

Salamon Endre¹, Karches Tamás²

ELEKTROKLÓROZÁS ALKALMAZHATÓSÁGA MOBIL VÍZKEZELŐ RENDSZEREKBE

(ELECTROCHLORINATION ALTERNATIVES IN MOBILE DRINKING WATER TREATMENT SYSTEMS)

Az elektroklórozók kis helyigényük és egyszerű kialakításuk révén alkalmasak lehetnek a hordozható víztisztító eszközökben előállított ivóvíz fertőtlenítésére. A cikk többféle alternatívát vázol fel az elektroklórozó lehetséges kialakítására. Felsorolásra kerülnek az eszköz méretezéséhez és üzemeltetéséhez szükséges kiindulási adatok. Az alternatívák alapján jól látható, hogy elméletben az eszköz kiválóan alkalmazható kis és nagy vízigények időszakos és hosszú távú kiszolgálására is, bár a fertőtlenítési melléktermékek képződése még további vizsgálatokat igényel.

Kulcsszavak: elektroklórozás, elektrolízis, fertőtlenítés, hordozható, adatigény

Electrochlorinators are suitable for disinfecting drinking water produced in mobile equipment, because of their compact size and simple operation. Alternative assemblies are described here for possible disinfection technologies. Input data requirements for design and operation calculations are listed. Based on these alternatives, the equipment can be efficiently used for small and large water demands, on both short and long time horizon. Disinfectant by-product formation must be further investigated in the future nonetheless.

Keywords: electrochlorination, electrolysis, disinfection, mobile, design parameters

BEVEZETÉS

Az elektroklórozás alapelve már a XIX. sz. közepe óta ismert, hiszen a klórgáz elektrolízissel történő előállítása és alkalmazása az ivóvíz fertőtlenítésére 1847 óta [1] bevett gyakorlat. Az elektrolízis költséges volta, a hozzá szükséges technológia veszélyessége és a magas beruházási költség a klórgáz termelését csak nagyipari méretben tette gazdaságossá. Az elmúlt években az elektródok anyagának fejlődésével lehetségessé vált, hogy az elektrolízist in situ lehessen elvégezni a kezelni kívánt vízben és palackos klórgáz, vagy folyékony hipoklorit oldat alkalmazása szükségtelenné váljon.

Az elektroklórozást világviszonylatban több vízmű is alkalmazza, elsősorban ott, ahol bőségesen áll rendelkezésre magas sótartalmú tengervíz, vagy fordított ozmózis során keletkező magas sótartalmú koncentrátum. Hazai alkalmazásra Veszprém város vízellátásában van példa [2].

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víztudományi Kar, tanársegéd, E-mail: Salamon.Endre@uni-nke.hu ORCID: 0000-0002-3856-1941

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víztudományi Kar, docens, E-mail: Karches.Tamas@uni-nke.hu ORCID: 0000-0003-2347-3559

Új technológiáról lévén szó, számos kérdés felmerül az alkalmazással kapcsolatban. Itt elsősorban az elektrolízis elvi alkalmazási lehetőségei kerülnek bemutatásra, egy hordozható berendezés elvi megvalósítási alternatíváin keresztül.

Az elektrolízis előnyei és hátrányai

Az elektrolízis előnyei az alábbiakban foglalhatóak össze:

- Nincs szükség veszélyes anyagok tárolására, költséges biztonsági intézkedésekre, szemben a klórgázzal.
- Az elektrolízis egyéb anyag hozzáadása nélkül is működőképes (bár a jó hatásfok eléréshez és villamos energia kihasználáshoz magasabb klorid-ion koncentráció és így konyhasó adagolás lehet szükséges).
- Az elektrolízis cella viszonylag kis helyigényű, ezért hálózati utóklórozáshoz könnyű adagolási pontot kiépíteni.
- A folyamat vezérlése a cellafeszültséggel és a cellán átfolyó vízhozammal történik, a teljesítményt mutató átfolyó áramerősség, a víz redox-potenciálja (költségesebb műszerezéssel aktív klór tartalma) on-line könnyen mérhető, automatizálható, így a folyamat automatikus és kézi vezérléssel is jól kézben tartható.
- A jó szabályozhatóság révén időben igen stabil adagolt klór mennyiséget képes biztosítani, így a fertőtlenítési melléktermékek keletkezése jobban kézben tartható.
- Költséghatékony megoldás lehet tengervíz sótalanításnál, ahol a fordított ozmózisból keletkező tömény, magas klorid tartalmú koncentrátumot vezetik az elektrolízis cellára.
- Az aktív klór elektrolízissel történő előállítás csak elektromos energiát igényel, így kiválóan alkalmas a megújuló forrásokból nyert energia értékesíthető termék (hipoklorit oldat, ivóvíz) formájában több napon át történő tárolására. Így különösen sivatagokban, napenergiában bővelkedő helyszíneken lehet előnyös, ahol a tengervíz sótalanítást jól kiegészíti.
- Alkalmazható bárhol, ahol az elektromos energia valamilyen formában biztosított, így különösen előnyös lehet lakott területektől távol eső helyszíneken, ahol a palackos klórgáz nem elérhető, vagy a fertőtlenítőszer elszállítása körülményes lenne.
- Nem szükséges gázpalackok kezelésére alkalmas kezelőszemélyzet, még automatizálatlan formában is betanított dolgozókkal elláthatóak a napi üzemeltetési feladatok.

A technológia várható hátrányai:

- Fertőtlenítési melléktermékek képződése még nem jól ismert, az elektrolízis különösen a szabad bróm, jód koncentrációjának növekedését okozhatja, így könnyen lehet, hogy bizonyos nyersvíz minőség esetén a technológia a kémiai kockázatok miatt nem lesz alkalmazható.
- A keletkező aktív klór miatt mindazon fertőtlenítési melléktermékek megjelenésére lehet számítani, amelyek a hagyományos klóros fertőtlenítésnél is jelen vannak.
- Az elektrolízishez szükséges klorid tartalmat sok esetben valamilyen sóval (NaCl, KCl, CaCl) lehet szükséges növelni. Ez az íz megváltozásához, illetve korróziós problémákhoz vezethet.

- Az elektródok felülete a lúgos katód folyamatok miatt a kiváló Ca és Mg és más sók miatt szennyeződhet, ami miatt az elektródok felületét időszakosan vegyszeresen tisztítani szükséges.
- Az elektródreakciókban H₂ és O₂ gáz szabadulhat fel, ezért ha a rendszer nem nyitott, akkor légtelenítésről gondoskodni kell. Nyílt reaktorok esetén a megfelelő szellőzést szükséges biztosítani.

A hagyományos fertőtlenítési eljárások és az elektrolízissel történő fertőtlenítés összehasonlítását az 1. táblázat mutatja be.

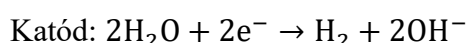
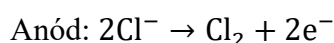
Technológia	Helyigény	Hatóanyag mennyisége	0,1 mg/L Cl ₂ koncentráció mellett kezelhető vízmennyiség	Ellátható lakosok száma, 100 L/(fő·nap) vízigény mellett	Költség (HUF/kg Cl ₂)
Klógáz palack	Ø200-400 mm H = 1,0-1,7 m	45 kg	450.000 m ³	12.300 fő	200-300
Klógáz hordó	Ø750-850 mm H = 1,5-2 m	450-1000 kg	4.500.000-10.000.000 m ³	123.000-273.900 fő	200-300
150 g/l-es hipoklorit	1 m ³ (1 x 1 x 1 m)	150 kg	1.500.000 m ³	41.000 fő	300-400
Elektrolízis	10 x 10 x 10 cm-es elektrolizáló cella	10 g Cl ₂ /h NaCl igény: 144 kg/év	Kezelhető vízhozam: 100 m ³ /h	24.000 fő	500-1000
	1,5 x 1,3 x 1,3 m-es elektrolizáló cella	2 kg Cl ₂ /h NaCl igény: 29 t/év	20.000 m ³ /h	4.800.000 fő	

1. táblázat Hagyományos klórozási megoldások és elektrolízis összehasonlítása³

A táblázatban megfigyelhető, hogy az elektrolízis költségei jelenleg körülbelül kétszer olyan magasak, mint a hagyományos klórogáz fertőtlenítésé (a konyhasó beszerzési költségeit is hozzászámítva) [2]. Ezzel szemben a helyigény és a munkavédelmi-környezeti kockázatok minimálisak a klórogáz fertőtlenítéshez képest. A feltüntetett 144 kg/év és 29 t/év elméleti konyhasó igény csak abban a ritka esetben jelentkezik, amikor a teljes klorid tartalmat mesterségesen kell a vízben beállítani. Ennek oka lehet például az, hogy a kezelendő vízben egyáltalán nincs klorid (például fordított ozmózissal szűrt víz esetén, ahol viszont a koncentrátum is felhasználható). A másik lehetséges indok, hogy az elektrolízisre kerülő sólet minőségi igények miatt tiszta vízből állítjuk elő.

Az elektrolízis folyamata

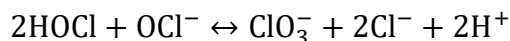
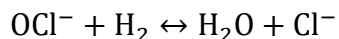
Az elektrolízis során a végbemenő hasznos reakció [3]:



Az elektródok közötti térben áramló oldatban ezen kívül a következő reakciók játszódnak le:

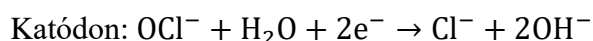
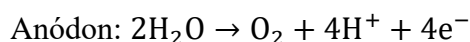


³ Saját szerkesztés



Mindezek a folyamatok a termelt hipoklorit oldat aktív klór tartamát kedvezőtlenül befolyásolják. Mindezen felül az anódon és a katódon is lejátszódnak másodlagos folyamatok, amelyek szintén veszteségként jelentkeznek, és a hatékonyságot csökkentik [4].

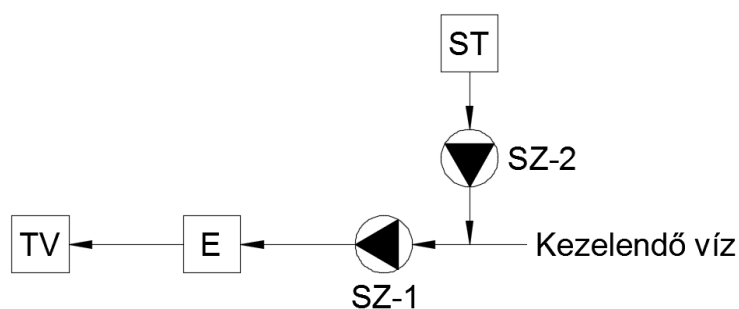
Veszteségek:



A keletkező oxigén a hidrogéngázhoz hasonlóan hozzájárul a cellában végbemenő buborékképződéshez. Ha buborékok eltávolításáról nem gondoskodunk (megfelelő turbulencia, légtelenítés a cella felett), akkor nem az elektródok teljes felülete fog érintkezni a folyadékkal, ami a hatékonyságot drasztikusan csökkenti. A buborékok befolyásolják a cellában kialakuló áramsűrűséget, akadályozzák az oldott komponensek diffúzióját. Az elektrolízis során a sóoldat jelentősen fel is melegszik, ami a melléktermék képződés mértékét növelheti [5].

AZ EGYES ALTERNATÍVÁK BEMUTATÁSA

Elvi szinten két fő alternatíva kínálkozik az elektroklorozás alkalmazására. Az első alternatívát az 1. ábra mutatja. Ebben az elrendezésben viszonylag nagy vízhozammal, rövid tartózkodási idővel halad át az elektrolizáló cellán. A kezelendő víz magas vízhozama, kis tartózkodási ideje és alacsony kloridion tartalma miatt a klórkoncentráció az elektrolizáló cella után a minimálisan megkövetelt aktív klórtartalomra áll be. Ha a kezelt víz nem tartalmaz elegendő klorid iont, akkor sóoldat adagolással a klorid koncentráció növelhető az elektrolízis előtt.



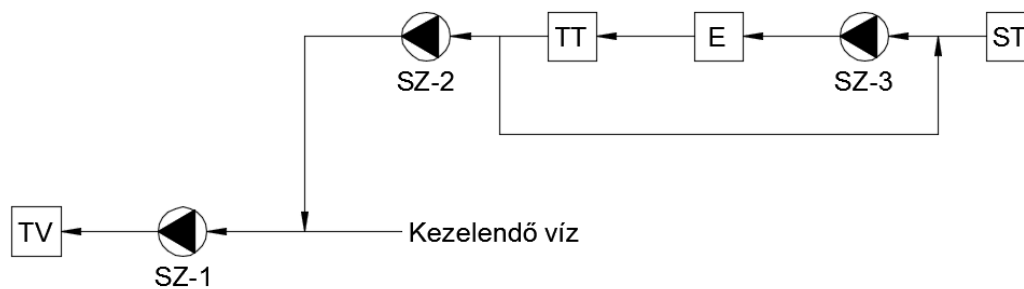
1. ábra Teljes üzemű elektroklorozó (kezelt vízmennyiség egésze átfolyik az elektroklorozó cellán). ST = telített sóoldat tartály, E = elektrolizáló cella, TV = tisztavíz tartály, SZ = szivattyúk⁴

Ez a folyamat az elektrolizáló cella feszültségével és a beadagolt só mennyiségével egyszerűen szabályozható, azonban ingadozó vízhozamok esetén a kézi szabályozás már elégtelen lehet.

⁴ Saját szerkesztés

Ilyen esetben szükséges az automatizálást is megoldani, hogy az elektrolízis teljesítménye szabályozható legyen a mért redoxpotenciál és/vagy aktív klórtartalom, valamint a vízhozam alapján.

A második alternatíva esetében az elektrolízissel tömény hipoklorit oldatot állítunk elő egy külön lépcsőben és ezt a tömény oldatot adagoljuk a kezelendő vízhez. A technológia előnye, hogy egyszerűbben szabályozható lehet az előző változatnál, hiszen nincs szükség az elektrolízis teljesítményének pontos ismeretére, elegendő a keletkezett tömény hipoklorit oldat hatóanyagtartalmát mérni és ennek ismeretében adagolni. Az elrendezést a 2. ábra mutatja.



2. ábra Tömény hipoklorit oldatot adagoló elektrolízis egység. TT = tömény oldat tartály⁵

További várható előny, hogy az elektrolízis cellára kerülő sóoldat töményebb lehet, mint az ivóvízre megengedett klorid-koncentráció, így a hatásfok jóval nagyobb, mint az első rendszer esetében. Természetesen a kezelendő vízbe történő bekeverésnél a keverési arányt a kloridra vonatkozó határérték továbbra is korlátozza. Amennyiben recirkulációt is alkalmazunk, azaz a sóoldatot többször is átvezetjük az elektrolízis cellán, akkor a hatásfok és az aktív klórtartalom tovább növelhető.

Az elrendezés hátránya, hogy a töményebb aktív klórtartalom miatt a fertőtlenítési melléktermékek képződése az elektrolízis során fokozottabban áll fenn. További eltérés az első változathoz képest, hogy egy tartállyal és egy szivattyúval többre van szükség. Meg kell jegyezni azonban, hogy a sólértartály, az elektrolízis cella és a tömény hipokloritot tároló tartály egyetlen reaktorként is kialakítható, így helyet spórolva és az üzemeltetést egyszerűsítve.

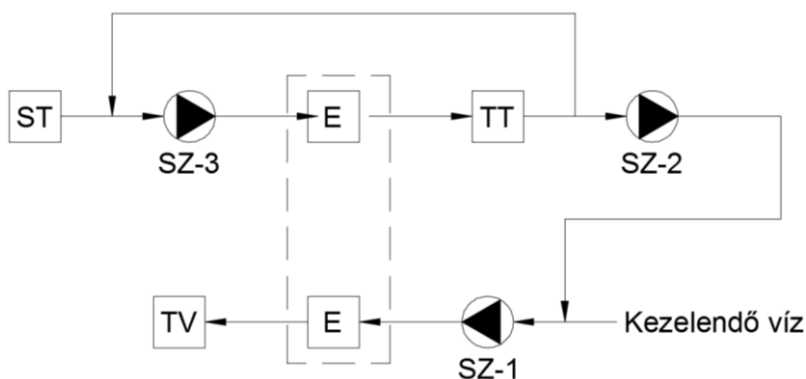
Az első változatot jellemzően nem alkalmazzák az ivóvíztermelés során, jelentősége inkább a recirkulációs rendszerekben (fűtés, hőcserélők) van az átfolyó megoldásnak. Az ivóvízellátásban való alkalmazás a jövőbeni kutatások tárgyát kell, hogy képezze. Várhatóan regionális rendszerek távvezetékein bizonyulhat előnyösnek, illetve a hálózat egyes szakaszainak, vagy körzeteinek eseti tisztításakor.

A második változat előnye, hogy a megtermelt tömény oldat tárolható, a tárolás idejének csak az aktív klór, fogyása szab határt. Ebből a rendszerből könnyebb az adagolás változó vízhozamok esetén.

⁵ Saját szerkesztés

Hordozható fertőtlenítő berendezéshez javasolt változat

Az 1. és a 2. alternatíva nem sokban tér el egymástól, ezért egy hordozható rendszer esetén olyan megoldást célszerű választani, amely mind a kétféle üzemmódban működhet. A berendezés legköltségesebb eleme maga az elektrolizáló cella és a hozzá tartozó vezérlő elektronika, azonban a technológia többi eleme (tartály, keverő, szivattyú, csővezetékek, elzárók) nem jelentenek tetemes különbséget a két változat között. Hordozható berendezés esetén az elektrolizáló cellát mindenképp célszerű iker elrendezésben kialakítani, hogy ha az egyiket tisztítani kell, a másik működhessen. A több részre osztott elektrolizáló cella rugalmas, lépcsősen növelhető teljesítményt is lehetővé tesz. A két alternatíva egyesítését a 3. ábra szemlélteti. Ennek lényege, hogy lehetőséget biztosít tömény aktív klórtartalmú oldat előállításra és beadagolására, illetve a kezelendő víz átfolyásos rendszerben történő klórozására is.

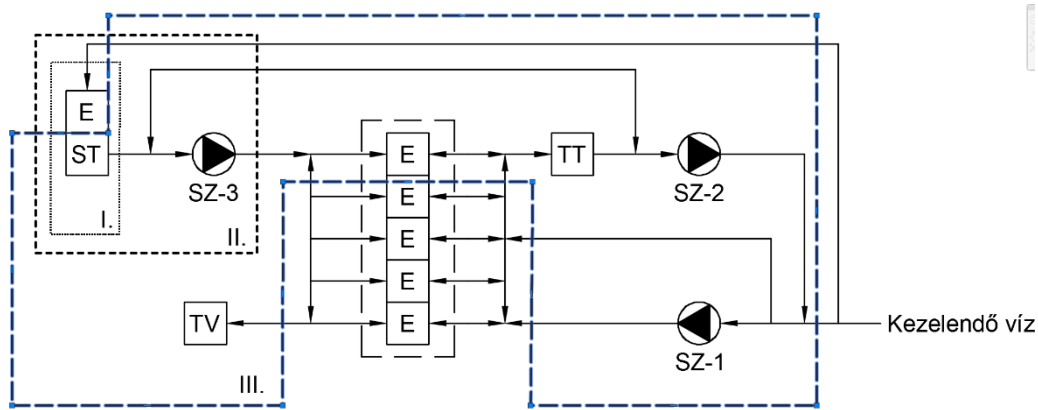


3. ábra Mobil elektroklórozó típusterv egyszerűsített elvi blokkvázlata⁶

A vízkormányzás az itt feltüntetethez képest még tovább módosítható és a kiegészíthető a só-oldat előállítását megkönnyítő funkciókkal. Ha a kezelendő víz nyomás alatt érkezik, akkor az SZ-1 jelű szivattyúra nem feltétlenül van szükség. A hagyományos klórgáz adagolók ejektorának működéséhez általában szükséges egy bizonyos minimális vízhozam. Ezért a klórgázzal működő adagolók kialakítása általában egyszeri kiépítést igényel, amin üzem közben nem lehet változtatni.

Egy hordozható berendezés esetében, amelynek szükséges kapacitását és a fertőtlenítési feladat körülményeit nem lehet előre tervezni, moduláris felépítés célszerű. Ez egyrészt lehetővé teszi, hogy mindig csak azokat az egységeket kelljen szállítani, amikhez az adott feladatnál szükség van. Másrészt a kiépített kapacitás az adott feladatnak legmegfelelőbb, legegyszerűbb összeállításban fog rendelkezésre állni. Egy ilyen lehetséges elrendezést, a különálló, cserélhető egységek lehatárolásával, egy blokk-sémán keresztül a 4. ábra mutat be.

⁶ Saját szerkesztés



4. ábra Testre szabható elektrolízis három lehetséges (I.-III.) részegység összeállításban⁷

I. Összeállítás

A legegyszerűbb üzemmenet a pontozott vonallal lehatárolt I. összeállítás jelenti. Ebben az elrendezésben a kezelendő vizet tartalmazó ST jelű tartályba merül az elektrolízis cella és egy keverő. Miután a tartályt adott térfogatra töltötték a kezelendő vízzel, szükség szerint a kloridion tartalom konyhasóval beállítható (maximum 200 mg Cl⁻ / L határértékig. Teljesen kézi vezérlés esetén a kezelő meghatározott ideig adott áramerősséget állít be a cellán, majd a kívánt aktív klór koncentráció elérése után a cellát lekapcsolja. Az aktív klór tartalom gyors teszttel ellenőrizhető, majd a megfelelő behatási idő után a víz fogyasztásra kiadható. Az elektrolízis idejét a cella teljesítménye alapján ki lehet számolni, vagy tapasztalat alapján is felvehető. Ezzel a módszerrel 0,1-100 mg/L aktív klórtartalom beállítása célszerű.

Az összeállítást tovább lehet fejleszteni az aktív klór tartalmat kijelző műszerrel, így nem szükséges gyors teszttel vizsgálni a kezelt vizet, illetve az elektrolízis idejének mérésére sincs szükség, hiszen a kezelő a mérőszondához tartozó műszeren látja, amikor a megkívánt aktív klór tartalom beállt. Végül kiegészíthető a berendezés automatikus elektronikával is, ami a megkívánt aktív klór tartalom elérésekor automatikusan leállítja az elektrolízist. Két ilyen cellával felszerelt tartály fél-folyamatos üzemben is működhet, amíg az egyikben beállítják a sótartalmat és végbeviszik az elektrolízist, a másikkal lehet vizet vételezni.

Amennyiben a helyszínen rendelkezésre áll valamilyen víztároló létesítmény, úgy elegendő csak az elektrolízis cellát és valamilyen áramforrást a helyszínre szállítani. Ilyen módon szélsőséges esetben az elektrolízis cella akár egy földbe ásott, fóliával bélelt gödörbe is telepíthető.

II. Összeállítás

A II. összeállítás annyiban különbözik az elsőtől, hogy az elektrolízis cellával és keverővel ellátott ST jelű tartályba most tömény sóoldatból tömény hipoklorit oldat kerül előállításra. Ez a tömény hipoklorit oldat az SZ-3 jelű szivattyú segítségével aztán bármilyen kezelendő vízhez adagolható, akár víztárolókba, akár csövekben folyó vízáramhoz. A tartály kiegészíthető automatikus utántöltéssel, így automatikus üzem is lehetségessé válik. A tömény sóoldatot elő lehet állítani tiszta sóatlanított víz és szilárd konyhasó összekeverésével, de szükséghelyzetben a

⁷ Saját szerkesztés

helyben található nyersvizet is fel lehet használni a sólé előállításához. Bár ez utóbbi megoldás kevésbé kedvező a kémiai vízminőség szempontjából, a fertőtlenítő hatás így is biztosítható. Ezzel a módszerrel az előállított tömény hipoklorit oldat aktív klórtartalma jellemzően 1-5 g/L értékre növelhető.

III. Összeállítás

Végül a III. összeállításban az elektrolizáló cella többé nem merül bele a tömény sólébe, hanem az SZ-3 jelű szivattyú hajtja át az elektrolizáló cellán (szükség szerint a celláról lekerülő oldat recirkulálható). Az elektrolízis során keletkezett hipokloritot tartalmazó tömény oldat a TT jelű tartályban gyűlik, így lehetséges az aktív klór termelése és az adagolása közti kiegyenlítés, időben változó vízhozamok kiszolgálása. A hipoklorit oldatot ezután már egy akár külön is vezérelhető, SZ-2 jelű szivattyú adagolja a kezelendő vízhez. Az elérhető aktív klórtartalom a II. összeállításéhoz hasonló.

A megoldás előnye, hogy az elektrolízis során nem kell külön keverés, az átfolyó víz turbulenciája biztosítja az elektródokon képződő gáz eltávolítását. A jelenleg vízművekben üzemelő elektrolízis ebben az elrendezésben működik. Amennyiben a kezelendő víz nem nyomás alatt érkezik, úgy a rendszer kiegészíthető külön nyomásfokozó szivattyúval (például az SZ-1 jelű) és akár egész települések, vagy település részek hálózatába képes nyomás alatt aktív klórtartalmú vizet betáplálni.

Végül a párhuzamosan kapcsolt elektrolizáló cellák segítségével a kezelendő vízhozam lépcsőzetesen növelhető. Amennyiben az egyes cellák többirányú ki- és bevezető csatlakozásokkal rendelkeznek, akkor az előállított oldat töménysége recirkuláció segítségével is szabályozható, vagy akár az átfolyó üzemben működő cella kombinálható tömény hipoklorit oldatot előállító cellával is. Így a legjobb hatásfok beállítása és a legmegfelelőbb elrendezés kialakítása minden esetben egyszerűen biztosítható.

A tervezéshez és az üzemeltetéshez szükséges adatok

A méretezéshez szükséges kiindulási paraméterek:

- kezelendő vízhozam
- megkívánt klórkoncentráció a kezelendő vízben
- az elektrolizáló cella névleges teljesítménye, olyan formában, ami megadja az aktív klór koncentráció növekedését a feszültség, áramerősség, tartózkodási idő, klorid tartalom, hőmérséklet függvényében.
- az elektrolizáló cella hatásfoka

A méretezés során kiszámítandó paraméterek:

- elektrolizáló cella térfogata, cellabeli tartózkodási idő
- az egyes szivattyúk vízszállítása
- az egyes tartályok térfogata
- a só- és aktív klór tömegáramok
- sóoldathoz szükséges víz mennyisége
- só mennyisége
- összekötő vezetékek hidraulikai méretezése

- villamos teljesítményszükséglet (elektrolizáló cella + szivattyú + automatika)

A paraméterek mellett meg kell határozni még az on-line mérési pontokat, mérendő paramétereket, kézi mintavételi csapokat. Fel kell állítani a szükséges kiegészítő eszközök listáját (só beméréshez mérleg, sókoncentráció ellenőrzéshez sűrűség és vezetőképesség mérő, stb.). Végsőül nem szabad megfeledkezni az esetlegesen képződő melléktermékekről sem, hiszen ezek akár teljesen ki is zárhatják a klórozást az alkalmazható megoldások közül.

Az elektrolízis méretezésekor és üzemeltetésekor a legfontosabb kiindulási paraméter a cella teljesítménye, amely megadja, hogy mekkora tömegű aktív klórt képes előállítani időegység alatt. Sajnos típus elektrolízis még nem nagyon érhetőek el a piacon. A berendezés többi részének méretezésekor azonban ennek nincs jelentősége, hiszen ezek szempontjából az elektrolizáló cella már fekete dobozként is kezelhető.

A cella teljesítménye (egységnyi idő alatt képződő aktív klór tömege) várhatóan kiszámítható az alábbi tényezők függvényében:

- kloridion koncentráció, C_{Cl^-}
- elektródok felülete, A_{Ei}
- elektródok anyaga
- alkalmazott feszültség, U
- kitermelés százaléka (hatásfok), η
- áramlási viszonyok az elektrolizáló cellában

Ezek után a klórkoncentráció növekedését a cellatérfogat, a vízhozam és a tartózkodási idő már egyértelműen meghatározza.

$$\dot{m} = f(C_{Cl^-}, A_{Ei}, U, \eta) = \dots \frac{\text{g Cl}_2}{\text{h}}$$

$$\Delta C = \frac{\dot{m} \cdot t}{V} = \frac{\dot{m}}{Q} = \dots \frac{\text{g Cl}_2}{\text{m}^3}$$

Ahol V a cella térfogata, t a tartózkodási idő a cellában, Q a cellán átfolyó vízhozam.

A cella hatásfoka:

$$\eta = \frac{V \cdot \Delta C \cdot n \cdot F}{I \cdot t}$$

Ahol n = az oxidáció fok változás (kloridion oxidálásakor 2), F = a Faraday-állandó (96485 C/mol) és I = a cellán átfolyó áramerősség. A ΔC értéket a cella kialakítása és az elektrolízis végbemenő folyamatok szabályozzák. Ezek vizsgálata az elektrolizáló cella előállításakor, fejlesztésekor fontos. A gyakorlati alkalmazás szempontjából célszerűbb az adott cella tényleges teljesítményét próbaüzemmel meghatározni és a berendezés többi részét egyszerűen az \dot{m} értéke alapján méretezni. Így a tervezés erre az egy paraméterre visszavezethető. Természetesen a jó villamos energia kihasználásra is tekintettel kell lenni.

Az elektrolizáló cellán átfolyó áramerősség és a cella hatásfoka nem csak a sólé vezetőképességétől függ, hanem befolyásolja az elektródok anyaga, az elektródfelületek szennyezettsége, a cellabeli áramlási viszonyok, a felületen kiváló buborékok. Ezért általában a cella áramerőssége

és az aktív klór termelés között nem lehet általánosan érvényes összefüggést felírni. A praktikus megoldás az aktív klórtartalom mérése és a mért érték alapján történő szabályozás, akár kézi módszerrel az egyszerűbb esetekben, akár automatikusan folyamatos üzemmódban.

ÖSSZEFOGLALÁS

Azokban az esetekben, amikor a vízellátó rendszer olyan mértékű sérülése következik be, amely a vízszolgáltatót átmeneti vízellátásra történő áttérésre kényszeríti, a vészhelyzeti ivóvízellátás folyamatában elosztott ivóvíz forrása a gyakorlatban a helyi adottságok és elérhető készletek függvényében változhat. A fogyasztók palackozott vízzel történő ellátását kiegészítő elemként alkalmazható mobil víztisztító berendezés [6].

Az elmondottakból látható, hogy az elektrolízis útján történő hipoklorit oldat előállítás kis helyigénye, az elektródok könnyű mozgathatósága, valamint egyszerű kezelhetősége miatt kiválóan alkalmas ideiglenes ivóvízellátó berendezésekben történő alkalmazáshoz. A hagyományos megoldásokhoz képest csak az elektródok időszakos vegyszeres tisztítása, a villamos energia szükségessége és a költségesebb üzem merül fel hátrányként.

A hagyományos, klórgáz alkalmazásával végzett fertőtlenítési eljárásokkal szemben a fizikai biztonságra fordított költségek azonban feltehetően csökkenthetők mobil elektrolízis berendezés alkalmazásával.

Víztermelő létesítmények biztonsági rendszerének kiépítése során ugyanis a vízkezelés során alkalmazott veszélyes anyagok jelenlétét is figyelembe kell venni ágazati sajátosságként. A vízkezelés és a vízminőségi vizsgálatok során alkalmazott veszélyes anyagok felhasználásának helyszínétől szolgáló létesítmények védelmét biztosítani kell, továbbá kiemelt jelentőségű a létesítményben helyt foglaló veszélyes terek, anyagtároló területek fizikai védelme is [7].

A különböző szivattyú, tartály elrendezési és vízkormányzási alternatívák alapján az elektrolízist alkalmazó rendszer hatékonyan igazítható többféle feladathoz is és nincs szükség hozzá speciális berendezésekre. Szivattyúk, tartályok és csővezetéki szerelvények általában könnyen beszerezhetőek, akár helyben is, így az elektrolízis cella és a hozzá tartozó elektronika az egyetlen olyan komponens, amit szállítani, illetve gondozni szükséges. A hagyományos fertőtlenítési megoldásokkal szemben, ahol nagy mennyiségű vegyszert kellene mozgatni (például hipoklorit oldat esetén), vagy speciális adagolót igénylő, fix telepítésű berendezések vannak (klórgáz, ózon), az elektrolízis cella könnyen telepíthető. Az elektrolízis alkalmazását megelőző legfontosabb kérdések, amelyekre a további kutatásnak irányulnia kell egyrészt maguknak az elektród folyamatoknak a mélyebb feltárása és a teljesítmény számításokkal történő pontosabb meghatározása. Másrészt kiemelt figyelmet kell fordítani az elektrolízis során képződő melléktermékekre és különböző nyersvíz minőségek mellett vizsgálni képződésüket.

Várhatóan a jövőbeli kutatásoknak köszönhetően a melléktermék képződés kockázatai jól behatárolhatóvá válnak. A különböző elektrolízis cellákról egyre több adat áll majd rendelkezésre, ahogyan azok a piacon elterjednek. Mindennek révén az elektrolízist alkalmazó megoldás egyre inkább elterjedté válik nem csak a közműves vízellátásban és az iparban, hanem minden ideiglenes ivóvíz szolgáltatási feladatban is. Ezért az elektrolízis cellában lejátszódó

folyamatok tanulmányozásával és a különböző cellák tesztelésével a technológia elébe kell mennünk, hogy mire az alkalmazás igénye felmerül felkészült üzemeltetőkkel rendelkezünk.

Köszönetnyilvánítás:

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap (ESZA) társfinanszírozásával valósul meg (a támogatási szerződés száma: EFOP-3.6.1-16-2016-00025, projekt címe: A vízgazdálkodási felsőoktatás erősítése az intelligens szakosodás keretében).

The Project is supported by the European Union and co-financed by the European Social Fund (grant agreement #: EFOP-3.6.1-16-2016-00025, project title: Strengthening higher education in water management through intelligent specialization).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BITTON, G.: Microbiology of drinking water distribution, Hoboken: John Wiley and Sons, 2014.
- [2] SOMODI, F.: A fertőtlenítés útjai. A Magyar Hidrológiai Társaság XXXVI: Országos vándorgyűlése. Gyula 2018. Konferencia előadás.
- [3] CHENG, C. & KELSALL, G., 2007. Models of Hypochlorite production in electrochemical reactors with plate and porous anodes. *Journal of Applied Electrochemistry*, 37, 2017. 1203-1217. o.
- [4] HÆRVIG, J., SØRENSEN, H. & OLESEN, A. C. *Modelling of an Electrochlorination Cell for Water Disinfection*, Aalborg University, 2016.
- [5] KHELIFA, A., et al., 2004. Application of an experimental design method to study the performance of electrochlorination cells. *Desalination*, 160, 2004. 91-98. o.
- [6] BEREK, T.: Vészhelyzeti víztermelő létesítmények integrált fizikai védelme Műszaki Katonai Közlöny XXVII. évfolyam, 2017. 4. szám 227-236. o. ISSN 2063-4986 http://hhk.archiv.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF_2017_4sz/2017_4sz.pdf 2018.10.19.
- [7] BEREK, T: Víztermelő létesítmények integrált fizikai védelme I. Mechanikai és élő erős védelem 2016. Bolyai Szemle, XXV. évf. 4. szám, 35-44. o. ISSN: 1416-1443 http://uni-nke.hu/uploads/media_items/bolyai-szemle-2016-04.original.pdf 2018.10.19.