

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 (Mátyus 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 beszívárgási 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 mikrobák 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 értékét, 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.

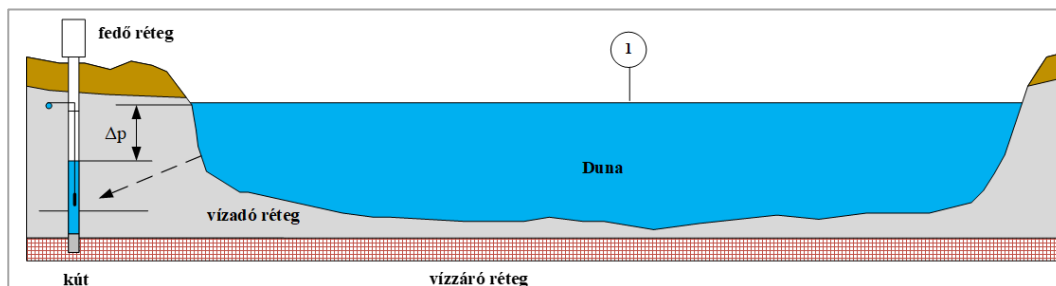
A partiszűrés - mint korábban jeleztük - a víz megtisztulását biológiai eszközökkel éri el. A vízbázisban (Duna vízben) megtalálható szennyeződések molekuláit biológiai módon bontja el, alakítja át. A molekulák elbontásához, átalakításához nincs szükség különösebb kezdeti energia befektetésre, mert enzimkatalízis 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.

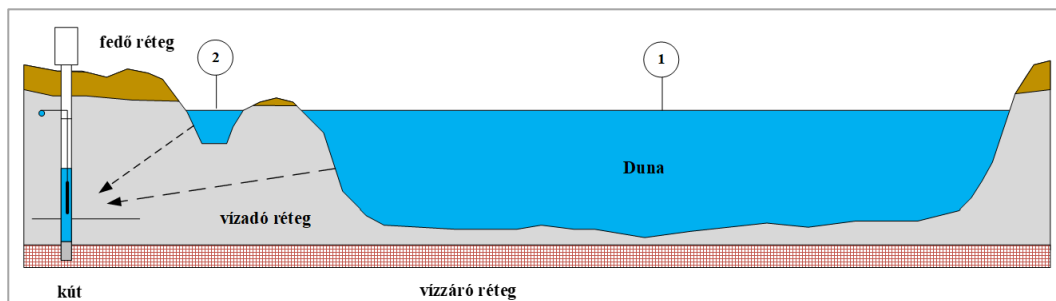
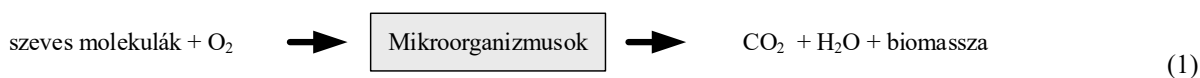
A következőkben partiszűrés alatt a folyó partja mentén létesített kútsort értünk, amelyet üzemeltetünk is, azaz a rétegben kényszerített áramlást hozunk létre. Első körben tekintsünk két egymástól eltérő esetet. Az 1. ábrán az oxikus – „egészségesnek” tekintett – partszakasz esetét látjuk. A part mentén 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.

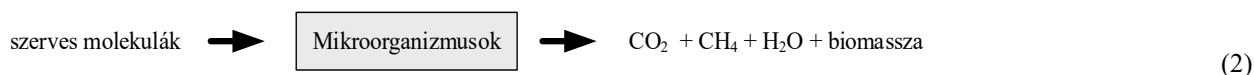


1. ábra. Oxikus partszakasz (saját ábra egy keresztmetszvény felhasználásával)
Figure 1. Oxic coastline (own diagram using a cross section)



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 biofilmben, hanem a biofilmben 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

Az ivóvíz előállításában a nitrifikáció-denitrifikáció 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.

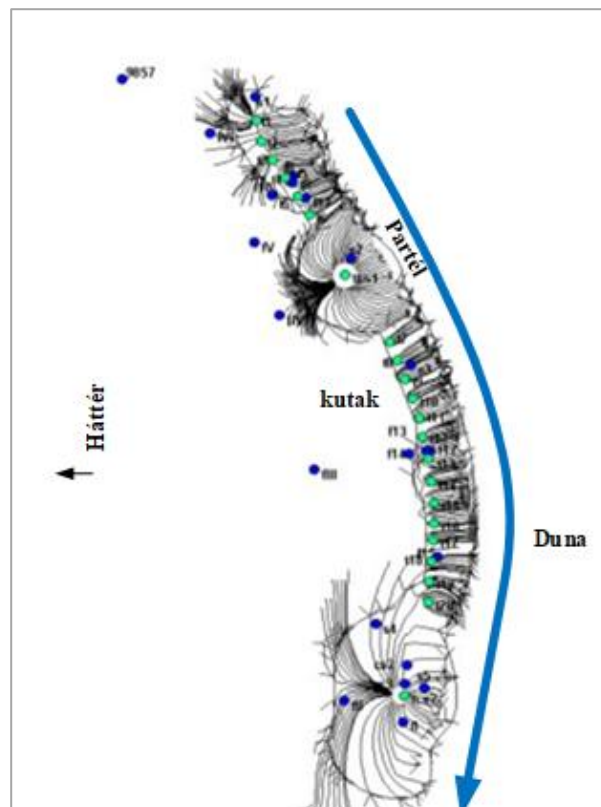
A leányfalusi kútsor hidraulikai viszonyait modellező 3. ábrán mindez szemléletesen érzékelhető. Minden áramvonal a Dunából indul és a kutak megkerülésével a kútba érkezik. A kútba a távoli háttér irányából nem érkezik, nem érkezik víz, mert az áramvonalak leárnyékolják.

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

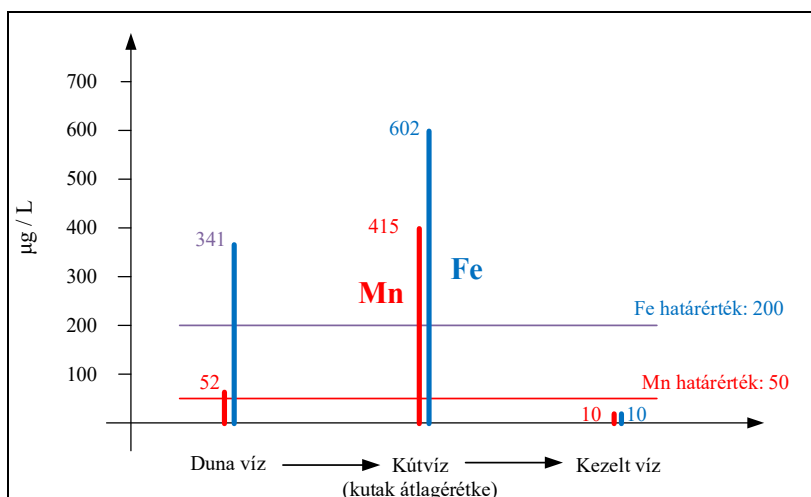
Folyamatok a folyóban

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.

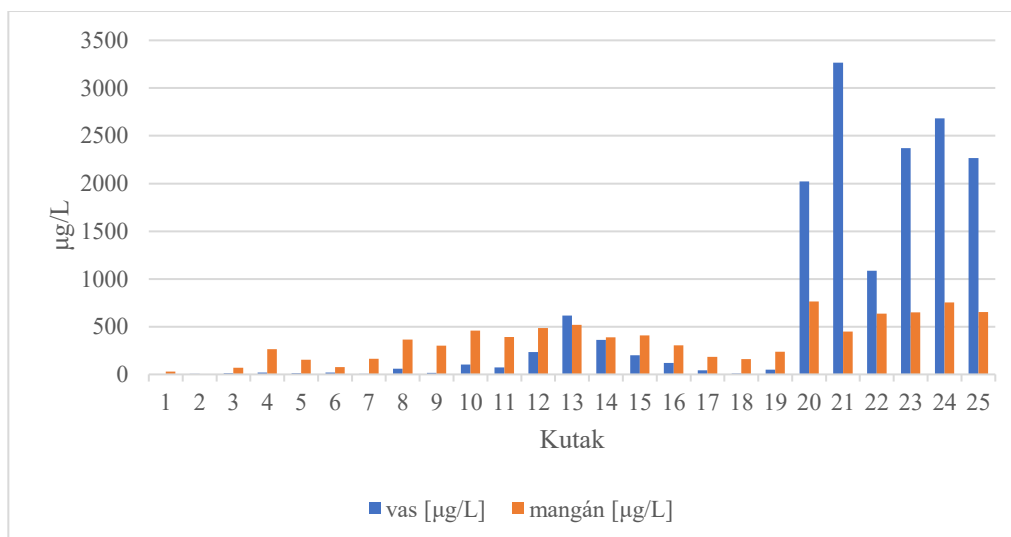
Az oxidációs folyamat eredményeként vas(III)-hidroxid és mangán(IV)-dioxid keletkezik.

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 ⁺

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 kútvizben. 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.

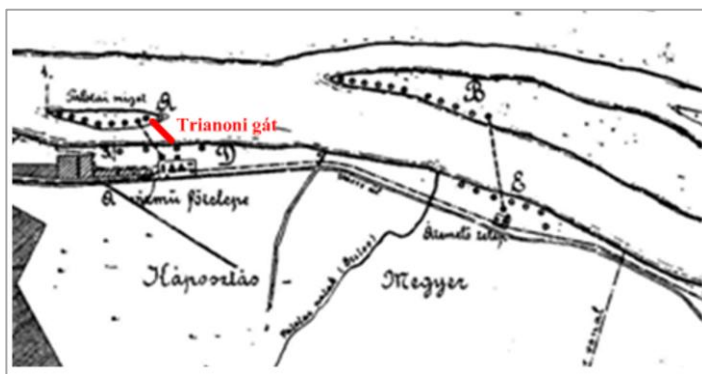
A VAS- ÉS MANGÁNTARTALOM OKOZTA NEHÉZSÉGEK ESETEI

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.

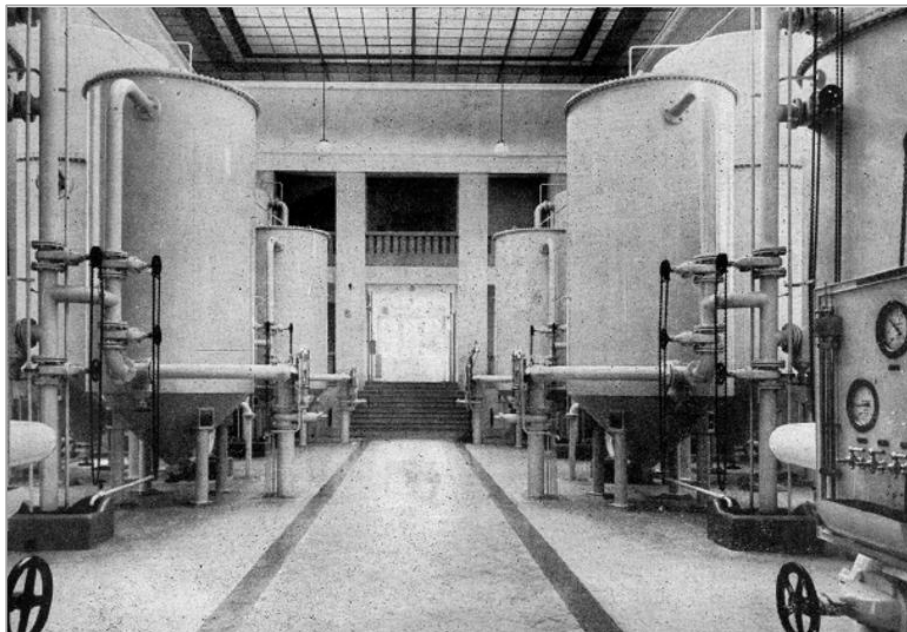
Ha a kutakat nem a szárazulat felé eső oldalra építik, valószínűleg a kutak még ma is üzemben lennének. A gát alatt keletkezett, már átáramlással nem rendelkező holtág végképp megpecsételte a kutak sorsát. A vízből hiányzó oxigén a vas és mangán megjelenéséhez vezetett.



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-

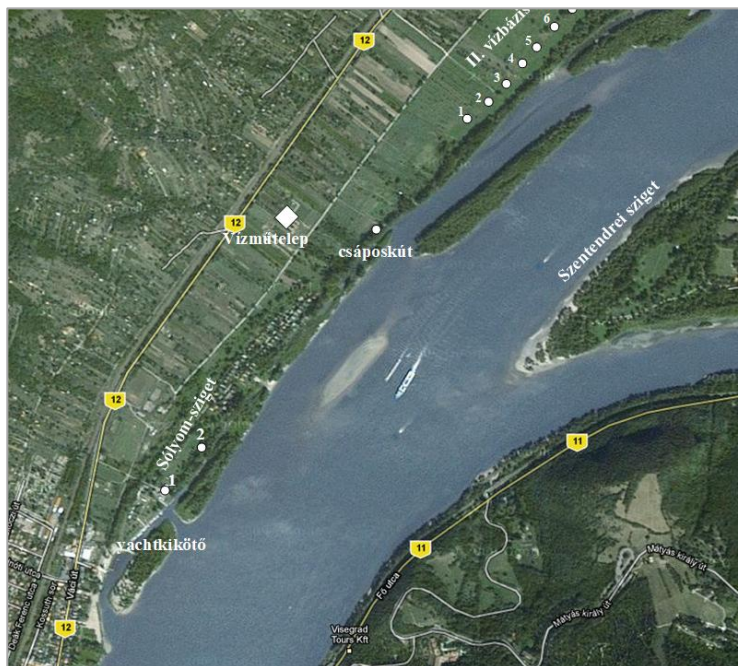
meltetik. A 7 db kútból álló nagymarosi csőkútsorból kitermelt víz kisebb mértékben ugyan, de szintén határérték felett tartalmaz mangánt. Emiatt a víz kezelésére van szükség. A káliumpermanganát oxidálószer adagolással működő Culligan egységet a Vízműtelepen építették ki (TOVA-Partner Kft. 2010).

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 feldúsulásért 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.

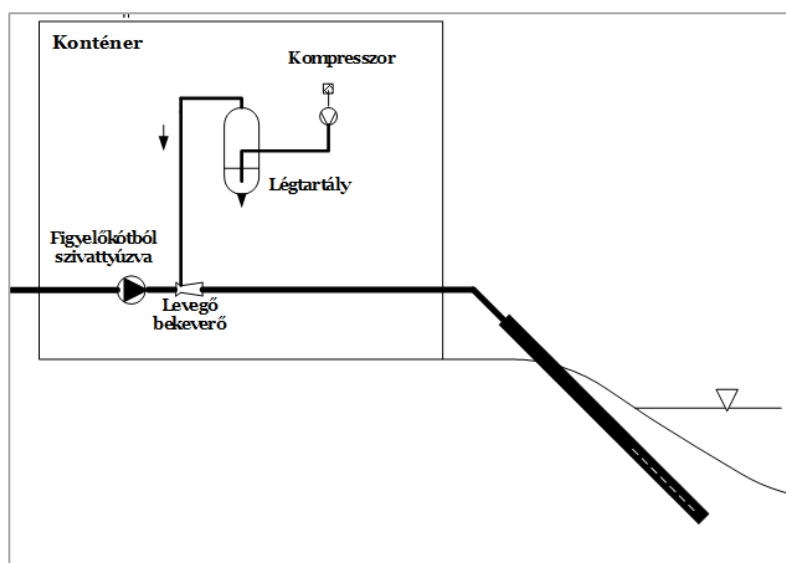
A 8. ábrán a partmenti levegőztetés egy lehetséges megoldási javaslata látható.

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 partiszűrészű 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 partiszűrészű 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 Szigetszentmiklói kutak közvetlenül hálózatra termeltek. 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-expedíció 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 Dunaszakas 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 kútvízben 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 beszívargása és háttéráramlása az Ercsi kútsor sématabla 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 kútvíz 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 Budapest Délpesti szennyvíztisztítómű 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.

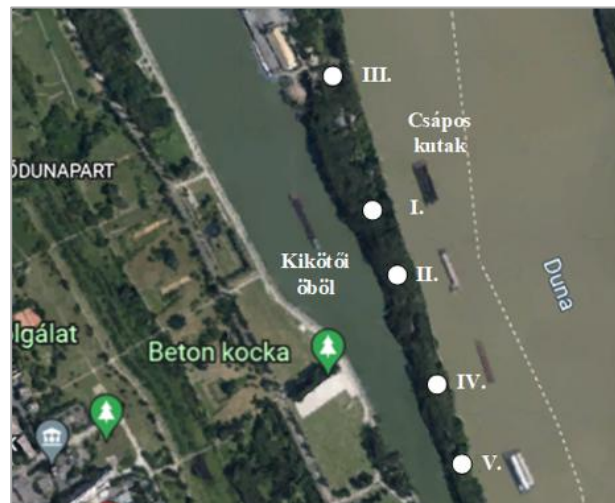


2. fotó. A partvédelmi kőszórás a Gudmon-foki kútsor előtt (Csiszár 2019)

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.

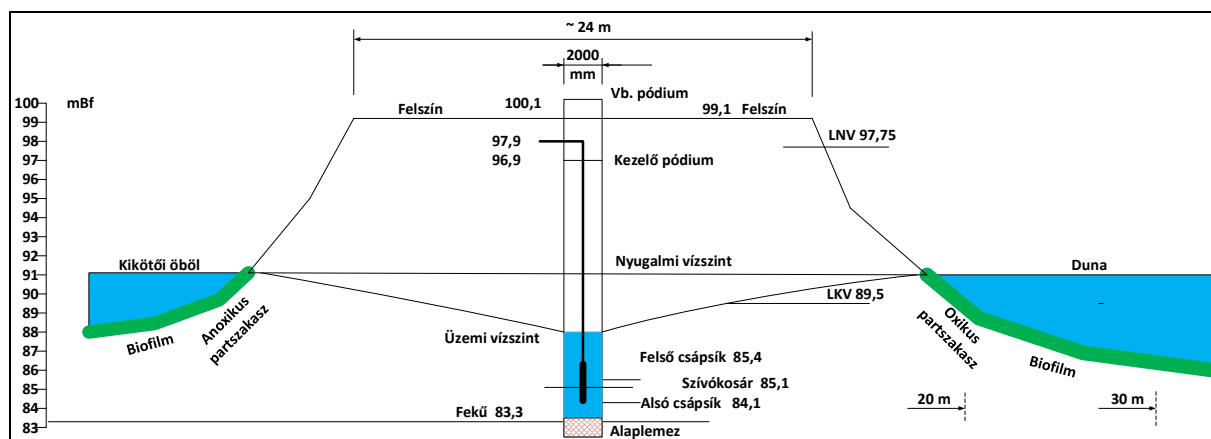


14. ábra. A Szalki-szigeti víztermelő telep kútjainak elrendezése (saját ábra Google térkép felhasználásával)

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 irányítottaságától a 15. ábrán jól megfigyelhető, hogy a víz a kútba mindkét oldal irányából beszivárog. A kút víz vas- 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 Vízüzem 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 körülménnyel, a tapasztalatok birtokában a pótlólagos vízminőségjavítás elkerülhető lett volna (Magyar Építők 2012).

DRV – mohácsi vízbázis

A Mohácsi Víztisztító 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 víztisztítóba (17. ábra). A vízbázist három kútsor alkotja. A Déli I kútsor 13 kút, a Déli II kútsor 5 kút, az Északi kútsor 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 hártya 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.

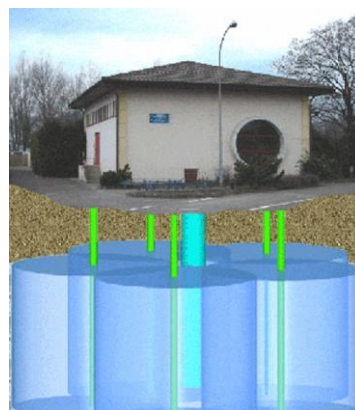
A felszín alatti eljárásokhoz fűződő tapasztalatok is tanulságul szolgálhatnak. A partszakasz meghatározó szerepének figyelembevétele ekkor még nem volt tudatos. Elkerülhetetlen adottságként kezelték ekkor a vas és mangán megjelenését a kútvízben. A negatív hatások elkerülését célozták ezek a kísérletek.

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 vízáadó 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 partiszűrési 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. partiszűrési 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	Ipari 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 partiszűrésre vonatkozóan az alábbi konkrét feladatok vezethetők le:

A kútvas- 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 kútvas tárgyalt elszennyeződésének okai. A köztudatban a csupa kiváló képességekkel felruházott partiszűrés 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 partiszűrés 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 beszívárgási 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 gádzáldokodása. 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 nyolcvanéves 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 kútrendszerek 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 Szekecsárd ivóvízellátását. <https://magyarepitok.hu/evtizedekre-megoldottak-szekszard-ivovizellatasat>

Makk J. (2008). A vas és mangán 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). Vizminőség 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 háttérveze. 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 birtosa. 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. Felsővezetéként felelősséget viselt a főváros vízellátásában.

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



Prof. Bogárdi János előadása

dasági Egyetem (1996), a BME (1997) és a Nyizsnyij 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.