifetime, using the LCCA quantification method

ÖSSZEFOGLALÓ

A meglévő magas napelemes zöldenergia termelő kapacitásokra építve dombvidéki településeken, csapadékvíz-gazdálkodással és energiatárolással egy integrált, fenntartható erőforrás-gazdálkodás alakítható ki, amely növeli az éghajlatváltozás és villamosenergia ellátás kihívásaival

szembeni ellenálló képességet. A szivattyús vízenergia tározó rendszer hatékonyan hasznosítja a napenergiát és az összegyűlekező csapadékvizet települési szinten, egész évben az energiaigények kielégítésére, valamint másodlagos célokra, mint a mezőgazdasági öntözés, a vadon élő állatok itatása és a rekreáció. A tározók a villámárvízi kockázatok

csökkentésén túl energiatárolást és vízkészlet gazdálkodást is biztosítani tudnak. A rendszer ellensúlyozni képes a csapadékmennyiség és a napenergia-termelés szezonális ingadozásait. Továbbá a többcélú felhasználású tározók számos előnnyel járnak, amelyek növelik a rendszer gazdasági és ökológiai értékét, csökkentve a befektetés megtérülési idejét és javítva fenntarthatóságát.

A szivattyús-tározó rendszerrel a napenergia túltermelés helyben tárolható, így csökkentve a hálózat terhelését és stabilizálva a csúcsidőszakokban a villamosenergia-elátást, ami közvetett módon bevételt generálhat más fenntartható projektek finanszírozására. A napelemes és szivattyús vízenergia tározó rendszerek országos kiterjesztése – a meglévő és tervezett atomerőművekkel együtt – önfenntartó energia-infrastruktúrához vezethet, minimalizálva a fosszilis energiahordozókon és az importált energiától való függőséget. A napelemes infrastruktúra és a tározókapacitás bővítése növelni képes a hosszútávú ellenállóképességet, az alacsonyabb energiaköltségen keresztül javítja a helyi versenyképességet és meglévő irányítástechnikai megoldásokkal támogatható (URL20). A kedvező adottságokkal rendelkező területeket előnyben részesítő, szakaszos megközelítés elengedhetetlen a környezeti, társadalmi és gazdasági igények kielégítése érdekében. Ehhez azonban jelentős közösségi részvételre van szükség annak biztosítására, hogy a rendszer megfeleljen a helyi igényeknek és társadalmi elfogadottságot nyerjen.

IRODALOMJEGYZÉK

Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H. Murshed, M., Mahmood, H., Jounis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science Pollution Resources*, vol. 29, pp. 42539-42559, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>

Adamkowski, A., Krzemianowski, Z., Janicki, W. (2008). Flow Rate Measurement Using the Pressure Time Method in a Hydropower Plant Curved Penstock. Conference: 7th International Conference On Hydraulic Efficiency Measurements IGHEM, Milan, Italy. <https://doi.org/10.1115/1.3078794>

Ajayi, O., Ojo, O., Vasel, A. (2019). On the need for the development of low wind speed turbine generator system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 331, paper 012062, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012062>

Ansorena R.R., de Vilder, L.H., Prasasti, E.B., Aouad, M., De Luca, A., Geisseler, B., Terheiden, K., Scanu, S., Miccoli A., Roeber, V., Marence, M., Moll, R., Bricker, J.D., Goseberg, N. (2022). Low-head pumped hydro storage: A review on civil structure designs, legal and environmental aspects to make its realization feasible in seawater. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 160, paper 112281, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112281>

Ashurov, K.B., Abdurakhmanov, B.M., Iskandarov, S.C., Turdalieva, T.K., Salimboeva, A.M., Adilova, M.M., Abdusaidova, I.J. (2019). Solving the Problem of Energy Storage for Solar Photovoltaic Plants (Review). *Applied Solar Energy*, vol. 55, pp. 119-125. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19020038>

Bocca R. (2024). Negative energy price record in Europe, and other top energy stories. *World Economic Forum*, kiadva: 2024. szept. 23, <https://www.weforum.org/stories/2024/09/negative-energy-price-record-in-europe-and-other-top-energy-stories/>

Chanda, P. (2023). Distributed pumped hydro storage - case study. online: <https://energycentral.com/c/cp/distributed-pumped-hydro-storage—case-study>

Dimitriev, O., Yoshida, T, Sun, H. (2020). Principles of solar energy storage. *Energy Storage*, vol. 2, e96. <https://doi.org/10.1002/est2.96>

Feng, B., Zhang, Y., Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *National Hazards*, vol. 106, pp. 613-627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>

Flaminio, S., Reynard, E. (2023). Multi-purpose use of hydropower reservoirs: Imaginaries of Swiss reservoirs in the context of climate change and dam relicensing. *Water Alternatives*, vol. 16(2), pp. 705-729. <https://www.wateralternatives.org/>

Gonzalez, J.M., Olivares, M.A., Medellín-Azuara, J., Moreno, R. (2020). Multi-purpose Reservoir Operation: a Multi-Scale Tradeoff Analysis between Hydropower Generation and Irrigated Agriculture. *Water Resources Management*, vol. 34, pp. 2837-2849. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02586-5>

Gurecky, W., Wang, H., Ou, S. (2022). One Dimensional Penstock Flow Models for Hydropower Digital Twin. United States. <https://doi.org/10.2172/1894197>

Gutiérrez-Bahamondes, J.H., Mora-Meliá, D., Iglesias-Rey, P.L., Martínez-Solano, F.J., Salgueiro, Y. (2021). Pumping Station Design in Water Distribution Networks Considering the Optimal Flow Distribution between Sources and Capital and Operating Costs. *Water*, vol. 13, pp. 3098. <https://doi.org/10.3390/w13213098>

Haasnoot, M., van Aalst, M., Rozenberg, J. Dominique, K., Metthews, J., Bouwer, L. M., Kind, J., Poff, N.L.R. (2020). Investments under non-stationarity: economic evaluation of adaptation pathways. *Climatic Change*, vol. 161, pp. 451-463. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02409-6>

Jurasz, J., Piasecki, A., Hunt, J. Zheng, W., Ma, T., Kies, A. (2022). Building integrated pumped-storage potential on a city scale: An analysis based on geographic information systems. *Energy*, vol. 242, paper 122966. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122966>

Kálmán, A., Bene, K. (2023). Optimized Implementation of Nature-based Solutions for Sustainable Economic Benefits in a Watershed with Water Deficit – a Case Study in Hilly Settlements of Lake Velence. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 107, pp. 265-270.

Kálmán, A., Bene, K. (2025). Multi-purpose Utilization of Rainwater in a Hilly Settlement Near Lake Velence. *Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering*, pp. 910-920. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80512-7_89

Kálmán, A., Bakonyi, A., Chappon, M., Bene, K., (2024). Optimizing interbasin water transfer for sustainable energy management and multipurpose water

utilization. ISCAMÉ - 10th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, Debrecen, Hungary. <https://doi.org/10.4028/p-jaWpD3>

Kálmán, A., Bene, K. (2024). Multi-Purpose Utilization of Rainwater in a Hilly Settlement near Lake Velence. Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, KOD 2024: the 12th International Conference, pp. 194-195. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80512-7_89

Kishore, R., Marin, A., Priya, S. (2014). Efficient Direct-Drive Small-Scale Low-Speed Wind Turbine. Energy Harvesting and Systems, vol. 1. <https://doi.org/10.1515/ehs-2014-0004>

Kishore, T.S., Patro, E.R., Harish, V.S.K.V., Haghighi, A.T. (2021). Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. Energies, vol. 14, paper 2882. <https://doi.org/10.3390/en14102882>

Lahlali, R., Taoussi, M., Laasli, S.E., Gachara, G., Ez-zouggar, R., Belabess, Z., Aberkani, K., Assouguem, A., Meddich, A., El Jarroudi, M., Barka, E.A. (2024). Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions. Crop and Environment, vol. 3(3), pp. 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.05.003>

Maetens, W., Masante, D., Barbosa, P., Rossi, L., Wens, M., de Moel, H., Van Loon, A., Cotti, D., Sabino S., Anne-Sophie, Hagenlocher, M., Bláhová, M., Blauhut, V., Szillat, K., Stahl, K., Toreti, A. (2024). The European Drought Observatory for Resilience and Adaptation (EDORA). European Commission

Makaremi, Y., Haghighi, A., Ghafouri, H.R. (2017). Optimization of Pump Scheduling Program in Water Supply Systems Using a Self-Adaptive NSGA-II; a Review of Theory to Real Application. Water Resource Management, vol. 31, pp. 1283-1304. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1577-x>

Mioduszeński, W. (2012). Small water reservoirs – their function and construction. Journal of Water and Land Development, vol. 17, pp. 45-52. <https://doi.org/10.2478/v10025-012-0032-x>

Mlilo, N., Brown, J., Ahfock, T. (2021). Impact of intermittent renewable energy generation penetration on the power system networks – A review. Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, vol. 6, paper 25. <https://doi.org/10.1007/s40866-021-00123-w>

Morabito, A., Guilherme, de O.S., Hendrick, P. (2019). Deriaz pump-turbine for pumped hydro energy storage and micro applications. Journal of Energy Storage, vol. 24, paper 100788. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100788>

Owusu, S., Cofie, O., Mul, M., Barron, J. (2022). The Significance of Small Reservoirs in Sustaining Agricultural Landscapes in Dry Areas of West Africa: A Review. Water, vol. 14, paper 1440. <https://doi.org/10.3390/w14091440>

Papadakis, C. N., Fafalakis, M., Katsaprakakis, D. (2023). A Review of Pumped Hydro Storage Systems. Energies, vol. 16, paper 4516. <https://doi.org/10.3390/en16114516>

Pinke, Z., Ács, T., Kalicz, P., Kern, Z., Jambor, A. (2024). Hotspots in the EU-27 and Economic Consequences of the 2022 Spring-Summer Drought. EuroChoices, vol. 23, pp. 28-33. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12423>

Putra, Y.S., Noviani, E., Muhandi, M. (2022). Numerical Study of The Effect of Penstock Dimensions on a Microhydro System using a Computational Fluid Dynamics Approach. International Journal of Renewable Energy Development, vol. 11(2), pp. 491-499. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.42343>

Sharifi, A. (2021). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. Science of The Total Environment, vol. 750, paper 141642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141642>

Souček, J., Nowak, P., Kantor, M., Veselý, R. (2023). CFD as a Decision Tool for Pumped Storage Hydropower Plant Flow Measurement Method. Water, vol. 15, p. 779. <https://doi.org/10.3390/w15040779>

Stocks, M., Stocks, R., Lu, B., Cheng, C., Blakers, A. (2021). Global Atlas of Closed-Loop Pumped Hydro Energy Storage. Joule, vol. 5, pp. 270-284. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.015>

Thapa, D., Luintel, M., Bajracharya, T. (2016). Flow Analysis and Structural Design of Penstock Bifurcation of Kulekhani III HEP. Conference: Proceedings of IOE Graduate Conference, Kathmandu, Nepal

Woś, K., Radoń, R., Tekielak, T., Wrzosek, K., Pieron, Ł., Piórecki, M. (2022). Role of Multifunctional Water Reservoirs in the Upper Vistula Basin in Reducing Flood Risk. Water, vol. 14, paper 4025. <https://doi.org/10.3390/w14244025>

URL1. E-KOZMU Egységes Elektronikus Közműhálózati Nyilvántartás, online: <https://ekozmu.e-epites.hu/ekozmu/#/nyitoidal>

URL2. Energy statistics - an overview. European Commission, online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview

URL3. Grundfos – Szivattyú választó alkalmazás, 2025, online: <https://product-selection.grundfos.com/>

URL4. HungaroMet, Magyar Meteorológiai Szolgálat adatbázis, online: <https://odp.met.hu/>

URL5. International Solar Alliance - ISA (2023). World Solar Technology Report 2023". online: https://isa.int/uploads/publication_pdf/171992431789dd61fd0137a8789f047aac775c99.pdf

URL6. International Renewable Energy Agency (IRENA): Energy Profile, Hungary. [Online]. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Hungary_Europe_RE_SP.pdf

URL7. KDTVIZIG, Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, online: www.kdtvizig.hu

URL8. Kékboldogó - Velence-tavi munkacsoport jelentés (2022). Javaslat a Velencei-tó fenntartható vízpótlására.

Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány 2022; online: www.kekbolygoalapitvany.hu

URL9. KSH – Központi Statisztikai Hivatal (KSH), részletes településadattár, online: <https://www.ksh.hu/>

URL10. Meteoblue, Meteorológiai Adatbázis. online: <https://www.meteoblue.com/>

URL11. NREL, National Renewable Energy Laboratory: Life Cycle Assessment of New Closed-Loop Pumped Storage Hydropower Facilities, online: <https://www.nrel.gov/water/life-cycle-assessment-closed-loop-pumped-storage-hydropower-facilities>

URL12. NWRM, Natural Water Retention Measures, online: <https://www.nwrn.eu/>

URL13. OVA (2018). Országos Vadgazdálkodási Adattár - Velencei vadgazdálkodási tájegység (511). online: http://ova.info.hu/tajegyseg_terv/511_VGTT-20220411.pdf

URL14. SPE (2023). SolarPower Europe, Global Market Outlook For Solar Power 2023-2027, online: <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027>

<https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027>

URL15. Statista, Electricity consumption by region, online: <https://www.statista.com/statistics/688164/world-wide-consumption-of-electricity-by-region>

URL16. VIZUGY, Országos Vízügyi Főigazgatóság – Vízügyi Honlap, Velencei tó. online: <https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=44>

URL17. VKKI (2010). Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, 1-14. Velencei-tó. online: http://www2.vizeink.hu/files3/1_14_Velencei_to_VGT_terv.pdf

URL18. Open-Source, QGIC, software version. QGIS-3.28.2-Firenze. online: <https://qgis.org/en/site/about/index.html>

URL 19. Open-Source, Google Earth, version. Google Earth-9.117.0. online: <https://earth.google.com/web>

URL 20. Bábolna Energiaközösség, online: <https://babeenergia.hu/>

A SZERZŐK



KÁLMÁN ATTILA okleveles áramlástechnikai gépészmérnök (BME) és okleveles környezeti közgazdász (Corvinus) diplomái után 2021 óta a Széchenyi István Egyetem építőmérnöki PhD hallgatója és a Közlekedés-építési és Vízmérnöki Tanszéken 2022 óta egyetemi tanársegéd. A kutatási területe az integrált települési vízgazdálkodás és a természet-alapú megoldások alkalmazási lehetőségei, a víztérk meghatározása. Az iparban önkormányzatok részére ITVT elkészítését végzi, valamint egészségügyi intézmények vízgépészetével, műtői víztisztító rendszerek fejlesztésével foglalkozik. Mint orvostechológus, sterilvíz előállító rendszereket tervez és azok gyártását felügyeli. Az idén az MIT (Boston) a témában elért innovációját sikeresnek értékelte, így megkezdheti a prototípus fejlesztését.



BENE KATALIN okleveles építőmérnök (BME), 1991-ben szerzett MSc diplomát vízépítőmérnöki szakon a University of South Carolina-n, majd ugyanitt 1996-ban PhD-fokozatot. A doktori fokozat megszerzését követően posztdoktori kutatóként és oktatóként dolgozott a University of South Carolina-n. 2011 óta a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszékének docense, valamint a Vízgazdálkodási Kutatócsoport vezetője. A VEAB Vízgazdálkodási Munkabizottságának elnöke, továbbá számos hazai és nemzetközi kutatási projekt (Horizon, KEHOP) szakmai vezetője. 2015 óta a Magyar Tudományos Akadémia köztestületi tagja.



FENNTARTHATÓSÁG. KIÁLLÍTÁS. ÉLMÉNY.
Vasúttörténeti Park | 2026. február 25. – március 29.

Harmadik alkalommal került megrendezésre a **Planet Budapest** rendezvény, a fenntarthatóságot, a környezet védelmét és a bolygónk jövőjét a középpontba állító kiállítás, melynek helyszíne ezúttal a Vasúttörténeti Park. A rendezvény számos, a vízzel kapcsolatos szakmai találkozónak is helyet adott.

A VÍZ JÖVŐJE – GLOBÁLIS VÍZÜGYI KIHÍVÁSOK, INNOVATÍV VÁLASZOK 2026. február 27.

Afrika, Európa és Ázsia vezető vízügyi szereplőit vonzotta Magyarországra a Planet Budapest 2026 keretében a Hungarian Water Partnership által szervezett „A víz jövője” című nemzetközi konferencia, ahol 20 ország 300 képviselője vett részt. A konferencia egyértelműen megmutatta, hogy a vízbiztonság globális ügy, amely csak határokon átívelő együttműködéssel kezelhető.



A partiszűrészű kutak vas és mangán szennyezésének eredetéről

Márialigeti Károly¹, Tolnai Béla²

¹ ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszék 1117 Budapest Pázmány P. stny. 1/c. (e-mail: marialigeti.karoly@ttk.elte.hu)

² BioModel Bt. 1112 Budapest Vadon u. 21. (e-mail: tolnaibela51@gmail.com)

DOI:10.59258/hk.22212



Kivonat

A partiszűrészű kútvízben megjelenő vas- és mangántartalom nem kívánatos jelenség. A levegő oxigénjével érintkező vas és mangántartalmú víz a vízellátás műtárgyaiban – elsősorban a csővezetékben – lerakódásokat okoz. A vas- és mangántartalom a hazai ivóvizek esetében jellemző koncentrációkban az egészségre nem káros. A vezetékekben felkavaródó üledék a fogyasztóknál megjelenve azonban indultatos panaszokat vált ki, de üzemeltetési gondokat is okozhat. A vas- és mangántartalom a víziközművek számára emiatt lényeges kihívást jelent. Megoldásként leggyakrabban a vas- és mangántalanítás, azaz a kezelőművi eltávolítás szolgál. Csak nagyon ritkán merül fel a kútvíz „elszennyeződésének” megakadályozása. A következőkben – szorítkozva a partiszűrészre – a vas és mangán eredetét vizsgáljuk, keresve az elszennyeződés megakadályozásának lehetőségét.

Kulcsszavak

Partiszűrész, vas és mangán eltávolítás, oxikus-anoxikus partszakasz.

The origin of iron-manganese contamination in bankfiltration wells

Abstract

The presence of iron and manganese in bankfiltration well water is undesirable. Water containing iron and manganese in contact with air causes deposits in water supply structures, especially in pipelines. The iron and manganese content - at least in concentrations characteristic in Hungarian cases - is not harmful to health. However, the precipitate can cause angry complaints of consumers, moreover it may generate operational problems. The iron-manganese content is therefore a major challenge for water utilities. The most common solution is iron and manganese removal, i.e. removal at the treatment plant. Only very rarely does the prevention of "contamination" of well water arise. In the following, the origins of iron-manganese impurities will be examined, with a focus on bankfiltration, in order to find ways of preventing contamination.

Keywords

Bankfiltration, iron-manganese removal, oxic-anoxic coastline.

A PARTISZÜRÉS JELLEMZÉSE

A partiszűrész idestova 150 éves fejlődéstörténete (Károlyi és Tolnai 2008) bővelkedett olyan eseményekben, amikor a partszakasz elvesztette szűrési hatékonyságát, mert megváltoztak a körülmények, mert az üzemeltetés helytelen megfontolásokon nyugodott. A partiszűrész alapvetően biológiai szűrész, amely a víz szennyezettségét okozó molekulák lebontása, átalakítása révén tisztítja a vizet. A keletkező termékek – javarészt víz, szén-dioxid és egyéb oxidált ásványi molekulák – nem szennyezők már. A partiszűrész mechanikai – lassú - szűrész is, amikor a homokszűrőközeg tartja vissza a nem oldott, szilárd halmazállapotú szennyeződések. A természet a szűrőréteg tisztántartását árvizek idején, az árvíz gyors levonulásakor, „ellenáramú öblítéssel” végzi. Ez a feltételezés a gyakorlat oldaláról nézve megalapozottnak bizonyult.

Már az 1960-as években bizonyítást nyert, hogy egy adott területről maximális víznyerés akkor lehetséges, ha a vízbázis (a partszakasz) terhelése egyenletesen a lehető legkisebb (Holnapp és Almássy 1963).

A partiszűrész modellezése (Tolnai 2015, 2025) mutatott rá arra, hogy a vízminőség alakulásáért nem a kút, hanem a partszakasz a felelős. A kút csupán egy műtárgy, amely a vízádórét megcsapolására alkalmas. A kutak típusa – cső-

kút, aknakút vagy csáposkút – a vízminőség kialakításában nem perdöntő, sokkal inkább a vízkiemelés módja számít. Cső- és aknakútsorok esetében nagyon gyakori a szifonált vízkivétel. Ilyenkor az egyenletes partszakasz-terhelés hidraulikai eszközökkel jön létre. A csáposkutak esetében az egyedi, búvárszivattyús vízkivétel a tipikus. Ekkor az egyenletes-partszakasz terhelést a kútcsoportokhoz tartozó kutak azonos depressziójának biztosításával, szabályozástechnikai eszközökkel érjük el (Máttyus nyomán 2008).

A partiszűrész hatékonysága számos tényezőtől függ. A kellően kicsiny szűrési sebesség is szerepel ezen tényezők között. Egy adott terhelési igény lefedéséhez akkor kapjuk a legkisebb szűrési sebességet, ha a termelésben egyidejűleg a termelőterület minden kútsora, azon belül az összes kút részt vesz.

Az áramló folyadékokra vonatkozó folytonossági (kontinuitási) törvény egyenes következményeként a szűrési útvonal mentén az áramlási sebesség erőteljesen nő. A legkisebb sebességérték a mederkapcsolatnál van. A csápos kutak közvetlen környezetében a rétegben mérhető áramlási sebesség, mintegy 80 000-szerese a mederkapcsolatnál tapasztalható beszívargási sebességhez képest. Ez az arányszám a kút kapacitása és a geometriai méretek alapján könnyen kiszámítható, becsülhető.

A homokszemcséken (üledékszemcséken) kialakult biológiai hártá tápanyagellátása diffúziós úton történik. Ahhoz, hogy a konduktív (diffúziós) anyagszállítás létrejöhessen, kellően kis konvektív (szivárgási) sebességre van szükség. Ezen feltételek jószereivel csak a mederkapcsolatnál adóttak. A kialakuló biofilmben különböző mikroba telepednek le, függően attól, hogy ott milyen „klimatikus” viszonyok uralkodnak beleértve a tápanyag (szubsztrát) kínálat rendelkezésre állását is. A „klimatikus” viszonyok jellemzésére leginkább a pH, a hőmérséklet, az oldott oxigén szint és a redoxpotenciál értéket, azaz a gradienssel bíró intenzív paramétereket használjuk. A KOI (vagy BOI) extenzív paraméter(ek) inkább a víz szervesanyag-szennyezettségének mértékét, terheltségének a szintjét jellemzik. Más megközelítés szerint oxikus (egyszerűsítve aerob), vagy anoxikus (egyszerűsítve anaerob) viszonyokról, átmenetekről beszélünk.

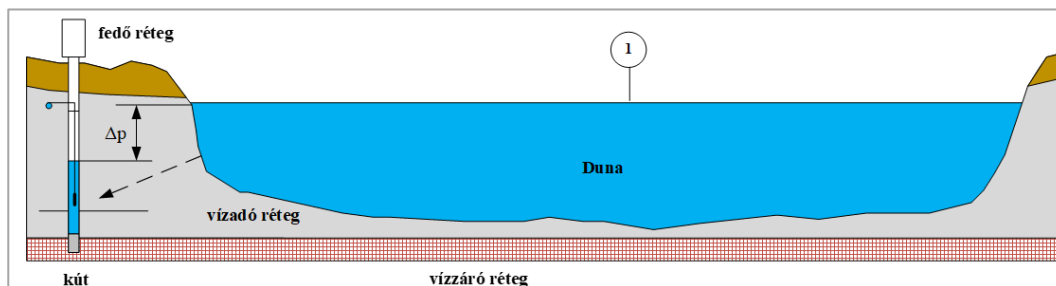
A partiszűrő - mint korábban jeleztük - a víz megtisztulását biológiai eszközökkel éri el. A vízbázisban (Duna vízben) megtalálható szennyeződések molekuláit biológiai módon bontja el, alakítja át. A molekulák lebontásához, átalakításához nincs szükség különösebb kezdeti energia befektetésre, mert enzimkatalízis mellett történik (KKFT BME 2009). Az enzimek olyan molekulák, amelyek a szennyező molekulák lebontását akadályozó potenciálgát csökkentésére képesek. A nagy molekulákból szabadabbá váló csoportok új, kisebb molekulákat hoznak létre. A mikrobák testfelépítését alkotó enzimek a biokémiai folya-

matban nem vesznek részt, csak katalizálnak. (Megjegyzés: Vannak elméletek, amelyek az enzim molekulák részvételéről szólnak). A molekulák átalakulásakor energia szabadul fel, amelyet a mikrobák életvitelük fenntartására és szaporodásukra használnak.

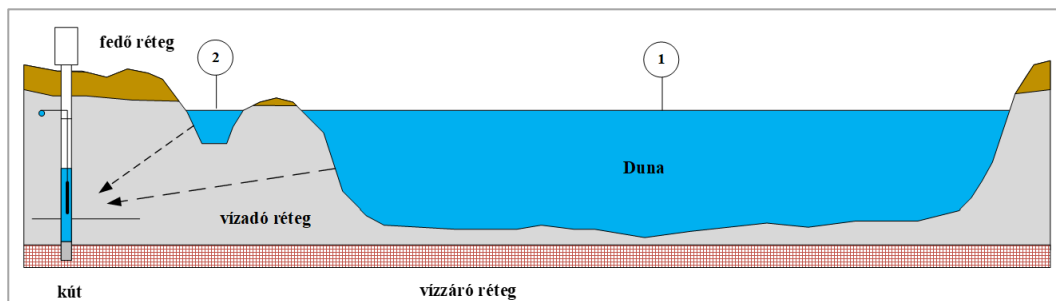
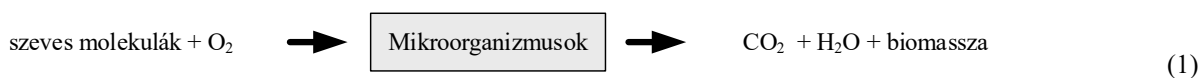
A következőkben partiszűrő alatt a folyó partja mentén létesített kútsort értünk, amelyet üzemeltetünk is, azaz a rétegben kényszerített áramlást hozunk létre. Első körben tekintsünk két egymástól eltérő esetet. Az 1. ábrán az oxikus – „egészségesnek” tekintett – partszakasz esetét látjuk. A part mentén létesített kútban a víz kitermelésével depressziót hozunk létre. Az így kialakuló P nyomáskülönbség a hajtóereje a szivárgási áramlásnak.

A part mentén a mederkapcsolati rétegben oxikus körülmények vannak. A szervesanyag (biológiai tápanyag)-lebontás ilyenkor a következő általános séma szerint történik.

A bomlástermékek javarészt víz és szén-dioxid lesznek. Erről az (1) egyenlet jobb oldala számol be. A biofilmes ilyenkor az oxikus viszonyokat kedvelő, a tápanyag lebontáshoz oxigént igénylő aerob mikrobák szaporodnak el. A folyó – így a Duna is – hordalékának lerakásával a mederben szigeteket alakít ki. A szigetek mögötti holtágakban (2. ábra) a vízcseré már nem lesz kellően intenzív, a finomszemcsés üledék is megjelenik, ezért a holtágakban anoxikus dominanciájú lesz a partszakasz. A kutatban létrehozott depresszió hatására az itt létrejövő biofilmes más mikroba összetétel lesz jellemző.

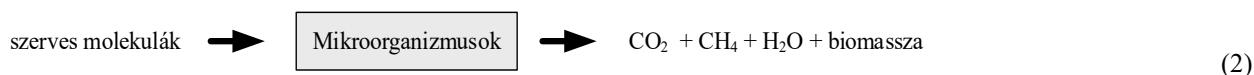


1. ábra. Oxikus partszakasz (saját ábra egy keresztmetszvény felhasználásával)
Figure 1. Oxic coastline (own diagram using a cross section)



2. ábra. Anoxikus partszakasz (saját ábra egy keresztmetszvény felhasználásával)
Figure 2. Anoxic coastline (own diagram using a cross section)

Anoxikus partmenti viszonyok mellett a szerves molekulák lebontásának elfogadott sémája:



A rothasztótornyokban lezajló biogázelőállítás is tipikusan ezen biokémiai összefüggés mentén zajlik. Az anoxikus partszakaszon a tápanyaglebontás tehát hasonlóan történik, zömében anaerob mikrobákkal, még ha a rothasztótornyhoz képest a rendelkezésre álló szerves tápanyagok mennyisége jóval kisebb is. A keletkező bomlástermékek javarészt szén-dioxid és metán lesznek, de víz is keletkezik.

A mikroorganizmusokat mindkét esetben életterükben, a homokszemekeken megtapadó biofilmen találjuk. A mikroba összetétel a két alapesetet tekintve merőben eltér egymástól. Más baktériumokat találunk az oxikus és másokat az anoxikus partszakaszon megtapadó diafilmekben. A víz szennyezését alkotó szerves molekulák összetétele viszont mindkét típusú partszakasz esetében azonosak.

A mikrobák mozognak ugyan, de érdemben nem változtatják helyüket. A szivárgó víz által szállított szennyezést nemcsak a biofilmig, hanem a biofilmbe is be kell juttatni, amely diffúzióval történik. A tápanyagellátásnak (a víz szennyezését adó, lebontandó szerves molekulák mozgatójának) hasonlósági kritériuma az ún. *Pe-szám* (Peclet-szám). A *Pe-szám* a konvektív és a konduktív anyagáram hányadosa. Ideális esetben a *Pe-szám*=1, a partiszűrőnél az érték előnyösen, 10 körül alakul. A *Pe-szám* a tápanyag lebontás „logisztikai” előfeltétele, független a partszakasz jellegétől, azaz oxikus és anoxikus esetben értéke vélhetően ugyanaz lesz, alacsony volta érdemben nem változik. Részleteiben lásd Tolnai (2025) közleményében.

A tisztított szennyvíz Duna vízbe történő betáplálása nem kifogásolt művelet. Annak ellenére sem, hogy az eleveniszapos szennyvíztisztítás nem képes teljesen lebontani pl. hormonokat és gyógyszermaradványokat. A lebontás elmaradásának oka (egyes kémiai kötések erős stabilitásán túl), hogy az eleveniszapos medencében a *Pe-szám* nagyon nagy, amelyet a nagy molekulák – ilyen molekulák a hormonok és a gyógyszermaradványok is – kis diffúziós tényezője tovább növel. A partiszűrő viszont ezeket a molekulákat képes lebontani, mert a tápanyagellátás logisztikai előfeltétele, a *Pe-szám* kellően kicsi marad. A lebontás természetesen további paraméterektől is függ.

A szűrés hatékonyságának kimutatásához a vízbázis nyersvíz és a kútvíz KOI és BOI tartalmát mérjük. A különbség nagyságát tekintjük a hatékonyság mértékének. A KOI és BOI csökkenése mind az oxikus, mind az anoxikus esetekben egyaránt bekövetkezik. A Dunavíz KOIps értéke 4-10 mg/l, amely a kútig 1-2 mg/l értékre csökken. Az ivóvíz minősítésekor a KOI-nak és a BOI-nak van ugyan határértéke, de az nem szigorú határérték. Kiemelt figyelmet annak szentelnek, ha a vízbázisra jellemző szokásos érték valamilyen okból hirtelen megváltozik. Ilyenkor a kiváltó ok felderítése a feladat.

A partiszűrő szervesanyag-csökkentő szerepe más tekintetben is fontos. A molekulák lebontásának következményeként a szűrt víz szervesszubsztrát-tartalma csökken, így ez a folyamat egyfajta stabilizálásnak, részben fertőtlenítésnek is minősül. A heterotróf mikrobák – köztük a patogén mikrobák – élettere azáltal szűkül, hogy szaporodásukhoz a tápanyag a szűrést követően korlátozottan áll rendelkezésre. A hálózati oldalon az ún. másodlagos mikrobiális szennyezésnek így lényegesen kisebb az esélye. Tápanyagszegény vízben a klórozás hatására a rákkeltő trihalometán vegyületek képződése is számottevően kisebb valószínűséggel fordul csak elő.

A szennyvíz főleg a vizelet révén nagyobb mennyiségben tartalmaz ammóniumot. A Dunába jutó szennyezések (kimosódott műtrágya, szennyvíz) miatt a Dunavíznek is relatíve nagyobb az ammónium tartalma. Ezentúl más szervesanyagok egy részének is van *N* tartalma. A nitrifikáció-denitrifikáció folyamata emiatt különös jelentőséggel bír (1. táblázat).

A nitrifikáció legjellemzőbb klasszikus folyamatai oxigént igényelnek, a katalízist az első lépésben a *Nitroso-*, majd a *Nitro-* nemzetségnév előtaggal jellemezhető mikrobafajok segítik.

A denitrifikáció anoxikus térben zajlik, a biokémiai átalakulás szén- vagy hidrogénforrást igényel, a katalízisben anaerob nitrátlégző baktériumok vesznek részt.

1. táblázat. A nitrifikáció - denitrifikáció klasszikus négy lépcsős folyamata (saját táblázat Patziger 2018 alapján)
Table 1. The classic four-step process of nitrification–denitrification (own table based on Patziger 2018)

		Szubsztrát		Feltétel	pl. <i>Nitrosomonas</i>	Termék
		$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ ammónium	+	1,5 O_2 oxigén	$\longrightarrow$	$\text{NO}_2^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$ nitrit +hidrogén ion + víz
Aerob közeg	Nitrifikáció					
	Nitrifikáció	Szubsztrát		Feltétel	pl. <i>Nitrobacter</i>	Termék
		NO_2^- nitrit	+	0,5 O_2 oxigén	$\longrightarrow$	NO_3^- nitrát
Anaerob közeg	Denitrifikáció	Szubsztrát		Feltétel	pl. <i>Paracoccus denitrificans</i>	Termék
		3 NO_3^- nitrát	+	CH_3OH szénforrás (metanol)	$\longrightarrow$	3 $\text{NO}_2^- + \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ nitrit + szén-dioxid + víz
	Denitrifikáció	Szubsztrát		Feltétel	pl. <i>Paracoccus denitrificans</i>	Termék
		2 NO_2^- nitrit	+	CH_3OH szénforrás (metanol)	$\longrightarrow$	$\text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{OH}^-$ nitrogén gáz + szén-dioxid + víz + OH^- ion
	Denitrifikáció	Szubsztrát		Feltétel	pl. <i>Paracoccus denitrificans</i>	Termék
		2 NO_2^- nitrit	+	CH_3OH szénforrás (metanol)	$\longrightarrow$	$\text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{OH}^-$ nitrogén gáz + szén-dioxid + víz + OH^- ion

Az ivóvíz előállításában a nitrifikációnak-denitrifikációnak a különös szerepe abban áll, hogy mindkét részfolyamatban közbülső lépésként az egészségre káros nitrit (NO_2^-) keletkezik. Ezért kíváncsi, hogy a teljes folyamat

– az ammóniumtól a nitrogén gázig – végbemenjen. A nitrifikáció végterméke a nitrát (NO_3^-), amelynek hiánya a vízben a vas és mangán körforgásban is fontos szerepet játszik. Részleteiben lásd Tolnai (2025) közleményében.

A PARTISZÜRÉSŰ VÍZ MINŐSÉGI ROMLÁSA A VAS-, MANGÁNSZENNYEZÉS MIATT

Szinte minden a Duna mentén megvalósult vízmű előbb vagy utóbb szembesült egyes kútjai esetében a partiszűrő legnagyobb problémájával, a vas-, és mangántartalom megjelenésével a vízben. Az esetek többségében a felmerülő vízszennyezésre adott válasz a kútvíznek kezelőművekben történő tisztítása volt. A kezelőműveknek nemcsak a megépítése követel jelentős pénzügyi ráfordítást, hanem az üzemeltetések is jelentősen emelik az ivóvíz előállításának költségét. Érdekes annak tüzetesebben utána járni, hogy honnan is ered a kútvíz vas- és mangántartalma. Elvben három út lehetséges:

1. Kioldódik a vízáadó rétegből

Ha pusztán a homok-kavics összetételű vízáadó rétegből fizikai-kémiai oldódás eredményezné, akkor annak a kútsor több éves üzemét tekintve el kellene fogynia. Nem mutatható ki ilyen tendencia. A kútvíz vas- és mangántartalmaért a vízáadó réteg tehát csak elenyésző mértékben lehet felelős.

2. A háttér felől érkezik

A háttér alatt a távoli háttérre értjük. Ha a távoli háttér felől származik, úgy azt a háttér figyelő kútjaiban észlelni kellene. Másrészt a termelő kutak szivattyúzásának hatására kialakuló áramkép a háttér felőli vízmozgást leárnyékolja (Tolnai 2021). Nagy valószínűséggel állítható, hogy a háttér sem lehet forrása a kútvíz vas- és mangántartalmának.

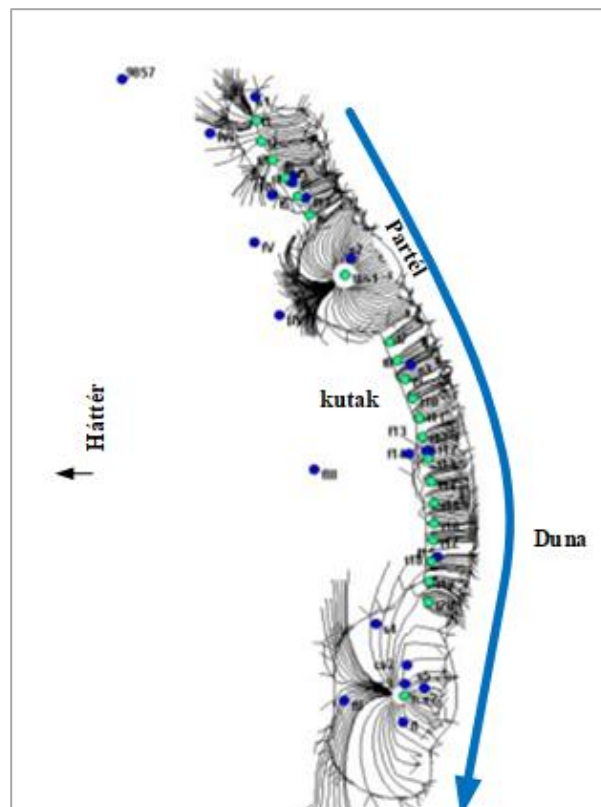
A leányfalusi kútsor hidraulikai viszonyait modellező 3. ábrán mindez szemléletesen érzékelhető. Minden áramvonal a Dunából indul és a kutak megkerülésével a kútba érkezik. A kútba a távoli háttér irányából nem érkezik, nem érkezik víz, mert az áramvonalak leárnyékolják.

3. A folyóvízből származik

Kizárásos alapon marad, hogy a vas és a mangán az „élővízből” származik. A vas és mangán megjelenése a kútvízben a partszakasz oxikus/anoxikus jellegével van összefüggésben.

A Duna vízgyűjtő területe rendkívül nagy. Számos mellékfolyó táplálja, amelyek az Alpokban, a Kárpátokban erednek. A víz útja során ásványi anyagokat – így vasat és mangánt is – kiold a kőzetekből, de még vas- és mangántartalmú kőzeteket is görget, szállít. A folyó vízhozama azonban nemcsak a mellékfolyók vízhozamától függ. A felszínalatti vízmozgások következtében a folyót meder alatti források is táplálják. Ezek a vízmozgások is bizonyítottan szállítanak ásványi anyagokat a folyamba, amely egyértelműen a távoli háttérből származnak (Mádlné Szőnyi 2022). A vas és mangán így a folyó felől a part menti kavicssteraszon át jut a kútvízbe, azaz a vas és mangán eredete a dinamikus változó folyó. A partszakasz oxikus viszonyok közepette akadályozza, anoxikus jelleg mellett átengedi a vas és mangán szennyezést.

Az ivóvízre vonatkozó határértékhez képest a Duna-víz vastartalma némiképp nagyobb, a mangánkoncentráció határérték körül mozog (4. ábra).



3. ábra. Áramvonalak a kutak körül (Balassa és társai 2006)
Figure 3. Streamlines around the wells (Balassa et al. 2006)

A kútvízben mérhető koncentráció erősen megnő. Emiatt aztán vízkezelőművek megépítésére van szükség, amelyeknek feladata a vízminőség javítása, a kutakból kitermelt víz vas- és mangántartalmának határérték alá szorítása.

Az 5. ábra a ráckevei kútsor adatait mutatja. Az egyes kutak mérési értékeinek összevetése markáns különbséget mutat (FŐMTERV 2007). Néhány kút adata, amelyek egyben szomszédosak is, erősen eltér az átlagtól. Az is világosan látszik, amelyik kútvíznek nagy a vastartalma, annak a mangántartalma is az.

A kutak alapszennyezettsége a főváros akkor még tisztítatlanul a Dunába bocsátott szennyvize következtében alakult ki. A 20-25 kút esetében tapasztalható lényegesen nagyobb szennyezés vélhetően a Dunában kialakult holtág átöblíttetlenségéből fakad.

A VAS ÉS MANGÁN ÁTALAKULÁSOK TÉRBEN ÉS IDŐBEN

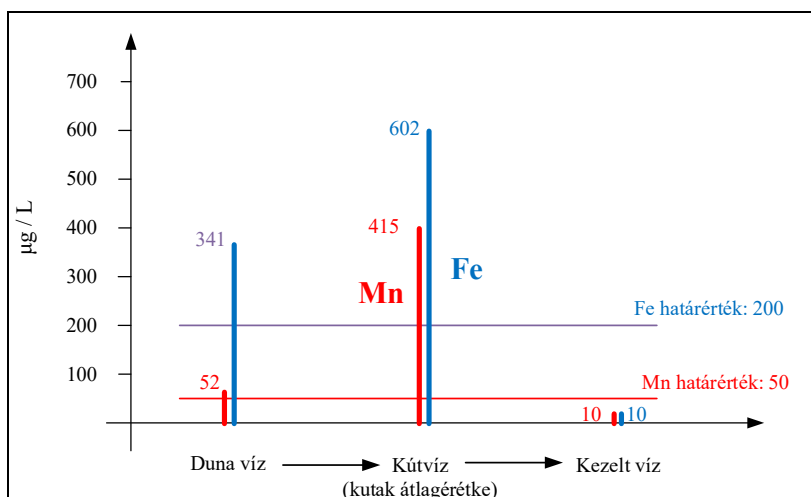
Folyamatok a folyóban

A kőzetekből a víz a vasat Fe^{2+} ionok, zömében vas-hidrogénkarbonát, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ formában, a mangánt pedig Mn^{2+} ionok, zömében mangán-hidrogénkarbonát, $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ formában oldja ki. A folyó vize egyrészt az oxigén felületi beoldódása, másrészt a vízben élő „növények” oxigéntermelése révén oldott oxigénben gazdag. Ez az oxigén elektronfelvétel révén az Fe^{2+} ionokat Fe^{3+} ionokká, illetve az Mn^{2+} ionokat Mn^{4+} ionokká képes oxidálni.

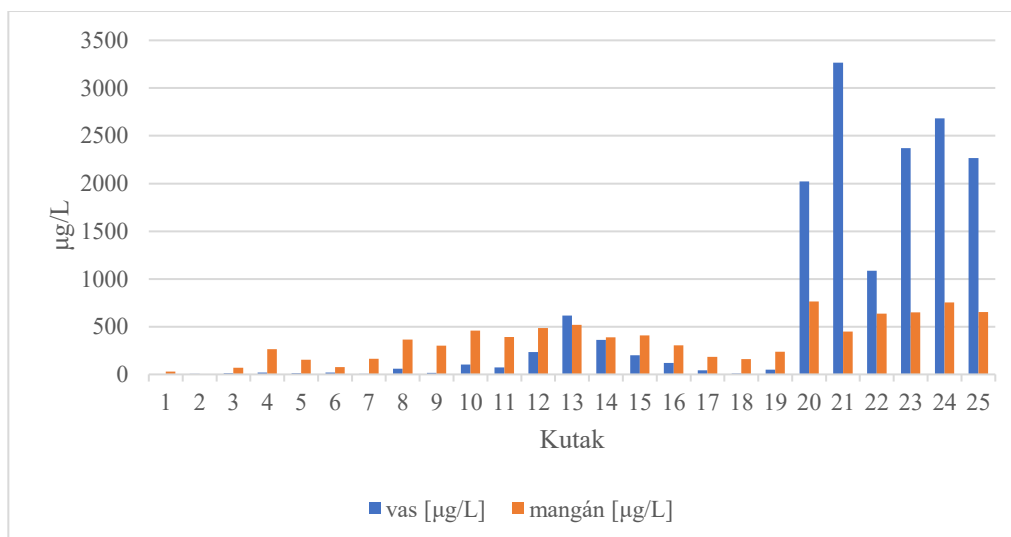
Az oxidációs folyamat eredményeként vas(III)-hidroxid és mangán(IV)-dioxid keletkezik.

A kémiai folyamat eredményeként vízben oldhatatlan csapadékokat kapunk (2. táblázat). Emiatt a felszíni vizek

(folyók, tavak) oldott állapotú vas- és mangántartalma nem lesz jelentős, ahogy azt a 4. ábrán is láthatjuk.



4. ábra. Az összes vas- és mangántartalom változása a víz útja mentén (FV Zrt. Ráckevei kútsor)
Figure 4. Changes in iron and manganese content along the waterway (FV Zrt. Ráckeve well group)



5. ábra. Kutak vizének összes vas- és mangántartalma a ráckevei kútsorban (FV Zrt. d.n.)
Figure 5. Iron and manganese content of well water in the Ráckeve well group (FV Zrt. no date)

2. táblázat. A vas és mangán levegővel történő oxidációja a mederben
Table 2. Oxidation of iron and manganese with air in the riverbed

	Oldott vas- mangán vegyület						Szilárd vas és mangán csapadék					
Oxidáció	$2 \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$	+	$\frac{1}{2} \text{O}_2$	+	H_2O	→	$2 \text{Fe}(\text{OH})_3$	+	4CO_2			Kémiai folyamat
	$\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$	+	$\frac{1}{2} \text{O}_2$			→	MnO_2	+	2CO_2	+	H_2O	

Folyamatok a jellegében eltérő partszakaszokon

A partszakaszon víztermelő kutakat építve a folyó elvezíti vízhozamának egy elenyésző részét. A mederkapcsolatnál a vízadó rétegbe megindul a beáramlás, minek hatására ugyanitt megtapad a biofilm (Jekel és Grünheid 2007) és megfigyelhető a kolmatáció jelensége is (Rózsa 2000). Az erőteljes biofilmmel jellemezhető és a kolmatált réteg vastagsága centiméterekben és deciméterekben mérhető. A kolmatációra általában negatív jelenséggént gondolunk. A homokszemcsékre kirakódott vas- és mangáncsapadéknak azonban van előnyös tulajdonsága is. A vassal és mangánnal „bevont”

homokszemcsék fajlagos felülete a „tisztá” homokszemcsék fajlagos felületéhez képest átlagosan 15 %-os mértékben növekedést mutat a Kecskeméti Ivóvízkezelőmű homokszűrőin történt mérés tanúsága szerint (Tolnai, saját mérés).

Ha a partszakasz jellege oxikus, akkor homokrétegén a szilárd csapadékot képező vas-hidroxid és mangán-dioxid molekulák mechanikus módon kiszűrődnek és nem jutnak a kút vízbe. A szűrőeltömődésnek részben az így kialakuló kolmatáció az okozója. Árvizek után a víz gyors levonulásakor a szűrőrétegben „ellenáramú öblítés” jön létre,

amely ezeket a lerakódásokat visszamossa a folyóba. A kolmatált réteg regenerálódik. A természet eképp gondoskodik a szűrőréteg tisztán tartásán, működőképességének helyreállításán.

Ha a vas és a mangán kiszűrődik, hogyan lesz mégis a kutak vizében jelentős mértékű vas/mangán koncentráció? Ez a kedvezőtlen állapot akkor következik be, amikor a

partszakaszon anoxikus viszonyok uralkodnak és a biofilmben az ún. vas- és mangánlégző baktériumok szerephez jutnak (Makk 2008). Szubsztrátként használva a vas(III)-hidroxid és a mangán(IV)-dioxid molekulákat, szervesanyag-forrás segítségével redukálják vízben oldható vas(II) és mangán(II) tartalmú molekulákká (3. táblázat).

3. táblázat. A vas és mangán biokémiai redukciója a partélen
Table 3. Biochemical reduction of iron and manganese at the riverbed

	Vas és mangán csapadék		Szerves anyag		Oldott vas- mangán					
Redukció	Fe(OH) ₃	+	CH ₃ COO ⁻	→	Fe ²⁺	+	HCO ₃ ⁻	+		H ⁺
	MnO ₂	+	CH ₂ O	→	Mn ²⁺	+	HCO ₃ ⁻	+		H ⁺
Biokémiai folyamat										

A redukció biokémiai folyamat, amely a (2) séma szerinti molekula bontásként is értelmezhető. A redukció mélyebb mikrobiológiai értelmezése Makk (2008) közleményében található.

A baktériumok egy része (*Aeromonas hydrophila*, *Shewanella* spp., *Geobacter* spp., *Geothrix* spp., *Deferribacter* spp., *Geovibrio* spp. stb.) az „oxidált vasat” Fe(III) elektronakceptorként használja, miközben szerves anyagokat vagy hidrogént használ elektron donorként. Ez anaerob közegben játszódik, olyan helyen, ahol nemcsak az oxigén hiányzik, de a nitrát is. A vassal együtt mozog a Mn is, esetünkben a Mn(IV). Az oxidált vas és az oxidált mangán jórészt igen kevésbé oldódó csapadék formában van jelen. A baktériumok a vasat, mangánt redukálják Fe(II)-, ill. Mn(II)-vé. Ezek a vegyületek viszont jóval oldhatóbbak, vagyis átmennek a vizes fázisba és a (talaj)vízáramlással együtt közlekednek.

A redukció eredményeként az oldott vas és az oldott mangán már nem akad fenn az oxigénhiányos homok szűrőközege, így az oldott vegyületek megjelennek a kút vízben. Anoxikus partszakaszon így értelemszerűen nincs, vagy csak kisebb mértékű lesz a kolmatáció. Ezzel szemben a holtág kisebb folyóvíz-sebessége következtében lesz üledéklerakódás is.

A KÚTVÍZ MEGTISZTULÁSA

A kút víz természetes tisztulása

Amikor a vas(II) és mangán (II) szennyezett víz elérkezik egy aerob, oxidált zónahatárhoz, akkor pl. egyszerű kémiai oxidációval „feloxidálódik” és kicsapódik. (A csapadék a szűrőközege visszatartásra kerül.) De baktériumok is részt vesznek a folyamatban. A redukált vasat (mangánt) elektrondonorként használva oxidálják, miközben elektronakceptorként leginkább oxigént, vagy nitrátot használnak. Ezek a vas- és mangánbaktériumok. Ezek egy része a vasat (mangánt) sejteikben csapodik ki, mások a sejt körül képeznek hüvelyeket és mindkettő biológiai bevonatokat alkot. Ilyenek a *Gallionella ferruginea*, vagy az *Acidithiobacillus* spp., *Leptothrix* spp., *Leptospirillum* spp. stb. fajok (Makk 2008).

A kút víz mesterséges tisztítása kezelőművekben

A partiszűrési vas-, mangánredukció által „elszenyyezheti” a kút vizet, amelyet aztán kezelni kell. A kezelőművekben a vas- és mangántartalom eltávolítása oxidálószeres adagolásával történik. A leggyakrabban használt oxidálószereseket a 4. táblázat foglalja össze, a képződő csapadék minden esetben azonos: vas(III)-oxid-hidroxid és mangán(IV)-dioxid. Ezek a csapadékok vízben oldhatatlanok.

4. táblázat. A vas- és mangántalanítás megvalósítása oxidálószer adagolással a kezelőművekben
Table 4. Iron and manganese removal by adding oxidizing agents in treatment plants

	Oldott vas- mangán vegyület		Oxidálószer adagolás				Szilárd vas és mangán csapadék						
Klórozás	2 Fe(HCO ₃) ₂	+	Cl ₂	+	H ₂ O	→	2 Fe(OH) ₃	+	2 HCl	+	4 CO ₂		
	Mn(HCO ₃) ₂	+	Cl ₂	+		→	MnO ₂	+	2 HCl	+	2 CO ₂		
Nátrium-hipoklorit adagolás	2 Fe(HCO ₃) ₂	+	NaOCl	+	H ₂ O	→	2 Fe(OH) ₃	+	NaCl	+	4 CO ₂		
	Mn(HCO ₃) ₂	+	NaOCl	+		→	MnO ₂	+	NaCl	+	2 CO ₂	+	H ₂ O
Ózon adagolás	2 Fe(HCO ₃) ₂	+	O ₃	+	H ₂ O	→	2 Fe(OH) ₃	+	O ₂	+	4 CO ₂		
	Mn(HCO ₃) ₂	+	O ₃	+		→	MnO ₂	+	O ₂	+	2 CO ₂	+	H ₂ O
Oxidáció kálium-permanganáttal	3 Fe(HCO ₃) ₂	+	KMnO ₄	+	2 H ₂ O	→	3 Fe(OH) ₃	+	MnO ₂	+	6 CO ₂	+	KOH
	3 Mn(HCO ₃) ₂	+	2 KMnO ₄	+		→	5 MnO ₂	+	6 CO ₂	+	2 H ₂ O	+	KOH
Oxidáció levegővel	2 Fe(HCO ₃) ₂	+	½ O ₂	+	H ₂ O	→	2 Fe(OH) ₃	+	4 CO ₂				
	Mn(HCO ₃) ₂	+	½ O ₂	+		→	MnO ₂	+	2 CO ₂	+	H ₂ O		

A 4. táblázatban az utolsó, *Oxidáció levegővel* változatot gyakran a többi eljárás előtétfolyamataként alkalmazzák. A lépés célja az oxidálószer adagolás mennyiségének mérséklése, azaz a tisztítási költségek csökkentése. Megjegyezzük, hogy az oxidációt bizonyos esetekben az optimális pH beállításával segítik (a levegővel történő mangánoxidáció lúgos közegben zajlik megfelelő sebességgel). A kémiai folyamatok eredményeként keletkező csapadékot aztán homok töltetű gyorszűrőkön távolítják el a vízből.

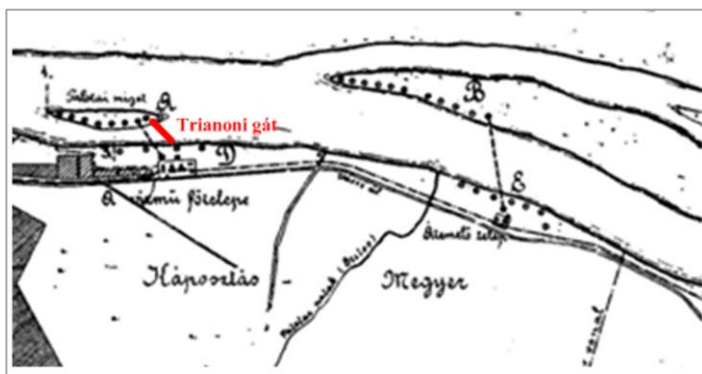
A VAS- ÉS MANGÁNTARTALOM OKOZTA NEHÉZSÉGEK ESETEI

A következőkben a teljesség igénye nélkül vizsgáljuk meg azokat a partiszűrési vízbázisokat, ahol a vas- és mangántartalom komoly nehézségeket okoz vagy okozott, keresve az összevetések során azokat a meghatározó jegyeket, amely a partszakasz anoxikus jellegének okozói.

Fővárosi Vízművek – Palotai-sziget

A Káposztásmegyeri vízmű első ütemű kiépítésekor a Palotai-szigeten található kutak (6. ábra) jelentős vízkitermelési hányadot képviseltek (Tolnai 2010). A Trianoni gát megépülésével – amely a bal parthoz kötötte a szigetet – a kutak vízminősége elromlott. Az 1930-as években a vízminőség javítására, azaz a vas- és mangántartalom eltávolítására szűrőüzem megépítésre is sor került (1. fotó). A szentendrei szigeten való további terjeszkedéssel ezeket a kutakat végül feladták.

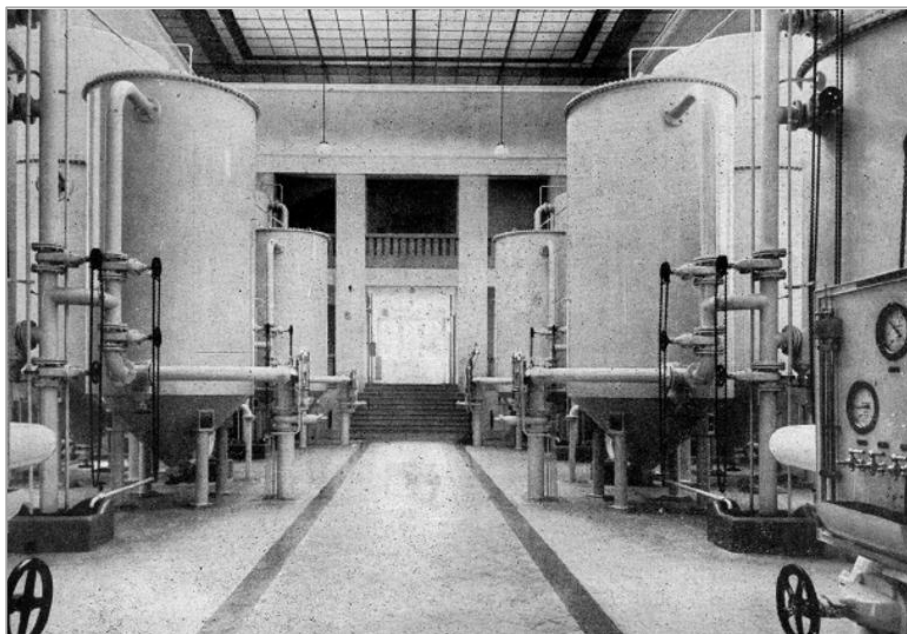
Ha a kutakat nem a szárazulat felé eső oldalra építik, valószínűleg a kutak még ma is üzemben lennének. A gát alatt keletkezett, már átáramlással nem rendelkező holtág végképp megpecsételte a kutak sorsát. A vízből hiányzó oxigén a vas és mangán megjelenéséhez vezetett.



6. ábra. Kutak a Palotai-szigeten (Károlyi és Tolnai 2008)
Figure 6. Wells on Palotai Island (Károlyi and Tolnai 2008)

A Palotai-sziget ma már nem létezik, összenőtt a balparttal, a területen ma a FCSM Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepe

található. A levegős oxidációval és homokszűréssel működő szűrőüzem kialakítását a 1. fénykép szemlélteti (Balázs 1947).



1. fotó. Szűrőüzem az 1930-s években Káposztásmegyeren (Balázs 1947)
Photo 1. Filter plant in Káposztásmegyer in the 1930s (Balázs 1947)

Történelmi tekintetben talán ez volt az első hazai dokumentált eset, amikor a nagy vas- és mangántartalom gondot okozott és kezelőmű megépítésére volt szükség.

DMRV - Nagymaros (Sólyom-sziget)

Nagymarosnál a Sólyom-sziget két kútját és a csáposkutát (7. ábra) a nagy mangántartalom miatt nem üze-

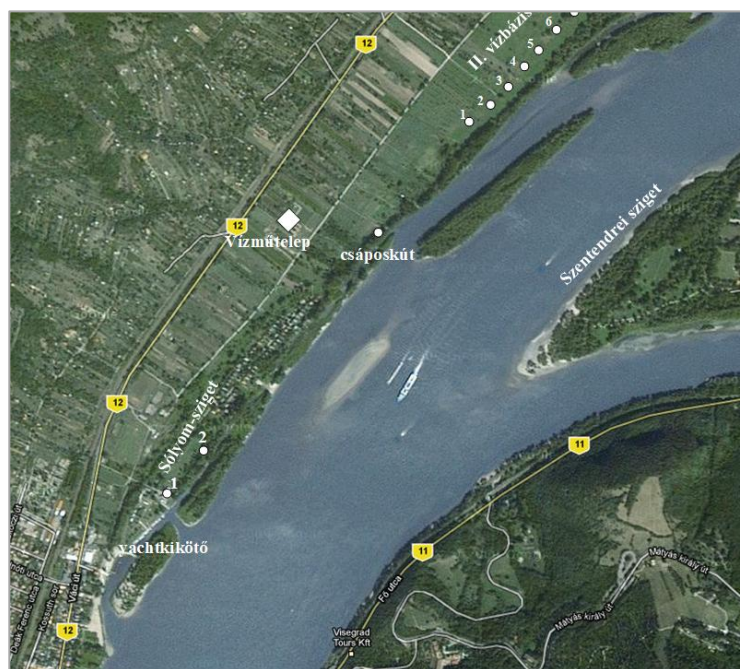
meltetik. A 7 db kútból álló nagymarosi csőkútsorból kitermelt víz kisebb mértékben ugyan, de szintén határérték felett tartalmaz mangánt. Emiatt a víz kezelésére van szükség. A káliumpermanganát oxidálószer adagolással működő Culligan egységet a Vízműtelepen építették ki (TOVA-Partner Kft. 2010).

A vízminőség a kutak építésekor jó volt. A folyó hordalékszállítási tulajdonsága révén itt-ott kisebb nagyobb szigetek keletkeznek, amelyek mögött holtágak jöhetnek létre. A holtágak átáramlása nem kellő mértékű, a partszakasz anoxikus jellegűvé válik, amely a vas és mangán feloldulásért felelős. Valószínűleg megzavarta a hidraulikai viszonyokat a kutak felett létesített jacht-kikötő, amelynek ki/bevezető csatornája építése során nem a holtág átáramlásának biztosítása volt a fő szempont.

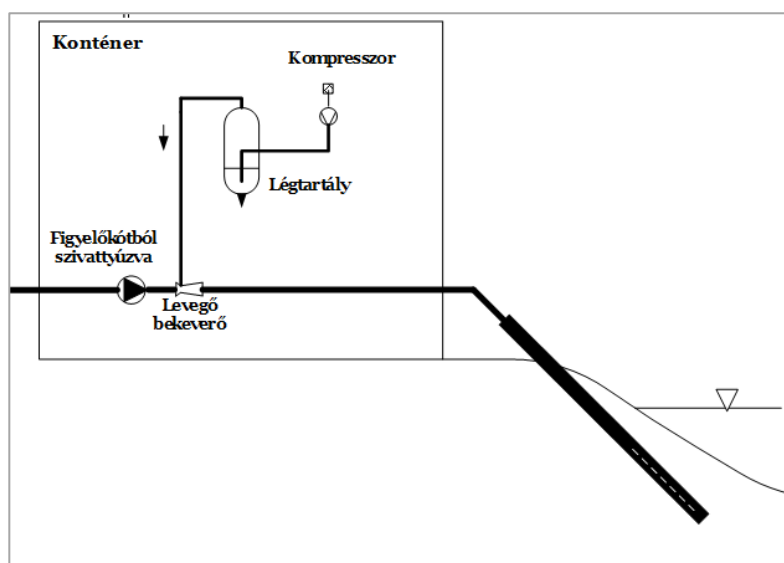
A 8. ábrán a partmenti levegőztetés egy lehetséges megoldási javaslata látható.

A víztermelés keletkezett problémájának megoldására több javaslat is szóba jöhet:

- a kitermelt víz kezelése (ezt választották),
- az eredeti oxikus állapotú partszakasz visszaállítása,
 - kotrással, ennek eredménye kétes, mert a folyó idővel visszaépít,
 - levegőztetéssel, a módszer hatékonyságát azonban még nem próbálták ki.
- a kutak „áttelepítése”. Ez a kifogásolt vízminőségű kút feladását és egy másik, oxigéndús partszakaszon új kút(ak) megépítését jelentené.



7. ábra. DMRV Nagymaros (Sólyomsziget) partszakasz (saját ábra Google térkép felhasználásával)
Figure 7. DMRV Nagymaros (Sólyomsziget) riverbank section (own diagram using Google Maps)



8. ábra. Levegőztetés a partszakaszon
Figure 8. Aeration along the coastline

Fővárosi Vízművek – Surányi kútsor

A folyók hajózhatóságának biztosítása érdekében gyakran sarkantyúk (vagy keresztgátak) építésére kerül sor. Ezek szerepe az áramlás terelése. Folyásirányban haladva a sarkantyúk alatt holtterek alakulnak ki. E térrészben folyamatos vízcsere nem jön létre, a partszakasz jellege a sarkantyúk alatt anoxikus lesz. Ennek a víznyerés szempontjából két következménye is van:

- Anoxikus körülmények között a víz szennyezését okozó szerves molekulák lebontási sebessége kisebb, mintegy fele az oxigéndús partszakaszokhoz viszonyítottan.
- Anoxikus körülmények mellett a biofilmben a vas- és mangánlégző baktériumok erőteljes szaporodására lehet számítani. Ezen partszakaszon megépített kutak esetében nagyobb vas- és mangántartalom mérhető.



9. ábra. Fővárosi Vízművek – Surány kutak (saját ábra Google térkép felhasználásával)

Figure 9. Budapest Waterworks – Surány wells (own diagram using Google Maps)

Suránynál a sarkantyúk előbb épültek meg, mint a kutak (Tolnai 2010). A 8, 9 és 10-es kutak vízminősége már építésükkor sem volt megfelelő. A vízigények az 1970-es években azonban szinte kielégíthetetlenek voltak. A kifogásolható vízminőség ellenére mégis megépültek ezek a kutak. A hálózatra táplált víz kevert vízként már szabvány alatti paraméterekkel rendelkezett.

Ha sarkantyúk nyakában - javaslatunk szerint - egy változtatható bukóélű zsilipet építünk, úgy elérhető, hogy megfelelő mértékű vízcsere jöjjön létre, ugyanakkor a hajózás feltételei is teljesülhessenek. Ilyen zsilipek nem épültek. Miután annyi vízre ma nincsen szükség, a kutakat tartósan leállították.

Fővárosi Vízművek - Szigetszentmiklós

Szigetszentmiklósnál is épültek partiszűrő kutak. A 10. ábrán vázolt kutak ugyan dunai kutak, de a Duna egy „holtágán”, a Ráckeve Soroksári-Duna ágon létesültek.

A Kvassay- és a Tassi-zsilipek segítségével Ráckeve Soroksári-Duna ágon szintszabályozás történik, amelynek számos pozitív hatása van. A partiszűrő víztermelés szempontjából azonban az így kialakuló közel „állóvíz” nem a leghatékonyabb, noha minden egyéb feltétel, így a megfelelő tulajdonságú és vastagságú kavicsréteg itt is megtalálható. A megfelelő átáramlás hiánya, valamint a

Ráckevei Soroksári-Dunaágba ömlő Délpesti szennyvíztisztító telep vize, a partszakaszt anoxikussá tette, elősegítve a biológiai okokra visszavezethető vas- és mangántartalom dúsulását.

A Szigetszentmiklósi kutak közvetlenül hálózatra kerültek. A vízminőségi paraméterek romlása következtében azonban kezelésre lett volna szükség, amelynek helyszíne a Csepeli Víztisztító üzem lehetett volna. Helyette a telep vízigények erőteljes csökkenése következményeként gazdaságossági megfontolások mentén feladták.

Fővárosi Vízművek – Csepel-szigeti kútsorok a Duna főágán

Oxigénhiányos viszonyok másképpen is előállhatnak. Ebben az esetben azáltal, hogy a szennyvizet tisztítatlanul bocsátják be az élővízbe. 2007-ben a II. Duna-expedíció (a Fekete erdőtől a Fekete-tengerig) mutatta meg, hogy a volt szocialista nagyvárosok – Pozsony, Budapest, Belgrád – alatt a Dunában mintegy 20-50 km hosszon „nagy mikrobiológiai aktivitás” tapasztalható (BEOL 2007, Kirschner és társai 2008). A természet pótolta itt az elmaradt szennyvíztisztítási folyamatot és a folyó öntisztulási képessége révén „szennyvíztisztításba fogott”. A biológiai aktivitás megváltoztatta a folyó oxikus viszonyait.



10. ábra. Fővárosi Vízművek - Csepel-szigeti kútsorok (saját ábra Google térkép felhasználásával)

Figure 10. Budapest Waterworks – Csepel Island wells (own diagram using Google Maps)

A Fővárosi Vízművek déli termelőrendszerén emiatt két vízkezelő mű is épült, előbb a ráckevei és később, már a rendszerváltoztatás után a csepeli. A kezelőműveket főként a vas- és mangántartalom eltávolítására tervezték.

Időközben megépült a Csepel-sziget északi csücskén Budapest Központi Szennyvíztisztító telepe, amellyel a fővárosi szennyvíztisztítási arány 60%-ról közel 100%-ra

változott, azaz a folyó már nem terhelődik a II. Duna-expedíción megfigyelt „kikényszerített aktivitással”, azaz a víztestben normális mennyiségű oxigén található.

A vas és mangán kiváltotta nehézségek azonban a tisztítatlan szennyvíz élővízbe bocsátásának elmaradásával csökkentek ugyan, de nem szűntek meg, mert a csepel-szigeti Dunaszakaszcso sem mentes a 2. ábrán vázolt szigetépítésekől. A mellék- és holtágakban kialakuló jelentős biodiverzitás sok tekintetben előnyös ugyan, de a partiszűrűs víztermelést megnehezíti. A mellékágak kotrása, vagyis a folyó általi kellő intenzitású átjárhatóság, átöblítettség biztosítása megakadályozhatja (feltehetően megakadályozhatta volna) a nagy beruházás-igényű kezelőművek megépítését (FŐMTERV 2007).

DRV– Ercsi vízbázis

Az Ercsi kútsor a Duna főágán a Szigetújfalusi kutakkal szemben található. Ha megvizsgáljuk a kutak feletti környezetet, akkor az előbbi fejezetben felhozott hatások mellett egy további is terheli ezt a vízbázist (TOVA-Partner Kft. 2011). A Dunán a fokok által megvalósított vízgazdálkodás (Anrásfalvy 2007) korábban jelentős szerepet játszott. A fokok a folyó közvetlen szomszédságában kialakuló kisebb tavak, amelyek „bejáratuk” révén árvízkor feltöltődtek. Az árvíz levonulásával az ide beáramlott víz megmarad. A folyómenti tavon – legalábbis annak üledékében – az elmaradó átáramlás következtében anoxikus viszonyok jellemzők. A kutakban létrehozott depresszió nemcsak a főágból, hanem innen, a közeli „háttérből” is táplálkozik. A háttér nem „távoli háttér”, hiszen az ártér állóvíze is Duna eredetű.

A fokok háttérvíze, a sarkantyúk árnyéka és a főág vízterében kialakuló biológiai aktivitás közül (11. és 12. ábra) bármelyik is okozója lehet a kútsor előtti, látszólag „egészséges” partszakasz anoxikussá válásának. Az ercsi kútívben a vas és a mangán megjelenése a fenti esetek fényében szükségszerűnek is mondható.



11. ábra. A vízbázis feletti tavak és sarkantyúk az Ercsi kútsornál (saját ábra Google térkép felhasználásával)

Figure 11. Lakes and spurs above the water base at the Ercsi well group (own diagram using Google Maps)

A fokok a gyengébb minőségű háttérvíz okozói. A domborzati viszonyokat is felmutató egykori sémataképrészletén (12. ábra) ez a „háttér” felőli befolyás szemléletesen látszik. Ezt a hatást a vízmű saját erőből kiküszöbölni nem tudja. Vagy a tavak kényszer-átáramoltatását kellene megoldani, vagy a fekvő lenyúló részfállal kellene

a háttérvíznek a tavaktól induló terjedését megakadályozni. Mindkét megoldás utólagos megépítése nagyon sok pénzbe kerülne. A háttérszennyezés hatása azonban csak kismértékű lehet. A kutakba a víz több mint 90%-a közvetlenül a meder felől érkezik, a szintén Duna eredetű háttérvíz 10% alatti részarányt képviselhet.



12. ábra. A vízbázis fő beszívárgása és háttéráramlása az Ercsi kútsor sémataképa képen

Figure 12. Main infiltration and background flow of the water base on the schematic diagram of the Ercsi well group

A sarkantyúk a meder irányából érkező víz minőségét befolyásolják. Hatásuk a nagyobb távolság miatt elenyészőnek minősíthető.

A víztest oldott oxigéntartalma is a meder felől érkező víz minőségét befolyásolja. A budapesti szennyvízkezelő mű megépültével az oxigéntartalom már nem tűnik el, amely – a Szentendrei-sziget kezelést nem igénylő vízminőségéhez hasonlóan – már elegendő a vas- és mangánmentes kútív eléréséhez.

Ha a három hatás eredményeként a kitermelt víz vas- és mangántartalma továbbra is szabvány feletti, úgy a kiülepedésektől rendszeres mosásokkal lehet csak megszabadulni, vagy súlyosabb esetben – ahogy az be is következett – a vizet itt is kezelni kell.

A vízbázison a DRV a SZÁKOM-mal (Százhalombattai Kommunális Szolgáltató Kft.) osztozik. A SZÁKOM üzemeltetői tapasztalataira is támaszkodva megállapítható, hogy vízkezelésre nem feltétlenül van szükség. A némileg nagyobb mangántartalom elleni küzdelem, gyakori öblítéssel, mosással is uralható. Ehhez persze az öblítés és mosás technikai feltételeinek adottnak kell lennie.

Bácsvíz - Gudmon-foki vízbázis

A Tass Gudmon-foki vízbázist 10 csőkút alkotja. A kutak a Duna-folyam balpartján a 1583,8-1585,3 fkm közötti szakaszon helyezkednek el. A Ráckeve-Soroksári-Duna ág a kutak feletti szakaszon, tőlük nem nagy távolságra csatlakozik vissza a főághoz (13. ábra). A Tassi-zsilipnél beáramló víz nem keveredik azonnal a főág vizével. Az oldalág vize csóvaként a part mentén halad tovább. A Ráckeve-Soroksári-Duna ág vize a szabályozás miatt közel állóvíz, ráadásul befogadja a Budapesti Délpesti szennyvíztisztító mű tisztított vizét is. Ez az oxigénszegény víz éri el a Gudmon-foki vízbázis kútjainak partszakaszát.



13. ábra. A Gudmon-foki vízvezeték elrendezése (saját ábra Google térkép felhasználásával)

Figure 13. The layout of the Gudmon Point water base (own diagram using Google Maps)

A Duna főága ezen a szakaszon kanyarodik is. A Rácalmási-szigetekkel szemben a mosott oldalon partvédelmi műtárgy megépítésére volt szükség. A 2. fotón a kutak előtti kőszórás látható. A kövek közötti térrész idővel eliszapolódott, elősegítve a partszakasz anoxikus jellegének kialakulását.

A két hatás következményeként a kutak vizében a vas- és mangántartalom felszokkott, komoly üzemeltetési problémát okozva. A tartósan kis vízállás következményeként a vízáadó réteg egy része levegővel érintkezik, így már a szűrőrétegen is kiválik a partélen redukált vas és mangán. A csapadékképződés következtében a vízáadó réteg kolmatálódik, a kút szűrőszervezete eltömődik, melynek eredményeképpen a hidraulikai ellenállás jelentősen megnőtt, a kutak kapacitása lecsökkent (Csiszár 2019).

A vas és a mangán okozta negatív jelenségek elkerülhetők lettek volna, ha a kutak nem ezen a partszakaszon épülnek meg. A becsatlakozó mellékág és a kanyargó főág biztosan adottság volt, amikor a kutak megépítéséről megbeszéltek a döntést. Hiba volt a vízvezeték itt kialakítani.

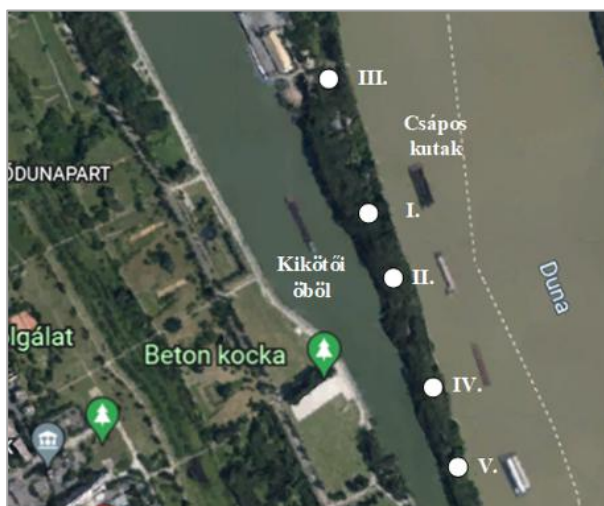


2. fotó. A partvédelmi kőszórás a Gudmon-foki kútsor előtt (Csiszár 2019)

Photo 2. Coastal protection stone spreading in front of the Gudmon Point well group (Csiszár 2019)

DVCSH Dunaújváros - Ifjúság- (Szalki-) szigeti vízvezeték

A Dunaújváros Ifjúság- (Szalki-) szigeti Víztermelő Telepet 5 csáposkút alkotja (14. ábra). A kutak egy földnyelven találhatók, amelynek egyik oldalát a Duna nedvesíti.

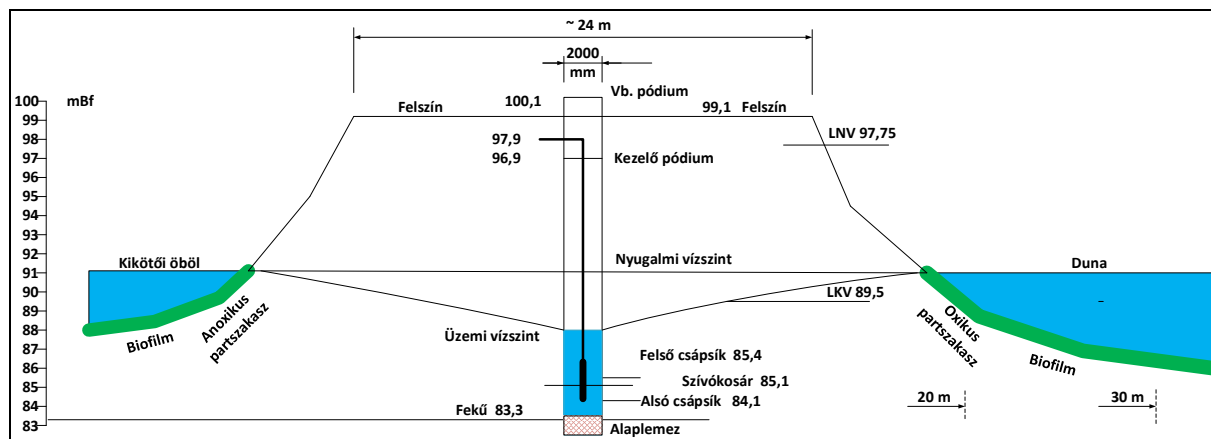


14. ábra. A Szalki-szigeti víztermelő telep kútjainak elrendezése (saját ábra Google térkép felhasználásával)

Figure 14. Layout of wells at the Szalki Island water production plant (own diagram using Google Maps)

A másik oldalon a Kikötői-öböl csak az alsó oldalon nyitott. Abban is Dunavíz van, a vízmozgás azonban korlátozott. Az öböl vize víztermelési szempontból pangó víznek számít. Az öbölben az áramlás hiánya miatt a partiszűrő működéséhez szükséges oxigén beoldódás korlátozott.

Ahhoz, hogy a kútról és az itt észlelt problémákról érdemben beszélni tudjunk, szükséges megrajzolni a kút szerkezeti felépítését, de főleg megmutatni helyét a vízáadó rétegen (15. ábra).



15. ábra. A Szalki-szigeti víztermelő rendszer IV. számú csápos kútjának felépítése (Zajzon 2022)
Figure 15. Construction of well No. IV of the water production system on Szalki Island (Zajzon 2022)

Függetlenül a csápok főág felé történő irányítottságától a 15. ábrán jól megfigyelhető, hogy a víz a kútba mindkét oldal irányából beszivárog. A kút víz- és mangántartalma a határérték felett alakul. A kikötői öböl felőli oldalon a feküig leemélyített vízzáró résfal megoldás volna. A megoldást a résfal megépítése és a vízkezelés megvalósítása költségráfordításának összevetéséből kapjuk meg (Zajzon 2022).

ERÖV Víziközmű Szekszárd - faddi kútsor

Szekszárd vízellátását a Sió torkolatánál épült partiszűrészű vízbázis alkotta, amely azonban ipari eredetű szennyezés folytán veszélybe került. Szükségessé vált új vízbázis keresése, amelyet a faddi Duna-parton jelöltek ki. A 2012-ben indult projekt keretében nyolc partiszűrészű kút épült, amelyekből a kiemelt vizet eleve a Bogyiszlón megépült tisztítóra vezették. A faddi kútsor a magyarországi Duna-szakaszon megépült legfiatalabb partiszűrészű kútsor.



16. ábra. A Faddi kútsor (saját térkép Google térkép felhasználásával)

Figure 16. The well group of Fadd (own diagram using Google Maps)

Ha figyelmesen megnézzük a műhold képet (16. ábra) a kútsor melletti fok (Andrásfalvy 2007) „belezavar” a képbe. A szituáció kísértetiesen hasonlít az ercsi esethez,

azzal a különbséggel, hogy itt a fok és a tavacska révén kialakult pangó víz a kútsor alatt van. A Duna felőli oxigéndús beszivárgás az állóvíz felől „szennyezést” kap. Emiatt van szükség a kezelőműre. Nagyobb körültekintéssel, a tapasztalatok birtokában a pótlólagos vízminőségjavítás elkerülhető lett volna (Magyar Építők 2012).

DRV – mohácsi vízbázis

A Mohácsi Víztisztítómu Pécs növekvő vízigényének kielégítésére épült az 1950-es évek végén. Előbb nyers Dunavízet tisztított, később 1972-től a Mohácsi-szigeten megépített kútsorok vizét javította ivóvíz minőségűre. A megtisztított víz Mohácsról Pécsre NA 700 mm-es távvezetéken jut el, amelynek hidraulikai hossz-szelvénye síkvidéki és dombvidéki szakaszokból áll. A vezeték Mohács felőli elején lévő gépház a vizet a Pécs határán megépült, magasan fekvő üszögpusztai medencékbe nyomja (Józsa és Csonka 1984).

A kutakból kitermelt víz Duna alatti átvezetésen kerül a víztisztítómué (17. ábra). A vízbázist három kútsorport alkotja. A Déli I kútsorban 13 kút, a Déli II kútsorban 5 kút, az Északi kútsorban 20 kút épült. A partiszűrészű kutak víze a vas- és mangántartalom határérték feletti alakulása miatt kezelésre szorul (Zajzon 2011).

Mohácsnál a Déli I-II. kútsor előtt egy sziget helyezkedik el a folyóban. A sziget és a szárazföld közötti folyóág nem átöblített, mert egy földnyelv épült a két szárazulat között. A mederkapcsolatnál kialakuló biológiai hártva így anoxikus körülmények közepette dolgozik. Hatékony oxikus tápanyaglebontás és működés helyett kezelésre szoruló vízminőség áll elő. A helyzeten javítani a természetes állapot visszaállítása révén lehet. Nem kell egyebet tenni, mint a sziget és a szárazföld közötti földnyelvet újra át kell vágni, hogy mindenkor oxigéndús élővíz kerüljön ebbe az oldalági mederágba is. A szigetre való átjutást híd segítségével kell megoldani. Az eliszaposodott holtág kotrására is szükség lehet.

Az északi kútsor esete nem ilyen egyszerű. Ott is a kutak előtti szakaszon mederlerakódásból származó képződmény található, a holtág kevésbé karakterisztikusan jelenik meg.



17. ábra. A mohácsi kutak (saját ábra Google térkép felhasználásával)
Figure 17. The wells of Mohács (own diagram using Google Maps)

FELSZÍN ALATTI VAS- ÉS MANGÁNTALANÍTÁS

A Ráckevei kutak megépítésével egyidőben megépült a Ráckevei vízkezelőmű is.

A Csepeli vízkezelőművet utólag építették a szigetűfalusi, a tököli, a halásztelki és a csepeli kutak vízminőségének javítására. A nagy beruházási ráfordítást igénylő kezelőmű megépítése előtt felszín alatti vas- és mangántalanító eljárásokat is kipróbáltak. A kísérletek kudarca után épülhetett csak meg a kezelőmű.

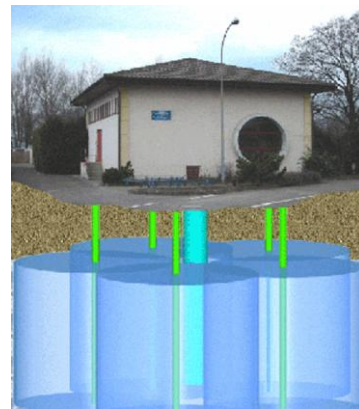
A felszín alatti eljárásokhoz fűződő tapasztalatok is tanulságul szolgálhatnak. A partszakasz meghatározó szerepének figyelembevétele ekkor még nem volt tudatos. Elkerülhetetlen adottságként kezelték ekkor a vas és mangán megjelenését a kútvízben. A negatív hatások elkerülését célozták ezek a kísérletek.

Viredox eljárás

A Viredox eljárás felszín alatti ivóvízkezelési eljárás vas- és mangántalanítás céljából (18. ábra). Egy vas- és mangánproblémákkal érintett csápos kút körül 30 m sugarú körben 50 db szatellit csökutat létesítettek. A 10 vízszintes szűrőcsővel, azaz csáppal ellátott kút csápjaira zárat szereltek, amelyek segítségével az egyes csápokot ki lehetett zárni a víztermelésből. A ciklikusan kizárt csápok mezőjében lévő szatellit kutakba oxigénnel dúsított vizet tápláltak vissza. Az oxigénnel dúsítást egy vákuum-szivattyú elvén működő oxigenerátor biztosította, melyet egy erre a célra telepített szivattyú látott el az üzemnél nagyobb nyomású vízzel. A vizet a kút termelt vízből vették el és a felhasználás előtt a kút közelében egy puffertartályban tárolták. A víz alatt is működő elzárószerelvényeket pneumatikus vezérléssel látták el. A berendezéseket ipari számítógép vezérelte.

Az eljárást a Fővárosi Vízművek halásztelki telepén a 9. sz. csápos kútnál alkalmazták. A kút víz vas- és mangántartalma néhány hét próbaüzem után a megengedett határérték alá csökkent, ezért a vizet kiadták a hálózatra. A dúsítási ciklus végén néhány percig tartó hipoklorit-adagolás a víz mikrobiológiai megfelelőségét az üzem alatt végig biztosította. A kút eredeti víztermelő kapacitásának mintegy 33%-át lehetett így hasznosítani. A dúsításra felhasznált víz és energia miatt az 1 m³ termelt vízre vonatkozó fajlagos energiafelhasználás az eredeti 220%-a volt.

A berendezést a Csepeli Ivóvízkezelőmű üzembe helyezésekor - az alkalmazás okafogyottá válásával - megszüntették.



18. ábra. A Viredox eljárás elrendezése a berendezéseket befogadó épülettel (FV Zrt. d.n.)

Figure 18. Layout of the Viredox process with the building housing the equipment (FV Zrt. no date)

Subterra eljárás

A Subterra eljárás ugyancsak felszín alatti ivóvízkezelési technológia vas- és mangántalanítás céljából. A partiszűrűsű csökutakat ciklikusan üzemeltették, oxigénnel dúsított vizet tápláltak vissza és pihentették. A dúsításra szánt vizet az üzemelő kutak termelt vízből vették el. Az oxigénnel dúsítást ugyancsak egy oxigenerátor biztosította.

Az eljárást a Fővárosi Vízművek Csepeli csökútsor északi ágánál alkalmazták kísérleti jelleggel a múlt század 80-as éveiben. Az eredetileg 20 m-enként fűrt 30 db csökút közül minden másodikat búvárszivattyúval látták el és nyomócsövet fektettek le a gyűjtőkút gépházáig. A kutakat három csoportba osztották. Felváltva egyik csoport kútjába visszatáplálták a dúsított vizet, a másik kettő termelt. A kutakból kitermelt víznek kb. 50%-át visszatáplálták. A berendezést digitális időkapcsolók automatikusan vezérelték. Mindezek figyelembevételével az eredeti víztermelő kapacitás mintegy 33%-át lehetett hasznosítani. A lecsökkent ivóvíztermelés és a többlet energiaigény miatt az 1 m³ termelt nyers ivóvízre vonatkozó fajlagos energiafelhasználás az eredeti 300%-a volt.

A mederközei telepítésű csökutak a mikrobiológiai szennyeződésre azonban rendkívül érzékenyek lettek. Az oxigénben dúsított víz ugyanis kedvező életfeltételeket teremtett a mikrobák egy része számára. A kísérleti berendezést a rendszeresen ismétlődő mikrobiológiai kifogások miatt néhány hónapos üzem után le kellett állítani.

A Viredox és Subterra eljárások azért sem lehettek sikeresek, mert beavatkozásaik a termelő kutak környékén történtek. Ott azonban a vízázó rétegben már nagyon nagy a vízsebesség (vele a *Pe-szám*), miáltal a hatékony biológiai folyamatoknak nincs meg az előfeltétele.

KONKLÚZIÓ

Szélesebb értelemben a Dunával kapcsolatos teendők felsorolásánál, közgazdasági szóhasználatlalt a „Duna ökológiai szolgáltatásaiból” érdemes kiindulni. Szolgáltatás alatt egyaránt értve,

- A. amit a Duna nyújt (pozitív),
- B. amit okoz (negatív),
- C. ami a folyóhoz kötődik.

Ezek között szerepel a partiszűrő víztermelés is (5. táblázat).

5. táblázat. A Duna szolgáltatásai a teljesség igénye nélkül
Table 5. The services provided by Duna, without limitation

Típus	Szolgáltatás
A	Ivóvíz bázis (pl. partiszűrő víztermelés)
A	Szennyvizek befogadása
A	Vízenergia hasznosítás
A	Kavics kitermelés
A	Vizes élőhelyek
A	Hajózás biztosítása
A	Sport és rekreációs tevékenységek
A	Turisztikai és kulturális lehetőségek
A	Halászat
A	Csapadék elvezetése
A	Víztározás, az aszályos időszakok áthidalása
A	Ipári víz pl. hűtővíz biztosítása
A	Természetes légköri hőmérséklet szabályozás
B	Árvíz
C	Műemlékvédelem: a Római-limes megőrzése

A Duna szolgáltatásaival kapcsolatosan a következő feladatok fogalmazhatók meg, amelyek lehetnének pl. a területi vízgazdálkodás keretében a Duna-stratégia alappillérei:

- a Duna már meglévő szolgáltatásainak megőrzése,
- a még ki nem használt szolgáltatások használatba vonása,
- a nem kívánt szolgáltatások kiküszöbölése.

Az Európai Unió által meghirdetett Duna Régió Stratégiája projekt ennél sokkal szélesebb területeket ölel fel. Itt most csak a vízgazdálkodással összefüggő teendőket említjük, erre fókuszáltnak hivatkozunk a stratégiára.

A stratégia megvalósításánál a vízmegtartás alapelvéből kell kiindulni. Feltételként szabva, hogy a megőrzést, a használatbavételt és kiküszöbölést úgy kell megvalósítani, hogy a további - kiemelten az ökológiai - szolgáltatások ne sérüljenek, vagy ha sérülnek, ismert legyen a vállalt kompromisszum.

Mindezeknek megfelelően a partiszűrőre vonatkozóan az alábbi konkrét feladatok vezethetők le:

A kút víz vas- és mangántartalma jelentős üzemeltetési problémákhoz vezet. A tárgyalt esetek különböznek ugyan egymástól, mégis van bennük közös elem. A partszakasz anoxikus tulajdonsága ez a közös szál. Bármilyen furcsán is hangzik, a partszakasz biofilmjében elszaporodó fém-mobilizáló mikrobák a kút víz tárgyalt elszennyeződésének okai. A köztudatban a csupa kiváló képességekkel felruházott partiszűrő lehet tehát „szennyező” is, ha azt rossz helyen építjük ki, ha a folyót érintő beavatkozásaink előnytelenek vagy ha a folyó maga is változik.

A kihívást jelentő eseteknél az elszennyeződés merőben más okok miatt következett be:

- A hajózhatóság érdekében megépített sarkantyúk, partvédelmi köszörás hátrányosan érintik az ott megépített kutak vizének minőségét. Ezért a hajózhatóság biztosítása - szemben számos tanulmány (Somlyódy 2011) megállapításával - egyes esetekben az ivóvíztermelést is érinti.
- A tisztítatlan szennyvíz is okozója a bebocsátás alatti partszakasz anoxikussá válásának. Az ezen a partszakaszon létesített kutak szinte biztosan vas- és mangánproblémával fognak küzdeni. A vízbázis kialakítása a kezelőmű többlet beruházási költségeinek vállalásával valósítható csak meg.
- A mellék- és holtágak becsatlakozása is elronthatja a mintaszerű esetet. Szabad-e ilyen előnytelen helyeken kutakat építeni, avagy tudatosan számolni kell a kezelőmű megépítésének pluszköltségével (Csiszár 2019).
- A biológiai sokszínűség tekintetében a folyó alkotta szigetek, holtágak és a változó vízjárás következtében létrejövő fokozatos kedvező tulajdonsággal rendelkeznek. Az itt létesített kutakból kitermelhető víz minősége azonban rendre kívánnivalót hagy maga után. Nem lesz siker az ilyen helyeken létesített kúttelep, legfeljebb előnytelen kényszer kompromisszumról lehet csak beszélni (FŐMTERV 2007, Zajzon 2011, Magyar Építők 2012, Tolnai 2015, Csiszár 2019).

Nem általánosan elfogadott gyakorlat még, de a kedvezőtlen esetek egy része orvosolható:

- A sarkantyúk nyaktáján elhelyezett szabályozott szilip a holttér vizét cserélni képes (9. ábra).
- A partszakasz levegőztetése (8. ábra) sokkal kisebb beruházással jár, mint egy kezelőmű megépítése.
- A hordalék alkotta szigetek mögötti holtágak kotrása (a főág felőli átöblítés biztosítása) is elősegítheti a korábban volt egészséges viszonyok visszaállítását.
- Öblök átvágásával, kijáratok megteremtésével a pangó víz kialakulása meggátolható.

A vízkezelőművi eltávolítás helyett a partiszűrő hatékonyságának visszaállítása vagy új kutak építése egészsé-

ges partszakaszokon lehetne a megoldás. A gazdaságosság kell döntsön ebben. Ehhez szakítani kell azzal a nézettel, miszerint a szűrési úthossz volna a döntő a szűrés folyamatában, a vízminőség befolyásolásában. A Jekel-kísérletek ezt támasztják alá (*Jekel és Grünheid 2007*). Ezzel szemben a biológiai szűrés folyamatainak zöme a mederkapcsolatnál történik és hatékonyságát több más tényező mellett az aerob jelleg (pH, redoxpotenciál, oldott oxigén) mértéke határozza meg. Ha az oxigén hiányos partszakaszt (újra) aerobba változtatjuk a kívánt hatékonyság (véltetően) vissza fog állni.

A különböző szakágaknak sokkal jobban kell egymás tevékenységére figyelni, mert különben „a jobb kéz nem tudja mit csinál a bal” mondás mentén, mégoly jószándékú lépések mellett is kárt, veszteséget okozunk egymásnak.

KITEKINTÉS

Az ivóvíztermelő partszakaszok jellegének elválasztása az oxikus és anoxikus tulajdonságok mentén történt. Ez a bontás nem mondható kellően finomnak. Részletesebb képet kaphatunk a jelenségről, ha a mikrobiológiai változásokat a pH - rH₂ síkon követjük nyomon. Mérésadatok hiányában ez az elemzés nem volt végrehajtható. Célszerű volna a különböző esetek mélyebb elemzését elvégezni és az eredmények komplex értékelése „finomabb” skála kialakítását tenné lehetővé, az okok magyarázatára is részletesebb kép volna kirajzolható.

A közleményben közölt fejtegetések azt az alapfeltevést teszik, hogy a vizsgált esetek tekintetében a partiszűrést biztosító Pannon kori kavicsösszlet homogén. Ugyanakkor ez sajnálatos módon nem igaz. Gondoljunk bele, hogy az általunk vizsgált skála kilométeres, ugyanakkor a mikrobák skálája a mikrométeres nagyságrendben van. A kavicsösszletben elhelyezkedhet akár egy finomabb szemcsés üledék „zárvány”. Mindaddig, amíg a nagy skálán (alapvetően egy-egy kút beszivárgási területén-térfogotán) általánosságban igaznak tekinthető a minősítés, hogy anoxikus (aerob) – anoxikus (anaerob), addig nincs gond. Minél inkább természetközeliént kezeljük a Dunát, annál inkább fel kell készülni a partiszűrési ivóvíztermelés esetében a kutak dinamikus alkalmazkodó használatára, vagy éppen lezárására és újak építésére. Az is elképzelhető, hogy az ivóvíztermelés érdekében folyamszabályozási beavatkozásokat is végre kell hajtani, ahogy azt pl. a hajózás biztosítása, az energiatermelés, az ipari hűtővíz garantálása, a klímaváltozás negatív hatásainak mérséklése érdekében is meg kell tenni. A beavatkozásoknak, azonban nagyon átgondoltnak kell lenniük. Mindehhez mielőbbi társadalmi szintű párbeszédre is szükség van.

IRODALOMJEGYZÉK

Andrásfalvy B. (2007). A Duna mente népének ártéri gádzálkodása. Ekvilibrium Kiadó p. 440.

Balassa G., Gondár K., Gondárné Sőregi K., Horváth A., Pethő, S. (2006). Partiszűrési ivóvízbázisok diagnosztikájának tapasztalatai. <https://www.fava.hu/publikaciok>

Balázs E. (1947). A nyolcvan éves Budapesti Vízmű. A „Budapest” könyvtára 7. szám, p. 30.

BEOL (2007). Budapest felett vízi paradicsom, alatt szenny és bűz. Beszámoló a második Duna Vízminőségi Expedíció útjáról. <https://www.beol.hu/hirek-orszagvilag/2007/09/budapest-felett-vizi-paradicsom-alant-szenny-es-buz>

Csiszár E. (2019). Kihívások a Tass, Gudmon-foki partiszűrési Regionális Vízbázis üzemeltetésében. Vízmű Panoráma, 4. szám pp 2-4.

FŐMTERV (2007). A Ráckevei Víztisztító Technológiai korszerűsítésének vizsgálata. A Fővárosi Vízművek számára készült tanulmányterv, p. 73

Holnapy D., Almássy B. (1963). Víztermelő kútereszerek gazdaságos üzemi szintjének meghatározása NIM Ipargazdasági és Üz. Szerv. Intézet kiadványa, pp. 139-147.

Jekel, M., Grünheid, S. (2007). Ist die Uferfiltration eine effektive Barriere gegen organische Substanzen und Arzneimittelrückstände Gwf Wasser-Abwasser 148 Nr. 10. pp. 698-703

Józsa I., Csonka F. (1984). Hosszú nyersvízvezeték üzemeltetési tapasztalatai. Hidrológiai Közöny 1984 3.sz. pp. 179-182.

Károlyi A., Tolnai B. (2008). Vízrajz, 140 éve a főváros szolgálatában. A Fővárosi Vízművek kiadványa, 2008. p. 98.

Kirschner, A.K.T., Kavka, G.G., Reischer G.H., Mach, R.L.; Farnleitner, A. H. (2008). Microbiological water quality and DNA-based quantitative microbial source tracking in Joint Danube Survey 2, Final Scientific Report, pp. 86-95.

KKFT BME (2009). A biológiai rendszerek kinetikája. http://kkft.bme.hu/sites/default/files/Vebi_Biomernoki.pdf /2000.

Magyar Építők (2012). Évtizedekre megoldották Szekezsárd ivóvízellátását. <https://magyarepitok.hu/evtizedekre-megoldottak-szekezsard-ivovizellatasat>

Makk J. (2008). A vas és mangan körforgalma. In. Márialigeti K. (szerk) Bevezetés a Prokarioták világába ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszék, Budapest, pp. 252-259.

Mádlné Szőnyi J. (2022). Új utak a klímaváltozás adaptációban - vízpótlás és tározás a felszín alatt Víz- és szennyvízkezelés az Iparban, Soós Ernő Konferencia, Zalakaros, előadás.

Máttyus nyomán (2008). Vízellátás. General Press Kiadó, p. 862.

Patziger M. (2018). Közepes és kis szennyvíztisztító telepek hatékony üzemeltetése. Magyar Víziközmű Szövetség kiadványa p. 130.

Rózsa A. (2000). Beszivárgás vizsgálatok a Szentendrei-Duna medrében. Hidrológiai Közöny 2. szám. pp. 119-131.

Somlyódy L. (2011). Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, p. 336.

Tolnai B. (2010). Vízminőség és biológiai szűrés. A Fővárosi Vízművek számára készült tanulmányterv, p. 14.

Tolnai B. (2015). A biológiai szűrésről axiomatikus szemléletben. Hidrológiai Közlöny, 3 sz. pp. 63-73.

Tolnai B. (2021). A pH és a kutak háttérvíze. Vízmű Panoráma 5. pp. 22-24.

Tolnai B. (2025). A biológiai szűrés modellezése és a modell gyakorlati alkalmazása. PhD értekezés BME ÉMK.

TOVA-Partner Kft. (2010). Nagymaros vízbázis, a vízminőség romlásának okai és a visszaállítás lehetőségei. A DMRV számára készült tanulmányterv, p. 12.

TOVA-Partner Kft. (2011). Az Ercsi kútsor üzemeltetésének felülvizsgálata. A DRV számára készült tanulmányterv, p. 35.

Zajzon I. (2011). A DRV Zrt. Távlati Fejlesztési Terve (2011-2025) 2. kötet A DRV számára készült tanulmányterv, p. 70.

Zajzon I. (2022). A Dunaújvárosi Ifjúság (Szalki-) Szigeti Víztermelő Telep IV. csápos kútjának felújítási munkálatairól. Szakvélemény, p. 8.

FV Zrt. (d.n.). Adatbázis.

SZERZŐK



MÁRIALIGETI KÁROLY biológus, mikrobiológus, az MTA doktora, professor emeritus, az ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszék munkatársa. Szakterülete a mikrobiális ökológia, környezeti biotechnológiák kutatása fejlesztése. Kiemelt figyelmet fordít a természetes és mesterséges vizes élőhelyekre, így az ivásra használt vizek, víztermelő és -elosztó rendszerek, valamint a szenny- és szennyezett vizek, szennyvíziszapok biológiai folyamatokra visszavezethető állapotváltozásainak kérdéskörére.



TOLNAI BÉLA gépészmérnök, irányítástechnikai szakmérnök. PhD tudományos fokozatát (BME) 2025-ben szerezte. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 1994 óta tagja, ProAqua, Bogdánfy Ödön, Kvassay Jenő díjak birtokosa. A MAVÍZ Reitter Ferenc díjasa. Szakterülete a vízi közmű technológia legszélesebb értelemben vett folyamatait, mint a technológiai folyamatirányítást, a hálózati rekonstrukció tervezést és a biológiai szűrés modellezését öleli fel. Felsővezetőként felelősséget viselt a főváros vízellátásában.

DULOVICS JUNIOR SZIMPÓZIUM NEMCSAK SZIMPÓZIUM, DE EGY FELEJTHETETLEN ÉLMÉNY IS! 2026. március 4.



Prof. Bogárdi János előadása

Prof. Bogárdi János (1927-2025) 1969-ben szerzett építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. Több, főleg közép európai egyetem kitüntetettje. A Varsói Mezőgazdasági Egyetem (1996), a BME (1997) és a Nyiznyij Novgorodi Állami Építészeti és Építőmérnöki Egyetem tiszteletbeli doktora (Dr.h.c.). 2008-ban a Cannes-i nemzetközi Vízdíj (Grand Prix des Lumières de l'Eau) kitüntetettje.



A többéves hagyománynak megfelelően Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség Mentor Egyesülete neves társszervező egyetemekkel közösen 2026-ban is megrendezte a „Dulovics Dezső Junior Szimpózium 2026” konferenciát, melynek a PLANET Budapest fenntarthatósági kiállítás adott helyet a Vasúttörténeti Parkban 2026. március 4-én. A 200 résztvevővel, három szekcióban megrendezett konferencia mintegy 30 fiatal előadónak adott lehetőséget arra, hogy bemutassák kutatási eredményeiket. A rendezők nem titkolt célja az, hogy a szakma nagy neveit megismertessék a fiatal szakemberekkel. Ezért a megnyitó előadást Bogárdi János professzor tartotta, aki 1969-ben szerzett építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. Több, főleg közép európai egyetem kitüntetettje. A Varsói Mezőgazdasági Egyetem (1996), a BME (1997) és a Nyiznyij Novgorodi Állami Építészeti és Építőmérnöki Egyetem tiszteletbeli doktora (Dr.h.c.). 2008-ban a Cannes-i nemzetközi Vízdíj (Grand Prix des Lumières de l'Eau) kitüntetettje.

Fórum – VÍZ A TÁJBAN

Klíma adaptáció konfliktusokkal

A FÓRUM rovat keretében teret nyitunk különleges, vagy talán mehökkentő szakmai viták, eszmecserék kibontakozására. Rovatunkban Dr. Kiss Tímea (az MTA doktora, független kutató) és Balogh Péter (gazdálkodó geográfus) álláspontját mutatjuk be.

DOI:10.59258/hk.22242



Vízszintemelés az Alföldön - De hogyan? Szegedi kerekasztal-beszélgetés Szeged, 2025. november 17.

A tavalyi évben, 2025-ben a Dél-Alföldön jelentős volt a vízhiány, mivel csupán kb. 300 mm csapadék esett, miközben az átlaghőmérséklet 1,9 °C-kal nőtt, ami a hiányt a párolgás révén tovább fokozta. Ez adta az apropót a Nem Víznek Való Vidék stábjának, akik 2025. novemberében kerekasztal beszélgetést szerveztek Szegeden arról, hogy

hogyan lehetne a Dél-Alföld vízhiányát megoldani, fókuszba helyezve a területet átszelő Tiszát. A beszélgetésen Csala Dániel moderálásával részt vett Balogh Péter, Kiss Tímea, Kozák Péter és Réder Ferenc. Az eseményről készült felvétel itt elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=PQgw2dtmx44&t=1994s>.



A kerekasztal beszélgetés résztvevői

Kiss Tímea¹

¹ MTA doktora, független kutató (e-mail: kisstimi@gmail.com)

A beszélgetés során az világosan kirajzolódott, hogy mindenki kicsit más aspektusból nézi a szárazodást, és ebből eredően más megoldási javaslatokat is lát helyesnek. Ugyanakkor, ha ezeket az álláspontokat és megoldási javaslatokat összerendezzük, akkor kiderül, hogy ahogyan maga a vízhiány is egymással szorosan összefüggő részfolyamatokból tevődik össze, úgy a megoldási lehetőségek is többfélék lehetnek, amelyek akár egymást is feltételezik. Tehát véleményem szerint nem egy kizárólagos megoldási lehetőségről lenne érdemes

beszélteni, hanem megoldások egy csokráról, amiből az adott hely viszonyainak legmegfelelőbb(ek)et kellene kiválasztani: vannak kisebb és költségkímélőbb, illetve nagyobb és nehezen vagy nem megtérülő lehetőségek. De nagy valószínűséggel ezek térbeli kiterjedése is meghatározza hatékonyságukat, hiszen egy kisebb beavatkozás csak kisebb területen hathat és valószínűleg időben is korlátozott hatásfokkal.

Ezért nagyon fontos, hogy mindenki lássa és belássa a helyi földrajzi és hidrológiai sajátosságok kiemelt fontosságát, hiszen az egyes folyószakaszok, az azokhoz tartozó árterek és vízgyűjtők jelentősen különböznek. Ezt

végig figyelembe kellene venni, azaz a megoldási lehetőségek közül nem elvi alapon kellene választani, hanem az adott helyen leginkább megfelelőt. (Annak idején a Vásárhelyi-féle terv is csupán egy tucatnyi oldalt tartalmazó vázlat volt, amit a helyi ismeretek birtokában a helyi mérnökök adaptáltak.)

Amellett, hogy lokális vagy regionális megoldást keresünk, nem szabad elfeledkezni a probléma és a megoldások térbeliségéről. Azaz meg kell érteni a mederben, a hullámtéren, az egykori ártéren és ármentes felszíneken zajló folyamatokat, és az ezek közötti térbeli kapcsolatokat, mert csak így lehet megoldást találnunk a szárazodás (és esetenként az extrém árvizek) problémájára. Ráadásul, a megoldások egymásra (kellene) épül(je)nek, ahogy a vízrendszer egyes elemei és a problémák is egymásra épülnek.

A kerekasztal-beszélgetés arra fókuszált, hogy a Tisza vizét hogyan lehetne hasznosítani az aszály mérséklésére. A célterület jelen esetben az ATIVIZIG működési területe és az Alsó-Tisza volt. Így az itt felsorolásra kerülő, vízhiánnyal kapcsolatos problémákat és esetleges megoldási lehetőségeiket is alsó-tiszai fókusszal gyűjtöttem össze, kifejezetten hidrogeográfiai szempontból (azaz a területhasználat, agrárium stb. szempontrendszerét nem részletezve).

Az Alsó-Tiszán az egyik kulcsprobléma a csökkenő tiszai vízállások és vízhozamok.

A klímaváltozás következményeként a lefolyó víz mennyisége a hazai vízfolyásokban jelentősen csökken (*VIZITERV Environ 2019, VGT 2021*), ami az elmaradó árvizekben, gyakoribbá és rekord alacsony vízszinteket elérő kisvizekben nyilvánul meg. Ráadásul, nem csupán rövidebbé váltak az árhullámok (pl. Szegednél 2015 után csupán 0-21 nap/év, míg korábban 2-6 hónapig tartottak), de áttevődtek a téli hónapokra (*Kis és társai 2020*). Az átalakuló vízjárás miatt két nagyobb probléma körvonalazható:

- 1) Nem akkor és nem olyan hosszan áll rendelkezésre a nagyobb mennyiségű víz, mint korábban (tavasz).
- 2) A rövid árhullámok gyakran még a partéleket, azaz a mederkitöltő vízszintet sem érik el, így az ár/hullámterekre nem lépnek ki.

Az ATIVIZIG adatai szerint míg a partél szintjét meghaladó vízállások hossza 22-35 nap/év volt az 1970–1990 közötti időszakban, addig ez 2010 óta 9–16 nap/évre csökkent. Ezen átalakuló vízjárás miatt nagyon lerövidült annak az időszaknak a hossza, amikor gravitációs úton kivezethető a Tisza vize az egykori mentett ártér mélyedéseibe vagy egykori medrekbe.

A területen tapasztalt rendkívüli vízhiányok mérséklésére igénybe vehető vízkészlet kiszámíthatóan a folyóban rendelkezésre áll. A meder bevágódásának és a vízjárás jellegének megváltozása miatt azonban nem lehet a Tisza alsó szakaszáról többlet vizet kivezetni gravitációs úton a hullámterek, illetve a magasabban elhelyezkedő térszínek vízhiányának mérséklésére a folyó alsó-tiszai szakaszának vízszint emelése nélkül. Tehát itt azt

szeretném hangsúlyozni, hogy mivel a vízjárás megváltozott, a vízszint megemlése vagy többlet víz idejuttatása nélkül nem lehet az ártérre és a magasabban lévő területekre vizet gravitációs úton kiereszteni, így ott a víztározás vagy elöntés nem valósítható meg.

Ahhoz, hogy a vízjárás ezen nemkívánatos irányba tolódását mérsékelni lehessen, meg kell érteni a mögöttes álló, széles skálán mozgó (lokális–regionális) okokat. A vízgyűjtőről érkező lefolyást a jelen helyzetben nemigen tudjuk befolyásolni, így érdemes arra a tényezőre fókuszálni, amit befolyásolni tudunk, és ami részben felelős a vízszintek süllyedéséért, és ez a bevágódó meder.

A medrek, szerte a világban bevágódnak részben a vízgyűjtőn végbemenő változások (pl. talajerózió elleni védekezés), részben a medret érintő természetes (pl. sűrű partmenti növényzet) és antropogén hatások (pl. partbiztosítások, kanyarulatátvágások, duzzasztók) miatt. Ez történik a Tiszán is, hiszen a Kisköre és a Szeged közötti szakasz átlagmélysége 1,7 méterrel nőtt 1890 óta, miközben a meder átlagszélessége 192 méterről 162 méterre csökkent (*Kiss és társai 2025*). Míg a folyamat háttérben a 19. század végén a kanyarulat-átvágások miatti esés-növekedés állt, addig a 20. században már a partbiztosítások fokozták a bevágódást, ami miatt a külső, partbiztosított ív mentén a meder egyre mélyül, míg a belső íven a hordalék nagy része csapdázódik. A lerakódás zónáját pedig értékes ártéri erdők foglalták el. A bevágódás elsősorban azért okoz gondot, mert csökkenti a kisvizek szintjét ugyanazon vízhozamok mellett. Így egyre mélyebbről kell szivattyúkkal átemelni a vizet: az Alsó-Tiszán 4-11 méterrel: először a hullámtér szintjére 5-7 méterrel, majd át a gátaikon 4-5 méterrel és szükség esetén a magasabban lévő területekre is további szivattyúzás kell. Ráadásul a bevágódás miatti csökkenő tiszai vízszintek miatt a környező talajvizek is megcsapolódnak, hiszen a talajvíz relatíve magasabbra kerül, mint a folyó vízszintje, ami tovább fokozza a problémát. Az ATIVIZIG adatai szerint 2010–2024 között a Tisza vízszintje a talajvíztükröknél alacsonyabb volt az időszak 39%-ban, azaz az év jelentős részében elszívó hatás érvényesülhetett (miközben a hullámtérre alig lépett ki a víz, hogy hatékonyan pótolja a talajvizet).

A térség rendkívül fejlett mezőgazdaságának meghatározó elemei a kiépített öntözőrendszerek, melyek 33 000 ha vízellátását biztosítják. A vidék domborzati adottságai miatt, ezek az öntözőrendszerek is szivattyúkkal emelik ki az öntözővizet a folyóból.

Tehát, a lokális ok, azaz a meder bevágódásának ellensúlyozására a mederben a vízszintet emelni kellene. Ehhez különböző megoldási lehetőségek kínálóznak. A kerekasztal beszélgetés rávilágított arra, hogy a mederben a vízszintemelést a résztvevők különböző módon javasolják megoldani. A következő lehetőségek merültek fel:

- 1) Vízlépcső építése az Alsó-Tiszán: A tiszai vízlépcsők sorába illeszthető egy mederduzzasztó mű Csongrád és Szeged között. A vízlépcső mellett szóló érv, hogy

a) a folyó ezen szakaszán rendelkezésre álló vízhozamból több mint 100 millió m³ tározható a mederben;

b) a vízszint megemelhető a partél szintjéig, így a vízkivétel és a távolabbi területek vízutánpótlása olcsóbbá válik;

c) így gravitációs úton is feltölthetők az ártér mélyfekvésű területei, illetve mentesített ártér távolabbi területei; (4) a korábbi, paleomedrekbe is juttatható víz, így azok a térség vízforgalmába bekapcsolhatók, dinamikus vízforgalom biztosítható a területen

d) megtámasztja a talajvizet, így a talajvízszint süllyedése a távolabbi területeken is mérsékelhető.

Azonban ezen folyamatok és következmények mindegyikét alaposan modellezni kellene ahhoz, hogy pontosan kiderüljön, milyen haszonnal és következményekkel járhatna a beavatkozás.

A kerekasztalbeszélgetésen ellenérvként elhangzott, hogy az „aszályhelyzet az eddigi gyakorlat eredménye, amihez a vízlépcsők is hozzájárultak”, illetve, hogy egy alsó-tiszai vízlépcső kiváltható lenne a Tisza felsőbb szakaszáról történő vízátervezéssel (Balogh Péter). Itt a kérdés az, hogy vajon mennyi víz vezethető ily módon át az Alsó-Tiszára, és vajon a Tiszalök és Kisköre mögött tárolt vízmennyiség elegendő-e az Alsó-Tisza aszályproblémájának megoldására. A kerekasztalbeszélgetésen Réder Ferenc hangsúlyozta, hogy ma már a világ számos pontján egyre több völgyzárógátat távolítanak el. Azonban véleménye szerint ez nem lehet ellenérv, hiszen a gáteltávolításoknak helyi okai vannak, például a gátak előregedése és használaton kívülé válása, vagy helyi kulturális örökség helyreállítása.

2) A meder bevágódásának és fenékszintjének megemelésére ötletként merült föl fenékküszöb(ök) építése az Alsó-Tiszán. Balogh Péter javaslata szerint a partbiztosítások közet-anyagát lehetne ehhez felhasználni, és így a vízszintet megemelni. Itt a kérdés az, hogy vajon a nagyon kis esésű (≤ 2 cm/km), a Törökbecsei Duzzasztó által visszaduzzasztott Alsó-Tiszán ez milyen vízszintemelkedést eredményezne. (A beszélgetés után végzett modellezés előzetes eredményei alapján egy, a középvízi szelvényt 43%-kal csökkentő fenékküszöb a vízszinteket csupán $\leq 3,5$ cm-rel emelné és csupán 20-50 km hatástávolságban.) Ugyanakkor az is kérdésként merülhet fel, hogy egy fenékküszöb hogyan hatna árvizek idején, mennyivel emelné a vízszintet, hiszen a hullámterek vízvezetőképességének romlása miatt ma már a vízhozamnak csaknem 90%-a mederben vezetődik le árvizek idején is. A fenékküszöbökkel kapcsolatosan fontos azt is megemlíteni, hogy a Tisza ezen szakasza jelenleg nemzetközi hajóút, ezáltal csak olyan műszaki megoldást lehet alkalmazni, amely a hajózásra nem gyakorol negatív hatást

3) Végül ötletként merült föl a meder kiszélesítése a partbiztosítások elbontásával, és így a természetes parterózió révén a bemosódó hordalék a mederfenéken lerakódva a meder talpát megemelné, és így a vízszinteket is. Az ötlet mellett szóló érv, hogy (1) a túlmélyült mederben az Alsó-Tiszán a partbiztosítások közel ötödét

már megbontotta a Tisza, és mögöttük lassan felerősödik a parterózió, tehát a folyamat elindult. (2) Ez egyfajta természetes helyreállítása (felemelése) lenne a mély medernek. Azonban az Alsó-Tiszán a partok anyaga döntően iszap-agyag, amelynek leülepedése a mederfenéken csak közel állóvízi állapotban lenne lehetséges, és a feltöltődés sebessége valószínűleg nagyon lassú (évszázados) lenne. Azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a partbiztosítások „feladása” miatt az árvízvédelmi töltések – ezáltal a jelenlegi területhasználati módok is - veszélybe kerülnének, így azok hátrébb helyezése is hozzátartozna ehhez a megoldáshoz. Itt alternatívaként merülhetne fel az, hogy a kanyarulatok belső oldalán, a szabályozások óta kb. 50-100 méteres sávban lerakódott hordalék is mobilizálható lenne. Azonban ebben a sávban értékes ártéri nyarasok találhatók, és a parterózió elindítása csak ezeknek a kivágásával lenne lehetséges.

A beszélgetés egyik tanulsága, hogy bár többféle, a Tiszához kapcsolódó megoldási lehetőség is kínálkozik az aszály mérséklésére, szükség lenne ezen beavatkozások és következményeik részletes modellezésére és elemzésére: azaz milyen magas és milyen hatótávolságú vízszintemelés érhető el az adott módszerrel, mi a költség-haszon arány, milyen környezeti következményei és kockázatai vannak az adott beavatkozásnak.

Fontosnak tartom annak kiemelését is, hogy bár a hozzászólók kiemelték a nagyvizek kivezetését a tájba, de az Alsó-Tiszán erre a kis esés és az elmaradó árvizek miatt jelenleg olyan rövid idő áll rendelkezésre, hogy vízszintemelés nélkül nem megoldható a probléma.

A beszélgetés során az aszály megoldásának egyéb (nem a Tiszához kapcsolódó) lehetőségeit nem vitattuk meg. Érdemes lenne átbeszélni a felszín alatti vízkészletek legális és illegális használatának hatását, hiszen a túlzott felszín alatti vízkivétel is hozzájárulhat a szárazodáshoz. Ráadásul, a megfelelő agrár-technológiák szerepe sem elhanyagolható eszköz: megfelelő fajtaválasztás, talajművelési módok megváltoztatása, vagy a hatékonyabb öntözés. Ezen túlmenően a tájszerkezet átalakítása is fontos lenne.

Tehát sokkal szélesebb szakmai vita szükségeltetik! Az érvek mögött modellezés és adatok kellene álljanak, hogy az adott helyen legköltséghatékonyabb és leginkább a helyi adottságokhoz illeszkedő aszály elleni védelmet alkalmazhassanak. Ugyanakkor az idő szorít, és mihamarabb el kellene kezdeni az ehhez kapcsolódó előkészítési és tervezési munkát.

IRODALOMJEGYZÉK

Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2020). Projection of runoff characteristics as a response to regional climate change in a Central/Eastern European catchment, *Hydrological Sciences Journal* 65/13.

Kiss T., Tóth M., Baranya S., Sági R., Török G.T. (2025). Centurial changes in channel processes and their contribution to the sediment budget of a lowland river: The influence of river regulations. *Geomorphology* (486) 109873.

VGT (2021). Vízgyűjtő-Gazdálkodási Terv, 6.8. Magyarország vízkészletváltozásának vizsgálata. https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/10/VGT3/hatteranyagok/6_8_hatteranyag_Vizkeszlet-valtozas.pdf

SZERZŐ



KISS TÍMEA a Debreceni Egyetemen biológia-földrajz szakos tanárként végzett 1994-ben, majd PhD fokozatot szerzett 2001-ben. Akadémiai doktori dolgozatát (2015) "Fluviális folyamatok antropogén hatásra megváltozó dinamikája: egyensúly és érzékenység vizsgálata folyóvízi környezetben" címmel írta. 1998 és 2024 között a Szegedi Tudományegyetem oktatója volt, azóta független kutató. Kutatásait elsősorban az Alsó-Tiszán végezte, de végzett vizsgálatokat a Maroson, Hernádon és Dráván is. Célja az emberi hatásra megváltozó hidrológia és mederdinamika vizsgálata, de kutatta a Tisza vízrendszerében a mikroműanyag szennyezés tér- és időbeli dinamikáját is. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2001 óta.

Balogh Péter²

² gazdálkodó geográfus, a Vízválasztó Mozgalom, Szövetség az Élő Tiszáért Egyesület – elnök, Magyar Agroökológiai Hálózat Egyesület – elnökségi tag (e-mail: baloghpetar@elotisza.hu)

A cím – Vízszintemelés az Alföldön - De hogyan? – jól illusztrálja a helyzetet és a feladatot: a célban egyetértés van, a megoldás mikéntje vitatott. Minthogy komplex a helyzet, térben és szakmailag egyaránt. A természettudományos vagy műszaki alapismeretekben egyetértés van, a különbség oka az eltérő szemlélet, vagyis hogy a jelenlegi paradigmán, a sokat hivatkozott „realitáson” belül maradunk-e, vagy (f)elismerjük, hogy új realitást kell építenünk – ahogy ezt a 19. században megtették. Kiemelendő egyetértés van a kérdés fontosságának tekintetében, és hogy jó, hogy a megvitatása elindult.

Ugyanakkor a valóság már beelőzött, a beszélgetési idő lejárt, sajátos ellentmondásban vagyunk: a paradigmaváltás további halogatása szakmaiatlan, miközben nincs egyetértés, hogy mit értsünk paradigmaváltás alatt.

A „vízszintemelés” ügye jól példázza ezt: az Alsó-Tisza medrében való vízszint emelése a kérdésünk, vagy a vizek szintjének megemelése az Alföldön? Tehát a tájainkban. A tájainkban, aminek nagy része jelenleg „mentett oldal”, a vízszint lesüllyesztésére kiépült infrastruktúrával és üzemrendekkel, minthogy erre van „társadalmi igény”. Az elmúlt évtizedek tanulsága az, hogy a vízlevezetés inkább igénytelenség, és szakmai felelősségünk segíteni a társadalom átprogramozását. Nem hivatkozhat a (szak)politika arra, hogy nem volt „gazdálkodói hajlandóság” a visszavizesítésre.

Az alábbiakban annak a szemléletnek a téziseit foglaljuk össze, ami tájba integrálná a vízépítési feladatokat, minthogy a társadalom élete is a tájba integrálódik. Ahol a „táj” nem tájképet, hanem tájműködést jelent, és az integrálás nem a „társadalmi igények” egymással való egyeztetését, hanem a „táji érdek”, vagyis az eredendő tájműködés alá történő beillesztést (Balogh 2005).

A tájműködésnek természetesen szerves része az emberi működés; illetve a bajok forrása éppen az, hogy természetellenesen és szervetlenül része. Ennek

VIZITERV Environ (2019). Az aszálykockázat kezelése és a klímaalkalmazkodási képesség javítására irányuló intézkedések meghatározása. https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2021/04/Aszaly_VGT3_2021.pdf

megfelelően az oki kezelés az emberi működés alárendelése a tájműködésnek, ami tájhasználati (tehát víz- és mezőgazdálkodási) paradigmaváltást, azaz szemléletváltást jelent, ami megnyilvánul a gyakorlatok változtatásában (Balogh 2001).

A szűkebb szakmai kérdések megválaszolása előtt nem megspórolható ez a „filozofálgatás”. A szűkebb szakmai kérdések megválaszolása félremegy, addig amíg nem tisztázzuk a paradigmaváltás kérdéseit. Illetve úgy vesszük, mintha tisztázva lennének, úgy vesszük, mintha megtörtént volna a szemléletváltás, negligáljuk az alternatív koncepciót, s nem tudunk kilépni a szűkebb szakmai kérdések szintjéről.

A „már csak a káros vizeket vezetjük le” még nem a szükséges paradigmaváltás, ahogy a vízviszartartás vagy a vízszintemelés nem újabb nagyvízi duzzasztóművek építését jelenti, vagy az egyéb szempontok bevonása nem merülhet ki azok saját eddigi belső értelmezésében.

Ehhez képest a paradigmaváltás, amikor kimondjuk, hogy az Alföld eredendő tájműködésére jellemző vízháztartási mérleg szerint nincsen káros vízmennyiség: ha károsnak látszik egy víz, akkor ott valójában a területhasználat a káros. Nem belvízvesztély van, hanem szántóvesztély. Ennek megfelelően eleve kérdések válnak okaforogtató. A gyakorlati kivitelezések pedig károssá, mint például a csatornakotrások vagy, ha az öntözés fejlesztésére tekintünk megoldásként.

Ezen értelmezés szerint teszünk javaslatot a vízszintemelés mikéntjére, előzetesen bemutatva azt a „vízválasztó” helyzetértékelést, ami a rendszerszerű megoldások keretként kínálkozik a területi vízgazdálkodás hatékonyabbá tételéhez, a víz- és mezőgazdálkodási paradigmaváltásához:

1. Ahol a potenciális párolgás meghaladja a rendelkezésre álló csapadékot, ott káros víz nincs, csak olyan, aminek nincs meg a helye. Az árvíz-belvíz-aszály problémáit jelentős részben az okozza, hogy a jelenlegi vízgazdálkodás területminimalizált, minthogy a jelenlegi területhasználatban nincs helye a víznek (helytelen a vízhasználat, mert víztelen a helyhasználat).

2. A feladat nem az, hogy levezessük a vizeket, hanem hogy találjuk meg a helyüket a tájhasználatban.

3. A vízgazdálkodás problémáit nem lehet megoldani a vízgazdálkodás klasszikus eszközeire támaszkodva csak, hanem ezeknek ki kell egészülnie a területi, tájhasználati változtatásokkal.

4. A vízpuffer-orientált tájhasználat (ami képes a többletvizek befogadására és természetszerű visszaadására) tudná megmenteni a szántóföldi gazdálkodás feltételeit is. A szántóföldek nagyjából 1/3-nak átalakításával lehet biztosítani a 2/3-nyi terület termelésbiztonságát.

5. A víznek adott területek nem az ördögnek adott területek, hanem a mezőgazdasági művelés részeként közvetlenül és közvetve is hasznos területek (különböző gyepek, erdők, vizes élőhelyek, akár rizsföldek, halastavak, stb.).

6. A helyes vízgazdálkodás a vizes helygazdálkodás. A tájhasználat-váltást oktatással és az agrárszabályozók és -támogatások igazításával kell megoldani, s nem területi kisajátítással. (Értékrendi és strukturális változtatások, nem csak jelenségszintű kezelés a rendszer változtatása nélkül.)

7. Az érintett szakmák és tudományos eredmények integrálása szükséges, a környezettudományok súlyozott figyelembevételével, minthogy az új integrált vízgazdálkodás legfontosabb szereplője a táj, a táj igénye, vagyis működése. (Szakmai paradigmaváltás: tájszemléletű, avagy tájba integrált vízgazdálkodás.)

8. A táji érdek elsődlegességének bevezetése állami feladat, amihez ugyancsak széles társadalmi egyeztetés szükséges: a gazdálkodók megélhetésének átalakítását egyéni szinten, velük közösen megtervezett és végigsegített folyamatok keretében kell kialakítani.

9. A medencehelyzet miatt hiányzó csapadék pótlására az időszakos többletvizek (árvíz) szabályozott kivezetése szükséges a mentett oldali árterekre és tovább az eredendő érhálózatba – a vízgazdálkodási infrastruktúra és a tájhasználat igazítása által. Az éghajlat változása miatt fokozottan indokolt a többletvizek táji kivezetése.

10. Az árvíz nem "lázás életjelenség" vagy a Természet támadása, hanem az alföldi táj legfontosabb életjelensége, a pulzáló szívverés, ami vízzel és tápanyaggal látja el az Ország testét.

11. A "belvíz" helyben keletkező vízkészlet, nem a folyókba való bevezetését, átemelését kell megoldani, hanem a táj helyi tározótereiben való összegyűjtését, betározását, táji szintű hasznosulását (visszaforgatódását), a vegetációs időszakban hiányzó csapadék pótlására, illetve a nagy nyári besugárzás szétosztására, hűtésére.

12. Az aszálykárok tízszeresen meghaladják az árvízi károkat. Ugyanakkor a károrientált szemléletről át kell állni a haszon-orientációra. Az árvízi víztöbblet tájban való elhelyezése egyszerre oldja meg az árvíz és az aszály problémáit, így a víz nem kárt, hanem hasznot jelenthetne az Alföldön.

13. A párolgás és az elszívargás nem veszteség, hanem a táji vízkészlet feltöltődése, a kisvízkörforgás részfolyamatai, a táj hűtésére és vízellátására. A

legfontosabb párolgató „eszköz” a növényzet, ami a táj hűtésének szolgáltatását végzi.

14. A vizek tározása („visszatartása”) a nagyvizekből oldandó meg, nem a kisvizek visszafogásával. Az Alföldön különösen jellemző a nagy vízhozamkülönbség, a kisvízi hozamokból nem oldható meg a vízellátás, ugyanakkor van eredendő és elegendő hely a nagyvizek tájban tartásához.

15. A vízállás tartósság- és gyakorisági vizsgálatok eredménye szerint a Közép-Tiszán már kivezethető gravitációsan az árhullámok többletvize, ami egyszerre oldja meg a hullámtéri árvízszintek csökkentését és a mentett oldali vízhiány csökkentését. (Az árvízveszély csökkentése az aszályveszély csökkentésével.)

16. A vizek visszatartása a domborzati mélyvonulatokban (árterek), illetve táj élő rendszereiben, a talajban, a növényzetben és az alsó légkörben hatékony és fenntartható, másodlagosan használandók a mesterséges víztestek és vonalas csatornák, míg a síkvidéki mederduzzasztás kerülendő eszköz. Az oldalirányú tározás (korszerű foggazdálkodás) tudja a duzzasztás előnyeit, a hátrányai nélkül. A nagyobb területigény nem hátrány, hanem előny, hiszen a táj vízzel való feltöltése kell a tájműködés fenntartásához (bioproduktivitás, klímaszabályozás, emberi létfeltételek).

17. A modernkori szabályozás következtében előállt kedvezőtlen jellemzők kezelésére (medersüllyedés, vízjárás szélsőségeinek növekedése, stb.) rendszeren kívüli eszközt javasolt találni, a meder teljes szelvényű elzárása (vízlépcsőzése) nem korszerű megoldás, a nemzetközi trendek a vízlépcsők bontásáról, a vízfolyások természetisítéséről szólnak.

18. Az egyenes, meredek, mély csatornák a víz levezetésére valók, a víz táji hasznosulásához kanyargós, lapos, sekély medrek kellene. A csatornákat nem kotorni („tisztítani”) kell, hanem szélesíteni, természetisíteni (revitalizálás).

19. A víz szétosztása a tájban közösségi feladat és érdek, a tájak vízzel való feltöltése, a nagyvizek tájba juttatása állami feladat, közösségi pénzen. A közös természeti elem magáncélú használatáért, a víz mesterséges kivételének jogáért lehet pénzt kérni.

20. A rétegvizek nem arra valók, hogy elöntözzük őket a felszínen. A felszíni vizek tájba forgatásával kell a tájpotenciált növelni, s a tájak használatát ehhez igazítani.

21. A kisvízfolyásoknak is hely kell, vagyis természetszerű meder és táji kapcsolatok, mert kibetonozott kiegyenesített csatornaként még a csapadékelvezetés szempontjából sem hatékonyak, nemhogy egyéb funkcióikat tekintve. A gyors vízlevezetés elősegíti a villámárvíz kialakulását.

22. Az árterek revitalizálása által kiterjedt, jó vízellátottságú területek alakulnának ki, melyek nagy produktivitású erdők telepítésére is lehetőséget adnak, ami a homokhátsági élőhelyek tájhoz való igazítását is lehetővé tenné (faültetvények helyett fás legelők, füves élőhelyek).

23. A nagy léptékű erdősítés lehetőségének megteremtése a szénmegkötési potenciál növelésével hozzájárul a klímacélok teljesítéséhez, tehát az árterek rehabilitációja egyben a klímastratégia újszerű megvalósításának lehetősége is, s így különféle EU-s források is lehívhatók rá.

24. A haszonnövények tábla szintű vízpótlása (öntözés) nem lehet hatékony az évszázados táji szintű kiszáritás közben. Az öntözés túlhasználatra készíti a tájat, ami során elhasználódnak a tartalékai, a talajvízszint lesüllyed, a talajok degradálódnak, az iparszerű öntözés a gazdálkodás és az élet létfeltételeinek megszűnéséhez vezet. Globális és történelmi tapasztalat, hogy a félszáraz területek nagy arányú öntözése a tájak kiszáradását okozza.

25. A Magyar Alföld vizeinek évszázados koncepcionális levezetése hozzájárult a szárazodásához („szárazítás”). A modernkori víz- és tájhasználat erősíti a globális klímaváltozás kedvezőtlen hatásait. Ugyanakkor van lehetőség olyan tájhasználat kialakítására, ami mérsékelné az éghajlati szélsőségeket. Pusztán „természeti katasztrófára” hivatkozni a felelősség hátrítása, tehát a lehetőség elszalasztása.

26. A víz ügye nem csak a vízügyé, hanem egyéb szakmák és tudományok bevonása is szükséges. Pusztán műszaki, mérnöki szemlélettel nem láthatók meg azok a megoldások, amik szükségesek a felmerült kihívások kezeléséhez, fenntartható megoldásához.

27. A fenntartható vízgazdálkodás alapja, hogy az egyeztetések legfontosabb szereplője a táj, a „táji érdek”, a vízháztartási mérleg, illetve a Természet eredendő működése szerint. A társadalmi igényeknek, és így a társadalmi törvényeknek, a természeti törvényekhez kell igazodniuk. A vízgazdálkodás integrálásában az igények összehangolásán túl el kell érni a tájba való integrálást is. A vízügy működésének szakmailag a természeti működésre kell hivatkozni, amikor szaktanácsot ad, minthogy a természeti keretek felülírják a „társadalmi megrendelést”.

28. A paradigmaváltás része, hogy az eredendő hierarchiához igazítjuk a szakigazgatást, és a TÁJ keretei alatt intézzük a víz-, agrár-, klíma-, területfejlesztési, természetvédelmi (stb.) ügyeket. (Tájminisztérium.)

29. A területi szakigazgatás struktúráját is az új értékrendhez kell igazítani. Az árvíz”védelem” helyett árvíz”kezelés”, a víztöbbletek és vízhiányok kezelésének összehangolása szükséges. A vízügy 21. századi feladata a táji vízviesszatartás kiépítésében segíteni az agráriumot, a társadalmat és a politikai vezetést.

30. A helyes vízgazdálkodás felelőssége és lehetősége hármas: az agrárium, mint tájhasználó, a vízügy, mint víz-szakmai felelős, és a politika a társadalom hosszú távú érdekeinek képviselőjeként felelős a fenntartható víz- és tájhasználat kialakításáért.

E tézisgyűjtemény így ebben a formában jelent meg a „Vízválasztó Koncepció – Tájhasználatváltás a vízgazdálkodási problémák megoldásáért” című

konferencia összefoglalásában, 2022 őszén. 3 és fél évvel ezelőtt. A Vízválasztó Koncepció évtizedes előzményekre épít és számos kutatást integrál, melynek néhány fontos megjelenését az irodalomjegyzékben hivatkozunk (*Balogh 2001, 2002, 2005, 2010, Báder 2023, Murányi és Koncsos 2022 a, b, Szilágyi és társai a, b*).

Az egyeztetési folyamat megkezdődött, számos fontos szakmai fórum szólt a szükséges paradigmaváltás mikéntjéről, mindhárom említett kiemelt felelős szereplőnél, de a gyakorlatban éppen a „realitás” miatt szükséges paradigmaváltás nem történt meg.

A Vízügyben például emlékeztető volt a 2023. április 20-i MHT ülés, amikor is Koncsos László előadása (*Koncsos 2023*), vagyis a Vízválasztó koncepció műszaki megvalósíthatóságának bemutatása kedvező fogadtatásban részesült – de a szakma közgondolkodása még mindig nem gondolja reálisnak a 2-3 milliárd köbméter víz kivezetését.

Az Agráriumban felerősödött a talajmegújító szemlélet, a szántás kritikája, az agrárgazdasági szakirodalom vaskosan tele van a változtatás szükségességével. A kapcsolódó pénzügyi szektorból különösen egyértelmű kijelentések hangzanak el, az „új világrend” valósága új viszonyokat teremt(ett) (*Agrártrendek konferencia 2026*), de a szakma közgondolkodása még mindig felszántatta a területeit, és az öntözésfejlesztésben látja a kiutat.

A Politika 2025-ben meghirdette a „Vizet a tájba” programot, ami kapcsán ugyancsak születtek áttörések bizonyos gátakon – de valójában „öntözővizet a szántóföldemhez” értelmezésben rekedt a víz a tájban gondolat. Összességében ugyancsak a jelenlegi paradigmán belül maradvány csatornázásokban és az öntözésfejlesztés kommunikálásában nyilvánult meg a program, a politikai túlélés illúzióját fenntartva.

Tehát a valós szemléletváltás nem született meg: a 2024/2025. évi tél árhullámai továbbra sem lettek többletvízként értelmezve, nincsen intézkedés a víztartó területeink feltöltésére, sőt a megfelelő szakmai és társadalmi kommunikáció sem indult meg, a szakmai közvélemény többsége még mindig maradt a problémákat létrehozó modernkori paradigmában. A beszélgetés folyik, de filozofálgatás elutasítva, ami által a gyakorlati megvalósítás is késik.

Miközben a sokat emlegetett „társadalmi igény” már tapintható, azon szereplők, akik nem kötötték identitásukat a régi (azaz jelenlegi) paradigmához, vagy a jövedelmük közvetlenül mutatja a hibás gyakorlatot, számukra már nyilvánvalóvá vált a változtatás szükségessége és lehetősége.

A változtatás alapjaként a még mindig nem emlegetett „táji igény” kínálkozik, amivel az elejétől fogva szembe megy a modernkori folyószabályozás és azt megrendelő mezőgazdaság és társadalmi igénytelenség. A koncepcionális hibák kijavítása most a történelmi kihívás, ahogy a 19. században a modernizáció volt a kor feladata. Most jobban el vagyunk késve a korszerű válasszal...

Azt itt hivatkozott „Vízválasztó Konceptió” szakmai háttérét tovább részletezte a Vízválasztó II. Konferencia 2025. január 9-én, amin betekintést adtunk a társadalmi egyeztetésbe is, melynek dokumentációja nyilvánosan elérhető ([URL1](#)). E koncepció ad rendszerszerű válaszokat a „vizet a tájba” feladat konkrét kérdéseiben is:

- A kérdés összetettsége és a tényezők összefüggései miatt érdemes egységes koncepcióba foglalni a felmerülő megoldásokat. E koncepció alapja a bajokat létrehozó okok kezelése kell legyen, és célja olyan tájműködtetési rendszer létrehozása, ami térben és ágazatilag komplexen kezeli a 21. századi kihívásokat.

- Az Alsó-Tiszát is érdemes a teljes Tiszai-alföld kontextusában vizsgálni. A fentebbi duzzasztások biztosítják a kívánt vízszintemelést, a domborzat biztosítja a vizek átvezetésének lehetőségét. A meglévő csatornahálózatot is lehet használni, illetve ennek fejlesztése szükséges, a lecsapolt ártéri szintek szabályozott árasztásával. Ez a táji vízszintemelés.

- A medermélyülést is érdemes teljes kapcsolati hálójában tekinteni. Okozati kezelése a meder visszaemlése, a medret visszaemelő természetes folyamatok regenerálása. Ehhez javasoljuk a „fordított szabályozás elvét”, vagyis a csatornásító beavatkozások megfordítását: kotrás és sarkantyúk helyett mederküszöbököt a kisvízi mederben, akár a partbiztosítások anyagából építve. Hogy a középvízi meder visszashabályozása által mederanyaghoz jusson a folyó. Általában szélesebb-laposabb medrek létrehozása szükséges, a csatornázott kisvízfolyásokon és nagy folyómedreken egyaránt.

- A vízszint-hiány oka a kisvízi hozamok elapadása, melynek oka a táji pufferkapacitások, vagyis az árterek leválasztása, a víztöbbletek túl gyors levezetése. Az árvizeket ki kell vezetni az árterekbe, a helyben keletkező vizeket (régebben: belvíz) ugyancsak a helyi mélyvonulatokban tartani, a helyi kisvízkörforgásokba csatlakozni (párolgás, beszívargás, növényzet).

- A táji szintű vízszintemelésre lehetőséget ad a meglévő 2 nagyvízi mederküszöb, vagyis duzzasztómű, a Közép-Tiszán, melyek a lentebbi tájak gravitációs árasztathatóságát biztosítják. Tulajdonképpen mesterséges árvizet a természetes árterekbe. Ez az a vízszintemelés, ami rendszerszerű választ ad a szárazodás kérdésére. A meglévő infrastruktúra másképp való használata szükséges, régi műveken új üzemrendek. A duzzasztások és az oldalirányú továbbvezetések által lehet árvízvédelmet biztosítani, árvízhiányvesztélt elhárítani, vagyis a gyakoriság- és tartóssághiányt kezelni.

- A táji vízszintemelés megvalósulása az oldalirányú kivezetés és a párhuzamos medrek használata által lehetséges. A csatornázott mederben érkező vízhozamok akkora részét ki kell vezetni oldalirányban, amennyi vizet képes vezetgetni és befogadni a Tiszai-alföld domborzata: az erek és árterek hálózata. A Tisza vízhozamának egy jelentős részét a korábbi lecsapolt, de nem bevágódott medrekbe kell vezetni. Nem a bemélyített szűk csatornába, hanem azok túltöltésével az eredendő kanyargós medrekbe, a tájak alól, a tájakra.

- Nagyvízkor kell feltölteni az ártéri puffereket. A kisvízi hozam feletti vizek már kivezethetők, jellemzően a téli vízháztartási félévben. Ez a táji tározás, ami által a kisvízes félév vízkészlethiányának pótlására esélyük lehet. A „táji víz” nem csak a mérhető víztestekben létezik, hanem a táji működésben, a sokat emlegetett kisvízkörforgásokban, a talaj, az alsó légkör és a növényzet szentháromságában.

- Ez a vízgazdálkodási paradigmaváltás egyrészt megkezdhető a meglévő infrastruktúrán belül is, másrészt lényegileg módosított üzemrendek és területhasználatok kellenek hozzá. A jogszabályi környezet változtatása mellett természetesen az épített környezetben is szükségesek a táji vízszintemelést szolgáló átalakítások és további fejlesztések.

- A táji vízszintemelés kulcsa a tájhasználat-váltás, vagyis a vízügyi és agrárüzemrendek átprogramozása. Vízpuffer-orientált tájhasználat bevezetése szükséges a szántóművelés helyett. Nem a gazdálkodás feladása szükséges, hanem a gazdálkodás igazítása. Ezek a művelési mód és művelési ág változtatások adhatják vissza a mezőgazdaság jövedelemtermelő képességét és a társadalomnak az élelmezésbiztonságot és az éghajlat élıhetőségét.

- Nem hivatkozhatunk az önkéntes hajlandóságra, hanem kötelező érvényű központi koncepcionális szabályozás szükséges a gazdálkodói érdekeltség megteremtésével. Kisajátítás és kárpótlás helyett a kihívásokra megfelelő tájhasználatváltásra orientáló agrárszabályzó és -támogatási rendszer.

- Hiába a duzzasztás a mezőgazdasági művelés megváltoztatása nélkül, illetve a megfelelő víz- és mezőgazdasági üzemrendváltások szükségtelesség teszik új nagy duzzasztómű létesítését a Tiszán.

IRODALOMJEGYZÉK

Agrártrendek konferencia (2026). Agrártrendek 2026 Konferencia, 2026. február 5., Hódmezővásárhely.

Balogh P. (2001). Az ártéri tájgazdálkodás koncepciója. Földrajzi Közlemények 2001/3-4. pp.249-270.https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/elotisaert.hu/wp-media-folder-elotisaert-hu/wp-content/uploads/2020/10/az-arteri-tajgazdalkodas-koncepcioja-eloleges-javaslat-fk-2001_3-4.pdf

Balogh P. (2002). Árvízvédelem és gazdálkodás – javaslat a hullámterek használatára. <https://doi.org/10.18699/bgrs2024-1.2-05>

Balogh P. (2005). A közép-tiszai táj eredendő működéséről és fenntartható működtetéséről (Az ártéri tájgazdálkodás alapelvei és általános módszertana)<https://doi.org/10.15170/tvt.2025.10.02.01>

Balogh P. (2010). Vízlépcsőlátás – megújuló energiákkal a folyók ellen Tanulságok a csongrádi duzzasztási szándék megújulása kapcsán. <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/elotisaert.hu/wp-media-folder-elotisaert-hu/wp-content/uploads/2022/09/vizlepcsolasat-megujulo-energiakkal-a-folyok-ellen-klimabarar-fuzetek-2009-12.pdf>

Báder L. (2023). Magyarország vízmérlege és a klímaváltozás. Hidrológiai Közlöny, 103(1), pp. 4-16. <https://doi.org/10.59258/hk.10410>

Koncsos L. (2023). Mélyárterek bevonása a vízgazdálkodásba. MHT előadórészlet. OVF székház, tanácsterem 2023. április 20.

Murányi G., Koncsos L. (2022a). Tározási alkalmasságok az Alföldön. Vízátvezetés, vízviSSzatartás, vízpótlás. Magyar Hidrológiai Társaság vándorgyűlése 2022. https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2023/11/0219_muranyi_gabor.pdf

Murányi G., Koncsos L. (2022b). Analysis of nature based flood management in the Tisza River Valley,

Hungary . Pollach Periodica, Volume 17, Issue 3. <https://doi.org/10.1556/606.2022.00456>

Szilágyi J., Dobos E., Szűcs P. (2020a). Felhívás a tájszemléletű vízgazdálkodás koncepció kimunkálásához – Hidrológiai Közlöny 2020/1. pp.41-53.

Szilágyi J., Dobos E., Szűcs P. (2020b). Az öntözéses gazdálkodásról szóló törvény a tájszemléletű vízgazdálkodás tükrében. ProFuturo 2020/1. pp. 42-66. <https://doi.org/10.26521/profuturo/2020/1/7556>

(URL1). Vízválasztó II. Konferencia – Tájhasználatváltással a vízgazdálkodási problémák megoldásáért <https://www.parlament.hu/web/fenntarthato-fejlodes-bizottsaga/vizvalaszto-ii-konferencia-2025.-januar-9>.

SZERZŐ



BALOGH PÉTER az ELTE-n végzett földrajz és történelemtanári szakokon, majd a Földtudományi Doktori Iskolában abszolutóriumot szerzett 2003-ban. Vizsgálati területe ember és Természet kapcsolata, és ennek fenntarthatóvá tétele, különös tekintettel a Tiszai-alföldre. Kutatási módszertana a „helyivé válás”, aminek jegyében a Közép-Tisza menti Nagykörűbe költözött, és gazdálkodásba kezdett (2000-től). Geográfusi munkáját civil szervezetekben végzi, célja a tájgazdálkodás mibenlétének bemutatása és a szakpolitikák igazítása. A Szövetség az Élő Tiszáért Egyesület alapító tagja, a Vízválasztó Mozgalom elnöke.

VÍZ – ÉLET - TÉR – FOTÓKIÁLLÍTÁS ÉS VERSENY 2026. március 4.



30 résztvevő jelentkezett a versenyre szebbnél-szebb fotókkal. A győztest a DULOVICS JUNIOR SZIMPÓZIUM résztvevői választották ki online szavazással. A fotóverseny I. helyezett fotóját, mely jelen kötetünk címlapján látható, Juhász Bernadett, a Debreceni egyetem hallgatója készítette.

Esemény

A Hidrológiai Közöny Fórum rovatában a Magyar Hidrológiai Társaság szakosztályi munkájáról is beszámolunk. Alábbiakban az MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztálya mutatja be a 19. Ivóvízbiztonsági konferencia ajánlásait, javaslatait.

Beszámoló a 19. Ivóvízbiztonsági konferenciáról – 2025. október 15.

Borsányi Mátyás¹, Laky Dóra²

¹ MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály elnöke (e-mail: borsanyim@gmail.com)

² MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály titkára (e-mail: laky.dora@emk.bme.hu)

BEVEZETÉS

„Az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről” tárgyú felülvizsgált EU irányelv (2020/2184 irányelv, 2020. december 16.) és az arra alapozott hazai 5/(2023. 01. 12.) Korm. rendelet célja, hogy a mindenki számára hozzáférhető egészséges és tiszta ivóvíz biztosítása útján óvják a vízhasználók egészségét az emberi fogyasztásra szánt víz szennyezettsége okozta káros hatásoktól.

A vízbiztonsági tervrendszer (VBT, angolul WSP – Water Safety Plans) kidolgozása és rendszeres felülvizsgálata az elvárt minőségben és kellő mennyiségben rendelkezésre álló ivóvíz biztosítása érdekében történik. A VBT a vízellátási lánc egészére, a vízgyűjtőtől a fogyasztóig veszély és kockázatértékelési, valamint kockázatkezelési átgondolást foglal magában. A kulcsfontosságú lépések közé tartozik egy, a VBT szerinti vízszolgáltatói működést támogató felelős munkacsoport összeállítása, a rendszer leírása, a veszélyek azonosítása, a kockázatok értékelése, a kockázatkezelés megtervezése és az ellenőrzési intézkedések végrehajtása.

A kockázatkezelés tervezésekor az azonosított kockázatok csökkentése érdekében elsődleges alkalmas ellenőrző intézkedések kidolgozása és végrehajtása, beleértve az üzemeltetési monitoring és irányítási rendszereket. Az alkalmasság monitoring a VBT tervrendszer gyakorlatba helyezése, üzemeltetése és folyamatos ellenőrzése annak biztosítása érdekében, hogy az ellenőrző intézkedések valóban hatékonyak, azokra támaszkodva az üzemeltető reagálni képes előre nem látott veszélyeseményre.

Az ivóvízellátó rendszerekre vonatkozó legjobb gyakorlatok közé tartozik egy átfogó vízbiztonsági terv végrehajtása, amely kockázatalapú megközelítést alkalmaz a vízforrástól a fogyasztóig. A kulcsfontosságú gyakorlatok közé tartozik az infrastruktúra karbantartása, a vízminőség biztosítása kezeléssel és fertőtlenítéssel, vízmegtakarítási intézkedések végrehajtása, fenntartható pénzügyi modellek létrehozása és a vízfogyasztó közösséggel való együttműködés. A feladatellátásban példaképp a közelmúltig EU tag Egyesült Királyság (UK) Ivóvíz-felügyelete (Drinking Water Inspectorate DWI) említhető meg. A szervezet végzi az ivóvízművek működésének műszaki auditját, a vízművek mintavételi programjainak és a vízvizsgálati eredményeinek értékelését; valamint az ivóvíz minőségét és a kellő vízmennyiség rendelkezésre állását, és nem utolsósorban a működést potenciálisan befolyásoló veszélyek, illetve veszélyesemények értékelését. Egy vízmű működést

minősítő fejlesztés az úgynevezett Megfelelőségi Kockázati Index (angolul Compliance Risk Index CRI) egy olyan mérőszám, amely a közüzemi vízellátás meghibásodásából eredő kockázatok számszerűsítésére törekszik. Az indexhasználó olyan tényezők alapján számítja ki pontszámot, mint a meghibásodott paraméter egészségügyi jelentősége, a vízszolgáltató reagálása, a kockázatsökkentésért tett erőfeszítései, a hibajavítási törekvései, valamint a hiba által érintett ügyfelek, fogyasztók száma. Az alacsonyabb CRI-pontszám jobb teljesítményt és kisebb kockázatot jelez, míg a magasabb pontszám nagyobb kockázatot és a vízszolgáltató számára akár potenciális „büntetést” jelent. A CRI-pontszámot meghatározó tényezők a következők. A paraméter pontszám a nem teljesített vízminőségi paraméter jelentőségét helyezi középpontba, figyelembe véve a potenciális egészségügyi kockázatot. Az értékelési pontszám tükrözi a vízmű vállalat intézkedéseit, beleértve a hiba okát, a kivizsgálás folyamatát és a bevezetett kockázatsökkentő intézkedéseket. A hatás pontszám értékeli a hiba helyét az ellátóhálózaton belül és az érintett fogyasztók számát. A CRI használata kockázatalapú megközelítést biztosít a vízszolgáltatói közösség működését minősítő szabályozásához. Segít a vízszolgáltatóknak a kockázati területek azonosításában és ezzel a célzott fejlesztések rangsorolásában. Az „értékelt teljesítményt” nyomon követik, évente megvizsgálják, a kisebb pontszám jobb ivóvízszolgáltatói teljesítményt jelez. Amennyiben egy vízszolgáltató pontszáma túl nagy, a DWI figyelemfelhívást szándékosan figyelmen kívül hagyja, vagy a fejlesztést negligálja, a CRI értékelés akár pénzügyi büntetést is vonhat maga után.

Az ivóvízszolgáltatásban a vízfertőtlenítés szerepe – ahol a vízbeszerzés, vízkezelés, vízelosztás rendszerben feltételezhető veszélyesemények megelőzéséhez szükséges – kiemelt jelentőségű. Az alkalmazott fertőtlenítőszerek legelterjedtebben hipoklorit oldat, klórgáz, klór-dioxid. A klorát és klorit szervesetlen vegyületek, amelyek az ivóvíz fertőtlenítési, valamint egyes vízkezelő folyamatoknak (mint pl. ammónium tartalom csökkentése törésponti klórozással) ismert melléktermékei. A klorát és klorit mennyisége az elosztórendszer különböző pontjain, a különböző évszakokban jelentősen változhat a vízminőségtől, az alkalmazott vízkezelő/ fertőtlenítő szer koncentrációjától, előállításának módjától, a lebomlás mértékétől függően.

Közegészségügyi szempontból a klórozott ivóvízben található klorit és klorát okozta kockázatok hatékony csökkentése elengedhetetlen. Ám, ami a fertőtlenítő célú

klórozás világszerte kulcsfontosságú lépés a vízkezelésben, amely segít gátolni a káros baktériumok szaporodását, megelőzni a vízzel terjedő betegségeket, a technológiai célú jelenlegi klórozás módszerének módosítására, kiváltására feltehetően sor fog kerülni. Elsőbbséget kell élveznie ugyanis az olyan vízbiztonsági megközelítésnek, amely a fertőtlenítés hatékonyságának megőrzése mellett a klorát és klorit beviteli, képződési potenciált, az általuk okozott kockázatok csökkentése érdekében korlátozza.

A VBT fejlesztésekor ma már az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásra és az intelligens (adatvezérelt) technológiák beépítésére is összpontosítanak. A tágabb és a vízkivétel hely környéki vízbázis tekintetében a rekonstrukciókor, a potenciális új kockázatok azonosításához és kezeléséhez, a fejlesztés-tervezéshez és -megvalósításhoz a vízellátás valamennyi érdekelt szereplőjének a közreműködésére szükség van.

A vízelosztó rendszer azonosított veszélyei között kiemelt jelentőségű az ivóvízvesztéssel kapcsolatos tudatosság hiánya. Emiatt merül fel az ivóvízhasználat helyén az egészségkockázatok alulértékelése, ami egyben a vízinfrastruktúra karbantartásába és felújításába történő befektetések kimutatható elmaradását is eredményezi. A mennyiségi veszteség gyakran szivárgások, nem megfelelő infrastruktúra vagy vízpazarlás miatt következik be, közvetlenül befolyásolva a vízbiztonságot is azáltal, hogy egyaránt veszélyezteti az ivóvíz minőségét és elérhetőségét. A csökkent víznyomás, a hálózatban megnövekedett vízkor és a szennyeződés lehetősége mind hozzájárul veszélyesemények létrejöttéhez. A vízbiztonság megőrzése érdekében szükséges a megtervezett szivárgás észlelés, bejelentő rendszer, és kulcsfontosságú a lehetőleg azonnali javítási készségre alapozva a hibaelhárítás, a vízvesztés mérséklése. A vízelosztó hálózat monitorozása, benne az elszivárgó vízvesztés felderítése és a teljesítmény optimalizálása a korszerű technológiai és vízgazdálkodási módszerekkel támogatott hálózati technológiák használata a vízminőség megóvását és a vízszolgáltatás költséghatékonyságát is hosszabb távon támogathatja.

A 19. IVÓVÍZBIZTONSÁGI SZAKMAI FÓRUM ELŐADÁSAI ÉS ELŐADÓINAK AJÁNLÁSAI

A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztálya, valamint a Fővárosi Vízművek üzemi Szervezet szervezésében, a Magyar Vízi Közmű Szövetség, a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, valamint az MHT Vízellátási Szakosztály támogatásával megrendezett 19. Ivóvízbiztonsági konferencia előadásai és előadóinak ajánlásai a következők voltak:

- Márialigeti Bence (Vízű Panoráma): *Megosztás, mint kockázat módosító faktor*

Az előadás röviden vázolta a Vízű Panoráma e tárgyban megjelent közleményeit, mint a téma publikussá tételének egyik megvalósulását. Emellett a téma laikusok számára történő közreadására, az ő bevonásukra mutatott be külföldi jó gyakorlatot.

Ajánlás: A Vízű Panoráma állandó rovatot ajánl a vízminőség biztosítás és vízvesztés témakörökben a tapasztalatok, eredmények, kísérletek, jó gyakorlatok, hibák, új technológiák bemutatására és publikálására. A rovatok egyedi dizájnnal is rendelkezhetnek. Évi négy

szám, automatikusan eljut a szektor legfőbb szereplőihöz, 825 címre (és a szám növelhető).

- Dr. Kiss András László, Bufa-Dórr Zsuzsanna (Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ): *Szemelvények a 2184/2020 (EU) Ivóvíz Irányelvre alapuló aktuális feladatokból*

Az előadás rövid áttekintést adott a hallgatóságnak az Ivóvíz Irányelv hazai jogrendbe ültetésével folyamatosan aktualizálódó feladatellátásról közegészségügyi szempontból. A teljesség igénye nélkül összefoglalást adott a korábbi állapothoz viszonyítva módosult elvárások közül egyes feladatok teljesüléséről, valamint további közeli időszakban ellátandó feladatokról.

Ajánlás: A VBT-k aktualizálása során az ivóvíz szolgáltatóknak javasolt felkészülnie az EU Ivóvíz Irányelv 8. cikke: Az emberi fogyasztásra szánt víz kivételi pontjainak vízgyűjtő területeire vonatkozó kockázatértékelés és kockázatkezelés, továbbá 10. cikke: A házi vízelosztó rendszerek kockázatértékelése, szerinti adatkör adaptálására. A felkészülés során célszerű szem előtt tartani az ivóvízminőségi paraméterkör aktualizálásával felmerülő változásokat. Ezeket a feladatköröket a hazai 5/2023. (I.12.) Korm. rendeletben a 6.§ és 8-9.§ tartalmazzák.

- Dr. Laky Dóra, Souha Neguez, Koncz Dénes (BME, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék): *Klorát ion az ivóvízben – nátrium-hipoklorit oldatok bomlásának vizsgálata laboratóriumi körülmények között*

A kutatás célja az ivóvízbiztonság javítása az 5/2023 (I.12) Kormányrendeletben új paraméterként megjelenő klorát ion kapcsán. Laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a következő ajánlásokat fogalmazhatjuk meg nátrium-hipokloritot alkalmazó törésponti technológiákra:

- Tárolási idő minimalizálása (nátrium-hipoklorit oldatok lehetőség szerinti minél gyakoribb szállítása),
- Szállítást követően a nátrium-hipoklorit oldat hígítása,
- Tárolás alacsony hőmérsékleten, napfénytől védett helyen.

Aktív klór vagy klorát szint rendszeres mérése a nátrium-hipoklorit oldatokban (amennyiben az oldat kezdeti klorát koncentrációja ismert, az aktív klórtartalom csökkenéséből jól becsülhető az oldat aktuális klorát tartalma). A technológiák optimalizálásával, az üzemeltetés fentiek szerinti megváltoztatásával azonban nem feltétlenül lehet a határérték alá csökkenteni a kezelt víz klorát ion koncentrációját, sok esetben csak a technológia megváltoztatásával biztosítható a 0,25 mg/l alatti klorát koncentráció.

- Kohuth-Ötvös Viktória (Soproni Vízmű Zrt.): *Ivóvízbiztonság fejlődése a Soproni Vízmű Zrt.-nél*

Az előadás átfogó képet nyújtott az ivóvízbiztonságról és az ivóvízbiztonsági tervek fejlődéséről a Soproni Vízmű Zrt.-nél, az első tervek elkészítésétől napjainkig. Bemutatta a gördülő fejlesztési tervekkel való kapcsolódási pontokat, valamint a vízminőségi követelmények változásai nyomán történt módosításokat. Gyakorlati példákon keresztül pedig olyan fejlesztéseket ismertetett, amelyek hozzájárultak az ivóvízbiztonság folyamatos fenntartásához.

Ajánlás: Üzemeltetési tapasztalataink alapján az ivóvízbiztonsági tervek akkor igazán hatékonyak, ha egyszerűen kezelhetők és integrált folyamatokra épülnek. Javasol-

juk továbbá a megelőző intézkedések folyamatos alkalmazását és az információk visszacsatolását, hogy a tervek folyamatosan fejlődjenek és az ivóvízbiztonság fenntartása a mindennapi üzemeltetés során könnyebb legyen.

- Boda Balázs (Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft.): *A KAVÍZ Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft. vízbiztonsági rendszerének jellemzői és fejlesztése*

A KAVÍZ Kft. előd szervezete országosan az első vízművállalatok egyike volt, amely a vízbiztonsági tervezés fontosságát felismerte. Az ekkor még nem kötelező jellegű élelmiszerbiztonsági rendszert felépítette és folyamatosan tanúsította. A jogszabályi kötelezettség életbe lépését követően néhány év párhuzamos működtetést követően az MSZ22000 szabvány szerinti rendszert kivette és a VBT-rendszer kizárólagos használatára állt át. A VBT felépítése formalizált, ezáltal közismert, de a napi üzemeltetésben vannak olyan proaktív tevékenységek, amelyek ismertetése hasznos lehet a hallgatóság számára. Előadásában erre a proaktivitásra (jó gyakorlatra) helyezte a hangsúlyt, amelyek megelőz(het)ik a kényszerű utólagos (reaktív) beavatkozásokat.

- Madzin Evelin (Fővárosi Vízművek Zrt.): *Fizikai vízvesztés csökkentés a Fővárosi Vízművek Zrt.-nél*

A megtermelt vízmennyiségek egy részét – különböző okok és tényezők miatt – a víziközmű szolgáltatók nem tudják értékesíteni, így az úgynevezett Nem Számlázott Víz (NSZV) mennyisége jelentős bevételkiesést okoz. Ezen túlmenően a fizikai vízvesztéseket tekintve ellátás- és biztonságtechnikai, ökológiai és környezetvédelmi indokok kifejezetten szükségessé teszik a vízvesztései értékek alacsony szinten tartását. Az előadás során ismeretetre kerültek az NSZV egyik összetevőjének, a fizikai vízvesztés előfordulásának formái, valamint a Fővárosi Vízművek Zrt. veszteségcsökkentési gyakorlata.

Ajánlás: Habár a Nem Számlázott Víz (NSZV) csökkentése számos víziközmű szolgáltató stratégiai céljai között szerepel, fontos megjegyezni, hogy a megfelelő vízminőség biztosítása elsődleges prioritást kell, hogy képviseljen, még ha az ennek érdekében tett beavatkozások (öblítések) növelik a veszteséget. Viszont ezek mértéke elenyésző az összes veszteséghez képest. Ezen túlmenően

a vízfolyások javításának minősége és gyorsasága nem csak az elfolyt vízmennyiség szempontjából kulcsfontosságú. A javítás során figyelemmel kell lenni a hálózatra beépítendő anyagok minőségére vonatkozó előírásokra (5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet 10-13.§ szerinti ivóvízhigiénés megfelelést igazoló dokumentációval történő rendelkezés), valamint a hibajavítás folyamata során betartandók a vízminőség romlását megakadályozó követelmények (mint például: a munkagödör megfelelő víztelenítése, az érintett csőszakasz leürítése és öblítése, az ivóvízzel érintkező felületek alapos fertőtlenítése stb.).

- Varga László (Aquacust Vízvesztés-elemző Kft.): *A vízelosztó rendszer biztonsága és a hálózati veszteség*

A vízellátó hálózatok 2026. január 1-től a kiemelt infrastruktúrák közé tartoznak. A csőtörések, hálózati veszteségek, szivárgások felderítésével kapcsolatban sokat beszélünk azok megkeresési technikáiról, az elszivárgó víz okozta veszteségekről, energiavesztésekről, környezeti károkról, de a vízminőségre gyakorolt hatása nem kerül szóba. Pedig a veszteségek / veszélyek között ez az egyik leglényegesebb elem, mert a fertőzések kialakulása, egy esetleges vízfertőzés településeket, településrészeket – vagy csak egy kórház valamelyik osztályát – veszélyeztet, akadályozza az ott lakók, dolgozók, esetleg a nyaralók életét. Az előadás összefoglalta a szivárgások hatását a vízminőségre, valamint azt, hogy a vízminőség is hatással van a vezetékek állapotára, a csőtörések kialakulására. Sőt, a hálózat üzemeltetése is döntően befolyásolhatja a vízbiztonság rövid- és hosszútávú fenntarthatóságát.

A 19. Ivóvízbiztonsági konferencia előadásai és ajánlásai a Magyar Hidrológiai Társaság web-oldalán, az alábbi linken megtekinthetők:
<https://www.hidrologia.hu/19-ivovizbiztonsagi-konferencia/>

A korábbi konferencia, illetve szakmai napok anyagai a Magyar Hidrológiai Társaság oldalán, a következő linkeken érhetőek el:

<https://www.hidrologia.hu/18-ivovizbiztonsagi-konferencia/>

http://regi.hidrologia.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=807&Itemid=263

SZERZŐK



ra, jelenleg elnöke.

BORSÁNYI MÁTYÁS a Budapesti Műszaki Egyetemen biokémia és élelmiszertechnológia szakon végzett és szerzett műszaki doktori címet is. Az 1970-es évektől az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálatnál (korábban Országos Közegészségügyi Intézet) különböző pozíciókat töltött be. Kutatóként és tanácsadóként dolgozott a vízminőség-szabályozás, a biotechnológiai ivóvízkezelés és vízfertőtlenítés fejlesztése területén. Nemzetközi (ISO, CEN) és magyarországi (MSZ) vízvizsgálati szabványokat, EU ivóvízminőségi előírásokat kidolgozó (ENDWARE) munkacsoportok tagja volt. Az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Vízbiztonsági Osztályának megalapítója és vezetője volt. Ugyancsak az 1970-es évektől a Magyar Hidrológiai Társaság Vízminőségi (korábban Vízkémiai) és Víztechnológiai Szakosztály tagja, titkára,



LAKY DÓRA PhD okl. építőmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán dolgozik, a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék egyetemi docense. Fő szakterülete az ivóvízellátás, ezen belül az ivóvízminőség és ivóvízbiztonság, a vízkezelés-technológiák (arzen, az ammónium, a vas- és mangántartalom csökkentés) és fertőtlenítés optimalizálása. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Vízminőségi és Víztechnológiai Szakosztály titkára.

Könyvismertetés



Józsa János: Bontsd ki tehetségedet, hogy gondozd mások tehetségének kibontakozását
 Typotex Kiadó, 2025, 392 oldal.

JÓZSA JÁNOS

**BONTSD KI TEHETSÉGEDET,
 HOGY GONDOZD MÁSKOR
 TEHETSÉGÉNEK KIBONTAKOZÁSÁT**



Az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) Vízügyi Tudományos Tanácsa által kezdeményezett „*A jövőépítés a vízgazdálkodásban*” című könyvsorozat legfrissebb kötete 2025 decemberében jelent meg. A sorozat a vízügyi szakma kortárs nagy alakjainak gondolkodását, tudományos eredményeit, pályájuknak a szélesebb szakmai közönség számára is tanulságos tapasztalatait mutatja be. Szígyártó Zoltán, Kozák Miklós, Jolánkai Géza, Ijjas István, Somlyódy László. Bogárdi János, Szöllösi-Nagy András! A szakma fényes nevei! E tudós társaság nyolcadik tagja, a legújabb kötet szerzője, Józsa János.

Józsa János vízepítő mérnök, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kétszer megválasztott rektora, a Vízgazdálkodási és Vízépítési Tanszék Széchenyi-díjas egyetemi tanára, korábbi tanszékvezetője. Az önmagában is impozáns felsorolás egy lezárt életpályához is elegendő volna, ő azonban ma is aktív: oktat a Műegyetemen, a doktori iskola törzstagja, vezeti az MTA Nemzeti Víz-tudományi Program Irányító Testületét, a Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium irányító testületének elnöke, tudományos folyóiratok szerkesztőbizottságainak tagja –

és a sor még hosszan folytatható. Alkotópályájának nagy részét az egyetemen töltötte, de – ahogyan illik – mielőtt kutatói, tudói útra lépett volna, tervezőmérnökként végig járta a „mérnökóvodát”, a céhlegények vándoréveit Algériában és Finnországban teljesítette. Tudósként szűkebb szakterülete a felszíni vizek hidrodinamikája és elkeveredési folyamatai lettek, amelyeket elméleti, terepi mérési és numerikus modellezési vizsgálatok újszerű kombinálásával kutatott. Mindez azonban a gyerekszoba, iskoláinak elitnevelő légköre, a család ölelő támogatása, valamint inspiráló szakmai és emberi kapcsolatok nélkül aligha valósulhatott volna meg. Egyetemi oktatóként mérnökgenerációk szakmai tudását és tudománnyal átitatott szemléletét formálta, ars poeticáját a kötet címe is kifejezi: *Bontsd ki tehetségedet, hogy gondozd mások tehetségének kibontakozását*. Tanulj, hogy taníthass! Ezt a célt szolgálja ez a könyv is: hogy Józsa János szakmai eredményeit, az azokhoz vezető utat, a sikereket vagy olykor a kudarcokat bemutatva a jövő vizes szakemberei számára példa és útmutató legyen (*TYPOTEX fülszöveg*).

A hivatalos bemutatás után ismeretségünk bő 40 éve felbátorít néhány személyes gondolatra is. Mindketten a győri Révai Miklós gimnázium matematika szakáról léptünk tovább a Műegyetemre, majd a VITUKI-ba. A gyermekkori indíttatás után az említett mindhárom intézmény a maga kiemelkedően magas szakmai és emberformáló képességével irányította a fiatalokat egy sikeres életpálya fele, ahogy ezt Józsa János könyve is kitűnően bemutatja. Ez volt az a rajtvonal, ami megalapozta azt a kiemelkedően sikeres mérnöki, tudományos, oktatói és tudományszervezői életutat, melyen a könyv végig vezet bennünket,

Nem tudományos művet vehetünk kézbe, nem csupán száraz szakmai visszaemlékezést, hanem egy humorral megírt beszámolót a családról, Ildi a feleség – kinek rengeteget köszönhetünk – támogatásával, tégláról-téglára felépített életpályáról. Ez a karrier a csanaki szülői háztól a műegyetem rektori székén keresztül vezetett a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagságáig.

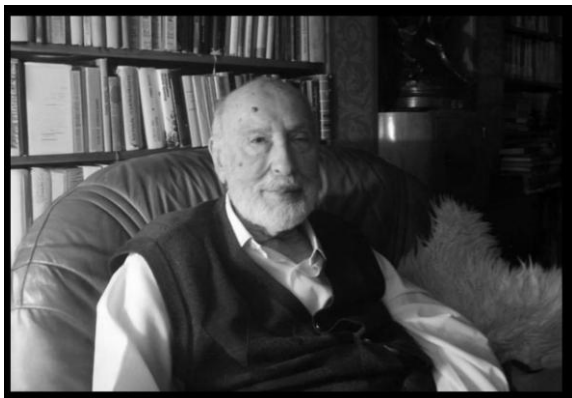
Mi sem fémjelzi jobban a hatékony oktatói munkát, mint azon tanítványok díszes sora, akik talán majd a „*A jövőépítés a vízgazdálkodásban*” című könyvsorozat valamelyik jövőbeli számát írják!

Ez a szellemesen, néha finom iróniával megírt, tipikusan „józsajánosos” könyv a szerző irigylésre méltó tudománymetriai mutatóival zárul.

Köszönjük János ezt a pompás könyvet.

Major Veronika
 a Hidrológia Közlöny Főszerkesztője

Nekrológ



Dániel József Tanár úr érdekes életpályáját az azt meghatározó tapasztalatok és események görcsővén át tekinthetjük végig. Első ifjúkori élményei a Dunántúlhoz kötődtek, mert édesapja postamesteri hivatása csak 1939-ben szólítja a családot a Bácskába. Garán telepedtek le, ahol akkoriban még elsősorban a sváb és bunyevác lakosság volt többségben. A fiatal Dániel József hazánk tájegységei közötti kulturális és gazdasági különbségeket megtapasztalva kezdi meg vegyes évfolyamú, 4 évig tartó elemi iskolai tanulmányait. Ezután 8 osztályt végez a Ciszterci rend által vezetett III. Béla Gimnáziumban. Az iskola igazi szellemi műhelyként működött. Ekkor még inkább a kémia- és az orvostudomány érdekelt, de dr. Váry Béla tanár úrnak köszönhetően figyelme előbb a fizika, később a matematika tudományok felé fordult.

1951-1955 között a Szegedi Tudományegyetemen tanult tovább. Kutató fizikusnak készült, de végül fizika, matematika szakos tanárként végzett.

Friss diplomával a kezében visszatért egykori Alma Materébe és 8 éven keresztül oktatta a bajai III. Béla Gimnázium diákjait. Tanítványai rendre a megyei rangsor élén végeztek. Karakteres, rendkívül szigorú, de következetes tanár volt. Ennek ellenére (vagy ennek köszönhetően) sokan jártak hozzá külön felvételi előkészítőre is (ügynevezett „versenyistálló”-ba), melynek eredményeként később sokan az értelmiségi pályán (orvosként, mérnökként, jogászként) tudtak érvényesülni.

Dániel József széleskörű tudományos érdeklődésének eredménye lett a Szegedi Tudományegyetemen megvédett doktori fokozata is, melyben a tőle megszokott alaposan dolgozta fel az Egyetem Fizikai Intézetének 40 éves történetét.

Miután 1963-ban a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Baján megkezdte a működését, Tanár Úr már az első oktatói gárda sorát erősítette. Nem kis feladat hárult az akkori tanárookra, hiszen a középiskola és az egyetem közötti szintnek megfelelő tudás megszerzéséhez szükséges oktatási anyagokat kellett előállítaniuk. Dániel József is komoly tantárgyfejlesztő munkát végzett: átnézte a BME összes Karának matematika tanítási anyagait, a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem vonatkozó munkáit.

Dániel József

(1933. február 20. – 2025. december 17.)

Elismerően nyilatkozott a korábban használatban lévő jegyzetekről, Szép Jenő vagy Stollmayer Ákos munkáiról. Közel 1700 oldal terjedelmű Tankönyv, Jegyzet és Példatár került ki a kezei közül, melyeket neves professzorok lektorálták. Ezek a munkák – melyek önállóan, részben társszerzésben jelentek meg – csak ezt követően váltak az ekkor már Főiskolává nőtt intézmény tananyagává.

Szaktudása és rátermettsége révén hamar részt vett a felsőoktatási intézmény szakmai közéletében. Az Alaptárgyi Tanszéken fizikát és matematikát oktatott, de ő lett a Tanszék didaktikai felelőse is, sőt a szervezeti egység gazdasági ügyeivel is foglalkozott. Előbb igazgatóhelyettes, majd 1976-tól 3 éven keresztül a BME Vízgazdálkodási Főiskolai Kar igazgatója és az Alaptárgyi Tanszék vezetője lett. A bajai felsőfokú vízügyi képzés elismertségét jelzi, hogy az Országos Vízügyi Hivatal közreműködésével Afrikába is exportálták a bajai oktatási mintát. Pályafutásának is ez lett az egyik legkomolyabb eredménye. 1979-ben ugyanis a bajai képzés tapasztalataira alapozva az ő irányításával, munkatársaival dolgozták ki a líbiai felsőfokú vízügyi képzés tervét.

1990. évi nyugdíjba vonulásáig a Főiskolán töltött 27 évről legendák keringenek, melyeket az egykori tanítványok erősíthetnek vagy cáfolhatnak meg. Egy valamit azonban bizonyosan állíthatunk: Tanár Úrtól aláírást, gyakorlati jegyet, netán görbülő vizsgajegyet szerezni az mai szóhasználatnál élve komoly „brand”-nek számított.

A nyugdíjas éveit sem teltek tétlenkedéssel. Közírói munkássága több mint 1500 oldalnyi írást (különböző könyveket és publikációkat) eredményezett. Bámulatos szellemi frissességét folyamatos tanulással és kutatással tartotta fenn. Számos helytörténeti, művelődéstörténeti írása jelent meg a Bajai Honpolgárban is.

Baja város életében és ettől jóval szélesebb körben betöltött aktív munkásságát több elismeréssel díjazták (a felsőoktatás kiváló dolgozója; a vízügyi szolgálat kiváló dolgozója; a Bajai Honpolgár szerkesztőinek városi elismerése). 2016-ban Baja város díszpolgára lett.

2023 elején tanár úr (90 évesen) még személyesen vett részt a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karán (az egykori Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum jogutód intézményében) tartott 60. megalakulási ünnepségen, ahol magas kitüntetésben részesült.

A 2025. november 4-én a részvételével tervezett Alumni találkozóra is lelkesen készült: racionális gondolkodása, precizitása és egyszerűsége ekkor is töretlen volt. A rendezvényre egy baleset folytán sajnos már nem tudott eljönni. 2025. december 17-én bekövetkezett, megrendítő halálhírére a család értesítette Egyetemünket. Dániel József 92 évet élt.



Keve Gábor és Albert Gábor

A **HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY** elsősorban hidrológiával, vízgazdálkodással és a kapcsolódó szakterületeket érintő tudományos megalapozottságú szakmai közlemények megjelentetésére ad teret. Ezek mellett a **FÓRUM** rovatban lehetőség van szakmai érdekességek, újdonságok közzétételére is. A **TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP** rovatban a régmúlt vízügyi eseményeinek állítunk emléket. Módot adunk továbbá szakkönyvek bemutatására a **KÖNYVISMERTETÉS** rovatban.

A közlésre szánt kéziratot elektronikus formában lehet benyújtani Word (.doc vagy .docx) állományban, maximum 30 oldal terjedelemben a hk@hidrologia.hu e-mail címre. Eredeti műveket, azaz más folyóiratban, kiadványban korábban még nem közölt kéziratokat fogadunk el. Amennyiben a kézirat tartalma már valamilyen formában megjelent hazai vagy külföldi (idegennyelvű) kiadványban, illetve másodközlésnek minősül, azt a kézirat beküldésekor jelezni kell.

A kézirat mellett lehetőség van a témához szorosan kapcsolódó további elektronikus formátumú információk (pl. Excel file, előadás pdf formátuma, videó) csatolására is, melyek a közlemény online változatával együtt jelennek meg.

A kézirat beérkezését követően a Szerkesztőbizottság visszaigazolást küld a szerzőnek és a közleményt szakmai bírálóknak adja ki. A bírálatok alapján a kéziratot a Hidrológiai Közlöny: a) elfogadja megjelentetésre; b) javításokat, kiegészítéseket, módosításokat javasol; c) nem fogadja el közlésre. A közlésre elfogadott kézirat esetében a grafikus elemeket (ábra, kép, táblázat) külön elektronikus állományban is meg kell küldeni a Szerkesztőség részére.

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Kérjük, közleményük készítésekor tanulmányozzák a részletes közlési útmutatót (https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2024/04/Hidrologiai-Kozlony-Kozlesi-Utmutato_MAGYAR_2024.pdf), melyből közzéteszünk néhány előírást:

A szakmai közlemény kötelező részei: cím, szerző(k) teljes neve, a szerző(k) munkahelye és e-mail címe, magyar nyelvű kivonat, magyar kulcsszavak, angol nyelvű cím, angol kivonat (Abstract), angol kulcsszavak (Keywords), törzsszöveg fejezetekre tagolva, irodalomjegyzék, szerző(k) életrajzi adatai és fényképe (portrékép). Az ábra-, kép- és táblázatcímek angol változatát is meg kell adni.

A használt betűtípus: Times New Roman, szimpla sorközzel, sorkizárt rendezéssel. Az oldal A4-es méretű, 2,5 cm-es margóval.

A közleményben más szerzők műveiből átvett szövegrészeknél, ábráknál, fényképeknél, táblázatoknál, internetes forrásoknál, adatbázisoknál feltétlenül hivatkozni kell a felhasznált forrásra. Kérjük, hogy lábjegyzetet ne használjanak.

2024-től már angol nyelvű kéziratokat is fogadunk, melyek külön kötetbe rendezve jelennek meg. Az angol nyelvű kéziratok részletes közlési útmutatójának elérhetősége: https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2024/04/Hidrológiai-Kozlony-Kozlesi-Utmutato_ANGOL_kivonat.pdf

A Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottsága