

## IVÓVÍZKEZELÉSBEN ALKALMAZOTT KLÓRALAPÚ OXIDÁLÓSZEREK MUNKAVÉDELMI SZEMPONTÚ ÉRTÉKELÉSE

**Zákányiné Mészáros Renáta** 

tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,  
Alkalmazott Földtani Kutató Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [renata.zakanyine@uni-miskolc.hu](mailto:renata.zakanyine@uni-miskolc.hu)

**Friesz Patrik**

munkavédelmi szakmérnök hallgató, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [patrik.friesz@student.uni-miskolc.hu](mailto:patrik.friesz@student.uni-miskolc.hu)

**Zákányi Balázs** 

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,  
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu](mailto:balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

Munkánk célja az 5/2023 (I. 12.) Klór-alapú oxidálószeres új ivóvízminőségi követelményeivel kapcsolatos technológiai kihívások munkavédelmi vonatkozásainak felmérése. A vonatkozó jogforrások és az ágazati összefüggések áttekintése mellett részletesen bemutatjuk a klór alapú oxidálószeres, azaz a nátrium-hipoklorit, a klórgáz és a helyben előállított klór-dioxid alkalmazási technológiáját. Az áttekintett szakirodalom, a korábban bemutatott esetek és saját szakmai tapasztalataink alapján azonosítottuk az anyagok és technológiák veszélyeit, és a rendelkezésre álló adatok mennyisége miatt szubjektíven értékeltük a kockázatokat. A kockázatelemzés alapján megerősítést nyert a bevezetőben felvetett probléma: a nátrium-hipoklorit oldatos technológiát mind mennyiségi, mind minőségi szempontból felülmúlják a klórgáz és klór-dioxid technológiákkal kapcsolatos veszélyek. A „veszélyes helyettesítés nem veszélyes vagy kevésbé veszélyes” munkahelyi egészségvédelmi és biztonsági elvének fenntartása érdekében ajánlott a nátrium-hipokloritra vonatkozó technológiai ajánlásokat követni, megelőzve a szükségtelen technológiaváltást. A jogszabályi előírásoknak való megfelelés azonban szükségessé teheti a klórgáz adagolására való áttérést: a kutatás a helyes gyakorlat bemutatásán túl a legkorszerűbb műszaki megoldások bemutatásával hozzájárul a biztonságos és egészséget nem veszélyeztető munkavégzés tárgyi feltételeinek megteremtéséhez.

**Kulcsszavak:** klór alapú oxidálószeres, korszerű műszaki megoldások, munkavédelem, munkavédelem, munkabiztonság

### **Abstract**

The objective of our work is to assess the occupational safety implications of the technological challenges associated with the new drinking water quality requirements of the new Chlorine-based Oxidizers Decree 5/2023 (12 I.). In addition to an overview of the relevant legal sources and the sectoral context, the application technology of chlorine-based oxidants, i.e. sodium hypochlorite, chlorine gas and in-situ produced chlorine dioxide, is presented in detail. Based on the literature reviewed, the

*previous cases presented and our own professional experience, the hazards of the materials and technologies have been identified and the risks have been subjectively assessed due to the amount of data available. Based on the risk analysis, the problem raised in the introduction was confirmed: sodium hypochlorite solution technology is outweighed, both quantitatively and qualitatively, by the hazards associated with chlorine gas and chlorine dioxide technologies. In order to maintain the occupational health and safety principle of "substitution of hazardous by non-hazardous or less hazardous", it is recommended to follow the technology recommendations for sodium hypochlorite, preventing unnecessary technology change. However, compliance with legal requirements may require a switch to chlorine gas dosing: in addition to demonstrating good practice, the research will contribute to the creation of the material conditions for safe and safe work without endangering health by presenting state-of-the-art technical solutions.*

**Keywords:** chlorine-based oxidising agents, modern technical solutions, OSH, work safety

## 1. Bevezetés

A víz nem csak biológiai alapszükséglet, de társadalomformáló tényező is. A civilizáció fejlődése és a népsűrűség növekedése, koncentrálódása együtt járt a vezetékes vízellátás megszületésével, amire már az ókorból is számos példát ismerünk. A mai értelemben vett közműves ivóvízellátás a XIX-XX. századtól jellemző hazánkban: kezdetben Budán, majd a nagyobb városokban, a II. világháború után felgyorsult ütemben épültek ki hazánk vízművei. A kedvező vízbeszerzési lehetőségek csökkenése miatt ezek már a minőségileg kevésbé megfelelő vízkészletekre is (felszíni vizek, nagy vas- és mangántartalmú rétegvizek) települtek, emiatt vízkezelő berendezések kiépítése vált szükségessé (Cséki, 2001).

Az egyik leggyakrabban alkalmazott vízkezelési eljárás a klórozás vált Magyarországon, amelyre nem csak fertőtlenítés céljából van szükség, hanem a szervesanyagok oxidálása miatt is nélkülözhetetlen. Hátrányuk ugyanakkor a fogyasztók egészségére ártalmas klórozási melléktermékek képződése. A technológiai fejlődés révén ezen anyagok felismerése és monitorozása egyre hatékonyabbá válik, ennek megfelelően az ivóvízzel szemben támasztott követelmények is egyre szigorodnak. Az EU által elfogadott 2020/2184 irányelv az emberi fogyasztásra szánt ivóvízről az eddigi szabályozásnál több és szigorúbb parametrikus értékeket szab a szolgáltatott ivóvízre vonatkozóan, így az eddig nem szabályozott klorát parametrikus értéke is bekerült a magyar jogrendbe (5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet).

A klorát a klór alapú oxidálószerke egészségre káros bomlásterméke, főként NaOCl termikus bomlásakor van jelen nagyobb mennyiségben. A vízkezelésnél ez főként a nátrium-hipoklorittal végzett törésponti-klórozás során kerülhet határérték feletti mennyiségben ivóvízbe (Stefán et al., 2019). A probléma kiterjedt, az Nemzeti Népegészségügyi Központ 295 vízműre kiterjedő vizsgálata szerint a mintavételek több mint fele tartalmazott határérték feletti koncentrációban klorátot (Stefán et al., 2023). A változó szabályoknak való megfelelést sok esetben a hypo-oldatos törésponti klórozás helyett klórgázos technológiára való áttérés jelentheti, ami a munkavégzőkre és azok közelében tartózkodókra is számos kockázatot jelenthet. Ez utóbbi szempont ugyanakkor kisebb hangsúlyt kap szakmai fórumokon.

## 2. A víziközmű-ágazat bemutatása a baleseti statisztikák tükrében

A kutatási munka tárgyát képező „36” számjelű Víztermelés, -kezelés és -elosztás nemzetgazdasági ágazat az „E” betűjelű Vízellátás; szennyvíz gyűjtése, kezelése, hulladékgazdálkodás, szennyvezetésmentesítés nemzetgazdasági ágba tartozik. A Gazdaságfejlesztési Minisztérium Munkavédelmi Főosztályának 2022. december 15-én jóváhagyott jelentése szerint (Internet\_1) az elmúlt öt év legtöbb súlyos és halálos munkabalesettel érintett nemzetgazdasági ágai közé tartozott, az összes ilyen munkabaleset 4%-a történt az „E” ágban, valamint a jelentés által vizsgált 2021. évben az összes halálos munkabaleset 7%-a.

Az utóbbi években nyilvánosságra került, hazai víziközmű-ágazathoz kötődő, klóralapú oxidálószerke miatti balesetek, havária helyzetek – a teljesség igénye nélkül:

- 2013-ban a högyészi szennyvíztelepen nátrium-hipoklorit oldat átfertése közben az más anyaggal keveredett. A felszabaduló klórgázt a munkát végző két dolgozó belélegezte, emiatt kórházi megfigyelésre szorultak (Internet\_2).
- 2013-ban Gyöngyösön hét embernek kellett ideiglenesen elhagynia otthonát, miután a vízművek telephelyén zárt térben egy 40 kilogrammos klórgázpalack kezdett szivárogni (Interne\_3).
- 2008-ban Bátán 210 embert kellett elhelyezni, miután a helyi vízműnél egy 130 kg-os klórgáz palack szelepe letört, és a gáz szivárogni kezdett. A lakosságot 200 m sugarú körben telepítették ki, öt utca és egy óvoda volt érintett (Internet\_4).
- 2006-ban Tiszafüreden egy 60 kg-os klórgáz palack szivárgott, a veszély elhárítását a vízmű személyzete megkezdte, majd a tűzoltóság a sérült palackot egy mentesítő edénybe helyezte el. Lakosságvédelmi intézkedésre nem volt szükség (Internet\_5).
- 1998-ban súlyos személyi sérüléssel járó klórgáz szivárgás történt Pilisjászfaluban, a vízmű telephelyén, amikor a gázt egy ott tartózkodó belélegezte (Internet\_6).

Ugyan nem klóralapú vegyi anyaghoz kapcsolódó, de jellege miatt említésre érdemes továbbá az a 2014 évi eset is, aminek során Becsehelyen, a vízmű egy munkavállalója a tartályok fertőtlenítéséhez alkalmazott hidrogén-peroxid oldatot fogyasztott. A fertőtlenítőszer szabálytalanul ásványvizes palackba töltötték át, a flakon tartalmát a munkavállaló lenyelte, nyelöcső- és gyomor-károsodást szenvedve el (Internet\_7).

Kitekintve a nemzetközi esetekre, szintén nem tekinthetők példanélkülinek az oxidálószerkehez kötődő balesetek az ágazatban:

- 2023-ban Redwood Meadows-ban (Kanada) klórgáz szivárgás miatt bekövetkező légzési problémákkal kellett egy munkavállalót kórházba szállítani, továbbá a környező épületekből a lakosságot evakuálni (Internet\_8).
- 2022-ben a németországi Riveris-tározónál lévő vízmű légtérébe kb. 50 liter klór-dioxid szivárgott ki, amelyet karbantartást végző munkavállalók észleltek. A műszaki hiba miatt a gáz az épület pincéjében dúsult fel, amely nem rendelkezett szabadba vezető nyílászárókkal. Innen védőruházatba öltözött tűzoltók által telepített elszívó-berendezéssel tudták eltávolítani azt az épület melletti medencébe, ahonnan, mint vizes oldatot elszállították. Az eset személyi sérüléssel nem járt (Internet\_9).
- 2022-ben Bhopalban (India) több mint 400 családot érintett a vízmű klórgáz tartályának szivárgása. Az eset során 15 embert kellett ellátni szem-irritáció és légzési problémák miatt, közülük 6-an súlyos állapotban kerültek kórházba (Internet\_10).
- 2022-ben szintén Indiában, Jangaon településen körülbelül 200 ember légzési nehézséggel, hányással és szem-irritációval küzdött, közülük 50-en kerültek kórházba. A balesetet a vízműtelep

négy évvel korábbi technológiai módosítása után magára hagyott, 40 kg-os klórgáz-palack szivárgása miatt következett be (Internet\_11).

- 2019-ben Birmingham-ben (USA, Alabama), a helyi vízműből 50 embert kellett kórházba szállítani, mivel nátrium-hipoklorit és felszíni víz derítéséhez alkalmazott vas-szulfát véletlen keveredése klórgáz képződéshez vezetett (internet\_12).
- 2012-ben Dormagenben (Németország) kellett a tűzoltóságnak kivonulnia, miután az automata felügyeleti rendszer szivárgást észlelt a vízműtelep 2x500 kg-os klórgáz-tartályainak egyikéből. Az automatikusan beinduló locsolórendszer mellett a helyszínre érkező tűzoltók is vízköddel hígították a szivárgó gázt. A távfelügyeleti rendszernek, a vízmű és a hatóságok között érvényben lévő riasztási tervnek, valamint a gyors beavatkozásnak köszönhetően személyi sérülés nem történt, a lakosságot nem kellett evakuálni sem (Internet\_13).

Az összegyűjtött esetek rávilágítanak, hogy a klóralapú oxidálószerkekel kapcsolatos balesetek és kvázi balesetek, bár nem mindennaposak, de ma is az ágazat tevékenységével járó veszélyek közé tartozik. A következményeik súlyossága azonban nagyban függ – a vegyianyagok tulajdonságai mellett – az alkalmazott technológiai megoldások színvonalától, a szervezettségtől és felkészültségtől, az ezeket keretbe foglaló műszaki-jogi elvárásoktól.

### 3. A vízkezelésben felhasznált klór alapú oxidálószerke alkalmazása

A klór (Cl) a halogének közé tartozó kémiai elemek egyike. A halogének reaktivitásuk miatt elemi állapotban a természetben nem fordulnak elő, de ionjaik formájában gyakoriak. A klór leggyakrabban kloridként fordul elő, mint pl. nátrium-kloridként (NaCl) vagy kálium-kloridként (KCl). A klór a huszadik leggyakoribb elem a földkéregben, továbbá a tengervizek átlagos 3,4 tömeg%-os sótartalmának több mint fele a kloridionoknak köszönhető (1,9 tömeg%). A klór előállítás a kloridionok elektrolitikus oxidációjával valósul meg. Mivel a kloridion nagy mennyiségben rendelkezésre áll, és a klór előállítás az ipar számára nagy mennyiségben történik – globálisan évente kb. 100 millió tonna, növekvő trend (Internet\_14), amely a költség szempontjából is meghatározó –, napjainkra a klóron alapuló vízkezelés általánossá vált a fejlett országokban, így hazánkban is (Greenwood and Earnshaw, 1997).

Alkalmazásuk célja az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben meghatározott parametrikus értékeknek és határértékeknek való megfelelés, az Alaptörvényben meghatározott alapvető emberi jog – az ivóvízhez való hozzáférés – biztosítása. A rendelet értelmében a víz akkor minősül ivóvíznek, ha nem tartalmaz olyan mennyiségben vagy koncentrációban mikroorganizmust, parazitát, kémiai, fizikai vagy radiológiai anyagot, amely az emberi egészségre potenciális veszélyt jelenthet. A határértékek túllépése esetén a víz nem minősül ivóvíznek, mérlegelés nélkül korrekciós intézkedést kell tenni. A rendelet határértéket fogalmaz meg a mikrobiológiai vízminőségi jellemzőkre (E. Coli, Enterococcus) és kémiai vízminőségi jellemzőkre (pl. arzén). Parametrikus értékek túllépése esetén vizsgálni és mérlegelni szükséges, hogy ezeknek az indikátoroknak az ivóvízben való jelenléte kockázatot jelent-e az emberi egészségre nézve. Ilyen indikátor vízminőségi jellemző az ammónium, vas, mangán, a telepszám, Coliform baktériumok, a Pseudomonas aeruginosa, valamint a mikroszkópos biológiai minőségi jellemzők. A parametrikus értékek túllépése esetén ugyan teljesülnek az ivóvízminőségi követelményeket, de tűrhető minőségű ivóvíznek kell tekinteni. Ha az egészségi kockázat egyértelműen nem zárható ki, korrekciós intézkedéseket kell tenni annak érdekében, hogy a víz minősége olyan mértékben javuljon, hogy megfeleljen az emberi egészség védelmére vonatkozó követelményeknek.

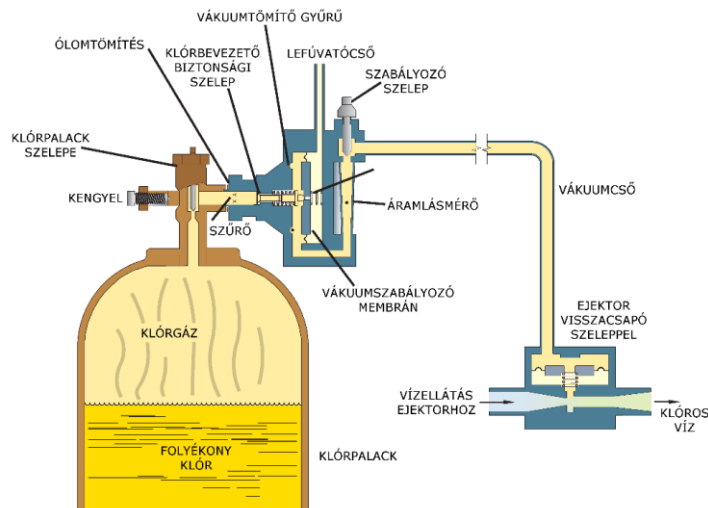
Az oxidálószerke közül elsősorban a klór az, amely rendkívül sokfajta szennyezőanyaggal reakcióba képes lépni. A klór nagy elektronaffinitása miatt a redukáló anyagok könnyen leadják elektronjaikat, az elektronokat veszítő anyag oxidálódik, vagyis oxidálószer igénye van (Öllös, 1998). Ezen kémiai folyamat segítségével tehetők meg azok a korrekciós intézkedések, amelyekkel a nyersvíz emberi fogyasztásra alkalmas állapotba hozható.

### 3.1. A klórozás technológiája

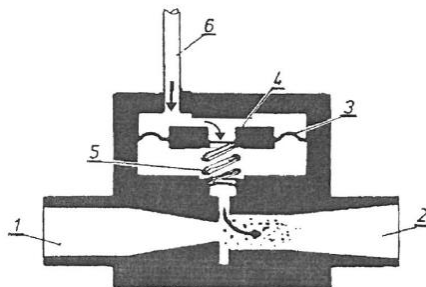
#### 3.1.1. $Cl_2$ -gáz adagolás

Magyarországon a klórgáz adagolására az ADVANCE típusú vákuumos rendszerű (1. ábra) berendezések elterjedtek számítanak.

A berendezés szerelhető palackra, gyűjtőcsőre vagy hordóra is. Működéséhez üzemvíz szükséges: a kellő nyomású üzemvíz az ejektor (2. ábra) fúvókájában felgyorsul, ezáltal nyomása lecsökken, szívóhatást (vákuumot) keltve.

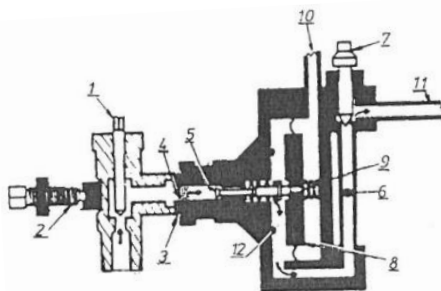


1. ábra. Ejektoros – vákuumos rendszerű – klóradagolás elvi ábrája (Internet\_15)



2. ábra. Ejektor elvi rajza. 1: fúvóka, 2: diffúzor, 3: membrán, 4: visszacsapó szelep, 5: rugó, 6. vákuumcső (Forrás-Víztechnológia Kft., 2020)

A vákuum a membránra hatva a visszacsapó szeleptestet a rugó ellenében a szelepülékről hátra mozdítja, miáltal az adagolt gáz a szelepen keresztül a vízszugárhoz keveredik. A víz-gáz elegy a diffúzorba jut és lelassul, ezáltal a nyomása megnő, a kezelendő vízhez keveredik, miközben a gáz feloldódása megkezdődik. Amennyiben az üzemvíz nem áramlik, a visszacsapó szelep zárt állapotban van, így víz nem jut a vákuumvezetékbe. Ha az ejektor üzemel, akkor a vákuumcsövön, a mennyiség szabályozó szelepen és a rotaméteren keresztül szívóhatás érvényesül a membrán hátsó, kengyel felőli oldalán (3. ábra). A membrán előtti térben légköri nyomás van, innen a lefúvató cső a szabadba vezet. Amennyiben a nyomás-differencia elegendő a biztonsági szelepet zárva tartó kengyelrugó legyőzéséhez, úgy a membrán a kengyel irányába mozdul, annyira nyitva a biztonsági szelepet, hogy az egyensúly fennmaradjon. A vákuum megszűnése vagy csökkenése esetén a kengyelrugó zár, a gázutánpótlás megszűnik. Ha a biztonsági szelep nem zár tökéletesen (pl. szennyezettség miatt), akkor a membrán mögötti térben megemelkedő nyomás elmozdítja azt a rugó ellenében, miáltal a középen kialakított átömlő furat szabaddá válik, a lefúvató csövön a gáz a szabadba jut (Forrás-Víztechnológia Kft., 2020).



**3. ábra.** Vákuumszabályozó elvi rajza. 1: palack szelep, 2: rögzítő kengyel, 3: ólomtömítés, 4: szűrő, 5: biztonsági szelep, 6: rotaméter, 7: szabályozó szelep, 8: membrán, 9: lefúvató szelep, 10: lefúvató cső, 11: vákuumcső, 12: vákuumzáró (Forrás-Víztechnológia Kft., 2020)

A vízhez adagolni kívánt klórgáz tömegárama a szabályozó szelep (tűszelep) segítségével állítható be, a beállítás a rotaméteren ellenőrizhető. A rotaméter egy belül felfelé kúposan bővülő, megfelelő skálával ellátott üvegső, benne úszó golyóval. Az üvegső bővülésével az áramlási sebesség csökken, így a felfelé áramló gáz egyensúlyt tart a golyóval, lebegtetni azt. Ez az egyensúlyi állapot a gáz mennyiség függvényében más és más magasságban következik be (Internet\_15).

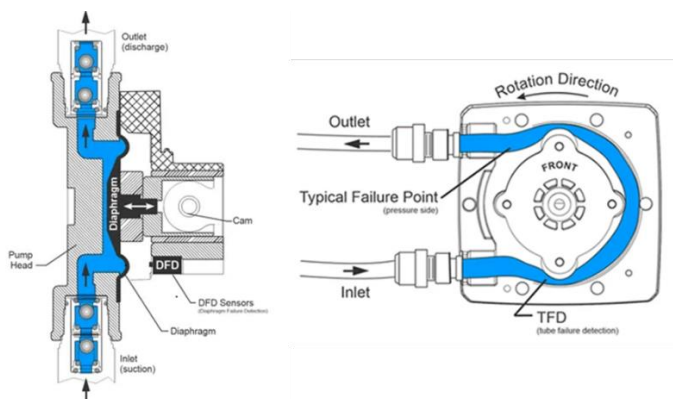
### 3.1.2. NaOCl-oldat adagolás

A nátrium-hipoklorit oldat 150 g/l vagy 90 g/l aktív klórtartalommal, jellemzően 25 literes kannás, 60 literes ballonos vagy 1 m<sup>3</sup>-es IBC konténeres kiserelésben lelhető fel a vízműveknél. A vegyszeradagoló-szivattyú telepíthető közvetlenül IBC konténerre, vagy polietilén vegyszeradagoló tartályra. A vegyszeradagoló tartályok jellemzően a kis kiserelésű (kannás, ballonos) edényeknél nagyobb, az IBC konténernél kisebb kiserelésűek; az adagoló tartályokba a kereskedelmi forgalomban kapható csomagolásokból az oldatot átfejtetni szükséges.

Az alkalmazott adagolószivattyúk a térfogat-kiszorítás elvén működnek, két fajtája terjedt el (4. ábra): a membrán- és a perisztaltikus szivattyúk (avagy tömlőszivattyúk). A membrán szivattyúk szívó- és nyomófázisokból álló ciklusok sorozatával működnek. A szakaszos működés hátránya, hogy gőzfelhalmozódást okozhat az adagolófejben, ami a szívóhatást megakadályozza. A membrán szivattyúk visszacsapó-, injektor- és lábszelepei elszennyeződhetnek, ami szintén a működést akadályozza. Emiatt

alkalmazásuk rutinszerű ellenőrzéssel és tisztítással jár. Az alacsony költségek jelentik előnyüket, emiatt alkalmazásuk elterjedtebb. A perisztaltikus szivattyúk a folyadékot egy rugalmas csövön keresztül, egy motor által hajtott görgős szerelvény forgása által szivattyúzzák át. Mivel nincs szeleppel ellátva, az adagolás folyamatos, és a működés nem jár gőz- vagy szennyeződés felhalmozódásával. A rugalmas csövet ugyanakkor a folyamatos mechanikai igénybevétel miatt időközönként cserélni szükséges (Internet\_16).

Hazai vízművekben általában membránszivattyúkkal találkozhatunk, pl. elterjedt a Milton Roy LMI típusorozata, amely felépítése és működése nagyban egyezik a többi elterjedt modellével. Az adagolófejet elektromágneses hajtómű (léptetőmotor) működteti, a hajtóművet az adagolófejjel membrán köt össze. Az adagolófejjel ellentétes oldalon található a kezelőpanel, amelyen százalékos beosztású forgatógombbal szabályozható a lökethossz (lökettérfogat), valamint a löketfrekvencia. A szivattyúk vezérelhetők kézi beállítással, illetve külső vezérlőjelek (pl. jeladóval ellátott vízmérő forgó mozgása generálta impulzusok) által. Az adagoló ellátható szintkapcsolóval, amelynek feladata a tartály kiürülésének jelzése, és a szivattyú leállítása. Ellátható továbbá multifunkciós szeleppel, amely a nyomóoldalon fejt ki hatásait, pl. anti-szifon (azaz alacsonyabb nyomású térbe történő adagolásnál megakadályozza a tartály leszívását); ellennyomás a pontosabb adagolás érdekében; automatikus légtelenítés (Black & Veatch Corporation, 2010).



4. ábra. A membrános (balra) és a perisztaltikus (jobbra) adagolófejek felépítése (Internet\_16)

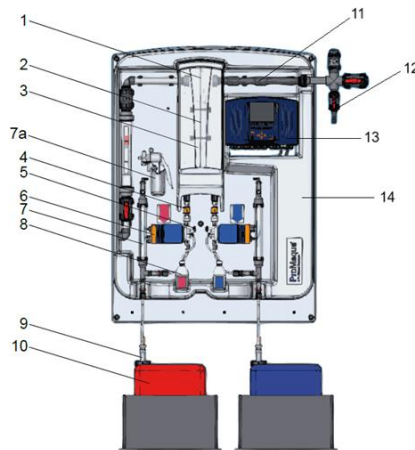
### 3.1.3. ClO<sub>2</sub> előállítás és adagolás

A klór-dioxidot széles körben alkalmazzák a cellulóz- és papíriparban, főként papírpép fehérítésére, mivel használata erősebb és fényesebb szálakat eredményez a klóros fehérítőszerekkel szemben. További előnye, hogy használata nem jár környezetre káros klórozott melléktermékekkel. Ez utóbbi tulajdonsága miatt a XX. század második felében Európa-szerte elterjedté vált a felszíni vízbázisokon működő vízművekben is: a felszíni vízkészletek ipari szennyeződése miatt jelenlévő fenolokat ízrontó anyagok és szagképződés nélkül képes oxidálni, továbbá nem jár olyan fertőtlenítési melléktermékek kialakulásával, mint a potenciálisan rákkeltő trihalometánok. Ugyanakkor szerves fertőtlenítési melléktermékek képződnek, mint a dolgozat Bevezetés és célkitűzés fejezetében már említett klorát, vagy a klorit (Black & Veatch Corporation, 2010).

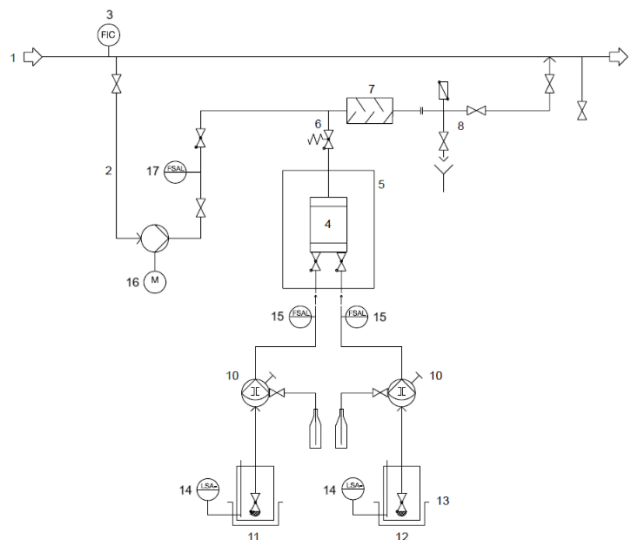
Mivel a folyékony klórdioxid  $-40^{\circ}\text{C}$  felett, valamint a koncentrált klórdioxid-gőz 40kPa atmoszféra feletti nyomáson robbanékony, ezért a klórdioxid-gáz komprimálása és tározása nem lehetséges. A  $<10$  g/l klórdioxid oldat-koncentráció esetében a gőznyomás a robbanásveszély kialakulásához nem elegendő, a víztisztítási gyakorlatban a klórdioxid oldat-koncentrációk általában 0,1-5,0 mg/l

tartományba esnek. A robbanásveszély miatt a klórdioxidot a felhasználási helyen, „in-situ” kell előállítani (Öllös, 1998).

Hazánkban a klórdioxid generátor- és adagolóberendezések közül a ProMinent Bello Zon típusosorozata elterjedtnek számít (5. és 6. ábrák).



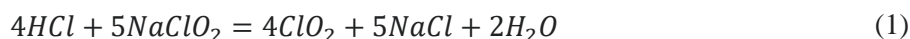
**5. ábra.** Bello Zon  $\text{ClO}_2$  generátor és adagoló felépítése (ProMinent GmbH, 2019)  
(1: reaktor kimeneti szelep, 2: reaktor, 3: reaktor bemeneti szelep, 4: adagolás felügyelete, 5: légtelenítő szelep, 6: adagolószivattyú, 7: kalibráló berendezés, 7a: vákuumszivattyú a kalibrálóberendezéshez, 8: légtelenítő palack, 9: szívólánczsa lábszeleppel és szintkapcsolóval, 10: kanna kármentővel, 11: keverő, 12: öblítő berendezés vákuum megszakítóval, 13: vezérlés, 14: konzol



**6. ábra.** Bello Zon  $\text{ClO}_2$  generátor és adagoló hidraulikai vázlatja (ProMinent GmbH, 2019)  
(1: reaktor kimeneti szelep, 2: reaktor, 3: reaktor bemeneti szelep, 4: adagolás felügyelete, 5: légtelenítő szelep, 6: adagolószivattyú, 7: kalibráló berendezés, 7a: vákuumszivattyú a kalibrálóberendezéshez, 8: légtelenítő palack, 9: szívólánczsa lábszeleppel és szintkapcsolóval, 10: kanna kármentővel, 11: keverő, 12: öblítő berendezés vákuum megszakítóval, 13: vezérlés, 14: konzol



A klórdioxid előállító és adagoló berendezések a klorit/sav eljárás szerint működnek, a  $\text{ClO}_2$  oldatot nátrium-klorit oldat és sósav reakciójával állítják elő:



A vegyszerek hígított formában kerülnek alkalmazásra, jellemzően 9%-os sósav oldat és 7,5%-os nátrium-klorit oldatként – a robbanásveszély megelőzése miatt. A reakció során 2%-os klór-dioxid oldat keletkezik (20 g/l  $\text{ClO}_2$ ), amely közvetlenül létrehozása után felhígul (ProMinent GmbH, 2019).

Az adagolószivattyúk működési elve megegyezik az előző fejezetben ismertetettekkel. A vezérlés a kívánt  $\text{ClO}_2$ -dózisból és a pillanatnyi tényleges koncentrációból számítja ki az adagolószivattyúk löketfrekvenciáját, vagy szükség esetén kikapcsolja az adagolást. Az adagolószivattyúk feladata továbbá a reaktor kimeneti szelepén keresztül az áthidalóba szállítani a  $\text{ClO}_2$  oldatot, ahol az a keverő található, amely az oldatot homogén módon elkeveri az üzemi vízzel. Az oldat az adagolási helyen kerül betáplálásra a kezelendő vízbe, ahol a szükséges koncentrációra hígul. A berendezés vezérelhető manuálisan, a vízmérő jelei által, vagy külső beállítási adatokkal (ProMinent GmbH, 2019).

### 3.2. Alternatívák

A fent ismertetett eljárások mellett megemlíthetők továbbá azok az alternatív eljárások, amelyek a klór alapú vízkezelést részben helyettesíthetik: pl. ultraszűrés, UV-sugárzás, ózon alkalmazása. Ezekkel az eljárásokkal – amellett, hogy a mikroorganizmusok eltávolítása, vagy elölése nagy határfokkal történik – megelőzhető a káros, klórozott szerves vegyületek képződése. Ugyanakkor tartós hatásuk nincs, az ivóvíz másodlagos szennyeződése ellen nem védenek. Továbbá megemlíthető jelentős energiaigényük is, amely alkalmazásuk elterjedését nagyban korlátozza (Öllös, 1998; ProMinent GmbH, 2019). Mindezekre figyelemmel kijelenthető, hogy a klór alapú oxidálószerke – a mai ismereteink szerint – teljes mértékben nem mellőzhető a vízkezelés során, egy esetleg szükséges technológia-váltással a jelenlétükkel járó munkavédelmi kockázatok nem küszöbölhetők ki (valamint ezen alternatívák sem mentesek a veszélyektől), ezért vizsgálatainkban ezekkel az eljárásokkal részletesebben nem foglalkozunk.

### 4. Összehasonlítás és következtetések

A klór-alapú oxidálószerke felhasználásával járó kockázatok azonosítását és becsült értékeit meghatároztuk. A feltárt kockázatok számát tekintve – mint az várható volt –, a nátrium-hipoklorit oldat használatával jár a legkevesebb veszély (1. táblázat). A feltárt kockázatok becsült értékeit összesítve is a nátrium-hipoklorit használat bizonyul a legkevésbé kockázatosnak. Ezt sorrendben a klórgáz, majd a klór-dioxid előállítás és használat követi, mind darabszámban, mind összesített értéket tekintve. A klór-dioxid használatával járó kockázatok magas számát és összesített értékét az in-situ előállítás magyarázza: a technológiával járó kockázatok nem csak a keletkezett klór-dioxid, hanem az előállításához szükséges sósav- és nátrium-klorit oldatok veszélyforrásait is magában foglalja.

Az összesített kockázatok súlyosság szerinti bontásából szintén a munkabiztonság szempontjából kedvezőbb nátrium-hipoklorit használat tükröződik: magas kockázatot csak az elektromos veszélyforrások képviselnek, amelyek az adagoló-szivattyú és járulékos eszközök használatával járnak. A klórgáz és a klór-dioxid magas kockázatu veszélyforrásai – számukat és összértékét tekintve – nagyságrendileg azonosak, mindkettő esetén az anyagi veszélyforrások és a (jellemzően valamilyen hibából, tárolási szabálytalanságból eredő) veszélykombinációk jellemzőek, de a klór-dioxidos technológiával járó villamos veszélyforrások is számottevőek. Közepes kockázatu veszélyforrásokból

viszont a klór-dioxid használat felülreprezentált, amely mögött a három – egyenként is veszélyes – anyag együttes jelenléte áll. A veszélyforrások darabszámának és összértékének aránya alapján is a klór-dioxid jelenti a legmagasabb kockázatot, míg a nátrium-hipoklorit a legalacsonyabbat.

*1. táblázat. A feltárt kockázatok száma és összesített értékei*

	Cl <sub>2</sub>		NaOCl		ClO <sub>2</sub> (HCl, NaClO <sub>2</sub> )	
	db	összérték	db	összérték	db	összérték
<b>Össz. kockázat</b>	35	217	25	141	58	374
<b>ebből AK</b>	9	26	10	34	14	50
<b>KK</b>	15	81	13	87	34	224
<b>MK</b>	11	110	2	20	10	100

A 2. táblázatban a veszély jellege szerinti megoszlás látható, amely alapján megállapítható, hogy főként az anyagi eredetű veszélyforrások emelkednek ki mindhárom technológia esetén. A klór-dioxid esetén a veszélyes anyagok tulajdonságaiból eredő veszélyek száma a legmagasabb – a veszélyes prekursorok jelenléte miatt –, azonban a darabszám-összérték arány a klórgáz esetében is hasonlóan magasabb, mint a klór-dioxid esetében). Az ergonómiai veszélyek (fáradás) azonosnak tekinthetők valamennyi anyagnál, amely a kézi anyagmozgatásból ered. Mechanikai veszélyek terén azonban a klórgáz említendő, a nyomástartó edények kialakításából eredő instabilitás miatt. A többi vegyi anyag csomagolása a stabilabb tárolást és szállítást teszi lehetővé (pl. téglatest kialakítás, alacsony súlypont, kisebb tömeg), mivel kialakításuknak nem kell a belső nyomást elviselniük (pl. hengeres test, magasabb súlypont, nagy tömeg). Villamos veszélyek mindhárom anyag esetén előfordulnak: bár a klórgáz adagoláshoz közvetlenül villamos energia nem szükséges, mind a tárolás, mind a használat során szükséges szellőztetés, világítás, hőmérséklet biztosítás, valamint a potenciálisan maróparás környezet együttesen okozzák a kockázatokat. Ezzel szemben a nátrium-hipokloritos és a klór-dioxidos technológiák közvetlenül is villamos energiát igényelnek, ezért a villamos veszélyek kockázat-értékei is magasabbak – bár tárolásuk során a villamos veszélyek kevésbé hangsúlyosak, mint a klórgáz esetén. A veszélykombinációk magas száma a tárolás és az adagolás helyének megfelelő kialakítására, valamint a karbantartások fontosságára hívja fel a figyelmet – következményeiket tekintve a klórgázos és a klór-dioxidos technológiák esetén hangsúlyosan, mivel ezek esetében az oxidáló szerek anyagi tulajdonságaiból eredő marás, tűzveszély, légzési nehézség (irritáció) mellett a fulladás és a robbanás veszélye is megjelenik.

*2. táblázat. A feltárt kockázatok veszély jellege szerinti megoszlása és összesített értékei*

	Cl <sub>2</sub>		NaOCl		ClO <sub>2</sub> (HCl, NaClO <sub>2</sub> )	
	db	összérték	db	összérték	db	összérték
<b>Anyagi</b>	12	78	17	89	43	268
<b>Ergonómiai</b>	1	3	1	3	1	3
<b>Mechanikai</b>	5	20	0	0	0	0
<b>Villamos</b>	4	20	2	20	2	20
<b>Veszélykombináció</b>	13	96	5	29	12	83

A feltárt kockázatok tevékenység szerinti megoszlása (3. táblázat) alapján mindhárom anyag esetén a hulladékkezelés tekinthető a legkevesebb és legkisebb összértékű munkafázisnak. Ezek a veszélyforrások jellemzően alacsony vagy közepes kockázati szintet érnek el. A szállítási munkafázis szintén jellemzően alacsony vagy közepes kockázatot jelent a nátrium-hipoklorit és a klór-dioxid prekursorai esetén. A klórgáz szállítás azonban aránylag magas darabszámot, valamint magas kockázati értékű veszélyforrásokat jelent.

A veszélyes anyagok alkalmazása magában foglalja a tárolás veszélyforrásait is, ezért az alkalmazás magasabb kockázati értékekkel jár. Tárolás esetén a veszélyes anyagok nyugalmi helyzetben vannak, azokkal munkavégzés nem történik: jellemzően a környezet okozta veszélyek, valamint a csomagolás hibájából, szabálytalan tárolásból eredhetnek veszélyek. Az alkalmazás viszont aktív emberi közrehatást igényel, a munkavállalók fokozottan ki vannak téve az oxidálószer okozta veszélyeknek. Ezek nem csak az anyagi tulajdonságokból, de pl. az emberi hibákból, mulasztásokból is eredhetnek. A klór-dioxid esetében leginkább szembetűnő az alkalmazás során fennálló veszélyek magas aránya: darabszámát tekintve az összes kockázat 43,1%-a, összértékét tekintve 56,15%-a ekkor jelentkezhet.

**3. táblázat.** A feltárt kockázatok veszély jellege szerinti megoszlása és összesített értékei

	Cl <sub>2</sub>		NaOCl		ClO <sub>2</sub> (HCl, NaClO <sub>2</sub> )	
	db	összérték	db	összérték	db	összérték
<b>Szállítás</b>	12	73	5	23	9	45
<b>Tárolás</b>	10	61	6	27	13	61
<b>Alkalmazás</b>	9	66	9	66	25	210
<b>Hulladékkezelés</b>	4	17	5	25	11	58

Összefoglalva kijelenthető, ha a 2020/2184 irányelvnek és az azt kihirdető 5/2023 (I. 12.) Korm. rendeletnek való megfelelés a nátrium-hipoklorit oldatot alkalmazó technológia klórgázra vagy klór-dioxidos technológiára való cseréje révén valósul meg, az a munkabiztonságot hátrányosan érintheti a feltárt kockázatok alapján. Egy ilyen technológiaváltás nem csak a korábbi tendenciával ellentétes (az elmúlt évtizedekben a klórgáz adagolók nátrium-hipoklorit adagolóokra való cseréje volt jellemző), de felveti a Munkavédelmi törvény 54. § (1) pont f) alpontjának való megfelelést is: az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés érdekében a munkáltató köteles figyelembe venni a „veszélyes helyettesítése veszélytelenül vagy kevésbé veszélyessel” általános követelményt is.

A módosult rendeletnek és a munkavédelmi alapelveknek való együttes megfelelés érdekében javasolt a már meglévő nátrium-hipoklorit adagolás helyes gyakorlatát előtérbe helyezni: a megfelelő vegyszertároló helyiségek kialakításával elkerülhető a fény- és hőbomlás, alacsonyabb koncentrációjú oldat alkalmazásával a bomlás lassabb (pl. 150 g/l helyett 90 g/l koncentrációjú oldat alkalmazása, vagy töményebb oldat hígítása), továbbá a fémionok jelenlétének kiküszöbölése is a bomlás mértékét csökkenti (pl. műanyag tárolóedények, hígítás esetén fémionoktól mentes, nagy tisztaságú víz). A bomlás kiküszöbölésével a nem kívánt klorát-növekedés is csökkenthető. Ezek mellett az adagolt dózis helyes beállítására kell törekedni, mivel kisebb, de előírásoknak megfelelő koncentrációval a klorát képződés szintén csökkenthető. Amennyiben a helyes nátrium-hipoklorit tárolás és adagolás biztosított, és előállított ivóvíz megfelel az új minőségi határértékeknek, nem szükséges a kockázatosabb technológiákra való átállás sem.

Mivel a határérték feletti klorát képződés elsősorban a magas klórdózist igénylő vízkezelési eljárások során jellemző, úgymint a nátrium-hipokloritos törésponti ammónium-mentesítés (Stefán et al., 2023),

egy esetben a technológia-váltás elkerülhetetlen lehet. A törésponti klórozás nem végezhető klór-dioxiddal, ezért ilyen esetekben a klórgáz adagolására való áttérés jelenthet megoldást. A következőkben a klórgáz-adagolásra való áttérés esetére foglalkozunk meg munkabiztonságot növelő javaslatokat, figyelembe véve a műszaki megoldások elsőbbségét az egyéni védelemmel szemben:

- Klórgáz tárolás és adagolás helyének kialakítása a magas költségek és az eredendően nem erre a célra kialakított telephelyeken okozhat nehézséget. A zárt és környezeti hatásoktól védett, nem emberi tartózkodásra szolgáló, és nem belső térbe nyíló helyiségek sok esetben nem állnak rendelkezésre. Biztonságos adagolóhely biztosítására kereskedelmi forgalomban klórozó fülkék kaphatók, amelyek világítással, fűtéssel és szellőzéssel vannak ellátva. Az üvegszál erősítésű műanyag ház napfény és időjárás álló, acél padlója és tartószerkezete klórpalackok elhelyezésére alkalmas. Ilyen készen kapható fülkére példa a 7. ábrán látható, kívülről (balra) és belülről ábrázolva (jobbra).



7. ábra. Kereskedelmi forgalomban kapható klórozó fülke (Internet\_17)

- A helyiség légtérébe kerülő klórgáz jelzésére és a veszély elhárítására légtérelmző készülék telepítendő. Erre példa a 8. ábrán látható ECOGAS-2 készülék, amely a klórgáz légtérben való észlelése esetén (vagy szenzor-, vonalhiba esetén) hang és piros fényjelzést, továbbá távjelzésre, ventilátor indítására használható jelet ad.



8. ábra. ECOGAS-2 légtérelmző készülék (Internet\_18)

- Klórgáz-ömlés esetén a légtér klórmentesítésére gázmosó berendezés alkalmazható. Ilyen berendezésre példa a PureAir Filtration, LLC. száraz gázmosója (9. ábra). A Sentry™ Emergency Gas Scrubber (EGS) berendezés alumínium-oxid adszorbenssel van feltöltve, amelyen az elszívó ventilátor a szennyezett levegőt keresztül áramoltatja, miközben a klór a töltet felületén adszorbeálódik. Az adszorbens maga nem gyúlékony, valamint – a nedves gázmosókkal szemben – nem keletkezik veszélyes, kezelést igénylő oldat sem.



**9. ábra.** Sentry™ Emergency Gas Scrubber száraz gázmosó-berendezés (Internet\_19)

- A klórgáz ugyan a lehető legrövidebb úton vezetik a vákuumszelephez, ahonnan az adagolás már biztonságosnak tekinthető, a nyomástartó-edény csatlakozási pontjánál a gázömlés veszélye fennáll. Biztonsági zárószeleppel (10. ábra) és légtérelvező készülékkel emberi beavatkozás nélkül válik a gáz útja lezárhatóvá. Az eszköz három részből áll: szelepből, hajtóműből és vezérlőegységből. Ez utóbbi fogadja a légtérelvező jelét, valamint az állapotjelző ledek és végállás beállítására szolgáló nyomógombok is ezen kaptak helyet.



**10. ábra.** KG-1000M biztonsági hordó-és palacklezáró szelep (Internet\_20)

- A nyomástartó edényen keletkező gázömlés és katasztrófa elhárítására szolgáló eszköz pl. a 11. ábrán látható DP5X berendezés. A nyomástartó edényhez hasonlóan hatóság által végzett tömörségi nyomáspróbával kell rendelkeznie.



11. ábra. DP5X elhárító berendezés klórgáz palackhoz (Internet\_20)

## Irodalom

- [1] Cséki, I. (2001). A vízellátás története. *VGF szaklap*, 2001(7-8), 14–15.
- [2] 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- [3] Stefán, D., Erdélyi, N., Juhász, I. és Vargha, M. (2019). Klórozási melléktermékek vizsgálata törésponti ammóniamentesítést alkalmazó ivóvízellátó rendszerekben. *Vízmű Panoráma XXVII*(5), 14–18.
- [4] Stefán, D., Rosenberger, E., Gere, D., Málnási, T., Bufa-Dórr, Zs. (2023). *Törésponti klórozást alkalmazó vízellátó rendszerek ivóvizének haloecetsav (HAA) és klorát felmérése*. Előadás: Változások az ivóvízminőség-felügyeletben – az NNK Víz Világnapi Rendezvénye. 2023. március 20.
- [5] Internet\_1: [http://www.ommf.gov.hu/letoltes.php?d\\_id=8474](http://www.ommf.gov.hu/letoltes.php?d_id=8474) (letöltve: 2023. 07. 26.)
- [6] Internet\_2: <https://www.teol.hu/kek-hirek-bulvar/2013/01/klorgazt-lelegzett-be-ket-dolgozo-a-szennyviztelepen> (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [7] Internet\_3: [https://hvg.hu/itthon/20130923\\_Klorgaz\\_miatt\\_riasztottak\\_a\\_katasztrofave](https://hvg.hu/itthon/20130923_Klorgaz_miatt_riasztottak_a_katasztrofave) (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [8] Internet\_4: <https://rtl.hu/hirado/2008/06/16/210-ember-volt-eletveszelyben-batan> (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [9] Internet\_5: [https://library.hungaricana.hu/hu/view/SzolnokMegyeiNeplap\\_2006\\_01/?query=kl%C3%B3rg%C3%A1z%20baleset%20v%C3%ADzm%C5%B1&pg=16&layout=s](https://library.hungaricana.hu/hu/view/SzolnokMegyeiNeplap_2006_01/?query=kl%C3%B3rg%C3%A1z%20baleset%20v%C3%ADzm%C5%B1&pg=16&layout=s) (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [10] Internet\_6: [https://library.hungaricana.hu/hu/view/Delmagyarország\\_1998\\_01/?query=kl%C3%B3rg%C3%A1z%20baleset%20v%C3%ADzm%C5%B1&pg=78&layout=s](https://library.hungaricana.hu/hu/view/Delmagyarország_1998_01/?query=kl%C3%B3rg%C3%A1z%20baleset%20v%C3%ADzm%C5%B1&pg=78&layout=s) (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [11] Internet\_71: <https://trinti.hu/kulonos-munkabalesetek-fontos-tanulsagok/> (letöltve: 2023. 08. 02.)
- [12] Internet\_8: <https://cochranenow.com/articles/chemical-spill-prompts-evacuation-in-redwood-meadows-> (letöltve: 2023. 08. 15.)
- [13] Internet\_9: <https://www.hallas.hu/zajvedo-fulillesztek/passguard-h-zajvedo-illesztek> (letöltve: 2023. 11. 08)
- [14] Internet\_10: <https://news-trier.de/blaulicht/grosseinsatz-chlordioxid-in-wasserwerk-an-der-riveris-talsperre-ausgelaufen-spezialkraefte-im-einsatz,75414.html> (letöltve: 2023. 08. 16.)

- [15] Internet\_11: <https://www.india.com/madhya-pradesh/bhopal-gas-tragedy-several-hospitalised-following-chlorine-gas-leak-at-bhopal-water-treatment-plant-5707362/> (letöltve: 2023. 08. 15.)
- [16] Internet\_12: <https://www.deccanchronicle.com/nation/in-other-news/180223/200-people-suffocate-after-leak-of-chlorine-in-jangaon-50-hospitalise.html> (letöltve: 2023. 08. 15.)
- [17] Internet\_13: <https://www.wateronline.com/doc/chlorine-gas-leak-sends-water-treatment-workers-to-hospital-0001> (letöltve: 2023. 08. 15.)
- [18] Internet\_14: <https://www.statista.com/statistics/1310477/chlorine-market-volume-worldwide/> (letöltve: 2023. 08. 26.)
- [19] Greenwood, N. N., Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements*. Butterworth-Heinemann Kiadó, Oxford. pp. 789-809.
- [20] Öllős, G. (1998). *Vízisztítás-üzemeltetés*. Egri Nyomda Kft., Eger.
- [21] Internet\_15: [http://www.waterway.hu/index.php?page=viz\\_techno](http://www.waterway.hu/index.php?page=viz_techno) (letöltve: 2023. 08. 28.)
- [22] Forrás-Víztechnológia Kft. (2020). *ADVANCE gázadagoló gépkönyve. A 200-as típuscsalád*. Forrás-Víztechnológia Kft., Nagymaros.
- [23] Internet\_16: <https://www.pumpsandsystems.com/choose-right-pump-your-chemical-dosing-application> (letöltve: 2023. 08. 29.)
- [24] Profilaxis Kft. (2009). *LMI katalógus*. Profilaxis Kft., Diósd.
- [25] Black & Veatch Corporation (2010). *White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. 5th Edition. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey. <https://doi.org/10.1002/9780470561331>
- [26] ProMinent GmbH (2019). *Operating instructions. Chlorine Dioxide Systems*. Bello Zon Product Range CDVd. ProMinent GmbH, Heidelberg (Germany).
- [27] Internet\_17: [https://www.ecoviz.hu/klorozo\\_fulke\\_hu](https://www.ecoviz.hu/klorozo_fulke_hu) (letöltve: 2023. 10. 24.)
- [28] Internet\_18: [https://www.ecoviz.hu/klorozo\\_ecogas2\\_hu](https://www.ecoviz.hu/klorozo_ecogas2_hu) (letöltve: 2023. 10. 24.)
- [29] Internet\_19: <https://www.pureairfiltration.com/chlorine-scrubber-equipment/> (letöltve: 2023. 10. 24.)
- [30] Internet\_20: <https://www.global-proquim.hu/munkavedelem/biztonsagtechnika/> (letöltve: 2023. 10. 24.)
- [31] Internet\_21: <https://www.global-proquim.hu/munkavedelem/elharito-berendezesek/> (letöltve: 2023. 10. 24.)