



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
VÍZI KÖZMŰ ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI TANSZÉK

Ivóvíz biztonságának vizsgálata lakossági fogyasztói helyeken

TDK DOLGOZAT

Készítette:

Szlávik Orsolya Virág

Vegyész- és biomérenőki kar,
biomérenők szak, környezetvédelmi specializáció

Témavezető:

Dr. Licskó István
címzetes egyetemi tanár

Musa Ildikó
mestertanár

Budapest, 2019. október

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. Irodalmi áttekintés	6
2.1. A víz mikrobiális/biológiai háttere	6
2.1.1. Bakteriális patogének	7
2.1.2. Virális kórokozók	17
2.1.3. Protozoa kórokozók.....	22
2.1.4. Helminth kórokozók.....	25
2.1.5. Indikátor organizmusok.....	26
2.2. A fertőtlenítés	31
2.2.1. Közvetlen fertőtlenítés	31
2.2.2. Fenntartó fertőtlenítés.....	32
2.2.3. A fertőtlenítés hatékonysága	32
2.3. Fertőtlenítés a víztisztítási folyamatban	34
2.3.1. Vegyszereket alkalmazó (kémiai) fertőtlenítés	34
2.3.2. Ultraibolya fertőtlenítés.....	44
2.3.3. Ózonozás	45
2.3.4. Egyéb fertőtlenítési eljárások/módszerek.....	46
2.3.5. Fertőtlenítési módszerek összefoglalása/összehasonlítása	46
3. Célkitűzés	48
4. Kísérletek és módszerek	49
4.1. Mérési módszerek, felhasznált anyagok és eszközök.....	49
4.1.1. A mérés menete	50
4.2. Mérési alkalmak és helyszínek, vizsgálati körülmények.....	50
4.2.1. Előzetes vizsgálatok	50
4.2.2. Mérési helyszínek.....	50
4.2.3. Vizsgálatok jellegzetességei.....	52
5. Eredmények és értékelésük	54
5.1. A fogyasztói helyeken megvalósítandó aktív klór méréseket megalapozó laboratóriumi vizsgálatok eredményei	54
5.1.1. Nátrium hipoklorit oldatok vizsgálatának eredményei.....	54
5.1.2. Csapvízminták szabad aktív klór koncentráció változásainak eredményei...	58
5.1.3. Az előzetes vizsgálatokból levont következtetések.....	61

5.2.	A fogyasztói pontokon megvalósított aktív klór vizsgálatok eredményei...	61
5.2.1.	A helyszíni vizsgálatok összefoglaló ismertetése és értékelése	71
5.2.2.	Következtetések a helyszíni vizsgálatok eredményei alapján	76
6.	Összefoglalás.....	78
7.	Irodalomjegyzék.....	80
8.	Ábrajegyzék.....	84
9.	Táblázatjegyzék.....	84

1. Bevezetés

A víz az élet fenntartásához nélkülözhetetlen vegyület, felhasználása fejlődő világunkban egyre szélesebb körű. Jelenléte sok helyen természetesnek számít, míg a Föld számos területén a folyamatos és biztonságos ivóvízellátás nincs megoldva. Bár a víz állandó körforgásban van és a készletek mennyisége lényegesen nem változik, a víz minőségét - és ezzel felhasználhatóságát - rendkívül sok tényező képes befolyásolni. Az ivóvíz szennyezésével kapcsolatos betegségek jelentős terhet jelentenek az emberi egészségre, ezért fokozott figyelmet kell fordítani arra, hogy a természetben különböző vízbázisokban megtalálható víz mindenki számára megfelelő minőségben, valamint elérhető távolságban álljon rendelkezésre. Ehhez a víznek számos kezelési, tisztítási eljárásban kell részesülnie, valamint egy szolgáltató által elosztásra kell kerülnie.

A vízzel kapcsolatos nyilvánvaló egészségügyi problémák nagy többsége mikrobiális (bakteriológiai, vírusos, protozoa) vagy egyéb makroszkopikus szervezetek jelenlétének következménye. Mindazonáltal számottevő súlyos egészségügyi problémák merülhetnek fel az ivóvíz kémiai szennyeződése miatt is.

Dolgozatomban a lakossági felhasználására kerülő, ivóvizet szennyező (mikro) biológiai hátteret, és a fertőtlenítés lehetőségeit ismertetem, valamint az ivóvízellátó rendszerben szolgáltatott víz utófertőtlenítés céljából alkalmazott klórozás során kialakuló aktív klór koncentrációk vizsgálatának eredményeit és értékelését mutatom be.

2. Irodalmi áttekintés

Az ivóvízellátás mikrobiális biztonságának biztosítása a vízgyűjtőtől a fogyasztóig egészségügyi szempontból kiemelkedő jelentőségű. A biztonság elérése és fenntartása többféle beavatkozás alkalmazásán alapul, ami a vízkészletek védelmétől, a kezelési lépések sorozatának megfelelő kiválasztásán és működtetésén keresztül, az elosztórendszerekben haladó víz ellenőrzéséig terjed.

Bár a növekvő urbanizáció következtében egyre inkább elszennyeződő felszíni és felszín alatti vizek állapotváltozásai miatt a víz fertőtlenítésére tett intézkedések nélkülözhetetlen szerepet töltenek be, az előnyben részesített stratégia mégis inkább olyan megközelítésű kellene legyen, amely elsődlegesen a kórokozók vízforrásokba való bejutásának megakadályozására vagy csökkentésére törekszik, nem pedig a kórokozók eltávolítására szolgáló kezelési folyamatokra fekteti a hangsúlyt.

2.1. A víz mikrobiális/biológiai háttere

Az ivóvízhez kapcsolódó legjelentősebb egészségügyi kockázatot a kórokozó **baktériumok**, **vírusok** és **protozoák**, vagy **paraziták** által terjesztett fertőző betegségek jelentik. A vízeredetű járványok 20-55%-a enteritis (a bélrendszer nyálkahártyájának különféle okokból történő megbetegedése), 5-25%-a bakteriális, 3-20%-a parazitológiai, 2-15 %-a vírus eredetű és csupán 0-5%-a kémiai eredetű. (Alkalmazott hidrobiológia (2007))

A fertőző betegségeket terjedéséért elsősorban az emberi és állati exkrétumok, közülük is különösen a széklet a felelős. Éppen ezért, a fekáliával szennyezett víz olyan súlyos járványok forrása lehet, mint a kolera, a vérhas vagy a kriptosporidiózis. A fertőzött víz bármilyen nemű fogyasztása; ivása, étel készítése, mosásra vagy fürdésre történő használata, valamint a víz gőzének vagy az aeroszoljainak belégzése különböző súlyos betegségeket eredményezhet. Bár a kórokozók terjedésének kiemelt fontosságú közege víz, a benne előforduló patogén szervezeteknek - a kizárólag ivóvíz útján terjedő *Dracunculus medinensis* helmintet leszámítva - vannak más fontos terjedési útvonalai is. Ilyen útvonal lehet az emberi kontaktus, a különböző élelmiszerek fogyasztása, vagy akár a fertőzött levegő aeroszoljainak beszívása is.

Míg a legtöbb, emberi vagy állati ürülékkel ivóvízkészletbe került kórokozó az ivóvízben nem, csak a gyomor-bél traktusban képes szaporodni és a fertőzni, addig a környezeti mikroorganizmusok egy része képes a talajban és a vízben is növekedni,

vagy akár a vízzel érintkezésbe kerülő felületeken biofilmként megtapadni és ott szaporodni. Néhány kivételtől eltekintve, (mint például a *Legionella*,) ezeknek a szervezeteknek a többsége egészséges emberekben nem vált ki betegséget, de íz és szaghatások generálásával vagy a víz elszínezésével kellemetlenséget okozhat. Az ivóvízkezelést követő növekedést gyakran „újranövekedésnek” is nevezik. Ezt általában a vízminták növekvő heterotrofikus telepszámának (HPC -heterotrophic plate counts) mérésével jellemzik. A megnövekedett HPC-érték különösen a csővezetékes elosztó rendszerek stagnáló részein, a háztartási vízvezetékben, néhány palackozott vízben és olyan vízvezetékes eszközökben fordul elő, mint például vízlágyítók, aktívszén adszorber és árusító automaták.

Noha a víz a fertőző mikroorganizmusok nagyon jelentős forrása lehet, a vízben terjedő betegségek sokasága más útvonalakon is áttérjedhet, és a körülményektől függően (valamint a vízben terjedő járványok hiányában) ezek az útvonalak fontosabbak lehetnek, mint a vízben történő átvitel. (WHO, 2004)

Az alábbiakban - a teljesség igénye nélkül - felsorolok néhányat, a legjelentősebb ivóvízben előforduló mikroorganizmusok közül.

2.1.1. Bakteriális patogének

A baktériumok egysejtű, többnyire néhány mikrométeres prokarióta szervezetek. Az állatokkal és más eukariótákkal szemben nem rendelkeznek sejtmaggal és más membránnal határolt sejtstruktúrával. Változatos megjelenésűek lehetnek; sejtjeik gömb, pálcika, vagy csavart alakokat vehetnek fel. A baktériumok körbe vesznek bennünket. A Föld minden szegletében megtalálhatók és nagyon sok fontos folyamatban vesznek részt, melyek nélkül az élet elképzelhetetlen lenne.

Egy baktériumot akkor tekintünk patogénnek (kórokozónak), ha az parazita együttműködést alakít ki egy másik élőlényel. A kórokozó baktériumoknak a nagy szerepük van a betegségek, fertőzések kialakításában. Baktériumok állnak számos emberi megbetegedés mögött melyek lehetnek különféle gyulladások, a pattanásoktól a mandulagyulladásig, de ide tartoznak a gyomorrontást, hasmenést okozó fertőzések is, mint például a szalmonella, a campylobacteriosis, a vérhas vagy a kolera. Olyan ismert betegségeknek is bakteriális háttere van, mint a pestis, a skarlát, a tífusz, a lepra, a TBC, a tetanusz (vérmérgezés) valamint számos nemi betegségnek is, mint például a vérhaj (szifilisz) vagy a gonorrhoea (tripper).

Mindegyik kórokozó rá jellemző, sokszor egyedi módon lép kapcsolatba a gazdaszervezettel. A *Staphylococcus* és *Streptococcus* például bőrfertőzést, tüdőgyulladást vagy akár szepszist okozhat.

Az úgynevezett oportunisták kórokozók (mint a *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cenocepacia*, vagy a *Mycobacterium avium*), csak akkor okoznak megbetegedést, ha immunhiányos vagy cisztás fibrózisban szenvedő embereket fertőznek meg. (Wikipedia)

A legtöbb vízzel terjedő kórokozó baktérium a gyomor-bél rendszert fertőzi, és a fertőzött emberek, illetve állatok székletével távozik. Vannak azonban olyan vízben terjedő baktériális kórokozók is, mint például a *Legionella*, a *Burkholderia pseudomallei* és az atipikus *Mycobacterium*-ok, amelyek növekedhetnek vízben és talajban egyaránt. Ezeknek a baktériumoknak a terjedési útjai közé tartozhat a belélegzés vagy az érintkezés (fürdés), így elérhetik a légzőrendszert, a bőr sérüléseit, illetve ezen keresztül akár az agyat.

➤ *Escherichia coli* (kórokozó törzsek)

Az *Escherichia coli* az emberei és állati bélflóra természetes és nagy számban előforduló, fontos tagja. Szerepe van különböző vitaminok előállításában, valamint gátolja egyéb kórokozók elszaporodását a bélrendszerben. A test más részein azonban az súlyos betegségeket, például húgyúti fertőzéseket, bakteriémiát vagy meningitist okozhat. Néhány enteropatogén törzs akut hasmenést, gastroenteritist is kiválthat.

Az enteropatogén *E. coli* számos osztályát azonosították különböző virulencia faktorok alapján. Ide tartoznak:

- az enterohaemorrhagiás *E. coli* (EHEC),
- enterotoxigén *E. coli* (ETEC),
- enteropatogén *E. coli* (EPEC),
- enteroinvazív *E. coli* (EIEC),
- enteroaggregatív *E. coli* (EAEC)
- és diffúz adherens /diffúzan tapadó *E. coli* (DAEC).

Míg az első négy megnevezett osztályról több az információ, az EAEC és DAEC törzsek patogenitásáról és prevalenciájáról kevés adat áll rendelkezésre.

Az EHEC szerotípusai, mint például az *E. coli* O157: H7 és az *E. coli* O111, enyhe nem véres, vagy akár a vérzéses vastagbélgyulladásról

megkülönböztethetetlen erősen véres hasmenést is okozhatnak. Az esetek 2-7% -ánál kialakulhat a potenciálisan halálos hemolítikus urémiás szindróma (HUS), amelyet akut veseelégtelenség és hemolítikus vérszegénység jellemez, és amelynek kialakulási kockázata az 5 évesnél fiatalabb gyermekeknél a legnagyobb.

Az ETEC hőérzékeny vagy hőstabil *E. coli* enterotoxint termelnek, (esetleg mindkettő toxint egyidejűleg,) és a fejlődő országokban különösen a kisgyermekek körében a hasmenés egyik fő okozói.

Az EPEC-fertőzés elsősorban a csecsemőket érinti és súlyos, krónikus, nem véres hasmenés, hányás és láz társul hozzá.

Az EIEC törzsek a Shigella-hoz hasonló kórokozó mechanizmussal megtámadják a vastagbélsejteket, vizes és esetenként véres hasmenést okozva.

Az enteropatogén *E. coli* különösen az EPEC, az ETEC és az EIEC törzsek fő hordozóját az emberek képezik, az EHEC törzsek fő forrása pedig az állatállomány, például a szarvasmarha és a juh, valamint kisebb mértékben a kecske, a sertés és a csirke. Fertőzésük útja elsősorban a személyek közötti kapcsolathoz, az állatokkal való érintkezéshez, az élelmiszerekhez és a szennyezett víz fogyasztásához kapcsolódik. (Nataro JP, Kaper JB (1998))

A kórokozó *E. coli* vízben történő terjedését igazolóan számos dokumentum áll rendelkezésre. 2000. májusában, a kanadai Ontarióban, Walkerton mezőgazdasági közösségében az *E. coli* O157: H7 (és a *Campylobacter jejuni*) által kiváltott vízi járvány 7 halálesethez és több mint 2300 betegséghez vezetett. A betegség kitörését a szarvasmarha ürülék esővíz általi ivóvízbe mosódása okozta. (O'Connor DR (2002))

➤ ***Klebsiella***

A *Klebsiella* fajok az Enterobacteriaceae családjába tartozó Gram-negatív, mozgásra képtelen baktériumok. Legkülső rétegük egy nagy poliszacharid kapszulából áll, amely megkülönbözteti őket a család többi tagjától. A *Klebsiella* nemzetség számos fajból áll, köztük a *K. pneumoniae*, a *K. oxytoca*, a *K. planticola* és a *K. terrigena*.

A *Klebsiella* által terjesztett fertőzések legnagyobb kockázatnak a károsodott immunrendszerrel rendelkezők, az idősek vagy nagyon fiatalok, az égési sérülésekkel vagy súlyos sebekkel szenvedők, az immunszuppresszív

kezelésben részesülő vagy HIV / AIDS-fertőzött betegek vannak kitéve. A kolonizáció invazív fertőzésekhez, ritka esetekben, nevezetesen a *K. pneumoniae* és a *K. oxytoca* esetében, súlyos betegségekhez, például pusztító tüdőgyulladásához vezethet.

A *Klebsiella* fajok számos vízi környezet természetes lakosai, melyek tápanyagban gazdag vizekben nagy számban szaporodhatnak. Ilyenek például a textilfinomító üzemek vagy a különböző növényi- és cukornád-feldolgozó üzemek szennyvizei. A klebsiellák képesek a vízelosztó-rendszerekben is növekedni és a rendszer csaptelepeinek alátéteit is előszeretettel kolonizálják. A *Klebsiella* sok egészséges ember és állat székletével is ürülhet, ezért a szennyvízből és a szennyvíz által szennyezett vízből könnyen kimutathatók.

Az ivóvíz lenyelésével bejuttatott *Klebsiella*-t azonban nem tekintik az emésztőrendszeri betegségek forrásának, mivel az ivóvízben kimutatott *Klebsiella* fajok általában a biofilm részeként vannak jelen, így valószínűtlen, hogy egészségügyi kockázatot jelentenek.

Ezen szervezetek meglehetősen érzékenyek a fertőtlenítőszerekkel szemben, így az elosztási rendszerekbe való belépésük megfelelő kezelés útján megakadályozható. (Ainsworth R, ed. (2004))

➤ ***Legionella***

A *Legionella* nemzetség, amely a Legionellaceae család tagja, legalább 42 fajt tartalmaz. A legionellák Gram- negatív, pálcika alakú, heterotróf, spóraképző baktériumok, amelyek a növekedéshez és primer izolálásához L-ciszteint igényelnek. Sokféle vízkörnyezetben megtalálhatók, 25 ° C feletti vizekben szaporodni is képesek.

Bár az összes *Legionella* fajt potenciálisan patogénnek tekintik az emberekre nézve, a legveszélyesebb vízi úton terjedő kórokozó közülük az *L. pneumophila*. Az *L. pneumophila*. által okozott legionellózis két klinikai formája ismert; a Légzőszetbetegség és a Pontiac láz. Az előbbi egy 3–6 nap inkubációs periódusú tüdőgyulladásos betegség, melynek valószínűségét a befogadó tulajdonságai jelentősen befolyásolják. Általában a 40-70 éves korosztályban fordul elő, és a férfiakat gyakrabban érinti, mint a nőket. A kockázati tényezők magukban foglalják a dohányzást, az alkoholfogyasztást, a rákot, a cukorbetegséget, a krónikus légúti vagy vesebetegségeket és az

immunszuppressziót a transzplantációs betegek esetében. A Pontiac-láz a *Legionella* fertőzés enyhébb esete, melynek tünetei hasonlítanak az akut influenzához; ezek a láz, fejfájás, hányinger, hányás, izomfájdalom és a köhögés. A páciensek általában rövid időn belül, 1-3 nap alatt felépülnek belőle. Az antitestek szeroprevalenciájának vizsgálata azt mutatja, hogy sok fertőzés tünetmentes.

A *Legionella* fajok számos édesvízi környezet (például folyók, patakok és vízgyűjtők,) természetes részei, ahol viszonylag alacsony számban fordulnak elő. Ugyanakkor megtalálhatók bizonyos ember által létrehozott vízkörnyezetekben is. A légkondicionáló rendszerekhez kapcsolódó vízűtő berendezések (hűtőtornyok és párologtató kondenzátorok), melegvíz-elosztó rendszerek és gyógyfürdők megfelelő hőmérsékletet (25–50 ° C) és körülményeket biztosítanak a szaporodásukhoz.

A *Legionella* elterjedtsége miatt lehetőségként kell mérlegelni az ivóvízrendszerbe való bejutást, és ellenőrző intézkedéseket kell alkalmazni a túlélési és szaporodási valószínűségének csökkentésére. A hőmérséklet szabályozása, és a biofilm növekedés korlátozására alkalmazott fertőtlenítési stratégiák - melyekre a *Legionella* igen érzékeny - minimalizálhatják a lehetséges kockázatot. Stabilitása és a biofilmekkel szembeni nagyobb hatékonysága miatt a monokloramin különösen hatékony fertőtlenítőszernek bizonyult. A víz hőmérséklete a szabályozási stratégiák fontos eleme, és ahol csak lehetséges, a 25–50 ° C -os tartományon kívül kell tartani. Forróvízes rendszerekben a tárolók és hasonlóan a csővezetékek egész hosszán a víz hőmérsékletét 55 ° C felett kell tartani, hogy elkerülhető legyen a szervezetek szaporodása. Azonban a forró víz hőmérsékletének 50 ° C feletti fenntartása forrázási kockázatot jelenthet kisgyermek, idős emberek és más kiszolgáltatott csoportok esetében. Ha a meleg vagy hideg víz elosztórendszereiben a hőmérsékletet nem lehet 25–50 ° C-os tartományon kívül tartani, nagyobb figyelmet kell fordítani a fertőtlenítésre és a biofilm növekedésének korlátozására irányuló stratégiákra. Az iszap, a vízkő, a rozsda, vagy az algák felhalmozódása a vízelosztó rendszerekben elősegíti a *Legionella* fajok növekedését, csakúgy, mint a stagnáló víz. A tisztán tartott és áramló rendszerekben kevésbé valószínű a *Legionella* szaporodása és fennmaradása. Vigyázni kell, hogy olyan vízvezeték-anyagok kerüljenek kiválasztására,

amelyek nem segítik elő, esetleg gátolják a mikrobiális fejlődést és a biofilmek növekedését. (Codony F et al. (2002); Emmerson AM (2001); Rusin PA et al (1997); WHO (2007))

➤ ***Pseudomonas aeruginosa***

A *Pseudomonas aeruginosa* egy ostros, aerob, Gram-negatív, pálcika formájú baktérium, amely a Pseudomonadaceae család tagja. Megfelelő táptalajban történő termesztéskor nem-fluoreszkáló kékes pigmentet, piocianint állít elő. (Számos törzs a fluoreszkáló zöld pigmentet, a pioverdint is előállítja.) Más fluoreszcens pszeudomónákhoz hasonlóan, katalázt, oxidázt valamint ammóniumot állít elő (argininből) és képes citráton mint egyedüli szénforráson növekedni.

A *Pseudomonas aeruginosa* közönséges, a környezetben gyakran előforduló organizmus, mely megtalálható a székletben, a talajban, a vízben és a szennyvízben. Vízi környezetben és a vízzel érintkezésbe kerülő megfelelő szerves anyagok felületén könnyedén szaporodik, izolálása különböző nedves környezetekből (például mosdók, vízfürdők, melegvíz-rendszerek, zuhanyzók vagy gyógyfürdők) a leggyakoribb.

A *Pseudomonas aeruginosa* egészséges immunrendszerű emberekben ritkán okoz betegséget, legyengült immunrendszerű egyének azonban gyakran válhatnak a fertőzés áldozataivá. E baktérium elsősorban a betegségben szenvedő emberek légútját, valamint a sérült, könnyen hozzáférhető helyeket kolonizálja, mint például égési- vagy sebészeti sebeket, illetve a fizikailag sérült szemet. Ezekről az érzékeny felületekről, sebhelyekből kerül a szervezetbe, ahol destruktív elváltozásokat (súlyos sebeket), vérmérgezést vagy meningitist (agyhártyagyulladás) okozhat. A cisztás fibrózisban szenvedők és az immunhiányos betegek hajlamosak leginkább a *P. aeruginosa* kolonizációjára, ami esetükben súlyosan progresszív tüdőfertőzésekhez vezethet. A vízzel kapcsolatos folliculitis és fülfertőzések terjedése meleg, nedves környezettel, például uszodákkal és gyógyfürdőkkel vannak kapcsolatban. A *Pseudomonas aeruginosa* elismert oka a kórházban szerzett fertőzéseknek, amelyek potenciálisan súlyos szövődményekkel járhatnak.

Az ivóvíz lenyelése nem fontos fertőzési forrás. A fertőzés fő útja a fogékony szövetek, nevezetesen a sebek és nyálkahártyák szennyezett víznek való

kitettsége; a sebészeti műszerek szennyeződése, valamint a kontaktlencsék szennyezett vízzel történő tisztítása, ami akár keratitist is okozhat.

Noha a *P. aeruginosa* bizonyos körülmények között, (például az egészségügyi intézményekben) szignifikáns lehet, nincs bizonyíték arra, hogy az ivóvízkészletek szokásos használata fertőzés forrása lehetne az általános lakosság körében. Ugyanakkor a *P. aeruginosa* nagyszámú jelenléte az ivóvízben, nevezetesen a palackozott vízben, összekapcsolható az íz, szag és a zavarossággal kapcsolatos panaszokkal. A *Pseudomonas aeruginosa* érzékeny a fertőtlenítésre, és az elosztó rendszerekbe való belépése megfelelő fertőtlenítéssel minimalizálható. (Hardalo C, Edberg SC (1997))

➤ ***Salmonella***

A *Salmonella* fajok az Enterobacteriaceae családba tartozó, Gram-negatív, fakultatívan anaerob, heterotróf baktériumok. Többségük mozgásra képes. A laktózt nem fermentálják, de a legtöbb faj szénhidrát bontása közben hidrogén-szulfidot vagy gázt termel. Eredetileg több mint 2000 fajba (szerotípusba) sorolták szomatikus (O) és ostoros (H) antigénük alapján (Kauffmann-White osztályozás). Manapság úgy ítélik meg, hogy ez a besorolás a fajszint alatt van, és valójában legfeljebb 2-3 faj van (*Salmonella enterica* vagy *Salmonella choleraesuis*, *Salmonella bongori* és *Salmonella typhi*), mivel a szerovarok alfajok. Az összes bélben található szalmonella az *S. typhi* kivételével az *S. enterica* faj tagjai.

A szalmonellafertőzéseknek négy fő, különböző klinikai megnyilvánulása lehet: gastroenteritis (gyomorbél hurut, enyhe vagy erős hasmenés, hányinger és hányás), bakteriémia vagy (pozitív vértípusúaknál magas lázzal járó) vérmérgezés, tífusz / enterális láz (tartós láz hasmenéssel vagy anélkül) és egy hordozó állapot korábban fertőzött személyeknél. A bélbetegség tekintetében a *Salmonella* fajok két meglehetősen különálló csoportra oszthatók: a tífuszos fajokra / szerotípusokra (*Salmonella typhi* és *S. Paratyphi*) és a fennmaradó nem tífuszos fajokra / szerotípusokra. A nemtífuszos gastroenteritis tünetei 6-72 órával a szennyezett étel vagy víz lenyelése után jelentkeznek. A hasmenés 3-5 napig tart, melyet láz és hasi fájdalom kísér. A betegség általában önkorlátozó. A tífusz egy súlyosabb, akár halálos kimenetelű betegség, melynek inkubációs periódusa 1–14 nap között változhat, de általában 3–5 nap. Noha a tífusz ritka

azokon a területeken, ahol jó a közegészségügyi rendszer, még mindig elterjedt másutt, és évente több millió esete fordul elő.

A vízzel terjedő tífuszjárványok pusztító közegészségügyi következményekkel járnak. Széleskörű előfordulásuk ellenére azonban a nem tífuszos *Salmonella* fajok ritkán okoznak ivóvíz járványokat. A terjedésért, amely leggyakrabban az *S. Typhimurium*-mal kapcsolatos, a szennyezett felszín alatti és felszíni vízkészletek fogyasztásával hozták összefüggésbe, de feljegyzések vannak a kommunális esővízellátás madárürülék-szennyezettsége miatt kitörő szalmonella járványról is. A *Salmonella* fajok viszonylag érzékenyek a fertőtlenítésre, így az ivóvíz megfelelő kezelése védelmet nyújt a fertőzés ellen. (Angulo FJ et al. (1997); Koplan JP et al. (1978))

➤ **Shigella**

Shigella fajok Gram-negatív, spórát nem formáló, mozgásra képtelen, pálcika alakú baktériumok, melyek az Enterobacteriaceae családnak tagjai. Fakultatívan anaerobok, képesek oxigén jelenlétében és hiányában is növekedni.

A Shigella nemzetségnek négy faja van: *S. dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* és *S. sonnei* melyek súlyos bélbetegségeket, többek között bakteriális vérhast okozhatnak. Évente több mint 2 millió fertőzés fordul elő - elősorban a fejlődő országokban, 10 éven aluli gyermekeknél - ami mintegy 600 000 halálesetet eredményez. A shigellózis inkubációs periódusa általában 24–72 óra és akár már 10–100 szervezet lenyelése is fertőzéshez vezethet, amely lényegesen kevesebb, mint a legtöbb egyéb bélben található baktérium fertőző adagja. A betegség korai szakaszában hasi görcsök, láz és vizes hasmenés jelentkeznek. A *Shigella* nemzetség mindegyik faja súlyos betegséget okozhat, de az *S. sonnei* által okozott betegség lefolyása általában enyhe és önkorlátozó. Ezzel szemben az *S. dysenteriae* esetében a betegség fekélyképződést és véres hasmenést okoz. Ebben a kimenetelben fontos szerepet játszik a kórokozó által termelt Shiga toxin.

A Shigellák természetes gazdaszervezetei az emberek és más felsőbbrendű főemlősök, melyek bélhámsejtjeiben lokalizálódnak a baktériumok. A shigellózis járványok általában rossz higiéniajú zsúfolt közösségekben fordulnak elő. Számos shigellózis eset társul óvodákhoz, börtönökhöz és

pszichiátriai intézményekhez. A katonai csoportok és a rossz szennyvízkezelési területekre utazók szintén ki vannak téve a fertőzésnek.

A *Shigella* fajok főként szájon át szervezetbe jutó fekális szennyeződés útján terjednek illetve személyes kontaktuson keresztül, szennyezett étellel és vízzel. A legyeket is transzmissziós vektorként azonosították a szennyezett ürülékből.

Számos, vízben terjedő shigellózis járványt regisztráltak. Mivel e szervezetek nem különösen stabilak vízi környezetben, ivóvízben való jelenlétük friss emberi fekáliából származó szennyezettségére utal. A *Shigella* fajok ellenőrzése az ivóvízellátásban, az okozott betegség súlyossága szempontjából különös közegészségügyi jelentőséggel bír. Mivel viszonylag érzékenyek a fertőtlenítésre a víz megfelelő kezelése biztonságot nyújthat ellenük. (Alamanos Y et al. (2000); Pegram GC, Rollins N, Espay Q (1998))

➤ ***Staphylococcus aureus***

A *Staphylococcus aureus* egy fakultatívan anaerob, mozgásra képtelen, spórákat nem képző, kataláz- és koaguláz-pozitív, Gram-pozitív coccus, mely általában szőlőszerű, szabálytalan klaszterekbe rendeződik. A *Staphylococcus* nemzetség legalább 15 különféle fajt tartalmaz. A *S. aureus* mellett az *S. epidermidis* és *S. saprophyticus* fajok is emberi betegségekkel kapcsolatosak.

Noha a *Staphylococcus aureus* az emberi mikroflóra természetes része, megtalálható a bőrön vagy a nyálkahártyán, bizonyos esetekben olyan megnyilvánulásokat eredményezhet, mint például kelések, bőr szepszis, sebfertőzések, enterális fertőzések, vérmérgezés, endokarditis (szívbelhártyagyulladás), osteomyelitis vagy tüdőgyulladás. Ezen kívül a *Staphylococcus* enterotoxin gyomor-bélrendszeri betegségeket (enterokolitist vagy ételmérgezést) okoz, melyet hányás, hasmenés, láz, hasi görcsök, és folyadékvesztés jellemez.

A *Staphylococcus aureus* ember által kerülhet a vízi környezetekbe (például uszodákba, gyógyfürdőkbe és más szabadidős vizekbe), kimutatható a szennyvízben, alkalmanként a gyomor-bél traktusban és akár az ivóvízkészletekben is.

Habár a *S. aureus* előfordulhat az ivóvízkészletekben, nincs bizonyíték arra, hogy az ilyen víz fogyasztása révén terjedne. Noha a staphylococcusok jobban

ellenállnak a klórmaradékoknak, mint az *E. coli*, vízben való jelenlétüket a szokásos kezelési és fertőtlenítési eljárásokkal könnyen lehet szabályozni. (Antai SP (1987); LeChevallier MW, Seidler RJ (1980))

➤ ***Vibrio***

A *Vibrio* fajok kicsi, ívelt (vessző alakú), Gram-negatív, flagellummal rendelkező baktériumok. A fajokat O antigénjeik alapján sorolják be. Számos patogén faj létezik, köztük a *V. cholerae*, a *V. parahaemolyticus* és a *V. vulnificus*, valamint az édesvízi környezet egyetlen szignifikáns patogén faja a *Vibrio cholerae*. Míg számos szerotípus okozhat hasmenést, jelenleg csak az O1 és az O139 okozza a klasszikus kolera tüneteit, amelyben az esetek egy része kimerítő, súlyos, vizes hasmenéssel jár. Az O1 szerotípus tovább lett osztva a „klasszikus” és az „El Tor” biotípusokra. Ez utóbbi olyan tulajdonságokkal jellemezhető, mint például a juh- és kecskevörösvértetek ellen termelt aktív, dializálható, hőre labilis hemolizin előállításának képessége.

Kolera járványok a fejlődő világ számos területén ma is előfordulnak. A tüneteket a hőlabilis kolera enterotoxin okozza, amelyet a *V.cholerae* O1 / O139 toxigén törzsei hordoznak. A fertőzött személyek nagy részénél nem alakul ki betegség; a klasszikus 60 % -a és az El Tor csoport 75% -a tünetmentes. A betegség jellege az enyhétől a súlyosig terjedhet. A kolera az esetek többségében hasmenéssel kezdődik; a széklet bő, majd később vízszerű lesz, fehér pelyhekkkel, mely a betegnél napi 10–15 liter folyadék elvesztését okozhatja. A gyomor savasságának csökkentésére alkalmazott nátrium-hidrogén-karbonát csökkenti a *V. cholerae* O1 fertőző adagját több mint 10^8 -ról körülbelül 10^4 szervezetre. Az esetek halálozási aránya a lehetőségektől és a felkészültségtől függ. A kezeletlen betegeknek akár 60% -a is meghalhat súlyos dehidráció és elektrolitvesztés következtében, de a jól bevált ellenőrzési programok a haláleseteket kevesebb, mint 1% -ra csökkenthetik. A nem toxikus *V. cholerae* törzsek gastroenteritist, sebfertőzéseket és bakteriémiát okozhatnak.

A *V. cholerae* toxigén törzsei nem olyan elterjedtek a vízkörnyezetben, mint a nem toxigén törzsek. A toxigén *V. cholerae* bizonyított forrása az ember; mivel a betegség jelenlétében a szervezet kimutatható a szennyvízből. Noha a *V. cholerae* O1, betegség nélküli területeken is izolálható a vízből, a törzsek

általában nem toxikusak. Toxigén *V. cholerae*-t találtak élő vízi szervezeteknél is, ideértve a puhatestűeket, rákféléket, növényeket, algákat és cianobaktériumokat. Nem toxigén *V. cholerae*-t a tengeri és parti vizektől távol eső területeken izoláltak madaraktól és növényevőkből.

A kolera általában szájon át kerül a szervezetbe és a fertőzést elsősorban a fekális szennyezett víz és élelmiszerek lenyelése okozza. A fertőzés előidézéséhez szükséges nagyszámú mikroba miatt az emberek közötti kontaktus nem számít valószínű terjedési útvonalnak.

A kórokozó *V. cholerae* O1 és O139 szerotípusok jelenléte az ivóvízkészletekben rendkívüli közegészségügyi jelentőséggel bír, valamint súlyos egészségügyi és gazdasági következményekkel járhat az érintett közösségekben. Mivel a *Vibrio cholerae* nagyon érzékeny a fertőtlenítési folyamatokra, a hagyományos eljárásokkal jelenlétük kiküszöbölhető. (Kaper JB, Morris JG, Levine MM (1995); Ogg JE, Ryder RA, Smith HL (1989); Rhodes JB, Schweitzer D, Ogg JE (1985); WHO (2002))

2.1.2. Virális kórokozók

A vírusok nem sejtes szerveződésű szubmikroszkopikus biológiai organizmusok, amelyek önállóan nem, csak gazdaszervezetek sejtjeiben, parazitaként képesek szaporodni, ezért tulajdonképpen még élőlényeknek sem tekinthetők. A sejteken kívül vírusrészecske (virion) formájában léteznek, amelyek a genomból (DNS vagy RNS), egy fehérjeburokból (kapszid) és egyes fajok esetén egy külső lipidburokból (peplon) állnak. Formájuk változatos, lehetnek rúd, fonál, ikozaéder vagy egyéb alakúak. Méretük 20-1500 nanométer között változik, döntő többségüket fénymikroszkóppal nem, csak elektronmikroszkóppal lehet megfigyelni.

A vírushatás számos emberi megbetegedéshez vezethet, melyek között vannak enyhébbek, mint például a nátha, az influenza, a bányahimlő, a herpesz és vannak súlyosabb, akár halálos kimenetelűek is, mint az Ebola, az AIDS, a madárinfluenza, vagy a MERS (Közeli keleti légúti szindróma) (Wikipedia)

A vízben terjedő vírusok általában a gyomor-bél traktust fertőzik és a fertőzött emberek székletével választódnak ki. A hepatitis E kivételével az emberre fertőző fajok egyetlen forrásának magukat az embereket tekintik. Az enterális vírusok általában rövid inkubációs periódusú akut betegségeket okoznak. Más, eltérő hatású vírusok

terjesztésében a víz is szerepet játszhat. A fertőzés útjai, helyei, valamint a kiválasztás szerint a vírusok csoportként különféle fertőzéseket és tüneteket okozhatnak.

➤ ***Kalicivírusok (Miskolc)***

A Caliciviridae család négy, egyszálú RNS-sel és 35–40 nm átmérőjű, burkolatlan kapsziddal rendelkező nemzetségéből áll. Az emberi kalicivírusok (Human caliciviruses - HuCV-k) a *Norovirus* (Norwalk-szerű vírusok) és a *Sapovirus* (Sapporo-szerű vírusok) nemzetségeket tartalmazzák. A *Sapovirus* fajokat, mivel a tipikus kalicivírus morfológiát mutatják, klasszikus kalicivírusoknak nevezzük. A norovírusok általában nem mutatják a tipikus morfológiát, ezeket a múltban kerek szerkezetű vírusoknak nevezték. A család fennmaradó két nemzetsége az embereken kívül állatokat is megfertőz.

Az akut, vírusos gastroenteritisért minden korcsoportban a HuCV a felelős. A tünetek között szerepel a hányinger, a hányás és a hasi görcsök. A fertőzött személyek kb. 40% -ánál a hasmenés; ezen kívül néhányánál láz, hidegrázás, fejfájás és izomfájdalom is jelentkezik.

A HuCV-k kiválasztódnak a fertőzött egyének székletében, ezért jelen vannak a háztartási szennyvízben, valamint a széklettel szennyezett ételekben és vízben, ideértve az ivóvíz bázisok vizét is.

A betegség epidemiológiája azt jelzi, hogy az emberek közötti kontaktus, valamint a szennyezett aeroszolok és porrészecskék, valamint a hányás levegőben lévő részecskéinek belélegzése a leggyakoribb terjedési útvonalak.

Számos HuCV-járvány járványügyi szempontból összefüggésben áll a szennyezett ivóvízellátással. (Berke T et al. (1997); Jiang X et al.(1999); Monroe SS, Ando T, Glass R (2000))

➤ ***Enterovírusok***

Az *Enterovirus* nemzetség a Picornaviridae család tagjai. Ez a nemzetség 69 emberre fertőző szerotípusból (fajból) áll: poliovírus 1–3, koxsackievírus A1 – A24, koxsackievírus B1 – B6, echovírus 1–33 és az EV68 – EV73 számozott enterovírus típusok. A nemzetség tagjait együttesen enterovírusoknak nevezik. A nemzetség más fajtái - például az enterovírusok szarvasmarha-csoportja - az embereken kívül állatokat is megfertőznek. Az enterovírusok a legkisebb ismert vírusok közé tartoznak, melyek egyszálú RNS-genomból, és egy nem burkolt,

20–30 nm átmérőjű ikozaéderez kapszidból állnak. A nemzetség néhány tagját nevezetesen a poliovírust, a coxsackievírus B-t, az echovírust és az enterovírust citopatogén hatásuk révén könnyen izolálják a sejttenyészetekben.

Az enterovírusok az emberi fertőzések egyik leggyakoribb okai, az általuk okozott betegségek spektruma széles, és az enyhe lázas betegségtől a szívizomgyulladás, az agyhártya- és agyvelőgyulladás, a gyermekbénulás, a herpangina (hólyagos torokgyulladás), a kéz-láb-és száj betegségen keresztül az újszülötteknél előforduló többszörös szerv-elégtelenségéig terjed. Becslések szerint évente mintegy 30 millió fertőzést okoznak az Egyesült Államokban.

Az enterovírusok a fertőzött egyének székletével ürülnek és közösségen belül a levegőben, cseppfertőzés útján vagy emberek közötti érintkezéssel terjednek a legáltalánosabban.

A hagyományos sejttenyésztés során kimutatható vírustípusok közül az enterovírusok száma általában a szennyvízben, a vízkészletekben és a kezelt ivóvízkészletekben a legnagyobb, de számos példányuk az élelmiszerből is könnyen kimutathatók. Olyan ivóvízkészletekben is találtak enterovírusokat, amelyek megfeleltek a kezelés, a fertőtlenítés és a hagyományos indikátororganizmusok elfogadott előírásainak.

Prevalenciájuk fényében az ivóvíz valószínűsíthető, bár nem határozott formában képviseli az enterovírusfertőzést.

(Grabow WOK, Taylor MB, de Villiers JC (2001))

➤ **Hepatitis A vírus**

A HAV a *Hepatovirus* nemzetség egyetlen faja a Picornaviridae családban. A vírus alapvető szerkezeti és morfológiai hasonlóságokat mutat a család többi tagjával, az enterovírusoknál leírtak szerint. Az emberi és az emberszabású HAV-ok genotípus szerint megkülönböztethetők.

A HAV nagyon fertőző, fertőző dózisát alacsonynak tekintik. A vírus okozza a hepatitis A, közismert nevén „fertőző hepatitis” betegséget. Mint a csoportba tartozó bél-vírusok vírusok, a HAV lenyelés útján jut a gyomor-bél traktusba, ahol a hámsejteket fertőzi. Innen a vírus belép a véráramba és eljut a májba, ahol súlyos károsodást okozhat a májsejtekben. Az esetek 90%-ában, különösen gyermekeknél, kevésszer fordul elő, - ha egyáltalán előfordul- ilyen májkárosodás, és a fertőzés klinikai tünetek nélkül elmúlik, élethosszig tartó

immunitást váltva ki. A betegség súlyossága általában az életkorral növekszik. A májsejtek károsodása májspecifikus enzimek, például aszpartát-aminotranszferáz felszabadulását eredményezi, amelyek a véráramban kimutathatók és diagnosztikai eszközként használhatók. A károsodás következményeként továbbá a máj nem képes eltávolítani a bilirubint a véráramból, aminek felhalmozódása sárgaságot és a sötét vizeletet okoz. Egy viszonylag hosszú, átlagosan 28–30 napos inkubációs periódus után a betegség jellegzetes, hirtelen kialakulása jelentkezik, olyan tünetekkel, mint például a láz, rossz közérzet, émelygés, anorexia, hasi diszkomfort és a sárgaság. Noha a halálozás általában kevesebb, mint 1%, a májkárosodás kijavítása lassú folyamat, amely akár 6 vagy több hétig tartó magatehetetlenséget okoz a betegeknek. A halálozási arány az 50 évnél idősebbeknél magasabb lehet.

A HAV világszerte előfordul, de a klinikai betegség gyakorisága földrajzi sajátosságokat mutat. Mivel a HAV kiválasztódik a fertőzött emberek ürülékében, a széklettel szennyezett ételek és a víz a vírus gyakori forrásai lehetnek. A nem megfelelő szennyvíztisztítással rendelkező területeken a gyermekek gyakran nagyon korai életkorban fertőződnek meg, és egész életükre immunissá válnak a betegség klinikai tünetei nélkül. A jó szennyvízkezelésű területeken a fertőzés az élet későbbi szakaszában fordul elő.

A HAV terjedése az ivóvízkészleteken keresztül jól megalapozott, és jelenléte az ivóvízben jelentős egészségügyi kockázatot jelent. (Cuthbert JA (2001) ;WHO (2002))

➤ *Hepatitis E vírus*

A HEV egy egyszálú RNS-genomból áll, melyet egy burkolatlan, 27–34 nm átmérőjű ikozaéderes kapszid vesz körbe. A HEV számos vírussal hasonló tulajdonságokat mutat, ezért besorolása nagy kihívást jelent. Egy időszakban a HEV-t a Caliciviridae családba sorolták, de legutóbb egy külön családba helyezték, amelyet hepatitis E-szerű vírusoknak neveznek. Vannak utalások az antigén variációkra, sőt, a vírus szerotípusaiban való esetleges különbségekre is, míg az emberi HAV csak egy, egyértelműen meghatározott szerotípusból áll.

A HEV hepatitiszt okoz, amely sok szempontból hasonlít a HAV által okozott hepatitiszhez. Az inkubációs periódus azonban általában hosszabb (átlagosan 40 nap), és a fertőzések halálozási aránya is magasabb, terhes nőknél akár 25%

lehet. A helyi régiókban az első fertőzések általában fiatal felnőtteknél jelentkeznek, nem pedig kisgyermeknél. Annak ellenére, hogy az antigén variáció bizonyított, egyetlen fertőzés egész életen át tartó immunitást biztosít a HEV ellen. A globális prevalencia jellegzetes földrajzi megoszlással rendelkezik. A HEV endémiás és klinikai betegségeket okoz a világ bizonyos fejlődő részein, például Indiában, Nepálban, Közép-Ázsiában, Mexikóban és Afrika egyes részein. Ezek közül sok területen a vírusos hepatitisz legfőbb oka a HEV. Noha a szeroprevalencia magas lehet, a világ bizonyos részein, például Japánban, Dél-Afrikában, az Egyesült Királyságban, Észak- és Dél-Amerikában, Ausztráliában és Közép-Európában ritkán fordul elő klinikai eset vagy járvány. A vírus jelenlétében a klinikai esetek hiányának oka nem ismert.

Az emberek közötti kontaktus által történő terjedés alacsonyabb szintje arra enged következtetni, hogy a fekáliis szennyezettségű víz sokkal fontosabb szerepet játszhat a HEV terjedésében, mint a HAV-éban. Vízi járványok eseteinek ezrei nyilvántartott. Ide tartozik egy 1954-es kitörés, körülbelül 40 000 esettel Indiában Delhiben; egy, több mint 100 000 esettel 1986–1988-ban a kínai Xinjiang Uighar régióban; egy pedig 1991-ben, körülbelül 79 000 esettel Kanpurban, Indiában.

A szennyezett víz HEV forrásként betöltött szerepe megerősített és a vírus ivóvízben való jelenléte komoly egészségügyi kockázatot jelent. Nincs laboratóriumi információ a vírus fertőtlenítési folyamatokkal szembeni rezisztenciájáról, de a vízben terjedő kitörésekkel kapcsolatos adatok azt sugallják, hogy a HEV ugyanolyan rezisztens lehet, mint más enterális vírusok. (Pina S et al.(1998) ; Van der Poel WHM et al. (2001) ; WHO (2002))

➤ **Rotavírusok és ortoreovírusok**

A *Rotavirus* nemzetség tagjai egy szegmentált, kettős szálú RNS genomból állnak, mely egy nem burkolt 50–65 nm átmérőjű ikozaéderes kapszidban helyezkedik el. Ezt a kapszidot egy kétrétegű héj veszi körül, mely kerék formát és ezzel együtt nevet is ad a vírusnak; rotavírus. A vírus teljes átmérője körülbelül 80 nm. A *Rotavirus* és az *Orthoreovirus* a Reoviridae család két nemzetsége, amelyek tipikusan emberi fertőzéssel kapcsolatosak.

Az emberi rotavírus (HRV) a csecsemőhalálozás egyik legjelentősebb oka a világon. Általában a kórházba került gyermekek akut gastroenteritisének

(gyomorbél hurut) 50–60% -át a HRV okozza. A vírus megfertőzi a vékonybél bélbolyhainak sejtjeit, megzavarva a nátrium és a glükóz szállítását. Az akut fertőzés hirtelen jelentkezik súlyos, vizes hasmenéssel, lázzal, hasi fájdalommal és hányással; melynek következtében dehidráció és metabolikus acidózis alakulhat ki, ami akár halálos kimenetű is lehet. A rotavírus fertőzések súlyossága rendkívül magas. Az *Orthoreovirus* nemzetség tagjai sok embert megfertőzhetnek, ám ezek tipikus „árva vírusok” melyek semmilyen jelentősebb betegséget nem okoznak.

A rotavírusokat a betegek kb. 8 napos periódusban ürítik ki, 10^{11} /gramm-ot a székletben. Ez arra utal, hogy a háztartási szennyvíz és az emberi ürülékkel szennyezett bármely környezet valószínűleg nagyszámú HRV-t tartalmaz. A vírusokat kimutatták a szennyvízben, folyókban, tavakban és a kezelt ivóvízben. Az ortoreovírusok általában jelentős számban fordulnak elő a szennyvízben.

A HRV-k szájon át, fekális szennyezés útján kerülnek a szervezetbe, de a személyek közötti transzmisszió és a levegőben lévő HRV-k, vagy a vírusokat tartalmazó aeroszolok belélegzése sokkal fontosabb szerepet játszanak, mint a szennyezett étel vagy víz fogyasztása.

Bár az ivóvíz fogyasztása nem a leggyakoribb terjedési út, a HRV-k jelenléte az ivóvízben közegészségügyi kockázatot jelent. Bizonyítékok vannak arra, hogy a rotavírusok jobban ellenállnak a fertőtlenítésnek, mint más enterális vírusok, így a vízkezelés nagyobb körültekintést igényel. (Baggi F, Peduzzi R (2000); Gerba CP et al. (1996); Hopkins RS et al. (1984); Sattar SA, Raphael RA, Springthorpe VS (1984))

2.1.3. Protozoa kórokozók

A protozoák (és helminták) heterotróf, állati jellegű egysejtűek. Az emberi és állati fertőzések és betegségek leggyakoribb kiváltói közé tartoznak, és mivel vízzel terjedhetnek közegészségügyi és társadalmi-gazdasági szempontból is nagy jelentőséggel bírnak.

A parazita protozoák egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy speciális reprodukciós körrel rendelkeznek, melyek során rendkívül ellenálló oocisztákat hoznak létre. Ezek olyan fertőző egységek, amelyek képesek az adott mikroorganizmust a gazdaszervezettől a fogadóig továbbítani. Az oociszta vastag falú, hogy megóvja a

belső fertőző anyagot, rezisztens a kémiai hatásokra, és akár több havi nyugvó állapot után is képes „feléledni”.

Az elmúlt 40 évben a protozoa kórokozók által kiváltott betegség legfigyelemreméltóbb példája a kriptosporidiózis, de további példával szolgálhatnak a mikrosporidia, a *Giardia* és *Cyclospora* által okozott betegségek.

➤ *Cryptosporidium*

A *Cryptosporidium* egy komplex életciklussal rendelkező obligát, intracelluláris, kokcidia parazita, mely 4–6 µm átmérőjű vastag falú oocisztáit ürítéssel szórja szét. A *Cryptosporidium* nemzetségben körülbelül nyolc faj található, melyek közül bármelyik okozhat betegséget, de az emberekre nézve a *C. parvum* jelenti a legnagyobb kockázatot.

A *Cryptosporidium* általában hasmenést, néha hányingert, hányást és lázat okoz, amely egészséges embereknél általában egy héten belül elmúlik, egyébként akár egy hónapig vagy még tovább is tarthat. A kriptosporidiózis súlyossága az életkortól és az immunrendszer állapotától függően változik, súlyosan immunhiányos emberek esetében akár életveszélyes is lehet. A kriptosporidiózis járványok hatása viszonylag súlyos az érintett emberek nagy száma és a kapcsolódó társadalmi-gazdasági következmények miatt. Példaként szolgál erre az 1993-ban Milwaukee-ben kitört kriptosporidiózis járvány melynek összköltségét 96, 2 millió USD -ra becsülték.

Habár az állatok nagy hányada is *C. parvum* hordozó, az emberre fertőző szervezetek legfőbb forrásai maguk az emberek, valamint az állatok közül a fiatal egyedek. A szarvasmarha borjak napi 10^{10} oocisztát választhatnak ki. Felszíni vizek esetében literenként 5800 oociszta is lehet a vízben, míg nyers szennyvíz esetében ez a szám elérheti akár a 14 000-et. Mivel az oociszták hetekig-hónapokig élhetnek az édesvízben, (és rekreációs célra fenntartott vizekben is előfordulhatnak,) nem meglepő, hogy a *Cryptosporidium* oocisztáit számos alkalommal kimutatták már az ivóvízkészletekből. Mivel a jelenleg rendelkezésre álló szokásos analitikai technikák közvetett módon mérik az életképességet, kevés az információnk arról, hogy az így kimutatott fajok fertőzőek-e az emberekre nézve.

A *Cryptosporidium* fertőzés fő útja az emberek közötti személyes kapcsolat. A fertőzés egyéb forrásai a szennyezett étel és víz fogyasztása, valamint a

fertőzött haszonállatokkal és esetleg háziállatokkal való közvetlen kapcsolat. A szennyezett ivóvízhez, szabadidős vízhez és kisebb mértékben az ételekhez olyan kitörések társultak, mint például az 1993-as *Cryptosporidium* okozta vízi járvány, amikor több mint 400 000 ember fertőződött meg az Egyesült Államokbeli Milwaukee ivóvízellátásával. A *Cryptosporidium* oociszták fertőzőképessége viszonylag magas, egészséges emberi önkénteseken végzett vizsgálatok szerint, kevesebb, mint 10 oociszta lenyelése is fertőzéshez vezethet.

Az ivóvíz szerepe a *Cryptosporidium* terjesztésében, (ideértve a nagy járványkitöréseket is) jól megalapozott, ezért fontos figyelmet fordítani ezekre az organizmusokra az ivóvízellátásban. Az oociszták rendkívül ellenállóak az oxidáló fertőtlenítőszerrel, például a klórral szemben, azonban az ultrabolya sugárzással szemben már kevésbé, így lehetőség van ennek segítségével az oociszták inaktiválására. Víz viszonylag kicsi méretük miatt az oociszták kihívást jelentenek a szokásos szemszűrő-közeg-alapú szűrési eljárásokkal történő eltávolítás szempontjából, de a membránszűrési eljárások megfelelő alternatívát jelenthetnek a *Cryptosporidium* oociszták hatékony eltávolítására. Az elfogadható eltávolítás jól megtervezett és működtetett rendszereket kíván. (Corso PS et al. (2003); Haas CN et al. (1996); Linden KG, Shin G, Sobsey MD (2001); Okhuysen PC et al. (1999); WHO (2002))

➤ *Giardia intestinalis*

A *Giardia* fajok ostoros protozoák, amelyek az emberek és bizonyos állatok emésztőrendszerében élősködnek. A *Giardia* nemzetség számos fajtól áll, de az emberi fertőzést (giardiasis) általában a *G. intestinalis* okozza, melyet *G. lamblia* vagy *G. duodenalis* néven is ismernek. A *Giardia* életciklusa viszonylag egyszerű. Az ostoros trofozoit szaporodik a gastrointestinalis traktusban, majd ezt követően a fertőző, vastagfalú ciszta szakaszosan, de nagyszámban ürül a széklettel. A trofozoiták kétoldalt szimmetrikusak és ellipszoid alakúak. A ciszták pete alakúak és átmérőjük 8–12 µm.

A *Giardia* emberi parazitaként 200 éve ismert. A ciszták lenyelése után a trofozoiták a gyomor-bél traktus felületéhez kapcsolódnak és akár tünetmentesen is képesek fertőzést okozni mind a gyermekek és felnőttek körében. Az óvodákban a gyermekek 20% -a klinikai tünetek nélkül hordozhatja

a *Giardia*-t, és ürítheti a cisztákat. A giardiasis tünetei a trofozoiták által okozott károsodásokból származhatnak, általában hasmenést és hasi görcsöket tartalmaznak, súlyos esetekben azonban - többnyire kisgyermekek körében - a fertőzés felszívási nehézségeket okozhat a vékonybélben. A giardiasis a legtöbb esetben önkorlátozó, de egyes betegeknél akár krónikus is lehet.

A *Giardia* terjedésének messze a leggyakoribb útja a személyes kontaktus, különösen a gyermekek között. A szennyezett ivóvízhez, szabadidős vízhez és kisebb mértékben az ételekhez számos járvány társult.

A *Giardia* számos állatfajban szaporodhat, beleértve az embereket is, amelyek a cisztákat a környezetbe ürítik. Akár 88 000 ciszta lehet 1 liter nyers szennyvízben és 240 a felszíni vízkészletek 1 literében. Ezek a ciszták akár hónapokig képesek életben maradni az édesvízben ezért jelenlétük a nyers vízforrásokban és az ivóvízellátásban sem ritka.

E kórokozó cisztái sokkal rezisztensebbek az oxidatív fertőtlenítőszerrel, például a klórral szemben, mint a bélbaktériumok, de nem annyira rezisztensek, mint a *Cryptosporidium* oociszták. Az 1 mg / liter szabad klórmaradvány 90%-os inaktiválásához szükséges idő körülbelül 25–30 perc. (LeChevallier MW, Norton WD, Lee RG (1991) ; Ong C et al. (1996) ; Slifko TR, Smith HV, Rose JB (2000) ; Stuart JM et al. (2003) ; WHO (2002))

2.1.4. Helminth kórokozók

A csoport elnevezése görög eredetű; „helminth”, melynek jelentése „féreg”. Minden típusú féregre vonatkozik, mind a szabadon élőre, mind a parazitára. A főbb parazita féregket elsősorban a Nematódák (fonálféreg) és a Platyhelminthek (laposféreg, beleértve a trematódákat (valódi mótelyek)) törzsébe sorolják.

A legtöbb helmint esetében az ivóvíz nem jelentős terjedési útvonal, kivéve a *Dracunculus medinensis* (fonálféreg) és a *Fasciola* spp. (*F. hepatica* és *F. gigantica*) (májmotelyek) eseteit. A dracunculiasis és a fascioliasis egyaránt köztes gazdaszervezeteket igényel az életciklusuk befejezéséhez, de az ivóvízen keresztül különböző mechanizmusokkal terjednek. Bár a *Dracunculus* ivóvíz útján terjed, és súlyos problémákat okozhat, fertőzése Afrika olyan régióira korlátozódik, ahol nincs vezeték ivóvízellátás. Biztonságos kutak kialakításával és az ivóvíz megfelelő kezelésével, e parazita, és az általa okozott betegségek felszámolhatók lehetnek.

Más helmintek vízkontaktuson keresztül (schistosomiasis -vérméltely), vagy a kezeletlen szennyvíz mezőgazdasági felhasználásával terjedhetnek (ascariasis-orsóféreg, trichuriasis -ostorféreg, horgosféregfertőzések és strongyloidiasis), de általában nem terjednek az ivóvízen.

(Cairncross S, Muller R, Zagaria N (2002) ; Hopkins DR, Ruiz-Tiben E (1991)

2.1.5. Indikátor organizmusok

A fekál/széket-indikátor organizmusok gyakori vizsgálata továbbra is a legérzékenyebb és legmeghatározóbb módja a víz higiéniai minőségének értékelésére. A székletjelző baktériumoknak, bizonyos kritériumoknak meg kell felelniük, hogy értelmes eredményeket adjanak. Nagy számban kell jelen lenniük az emberek és a melegvérű állatok székletében, egyszerű módszerekkel könnyen kimutathatók kell legyenek és nem szabad természetes vízben szaporodniuk. Ezenkívül alapvető fontosságú, hogy perzisztenciájuk, és a vízkezelés során történő eltávolításuk mértéke hasonló legyen a vízben terjedő kórokozókéhoz. A fekális szennyezés legfontosabb indikátor organizmusai az *Escherichia coli*, a hőtoleráns és más coliform baktériumok, a fekál streptococcus és a szulfid redukáló clostridia spórái.

Noha az ideális fekális mutatóval kapcsolatban fent ismertetett kritériumokat egyik szervezet sem teljesíti, közülük sokat az *E. coli* és kisebb mértékben a hőtoleráns coliform baktérium teljesíti. A fekál streptococcusok megfelelnek bizonyos kritériumoknak, (bár nem azonos mértékben az *E. coli*-al) és bizonyos körülmények között kiegészítő mutatókként felhasználhatók a fekális szennyezettség vagy a kezelési hatékonyság jelzésére. Mivel az enterovírusok, valamint a *Cryptosporidium*, a *Giardia*, az amőba és más paraziták pihenő stádiumai ismertén jobban ellenállnak a fertőtlenítésnek, mint az *E. coli* és a fekál streptococcusok, az utóbbi organizmusok hiánya nem feltétlenül jelenti az előbbtől való mentességet. Ebben a tekintetben kiegészítő paraméterként a szulfid redukáló clostridia spóráit lehet használni. (Alkalmazott hidrobiológia (2007); WHO (2004) ;Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) ;Grabow WOK (1996) ;Junco TT et al. (2001); Pinto B et al. (1999))

Általánosságban elmondható, hogy a székletből származó kórokozók jelentik a legnagyobb aggályokat a mikrobiális biztonság egészséggel kapcsolatos célkitűzéseinek meghatározásában. A mikrobiális vízminőség gyakran gyorsan és széles tartományban változik. A kórokozók koncentrációjának megnövekedése jelentősen növeli a betegség kockázatát és kiválthatja a vízben terjedő betegségek kitörését. Ezenkívül a mikrobiális szennyeződés észlelésének időpontjában már sok ember megfertőződhetett. Ezen okok miatt az ivóvíz mikrobiális biztonságának biztosítása érdekében - még ha ez gyakori is - nem hagyatkozhatunk kizárólag a végtermék tesztelésére.

Különös figyelmet kell fordítani a vízbiztonsági keretrendszerre és az átfogó vízbiztonsági tervek végrehajtására, az ivóvíz biztonságának következetes biztosítása és ezáltal a közegészség védelme érdekében. A mikrobiális ivóvízbiztonság kezelése rendszerszintű értékelést igényel a rendszert érintő potenciális veszélyek meghatározása érdekében; a veszélyek csökkentéséhez vagy kiküszöböléséhez szükséges ellenőrző intézkedések meghatározása, a működési ellenőrzés biztosítása, valamint irányítási tervek kidolgozása mind a normál, mind az vészhelyzeti körülmények között végrehajtott intézkedések leírására. Ez a WSP három összetevője.

Az emberi szervezet számára kórokozó, orális úton, ivóvíz formájában felvehető fontosabb mikroorganizmusokat az 1. táblázat tartalmazza, egészségi jelentőségük és főbb tulajdonságaik összefoglalásával együtt.

Az ivóvízben való jelenlét esetén súlyos betegségveszélyt jelentenek a következők: A baktériumok közül a *Salmonella* spp., *Shigella* spp., patogén *Escherichia coli*; *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni* és *Campylobacter coli*; ezen kívül minden felsorolt vírus, valamint a *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., *Entamoeba histolytica* és *Dracunculus medinensis* paraziták. E kórokozók többsége világszerte elterjedt. Ugyanakkor a kolera kitörése és a *D. medinensis* fonalféreg fertőzése regionális. Ezen ágensek az ivásra szánt vízből történő eltávolítása kiemelt fontosságú. A *D. medinensis* felszámolása az Egészségügyi Világggyűlés elismert célja (World Health Assembly resolution WHA44.5, 1991).

Más kórokozók mérsékelt prioritást élveznek az 1. táblázatban, vagy nem is kerülnek felsorolásra, mert alacsony patogenitásúak melyek alacsony vagy gyengült immunitású betegeknél oportunistikusan okoznak betegséget, vagy pedig annak ellenére, hogy bár

súlyos betegségeket okoznak, a fertőzés elsődleges útja lenyelés helyett érintkezés vagy belégzés.

Az oportunistikus kórokozók természetes körülmények között is jelen vannak a környezetben, és formálisan nem tekinthetők kórokozóknak. Képesek megbetegedéseket okozni olyan személyeknél, akiknél károsodtak a helyi vagy általános védekező mechanizmusok, például időseknél vagy nagyon fiataloknál, égési sérülésekkel vagy kiterjedt sebekkel rendelkező betegeknek, immunszuppresszív terápiában részesülők vagy szerzett immunhiányos szindrómában (AIDS) szenvedőknél. Az ilyen betegek iváshoz vagy fürdéshez használt, nagy számban ezeket a szervezeteket tartalmazó vízzel való érintkezése, különféle fertőzéseket okozhat a bőrön, valamint a szem, a fül, az orr és a torok nyálkahártyáin. Ilyen ágensek például a *Pseudomonas aeruginosa*, valamint a *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Aeromonas* és bizonyos "lassan növekvő" mikobaktériumok.

Bizonyos súlyos betegségek a víz belélegzésének következményei, mert a meleg víz hőmérséklete és tápanyagtartalma bizonyos kórokozó szervezetek számára szaporodást biztosít. Ilyen szervezet például a *Legionella* spp. (legionárius-betegség), valamint a *Naegleria fowleri* (meningoencephalitis) és az *Acanthamoeba* spp. (meningitis, tüdőfertőzések).

A schistosomiasis (bilharziasis) a trópusi és szubtrópusi régiók egyik fő parazita betegsége, amely elsősorban a vízzel való érintkezéssel terjed (fürdésnél vagy mosásnál). A fertőzött vízi csigák által kibocsátott lárva stádium (cercariae) behatol a bőrbe. Ha a tiszta ivóvíz könnyen hozzáférhető, akkor mosáshoz is alkalmazható és ennek előnyeként a szennyezett felszíni víz felhasználásának szükségessége csökken.

Elképzelhető, hogy a talajjal vagy széklettel szennyezett nem biztonságos ivóvíz más parazita fertőzések, például balantidiasis (*Balantidium coli*) és bizonyos helminták (*Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascans*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma*, *Strongyloides* és *Taenia solium*) hordozójaként viselkedhet. Ezek többségében azonban a szokásos átviteli út a széklettel, vagy a széklettel szennyezett talajjal szennyezett tojás fogyasztása (*Taenia solium* esetében a lárva cisticercus stádiumának nyers kezeletlen sertéssel történő elfogyasztása), nem pedig a szennyezett ivóvíz fogyasztása.

1. táblázat: Orális úton terjedő kórokozók és jelentőségük a vízellátásban

Kórokozó	egészség- ügyi jelentőség	perzisztencia/ tartózkodás a vízkészletben ^a	klór rezisztencia ^b	relatív fertőző adag ^c	állati gazda- szervezettel rendelkezik
Baktériumok					
<i>Campylobacter jejuni, C.coli</i>	magas	mérsékelt	alacsony	mérsékelt	igen
Patogén <i>Escherichia coli</i>	magas	mérsékelt	alacsony	magas	igen
<i>Salmonella typhi</i>	magas	mérsékelt	alacsony	magas ^d	nem
más salmonellae	magas	hosszú	alacsony	magas	igen
Shigella spp.	magas	rövid	alacsony	mérsékelt	nem
<i>Vibrio cholerae</i>	magas	rövid	alacsony	magas	nem
<i>Yersinia enterocolitica</i>	magas	hosszú	alacsony	magas (?)	igen
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ^e	mérsékelt	szaporodhat	mérsékelt	magas (?)	nem
<i>Aeromonas</i> fajok	mérsékelt	szaporodhat	alacsony	magas (?)	nem
Vírusok					
Adenovírusok	magas	?	mérsékelt	alacsony	nem
Enterovírusok	magas	hosszú	mérsékelt	alacsony	nem
<i>Hepatitis A</i>	magas	?	mérsékelt	alacsony	nem
Enterálisan terjedő nem A, nem B <i>hepatitis</i> <i>vírusok, hepatitis</i> <i>E</i>	magas	?	?	alacsony	nem
<i>Norwalk virus</i>	magas	?	?	alacsony	nem
<i>Rotavirus</i>	magas	?	?	mérsékelt	nem (?)
Kis kerek vírusok	mérsékelt	?	?	alacsony (?)	nem
Protozoák					
<i>Entamoeba histolytica</i>	magas	mérsékelt	magas	alacsony	nem
<i>Giardia intestinalis</i>	magas	mérsékelt	magas	alacsony	igen
<i>Cryptosporidium parvum</i>	magas	hosszú	magas	alacsony	igen
Helmit					
<i>Dracunculus medinensis</i>	magas	mérsékelt	mérsékelt	alacsony	igen

?- nem ismert vagy bizonytalan

a- A fertőző stádium kimutatási periódusa vízben 20 ° C-on: rövid, legfeljebb 1 hét; mérsékelt, 1 héttől 1 hónapig; hosszú, több mint 1 hónap

b- Ha a fertőző stádium szabadon szuszpendálódik a vízben, szokásos adagokkal és érintkezési idővel kezelve. Ha az ellenállás mérsékelt, az ágenst nem lehet teljesen elpusztítani; alacsony ellenállás esetén az ágens teljesen megsemmisül

c- Az egészséges felnőtt önkéntesek 50% -ának fertőzéshez szükséges adag; lehet, hogy egyes vírusoknál csak egy fertőző egység.

d- Humán önkéntesekkel végzett kísérletekből

e- A fertőzés fő útja a bőrrel való érintkezés, de az immunszuppresszált vagy a rákos betegeket orálisan is megfertőzheti

2.2. A fertőtlenítés

A fertőtlenítés a biztonságos ivóvíz szolgáltatás szempontjából a legkritikusabb folyamat, éppen ezért fontos bizonyos követelmények betartása. Ezek közül is a két legfontosabb: az összes patogén (kórokozó) szervezetet különböző kezelési fázisokon keresztül történő elpusztítása vagy inaktíválása, illetve a fertőtlenítőszer jelenlétének biztosítása a vízelosztó hálózatban, hogy a víz mikrobiológiai szempontból biztonságos maradjon azután is, hogy elhagyja a kezelőművet.

Fertőtlenítésnek nevezzük azt a folyamatot, melynek során a természetes vizekben jelenlévő élőlények számát - különböző fizikai vagy kémiai eljárások által - a felhasználó céljainak megfelelő (rendeletekben, szabványokban előírt) egyedszámra csökkentjük. A fertőtlenítés különleges módját alkalmazzuk az ivóvízellátás során, amikor a kórokozó mikroorganizmusokat teljes számban, a nem kórokozókat rendeletben meghatározott egyedszámig távolítjuk el a vízből. Szélsőséges eset (nem is nevezzük fertőtlenítésnek) a csírátlantás, melynek alkalmazásával az összes élőlényt eltávolítjuk a vízből, függetlenül annak kórokozó, vagy nem-kórokozó jellegére. Meg kell jegyeznünk, hogy a fertőtlenítés elsősorban mikroorganizmusokra (baktériumok, vírusok) hatékony, egyes élősködők (*Giardia*, *Cryptosporidium*) és egyes mikroszkopikus élőlények (férgek, véglények) elpusztítására nem, vagy csak korlátozott mértékben alkalmazható. (Licskó és Laky, 2018)

2.2.1. Közvetlen fertőtlenítés

A közvetlen fertőtlenítés célja, a víztisztítási folyamatban alkalmazásra kerülő technológiai egységekben a mikroorganizmusok egyedszámának meghatározott szint alá csökkentése, valamint ezen a szinten történő stabilizálása. A közvetlen fertőtlenítés hatásköre nem terjed túl a víztisztító egységeken és a tároló rendszeren. A vízellátó hálózat és a vízhasználat helyszínén lévő víz minőségéről a fenntartó fertőtlenítés gondoskodik.

➤ *Egyszeri, nagy dózisú fertőtlenítés*

Egyszeri, nagy dózisú fertőtlenítés során, a víztisztítási technológia első egységébe érkező víz olyan dózisban részeseül fertőtlenítőszerben, vagy olyan mértékű fizikai beavatkozás éri, mely biztosítja a meghatározott mikroorganizmus egyedszámot a teljes víztisztítási technológia során, azaz a mikroorganizmusok az alkalmazott technológiai egységekben nem

szaporodnak, vagyis egyedszámuk a tisztítási folyamat végén is megegyezik az első technológiai egységet elhagyó vízben lévő egyedszámmal. Az egyszeri, nagy dózisú fertőtlenítés, a kevés technológiai egységet (2-3), és viszonylag rövid tartózkodási időt (2,0- 2,5 óra) alkalmazó víztisztítási technológiában használatos.

➤ **Megosztott, többszöri kis dózisú fertőtlenítés**

Ebben az esetben a fertőtlenítőszer kis dózisokban, a technológiai egységeket megelőzően adagoljuk, gátolva az élő szervezetek műtárgyakban bekövetkező szaporodását. Ezt a megoldást akkor célszerű alkalmazni, ha a víztisztítási technológia több egységet, műtárgyat tartalmaz és a víz tartózkodási ideje több óra (meghaladja a 2,5 órát).

2.2.2. Fenntartó fertőtlenítés

A fenntartó fertőtlenítés célja a vízelosztó hálózatban, a vízhasználók helyi hálózatában, valamint a víz felhasználása során a víz mikroorganizmus egyedszámának meghatározott szinten tartása, azaz a mikroorganizmus egyedszám növekedésének megakadályozása. Amennyiben a víztisztítási technológia alkalmazásával megvalósításra kerülő „közvetlen fertőtlenítés” megfelelő színvonalú, a hatékony fenntartó fertőtlenítés csak kismennyiségű fertőtlenítőszer igényel. (Licskó és Laky, 2018)

A hálózatban jelenlévő maradék fertőtlenítőszer szükségességét a világ nagy részében elismerik, azonban néhány országban nagy a lakosság tiltakozása a klór utófertőtlenítőszerként való használatával szemben.

2.2.3. A fertőtlenítés hatékonysága

Jelenlegi ismereteink szerint a kémiai oxidáló szerek a sejtmembránok feltörésével és az enzimek megsemmisítésével pusztítják el a baktériumokat, ám ezeknek a fertőtlenítőszereknek a hatékonysága, a fertőtlenítési eljárás hatásossága számos tényezőtől függ:

➤ **Elpusztítandó mikroorganizmusok**

A klórozás lényegében minden vírust és baktériumot elpusztít, noha egyesek ellenállóbbak a többieknél. Ilyen ellenálló mikroorganizmus például az *E. coli* melyet az ivóvízkezelés indikátoraként használnak, mivel a legtöbb patogén baktériumnál és néhány vírussal is nagyobb az ellenállása. (Ha nem találunk *E.*

colit a kezelt vízben, akkor az annál kevésbé ellenálló egyéb mikroorganizmusok jelenléte feltételezhetően zérus). Bizonyos kórokozó vírusokat azonban sokkal ellenállóbbnak tartanak a klórral szemben, mint az *E. coli*-t, így a fertőtlenítésnek más követelményei is vannak, nem csak az *E. coli* elpusztítása.

➤ ***A fertőtlenítőszer jellege***

A klór és a hipoklorit ion a víz pH értékétől és a vízben lévő egyéb alkotórészek jelenlététől függően különböző vegyületeket hozhat létre a vízben. Ezen fertőtlenítőszer hatékonyága nagymértékben változik.

➤ ***Fertőtlenítőszer koncentráció***

A koncentráció hatása: $C^n T = K$, ahol „C” a fertőtlenítőszer koncentrációja, „n” a hígítási koefficiens (vagy a reakció rendje), „T” az az idő, ami alatt elérjük a megadott százalékos pusztulást és a „K” pedig egy konstans. Látható, hogy ha az „n” értéke nagyobb, mint 1, akkor a koncentráció hatása nagyobb, mint az érintkezési időé, míg, ha az „n” kisebb, mint 1, akkor az érintkezési idő a meghatározó. Az „n” és „K” értékek számos tényezőtől függenek, beleértve a hőmérsékletet, a pH-t, az alkalmazott fertőtlenítőszer és az elpusztítani kívánt mikroorganizmust. A klór esetében „n” normális értéke 1.

➤ ***Érintkezési idő***

Elméletileg, az mikroorganizmusok elpusztítása Chick törvényét kell hogy kövesse, miszerint: $dN/dt = -kN$, ahol „N” a túlélő szervezetek száma, „k” a sebességi állandó egy adott fertőtlenítőszer-mikroorganizmus kombinációhoz. Más szóval, a mikroorganizmus pusztulás mértéke arányos az élő szervezetek számával. Integrálással megmutatható, hogy ha a „kt” értéke 1, akkor az eredeti szervezetek 43,4 %-a megsemmisült. A gyakorlatban azonban az érintkezési idő hatása sokkal összetettebb. Sok szervezet esetében a pusztulás üteme az idővel növekszik.

➤ ***Hőmérséklet***

A hőmérséklet növelése a kémiai fertőtlenítés sebességét növeli.

➤ **Egyéb tényezők**

Ezek közé tartozik a mikroorganizmusok egyedszáma, valamint a vízben jelenlévő szilárd anyagok, amelyek megóvhatják a mikroorganizmusokat a fertőtlenítőszerektől. Így a zavaros víz fertőtlenítésének hatékonysága csökken, ezért a fertőtlenítéshez alacsony turbiditású vízre van szükség. A fertőtlenítés egy összetett folyamat, amely a hatékonyságot befolyásoló változók széles skálája miatt nehezen modellezhető. A gyakorlatban olyan egyszerű tervezési kritériumokat alkalmaznak, amelyek megfelelő biztosítékot nyújtanak a hatékony fertőtlenítésre; a fertőtlenítés hatékonyságát mikrobiológiai indikátor paraméterekkel, nevezetesen *coliform* és *E. coli* szervezetek hiányával igazolják a tisztított vízben. (Basic Water Treatment- Third Edition, 2002)

2.3. Fertőtlenítés a víztisztítási folyamatban

Nyilvánvaló, hogy az alkalmazott fertőtlenítési eljárásnak el kell pusztítania az aggodalomra okot adó szervezeteket, de emellett a kezelt víznek az emberre nem szabad mérgező hatást gyakorolnia. Az alábbiakban a víztisztításban alkalmazott legkedveltebb fertőtlenítési eljárásokat ismertetem, melyek közé tartozik a klórozás, az ózonozás, az UV fertőtlenítés, illetve a klór dioxiddal való fertőtlenítés. Ezeket különböző víztisztító telepeken önálló, de gyakrabban kombinált eljárásként is alkalmazzák.

2.3.1. Vegyszereket alkalmazó (kémiai) fertőtlenítés

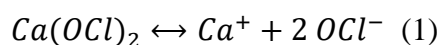
Kémiai fertőtlenítés során a vízhez viszonylag kis mennyiségben (10 mg/l-nél kisebb koncentrációban) adagolunk a mikroorganizmusok számára kíméletlen, de a magasabb rendű élőlényeket nem veszélyeztető vegyszereket. Ezek általában erős oxidálószer. A fertőtlenítési folyamatban alkalmazott oxidálószer egy része csak a közvetlen fertőtlenítés során használható, más részük viszont közvetlen, és fenntartó fertőtlenítés során is hatékonyan alkalmazható. A fertőtlenítési folyamatban használatos erős oxidálószer nem alkalmazható továbbá a granulált aktív szén adszorberek töltetének fertőtlenítésére sem. Az aktív szén a maradék klórt hatástalanítja, a klórozási melléktermékeket adszorbeálja.

2.3.1.1 Klórral és közvetlen származékaival megvalósított fertőtlenítés

➤ **Klórmész**

A „tiszta” kalcium-hypoklorit [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] a kereskedelemben, ilyen formában nem elérhető. A képletben feltüntetetteken kívül egyéb anyagokat (szennyezőket) is tartalmazhat, mely tulajdonsága és bomlási hajlama miatt pontos adagolása nem megoldható. Nehézkes alkalmazását továbbá gyenge vízdékonysága is fokozza.

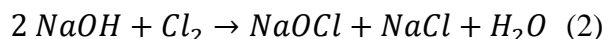
A klórmész fertőtlenítő hatását a vízben oldott kalcium- hypoklorit molekulák disszociációjából származó hypoklorit ionok biztosítják.



Az felsorolt problémák miatt a klórmész az ivóvízkezelés során nem, legfeljebb a szennyvíziszap kezelésénél alkalmazható.

➤ **Hypo**

A Hypo hatóanyaga a klórgáz és nátrium-hidroxid reakciójával (2) előállítható NaOCl (nátrium-hypoklorit) disszociációjából (3) származó hypoklorit ion.



A nátrium-hypoklorit vizes oldata 15-16% hatóanyagot tartalmaz, melynek erőssége idővel változhat (állás közben veszít hatóanyag tartalmából), ezért nagyobb mennyiségben nem célszerű tárolni.

Adagolás előtt hatóanyag tartalmát szabályozhatósága érdekében ellenőrizni kell, hogy a szükséges hatóanyag koncentráció pontosan beállítható legyen.

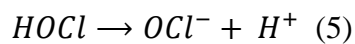
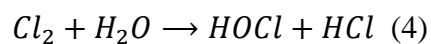
A tömény (15-16% hatóanyag tartalom) NaOCl oldat pH értéke 9,0 és 9,5 között változik, de a kis térfogatú adagolás miatt a fertőtlenítésre kerülő víz pH értékét csak kis mértékben növeli.

Gyártása általában klórgázt, illetve nátrium-hidroxidot előállító üzemekben történik, szállítása pedig- a szigorú előírások betartásával – biztonságosnak tekinthető.

A biztonsági megfontolások, különösen a kicsi vagy nagyon nagy helyeken, a hypoklorit alkalmazását részesítik előnyben, ezért Európában a klórgáz használatát az utóbbi években több helyen is NaOCl adagolására cserélték.

➤ **Klóros víz**

Klóros víz klórgáz és víz reakciójával állítható elő és az előállítást követően célszerű rövid időn belül a fertőtlenítendő vízhez adagolni, mert hatóanyag tartalma az egyensúlyi reakciók miatt gyorsan változik.



A hypoklórossav (HOCl) erősebb fertőtlenítőszer bizonyult a hypoklorit ionnál, de erős oxidálószerként révén mindkettő jelentős fertőtlenítő hatással rendelkezik.

A hypoklórossav és a hypoklorit ion arányát a pH érték szabályozza. A kisebb pH érték a hypoklórossav felé, míg a pH érték növekedése a hypoklorit képződés irányába tolja el a disszociációs egyensúlyt. A fertőtlenítés hatékonysága szempontjából a kisebb pH értékek kedvezőbbek, de figyelembe véve hogy 7,0 -nél kisebb pH-n a szerkezeti anyagok (elsősorban a fémek) korrodálódnak, célszerű egy nem túl alacsony (7,0 és 7,5 közötti) pH biztosítása. Tekintettel arra, hogy megfelelő pufferkapacitással rendelkező felszíni és felszín alatti vizeink pH értékei a 7,5-8,5 pH tartományban találhatók, a klóros víz fertőtlenítőszerként történő alkalmazása nyomán kezelt víz pH értéke a 7,0 – 8,3 tartományban lesz, azaz közel az optimálisnak tekinthető 7,0- 7,5 tartományhoz.

➤ **Klórgáz**

A klórgáz toxicitása miatt, használatához szigorú biztonsági intézkedések, megfelelő felszerelések szükségesek. A biztonságos alkalmazást megvalósító berendezések működése következtében a klórgáz fertőtlenítendő vízhez történő adagolása közvetett módon történik. A cseppfolyós gázt nyomás alatt palackokban vagy hordókban tárolják, és a gázpalackból történő adagolásra vákuumklórozó készüléket használnak (biztonsági okokból vákuumban). A vákuumot a fő vízáram melletti mellék-víz körben áramló víz hozza létre,

mely szabályozó rendszeren keresztül „kiveszi” a szükséges klór mennyiségét a klórpalackból, vagy klórhordóból. A palackból kinyert klórt vízben oldják, majd a keletkezett oldatot adagolják a kezelendő vízhez. (Közvetett, biztonságos adagolás). Az oldatot – a klórgáz elpárolgását elkerülendő - jóval a vízfelszín alá adagolják, valamint biztosítják a jó keverést, szükség esetén statikus keverők használatával. A fő vízáram leállása megszünteti a klór „elvételét” a tároló palackból vagy hordóból, megakadályozva a klór túladagolását váratlan leállás esetén. A klórgáz vízzel történő reakciója a korábban bemutatottak szerint (4-5) gyorsan lejátszódik, így a mellék-víz körben képződő klóros víz néhány másodperc elteltével már a fertőtlenítendő vízbe jut.

A klórgáz és a víz reakciójaként képződő hypoklórossav, valamint disszociációjának terméke a hypoklorit ion erős oxidálószer, így egyúttal hatékony fertőtlenítőszer is.

Tekintettel arra, hogy a klórgáz a nátrium-klorid vizes oldatának elektrolízisekor (nátrium-hidroxid gyártás) melléktermékként nagy mennyiségben képződik, könnyen, kedvező áron beszerezhető, továbbá nagynyomású tároló edényekben biztonságosan tárolható és adagolása is nagyon jól szabályozható.

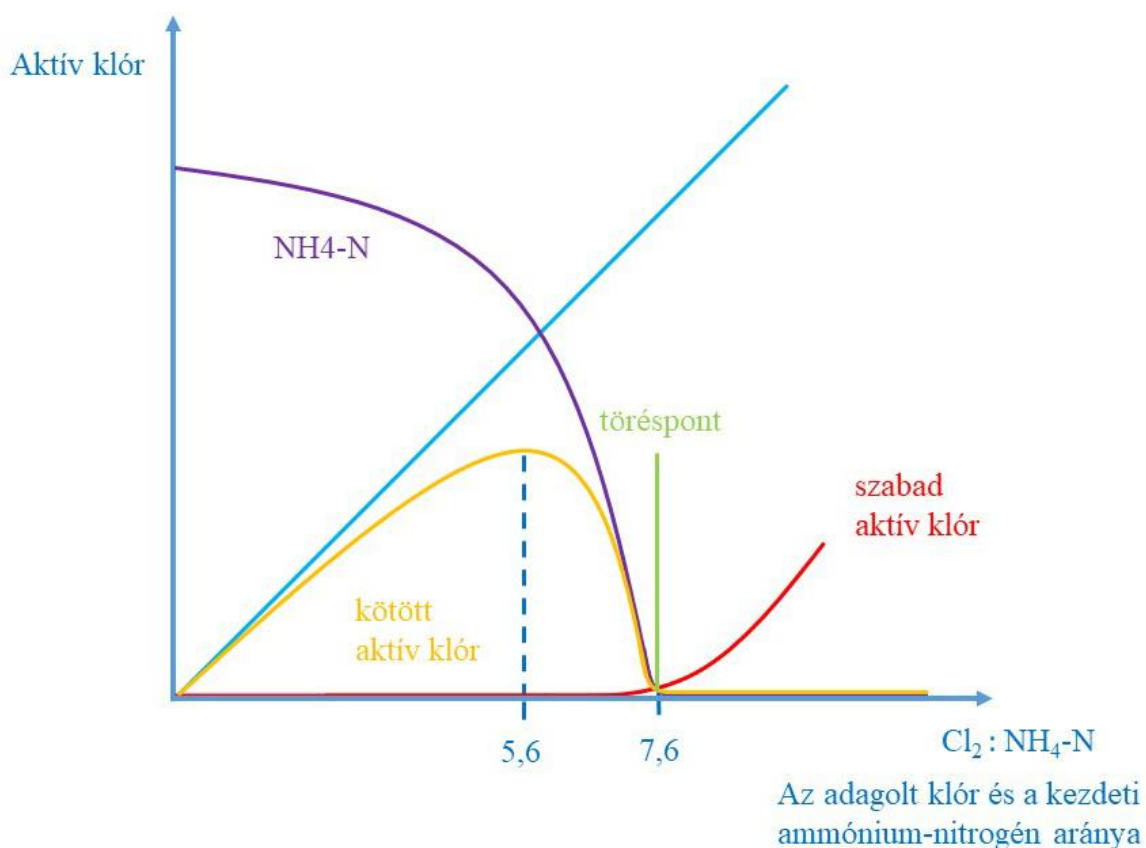
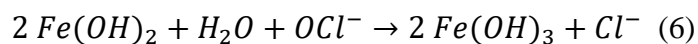
A klór által biztosított fertőtlenítő hatás a nyomás alatti vízelosztó hálózatokban több napig is, néhány tized mg/l koncentrációban megmarad, így megakadályozza a nem kívánatos mikroorganizmusok szaporodását és fennmaradását.

A klór toxicitásából adódó, tárolásával kapcsolatos biztonsági kockázat a helyszíni elektrolitikus klórozás (On-Site Electro-Chlorination, OSEC) leküzdheti, mely a sóoldat elektrolízisével állítja elő a fertőtlenítéshez szükséges mennyiségű klórt. (3 % -os NaCl oldat elektrolízise 1% nátrium hipoklorit oldatot eredményez.) Ez a technológia sok helyen megfelelő alternatíva lehet, sajnos azonban a hazai alkalmazás lehetősége, megfelelően képzett szakemberek hiányában jelenleg korlátozott mértékű.

Törésponti klórozás

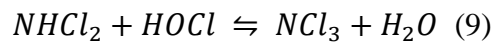
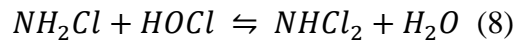
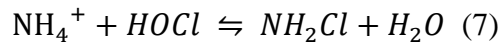
Amikor klórt vagy hypokloritot adagolunk a vízhez egymást követő reakciók léphetnek fel. Még a legtisztább víz is hajlamos nyomokban ammónium iont vagy egyéb vegyi anyagokat tartalmazni, amelyek reagálhatnak a klórral.

A beadagolt klór és az aktív klór mennyiség között különbség lesz, és ez a különbség az a klór mennyiség, amely a vízben lévő egyéb anyagokkal reagált. Erre példa a vas oxidálása hipoklórossavval (6).



1. ábra: Törésponti klórozás

Az ábrán feltüntetett 45°-os egyenes esetében a vízben nincs semmi, ami a klórt felhasználná, ezért arányosan növekszik a beadagolt klór mennyisége a vízben jelenlévő aktív klór mennyiségével.



A klór és az ammónium ion legfeljebb 5:1-es mólarányánál (5 mg Cl₂/mg NH₄-N), monoklór-amin és diklór-amin képződik. 5:1 és 7,6:1 mól arányok között triklór-amin keletkezik. (A triklór-amin nagyon instabil, könnyen hidrolizál, miközben nitrogéngáz és klórgáz keletkezik. A keletkezett klór vízzel reagálva hipoklóros savat ad.)

Magasabb arányban minden ammónium elreagál, a triklór-amin nitrogénre oxidálódik, valamint szabad klór lesz jelen. (1. ábra)

Miután az összes diklór-amin triklór-aminná vagy nitrogénné alakult, a klór maradéka az adagolt klór növekedésével együtt növekszik. Azt a pontot, ahol a klór maradék ismét nőni kezd, töréspontnak nevezzük (Cl₂: NH₄-N = 7,6). A töréspont előtt a klór túlnyomórészt klóramin formában van jelen, a töréspont után pedig a szabad klór dominál.

A klórkoncentrációk mérése lehetővé teszi a szabad klór (Cl₂, OCl⁻, és HOCl), és a kombinált klórfajták (klór-aminok) közötti megkülönböztetést. A hipoklóros savat és a hipoklorit iont együtt „szabad klór”-nak, a klór-aminokat (nagy részt monoklór-amin) „kötött aktívklór”-nak nevezzük.

Ennek a görbének a megértése döntő fontosságú a klórozás és a klórigény felmérésének szempontjából. Adott víz „klórigénye” annak a klórnak a mennyisége, amely ahhoz szükséges, hogy a reakció a töréspontig megtörténjen. Egyes vizekben ez nagyon alacsony és gyakran nem haladja meg a 0,3 mg/l-t, más vizekben azonban ez az érték sokkal magasabb is lehet.

A törésponti klórozás a klórozás leghatékonyabb formája. Mivel ez a legbiztonságosabb fertőtlenítési módszer, sok vízszolgáltató részesíti előnyben, azonban a felhasználók által a klór ízének és szagának érzete miatt kevésbé kedvelt. Gyakori ezért, hogy a teljes fertőtlenítés biztosításához szükséges idő elteltével a vizet klórtalanítják, vagy részleges klórozást alkalmaznak.

A részleges klórozás csak annyi klór adagolásával jár, amennyi eléri a kívánt klór-amin koncentrációt. A monoklór-aminnal történő fertőtlenítés azonban sokkal kevésbé hatékony, ezért a részleges fertőtlenítés csak nagyon jó minőségű vizekben használható (pl. jó minőségű felszín alatti víz vagy kiterjedt tisztításon és másik fertőtlenítő

eljáráson is átesett felszíni vizek.) A részleges klórozás is okozhat íz és illat panaszokat, amelyek a klór és a klórozott víz közötti reakcióból származnak, különösen azoknál a vizeknél, ahol szerves anyag is jelen van. Pont ezért, sok szolgáltató a törésponti klórozást részesíti előnyben. (Basic Water Treatment- Third Edition, 2002)

A klórozás előnyei-hátrányai

A klórozás legnagyobb előnye, hogy a klórgáz és a víz reakciójaként képződő hipoklórossav, valamint annak disszociációjából származó hypoklorit ion erős oxidáló- illetve fertőtlenítőszer.

Mivel a klórgáz a nátrium-hidroxid gyártás melléktermékként nagy mennyiségben képződik, ezért könnyen beszerezhető és az ára is kedvező. Tárolása nagynyomású tároló edényekben biztonságosan megoldható és adagolása is nagyon jól szabályozható.

A klór által képzett hipoklórossav valamint a hypoklorit ion fertőtlenítő hatása a hálózatban több napig megmarad, így biztosítja a fenntartó fertőtlenítés hatásosságát.

A klórozásnak azonban hátrányai is vannak, mellékhatásai, kedvezőtlen tulajdonságai régóta ismeretesek. Reakciója bizonyos ipari hulladékokkal- főleg fenolszármazékokkal- kellemetlen szagú és ízű termékeket eredményez. Ezeknek a **klór-fenol vegyületek**nek azonban a $\mu\text{g/l}$ -es koncentráció-tartományban élettanilag nincs jelentőségük, csupán a kellemetlen ízért és szagért felelősek, akárcsak az ammónia származékai. Ammónium-ion jelenlétében a klórozáskor **klór-aminok** képződnek, melyek egyrészt lényegesen csökkenthetik a klórozás hatásosságát (sokkal nagyobb behatási időre vagy dózisa van szükség), másrészt ezek szaga és íze se kellemes. (Csanády és Kárpáty ,1981)

A klórozás legnagyobb problémáját a **trihalogén-metán** (trihalometán, THM) **vegyületek** keletkezése jelenti.

Magas klór dózisos alkalmazásakor a klór reagál a vízben lévő szerves anyagokkal, és trihalometán vegyületeket állít elő, mint amilyen a kloroform is. Ezek ismert rákkeltő anyagok, melyek $\mu\text{g/l}$ koncentráció nagyságrendben megjelenve súlyos károsodást okozhatnak az emberi szervezetben, ezért szerves mikroszennyezőknek tekinthetők. (Rook, 1974; Rook, 1976; Rook, 1977) Többek között a THM képződés miatt is, a vízellátás klórkonzentrációját szoros figyelemmel kell kísérni. A WHO THM-re vonatkozó, a vízellátásban elfogadható irányértéke $200 \mu\text{g/l}$, (WHO, 1993) az EU 98/83 Direktívájához ($100 \mu\text{g/l}$) „igazított” hazai szabályozás (201/2001 sz. Korm. rendelet)

azonban a nemzetközi szabályozásokhoz viszonyítva szigorú, ugyanis a THM határértéket 50 µg/l-ben határozta meg.

A kezelt vízben legnagyobb koncentrációban a kloroform fordul elő, míg a nyers vízben kloroform nem, vagy csak igen kis mennyiségben mutatható ki. A kloroformon felül a másik három leggyakoribb trihalogén-metán: a bróm-diklór-metán, a klór-dibróm-metán és a bromoform. E vegyületek aránya a víz bromidtartalmától függően nagyon különböző lehet. A bromid ionok vízbéli koncentrációjának növekedése növeli a bróm-diklór-metán és a klór -dibróm -metán képződését, (a kloroform megjelenése visszaszorul) de nem befolyásolja lényegesen a bromoform képződésének mértékét, mely alacsony szinten stabilizálódik (Chowdhury et al, 2010). A THM komponensek közül fontos a brómtartalmú vegyületek vizsgálata is, hiszen az idegrendszert lényegesen nagyobb mértékben károsítják, mint a kloroform (Dodds and King, 2001).

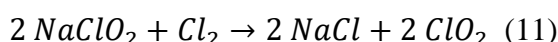
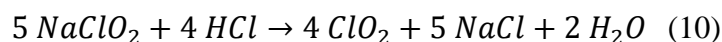
A klórozással előállított THM vegyületek koncentrációja a pH, a hőmérséklet, a szabad klór koncentráció, az érintkezési idő, valamint a vízben lévő oxidálható szerves anyagok koncentrációjának és jellegének függvénye. (Chowdhury et al, 2010)

A felszíni vizek kezelése során ezen THM- vegyületek zöme az előklórozás következtében- a kezeletlen víz magas szervesanyag tartalma és a tisztítási folyamat során alkalmazott hosszú reakcióidő miatt - keletkezik. Ha az előklórozást csökkentjük vagy elhagyjuk, és a kezelendő vizet megtisztítjuk a trihalometán képzésre alkalmas (ún. prekursor) vegyületektől, az érdemi fertőtlenítést pedig csak ezt követően végezzük, lényegesen csökkenthetjük a keletkező trihalogén-metán vegyületek (elsősorban a kloroform) mennyiségét. A prekursor vegyületek hatékony eltávolítását biztosíthatja a víz aktívszenes kezelése. Felszíni vizek tisztítása esetén azonban ezt csak a maradék szervesanyag-tartalom eltávolítására, a szokásos tisztítási folyamat után célszerű alkalmazni. (Csanády és Kárpáty, 1981)

A THM-, különösen a kloroform prekursorok eltávolítására biztosít jó megoldást az alumíniumsóval történő derítés. A derítés a humuszsav és a fulvinsav kloroform-képződés szempontjából leginkább felelős frakcióját jelentős módon eltávolítja, így akár 70 %-kal csökkentheti a kloroform képződést. Bizonyos minőségű nyersvizek esetében a THM koncentráció csökkentésének ezen módja olcsóbb és egyszerűbb lehet, mint a szerves prekursorok és a trihalometánok aktívszén adszorpciójára berendezkedni, illetve egyéb fertőtlenítőszer alkalmazni. A derítés kívánt hatásának elérése érdekében azonban az alumíniumsó adagot optimalizálni kell. (Öllös és Kollár, 1983)

2.3.1.2 Klór-dioxidos fertőtlenítés

A klór dioxid egy gáz halmazállapotú, erős oxidáló tulajdonságokkal rendelkező klór vegyület, amelyet néha a klór helyett, vagy azzal együtt használnak. Nagymértékű reaktivitása miatt soha nem tárolják, vagy használják gázként, hanem a helyszínen igény szerint állítják elő, rendszerint nátrium-klorit sósavval vagy klórral történő reakciója révén:



A klórdioxid hatékonysága a savas pH tartományban legjobb. 10-nél magasabb pH értéken nem hatékony.

A klór-dioxidos fertőtlenítés előnyei-hátrányai

A klór dioxid legnagyobb előnye, hogy miközben erős fertőtlenítő és oxidáló szer (a szabad klóréhoz hasonló fertőtlenítő hatással rendelkezik,) nem vezet THM képződéshez és nem reagál az ammónium ionokkal sem.

Hátránya azonban, hogy használata növelheti a klorit- és klorát koncentrációját a tisztított vízben, ami az egészségre kedvezőtlen hatással lehet. A klorát kloritra redukálódhat, ami laboratóriumi állatkísérletek szerint befolyásolhatja a reprodukciót. Ez korlátozhatja az egyes vizekben alkalmazható koncentrációt. A klorát és a klorit képződésének minimalizálása érdekében fontos, hogy a klórdioxid gyártásakor pontosan ellenőrizzék a reagáló vegyi anyagok arányát; valamint fontos lenne az alacsony pH érték megőrzése, de ez sajnos korróziós problémákat okozhat.

A szolgáltatott ivóvíz klór-dioxidra, kloritra és klorátra vonatkozó határértékeit a vízminőségi előírások szabályozzák.

A klór dioxid fertőtlenítési hatékonysága a legtöbb mikroorganizmus esetében hasonló a szabad klóréhoz. A maradék 0,1 mg/l és 1 mg/l 1 perces kontakt idővel biztosítja az E. coli és a polio vírus 99%-os inaktiválódását. (WRc, 1992)

2.3.1.3 A monoklór-amin, mint fertőtlenítőszer

A klórozással gyakran előforduló problémák egyike az, hogy az elosztóhálózatban szükséges maradék klór koncentráció fenntartása érdekében nagyon nagy dózist kell alkalmazni a kezelés során. Ez főleg régi, lerakódásokat tartalmazó-, valamint magas tartózkodási idővel rendelkező nagy elosztórendszerekben jellemző. Néha nem kivitelezhető a megfelelő utófertőtlenítést biztosításához szükséges magas dózis, mert a magas klórigény bizonyos vizekben magas THM szintet eredményezhet. Ilyen esetekben a probléma klór-amin képzéssel megoldható, mely során ellenőrzött mennyiségű ammónium iont adagolnak a klórozott vízhez, ami a klórt monoklór-aminná alakítja. Ez ugyan gyengébb fertőtlenítőszer, mint a szabad klór, kevésbé reagál a hálózatban fellelhető anyagokkal, viszont sokkal tartósabb, és nem vezet THM képződéshez. (Charrois és Hruday 2007)

A hipoklórós sav ammónium ionokkal reagálva, a hidrogénatomokat klóratomokkal helyettesíti, így ezek a reakciók (7-9) a monoklór-amin, a diklór-amin és a triklór-amin egymást követő kialakulásához vezetnek.

A háromféle klór-amin mennyisége közötti összefüggés a víz pH értékétől, az ammónium ion és klór koncentrációjától függ.

A monoklór-amin fertőtlenítőszerként való alkalmazásának előnyei- hátrányai

A monoklór-amin legnagyobb előnye, hogy alkalmazása nem vezet THM képződéshez, valamint hosszú ideig képes a hálózatban maradni (perzisztens).

Hátránya, hogy kevésbé reagál a hálózatban fellelhető anyagokkal, mint a szabad klór, vagyis sokkal gyengébb fertőtlenítőszer. Ezen kívül, ha a klór/ammónium ion dózis szabályozása nem megfelelő, a bakteriális tevékenységek hatására nitrit képződhet a hosszú hálózati rendszerekben, ami szintén problémát okozhat. (WRc, 1992)

2.3.2. Ultraibolya fertőtlenítés

Az ultraibolya (Ultraviolet-UV) sugárzás fertőtlenítő hatása fotokémiai reakciók kiváltásán alapszik. A nagy energiájú 250-260 nm körüli UV-C sugárzás – a sejt által elnyelt sugárzás dóziséjától függően - a nukleinsavak denaturálódását okozza, ami a baktériumok és egyéb szervezetek gátlásához, elpusztításához vezet. Éppen ezért az UV sugárzás ezen a hullámhosszon a leghatásosabb, ezáltal mikroorganizmusok célzott károsítására vagy pusztítására alkalmazható.

Az UV fertőtlenítés lényege a kezelendő víz, egy nagy intenzitású UV sugárzást alkalmazó kamrán vagy csatornán való átvezetése, melynek során a vizet adott időtartamon keresztül ellenőrzött sugárzási dózissal teszik ki.

Az ultraibolya sugárzást higanykisüléses lámpákból nyerik, melyek a lámpákon belüli higanygőz parciális nyomásától függően alacsony vagy közepes nyomásúak lehetnek. Az alacsony nyomású lámpák sokkal hatékonyabban alakítják az elektromos energiát ultraibolya sugárzássá, valamint keskenyebb hullámhosszú sávban bocsátanak ki fényt, mint a közepes nyomású lámpák. Ez utóbbiak azonban ugyanazon egységnyi méretben sokkal nagyobb teljesítményt adnak az ultraibolya sugárzásnak, vagyis sokkal erősebb fényt bocsátanak ki.

Az ultraibolya dózis a lámpa teljesítményének, a víz retenciós idejének és a besugárzó egység méreteinek függvénye, amit milliwatt-másodperc/négyzetcentiméter [mWs/cm^2] egységben mérünk. A kívánatos dózis 25-40 mWs/cm^2 között van, de normális körülmények között már 15 mWs/cm^2 dózis is bakteriológiailag elfogadható minőségű vizet eredményez.

Az ultraibolya sugárzás előnyei-hátrányai

A kémiai fertőtlenítéssel összehasonlítva a kompaktság előnyeit kínálja, mert kontakt tartályok és kémiai tárolás (ehhez kapcsolódó kezelési problémákkal) nem szükségesek.

Legfőbb hátránya azonban az, hogy a vízben nem jön létre tartós fertőtlenítő hatás, hogy megóvja a vizet a hálózatban, ezért bizonyos esetekben csak klór adagolással együtt alkalmazható. További hátrányt jelent az UV csövek lerakódásra, kalcium-karbonát kiválásra való érzékenysége, amely a fertőtlenítési teljesítményt csökkenti és a karbantartási igényt növeli.

2.3.3. Ózonozás

Az ózon (O_3) az egyik legerősebb oxidálószer, mely a fertőtlenítésen kívül számos egyéb célra is használható a vízkezelésben. Mivel a hatékony fertőtlenítéshez szükséges dózisok és érintkezési idők alacsonyabbak, mint a szerves vegyszeres kezeléseknél alkalmazott mennyiségek, ezért az ózon más célra történő felhasználása egyidejűleg nagyon hatékony fertőtlenítést is eredményez. Ózont alkalmaznak különböző íz és szaghatások csökkentésére; a víz színének eltávolítására; vas, mangán, valamint szerves anyagok oxidálására. Az ózon, mint elő-oxidálószer, fokozza a zavarosság és az algák eltávolítását a későbbi kezelési eljárásoknál.

Ózont száraz levegő vagy oxigén, nagyfeszültségű elektromos téren való átáramoltatásával hoznak létre.

Első lépésben a betáplált levegőt (vagy oxigént) hűtéssel, kondenzációt okozva szárítják, majd a kicsapódó vizet elvezetik. (A gáz szárítására többek között az ózonizáló energiafogyasztásának minimalizálása érdekében van szükség.)

A kiszáritott gázt az elektródákkal ellátott ózonfejlesztőbe vezetik, - ez lehet cső, ritkábban lemez típusú - ahol megtörténik az ózon képzés. Ózon a levegő ultrabolya besugárzásával is képezhető, de ez a fajta ozonizátor nem túl gyakori, és nagyrészt kis mennyiségű ózon előállítására korlátozódik.

A keletkezett ózon-dúsított levegőt közvetlenül a vízbe adagolják porózus diffúzorok segítségével, az elnyelető tartályok alján. Az ózon elnyelető oszlop jellemzően 5 m mély, amely legfeljebb 10 percnyi érintkeztetési időt biztosít. A víz-ózon érintkezés kialakításai változóak, de az alkalmazott ózon legalább 80%-ának beoldódását kell lehetővé tenniük.

A vízbe be nem oldódott ózon a kiáramló gázban elhagyja az elnyeletőt. (Bizonyos kialakítások lehetővé teszik ennek a gáznak az újrahasznosítását és újbóli befecskendezését, hogy növeljék az ózonozás hatékonyságát.)

Az ózonhasználat előnyei-hátrányai

Az ózon előnye, hogy sokkal erősebb oxidálószer, mint a klór, ezért a fertőtlenítéshez szükséges dózis jóval kisebb, (pl. 0,4 mg/l, 4 perc vagy annál kevesebb kontaktidő után) valamint a klórral ellentétben THM képződést sem okoz.

Hátránya azonban, hogy a fertőtlenítésre használt ózontól, (akárcsak az UV sugárzásnál) nem keletkezik tartós maradék, ami megvédené a vizet a hálózatban lévő szennyeződésektől, sőt az ózon növelheti a biológiai lebontható szerves összetevők

(AOC-Assimilable Organic Carbon) koncentrációját, amelyek ezáltal a baktériumok szaporodását okozhatják a hálózatban. Kivéve, ha valamilyen biológiai lebontást alkalmazunk az ózonizálás után. Az ózont néha szándékosan arra használják, hogy növeljék az AOC arányát a vízben, ez esetben azonban elengedhetetlen a víz átvezetése a granulált aktív szenet tartalmazó adszorberen. (Hoigné és Bader, 1988)

2.3.4. Egyéb fertőtlenítési eljárások/módszerek

A fent leírt módszerek a hagyományos vízkezelésben használatos eljárások, de léteznek más, kevésbé alkalmazott módszerek is. Ilyenek a következők:

- fehéritő por - nagyrészt kalcium hipokloritot tartalmaz;
- víz forralás - csak vészhelyzet esetén használható;
- fémionok használata - az ezüstionok erős baktericid jellege miatt használata a víz fertőtlenítésére lehetséges, ám ez csak az ivóvíz (vészhelyzeti) rövid távú felhasználására alkalmas. (Ezüst vegyületekkel fertőtlenítik a népszerű házi víztisztító berendezések aktív szenes adszorberét is, a mikroorganizmusok megtelepedésének és elszaporodásának elkerülésére.);
- kálium permanganát – használható, de nem túl hatékony
- membránfolyamatok –nanoszűrés és fordított ozmózis membránok távolítják el a mikroorganizmusokat;
- bróm vagy jód – csak vészhelyzet esetén

2.3.5. Fertőtlenítési módszerek összefoglalása/összehasonlítása

- A vízelosztó hálózatba bocsátandó víz esetében a klórral történő fertőtlenítésnek jelenleg nincs megfelelő hatékonyságot biztosító alternatívája.
- A felszíni-víz tisztításnál hagyományosan alkalmazott előklórozás felváltható klór-aminos, vagy klór-dioxidos előfertőtlenítéssel, illetve a technológia különböző pontjain alkalmazott csökkentett dózisu klórozással.
- Az ózon alkalmazása kiegészítheti, de nem helyettesítheti az utóklórozást, mivel a vízben nem jön létre tartós fertőtlenítő hatás, ami megóvja a vizet a hálózatban.
- Az UV sugárzás - hasonlóan az ózonhoz- hatékony helyszíni kezelésnek bizonyul, azonban a hálózatban nem garantálja a víz biztonságát.
- Amennyiben a vízelosztó hálózatba bocsátandó víz fertőtlenítésénél klórt alkalmaznak, célszerű a THM prekursorokat előzetesen eltávolítani. Ennek

egyik lehetséges módja a víz granulált aktívszenet tartalmazó adszorberen való átvezetése. A nagy mértékű szerves anyag eltávolításhoz a víz hosszú ideig tartó jelenlétét kell biztosítani az adszorberen. (Rook et al.1982)

- A legfontosabb technológiai alapfolyamatok (oxidáció, biológiai lebontás, adszorpció) alkalmazási sorrendjét nagyon figyelmesen kell megtervezni és kiépíteni. (Fiessinger et al. 1985)

2.3.5.1 Budapesti víz fertőtlenítése

A Fővárosi Vízművek ivóvízellátó rendszerében a fertőtlenítés alapvetően klórral -a Csepeli tisztítóműben klórgázzal, a többi ponton 9 %-os hypoklorit oldattal- történik. (Az iparban használatos 15%-os oldat kristályosodásra hajlamos, ezért nem megfelelő.) A víz alapvetően a Káposztásmegyeri főtelepről, a IV. gépházból, továbbá a Békásmegyeri gépházból valamint a Csepelen lévő tisztítóműből indul, ahol biztosítják a hálózatban megfelelő utófertőtlenítést biztosító hypo adagot, ezt követően táplálják be a hálózatba.

A hálózatban haladó víz minőségét folyamatosan monitorozzák és szükség esetén ha a szabad aktív klór koncentrációja 0,3 mg/l -es érték alá csökken- a város különböző pontjain kiépített utóklorozó állomásokon klór utánpótlást biztosítanak a víznek.

A Csepeli tisztítóműben alapvetően a ráckevei és csepeli kutakból érkező magas vas és mangán tartalmú vizek tisztítása, valamint a hálózatba táplálása történik. A Csepeli tisztítómű egy nagyobb, a Dunát érintő havária esetén, akár vészvízellátásra is alkalmas lehet.

3. Célkitűzés

TDK dolgozatom célja az volt, hogy a Fővárosi Vízművek ivóvízellátó rendszerében szolgáltatott víz aktív klór koncentrációinak változását mérjem és értékeljem, belső rendszerekben, a város különböző lakossági fogyasztói pontjain, valamint az esetleges eltéréseket összehasonlítsam. A szolgáltató törzshálózati mintavételi pontjai nem egyeznek meg az általam kijelölt mintavételi pontokkal. Dolgozatomban azt tartottam fontosnak, hogy lakóépületek lakásaiban gyűjtött mintákat vizsgáljam, ellentétben a szolgáltató által kijelölt mintavételi pontokkal, melyek elsősorban középületek nagy vízforgalmú helységeiben kerültek kijelölésre.

Ennek megfelelően a város több pontján, lakásokban, több alkalommal gyűjtöttem és vizsgáltam ivóvízmintát, amelyek klórtartalmát a helyszínen kialakított mérési ponton határoztam meg. Helyszíni méréseimet megelőzően a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Víz- és Környezetmérnöki tanszékének laboratóriumában is végeztem vizsgálatokat, melyek célja az aktív klór időbeni változásainak megállapítása volt.

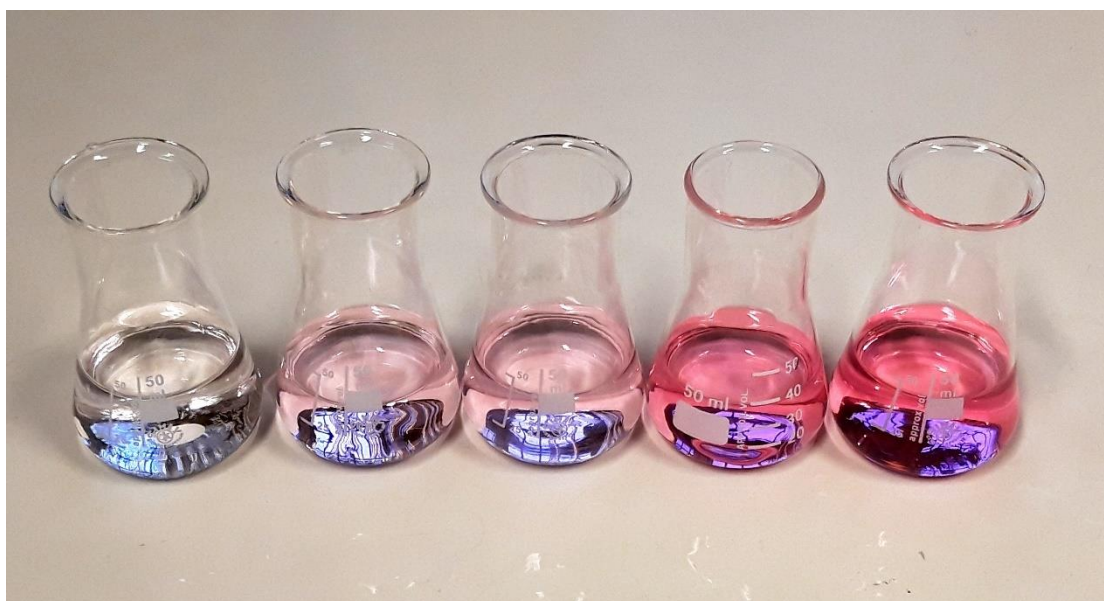
Az elvégzett helyszíni koncentráció mérések célja az volt, hogy eredményeket kapjak az ivóvízellátó törzshálózat különböző pontjaihoz tartozó klórkoncentrációk összehasonlíthatóságához és vízminőségi értékeléseket végezhessenek az esetleges eltérések, különbségek alapján. Vizsgálataimat az alább ismertetésre kerülő helyszíneken, időpontokban és körülmények között végeztem el.

4. Kísérletek és módszerek

Méréseim során belső rendszerek hálózatában mértem az ivóvíz szabad aktív klór koncentrációját családi házakban, társasházakban, valamint magasabb épületek legfelső és legalsó szintjei között, a fogyasztói csapokon kifolyó vízben. Vizsgáltam, hogy az elérési idő, valamint a csőhálózat hossza okoz-e differenciát. Ahol lehetett két mintát vettem, egyet azonnal a csap megnyitása után, azt modellezve, ahogy a fogyasztó is tölt magának egy pohár vizet, illetve egyet ezt követően a vizet (hőmérsékletállandóságig) kifolyatva, annak érdekében, hogy a házon belüli csőhálózat ne befolyásolja a mért értéket, minél közelebb legyen az eredmény a törzshálózati értékhez.

4.1. Mérési módszerek, felhasznált anyagok és eszközök

A szabad aktív klór mennyiségének meghatározását MSZ 448/25-81 szabvány szerint DPD-s fotometriás módszerrel végeztem. A DPD (dietil-p-fenilén-diamin) szabad aktív klórral történő reakciója során az oldaton rózsaszín elszíneződés látható, ami fotométer segítségével megbízhatóan mérhető. Méréseim során NANOCOLOR® 400D típusú fotométert használtam.



2. ábra: Különböző szabad aktív klór koncentrációjú oldatok elszíneződése DPD hatására

4.1.1. A mérés menete

A szabad aktív klór meghatározásához 50 ml aktív klórtartalmú mintához (csapvíz vagy műoldat) fél-automata pipetta segítségével 2,5 ml puffer oldatot, majd ezt követően ugyanennyi DPD oldatot adagoltam. (A puffer oldat a pH 6,5 közeli értékre állításához szükséges.) A minta - szabad aktív klórtartalmának függvényében- a rózsaszín különböző árnyalatait vette fel (2. ábra). (Minél magasabb egy minta szabad aktív klór tartalma annál élénkebb a rózsaszín elszíneződés.) Az elszíneződött mintát küvettába töltöttem majd fotóméter segítségével megmértem.

Minden mérés előtt vakpróbát készítettem, ami során a minta helyett 50 ml ioncserélt vizet használtam, minden mást változatlanul végeztem.

4.2. Mérési alkalmak és helyszínek, vizsgálati körülmények

4.2.1. Előzetes vizsgálatok

Vizsgáltom első fázisában a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vizi közmű és Környezetvédelmi tanszék laboratóriumában végeztem méréseket, melyek során 16 g/l koncentrációjú nátrium-hipoklorit oldatot hígítottam ioncserélt vízzel különböző koncentrációkra, és ezen oldatok szabad aktív klór tartalmának változását vizsgáltam az idő függvényében, nyílt rendszerben. Az elkészült oldatot dugós normál lombikban elszívófülke alatt tároltam, és adott időközönként mérőpohárba töltöttem belőle, amit azonnal mértem. Hasonló méréseket végeztem a csapvíz szabad aktív klór koncentrációjának időbeni változására is. Méréseimből hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a szabad aktív klór meghatározását csak az adott fogyasztói helyeken, azonnali mérésekkel tudom megfelelően elvégezni, mivel a klór az egyensúlyi reakciók miatt gyorsan távozik a rendszerből (4,5 egyenletek).

4.2.2. Mérési helyszínek

Helyszíni méréseimet 2019. július 22. és augusztus 14.-e között, megközelítően négy héten keresztül, az alábbi fogyasztói pontokon végeztem:

2. táblázat: Mérési helyszínek

típus	cím száma	cím
társasház	1	1024 Mechwart tér 3.
	2	1034 Beszterce u. 22-24.
	3	1048 Hajló utca 33.
	4	1051 Nádor utca 17.
	5	1063 Kmety György u. 14.
	6	1063 Székely Bertalan u. 12/a
	7	1063 Szinyei Merse u.12.
	8	1064 Podmaniczky u. 71.
	9	1067 Eötvös utca 41/b
	10	1078 Marek József u. 15.
	11	1089 Orczy út 42
	12	1091 Ifjúnunkás utca 6/4.
	13	1092 Hőgyes Endre utca 3.
	14	1092 Ferenc körút 36.
	15	1116 Mezőkövesd út 1.
	16	1119 Albert u. 23
	17	1121 Agancs út 30-32
	18	1121 Szilassy út 12
	19	1121 Fodor lejtő 4.
	20	1122 Városmajor utca 43/a
	21	1123 Győri út 2b
	22	1126 Németvölgyi út 25.
	23	1131 Tomori utca 23.
	24	1193 Szigligeti u. 6.
	25	1194 Háromszék utca 61.
	26	1221 Ady Endre u. 119-121.
	27	1223 Tűzliliom u. 51
	28	2040 Budörs Szivárvány utca 3.
	29	2092 Budakeszi Honvéd utca 7.

típus	cím száma	cím
10 emeletes	30	1031 Amfiteátrum u. 27. 7. Em
	31	1036 Lajos utca 109. Fsz.
	32	1043 Aradi utca 3. 9/54
	33	1108 Tavasz utca 4/59
	34	1108 Szövetség u. 20.
	35	1115 Etele út 56/b
	36	1117 Alíz utca 6/b
	37	1157 Zsókavár utca 49. 10/41
	38	1173 Újlak u. 21.
családi ház	39	1119 Rátz László u. 55.
	40	1163 Batsányi János út 51.
	41	1171 Csabagyöngye u. 32.
	42	1172 Ároktő utca 57
	43	1172 Ósagárd u. 54.
	44	1173 514. u. 3.
	45	1193 Áram utca 38. fszt. 1.
	46	1224 Dózsa György út 168/b
	47	2310 Dereglye utca 12
	48	2310 Dereglye utca 5/a

4.2.3. Vizsgálatok jellegzetességei

A vizsgálatok adott helyszíneken, magas társasházak (jellemzően 10 emeletes panelok) esetében az épületek két egymástól vertikálisan nagyobb távolságban lévő (általában legfelső és legalsó szintjén) pontjain történtek. Családi házak és egyéb társasházak esetében a méréseket csak egy ponton végeztem.

Azokon a helyeken, ahol épületen belül két szintről is vettem vizet, helyszíneként változott, hogy az adott ponthoz tartozó mintákat az épület felső vagy alsó pontján vizsgálom, de minden esetben csak egy ponton alakítottam ki a mérési helyszínt. Ebből következően elkerülhetetlen volt, hogy a mintákat a különböző szintek között egy erre a célra kijelölt műanyag palackban szállítsam. Családi házak és egyéb társasházak esetében természetesen nem kellett a palackot használnom.

Adott helyszínen történő vizsgálataimat a mozgatható mérési hely felállításával kezdtem, majd ezt követően a magammal vitt desztillált vízből elkészítettem és megmértem a vakmintát. A vakminta mérése után a helyszínhez tartozó csapvizet is

megmértem. 10 emeletes házak esetében ilyenkor az épület másik pontjára mentem a vízért. (Ha a labor a 10. emeleten volt a földszintre, ha a földszinten volt akkor a 10. emeletre.) A szállításra egy literes műanyag palackot használtam, azt a megbeszéltek csapból kifolyó vízzel kétszer kiöblítettem, majd színültig töltöttem és lezártam. A lezárás pillanatától a mérés pillanatáig mértem az eltelt időt. A mérés további menete a korábban leírtak (4.1.1) szerint történt. Az első minta soha nem a mérési hely szintjéről származott. A második mintát a mérési hely szintjéről vettem, hasonlóképpen ugyanabba a műanyag edénybe, ugyanazzal a töltési eljárással, mint az első mintánál, majd a lezárástól kezdve ugyan annyi időt vártam a mérésig, mint amennyi az első mintavétel és mérés között telt el. (Ezek az időtartamok általában 1-2 percesek voltak.)

Családi házak és egyéb társasházak esetében a vakminta elkészítése után azonnal vettem vizet az adott helyről (általában konyhai, ritkábban fürdőszobai csap), majd a minta megvétele után a csapot nem zártam el, hagytam a vizet áramlani amíg lemérem az első csapvíz mintát. Az első minta eredményét feljegyeztem, majd a második mintám vételéhez a vizet hőmérséklet-állandóságig folyattam. (Ezt az eljárást a 10 emeletes házak esetében csak az egyik szinten volt lehetőségem elvégezni.) Adott helyszínen történő vizsgálataim megközelítőleg 15-45 percig tartottak.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. A fogyasztói helyeken megvalósítandó aktív klór méréseket megalapozó laboratóriumi vizsgálatok eredményei

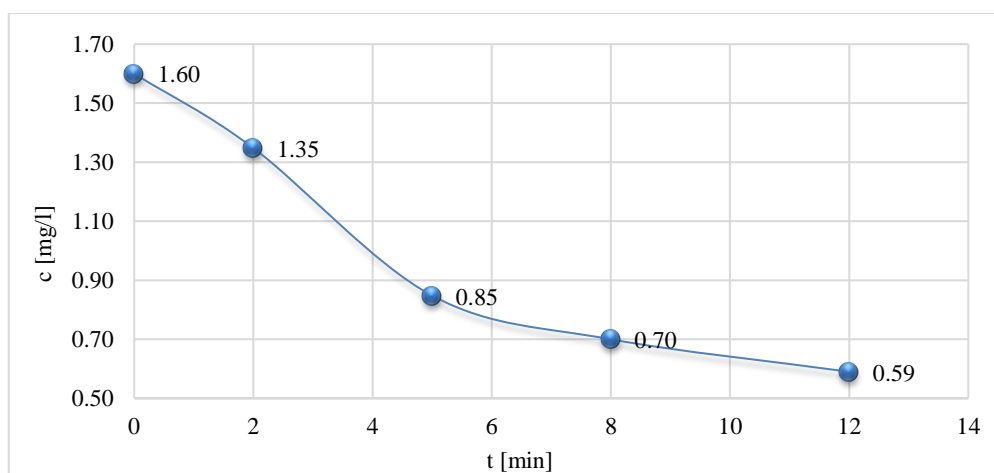
5.1.1. Nátrium hipoklorit oldatok vizsgálatának eredményei

Az előzetes laboratóriumi vizsgálataim során a korábban említett 16 g/l koncentrációjú nátrium -hipoklorit oldatot hígítottam különböző koncentrációkra és a szabad aktív klór koncentráció változását vizsgáltam az idő függvényében. Összesen négy alkalommal (négy különböző nap) végeztem el a nátrium-hipoklorit oldat vizsgálatát, különböző hígításokban, melyek táblázatos és grafikonos eredményeit alább ismertetem.

- Az *első* mérés során a nátrium- hipoklorit oldatot két lépésben 1,6 mg/ l koncentrációjú oldattá hígítottam, majd a készítéstől eltelt 2. 5. 8. és 12. percben megmértem az aktív klór koncentrációját.

3. táblázat: Az 1. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [perc]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	1.60
2	1.35
5	0.85
8	0.70
12	0.59



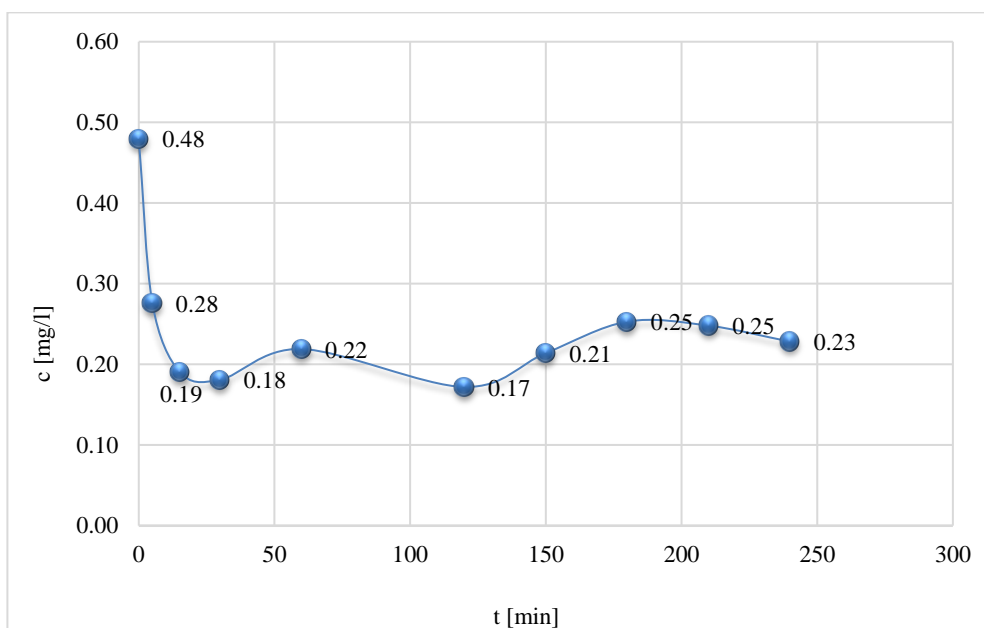
3. ábra: Az 1. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Már ezen az egy mérésen is látszik, hogy a szabad aktív klór mennyisége az első 5 percben jelentős mértékben csökken.

- *A második* mérésnél szintén 1,6 mg/l koncentrációjú oldat létrehozását terveztem.

4. táblázat: A 2. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [min]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.48
5	0.28
15	0.19
30	0.18
60	0.22
120	0.17
150	0.21
180	0.25
210	0.25
240	0.23



4. ábra: A 2. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Sajnos ennél a mérésnél a dugó nem volt megfelelően a mérőlombikra illesztve, illetve a „0” időpontban feltüntetett koncentráció nem közvetlenül az oldat készítése után került megmérésre, több perc is eltelhetett addig. A

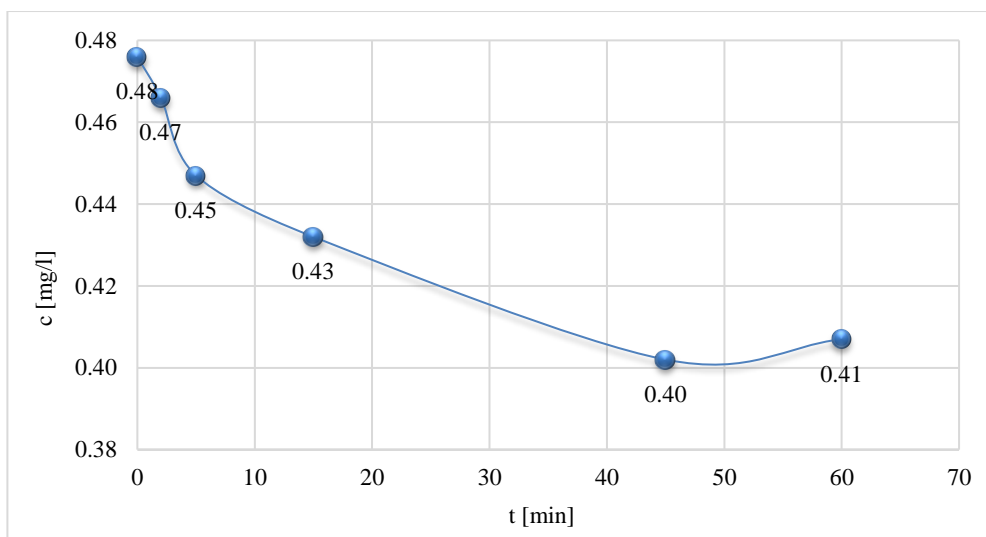
„0” időpontban tehát már valószínűleg (ahogy az a grafikonon is látszik) eltávozott a rendszerből a klór.

A második mérésre további hibafaktorok is jellemzőek: a pipetta hegye nem volt megfelelően a pipettára illesztve, valamint a szükséges 2,5 ml helyett 3 ml- re volt állítva a felszívási térfogat, amit csak a mérés végén vettem észre. A laborban továbbá a hypo elől maradt, és szellőztetés hiányában a természetesnél nagyobb koncentrációban lehetett a labor levegőjében klór, valószínűleg ezért sem tudott beállni az egyensúly.

- A **harmadik** mérésnél a nátrium- hypoklorit oldatot két lépésben elméletileg 0,96 mg/ l koncentrációjú oldattá hígítottam. A méréseket a kezdeti sűrűbb után 15 perces időközönként végeztem, majd az oldatot a mérést követő 24 illetve 48 órában is megmértem. (Ezt a két értéket nem tüntettem fel a diagramon)

5. táblázat: A 3. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [min]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.48
2	0.47
5	0.45
15	0.43
30	0.44
45	0.40
60	0.41
1440	0.44
2880	0.42



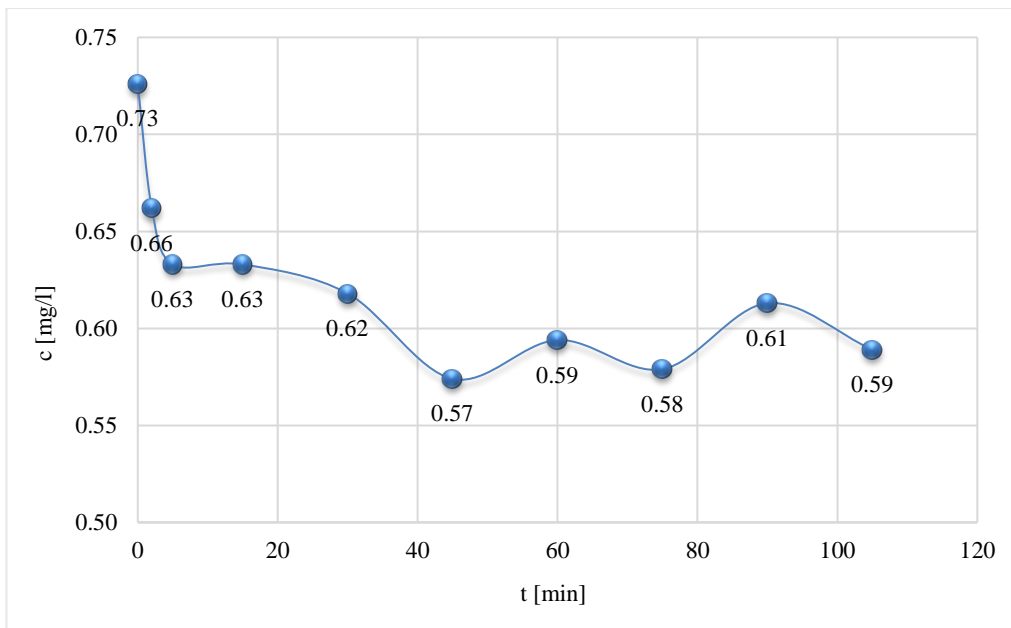
5. ábra: A 3. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

A koncentráció csökkenése már a “0” időpontnál is jelentős. Ez valószínűleg azért van, mert ahogyan az a második mérésnél, úgy itt sem az azonnali mérés értéke. Sajnos az oldat elkészülte és a 0. mérés között-feljegyzéseim szerint legalább 5 perc telt el. Így természetesen – mivel minden a 0 hoz volt viszonyítva- az azt követő időpontok is csak az időpontok közötti különbségre adnak információt.

- A *negyedik* és egyben az utolsó NaOCl oldattal végzett mérésem során szintén 0,96 mg/l koncentrációra hígítottam az oldatot, majd mértem. Ennél a mintánál is vizsgáltam 24 óra elteltével (a diagramon nem ábrázoltam)

6. táblázat: A 4. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [min]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.53
2	0.73
5	0.66
15	0.63
30	0.63
45	0.62
60	0.57
75	0.59
90	0.58
105	0.61
120	0.59
1440	0.47



6. ábra: A 4. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Sajnos az azonnali mérésnél a pipetta rossz beállítása miatt a várthoz képest más eredményt kaptam, ezért ezt nem is ábrázoltam a diagramon. A koncentráció csökkenés ennek ellenére is jól megfigyelhető.

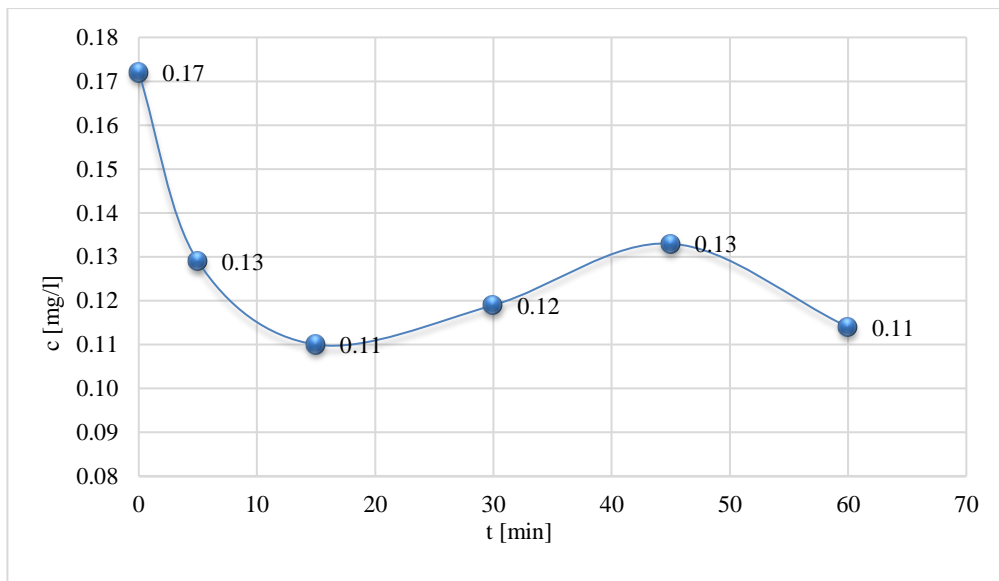
5.1.2. Csapvízminták szabad aktív klór koncentráció változásainak eredményei

A modell-oldatok vizsgálata után a nyomás alatti ivóvízhálózatból vett légköri nyomásra kiengedett csapvíz szabad aktív klór koncentrációjának változásait is hasonlóan vizsgáltam. A mintavételeket és a vizsgálatokat három különböző alkalommal (három nap) végeztem a BME -VKKT laboratóriumában.

- *Első* csapvízminta

7. táblázat: Az 1. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [min]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.17
5	0.13
15	0.11
30	0.12
45	0.13
60	0.11

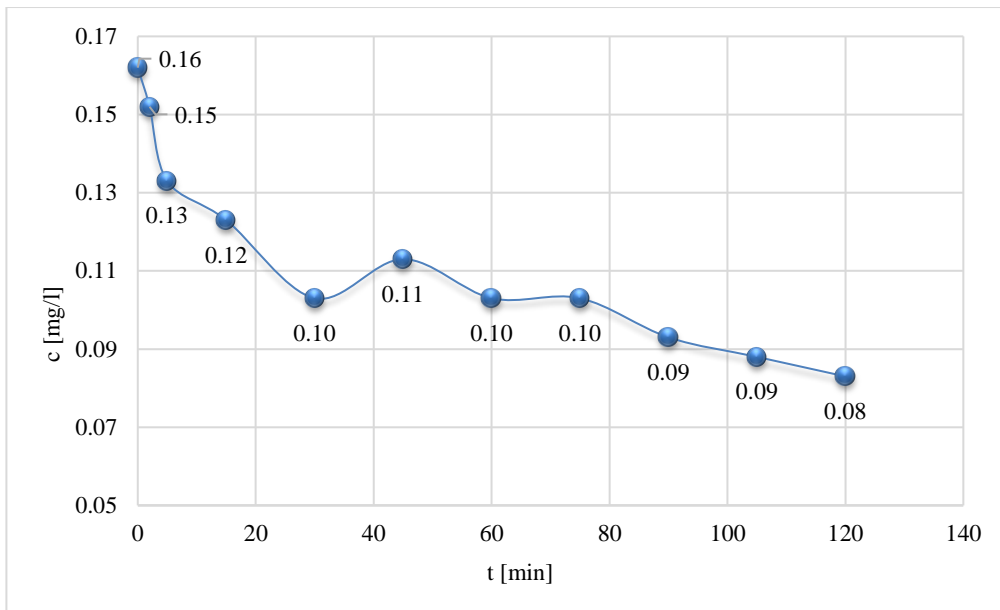


7. ábra: Az 1. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

- **Második** csapvízminta

8. táblázat: A 2. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [min]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.16
2	0.15
5	0.13
15	0.12
30	0.10
45	0.11
60	0.10
75	0.10
90	0.09
105	0.09
120	0.08



8. ábra: A 2. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Ezen a grafikonon is jól látszik az aktív klór koncentráció időbeni csökkenése.

- **Harmadik** csapvízminta

9. táblázat: A 3. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben

Szabad aktív klór koncentráció változása időben	
Eltelt idő [perc]	Aktív klór koncentráció [mg/l]
0	0.10
2	0.12
5	0.07
15	0.11
30	0.09
45	0.10
60	0.10
75	0.11
90	0.10
105	0.09
120	0.10
135	0.09
150	0.10

Ezen mérés körülményei között több bizonytalanság is felmerült ezért az étékelésbe nem kívánom bevonni.

5.1.3. Az előzetes vizsgálatokból levont következtetések

Az eredeti elképzelésem szerint az aktív klór koncentrációkat adott helyszínekről vett mintákban, a beszállítást követően, a BME-VKKT laboratóriumában szándékoztam megvizsgálni. A minták szállítása több órát igényelt volna, ezért meg akartam győződni arról, hogy jelentősebb koncentráció változásra nem kerül sor szállítás közben.

Ahogy az a grafikonokon is jól látható, az aktív klór szabad levegőn, az egyensúlyi reakciók miatt (4, 5) rendkívül gyorsan távozik a vízből, így az egyes fogyasztói pontokon vett víz laboratóriumba szállítására nem volt lehetőségem, ezért a további méréseimet az adott helyszíneken végeztem el.

Méréseimből ezen kívül megállapítható, hogy a csapvízmintákban lévő aktív klór koncentrációkban, adott idő után egyensúlyhoz közeli állapotok alakulnak ki, és ezek a közel 0,1 mg/l-es értékek elegendőek a szolgáltatott ivóvíz mikrobiológiai biztonságának fenntartásához.

5.2. A fogyasztói pontokon megvalósított aktív klór vizsgálatok eredményei

A helyszínen mért adatokat a 10. táblázatban foglaltam össze, ahol az értékek színei ábrázolják, hogy a víz milyen módon volt gyűjtve. Lilával jelöltem az azonnali kiengedésből származó adatokat, zölddel a kifolytatás utániakat. Narancssárga színnel a 10. emeletes házak sorszámait jelöltem.

10. táblázat: Helyszíni mérések

Helyszíni mérések					
Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.07.22. (Hétfő)	10:10-10:17	17	konyhai csap	0.14	nem mértem
	11:08-11:15	21	konyhai csap	0.16	nem mértem
	12:48 -13:00	41	konyhai csap	0.02	nem mértem
				0.01	
	16:00-16:10	48	konyhai csap	0.02 0.02	nem mértem
	16:28-16:40	47	konyhai csap	0.02	nem mértem
	18:54-19:07	16	konyhai csap	0.08	nem mértem

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.07.23. (Kedd)	8:45-9:00	20	konyhai csap	0.13	nem mértem
	9:50	18	konyhai csap	0.02 0.01	nem mértem
2019.07.24. (Szerda)	9:10-9:41	34	10. emeleti konyhai csap	0.05	nem mértem
			1. emeleti konyhai csap	0.10	
			5. emeleti konyhai csap	0.05	
	11:04-11:22	13	konyhai csap	0.01 0.00	nem mértem
	12:15-12:20	21	konyhai csap	0.09	nem mértem
	13:03-13:18	14	konyhai csap	0.09 0.25	nem mértem
	15:40	15	fürdőszobai csap	0.02 0.02	nem mértem
	16:15	39	konyhai csap	0.01 0.00	nem mértem
	17:43-18:03	9	konyhai csap	0.09 0.28	nem mértem
	18:49	12	konyhai csap	0.01 0.02	nem mértem
2019.07.25. (Csütörtök)	9:11	19	kerti csap	0.01 0.17	nem mértem
	10:30-10:43	26	konyhai csap	0.05 0.12	nem mértem
	15:35- 15:53	15	fürdőszobai csap	0.01 0.00	22.0 19.5
	16:10-16:35	39	konyhai csap	0.03 0.08	23.5 20.0
	17:25-17:38	9	konyhai csap	0.19 0.27	19.5 15.0
	18:56-19:19	36	konyhai csap	0.06 0.14	23.0 18.5

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.07.26. (Péntek)	9:07-9:35	29	konyhai csap	0.06	25.0
				0.17	19.5
	11:45-12:06	35	konyhai csap	0.02	29.0
				0.04	19.5
	12:03-12:15	13	konyhai csap	0.02	28.0
				0.08	19.5
	15:35-16:12	30	10. emeleti csap	0.03	30.0
			Fszt.-i csap	0.00	24.0
			7. emeleti konyhai csap	0.03	24.0
			7. emeleti konyhai csap	0.19	15.0
	17:35-17:50	8	konyhai csap	0.02	26.0
				0.25	17.0
18:45	16	konyhai csap	0.05	26.0	
			0.15	17.5	
2019.07.29. (Hétfő)	9:10-9:30	45	konyhai csap	0.05	22.5
				0.04	19.5
	9:48-10:25	24	konyhai csap	0.07	26.0
			fürdőszobai csap	0.13	18.0
	11:08-11:30	25	konyhai csap	0.12	18.5
				0.16	27.0
	13:15-13:34	2	konyhai csap	0.31	20.5
				0.04	23.0
	16:10-16:38	22	konyhai csap	0.07	18.0
				0.22	23.0
19:00-19:15	11	fürdőszobai csap	0.30	17.0	
			0.06	26.0	
			0.08	19.5	

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2017.07.30. (Kedd)	8:35-9:15	32	fsz.-i konyhai csap	0.22	16.5
			9.emeleti konyhai csap	0.15	24.0
				0.27	16.0
	10:00-10:20	14	fürdőszobai csap	0.12	25.0
				0.31	16.5
	10:50-11:05	5	konyhai csap	0.13	21.0
				0.23	17.0
	11:30-11:45	7	konyhai csap	0.05	25.5
				0.26	16.5
	12:20-12:45	6	konyhai csap	0.08	23.5
0.31				16.0	
14:47-15:08	41	konyhai csap	0.09	25.0	
			0.24	22.0	
2017.07.31. (Szerda)	14:35-14:57	31	10. emeleti konyhai csap	0.04	27.5
			1. emeleti konyhai csap	0.09	25.0
	16:20-16:45	15		fürdőszobai csap	0.11
			0.02		23.5
	16:35-17:08	39	konyhai csap	0.03	19.0
				0.01	25.0
18:40-18:55	44	konyhai csap	0.07	20.0	
			0.16	23.5	
2017.08.01. (Csütörtök)	8:55-9:17	45	konyhai csap	0.20	21.5
				0.04	22.5
	9:45-10:15	25	konyhai csap	0.09	19.5
				0.07	26.5
	12:30	17	konyhai csap	0.29	19.5
				0.13	21.5
			0.17	19.0	

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín	Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]	
2019.08.02. (Péntek)	8:40-9:02	32	Földszinti konyhai csap	0.20	17.5
			9.emeleti konyhai csap	0.07	27.5
	9:33-10:02	37	1.emeleti csap	0.23	19.0
			10. emeleti konyhai csap	0.10	26.5
	10:53	40	konyhai csap	0.25	18.0
				0.01	24.5
	13:05-13:23	4	konyhai csap	0.15	20.5
				0.02	24.0
	14:49-15:10	47	konyhai csap	0.06	18.0
				0.01	25.0
2019.08.05. (Hétfő)	8:30-8:55	10	konyhai csap	0.03	22.0
				0.09	21.0
	10:05-10:35	19	kerti csap	0.12	19.0
				0.01	25.0
	11:25-11:40	1	konyhai csap	0.14	18.5
				0.06	27.0
	12:10-10:28	21	konyhai csap	0.17	19.0
				0.17	23.0
	13:30-13:50	24	konyhai csap	0.19	18.5
				0.04	25.5
	15:08-15:25	12	konyhai csap	0.07	18.5
				0.03	24.0
	16:50-17:10	23	konyhai csap	0.04	21.5
				0.03	28.0
18:57-19:25	31	10. emeleti konyhai csap	0.19	18.0	
			0.00	21.0	
		1.emeleti konyhai csap	0.00	21.5	
			0.01	17.0	
			0.01		

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.08.06 (Kedd)	8:33-8:48	27	konyhai csap	0.01	26.0
				0.18	15.5
	9:55-10:11	28	konyhai csap	0.20	24.0
				0.23	19.0
	11:34-12:03	18	konyhai csap	0.00	21.0
				0.00	17.5
0.00	17.0				
2019.08.07. (Szerda)	9:03-9:31	33	fsz.-i konyhai csap	0.14	20.0
			10. emeleti konyhai csap	0.07	29.5
				0.18	20.0
	10:45-11:00	40	konyhai csap	0.08	22.0
				0.16	20.5
	12:33-12:52	13	konyhai csap	0.05	24.5
				0.14	18.5
	14:12-14:30	29	konyhai csap	0.14	23.0
				0.17	20.0
	16:15-16:27	12	konyhai csap	0.02	24.0
				0.03	21.0
	17:53-18:12	16	konyhai csap	0.01	27.0
0.14				16.5	

Helyszíni mérések

Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.08.08. (Csütörtök)	8:58-9:23	20	konyhai csap	0.09	24.0
				0.22	18.0
	10:00- 10:24	5	konyhai csap	0.11	24.0
				0.19	17.0
	10:45-11:00	8	konyhai csap	0.17	22.0
				0.26	17.0
	13:03	35	fsz.i fodrászat	0.07	21.5
			8. emeleti konyhai csap	0.05	25.5
					0.13
	14:10	46	kerti csap	0.00	24.5
				0.09	17.5
	16:09-16:40	38	10. emeleti fürdőszobai csap	0.04	26.5
			1.emeleti konyhai csap	0.09	19.5
			7.emeleti konyhai csap	0.01	26.5
		0.13		19.0	
18:55- 19:23	36	konyhai csap	0.13	23.5	
			0.13	18.5	
2019.08.12. (Hétfő)	9:04	5	konyhai csap	0.09	21.5
				0.19	16.5
	10:54-11:17	26	konyhai csap	0.07	22.5
				0.00	19.0
				0.07	19.0
	14:15-14:30	8	konyhai csap	0.08	22.5
				0.15	17.5
	18:50-19:05	39	konyhai csap	0.02	25.0
0.02				20.5	

Helyszíni mérések					
Dátum	Mérés ideje	Helyszín		Aktív klór koncentráció [mg/l]	A vizsgált víz hőmérséklete [°C]
2019.08.14. (Szerda)	9:09-9:30	23	konyhai csap	0.06	25.5
				0.18	18.0
	10:45-11:05	3	konyhai csap	0.01	23.0
				0.22	16.5
	12:15-12:30	1	konyhai csap	0.02	24.0
				0.21	19.5
	15:07-15:34	33	földszinti konyhai csap	0.07	20.5
			10. emeleti konyhai csap	0.03	28.5
				0.09	20.5
	16:15-17:00	34	10. emeleti konyhai csap	0.10	22.0
			Földszinti konyhai csap	0.10	21.5
			5.emeleti konyhai csap	0.05	24.5
				0.05	20.0
	18:18-18:37	44	konyhai csap	0.10	24.0
				0.14	23.0
19:47-20:04	43	konyhai csap	0.01	21.0	
			0.09	22.5	
			0.02	22.5	
20:15-20:39	42	konyhai csap	0.01	20.5	
			0.16	20.0	

A 10. táblázathoz néhány kiegészítést tennék:

- Mérésem első három napján nem mértem mindenhol kifolytatás utáni értékeket, csak ott, ahol nagyon alacsonynak véltem a kapott eredményt. Hőmérséklet értékeket is csak a 4. naptól.
- Július 22.-én hétfőn, a 41-es számú címnél mért alacsony klórkoncentrációk oka feltételezhetően az volt, hogy a szomszédos házban a megelőző napokban csőtörés elhárításán dolgoztak.

- A 15-ös számú újjépítésű házban lévő lakás tulajdonosa szerint a házban még van néhány hiba, köztük lehetnek a vízvezetékek is.
- A 19-es címen a ház vize vízlágyító és vízsűrítő berendezésen haladt át, ezért a vizet a kerti csapból vettem.
- A 36-os szám alatt lévő helyszín egy 9 emeletes társasház, ahonnan eredetileg két szintről is vettem volna vizet, de mivel ez is újjépítésű, hiányosan lakják az emberek. A földszinten nem találtam senkit, aki vizet adott volna. Az augusztus 8.-ai mérésnél valószínűleg azért egyezik meg a kifolyatás előtti és utáni érték, mert előtte használták a csapot.
- A 35-ös számú cím szintén egy 10 emeletes ház, ahol eredetileg szerettem volna az alsó szintről is vizet venni, de az első mérés alkalmával senki nem nyitott ajtót onnan.
- A 40-es cím lakói nyaralás után fogadtak, így még nem volt alkalmuk használni a csapot, amiből a vizet vettem, ezért az alacsony érték.
- A 46-os címen jelenleg épülőfélben van a ház, így a vizet egy kerti csapból vettem és a méréseket az alábbi képeken látható (9-10. ábra) „terepi viszonyok között” végeztem.
- A 38-as címen az 1. és a 7. emeleti víz az épület ugyanarról az oldaláról származott, míg az 10. emeleti a másiktól - így mindhárom vizsgálati helyszín vize más-más felszálló vezetékről származott.
- A 43-as címen lévő családi házban a 3. mérés egy víztisztító berendezésen átfolyt vízminta értéke.
- A 30-as címen nagyon nehezen találtam embereket a földszintről, illetve a 10. emeletről, az alacsony értékek valószínűleg kiengedés nélküliek.



9. ábra: Rendhagyó mérési körülmények

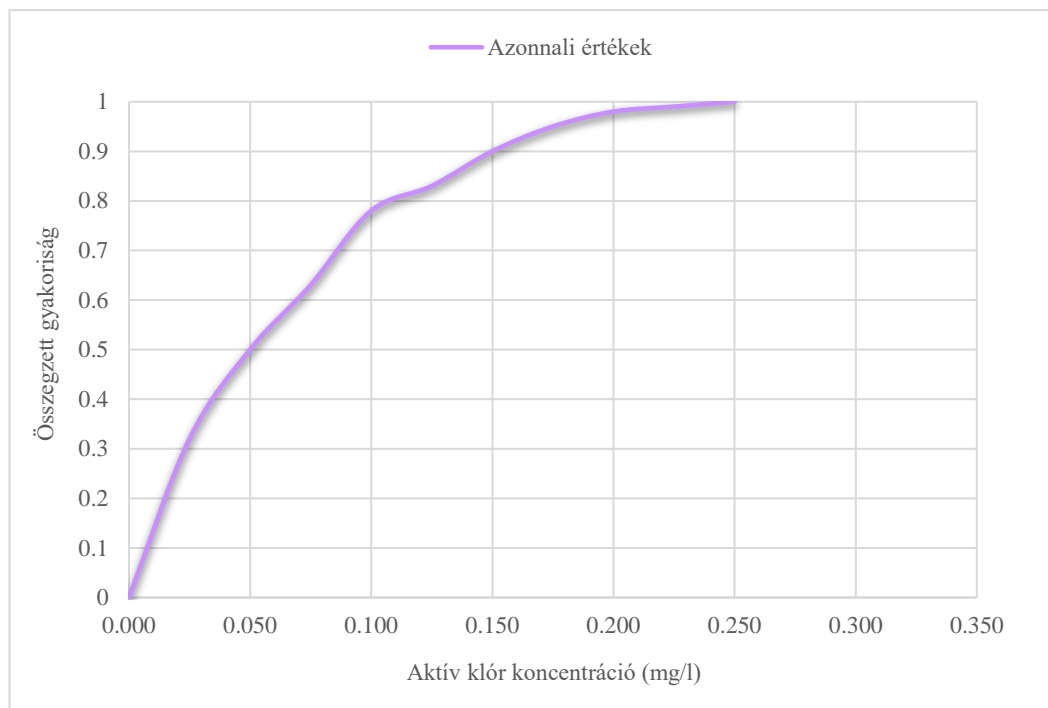


10. ábra: Rendhagyó mérési körülmények

5.2.1. A helyszíni vizsgálatok összefoglaló ismertetése és értékelése

5.2.1.1 A csap nyitását követően azonnal gyűjtött minták értékelése

59 mintavételi helyen került sor 103 vizsgálatra olyan körülmények között, amikor a csap nyitását követően azonnal mintát vettem és elvégeztem a szükséges klórkoncentráció mérést. A mért értékek eloszlását a 11. ábrán mutatom be.

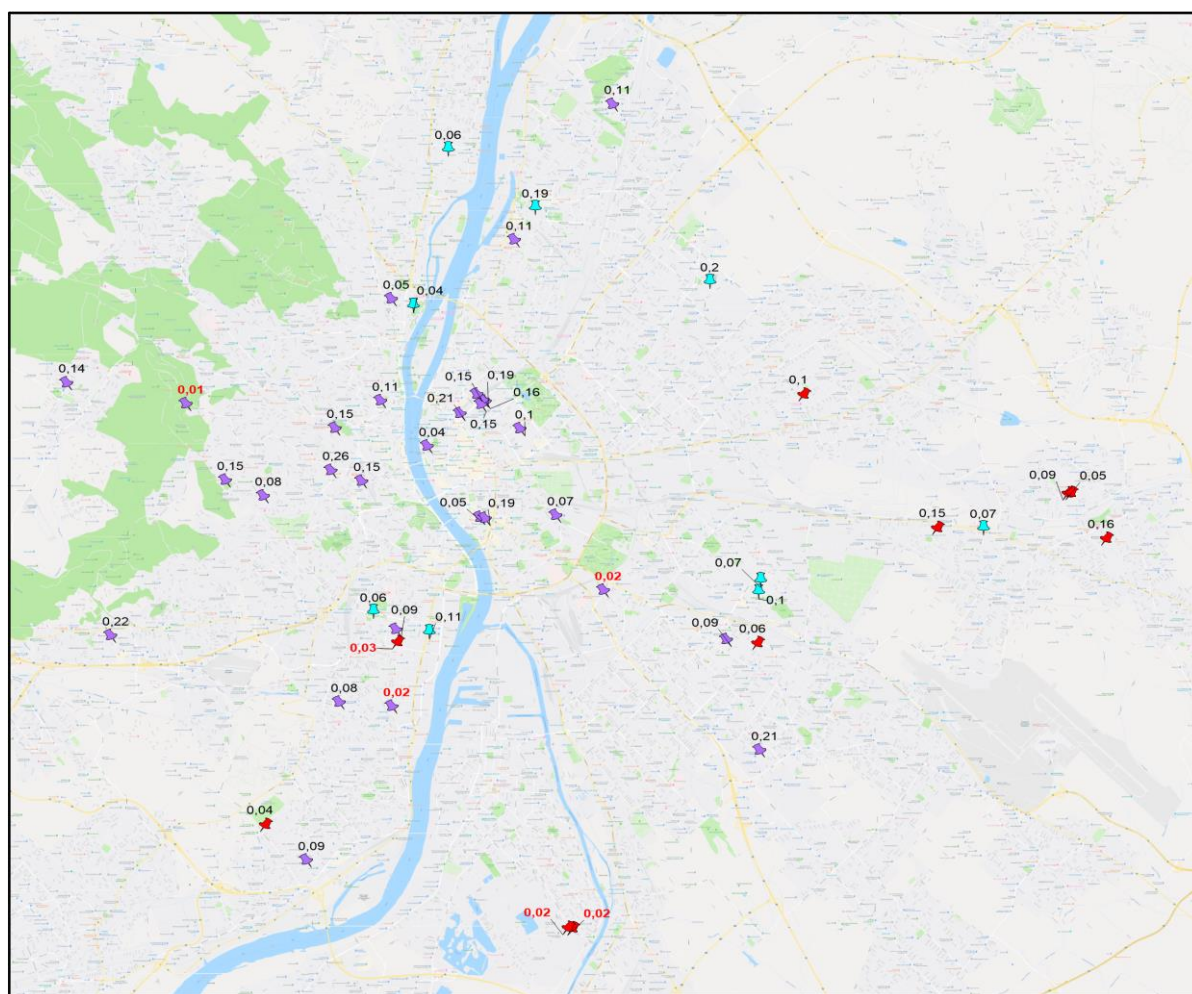


11. ábra: A csap nyitását követően azonnal mért klórkoncentrációk eloszlása

Az ábrán megfigyelhető, hogy a mért koncentrációértékek 0,00 és 0,23 mg/l koncentráció tartományban helyezkednek el. Megfigyelhető továbbá, hogy a mért értékek megközelítőleg 50 %-a 0,05 mg/l koncentráció értéket sem éri el. Figyelembe véve azt, hogy a szolgáltató megközelítőleg 0,3 mg/l aktív klór koncentrációval bocsájtja hálózatba a vizet, a csökkenés nagymértékűnek tekinthető. A diagramom közölt mérési eredmények alapján az összes mért (azonnali) érték 10%-a lesz nagyobb 0,15 mg/l-nél. A nagymértékű koncentráció csökkenésnek több oka is lehet. Egyrészt a hálózat gerincvezetékeiben való lassú áramlás miatt a víz hosszú ideig (több órán át) tartózkodik az elosztóhálózatban és részben ez is okozhatja az aktív klór koncentráció csökkenését. Az elosztóhálózat anyaga tartalmazhat redukáló tulajdonságokkal rendelkező anyagokat, melyek az oxidatív tulajdonságú klórt fogyasztják. Elhagyva az elosztóhálózati gerincvezetékét, a víz a fogyasztók belső (épületen belüli) elosztóvezetékeibe jut, melyekben szintén hosszabb tartózkodási idővel számolhatunk.

Az épületen belüli elosztóhálózat anyagi minősége és a csövek falán kialakuló biofilm szintén okozhat a víz aktív klór koncentrációjának csökkenésére.

Tekintettel arra, hogy a város különböző pontjain sikerült vízmintákat gyűjtenem és azok aktív klór koncentrációját megmérnem, képet kaphatunk arról, hogy melyik területek azok melyeken nagyon kis aktív klór koncentrációk jelennek meg a fogyasztói csapokon. Az alábbi térképes ábrázoláson az adott fogyasztói helyeken, a csap nyitását követően azonnal mért klórkoncentrációk átlagos értékeit tüntettem fel. A térképen piros színnel mutatom be a családi házakat, kézzel a 10 emeletes panelházakat, míg lilával az egyéb társasházakat jelölöm. Az 12. ábrán bemutatott térképen megfigyelhető, hogy vannak olyan helyek ahol különösen alacsony a klórkoncentráció. Ezek Albertfalva, Zugliget, Szigetszentmiklós határa és az Ecséri út környékén található, ahol többször is rendkívül alacsony klórkoncentrációkat mértem. A térképen értékeiket piros számokkal jelöltem.



12. ábra: A csap nyitását követően azonnal gyűjtött minták térképes ábrázolása

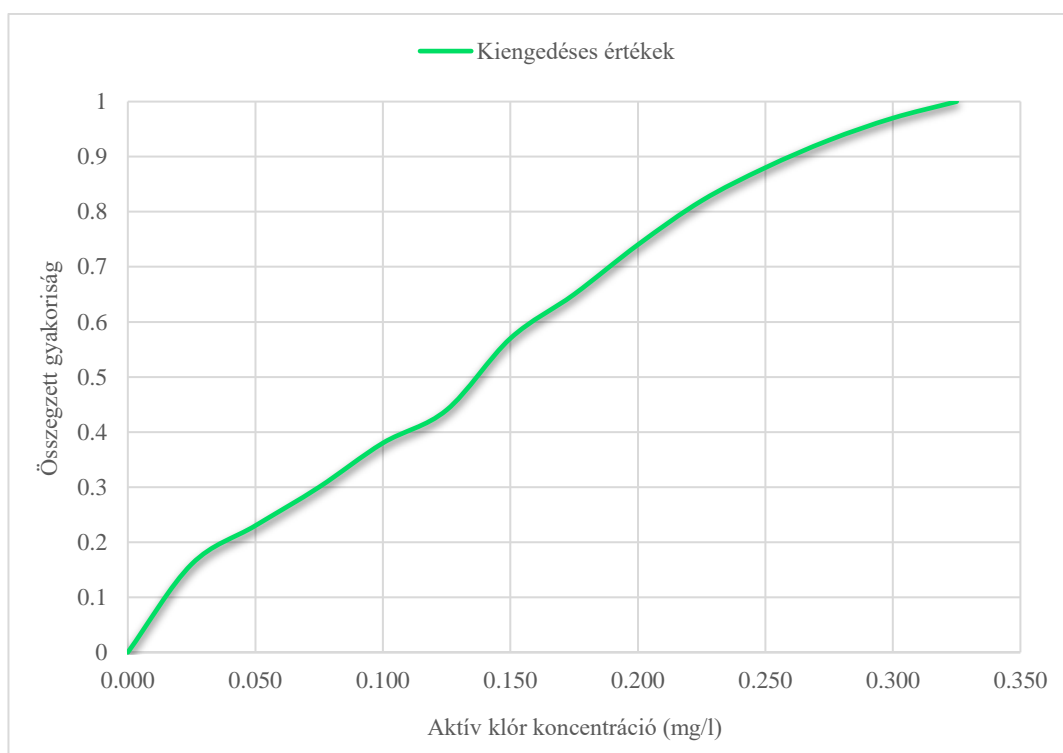
Különös figyelmet fordítottam a házgyári elemekből létesített 10 emeletes házakban lévő lakásokra. Igyekeztem különböző magassági szinteken elhelyezkedő lehetőleg azonos strangokhoz tartozó lakásokat választani vizsgálataimhoz. Ezzel azt szerettem volna megállapítani, hogy a különböző emeleteken elhelyezkedő lakásokban mérhető klórkoncentrációk milyen mértékben különböznek egymástól. A vizsgálati eredményeket a 10. táblázatban mutatom be. A mérési eredmények nem mutatnak egységes képet. Több alkalommal a magasabban elhelyezkedő lakásokban, más esetekben az alacsonyabb szinteken gyűjtött mintákban mértem nagyobb aktív klór koncentrációkat.

A csap nyitását követően közvetlen gyűjtött vízminták aktív klór koncentrációi jelentős mértékben függenek az épületen belüli vízellátó hálózatban bekövetkező vízmozgástól. Különösen a nyári időszakban - amikor a víz hőmérséklete magasabb - és jellemzően a nappali órákban csökkentett vízhasználatra kerül sor az adott épületekben, ezért a vízmozgás lelassulásával kell számolnunk. Az sem lehetetlen, hogy egyes vezetékszakaszokon több órán keresztül nem tapasztalható vízmozgás. Ebben az esetben nem lepődhetünk meg azon, hogy közvetlenül a vízcsap megnyitása után gyűjtött mintában csak nyomokban tudunk kimutatni aktív klórt. A fent említett jelenségek egyenes következménye a 11. ábrán látható eredmény, azaz a vizsgált minták 50 %-ában 0,05 mg/l – nél kisebb aktív klór koncentrációkat mértem.

5.2.1.2 Hőmérsékletállandóságig kifolyatott vízből gyűjtött minták értékelése

49 mintavételi helyen került sor 86 vizsgálatra olyan körülmények között, amikor a hőmérsékletállandóságig kifolyatott vízből vettem mintát és végeztem el a szükséges klórkoncentráció mérést. A mért értékek eloszlását az 13. ábrán mutatom be. A 11. ábrával ellentétben megfigyelhető hogy, a mért értékek nem egészen 25%-a kisebb 0,05 mg/l-nél. Az is látható továbbá, hogy a mért értékek nem egészen 40%-a kisebb 0,10 mg/l-nél. Ez a két számadat jól szemlélteti, hogy az úgynevezett „kifolyatott” vízmintákban lényegesen nagyobb aktív klór koncentrációk jelennek meg, mint a vízcsap megnyitását követően közvetlenül gyűjtött vízmintákban. Míg a 11. ábrán az összes vizsgált minta 90%-a 0,15 mg/l aktív klór koncentrációnál kisebb, addig az összes „kifolyatott” vízminták nem egészen 60%-a tartozik ugyanehhez az említett koncentráció tartományhoz. A 13. ábrán bemutatott mérési eredményekből következik, hogy a vizsgált vízminták 40%-ában 0,15 és 0,31 mg/l közötti értékek jelentek meg.

A hőmérsékletállandóságig történő víz kifolytatás jelentős vízmozgást idéz elő az épületen belüli ivóvízellátó hálózatban. A kifolytatott vízminta feltételezhetően a gerincezetékben áramló víz minőségéhez hasonló. Feltételezésem alapján a „kifolytatott” vízmintákban mért aktív klór koncentrációk megközelítően azonosak a vízellátó hálózat gerincezetékében jelenlévő víz aktív klór koncentrációjával. Feltételezésem igazolásához szükségesnek tartom a vízellátó hálózat gerincezetékében áramló víz aktív klór koncentrációjának közvetlen vizsgálatát, és összehasonlítását a lakossági mitavételi pontokon gyűjtött mintákkal. A vízellátó hálózat gerincezetékéből tűzcsapok megnyitásával gyűjthetünk vízmintát.

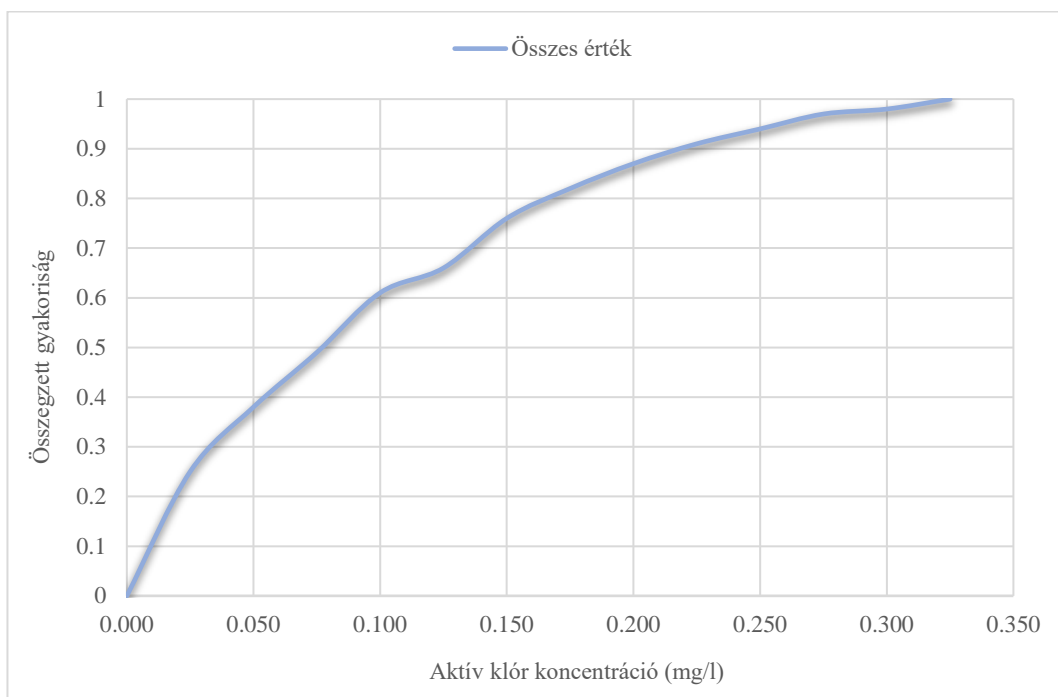


13. ábra: Hőmérséklet állandóságig kifolytatott vízből mért klórkoncentrációk eloszlása

5.2.1.3 A vízminták összesített értékelése

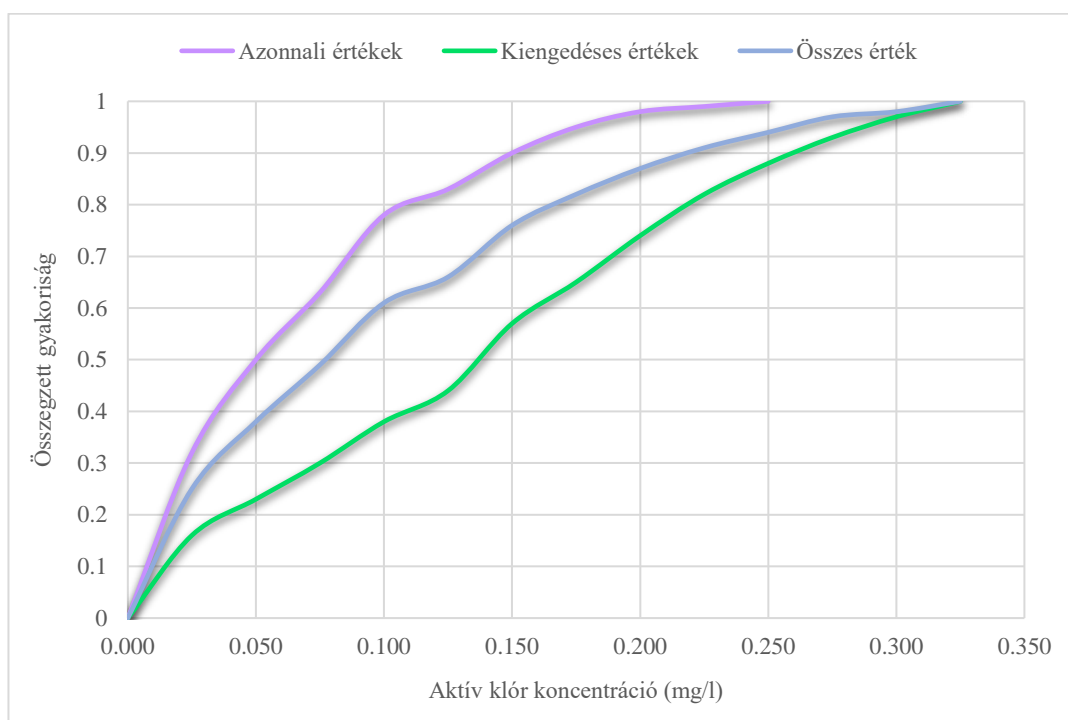
A 11. és 13. ábrákon szélsőséges vízhasználatokra jellemző eloszlások jelennek meg. Nem tarthatjuk jellemzőnek lakossági vízhasználatoknál a hőmérséklet állandóságig történő „kifolytatást” a tényleges vízfelhasználást megelőzően. Azonban az sem jellemző, hogy a konyhai vízhasználat kizárólag étkezési céllal történik. Kiegészítő konyhai tevékenységekre is jelentős vízmennyiséget használunk fel- zöldség, gyümölcs tisztítása; mosogatás; kézmosás stb.- melyek jelentős vízmozgást generálhatnak az épületen belüli vízellátó hálózatban. Feltételezésem szerint a valós lakossági

vízhasználatok aktív klór koncentrációit a 14. ábrán látható eloszlás jellemzi, melyeket a 11. és 13. ábrához felhasznált mérési eredmények összevonásával mutatok be.



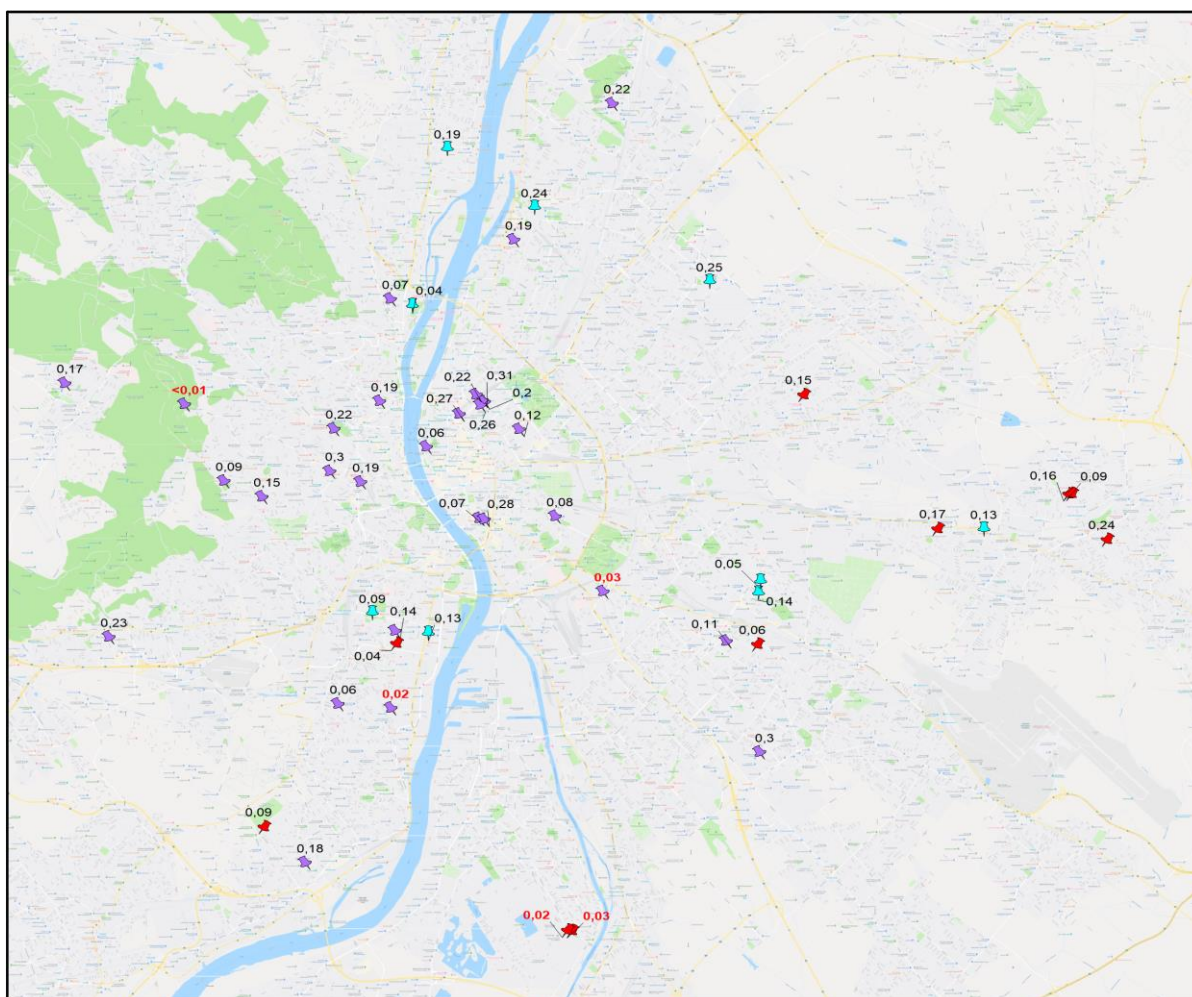
14. ábra: Összes mért klór koncentráció eloszlása

Várakozásomnak megfelelően a 14. ábrán bemutatott aktív klór koncentráció eloszlás a 11. és 13. ábrán láthatók között helyezkedik el. Ezt az elhelyezkedést a 15. ábra szemlélteti, ahol jól látható, hogy az eloszlások alapvetően eltérnek egymástól.



15. ábra: Klórkoncentráció eloszlás görbék

Az összegzett mérési eredmények átlagait az alábbi térképen (16. ábra) tüntetem fel, amely az előzőhöz (12. ábra) hasonlóan családi, és különböző társasházakat jelenít meg az ahhoz tartozó jelrendszer szerint. Az itt feltüntetett adatok a csap nyitását követően azonnal mért, valamint a hőmérsékletállandóságig kifolyatott vízmintákban mért aktív klór koncentrációk átlagolt értékeit tüntetik fel adott helyszínekre vonatkoztatva.



16. ábra: Összegzett mérési eredmények térképes ábrázolása

5.2.2. Következtetések a helyszíni vizsgálatok eredményei alapján

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a hőmérsékletállandóság esetén gyűjtött minták aktív klór értékei az esetek többségében nagyobbak, mint az azonnali mintavételre jellemző koncentrációk.

Tekintettel arra, hogy a hőmérsékletállandóságig kifolyatott mintákban általában nagyobb az aktív klór koncentráció, feltételezhető, hogy ez lehet jellemző a törzshálózati mintavételi pontokra is.

Méréseim jelenlegi szintjén ebből arra lehet következtetni, hogy a lakossági fogyasztói pontokon kisebb aktív klór koncentrációk jelennek meg, mint a szolgáltató törzshálózati mintavételi pontjain.

Fenti megállapításom oka elsősorban az lehet, hogy a szolgáltatott víz tartózkodási ideje az adott lakóépület belső vízellátó hálózatában lényegesen hosszabb, mint a középületekben kijelölt törzshálózati mintavételi helyekhez tartozó belső hálózatokban.

Feltételezésem igazolására olyan vizsgálatokat látok célszerűnek megvalósítani, melyek során közvetlenül a törzshálózatról (utcai tűzesapokról) gyűjtött vízmintában mért aktív klór koncentrációkat hasonlítunk össze a közvetlen közelben lévő lakóépület lakásaiban mért aktív klór koncentrációkkal.

A vizsgált vízminták közel 6%-ában 0,01 mg/l-nél kisebb aktív klór koncentrációk fordulnak elő. Feltételezhetően ez elsősorban annak lehet a következménye, hogy az épületen belüli vízellátó hálózat anyaga, vagy a csővezetékekben kialakuló biofilm „elfogyasztotta” a rendszerben lévő aktív klórt.

Különösen azokon a helyeken tartom szükségesnek a vízellátó gerinchálózat vízének vizsgálatát aktív klór koncentráció szempontjából, ahol a fogyasztói helyeken gyűjtött vízmintákban 0,01 mg/l aktív klór koncentrációnál kisebb vagy 0,01 mg/l- hez közeli értékeket mértem.

6. Összefoglalás

A víz állandó körforgásban van, minősége és felhasználhatósága gyorsan változik. A megfelelő vízminőség biztosítása érdekében végzett kezelési (tisztítási) lépések, a víz jövőbeni alkalmazástól függően lényegesen eltérhetnek egymástól.

A tisztításra kerülő nyers vízben, különböző kórokozók lehetnek jelen, melyek a nyers víz közvetlen lakossági felhasználhatóságát nem teszik lehetővé. Az említett patogének inaktiválására és eltüntetésére, különböző fertőtlenítési eljárásokat alkalmaz a mai, modern vízkezelés. A különböző fertőtlenítési lehetőségek és módszerek előnyeinek, illetve hátrányainak ismerete nélkülözhetetlen a megfelelő fertőtlenítési eljárás kiválasztása szempontjából.

Dolgozatomban sor került az ivóvízellátás során különös figyelemben részesített mikroorganizmusok felsorolására és jellemzésére, leggyakrabban alkalmazott helyszíni, illetve fenntartó fertőtlenítési eljárások ismertetésére, összehasonlítására, valamint a Fővárosi Vízművek ivóvízellátó rendszerében szolgáltatott víz – utófertőtlenítés céljából hozzáadott - aktív klór koncentráció változásainak mérésére, különböző lakossági fogyasztási pontokon.

A vízben számos fertőző ágens lehet jelen, melyek ivóvízkészletekben való jelenléte súlyos egészségügyi kockázatot jelent a fogyasztókra nézve. A mai, modern vízkezelés számos fertőző baktérium, vírus és protoza ellen megfelelő védelmet nyújt, azonban van néhány mikroorganizmus, melyet a hagyományos, általánosan alkalmazott fertőtlenítési eljárás nem képes inaktiválni illetve elpusztítani. Ilyenkor speciális kezeléseket kell alkalmazni, melyek különböző mikrobák esetén eltérőek lehetnek.

Az európai vízkezelés során, manapság a legtöbb problémát a *Cryptosporidium*, illetve az általa termelt oociszták okozzák, melyeket a fertőtlenítőszer nem pusztít el, inaktiválásukhoz egyéb megoldások alkalmazására van szükség (koaguláció, flokkuláció, szűrés). Ezen kívül jelentős problémát okoznak a nagyon kis átmérőjű, fertőtlenítőszer rezisztens vírusok, amelyeket speciális membránokon átszűrve lehet csak eltávolítani a vízből. Mivel a baktériumok többsége érzékeny a fertőtlenítőszerekre, ezek eltávolítása megfelelő vízkezelési eljárásokkal és fertőtlenítéssel egyszerűen megoldható.

Vizsgálataim során, 2019. nyarán közel négy héten keresztül különböző lakossági fogyasztói helyeken mértem az ivóvíz szabad aktív klór koncentrációját, a helyszínen létesített mérési ponton, hordozható műszerek segítségével.

Mérési eredményeim alapján igazolást nyert, hogy jelentős különbség van a csap kinyitásakor azonnal gyűjtött vízminta illetve a hőmérsékletállandóságig kifolyatott vízminta aktív klór koncentrációja között. Feltételezésem szerint ez utóbbi közelítheti az ivóvízellátó hálózat gerincvezetékében áramló víz aktív klór koncentrációját.

A helyszíni mérések alapján megállapítható, hogy a lakóépületek belső rendszerei jelentős hatást gyakorolhatnak a vízben jelenlévő fertőtlenítőszer koncentrációjára, mely szélsőséges esetben 0,01 mg/l-es szint alá is csökkentheti a fogyasztói csapokon megjelenő víz aktív klór koncentrációját.

Ezek az alacsony értékek a csaptelepek használati gyakoriságából, és ebből származóan a víz tartózkodási idejének különbségeiből adódhatnak, valamint a csőhálózat vezetékének anyaga és állapota is befolyásoló tényező lehet.

7. Irodalomjegyzék

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

Ainsworth R, ed. (2004) Safe, piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems. (IWA Publishing, London, for the World Health Organization, Geneva.)

Alamanos Y et al. (2000) A community waterborne outbreak of gastro-enteritis attributed to *Shigella sonnei*. (Epidemiology and Infection, 125:499–503.)

Alkalmazott hidrobiológia (2007) Szilágyi F. és Orbán V. (szerk.) (Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest,)

Angulo FJ et al. (1997) A community waterborne outbreak of salmonellosis and the effectiveness of a boil water order. (American Journal of Public Health, 87:580–584.)

Antai SP (1987) Incidence of *Staphylococcus aureus*, coliforms and antibiotic-resistant strains of *Escherichia coli* in rural water supplies in Port Harcourt. (Journal of Applied Bacteriology, 62:371–375.)

Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Indicators of microbial water quality. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. (Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. WHO Water Series. London, IWA Publishing, pp. 289–315.)

Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Indicators of microbial water quality. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. (Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. WHO Water Series. London, IWA Publishing, pp. 289–315.)

Baggi F, Peduzzi R (2000) Genotyping of rotaviruses in environmental water and stool samples in southern Switzerland by nucleotide sequence analysis of 189 base pairs at the 5' end of the VP7 gene. (Journal of Clinical Microbiology, 38:3681–3685.)

Berke T et al. (1997) Phylogenetic analysis of the Caliciviridae. (Journal of Medical Virology, 52:419–424.)

Cairncross S, Muller R, Zagaria N (2002) Dracunculiasis (guinea worm disease) and the eradication initiative. (Clinical Microbiology Reviews, 15:223–246.)

Charrois, J.W.A. and Hrudehy, S.E. (2007): Breakpoint chlorination and free-chlorine contact time: Implication for drinking water N-nitrosodimethylamine concentration (Water Research 41 pp. 674-682)

Chowdhury, S., Champagne, P. and McLellan, P.J. (2010): Investigating of bromide ions on trihalomethans and developing model for predicting bromodichloromethane in drinking water (Water Research 44 pp. 2349-2359)

Chris Binnie; Martin Kimber; George Smethurst: Basic Water Treatment- Third Edition (2002)

Codony F et al. (2002) Factors promoting colonization by legionellae in residential water distribution systems: an environmental case-control survey. (European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, 21:717–721.)

- Corso PS et al. (2003) Cost of illness in the 1993 waterborne *Cryptosporidium* outbreak, Milwaukee, Wisconsin. (Emerging Infectious Diseases, 9:426–431.)
- Csanády M. és Kárpáty Z. (1981): Az ivóvíz klórozásakor keletkező daganatkeltő vegyületek mennyisége és jelentősége (Hidrológiai Közlöny pp. 88-94)
- Cuthbert JA (2001) Hepatitis A: Old and new. (Clinical Microbiology Reviews, 14:38–58.)
- Dodds, L. and King, W. D. (2001): Relation between trihalomethane compounds and birth defects (Occupational and Environmental Medicine 58 pp. 443-446)
- Emmerson AM (2001) Emerging waterborne infections in health-care settings. (Emerging Infectious Diseases, 7:272–276.)
- Fiessinger, F., Rook, J.J. and Doguet, J.P. (1985): Alternative methods for chlorination (The Science of the Total Environment, 47 (1985) pp. 299-315)
- Gerba CP et al. (1996) Waterborne rotavirus: a risk assessment. (Water Research, 30:2929–2940.)
- Grabow WOK (1996) Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. (Water SA, 22:193–202.)
- Grabow WOK, Taylor MB, de Villiers JC (2001) New methods for the detection of viruses: call for review of drinking water quality guidelines. (Water Science and Technology, 43:1–8.)
- Haas CN et al. (1996) Risk assessment of *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water. (Journal of the American Water Works Association, 88:131–136.)
- Hardalo C, Edberg SC (1997) *Pseudomonas aeruginosa*: Assessment of risk from drinking-water. (Critical Reviews in Microbiology, 23:47–75.)
- Hawley HB et al. (1973) Coxsackie B epidemic at a boys' summer camp. (Journal of the American Medical Association, 226:33–36.)
- Hoigné, J. and Bader, H. (1988): The formation of trichloronitromethan (chloropicrin) and chloroform in a combined ozonation/chlorination treatment of drinking water (Water Research 22 (3) pp.313-319)
- Hopkins DR, Ruiz-Tiben E (1991) Strategies for dracunculiasis eradication. (Bulletin of the World Health Organization, 69:533–540.)
- Hopkins RS et al. (1984) A community waterborne gastroenteritis outbreak: evidence for rotavirus as the agent. (American Journal of Public Health, 74:263–265.)
- <https://hu.wikipedia.org/wiki/Baktériumok#Kórokozók>
- <https://hu.wikipedia.org/wiki/Vírus>
- Jiang X et al. (1999) Design and evaluation of a primer pair that detects both Norwalk and Sapporo-like caliciviruses by RT-PCR. (Journal of Virological Methods, 83:145–154.)
- Junco TT et al. (2001) Identification and antibiotic resistance of faecal enterococci isolated from water samples. (International Journal of Hygiene and Environmental Health, 203:363–368.)
- Kaper JB, Morris JG, Levine MM (1995) Cholera. (Clinical Microbiology Reviews, 8:48–86.)

- Koplan JP et al. (1978) Contaminated roof-collected rainwater as a possible cause of an outbreak of salmonellosis (Journal of Hygiene, 81:303–309.)
- LeChevallier MW, Norton WD, Lee RG (1991) Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* species in surface water supplies. (Applied and Environmental Microbiology, 57:2610–2616.)
- LeChevallier MW, Seidler RJ (1980) Staphylococcus aureus in rural drinking-water. (Applied and Environmental Microbiology, 39:739–742.)
- Licskó I. és Laky D. (2018): Ivóvíztisztítási technológiák – kézirat
- Linden KG, Shin G, Sobsey MD (2001) Comparative effectiveness of UV wavelengths for the inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water. (Water Science and Technology, 43:171–174.)
- Monroe SS, Ando T, Glass R (2000) Introduction: Human enteric caliciviruses – An emerging pathogen whose time has come. (Journal of Infectious Diseases, 181(Suppl. 2): S249–251.)
- Nataro JP, Kaper JB (1998) Diarrheagenic *Escherichia coli*. (Clinical Microbiology Reviews, 11:142–201.)
- O’Connor DR (2002) Report of the Walkerton Inquiry: The events of May 2000 and related issues. Part 1: A summary. (Toronto, Ontario, Ontario Ministry of the Attorney General, Queen’s Printer for Ontario.)
- Ogg JE, Ryder RA, Smith HL (1989) Isolation of *Vibrio cholerae* from aquatic birds in Colorado and Utah. (Applied and Environmental Microbiology, 55:95–99.)
- Okhuysen PC et al. (1999) Virulence of three distinct *Cryptosporidium parvum* isolates for healthy adults. (Journal of Infectious Diseases, 180:1275–1281.)
- Öllős G. és Kollár Gy. (1983): A klórozás szerepe, folyamatai, korlátai az ivóvíztisztításban (Hidrológiai Közlöny pp. 354-368)
- Ong C et al. (1996) Studies of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. in two adjacent watersheds. (Applied and Environmental Microbiology, 62:2798–2805.)
- Pegram GC, Rollins N, Espay Q (1998) Estimating the cost of diarrhoea and epidemic dysentery in Kwa-Zulu-Natal and South Africa. (Water SA, 24:11–20.)
- Pina S et al. (1998) Characterization of a strain of infectious hepatitis E virus isolated from sewage in an area where hepatitis E is not endemic. (Applied and Environmental Microbiology, 64:4485–4488.)
- Pinto B et al. (1999) Characterization of “faecal streptococci” as indicators of faecal pollution and distribution in the environment. (Letters in Applied Microbiology, 29:258–263.)
- Rhodes JB, Schweitzer D, Ogg JE (1985) Isolation of non-O1 *Vibrio cholerae* associated with enteric disease of herbivores in western Colorado. (Journal of Clinical Microbiology, 22:572–575.)
- Rook, J.J. (1974): Formation of haloforms during chlorination of natural waters (Jour. Water Treatment Examination 23 pp.234-242)
- Rook, J.J. (1976): Haloforms in drinking water (Jour. American Water Works Associations 68 pp. 168-174)

- Rook, J.J. (1977): Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters (Environmental Science and Technology 11 pp. 478-486)
- Rook, J.J., Graveland, A. and Schultink, L.J. (1982): Considerations on organic matter in drinking water treatment (Water Research 16 pp.113-122)
- Rusin PA et al. (1997) Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking-water. (Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 152:57–83.)
- Sattar SA, Raphael RA, Springthorpe VS (1984) Rotavirus survival in conventionally treated drinking water. (Canadian Journal of Microbiology, 30:653–656.)
- Slifko TR, Smith HV, Rose JB (2000) Emerging parasite zoonoses associated with water and food. (International Journal for Parasitology, 30:1379–1393.)
- Stuart JM et al. (2003) Risk factors for sporadic giardiasis: a case–control study in southwestern England. (Emerging Infectious Diseases, 9:229–233.)
- Sueiro RA et al. (2001) Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering Escherichia coli and other coliform bacteria from groundwater samples. (Water Science and Technology, 43:213–216.)
- Van der Poel WHM et al. (2001) Hepatitis E virus sequence in swine related to sequences in humans, the Netherlands. (Emerging Infectious Diseases, 7:970–976.)
- WHO (1993): Guidelines for drinking water quality Recommendation (World Health Organization, Geneva, 1993)
- WHO (2002) Enteric hepatitis viruses. In: Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Addendum: Microbiological agents in drinking water. (Geneva, World Health Organization, pp. 18–39.)
- WHO (2002) Protozoan parasites (*Cryptosporidium*, *Giardia*, *Cyclospora*). (In: Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Addendum: Microbiological agents in drinking water. Geneva, World Health Organization, pp. 70–118.)
- WHO (2002) *Vibrio cholerae* (In: Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Addendum: Microbiological agents in drinking water. Geneva, World Health Organization, pp. 119–142.)
- WHO (2004) Guidelines for drinking water quality, third edition, Recommendation (World Health Organization, Geneva, 2004)
- WHO (2007) Legionella and the prevention of legionellosis (Geneva, World Health Organization)
- WRc: Water Treatment Processes and Practices (1992)

8. Ábrajegyzék

1. ábra: Törésponti klórozás	38
2. ábra: Különböző szabad aktív klór koncentrációjú oldatok elszíneződése DPD hatására	49
3. ábra: Az 1. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	54
4. ábra: A 2. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben.....	55
5. ábra: A 3. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben.....	57
6. ábra: A 4. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben.....	58
7. ábra: Az 1. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	59
8. ábra: A 2. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben.....	60
9. ábra: Rendhagyó mérési körülmények	70
10. ábra: Rendhagyó mérési körülmények	70
11. ábra: A csap nyitását követően azonnal mért klórkoncentrációk eloszlása.....	71
12. ábra: A csap nyitását követően azonnal gyűjtött minták térképes ábrázolása.....	72
13. ábra: Hőmérséklet állandóságig kifolyatott vízből mért klórkoncentrációk eloszlása ..	74
14. ábra: Összes mért klór koncentráció eloszlása	75
15. ábra: Klórkoncentráció eloszlás görbék	75
16. ábra: Összegzett mérési eredmények térképes ábrázolása	76

9. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Orális úton terjedő kórokozók és jelentőségük a vízellátásban	29
2. táblázat: Mérési helyszínek	51
3. táblázat: Az 1. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	54
4. táblázat: A 2. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	55
5. táblázat: A 3. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	56
6. táblázat: A 4. oldat szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	57
7. táblázat: Az 1. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	58
8. táblázat: A 2. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	59
9. táblázat: A 3. csapvízminta szabad aktív klór koncentrációjának változása időben	60
10. táblázat: Helyszíni mérések.....	61