

Kaluzsa Anikó¹ 

A kútvizek minőségi paramétereinek vizsgálata Békés vármegyében

Examination of the Quality Parameters of Well Waters in Békés County

A vízellátás egyik alternatívája a fúrt és ásott kutak vízének használata. A vízkészletek mennyisége és minősége a hidrogeológiai körülményektől függően változik. A felhasználási lehetőségek nagyban függenek a vízminőségtől. A vízadó réteg sajátosságai alapján a vízkezelési módok, valamint a vizek minőségi besorolása kulcsfontosságú a felhasználási cél determinálásához. Elsőként a területi adottságok tulajdonságainak elemzését követően elemeztem a mért értékeket. A kijelölt kutak vízmintáit az Alföldvíz Zrt. Központi Laboratóriumában vizsgáltam, majd a kémiai és bakteriológiai paraméterek alapján kielemeztem Békéscsaba és 30 km-es vonzáskörzetében a kútvizek minőségét, ezenkívül főkomponens-analízist is végeztem. Továbbá a vízminőség alapján értékeltem a fertőtlenítési módok hatékonyságát és a vizek felhasználhatóságát a vízminőség függvényében.

Kulcsszavak: bakteriológia, főkomponens-analízis, kútvíz, vízminőség

An alternative way of water supply is to use water from drilled and dug wells. The quantity and quality of water resources vary depending on hydrogeological conditions. The potential for use depends largely on the quality of the water. Based on the hydrogeological conditions, water treatment methods and water quality classification are key factors in determining the intended use. I analyzed the characteristic properties, taking into account the spatial characteristics, measured the water samples of the selected wells in the laboratory, and then examined the quality of the well water in the 30 km radius of Békéscsaba using principal component analysis. The measurements were carried out in the Central Laboratory of Alföldvíz Zrt. Furthermore, I evaluated the effectiveness of the disinfection methods and their usability on the basis of the water quality.

Keywords: bacteriology, principal component analysis, well water, water quality

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, e-mail: anikokaluzsa@gmail.com

Bevezetés

Az élet legfontosabb alkotóeleme a víz. Az urbanizált területeken megszokott, hogy az emberek számára az ivóvíz bárhol, bármikor elérhető a vezetékes hálózaton keresztül. Azonban a kevésbé fejlett területeken ez még mindig gondot okozhat, hiszen előfordulhat, hogy az adott területen elérhető víz nem egészséges az emberi szervezet számára (minősége kifogásolható). Bár emberi fogyasztásra ez a típusú víz nem javallott, vízgazdálkodási szempontból igencsak jelentős lehet, mivel az olyan vízigényes tevékenységek során, amelyekhez nem szükséges az ivóvíz-tisztaságú víz, a vezetékes vízszolgáltatást ki lehet pótolni, vagy akár helyettesíteni is lehet az ásott, illetve fúrt kutak vizeivel.

Jelen publikációban a dél-alföldi kútvezeket vizsgálom, összefoglalom a vízminőségre vonatkozó jellemző mérési paramétereket, valamint a lehetséges vízkezelési módokat (a teljesség igénye nélkül). Mindezek mellett kielemezem azokat a hatásos tisztítási technológiákat, amelyek bárki számára elérhetőek, és amelyekkel az összcsíraszám csökkenése érhető el, valamint amelyekkel a fertőtlenítési hatások maximalizálható.

Víz-mikrobiológiai problémák napjainkban

A vízvédelem napjainkban felértékelődött, aminek az egyik oka, hogy az édesvízkészletek korlátozottan állnak rendelkezésre, és ez akár fegyveres konfliktusokhoz is vezethet.² Rengeteg tanulmányt lehet találni, amely a vízbázisok védelmével, a vízisztítással, illetve a vízellátás mint kritikus infrastruktúra kérdéskörével foglalkozik.³ Ezek tükrében könnyen belátható, hogy az összes vízszelési, víznyelési lehetőséget figyelembe kell venni, és a vízhasználati kultúrán változtatni szükséges.⁴ Ilyen lehetőség az esővíz gyűjtése, valamint a kútvezek felhasználása is, amely megoldások megfelelőek lehetnek a háztartás körüli vízigényes tevékenységek ellátására. Például a kiváló minőségű ivóvizet WC-öblítésre használni teljes mértékben pazarlásnak tekinthető, amikor a Föld más részein emberek szomjaznak, hiszen nem jutnak ivóvízhez.

A kútvezek minősítése, felhasználhatósága szempontjából rendkívül fontos ismerni, hogy milyenek az adott víztest mikrobiológiai és kémiai paraméterei. A vízminőség és a közegészségügyi kockázatértékelés során olyan indikátorszerkezeteket⁵ szoktak rutinvizsgálatokkal kutatni, amelyek jelenléte jelezhet adott típusú szennyeződést.

Magyarországon alapvetően a 201/2001. (X. 25.) az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló Kormányrendelet⁶ szabályozza a vizsgálandó paramétereket.

² PADÁNYI 2015: 272–284.

³ BEREK 2016: 32–48.

⁴ TAKÁCS–KUTI 2017: 304–317.

⁵ Indikátorszerkezetnek tekintjük azokat a baktériumfajokat, amelyek valamilyen szennyeződésre (jelen esetben főképp fekális szennyeződésre) utalnak. Ez a szennyezettség fokmérője is egyben, és azt jelenti, hogy az adott vízben optimális a körülmény a baktériumok és más élőlények szaporodásához.

⁶ 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.

Az 1. táblázat a hatályban lévő 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet 3. melléklete szerint meghatározott mikrobiológiai mérések listáját tartalmazza.⁷

1. táblázat: Az ivóvízre vonatkozó mikrobiológiai határértékek és szabványok listája

Vizsgálandó mikrobiológiai paraméter	Határérték ivóvízre vonatkoztatva (100 ml)	Vizsgálatra vonatkozó szabvány
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>) és <i>coliform</i> baktérium	0	MSZ EN ISO 9308-1:2001; MSZ EN ISO 9308-2:2001
<i>Enterococcus</i> ok	0	MSZ EN ISO 7899-2:2000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	MSZ EN ISO 16266:2008
Tenyészhető mikroorganizmusok számlálása – telepszám 22°C-on	500	MSZ EN ISO 6222:2000
Tenyészhető mikroorganizmusok számlálása – telepszám 36°C-on	500	MSZ EN ISO 6222:2000
<i>Clostridium perfringens</i> (beleértve a spórákat is)	0	MSZ EN ISO 14189

Forrás: a szerző szerkesztése a 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet adatai alapján

A vízműveknek a terület helyi sajátosságait is figyelembe kell venniük, és a speciális körülményekkel rendelkező területeken a felsoroltakon kívül egyéb vizsgálatokat is a rutinjelzésbe kell iktatni, ha az illetékes népegészségügyi szerv úgy dönt.⁸

A tanulmányhoz kapcsolódó kutatás során az alábbi mikrobiológiai ágensek jelenlétét vizsgáltam a kútvizekben: össztelepszámot 22°C és 37°C-on; a *coliform*okat és az *Escherichia coli*t; a *Pseudomonas aeruginosa*t és az *Enterococcus faecalis*t.

A vízmikrobiológiai kérdések között felvetődhet, hogy ha látszik adott táptalajon a háttér-mikrobióta (például Cetrimid táptalajon egyértelműen nem *Pseudomonas aeruginosa* nőtt ki, vagy a Tergitol 7 táptalajon rengeteg telep látszik, de azok nem sárgították el a sötétzöld színét a táptalajnak, akkor valószínűleg nem *coliform* baktérium nőtt ki), akkor érdemes-e tovább vizsgálni az adott víznyerő helyet. Erre nehéz jó választ adni, hiszen sok időt, energiát és egyéb eszközök felhasználását is biztosítani szükséges. Így a szabványban olyan legjellemzőbb törzseket és fajokat írnak elő vizsgálatra, amelyek indikátorai lehetnek egyéb baktériumtörzsek jelenlétének. Ezenkívül képtelenség lenne a napi rutinmérések során az összes víznyerő helyen az összes mikrobiológiai mérést elvégezni.

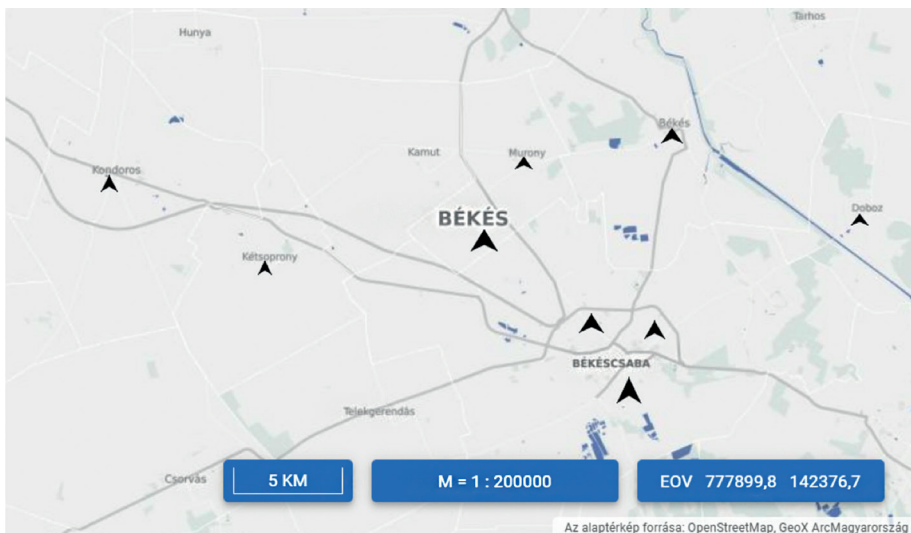
A másik előforduló vízügyi probléma, hogy a legtöbb mérés nem azonnali, a baktériumtelepeknek idő kell ahhoz, hogy kinőjenek a táptalajon, és mire meghatározzák az adott fajt, és megkezdődik a beavatkozás, a víz tisztítás, addig lehetséges, hogy az a szennyezett víz elér a fogyasztóhoz is, és egészségügyileg károsíthatja a fogyasztót.

⁷ A mérés elvégzése óta az 5/2023. (I.12.) Kormányrendelet lépett hatályba.

⁸ WHO 2018.

A mintavételi helyek geológiai jellemzése

A vizsgált kutak a Békési-sík területén helyezkednek el. Ez a terület a Békés–Codrui-öv területén található, 82,6 és 92,1 m közötti tengerszint feletti magasságon. A kistáj alacsony kategóriába esik az ármentesség szempontjából, és egyes helyeken a lefolyás rossz minőségű. Vízrajzát a Körösök átszőtt hálózata is meghatározza. A tájegység talaja infúziós lösz, és emiatt a felső réteget az infúziós lösz üledéke borítja. A talajszerkezet jellemzően vályogszerű mechanikai összetételű, és a talajtípus csernozjom mészlepedékes. Termőtalajnak ez ideális, azonban a vízellátás szempontjából a vízpótlás elengedhetetlen.⁹ Kutatómunkám során a 2. táblázatban ismertetett területekről származó vízmintákat vizsgáltam, amelyeket az 1. ábra geológiailag szemléltet.



1. ábra: Geológiai területi fedettség. A területi mintavételeket a fekete nyilak jelzik

Forrás: az E-közmű Térkép adatbázisa

Békéscsaba és vonzáskörzete a Maros-mederben található. A Gerlai-holtág deltatorokolatot képezve folyik bele a befogadó folyóba. A domborzati térkép alapján megállapítható, hogy a növényzet alatti részen egyfajta csatornarendszer lehetett a régebbi időkben. Ezeket később lehet, hogy beszántották, vagy maga a növényzet nőtte be olyannyira, hogy mára csak a nyomai látszódnak. A területen sokféle körtöltést, gátrendszert építettek ki, mivel a vízvezetés miatt ez szükséges volt, ilyen gátrendszer például a magasított vasút mente is. Békéscsabán belül Jamina városrésze természetes holtága volt a Maros folyónak.¹⁰

⁹ DÖVÉNYI 2010.

¹⁰ DÖVÉNYI 2010.

2. táblázat: A vizsgált kutak területi és mélységi eloszlása

Vizsgálat alá vont kutak statisztikai adatai					
Sorszám	Település	Településrész	Kutak száma (db)	Legkisebb mélység a felszíntől (m)	Legnagyobb mélység a felszíntől (m)
1.	Békés	Jégkert	2	24	45
2.	Békéscsaba	Felsőnyomás	4	8	99
3.	Békéscsaba	Kisrét	1	93	100
4.	Békéscsaba	Lencsési, I. kerület	3	17	50
5.	Békéscsaba	Jamina	2	75	85
6.	Békéscsaba	Sikony	2	7	35
7.	Doboz	Községen belül	2	4	14
8.	Doboz	Szanazug	1	37	42
9.	Kétsoprony	Iskolai tanya sor	1	35	40
10.	Kondoros		2	25	35
11.	Murony		6	4	36

Forrás: a szerző szerkesztése

A legtöbb vízmintavétel Muronyban, illetve a békéscsabai Felsőnyomáson történt. Ennek az oka, hogy Békéscsaba csatornázottsága, valamint vezetékesivóvíz-hálózata szinte az egész várost lefedi, szemben Muronnyal. Ezenkívül Békéscsaba külterületi részén sok helyen található fúrt, illetve ásott kút, amelyből többnyire a nyári időszakban a kertet locsolják (növénytermesztés). Az ásott kutak mélysége többnyire 4–10 méter között, míg a fúrt kutaké 25–50 méter között volt. A kémiai és mikrobiológiai minősítés szempontjából általánosságban elmondható, hogy a víz minősége, minél mélyebb (védelettebb) rétegből származik, annál tisztább.

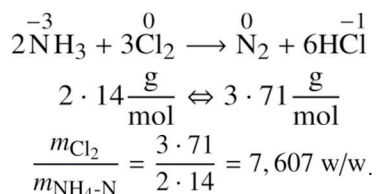
A vízkezelésben alkalmazott lehetséges fertőtlenítőszer

A nátrium-hipokloritos fertőtlenítés az ipari klórozás egyik gyakran alkalmazott fertőtlenítőszer. Adagolása során számításba kell venni, hogy esetlegesen milyen kémiai melléktermékek keletkeznek, mi csapódik ki a vízből, illetve hogy az emberi fogyasztásra szánt víznek ne legyen egészségkárosító hatása. Vagy legalábbis a fertőtlenítőszer által okozott negatív hatás mértékének jelentősen kisebb kockázattal kell járnia, mint a mikrobiológiai kockázatnak.¹¹

Az ammónium-ion-tartalmú vizekben a klórigény kétféleképpen is számolható: vagy töréspontig van klórozva a víz, vagy pedig monoklór-aminos fázisban marad.

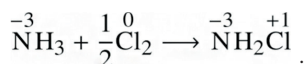
Az első esetben az ammónium-nitrogén tömegkoncentrációjának 7,6-szorosát adagolva a klórból az összes ammónia-nitrogén elemi nitrogénné oxidálódik:

¹¹ TÖRÖK 2011.



Miután az összes ammónium-ion elfogyott, a további hozzáadott klór szabad aktív klórként lesz jelen.

A másik lehetőség az lenne, hogy monoklór-aminos fázisban marad a rendszer. Ehhez az szükséges, hogy csak annyi klórt adagoljunk, amennyi hatására majdnem az összes ammónia-ionból monoklór-amin keletkezik.



Azonban érdemes a monoklór-aminos mérést elhagyni, és helyette a törésponti klórozás elvét alkalmazni. Ennek számításához elővizsgálatra van szükség, milyen mértékű a vas-mangán tartalom, illetve a KOI-érték.

A klóralapú fertőtlenítőszeresek közül a klórgázt ipari, üzemi körülmények között használják, megfelelő végzettséggel rendelkező szakemberek jelenlétében.

A hipót (nátrium-hipoklorit, NaClO) nagyobb és kisebb vízmennyiség esetében is sikeresen lehet alkalmazni. A Neomagnol tableta olyan készítmény, amely gyógyszertárban vény nélkül kapható, klorogén-szeszkvihidrát tartalmú, vízben oldódó fertőtlenítőtábla.

Az egyéb alternatív lehetőségek között még érdemes felsorolni a többi, gyógyszertárban is kapható szert, amely vizek kezelésére lehet alkalmas. Ezek közül a Hiperol tableta és a Katadyn a közismertebb, azonban alkalmazásuk során az ezzel kezelt víz nem lesz ivóvíz-minőségű, mivel az organoleptikus tulajdonságokat figyelembe véve, valamint a vízbe kerülő kémiai komponenseket megvizsgálva a víz emberi fogyasztásra nem lesz alkalmas. Viszont ha a vízben feloldva a kívánt töménységű fertőtlenítőhatást elérte az oldat, akkor az így kezelt víz megfelelő lehet takarításra, tisztításra, tárgyak felületi fertőtlenítésére (például a fogorvosok Katadyn-t alkalmaznak tömény mennyiségben feloldva eszközeik fertőtlenítésére). A jód a halogének csoportjába tartozik, fertőtlenítőhatása közismert. Azonban az alkalmazandó kísérleti szerek közé azért nem került be, mert a víztisztítás során nem az elemijód-, hanem valamelyik jodofórtartalmú tisztítószert lehetne alkalmazni inkább. A kálium-permanganát igen erős oxidatív szer és fertőtlenítőhatása közismert. Azonban az így kapott víz emberi fogyasztásra nem alkalmazható, viszont kiváló tisztító- és fertőtlenítőhatása van, és az ipari víztisztítás során a vízkezelésekben a pehelyképzés során alkalmazzák.¹²

¹² SALAMON 2021.

Vízmintavétel és a minta előkészítése

A vizsgált vízmintákat speciálisan, 110–130°C között hőlég-sterilizálással, illetve autoklávvál előkezelt üvegekbe gyűjtöttem. A lezárt üvegedény belseje így teljesen steril volt, amelyet csak a minta vételének időpontjában nyitottam ki, és megtöltöttem a vízzel, nagyjából az edényzet 4/5-éig. Ezzel biztosítottam a mikrobiológiai környezet számára az aerob környezetet. Ezután a kémiai vízmintákat műanyag flakonokba gyűjtöttem. Előzetesen a tiszta palackot minimum háromszor jól átmostam a vízzel. A mintákat feliratoztam, feljegyeztem a mért hőfokot, és hűtőtáskában szállítottam a laboratóriumi mérés helyszínére. A méréseket minden esetben 18 órán belül megkezdttem.

A mikrobiológiai mérések klasszikus bakteriológiai mérések voltak lemezöntéses és membrán-szűrési módszerekkel. Először élesztőkivonatos agarral leöntöttem a kipipettázott vízmintát, majd fekvő nyolcas mozdulatokkal homogenizáltam. Ezután 3 × 100 ml-es egységekben membránfilteren átszűrtem, és a megfelelő táptalajokra helyeztem a szűrőpapírt. A szűrést követően 37 °C-os termosztátba helyeztem a Tergitol 7, a Chromocult, a Cetrimide, illetve a Slanetz–Bartley-féle táptalajt.

A mintákon elvégzett kémiai méréseket a 3. táblázatban összegzem a mérés során figyelembe vett alsó méréshatárral együtt.

3. táblázat: A kémiai vízminőségi jellemzők alsó méréshatára, valamint az ivóvízre vonatkoztatott határértéke

Vízminőségi jellemző	Alsó méréshatár/ mértékegység	Határérték	Szabvány
Ammónium	0,02 mg/l	0,2 mg/l	MSZ ISO 7150-1:1992
Nitrit	0,01 mg/l	0,1 mg/l	MSZ 1484-13:2009 1., 2., 3., 4. és 6. fejezet
Nitrát	2 mg/l	50 mg/l	EPA METHOD 353.1:1978
Vezetőképesség	10 µS/cm	2500 µS/cm	MSZ EN 27888:1998
pH	-	6,5–8,5	MSZ 1484-22:2009 8. fejezet
Oldott oxigén	%	150%	ISO 17289:2014
Vas	10 µg/l	200 µg/l	MSZ EN ISO 11885:2009
Mangán	5 µg/l	50 µg/l	MSZ EN ISO 11885:2009
Arzén	1 µg/l	10 µg/l	MSZ EN ISO 11885:2009
KOI (permanganátos) O ₂	0,2 mg/l	3,5 mg/l	MSZ 448-20:1990
Összkeménység (CaO)	4 mg/l	min. 50, max. 350 mg/l	MSZ 448-21:1986 1., 2. és 3. fejezet
Foszfát	0,05 mg/l	15 mg/l	MSZ 448-18:2009 8.1. szakasz

Forrás: a szerző szerkesztése

A mérési eredmények kiértékelése

Az első körös mérés során a mikrobiológiai értékeket, a Neomagnol tablettá fertőtlenítési határfokát, valamint a kémiai paramétereket vizsgáltam. A második körös mérés során pedig a forralás és a víztesthez adagolt hipó fertőtlenítési határfokát vizsgáltam meg.

A kémiai értékek összesített értékét a 4. táblázat mutatja. Ezen megfigyelhető az eltérés a határértékhez képest. Különösen, ha figyelembe vesszük azokat az eseteket, amikor ehhez közeli vagy ennél magasabb értéket kaptam. A határértékek meghaladása az ásott és a fúrt kutak esetében egyaránt észrevehető.

4. táblázat: A kémiai értékek összesítése

Vizsgált paraméter	Átlag	Maximum	Minimum
Ammónium [mg/l]	2,96	17,2	0
Nitrit [mg/l]	0,72	23,7	0
Nitrát [mg/l]	29,52	248	0
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1371,28	3000	330
pH	7,56	8,49	6,91
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	20,78	23,1	16,9
Oldott oxigén [%]	53,99	85,6	23,9
Vas [$\mu\text{g}/\text{l}$]	1347,66	10 230	0
Mangán [$\mu\text{g}/\text{l}$]	257,49	1357	0
Arzén [$\mu\text{g}/\text{l}$]	70	234	0
KOI [mg/l]	8,22	22,1	0,77
Összkeménység (CaO) [mg/l]	256,86	969,6	6,06
Foszfát [mg/l]	2,54	7,82	0

Forrás: a szerző szerkesztése

A mikrobiológiai értékeket figyelembe véve mind az ásott, mind a fúrt kutak esetében előfordult, hogy a megengedett határértéknél magasabb értéket azonosítottam. Azonban az ásott kutaknál az összcsíraszám minden esetben magasabb volt, mint a megengedett érték. Ebből arra lehet következtetni, hogy a felszínhez közeli, sekély vízadó réteg nemcsak kémiailag, hanem bakteriológiailag is terhelt.¹³

Az 5. táblázat megmutatja a bakteriológiai átlagértékeket. Ebből kiolvasható, hogy (az összcsíraszámokat nézve is) minél mélyebben van a vízadó réteg, annál tisztább. Valamint minél inkább kontaminálódhat a környezetből egyéb szennyezésekkel is, minél nyitottabb (például állattenyésztést végeznek a környéken, és a kútba bejuthat az ürülékből és vizeletből származó anyag), annál nagyobb a bakteriológiai aktivitása is.

5. táblázat: A kutak bakteriológiai értékei mélységük figyelembevételével

0–4 méter mélységű kút	Átlag	Minimum	Maximum
Összcsíra 37 $^{\circ}\text{C}$	9578	1710	15 000
Összcsíra 22 $^{\circ}\text{C}$	7604	2881	14 133
Coliformszám	430	120	1001
<i>Escherichia coli</i>	208	0	500
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	76	0	300
<i>Enterococcus faecalis</i>	321	171	600

¹³ BUFA-DÓRR et al. 2021.

5–25 méter mélységű kút	Átlag	Minimum	Maximum
Összcóra 37°C	7876	213	22 100
Összcóra 22°C	9100	643	28 310
Coliformszám	158	0	1001
<i>Escherichia coli</i>	92	0	500
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	0	15
<i>Enterococcus faecalis</i>	71	0	342
26–70 méter mélységű kút	Átlag	Minimum	Maximum
Összcóra 37°C	5183	0	20 315
Összcóra 22°C	4912	0	18 000
Coliformszám	24	0	200
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	39	0	300
<i>Enterococcus faecalis</i>	1	0	6
71–100 méter mélységű kút	Átlag	Minimum	Maximum
Összcóra 37°C	149	0	1148
Összcóra 22°C	209	0	860
Coliformszám	0	0	4
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	11	0	100
<i>Enterococcus faecalis</i>	0	0	0

Forrás: a szerző szerkesztése

A táblázatból jól látszik, hogy a felszíni, ásott kutak 4 méteres mélységig még igencsak szennyezettek, az összcsíraszám is határérték feletti a minimumértékeknél is. Vagyis a legalacsonyabb érték is egyértelműen azt jelzi, hogy az ásott kutak abszolút szennyezettek mikrobiológiai és kémiai értelemben, ami az összcsíraszámból, a *coliform* telepképző számaiból, valamint az *Enterococcus faecalis* számából is látszik. 25 méter mélységig a fúrt kutak is még sekélyek, sérülékenyek, és ezáltal a legalacsonyabb összcsíraszám is magasabb, mint a meghatározott 500 TKE-szám¹⁴ alatti érték. A mérések alapján a 26 méteres és annál mélyebbre fúrt kutak értékei már kifejezetten jók, és a 71 méteres vagy annál mélyebb kutak értékei már a vízminőségi határértékeknek is megfelelnek.

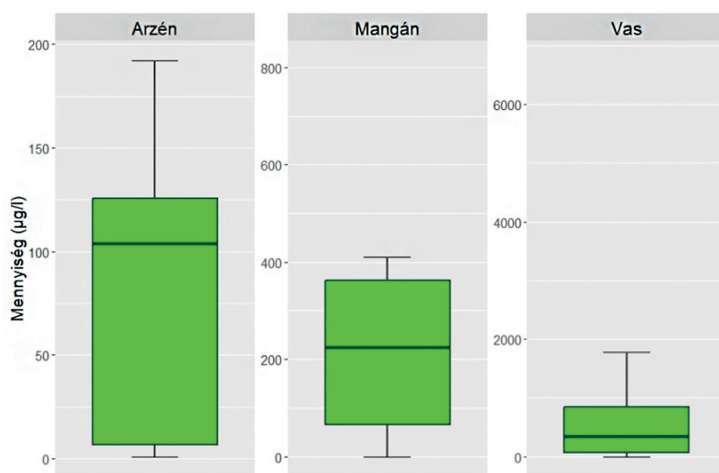
A második körös mérés során már külön-külön értékeltem ki a fúrt és az ásott kutak eredményeit, valamint a fertőtlenítés hatásfokát, mivel logisztikailag az ismételt méréseket teljeskörűen 10 fúrt kútnál és 8 ásott kútnál lehetett elvégezni.

A fúrt kutakból összesen 10 vizsgált kút volt, amelyen a fertőtlenítési kísérletsort komplexen végigvittem. Ezek mindegyikén kétszeresen elvégeztem a mikrobiológiai és kémiai vizsgálatokat. A minőségi elemzés során kiemelt szerepet kapott a főkomponens-analízis (angolul PCA, azaz Principal Component Analysis). Röviden ez olyan statisztikai eljárás, amely többváltozós környezetben adatredukcióval az adatok lényegi tulajdonságait megtartva a dimenziókat

¹⁴ TKE: telepképző egység.

lecsökkenti.¹⁵ A főkomponens-elemzés lényege, hogy a nagy adathalmazból a lehetségesen korreláltatható változókat lineárisan korrelálhatatlan változói értékkészletté alakítsa át. Ezek az átalakított értékkészletek a főkomponensek, amelyek száma kisebb vagy egyenlő az eredeti változók számával. Az első főkomponens rendelkezik a legnagyobb varianciával a többihez képest.¹⁶

A módszert a kémiai paraméterek kiértékelésénél alkalmaztam, amelyek elemzését grafikonokkal és táblázati értékekkel ismertetem. Ilyen grafikon többek között a 2. ábra, amely a fúrt kutakban az arzén, a mangán és a vas mennyiségének arányát szemlélteti.

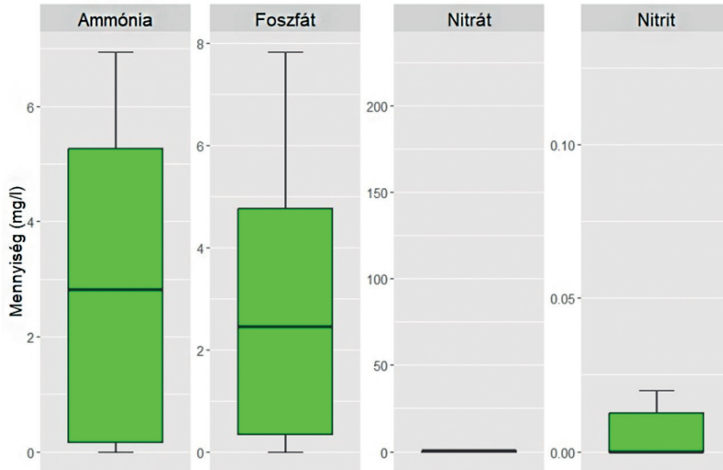


2. ábra: Az arzén, a vas és a mangán mennyiségének ábrázolása doboz- (box plot) módszerrel fúrt kutak esetében
 Forrás: a szerző szerkesztése

A 3. ábrán dobozábra található, amelyen az ammónia, a foszfát, valamint a nitrát és a nitrit összesített eredményeit lehet látni. A foszfát jelenléte mindenképp szennyeződésre utal. Az ammónia talajvíz általi szennyeződést jelezhet, amely származhat például az állattartó telepek trágyájának bemosódásából vagy a mezőgazdasági műtrágyázásból.

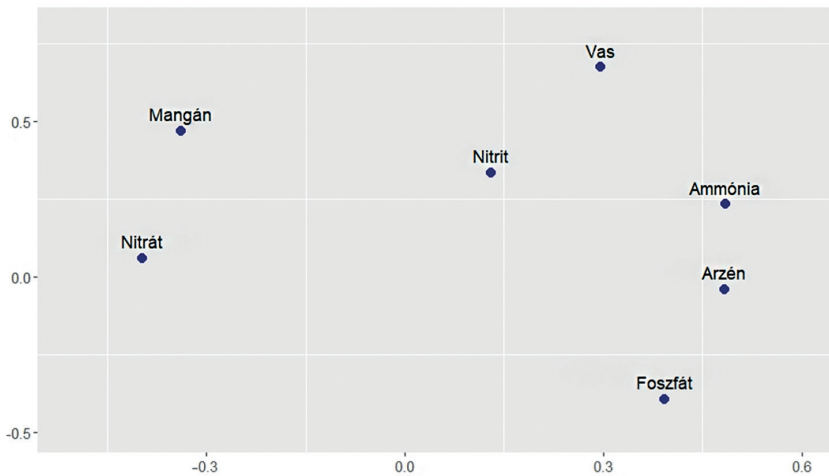
¹⁵ FÜSTÖS 2009.

¹⁶ SAJÓ 2021.



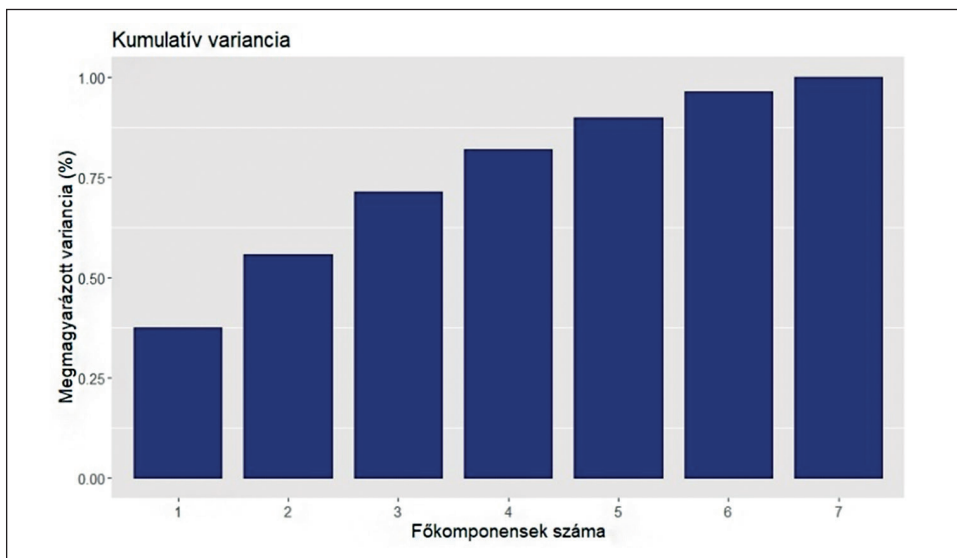
3. ábra: Ammónia-, foszfát-, nitrát- és nitrittartalom a fűrt kutakban
 Forrás: a szerző szerkesztése

A 4. ábrán az első és a második főkomponens együtthatói egymáshoz viszonyított arányaiban vannak ábrázolva. Ezen az ábrán a korrelációk alapján számított súlyozási értékek figyelembevételével az egymásra hatással levő tényezők arányai figyelhetők meg. Például az ammónia, az arzén és a nitrát egymásra gyakorolt hatása a súlyozott értékek alapján jól látszik.



4. ábra: Az első és a második főkomponens együtthatóinak közös ábrázolása pontdiagram segítségével. Az y tengelyen az első főkomponens együtthatói, míg az x tengelyen a második főkomponens együtthatói vannak ábrázolva.
 Forrás: a szerző szerkesztése

A kumulatív variancia az 5. ábrán azt mutatja meg, hogy a főkomponensek száma, valamint a hozzá társított variancia milyen arányban áll egymással. A variancia vagy szórásnégyzet lehetővé teszi a különböző adathalmazok összehasonlítását. Ebben az esetben a főkomponensek számához tartozó variancia százalékos értékét lehet látni.

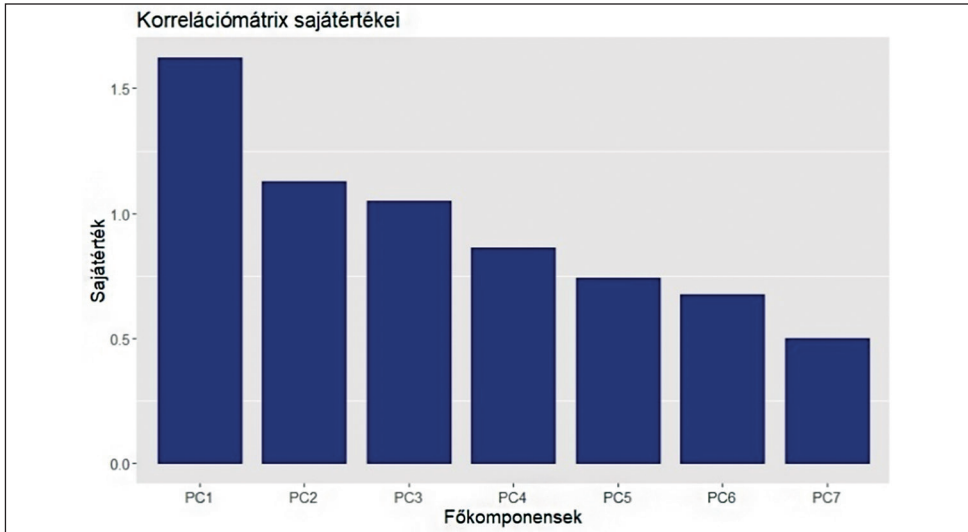


5. ábra: A főkomponensek és a megmagyarázott variancia függvényének százalékosított értéke

Forrás: a szerző szerkesztése

A korrelációmátrix azt mutatja meg, hogy milyen a lineáris kapcsolat a valószínűségi vektorváltozók egymáshoz viszonyított értékeinek függvényében. A 6. ábrán ebben az esetben a sajátértékek és a főkomponensek vannak összehasonlítva. A sajátérték és a főkomponensek számának változásával elérhető adatvesztés nélküli leredukált adattartomány maga a korrelációmátrix.¹⁷

¹⁷ FÜSTÖS 2009.



6. ábra: A főkomponensek és a sajátértékek változóinak összehasonlított aránya fúrt kutak esetében
 Forrás: a szerző szerkesztése

A kémiai paraméterek kiértékelése után a mikrobiológiai megfelelőséget és a fertőtlenítési hatásfokot elemzem. Az ivóvízre vonatkozó határérték szerint a maximálisan megengedhető telepképző egységek száma 500 TKE.¹⁸ Az első mérési sorozat során lefuttatott neomagnolos fertőtlenítés nagymértékben visszaszorította mind a telepképző egységek számát, mind a jelen lévő egyéb indikátorbaktériumok telepképzését. A tíz fúrt kútnál két olyan eset volt, ahol a neomagnolos fertőtlenítőszerrel való kezelés során is a TKE-szám nagyobb volt, mint 500. Azonban ezen esetekben a kiindulóállapotokat figyelembe véve a fertőtlenítőeljárás során tizedére vagy még radikálisabban lecsökkent ez az érték.

A magas *Pseudomonas aeruginosa*-szennyezettséget nagymértékben csökkentette a fertőtlenítőszer, azonban veszélyességi fokát figyelembe véve határértéke 0 TKE. Bár csökkent a telepképző egységek száma, nem zéró szintig. A vizek felhasználhatósága miatt ezt nagyon fontos figyelembe venni, mivel így emberi fogyasztásra még a fertőtlenítés után sem alkalmas tizből négy fúrt kútnak a vize. Azonban további fertőtlenítési módszerekkel ezek az értékek javíthatóak. Ilyen például a fordított ozmózis eljárása, amely a nyomásviszonyokon és a koncentrációértékeken alapul.¹⁹ A megváltozott nyomási értékek a baktériumok életterét is jelentősen módosítják. Ezáltal a vízakaktivitás értéke megváltozik a sejten belül, ami rövid időn belül a prokarióta sejt halálához vezet.²⁰

¹⁸ Országos Közegészségügyi Központ 2016.

¹⁹ KÁLLAY 2013.

²⁰ PECHÓ 2001.

A klóros fertőtlenítés során kétféle adagolási metódus volt: az egyik eljárás során a szterd adagolt klórmennyiség 50 mg/l volt. A második esetben az első mérési sorozat során mért kémiai értékek alapján számított törésponti klórozás során ökölszabályként értelmezett klórmennyiséget adagoltam a vízmintához. A behatási idő eltelte után újra elvégeztem a bakteriológiai méréseket.²¹

Az egységnyi klór adagolása során a vízben a baktériumok életképessége megmaradt, azonban drasztikusan csökkent a telepképző egységek száma. 10-ből 4 olyan eset volt, ahol a megfelelőségi szint fölött volt a telepképző egységek száma, azonban azt itt is, a neomag-nolos kezeléshez hasonlóan, leredukálta a klór 10% alatti értékre a kiindulási értékhez képest. A célzott klóros kezelés, azaz a klórigény számításának megfelelő adagolás már sokkal hatásosabb eredményt mutatott. Ezen kezelés során is két esetben előfordult, hogy a határértéket meghaladta a táptalajon kinőtt telepképző egységek száma. Azonban már jóval alacsonyabb volt, mint a kezdeti kiindulási érték.

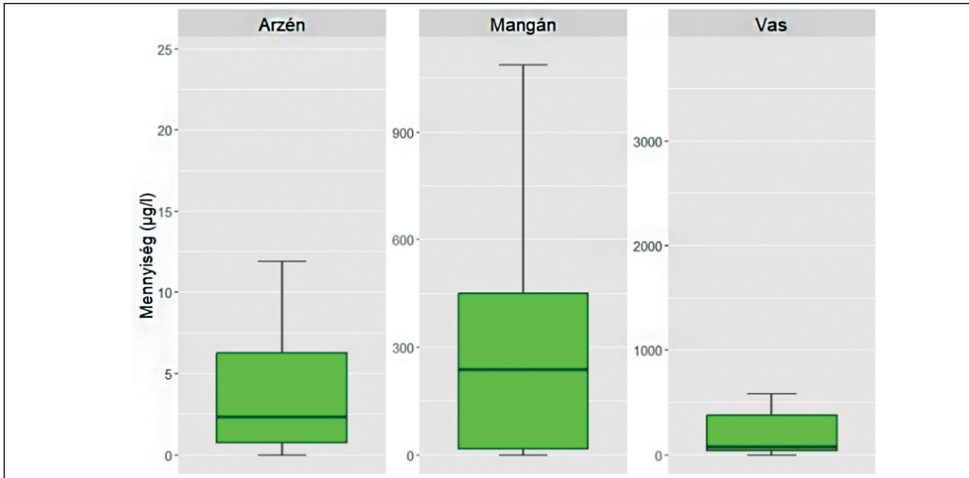
A forralásnál két különböző mérési metódust alkalmaztam. Az egyik esetben a víz forrása-nak pillanatában abba hagytam a forralást. A másik esetben pedig a forrás kezdetétől számítva még 5 percig forraltam a mintát. Ezután visszahűtöttem, és elvégeztem rajta ugyanazokat a méréseket, mint az alpmérés során. A számokat megfigyelve látható, hogy egy eset kivé-telével a kútvezeknél a forralás megfelelő bakteriológiai értékeket produkál. Tehát a hőkezelés megfelelő lehet a víztestek csíramentesítésére.²²

A fúrt kutaknál ismertetett főkomponens-analízist végeztem el az ásott kutak esetében is. Az ásott kutak minőségi paraméterei nagyban eltérnek – negatív irányban – a fúrt kutaké-itól. Ennek magyarázata igen egyszerű lehet, amely szerint az ásott kutak a felszínhez közel helyezkednek el, és a vízkészlet a talajból és a levegőből is folyamatosan kontaminálódhat.

A 7. ábra olyan dobozábra, amely az arzén, a vas és a mangán felső és alsó kvartilis értékeit szemlélteti, valamint a középértéket is. A mangánnál volt kiugró érték is, emiatt a maximum eléggé eltér az átlagértéktől. A vas esetében az alsó kvartilis és a medián majd-nem megegyezik, tehát az ásott kutak többsége Békés vármegyében hasonló mértékben tartalmaz vasat. Érdekes módon az arzén mennyisége az ásott kutakban jóval alacsonyabb. Így megállapítható, hogy a geológiai eredetűnek tartott szennyeződés lényegében az alsóbb talajrétegekben található.

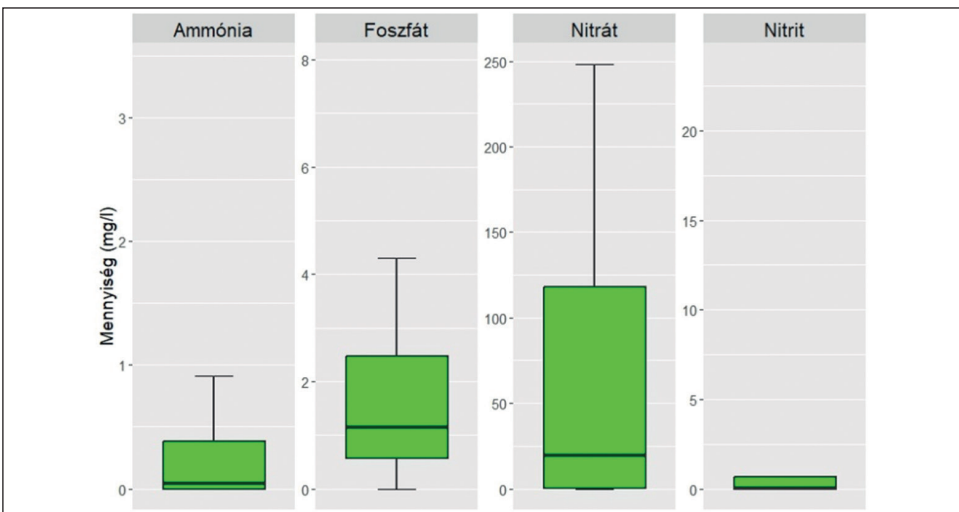
²¹ PECHÓ 2001.

²² PECHÓ 2001.



7. ábra: Az arzén, a vas és a mangán mennyiségének ábrázolása doboz- (box plot) módszerrel ásott kutak esetében
 Forrás: a szerző szerkesztése

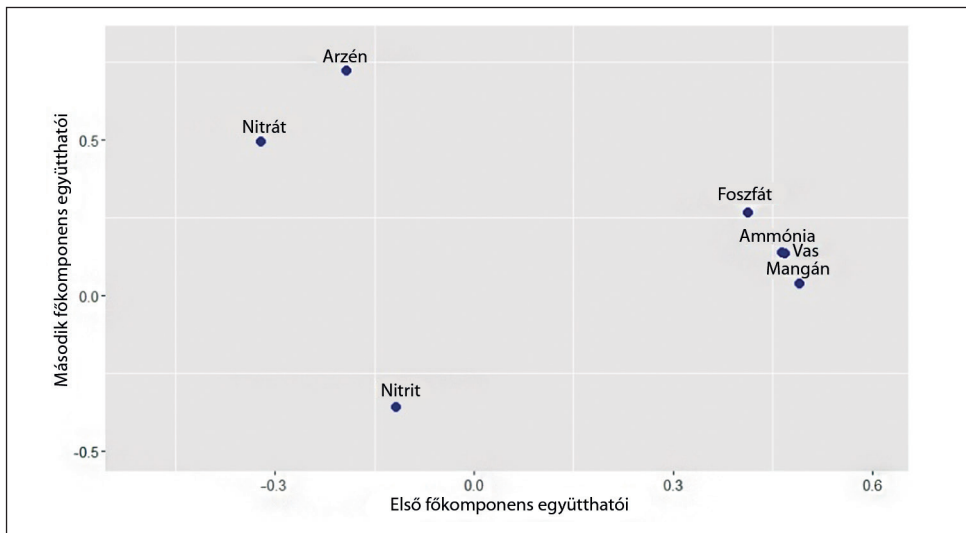
Az ammónia és a nitrit értéke a 8. ábra alapján az ásott kutakban igen alacsony, néhány kiugró értéket leszámítva. Látszik, hogy az alsó kvartilis értéke majdnem megegyezik a medián értékével. Továbbá a nitrát értéke nagyon magas, és ezért kijelenthető, hogy az ásott kutak vizét folyamatos friss szennyezés éri. Valamennyi nitrit is jelen van, és ebből az következik, hogy régebbi szennyeződések maradványa is fellelhető a víztestekben.²³



8. ábra: Ammónia-, foszfát-, nitrát- és nitrittartalom az ásott kutakban
 Forrás: a szerző szerkesztése

²³ Országos Közegészségügyi Központ 2016.

Ahogy a fűrt kutak esetében is bemutattam az első és a második főkomponens együtthatóinak ábrázolását, ugyanúgy ebben a részben is ismertetem azokat. Az első és a második főkomponens együtthatói ezen az ábrán más-más relációban vannak a fűrt kutak kémiai értékeivel. A 9. ábra a főkomponens-analízis együtthatóinak korrelált értékeit tartalmazza. Mivel ezen értékek eltérnek az ásott és a fűrt kutak esetében, kijelenthető, hogy az ásott és a fűrt kutak kémiai értékei nemcsak eltérnek egymástól, de teljesen más korrelációs értéket is adnak. Ebből kifolyólag nemcsak kémiai, de fizikai és bakteriológiai tulajdonságaiban is jelentősen eltér a két víztípus.

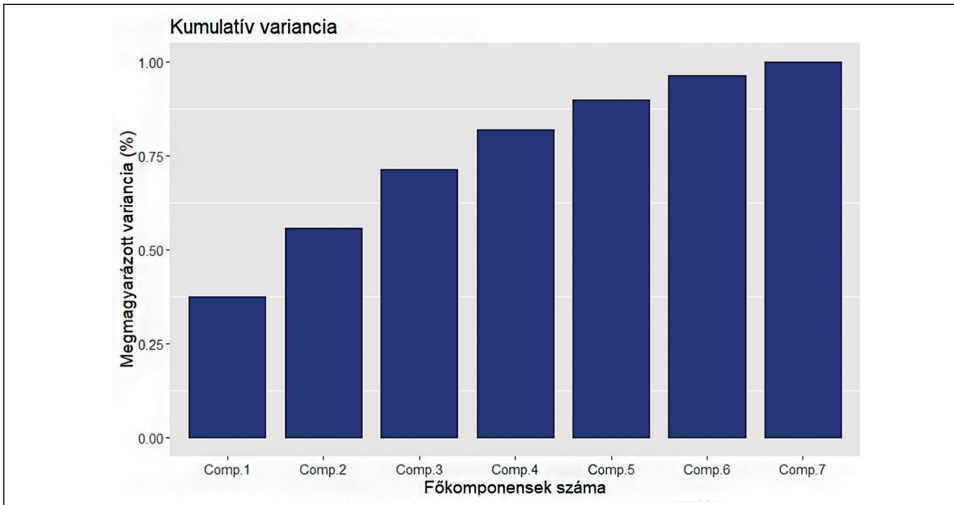


9. ábra: Az első és a második főkomponens együtthatóinak közös ábrázolása pontdiagram segítségével

Forrás: a szerző szerkesztése

A korrelációmátrix az ásott kutak mért eredményeinek függvényében is megmutatja a nagyobb adathalmazból a variancia százalékos értékeivel relációban a főkomponensek számértékeit. A főkomponensek száma ebben az esetben is 8–1, tehát a kumulatív variancia megmutatja a megmagyarázott variancia százalékos értékét.²⁴

²⁴ FÜSTÖS 2009.



10. ábra: A főkomponensek és a megmagyarázott kumulatív variancia függvényének százalékosított értéke az ásott kutak eredményeinek függvényében

Forrás: a szerző szerkesztése

Mivel a kútvezek bakteriológiailag nagyon szennyezettek, emiatt az életképes csírák telepkepzésének csökkentése is igen jelentős eredmény. A nyolc vizsgált ásott kútból 6 esetben az ivóvízre vonatkozó határérték feletti értékeket mértem. Amit érdemes megjegyezni, hogy két kút volt, amelyben a *Pseudomonas aeruginosa* is jelen volt. Ezekben a vizekben a Neomagnol hatásosan fertőtlenített. Viszont az egyik esetben, ahol az *Enterococcus faecalis*szal való szennyezettség mértéke 600 TKE fölötti volt, ez 6-ra lecsökkent. Ez alapján kijelenthető, hogy az életképes telepkepző csírákkal szemben a Neomagnol nagyon hatásos.²⁵

A második mérési sorozat esetében a klóros fertőtlenítést az egységnyi adagolás és a számított klórigény alapján is megvizsgáltam. A cél az volt, hogy az adott víztestben a bakteriológiailag aktív telepkepző csírák inaktiválódjanak. A kiindulási értékek mindegyike meghaladta a határértéket. Az egységesen adagolt fertőtlenítőszer, valamint a törésponti klórozás során szokásos ökölszabályként megállapított klórigény között jelentős különbség figyelhető meg. Ami ezen felül még lényeges, hogy az ásott kutak esetében a klórozás célja nem az, hogy ivóvíz-minőségűvé váljon az adott víztest. Ez nem is valósítható meg, mivel a víztest organoleptikus tulajdonságai továbbra is fogyasztásra alkalmatlanná teszik azt, valamint a kémiai megfelelés sem valósul meg ezzel a kezelési módszerrel, amelyet az ivóvízre vonatkozó kormányrendelet meghatároz.²⁶ A klóros kezelés ebben a mérési sorozatban csak és kizárólag a bakteriológiai csíramentességre (vagyis a nagy fokú szennyezettség miatt inkább a telepkepző egységek számának csökkentésére) irányult.

²⁵ PECHÓ 2001.

²⁶ 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.

Összefoglalás

Kutatómunkám során kútvezek minőségi elemzését végeztem el. A kútvezek típusa, kémiai és mikrobiológiai minősége, a víz típusa, szennyezettségi foka megmutatja a felhasználóknak, hogy milyen célra lehet és szabad felhasználni az adott vízforrást.

A Békés vármegyei térség az Alföld déli területén helyezkedik el, és mind az ásott, mind a fúrt kutak jelentősen részt vesznek a mezőgazdasági öntözésben, valamint a háztáji vízellátásban. A vízminőségtől függ a hasznosíthatóság. A vezek kontaminációja lehet antropogén és geológiai jellegű is. A tájegység legjellemzőbb problémája a magas arzéntartalom, amely geológiai eredetéből adódik. Az ember okozta szennyeződés pedig főképp a szervesanyag-tartalomban mutatkozik meg. Ez bekerülhet a víztestbe nem megfelelően fúrt kutak esetében, de az ásott kutak nyílt jellege miatt az időjárás, valamint a nem megfelelően kialakított védelem is okozhat magasabb szennyezettségi értéket.

A kútvezek tisztítása megvalósítható fizikai módszerekkel (szűrés, forralás), valamint kémiai fertőtlenítőszerrel is (klóros fertőtlenítés). Mindenképpen érdemes időről időre megvizsgálni a kútvíz értékét, mert a víztestben változások állhatnak be, és ezek befolyásolhatják a víz minőségét.

A különböző fertőtlenítőszerrel közül a klóros fertőtlenítés több szempontból is jelentős. Oxidációs foka, a szennyeződések megkötése, bakteriológiai fertőtlenítőképesége olyan mértékű, hogy a víztisztítás során kulcsfontosságú szerepet tölt be. A magántulajdonban lévő kutak használata során is érdemes figyelembe venni, hogy a víztest milyen alapvető bakteriológiai és kémiai paraméterekkel rendelkezik. Ehhez viszonyítva fúrt kút esetében érdemes a klórigény számításával kikalkulálni a sztöchiometriai arányokat, és az alapján klórt adagolni a víztesthez. Ásott kút esetében azonban ezek az elvek már nem érvényesek. Mivel az ásott kút sekélyen, többnyire fedetlenül van, és sokszor álló víz található benne, nagy valószínűséggel igen magas a kontamináltsága is. Ezért az ilyen típusú víztesteket kifejezetten nem ajánlott – akár még kombinált tisztítások után sem – emberi fogyasztásra használni. Ez alól természetesen van kivétel, például a reverz ozmózis technológiája vagy az olyan professzionális víztisztító, amely nagy fokú és folyamatos szűrést tud kialakítani (például szénszűrővel, UV-s technológiával, mechanikai szűrővel ellátott berendezés).

A hőkezeléses eljárás megfelelő lehet a csíramentesítésre. Azonban azt nem szabad elfelejteni, hogy a klasszikus bakteriológiai mérések során csupán az életképes csírák pusztulnak el. Az általuk termelt toxinok, illetve az elhalt baktériumok szűrés vagy egyéb kezelés hiányában ugyanúgy benne maradnak a víztestben, amelyek egészségügyi problémákat okozhatnak.

Felhasznált irodalom

Az E-Közmű Térkép adatbázisa. Online: <https://www.e-epites.hu/e-kozmu>

BEREK Tamás (2016): A vízbiztonsági tervezés szerepe a fenntartható vízgazdálkodásban. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26(2), 32–48.

BUFA-DÖRR Zsuzsanna et al. (2021): *Magyarország ivóvízminősége*. Jelentés. Nemzeti Népegészségügyi Központ. Online: https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/726/lvovizminoseg_2020.pdf

- DÖVÉNYI Zoltán (2010) [1990]: *Magyarország kistájainak katasztere*. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.
- FÜSTÖS László (2009): A sokváltozós adatelemzés módszerei. In FÜSTÖS László – SZALMA Ivett: *Módszertani füzetek*. [H. n.]: MTA Szociológiai Kutatóintézete Társadalomtudományi Elemzések Akadémiai Műhelye.
- KÁLLAY Ernő (2013): *A magyar honvédség vízellátása, különös tekintettel a víztisztításra*. PhD-disszertáció. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola.
- Országos Közegészségügyi Központ (2016): *Ivóvíz kiskaté, lakossági tájékoztató a gyakran ismételt kérdésekről*. Online: <http://oki.antsz.hu/files/dokumentumtar/kiskate-2016-03.pdf>
- PADÁNYI József (2015): Vízkonfliktusok. *Hadtudomány. A Magyar Hadtudományi Társaság folyóirata*, 25, 272–284.
- PECHÓ Zoltán (2001): *Fertőtlenítés és sterilizálás. Semmelweis Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar*. Budapest: Semmelweis.
- SAJÓ Zsolt Attila (2021): *Főkomponens analízis*. Online: <https://sajozsattila.home.blog/2021/08/02/fokomponens-analizis-2/>
- SALAMON Endre (2021): Egyes komponensek eltávolítási mechanizmusai és technológiái. In VADKERTI Edit: *Vízszerezés, víztisztítás. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víztudományi Kar*. Budapest: Ludovika.
- TAKÁCS Krisztina – KUTI Rajmund (2017): Fenntartható vízellátás biztosításának aktuális kérdései. *Védelem Tudomány. A Katasztrófavédelem online szakmai, tudományos folyóirata*, 2(2), 304–317. Online: <https://www.vedelemtudomany.hu/articles/17-takacs-kuti.pdf>
- TÖRÖK Sándor (2011): *Vízellátás és szennyvízkezelés*. Gödöllő: Szent István Egyetem.
- WHO (2018): *A Global Overview of National Regulations and Standards for Drinking-Water Quality*. Online: [A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality \(who.int\)](http://www.who.int)

Jogi forrás

- 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2001-201-20-22>