

## 2. Víz tisztítási alapfolyamatok

### 2.1. Felszíni és felszín alatti vízbázisok leggyakoribb szennyező anyagai, a víztisztítás során eltávolítandó komponensek és az ivóvízminőségi határértékek

Hazánkban a megfelelő minőségű ivóvíz biztosításához az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre:

- ha a helyi vízbázis vízének minősége kielégíti az ivóvízminőségi követelményeket, akkor a fertőtlenítésen túl egyéb vízkezelési technológia alkalmazására nincs szükség;
- ha a helyi vízbázis vízének minősége nem elégíti ki az ivóvízminőségi követelményeket, akkor a fertőtlenítésen kívül egyéb beavatkozások is szükségesek, amelyek lehetnek:
  - a nem megfelelő minőségű vízbázis vízének kezelése víztisztító telepen különböző eljárásokkal;
  - egy közeli, új vízbázis feltárása, amelynek vize várhatóan kielégíti az ivóvízminőségi követelményeket, és a fertőtlenítésen túl egyéb vízkezelési technológia alkalmazására nem lesz szükség, és amennyiben a víz hozama nem elég, akkor keverjük a nem megfelelő minőségű kút vizével, és a megfelelő arány beállításával sem lesz szükséges a technológia kiépítése;
  - az ivóvízellátó rendszer csatlakoztatása egy megfelelő minőséggel rendelkező, távolabbi, kistérségi vagy regionális vízellátó rendszerhez.

Az egyes vízbázisok egymástól eltérő típusú szennyezőanyagokat tartalmazhatnak, amelyek eltávolításához napjainkra különböző vízkezelési technológiákat fejlesztettek ki. Az eltávolítandó komponensekben, illetve azok koncentrációiban tapasztalható különbségek miatt a felszíni és a felszín alatti vizek tisztításában alkalmazott technológiák egymástól jelentősen eltérhetnek.

Mikroszennyezőknek nevezzük azokat az elemeket vagy vegyületeket, amelyek a vízben mikrogramm/liter koncentrációban találhatók, és amelyek bioakkumulációt okozhatnak, vagy életfolyamatok biokémiai, biofizikai reakcióiban vesznek részt, vagy azokat gátolják. Természetes közegben a mikroszennyezők nehezen, vagy egyáltalán nem, bomlanak le. A mikroszennyezőket két csoportba soroljuk: a szerves és a szervesetlen mikroszennyezők közé.

A felszíni vizek tisztításakor a következő komponensek eltávolítására van szükség: lebegőanyagok, mikroorganizmusok, könnyen bontható oldott szerves anyagok, növényi tápanyagok (N- és P-formák), szerves és szervesetlen mikroszennyezők. A felszíni vizek vízminőségi mutatóira jellemző a viszonylag tág határok közötti változás, amely egyrészt az évszakoktól függő jellegű, másrészt a felszíni vizeket érő terhelések/szennyezések hatásait tükrözi.

A parti szűrészű víz eredetére nézve felszíni víz, de a mederanyagon átszivárogva összetétele megváltozik. A parti szűrészű víz minőségét együttesen befolyásolja a felszíni víz minősége, a mederanyag természetes szűrőhatása és az esetleg hozzákeveredő talajvíz jellemzői. A parti szűrészű vizek tisztítása során elsősorban a következő komponensekre kell figyelni: mikroorganizmusok, szervesetlen N-formák (ammónium-, nitrit- és nitrát-ionok), vas- és mangánvegyületek,

oldott állapotú szerves anyagok (például humin- és ligninvegyületek), kőolaj és származékai, szerves és szervesetlen mikroszennyezők.

A talajvíz potenciális szennyezőanyag komponensei: mikroorganizmusok, szerves N-formák (ammónium-, nitrit- és nitrát-ionok), vas- és mangánvegyületek, egyéb oldott szerves anyagok, oldott szerves anyagok (például humin- és ligninvegyületek), szerves és szervesetlen mikroszennyezők.

A mélységi vizek tisztítása során a következő komponensekre kell figyelemmel lenni: ammóniumion, vas- és mangánvegyületek, oldott szerves anyagok (például humin-, lignin- és fulvinvegyületek), oldott gázok (például metán, szén-dioxid, kén-hidrogén), magas oldottsó-tartalom, oldott állapotú arzénvegyületek.

A karsztvizek potenciális szennyezőanyag komponensei a következők: mikroorganizmusok, nitrátionok, lebegőanyagok, oldott állapotú szerves anyagok, szerves és szervesetlen mikroszennyezők.

Az ivóvizek minőségével kapcsolatos szabályozás a különböző ajánlásokon (például Egészségügyi Világszervezet [WHO] ajánlásai) és előírásokon (például EU-direktívák, országos szabványok) keresztül történik. Az ivóvíz minőségére vonatkozó előírások az egyes komponensek maximálisan megengedhető koncentrációit (MAC-érték) határozzák meg. Ezeket a határértékeket rendszeresen felülvizsgálják, és a legújabb kutatási eredmények alapján történik a megváltoztatásuk, ami általában a szigorításukat jelenti.

A magyarországi ivóvízminőséget jelentősen érintő arzén példáján az alábbiakban foglaljuk össze a nemzetközi vízminőségi határértékek alakulásának rövid történetét (a \* a határérték ideiglenes jellegét jelöli, amelynek oka a kis koncentrációk kockázatának bizonytalan megítélése, valamint a határértéknél tisztább ivóvíz előállításának gyakorlati nehézségei):

- 1958 WHO Nemzetközi Ivóvízszabvány: 200µg/l
- 1963 WHO Nemzetközi Ivóvízszabvány: 50µg/l
- 1971 WHO Nemzetközi Ivóvízszabvány: 50µg/l
- 1984 WHO Ivóvízminőségi Irányelv1: 50µg/l
- 1993 WHO Ivóvízminőségi Irányelv2: 10µg/l\*
- 1998 EU Unió 98/83/EK Irányelv:10µg/l
- 2003 WHO Ivóvízminőségi Irányelv3: 10µg/l\*

Hazánkban az 1970-es évektől kezdődően érvényes ivóvízszabványok (MSZ 450-1: 1989, MSZ 450-2: 1991, MSZ 450-3: 1991) kialakításakor a WHO ajánlásait vették figyelembe. Az EU-csatlakozás miatt azonban az 1990-es évek második felétől már az EU-direktívák (98/83/EK) váltak irányadóvá, és az ivóvízminőségi határértékek módosultak (például arzénvegyületek esetében 50µg/l-ről 10µg/l-re). Az ivóvíz minőségére vonatkozó előírásokat jelenleg a 201/2001. (X. 25.) sz. Kormányrendelet szabályozza. Az egyes vízminőségi jellemzők határértékeinek változását a 2.2. táblázat mutatja be.

A hazai és nemzetközi előírásoknak való megfelelés érdekében történt magyarországi ivóvízminőség javító intézkedéseket ismét az arzén példáján foglaljuk össze:

- 1981: vízművek felmérése, amelynek eredményeként megállapították, hogy több mint 400 000 lakos fogyaszt 50 µg/l (vagyis az akkori határérték) feletti arzént tartalmazó vizet.
- 1983: megkezdtek az első arzénsökkentő programot, amelynek keretében koagulációs módszerrel történő eljárások bevezetését célozták meg az érintett vízművek esetében.
- 1997: az első arzénsökkentő program eredményeként a közüzemi vízellátásban részesülők határértéknek megfelelő (50 µg/l) arzéntartalmú vizet kaptak.

- 1998: az 98/83/EK Irányelv életbe lépése miatt újra megnőtt a határérték feletti (10µg/l) arzéntartalmú vízben részesülők száma, mivel több, a korábbi határértéket arzénmentesítő eljárás nélkül is tartó, illetve több, az arzénsökkentő program keretében a koagulációs technológiát bevezető vízmű már nem tudta az új határértéknek megfelelő vizet szolgáltatni.
- 2001: megkezdődött az Országos Ivóvízminőség Javító Program, amely több paraméter (köztük az arzén) tekintetében célozta a létrejövő fejlesztésekkel az ivóvízminőségi határértékek teljesülését.
- 2004: Magyarország derogációt (átmeneti mentességet) kapott az EU Csatlakozási Szerződés X. melléklete alapján, többek között az arzénre vonatkozó határértékek teljesülésére is 2009 decemberéig, amelynek indoka az arzén esetében a magyarországi táplálkozási szokások (az európai átlagnál jóval kevesebb tengeri hal fogyasztása), valamint a technológiafejlesztés miatt az országra nehezedő rendkívül nagy költségtérhek voltak.
- 2009: Magyarország Kormánya újabb átmeneti eltérésre nyújtott be kérelmet, amelyet azonban az Európai Bizottság elutasított.
- 2011: Magyarország Kormánya 2015. június 30-ig tartó konszolidáltabb derogációs kérelmet nyújtott be az ivóvízminőségi paraméterek átmeneti eltérésére vonatkozóan (például 20 µg/l arzén, 5 mg/l bór és 1,7 mg/l fluorid), amelyet a II. Derogáció Európai Bizottsága C(2012)3686 határozat alapján elfogadott.
- 2012: a folytatódó Ivóvízminőség Javító Programok keretében a fentiek alapján 2015. június 30-ig álltak rendelkezésre uniós források a vízminőség-javító intézkedések végrehajtására.

Magyarországon a 2001-ben bevezetett új határértékeknek való megfelelés elsősorban az arzén, a bór, a fluorid és a nitrít esetében jelentett problémát a működő víztisztító műveknek, és közel 900 települést, illetve több mint kétmillió lakost érintett elsősorban az Alföld területén. A napjainkban befejeződött ivóvízminőség-javító programok célja ezért a legújabb technológiai fejlesztések bevezetése, a vízművek technológiai átalakítása, illetve a vízhálózatok rekonstrukciója volt.

2.1. táblázat: Az ivóvíz vízminőségi jellemzői (a szerző szerkesztése [1] alapján)

| I.                       | II.                                 | III.                      |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Vízminőségi jellemző     | Vízminőségi jellemző                | Vízminőségi jellemző      |
| Szín                     | Alumínium                           | Arzén                     |
| Szag                     | Klorid                              | Lúgosság                  |
| Íz                       | Mangán                              | Keményesség               |
| Ammónium                 | Nitrát                              | Klorit                    |
| Nitrít                   | pH                                  | Kötött aktív klór         |
| Permanganátindex (KOIps) | Zavarosság (10 000 m <sup>3</sup> ) | Szabad aktív klór         |
| Vas                      | Enterococcusok                      | Szulfát                   |
| Vezetőképesség           | Clostridium perfringens (spórák is) | Trihalometánok (THM)      |
| E. coli                  | Pseudomonas aeruginosa              | Összes szerves szén (TOC) |
| Telepszám 22 °C-on       | Mikroszkópos biológiai vizsgálat    |                           |
| Coliform baktériumok     | Telepszám 37 °C-on                  |                           |

Az ivóvíz-szolgáltatás nagy felelősséggel járó közszolgálat, és minden vízszolgáltatónak törvényben előírt kötelezettsége a szolgáltatott ivóvíz minőségének rendszeres ellenőrzése. Az ellenőrzés 56 vizsgálati szempont szerint történik, vannak köztük fizikai, kémiai és mikrobiológiai vizsgálati paraméterek egyaránt (2.1. táblázat).

2.2. táblázat: Az ivóvíz kémiai vízminőségi jellemzői (a szerző szerkesztése [2] [3] [4] [5] alapján)

| Vízminőségi jellemző              | Egység | Határérték |         |                               |                   |
|-----------------------------------|--------|------------|---------|-------------------------------|-------------------|
|                                   |        | WHO 1996   | EU 1998 | Magyarország 1989 „megfelelő” | Magyarország 2001 |
| Akrilamid                         | µg/l   |            | 0,10    |                               | 0,10              |
| Antimon                           | µg/l   | 5,0        | 5,0     |                               | 5,0               |
| Arzén                             | µg/l   | 10         | 10      | 50                            | 10                |
| Benzol                            | µg/l   | 10         | 1,0     | 10                            | 1,0               |
| Benzpirén                         | µg/l   | 0,7        | 0,010   | 0,010                         | 0,010             |
| Bór                               | mg/l   | 0,5        | 1,0     | 1,0                           | 1,0               |
| Bromát                            | µg/l   |            |         |                               | 10                |
| Kadmium                           | µg/l   | 3,0        | 5,0     | 5,0                           | 5,0               |
| Króm                              | µg/l   | 50         | 50      | 50                            | 50                |
| Réz                               | mg/l   | 2,0        | 2,0     | 2,0                           | 2,0               |
| Cianid                            | µg/l   | 70         | 50      | 100                           | 50                |
| 1,2-diklór-etán                   | µg/l   | 30         | 3,0     |                               | 3,0               |
| Epiklórhidrin                     | µg/l   |            |         |                               | 0,10              |
| Fluorid                           | mg/l   | 1,5        | 1,5     | 0,9–1,5                       | 1,5               |
| Ólom                              | µg/l   | 10         | 10      | 50                            | 10                |
| Higany                            | µg/l   | 1,0        | 1,0     | 1,0                           | 1,0               |
| Nikkel                            | µg/l   | 20         | 20      |                               | 20                |
| Nitrát                            | mg/l   | 50         | 50      | 20                            | 50                |
| Nitrit                            | mg/l   | 3,0        | 0,50    | 0,50                          | 0,50              |
| Peszticidek                       | µg/l   | ***        | 0,10    | ***                           | 0,10              |
| Összes peszticid                  | µg/l   |            | 0,50    |                               | 0,50              |
| PAH*                              | µg/l   |            | 0,10    |                               | 0,10              |
| Szelén                            | µg/l   | 10         | 10      | 10                            | 10                |
| Tetraklór-etilén + Triklór-etilén | µg/l   | ***        | 10      | ***                           | 10                |
| Összes THM**                      | µg/l   | ***        | 100     | ****                          | 50                |
| Vinil-klorid                      | µg/l   |            |         |                               | 0,50              |
| Cisz-1,2-diklór-etilén            | µg/l   | 50         |         |                               | 50                |
| Klorit                            | mg/l   |            |         |                               | 0,20              |
| Kötött aktív klór                 | mg/l   |            |         |                               | 3,0               |

*Megjegyzés:* \* A PAH (policiklikus aromás szénhidrogének) körében szabályzott vegyületek a következők: benz(b)fluorantén, benz(k)fluorantén, benz(ghi)perilén, indeno(1,2,3-cd)pirén. \*\* A THM (trihalo-metánok) körében meghatározott vegyületek: kloroform, bromoform, dibrom-klórmetán, bróm-diklórmetán.

\*\*\* Komponensenként eltérő. \*\*\*\* Csak kloroformra: 30

A vízminőség-ellenőrző vizsgálatok célja az, hogy rendszeresen tájékoztasson az ivóvíz organoleptikus (érzékszervi) és mikrobiológiai minőségéről, egyes kémiai vízminőségi jellemzőkről, a vízminőség esetleges változásáról, illetve a vízkezelés hatékonyságáról. Az ellenőrző vizsgálat keretében a vízminőségi jellemzőket különbözőképpen kell meghatározni: a 2.1. táblázat I. oszlopában szereplőket minden esetben, a II. oszlop jellemzőit bizonyos feltételektől függően, a III. oszlopban láthatókat is bizonyos esetekben, de már kisebb gyakorisággal (részletesebb

leírás a 201/2001. Kormányrendelet mellékleteiben olvasható). Az ivóvíz kémiai vízminőségi jellemzőire jelenleg hatályos határértékeket a 2.2. táblázat „Magyarország 2001” oszlopa mutatja be. Ha az ivóvizet fertőtlenítik, a vízszolgáltató köteles gondoskodni az alkalmazott fertőtlenítés hatékonyságának ellenőrzéséről, és biztosítani, hogy a fertőtlenítőszer melléktermékeiből származó szermaradványok (például THM, klorit, kötött aktív klórformák) a fertőtlenítő hatás veszélyeztetése nélkül az ivóvízben a lehető legalacsonyabb szintűek legyenek, és a 2.2. táblázatban megadott határértékeket ne lépják túl. Ha az ellenőrző vizsgálatok során a meghatározott határértékeket meghaladó érték fordul elő, vagy a 2.3. táblázatban látható indikátor-paraméterek szennyezést jeleznek, illetve szennyezés veszélyével járó rendkívüli esemény fordul elő, akkor a vízszolgáltatónak azonnal meg kell kezdeni a közegészségügyi kockázatot jelentő vízminőségi jellemzők koncentrációjának csökkentése érdekében történő beavatkozást.

2.3. táblázat: Az ivóvíz-indikátor vízminőségi jellemzői (a szerző szerkesztése [5] alapján)

| Vízminőségi jellemző                              | Parametrikus érték | Egység              |
|---------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Alumínium                                         | 200                | µg/l                |
| Ammónium                                          | 0,50               | mg/l                |
| Klorid                                            | 250                | mg/l                |
| <i>Clostridium perfringens</i> (spórákkal együtt) | 0                  | szám/100 ml         |
| Szín                                              | *                  |                     |
| Vezetőképesség                                    | 2500               | µS/cm20 °C-on       |
| pH                                                | ≥6,5 és ≤9,5       |                     |
| Vas                                               | 200                | µg/l                |
| Mangán                                            | 50                 | µg/l                |
| Szag                                              | *                  |                     |
| Permanganátindex (KOIps)                          | 5,0                | mg/l O <sub>2</sub> |
| Szulfát                                           | 250                | mg/l                |
| Nátrium                                           | 200                | mg/l                |
| Íz                                                | *                  |                     |
| Telepszám 22 °C-on és 37 °C-on                    | **                 | szám/ml             |
| Coliform baktériumok                              | 0                  | szám/100 ml         |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i>                     | 0                  | szám/100 ml         |
| Összes szerves szén (TOC)                         | **                 |                     |
| Zavarosság                                        | *                  |                     |
| Keményiség                                        | Min. 50, max. 350  | mg/l CaO            |
| Radon                                             | 100                | Bq/l                |
| Trícium                                           | 100                | Bq/l                |
| Indikatív dózis                                   | 0,10               | mSv                 |

Megjegyzés: \* A fogyasztó számára elfogadható, és nincs szokatlan változás. \*\* Nincs szokatlan változás.

A vízműveknek nemcsak a szolgáltatott ivóvíz minőségét kell rendszeresen vizsgálniuk, hanem a vízbázist képező kutakat is. Ha a vízbázis valamely vízkivételi pontjánál a 2.4. táblázatban meghatározott határértékek valamelyikének túllépése fordul elő, az üzemeltetőnek meg kell vizsgálnia a túllépés okát. Ha a határérték-túllépés természeti folyamatok következménye, vagy olyan ismert oka van, amely nem jelez váratlan szennyezést, és a vízbázis védelme (védőterülete) biztosított, nincs szükség külön intézkedésre. Egyéb, nem természeti ok által kiváltott esetben

a várható szennyezés kiküszöbölése érdekében a vízszolgáltatónak megfelelő és biztonságosan üzemeltetett technológiát kell alkalmaznia, vagy a szennyezés kizárásáig, illetve a technológia megvalósításáig a szennyezett vizet adó kutakat ki kell kapcsolnia a szolgáltatásból.

2.4. táblázat: Szennyezésjelző vízminőségi jellemzők határértékei karszt-, talaj- és parti szűrészű vízbázisok esetén (a szerző szerkesztése [5] alapján)

| Vízminőségi jellemző               | Parametrikus érték | Egység |
|------------------------------------|--------------------|--------|
| Permanganátindex KOI <sub>ps</sub> | 3,5                | mg/l   |
| Ammónium                           | 0,20               | mg/l   |
| Nitrit                             | 0,10               | mg/l   |
| Klorid                             | 100                | mg/l   |

## 2.2. A víztisztítási alapfolyamatok csoportosítása

Az ivóvíz-előállítás (víztisztítás) során térben és időben sűrítve, szabályozottan és az adott feladatra orientáltan alkalmaznak fizikai, fizikai-kémiai, kémiai, kolloidkémiai, biokémiai és mikrobiológiai folyamatokat. A víztisztítási eljárások többféle szempont alapján csoportosíthatóak. A kezelés típusa szerint a víztisztítási technológiák fizikai, kémiai, illetve biológiai eljárások lehetnek. A víztisztítás során megoldandó feladat alapján beszélhetünk gázmentesítésről, lebegőanyag eltávolításról, valamely oldott szerves vagy szervetlen komponens eltávolításáról vagy koncentrációjának csökkentéséről, valamint fertőtlenítésről. A technológiai alapfolyamat lehet: redoxireakció, pH-szabályozás, kémiai kicsapás, adszorpció, fázissztérválasztás, egyéb eljárás (például membrántechnológia). A 2.5. táblázatban a leggyakrabban alkalmazott víztisztítási eljárásokat a fentebb tárgyalt különböző szempontok szerinti csoportosításban mutatjuk be.

2.5. táblázat: Víztisztítási eljárások csoportosítása (a szerző szerkesztése)

| Fizikai eljárások                                                       | Fizikai/Kémiai eljárások | Biológiai eljárások |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| <i>Cél: gázmentesítés</i>                                               |                          |                     |
| levegőztetés                                                            | savtalanítás             |                     |
| nyomáscsökkentés                                                        | oxidáció                 |                     |
| melegítés                                                               |                          |                     |
| <i>Cél: lebegőanyag-eltávolítás</i>                                     |                          |                     |
| szűrés                                                                  | derítés                  |                     |
| ülepítés                                                                |                          |                     |
| <i>Cél: oldott komponens eltávolítása/koncentrációjának csökkentése</i> |                          |                     |
| desztilláció                                                            | vegyszeres vízlágyítás   | nitrifikáció        |
| termikus vízlágyítás                                                    | csapadékképzés           |                     |
| adszorpció                                                              | ioncsere                 |                     |
| szűrés                                                                  | oxidáció                 |                     |
| fordított ozmózis                                                       |                          |                     |
| <i>Cél: fertőtlenítés</i>                                               |                          |                     |
| termikus                                                                | ózonozás                 |                     |
| UV                                                                      | klórozás                 |                     |
|                                                                         | klór-dioxidos kezelés    |                     |

## 2.3. Gázmentesítés

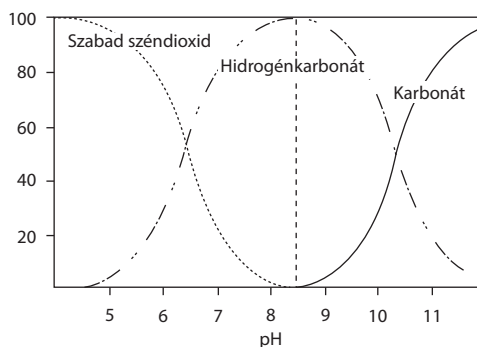
Magyarország mélységi vizei gyakran magas metán, illetve agresszív szén-dioxid-tartalommal, ritkább esetben magas kén-hidrogén-tartalommal rendelkeznek. Veszélyes helyzetek alakulnak ki, ha gázos kutak vizét zárt csőhálózatokba, víztornyokba, illetve a fogyasztók készülékeibe vezetik. A metánnak a vízből történő kiválása következtében súlyos baleseteket okozó robbanások fordulhatnak elő, az agresszív szén-dioxid és a kén-hidrogén pedig a hálózatra fejt ki korrozív hatást, a kén-hidrogén jellegzetes záptojásszagú, nagyobb koncentrációban mérgező hatású gáz. Ezért a gázos vizek esetében a vízkezelés első lépése a gázmentesítés, ami fizikai, valamint kémiai módszereken alapuló eljárások során valósítható meg. A metán eltávolítását a vízből fizikai úton, az agresszív szén-dioxid és a kén-hidrogén eltávolítását kémiai vagy fizikai úton lehet elvégezni.

A fizikai folyamaton alapuló gázmentesítés során nyomáscsökkentést, hőmérséklet-emelést vagy kilevegőztetést alkalmazhatnak. Levegőztetésnél a feladat a minél nagyobb folyadék–levegő határfelületet biztosítása (például a víz apró cseppekre porlasztásával vagy a levegőnek a vízbe fúvásával vagy a víz és a levegő mechanikus összekeverésével), és a levegőből a vízből kivált gázok elvezetése. A levegőztetés során figyelemmel kell lenni arra, hogy itt két folyamat játszódik le párhuzamosan: egyrészt a vízben oldott gázok eltávoznak a vízből, másrészt jelentős mennyiségű oxigén oldódik be a levegőből a vízbe. A metán eltávolítása a vízből leggyakrabban levegőztetéssel történik.

Az (1) egyenlet szerinti hidrogén-karbonát–karbonát egyensúlyhoz (más néven a mész–szén-sav egyensúlyhoz) szükséges mennyiségen túl az adott vízben található szén-dioxidot agresszívnek nevezzük. (A  $\leftrightarrow$  megfordítható, reverzibilis folyamatot jelöl.)



Ha a szén-dioxid mennyisége az egyensúlyi koncentrációnál kisebb, akkor kalcium-karbonát (illetve bizonyos esetekben magnézium-karbonát) válik ki. Ha a szén-dioxid mennyisége az egyensúlyi koncentrációnál nagyobb, akkor a víz erősen korrozív tulajdonságúvá alakul. A hidrogén-karbonát–karbonát egyensúly egy heterogén egyensúly, amelyben az egyes szervesetlen szénformák egymáshoz viszonyított aránya a pH függvényében is változik (2.1. ábra). A vízben található agresszív szén-dioxidot fizikai (például levegőztetéssel) vagy kémiai úton (például vegyszer hozzáadásával) lehet eltávolítani az ivóvízből.



2.1. ábra: A szervesetlen szénformák aránya a pH függvényében (a szerző szerkesztése [6] alapján)

Mivel a kémiai módszerrel végzett szén-dioxid-tartalom-csökkentés kémhatásváltozással (pH-növekedéssel) jár, ezért gyakran savtalanításnak is nevezik. Ezen eljárások során adagolhatunk a vízhez lúgosító reagenseket, vagy átvezethetjük a vizet lúgosan oldódó ásványokból álló szűrőközegeen.

A reagens hozzáadásával történő módszerre példa, amikor a szén-dioxid-tartalmú vizet mésztejjel (kalcium-hidroxid-oldattal) kezelik, ekkor a következő (2, 3) két egyenletben látható folyamatok játszódnak le (az aláhúzás rosszul oldódó, ezért a vizes rendszerből szilárd anyag formájában kiváló vegyületet; a  $\leftrightarrow$  reverzibilis folyamatot jelöl):



Ennél az eljárásnál a mésztejet (kalcium-hidroxid-oldatot) sztöchiometrikus, vagyis az adott egyenletben meghatározott mennyiségben kell alkalmazni, különben a (2) reakció lesz az uralkodó, amely csak további ülepitéssel és szűréssel eltávolítható kalcium-karbonát-csapadékat eredményez.

A savtalanítás során reagensként alkalmazhatnak továbbá nátronlúgot (nátrium-hidroxidot) vagy szódát (nátrium-karbonátot), ekkor az alábbi (4, 5) folyamatok játszódnak le:

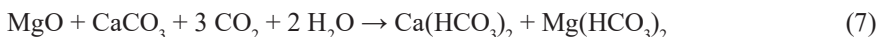


Bár a szóda (nátrium-karbonát) adagolásának hatása hasonló a nátronlúg (nátrium-hidroxid) alkalmazásához, a szódás folyamat kedvezőbb, mivel kisebb a túllúgosítás veszélye. A reagenták alkalmazásával történő szén-dioxid-csökkentésre alkalmazott eljárások közös sajátossága, hogy növelik a víz sótartalmát.

A lúgosító hatású kőzetek (márvány, mészkő, dolomit) közül savtalanításra gyakorlatilag csak a márványt használják: a vizet márvány (amely kémiaiilag kalcium-karbonát) darabokkal töltött tornyon csörgedeztetik át, ekkor az (6) egyenletben látható folyamat játszódik le (amelyben a  $\leftrightarrow$  megfordítható, vagyis reverzibilis reakciót jelöl). A márvány tömött kristályszerkezete miatt lassan oldódik, ami véd a túllúgosítástól, de ez a technológia nagy mennyiségű kőzet és kis vízáramlási sebesség alkalmazását teszi szükségessé.



Az ásványok kiégetésével jóval nagyobb lúgosságú és aktivitású termékek nyerhetők, amelyek alkalmazása technológiailag is kedvezőbb. Az eljárás során a szén-dioxid-tartalmú vizet magnézium-oxid-tartalmú szűrőhomokon vagy félig égetett dolomiton (amely kémiaiilag magnézium-oxid és kalcium-karbonát keveréke) vezetik keresztül. Ekkor a közegben lévő magnézium-oxid és kalcium-karbonát a következő (7) reakcióba lép a szén-dioxiddal:

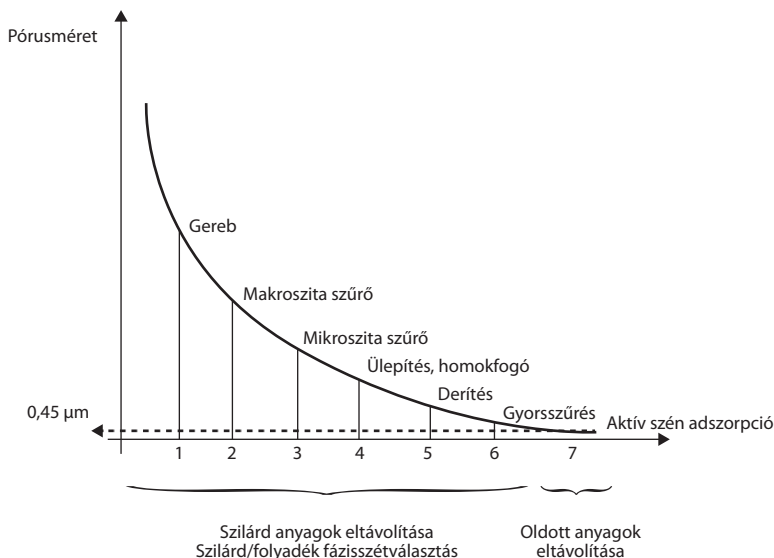


A kén-hidrogén-mentesítést általában az alábbi (8, 9) redoxireakciók valamelyikével végzik, ahol az oxidálószer a klórgáz ( $\text{Cl}_2$ ) vagy a kálium-permanganát ( $\text{KMnO}_4$ ):



## 2.4. Lebegőanyag-eltávolítás

Az előző alfejezetben bemutatott gázmentesítésnél (gáz-folyadék fázisszétválasztásnál) lényegesen nagyobb szerepet játszik a víztisztításban a szilárd-folyadék fázisszétválasztás (2.2. ábra). A felszíni vizekben található szennyező anyagok jelentős része szilárd állapotú anyag, vagy azokhoz kötődik; illetve előfordulnak olyan oldott állapotú eltávolítandó anyagok is, amelyek megfelelő adalékanyagok segítségével szilárd halmazállapotúvá alakíthatók.



2.2. ábra: Szilárd-folyadék fázisszétválasztási technológiák összefoglalása (a szerző szerkesztése [7] alapján)

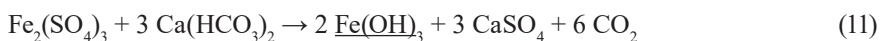
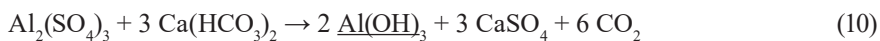
A vízszintes tengelyen található számok magyarázata: 1–úszó fadarabok; 2–falevelek, rovarok; 3–planktonikus szervezetek; 4–homokszemcsék, egyéb ülepezhető anyagok; 5–pelyhek, csapadékok; 6–pelyhek, csapadékok; 7–íz- és szagrontó anyagok, mikroszennyezők.

Szűréssel a vízben található pelyeket, csapadékokat és egyéb szilárd szennyezőket lehet eltávolítani. Felszíni vizek esetén a szűrést gyakran megelőzik a durva fázisszétválasztási eljárások (például gereb), illetve az ülepítés. Hazánkban az ivóvíz-előállítás során flotálást (felúsztatást) nem alkalmaznak. A mélységi vizeknél gyakran a szűrés az egyedüli szilárd-folyadék fázisszétválasztást szolgáló technológiai lépés.

A felszín alatti vizek tisztításában nagy szerepe van a vas- és mangántalanításnak. Ezen eljárás során az oldott állapotú vas- és mangánvegyületeket szilárd állapotú formákká (csapadékokká) alakítják át, majd a megfelelő szilárd–folyadék fázisszétválasztással elkülönítik a víztől. Lényegében hasonló folyamatok játszódnak le az arzén eltávolítása során is, de ott elsősorban nem a kicsapódás, hanem az adszorpció (felületi megkötődés) okozza az oldott állapotú arzénvegyületek szilárd állapotban történő megjelenését (minderről részletesebben a későbbiekben lesz szó).

A vizekben jelen lévő és a víztisztítás során eltávolítandó lebegőanyagok mérete, valamint mennyisége igen tág határok között változik. A lebegő részecskék egy részét képező durva szemcsék mechanikai fázisszétválasztási módszerekkel (például ülepitéssel, szűréssel) eltávolíthatók. A jelentősebb másik rész azonban kolloidméretű (vagyis 1–500 nm közötti), negatív elektromos töltésű részecskékből áll, amelyeknek a spontán összetapadása, pelyhesedése és ülepedése csak igen hosszú idő alatt menne végbe. Ezért eltávolításukhoz a vegyszer hozzáadásával járó derítési folyamatban a stabilizáló erők megszüntetésére és nagyobb méretű részecskék létrehozására van szükség, amelyek már elkülöníthetők lesznek a víztől a mechanikai fázisszétválasztási módszerek (például ülepités, szűrés) alkalmazásának segítségével.

A derítés során a hozzáadott alap- és segédderítőszer hatására koaguláció, flokkuláció és ülepedés játszódik le. Koaguláció (kicsapódás) a kolloid részecskék destabilizálódását jelenti, amely a részecskék közötti taszítóerő csökkenésének, illetve megszűnésének hatására következik be. A leggyakrabban alkalmazott koaguláló vegyszerek a három vegyértékű alumínium- és vas-sók [alumínium(III)-szulfát, vas(III)-szulfát]. A vízben jelen lévő keménységet okozó vegyületek közreműködésével a koaguláció során az alábbi (10, 11) reakciók mennek végbe (az aláhúzás rosszul oldódó, ezért a vizes rendszerből szilárd anyag formájában kiváló vegyületet jelöl):



Flokkuláció (pehelyképződés) során a koagulálódott részecskék nagyobb méretű halmazokká kapcsolódnak össze. A pehelyképződést a segédderítőszer (például polielektrolitok) alkalmazása teszi hatékonnyá. A kolloid felületi töltését az adagolt derítőszer (fém-só) megváltoztatja, és így hozzá tudnak kapcsolódni a polimer segédderítőszer anionos funkciós csoportjai. A folyamat első lépése a polimerek szorpciója (megkötődése) a szilárd részecskék felületén, és a mikropelyhek képződése. Ezt követi a mikropelyhek nagyméretű, jól ülepedő pelyhekké (makropelyhekké) való összekapcsolódása. A makroméretű pehelyképződést a polimer szerkezete teszi lehetővé. A képződött makropelyhek a fém-hidroxid-pelyheknél jóval nagyobb méretűek, tömörebb szerkezetűek, így hatékonyabb szilárd–folyadék-elválasztást tesznek lehetővé. A flokkulációt keveréssel segítik elő. A keverés leállítása után a nehézségi erő hatására a makropelyhek már könnyebben ülepednek.

## 2.5. Oldott komponens eltávolítása vagy koncentrációjának csökkentése

Az oldott komponensek eltávolítása érdekében a tisztítandó vizet fizikai módszerek (például adszorpció, membrántechnológiák) és/vagy redoxireakción, pH-változtatáson, csapadékképzésen, helyettesítésen alapuló kémiai módszerekkel kezelik (például vas- és mangántalanítás, arzénmentesítés, vízlágyítás).

### 2.5.1. Redoxifolyamatok

Az ivóvízkezelés során az eltávolítandó komponens oxidációját nagy gyakorisággal alkalmazzák, redukcióra azonban ritkán kerül sor. Több eltávolítandó komponens (például vas, mangán, arzén) a felszín alatti vizekben kialakuló redukatív viszonyok miatt redukált formákban fordul elő, amely formák vízben jól oldódnak. Ugyanakkor az oxidált formák vízben rosszul oldódnak, abból oxidatív körülmények között csapadék formájában kiválnak. Így a szilárd-folyadék fáziszétválasztásra ezen komponensek oxidált állapotú formái lehetnek alkalmasak. A patogén és nem patogén mikroorganizmusok egyedszámának szabályozására (fertőtlenítésre) szinte kivétel nélkül oxidációt alkalmaznak (a fertőtlenítés részletes bemutatása a következő, 2.6. alfejezet témája). Redukciós eljárásra példa a mikrobiológiai úton megvalósított nitráteltávolítás, amelynek során a denitrifikáló baktériumok a nitrátionokat nitrogén gázzá redukálják (bővebben lásd a víztisztítás biológiai folyamatait bemutató 4. fejezetben)

### 2.5.2. A pH szabályozása

A kémhatás beállításának, illetve változtatásának azért van jelentősége a víztisztítás során, mert a kémiai és mikrobiológiai folyamatok többsége csak egy szűk pH-tartományban játszódik le megfelelő sebességgel és intenzitással. Sok esetben az adott vízkezelési technológiával kezelt víz pH-értéke nincs az optimálisnak tekinthető intervallumban, ezért ennek beállítása savas vagy lúgos karakterű anyag adagolásával történik. A hazai felszíni és felszín alatti vizek viszonylag nagy hidrogén-karbonát-ion-koncentrációja biztosítja a víz jó pufferkapacitását, vagyis azt, hogy az aktuális pH-érték a vízkezelés során csak kis mértékben változzon meg. Amennyiben ez nem így van (például a Mátrában található vízbázisok esetében), akkor a víz megfelelő pufferkapacitását vegyszer hozzáadásával alakítják ki. Tulajdonképpen a pH-szabályozás körébe tartozik a korábban már bemutatott savtalanítási eljárás is, amely során lúgos kémhatású anyagok hozzáadásával a víz szén-dioxid-tartalmát csökkentik.

### 2.5.3. Kémiai kicsapás (csapadékképzés)

Kémiai kicsapás során a vízben oldott állapotú komponensek egy része megfelelő vegyszerek adagolásával vízben rosszul oldódó vegyületté alakítható, és egyszerű szilárd-folyadék fáziszétválasztási eljárásokkal (például ülepités, flotálás, szűrés) elválaszthatók a víztől. Nagyon sok esetben a csapadékképződés kiváltó oka az oxidáció vagy a pH-szabályozás, azonban előfordul az is, hogy redoxi-, illetve sav-bázis folyamatok nélkül, egyszerű helyettesítéssel reakcióban képződik a rosszul oldódó anyag.

Kicsapátásos eljáráson alapuló szennyezőanyag-eltávolítási technológia a felszín alatti vizek tisztítása során alkalmazott vas- és a mangáneltávolítás. A vas a felszín alatti vizekben, redukatív körülmények között oldott vas(II)-ion formájában van jelen. A felszínre kerülve azonban oxidálódik, és így rosszul oldódó vas(III)-vegyületté alakul, amely barnás színű csapadék formájában jelenik meg. Az oxidációs vastalanítási eljárásoknál a vasvegyületek oxidációs sebessége függ: a pH-értéktől (lúgosabb közegben gyorsabb a reakció), az oldott oxigén koncentrációjától (nagyobb értéknél gyorsabb a reakció), katalizátorok esetleges jelenlététől (például a leválasztott és visszaforgatott vas-hidroxid-iszap felgyorsítja az oxidációs folyamatot), az agresszív

szén-dioxid jelenlététől (amely rontja az oxidációs hatást, mivel csökkenti a pH-értéket, vagyis savanyít).

A pH-emeléssel történő vastalanítást elsősorban a szulfát formában lévő vas eltávolításánál alkalmazzák. Ez az eljárás hazánkban nem terjedt el, mivel viszonylag ritkán fordul elő vizeinkben a szulfátos kötésben lévő vas. A pH értékét mésztej (kalcium-hidroxid-oldat) adagolásával növelik meg. Ekkor vas(II)-hidroxid keletkezik, amely a vízben oldott oxigén hatására könnyen vas(III)-hidroxiddá alakul. A keletkező vas- és mésziszapot először üleptik, és csak ezt követően vezetik a vizet homokszűrőre.

Vegyszeres oxidációra a vastalanításnál akkor van szükség, ha a levegőztetéssel a vízbe bevitt oxigén nem, vagy csak nagyon lassan képes oxidálni a vas(II)-vegyületet, illetve amennyiben a vas mellett más oxidációt igénylő komponenst is el kell távolítani (például mangánt, arzént). Az alkalmazható oxidáló szerek: kálium-permanganát ( $\text{KMnO}_4$ ), klórgáz ( $\text{Cl}_2$ ), klór-dioxid ( $\text{ClO}_2$ ), ózon ( $\text{O}_3$ ).

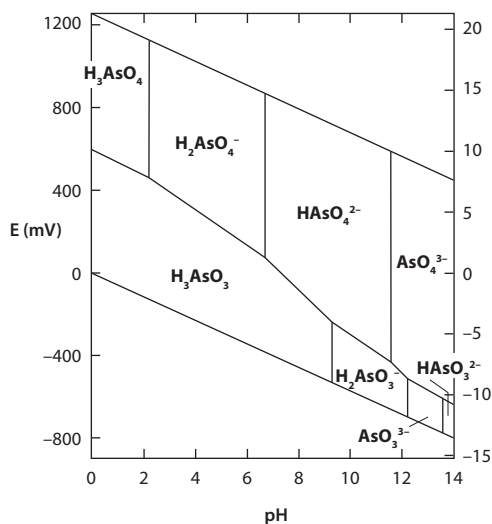


A klórgáz vízben oldódva a (12) egyenlet szerint ( $a \leftrightarrow$  megfordítható, vagyis reverzibilis folyamatot jelöl) hipoklórossavvá ( $\text{HOCl}$ ) alakul, amely aztán gyorsan oxidálja a vas(II)-iont. A pH 5 feletti tartományban a kis oldott szerves széntartalmú vizek is jól vastalaníthatók, de a nagyobb koncentrációban szerves kötésben (például humin- és fulvinsavakban) lévő vas csak kisebb hányada távolítható el ezzel az eljárással. A klór-dioxid ( $\text{ClO}_2$ ) a vas(II)-ionokat gyorsan oxidálja, de a szerves kötésű vasat nem képes hatékonyan oxidálni. A kálium-permanganáttal ( $\text{KMnO}_4$ ) a vas(II)-ion oxidációja pillanatszerű, azonban a szerves kötésű vasnak csak kisebb hányadát képes oxidálni. Az ózon ( $\text{O}_3$ ) a kis oldott szervesanyag-tartalmú vizek esetében hatékony, de költségei miatt nem versenyképes a klórral.

Ahhoz, hogy a mangánt valamilyen szilárd-folyadék fázisszétválasztási technológiával el tudjuk távolítani a vízből, először a mangán(II)-vegyületet vízben rosszul oldódó mangán(IV)-vegyületté kell alakítani. Az alkalmazható oxidálószer: kálium-permanganát ( $\text{KMnO}_4$ ), ózon ( $\text{O}_3$ ). Ha a víz oldott mangántartalma kevesebb, mint 1 mg/l nem szükséges külön mangántalanítani, mivel ekkor a vastalanítással együtt megtörténik a mangán eltávolítása is. Amennyiben a vízben jelen lévő mangán koncentrációja nem haladja meg a 0,5 mg/l értéket a levegő oxigénjének felhasználásával is oxidálható a mangán(II)-vegyület. Az eljárás lényege, hogy a szűrőszemcsék felületén speciális katalitikus réteget alakítanak ki (ez lesz az úgynevezett bedolgozott szűrő) kálium-permanganát ( $\text{KMnO}_4$ ) vagy mangán(II)-klorid ( $\text{MnCl}_2$ ) oldatok szűrőhomokon való keringetésével. Ezáltal a szűrőszemcsék felületén mangán-dioxid ( $\text{MnO}_2$ ) réteg jön létre, amely katalizátorként biztosítani tudja, hogy a vízben lévő mangán-(II)-vegyület a levegő oxigénjének hatására mangán(IV)-vegyületté oxidálódjon.

A rétegvizekbe az arzén természetes úton, a vízbázissal érintkező kőzetekből történő lassú oldódási folyamat során került be. Az arzén általában olyan ásványokban található meg, amelyek szulfidot, rezet, nikkelt, ólmot vagy kobaltot is tartalmaznak. Az arzénmentesítés lehetséges technológiai megoldását döntően az határozza meg, hogy az arzén milyen formában van jelen a tisztítandó vízben, mivel ettől függ az előoxidáció szükségessége. A 2.3. ábra az arzén lehetséges előfordulási formáit mutatja be a vizes közeg kémhatásának (pH) és redoxipotenciáljának (pE) függvényében. Az arzén a vízben oldott és partikulált (szilárd csapadék) formában lehet jelen. A rétegvizekre jellemző redukzív környezetben az arzén jellemzően oldott arzenit [ $\text{As(III)}$ -vegyületek] formájában fordul elő, a partikulált arzenát [ $\text{As(V)}$ -vegyületek] frakciója általában

elhanyagolható mértékű. A magasabb arzéntartalmú felszín alatti vizek általában enyhén lúgosak ( $8 < \text{pH} < 9$ ), ebben a pH-tartományban az arsenit természetes formája a töltéssel nem rendelkező arzénessav ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ), az arsenáté pedig az arzénsav anionos formája, a dihidrogén-arsenát ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$ ). Bár az arsenit előfordulása redukált, az arsenáté pedig oxidált környezetben jellemző, bizonyos esetekben az arsenát jelentős mértékben fordulhat elő redukáltnak tekintett vizekben is (például kén-hidrogén vagy nagy mennyiségű oldott vas jelenléte esetén).



2.3. ábra: Az arzén előfordulási formái a vizekben (a szerző szerkesztése [8] alapján)

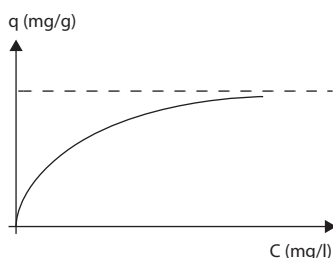
Az alkalmazott arzénmentesítési technológiák három nagy csoportba oszthatók: (a) hagyományos technológiák (koaguláció, meszes lágyítás), (b) szorpciós eljárások (ioncsere, aktivált alumínium alkalmazása), (c) membrántechnológiák (fordított ozmózis, nanoszűrés, mikroszűrés, ultraszűrés). A hagyományos arzénmentesítési technológiákat magas vas-, illetve vas-mangán-tartalmú felszín alatti vízbázisok esetén alkalmazzák. Hazánkban is ezek a technológiák terjedtek el. A tisztítási eljárás során az előlevegőztetés a vas, a vegyszeres oxidáció (kálium-permanganáttal, klórral, ózonnal) az arsenit oxidálására és kicsapására szolgál. A negatív töltésű arsenát a vas-hidroxid-pelyhekbe épülve szűrhető ki. Elégtelen természetes vastartalom esetén vas(III)-kloridot ( $\text{FeCl}_3$ ) adagolnak a vízbe. Fontos a víz megfelelő kémhatásának fenntartása is, amit pH-beállítással érnek el. A szorpciós eljárásokkal és a membrántechnológiákkal a következőkben ismerkedünk meg.

#### 2.5.4. Adszorpció

Az adszorpció (felületi megkötődés) során a vízből eltávolítandó komponens megkötődése csupán fizikai folyamatok révén jön létre. Ha kémiai kötések is kialakulnak a felület és a megkötődő anyag között, akkor kemisorpcióról beszélünk. Az adszorpció reverzibilis (megfordítható) folyamat, megfelelően kiválasztott hatásokkal (például hőmérséklet emelése) a megkötődött anyagok eltávolíthatók a felületről. Ez a folyamat a deszorpció.

Mivel az adszorpció egyensúlyi folyamat, ezért az, hogy mennyi szennyezőanyag kötődik meg, illetve hogy mekkora lesz a szennyezőanyag koncentrációja az egyensúly beálltakor a vízben, az nagymértékben függ a kezdeti szennyezőanyag-koncentrációtól. Ezt az összefüggést mutatja be a 2.4. ábra.

Vízkezelés során leggyakrabban használt adszorbens az aktív szén, amelynek fajlagos felülete 1000–1200 m<sup>2</sup>/g. Az aktív szén elsősorban apoláros szerves vegyületek megkötésére alkalmas nem szelektív adszorbens. Kétféle formában használatos: granulált aktív szén (GAC) és por alakú aktív szén (PAC). A granulált aktív szén alkalmazása során a tisztítandó víz átfolyik az aktív szén tölteten, és közben a szerves anyagok megkötődnek az adszorbens felületén. A technológiából adódóan a GAC-réteg helyben regenerálható kémiai (vegyszerrel) vagy fizikai módszerrel (túlhevített vízgőzzel). A por alakú aktív szenet a vízbe szórják, a szemcséin megkötődnek a szerves anyagok, majd a szemcséket szilárd-folyadék fázisszétválasztással elkülönítik a víztől.



2.4. ábra: Az adszorpciós folyamatot leíró Langmuir-izoterma (a szerző szerkesztése [7] alapján)

Jelmagyarázat: C – egyensúlyi koncentráció; q – adszorbeált anyagmennyiség

#### 2.4.5. Membrántechnológiák

A membrán olyan természetes vagy mesterséges hártya, amely féláteresztő képességgel rendelkezik, azaz gázok és folyadékok egyes komponenseit visszatartja, más komponenseit pedig átengedi. A membrán áteresztőképessége függ a pórusmérettől, a rendszer nyomásától és hőmérsékletétől, a víz kémhatásától.

A membrántechnológiák egyik csoportja (ahol nagyobb a pórusméret, például mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés) az oldott szennyezőket nem képes eltávolítani. Ebben az esetben a tisztítandó víz előkezelése szükséges (például oxidációval, koagulációval), és a membrántechnológia csak mint szilárd-folyadék fázisszétválasztási eljárás játszik szerepet.

A membrántechnológiák másik része (például fordított ozmózis) alkalmas az oldott állapotú szennyezők (így például az oldott állapotú arzén) eltávolítására is. A fordított ozmózis során a víz áramlik külső nyomás hatására a membránon keresztül a magasabb koncentrációjú oldatból (szennyezett víz) az alacsonyabb koncentrációjú oldat felé (tisztított víz). Vagyis ebben az esetben nemcsak az oldott állapotú szennyezők (például arzén), hanem az egyéb oldott komponenseket is eltávolítanak. A tisztítás végeredménye az idegen ionoktól mentes víz lesz (amely csak a víz öndisszociációjából származó oxónium- és hidroxidionokat tartalmazza), ezt nevezik köznap szőhasználatban „ionmentes” víznek. Ezen eljárás ivóvíztisztításban való alkalmazása esetén a tisztított víz megfelelő visszaszórásáról kell gondoskodni. Mivel a membránon a mikroorganizmusok sem juthatnak át, a fordított ozmózis (illetve még a nanoszűrés is) fizikai úton történő fertőtlenítő hatással rendelkezik.

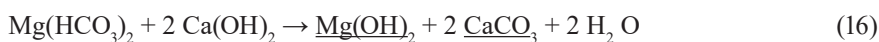
### 2.5.6. Vízlágyítás

A vízlágyítás a víz keménységének csökkentésére irányuló eljárás, amellyel a keménységet okozó kalcium- és magnéziumionok mennyiségét csökkentjük. A víz lágyításának két alapvető módszere van: (a) csapadékos, idetartozik a termikus és a vegyszeres eljárás, (b) ioncserélés. A vegyszeres eljárás az alkalmazott vegyszerek alapján lehet: meszes, mész-szódás, trisós.

Termikus vízlágyítás során a víz változó keménysége (más néven a karbonát-keménysége, KK) csökkenthető azáltal, hogy melegítés hatására a vízben lévő hidrogén-karbonátok csapadékként kiváló karbonátokká és gázként eltávozó szén-dioxiddá alakulnak a (13, 14) egyenleteknek megfelelően.



A meszes vízlágyítás során mésztejet (kalcium-hidroxid-oldatot) adagolnak a kezelendő vízhez, a lejátszódó folyamatokat a (15–17) egyenletek írják le. Az aláhúzás rosszul oldódó, ezért a vizes rendszerből szilárd anyag formájában kiváló vegyületet jelöl, amely szilárd-folyadék fázisszéttválasztási technológiával eltávolítható a vízből. A meszes vízlágyítással a változó (karbonát) keménység csökkenthető a (15, 16) egyenletekben szereplő reakcióknak megfelelően. Az állandó keménység (más néven nemkarbonát-keménység, NKK) változatlan marad, mivel az állandó keménységet okozó vegyületek közül a mésztej a magnézium-sókkal reagál ugyan, de a magnéziumionok kicsapódásakor egyenértéknyi mennyiségű kalciumion megy az oldatba a (17) egyenletben látható módon.



A meszes vízlágyítást leggyakrabban égetett mész (kalcium-oxid) adagolásával végzik, amely a vízzel reagálva kalcium-hidroxidot képez, és lejátszódik a (15–17) egyenletekben leírt folyamat. A meszes vízlágyítás anyagszükségletét a (18) egyenlet írja le:



ahol KK: a nyersvíz karbonát-keménysége mmól CaO/dm<sup>3</sup>-ben kifejezve,

MgK: nyersvíz magnézium-keménysége mmól CaO/dm<sup>3</sup>-ben kifejezve,

C<sub>CO<sub>2</sub></sub>: nyersvíz szén-dioxid-tartalma mmól /dm<sup>3</sup>-ben kifejezve.

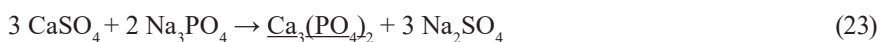
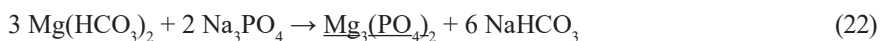
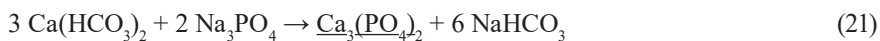
Meszes vízlágyítással az igen kemény 20–28 német keménységi fokkal (nk°) jellemezhető víz 6–8 nk°-ra lágyítható. Ennél lágyabb víz előállítására a mész-szódás eljárás alkalmas.

Mész-szódás eljárás első lépésében a meszes vízlágyításban leírtaknak megfelelően a víz változó keménységét távolítják el, majd szódával (nátrium-karbonáttal) az állandó keménységet csökkentik a (19, 20) egyenletekben leírt módon. Az aláhúzás rosszul oldódó, ezért a vizes rendszerből szilárd anyag formájában kiváló vegyületet jelöl, amely szilárd-folyadék fázis-szétválasztási technológiával eltávolítható a vízből. Az enyhe melegítés kedvez a reakcióknak.



A meszet általában 2-4%-os mésztej, a szódát 5-10%-os oldat formájában adagolják a kezelendő vízhez. Ezzel a módszerrel 1-3 nk°-ig lehet lágyítani a vizet. Jobb hatásfokú a trisós eljárás, amellyel 0,1 nk° is elérhető.

Az alkáli-foszfátos eljárásnak is nevezett trisós módszer során a reagens (trisó, nátrium-tri-foszfát) reagál valamennyi keménységet okozó sóval a (21–24) egyenleteknek megfelelően. A keletkezett foszfátok vízben oldhatatlanok, csapadékot képeznek (ezt az aláhúzás jelöli az egyenletekben), így szilárd-folyadék fázisszétválasztási technológiával eltávolíthatók a vízből. A hőmérséklet emelése ennek az eljárásnak is kedvez, de a nátrium-hidrogén-karbonát ( $\text{NaHCO}_3$ ) képződése miatt a víz lúgosodik és könnyen habzik, ami viszont problémát okozhat. A habzás minimalizálása érdekében a trisós módszert általában a méssz-szódás eljárás után alkalmazzák, mivel ekkor már csak az igen kis mennyiségben jelen lévő Ca- és Mg-sók eltávolítására van szükség.



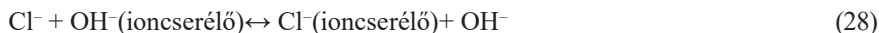
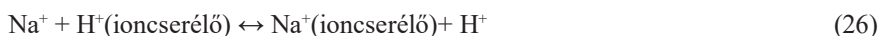
A vízlágyítás tárgyalása során bemutatott csapadékos eljárásoknak további előnyös hatásuk is van: a méssz eltávolítja a szabad szén-dioxidot, a kiváló csapadékok magukkal ragadják a lebegő szennyezéseket, valamint a vas- és szilikát-vegyületeket, illetve a szerves anyagok nagy részét is.

Teljes lágyítás, vagyis a 0,1 nk°-nál lágyabb vizek előállítása csak ioncserével valósítható meg. Az ioncserélés heterogén, reverzibilis kémiai folyamat, amelyben a különböző fázisban, vagyis a kezelendő vízben (folyékony fázis), illetve az ioncserélő anyag felületén (szilárd fázis) lévő azonos töltésű ionok helyet cserélnek egymással. Az ioncserét bár az adszorpciós folyamatok közé sorolják, itt az egyszerű felületi fizikai megkötődésen túl másodrendű kémiai kötések (például hidrogénkötés) felbomlása és kialakulása is lejátszódik. Az ioncserélő anyagok olyan szilárd halmazállapotú anyagok, amelyek pozitív vagy negatív töltésű ionos csoportokat tartalmaznak (ezeket funkciós csoportoknak nevezzük), és az azokhoz kapcsolódó, szabadon mozgó ionjaikat képesek más, azonos töltésű ellenionokkal kicserélni. Vagyis az ioncserélő anyagok az elektrolit oldatokból pozitív vagy negatív ionokat képesek megkötni, és ugyanakkor azokkal egyenértékű, de más anyagi minőségű ionokat az oldatba juttatni.

Ioncserélt víz előállítására kezdetben nátrium-alumínium-hidroszilikát alapú természetes ioncserélőket (zeolitokat) használtak, később ezeket mesterségesen állították elő (ilyenek a permutitok), napjainkban elterjedt a polimerizált műgyanták alkalmazása (leggyakrabban úgynevezett gyöngypolimer formájában kerülnek forgalomba). Az ioncserélők működésük alapján lehetnek: (a) kationcserélők (például zeolitok, Na-ciklusú műgyanták, H-ciklusú műgyanták), (b) anioncserélők (például OH-ciklusú műgyanták, Cl-ciklusú műgyanták). A kationcserélő műgyanták általában szulfonsavcsoportokat ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) vagy karboxilcsoportokat ( $-\text{COOH}$ ), az anioncserélők rendszerint amincsoportokat (például  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NH}-$ ) tartalmaznak.

Az ioncserélők működése függ a vízben lévő anyagok koncentrációjától, az oldott ionok minőségétől, az oldat kémhatásától. Az ioncserélők szelektívek, vagyis a különböző ionokat különböző erősséggel kötik meg, és így a vízben lévő ionok közül az egyik iont a másikkal szemben előnyben részesíthetik. Általában a nagyobb aktivitású ionokat cserélik le könnyebben saját ionjaikra, vagyis: az eltérő töltésű ionok közül a nagyobb töltésűt, az azonos töltésű ionok közül a nagyobb tömegűt. A kationcserélő gyanták elsősorban az alkáliföldfém-ionokra szelektívek, az anioncserélő gyanták a nitrát- és a szulfátionokra. Ezért az egyértékű kationok megkötésére a víztisztításban az ioncserélő gyantáknál szelektívebb sajátságú zeolitokat használnak.

Kationcserélő (25, 26) és anioncserélő (27, 28) folyamatokat mutatnak be a következő egyenletek (a  $\leftrightarrow$  megfordítható, vagyis reverzibilis folyamatot jelöl):



Az ioncserélők alkalmazásának előnye a folyamat reverzibilitása, vagyis az, hogy az ioncserélők a használatot követően regenerálhatóak és újra felhasználhatóak. A regenerálás, vagyis az eredeti ioncserélési kapacitás visszaállítása, mindig olyan koncentrált oldattal történik, amely olyan ionokat tartalmaz, mint amilyenek kicserélődtek (elfogytak) az ioncserélő felületéről. Például a Na-ciklusú ioncserélő gyanta regenerálása nátrium-klorid-oldattal, a H-ciklusú gyanta regenerálása sósav-oldattal történik.

## 2.6. Fertőtlenítés

A fertőtlenítés célja a mikroorganizmusok egyedszámának adott határérték alá csökkentése (nem azonos a sterilizálással, amelynek célja az összes mikroorganizmus elpusztítása). A fertőtlenítési eljárások lehetnek: melegítés, klórozás, ózonozás, egyéb módszerek (például UV alkalmazása). Ivóvízkezelés során a fertőtlenítést általában valamilyen fertőtlenítőszerrel, oxidáció alkalmazásával hajtják végre. Kivételt jelent az UV-fény alkalmazása, amelynek során a mikroorganizmusokat nem kémiai, hanem fizikai úton hatástalanítják.

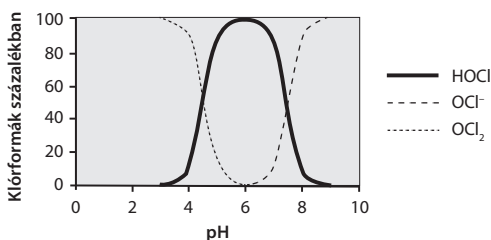
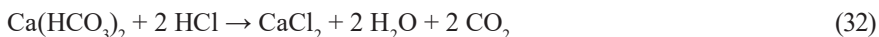
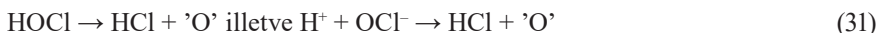
### 2.6.1. Melegítés, forralás

60 °C-on történő 15 perces melegítés elpusztítja a vízben lévő baktériumok nagy részét, tökéletes csírátlanítás 30 perces forralással érhető el. A melegítés azonban vízellátási célokra nem alkalmas módszer.

### 2.6.2. Vegyszeres fertőtlenítés, oxidáció

A víztisztítás során Magyarországon a leggyakrabban használt fertőtlenítőszer (és egyben oxidálószer is) a klór különböző formái: klórgáz, hypó, klórmész, monoklór-amin, klór-dioxid. A klórgáz ( $\text{Cl}_2$ ) hordóban vagy palackban kerül forgalomba, robbanékony veszélyes anyag, de jól adagolható. A hypó (nátrium-hipoklorit:  $\text{NaOCl}$ ) folyékony halmazállapotú veszélyes anyag. Amíg nem voltak megbízható klórgáz-adagolók, döntően ezt a klórformát használták a víz fertőtlenítésére. A klórmész [kalcium-hipoklorit,  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ] szilárd halmazállapotú veszélyes anyag, nehézkes adagolási lehetősége miatt inkább csak műtárgyak (például medencék) tisztításához és fertőtlenítéséhez használják. A monoklór-amin ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) a szabad klórnál sokkal gyengébb oxidálószer, továbbá kellemetlen ízt és szagot kölcsönöz a víznek. A klór-dioxid ( $\text{ClO}_2$ ) robbanékony gáz, ezért a felhasználás helyszínén kell előállítani; a klórgáznál sokkal hatásosabb oxidálószer, a felszíni vizek íz- és szagrontó anyagainak csökkentésére, valamint a fenolszarmazékok oxidálására is alkalmazható.

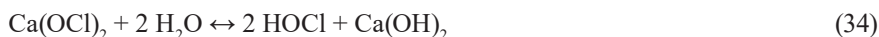
A vízbe adagolt klórgáz nemcsak oldódik, hanem a (29) egyenlet szerinti egyensúlyra vezető reakció szerint reagál is a vízzel, miközben hipoklórossav ( $\text{HOCl}$ ) és sósav ( $\text{HCl}$ ) képződik. A keletkező hipoklórossav ( $\text{HOCl}$ ) a pH függvényében hipoklorit-ionra ( $\text{OCl}^-$ ) disszociál a (30) egyenletnek megfelelően. A három baktericid hatású szabad aktív klórforma ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ) egymáshoz viszonyított aránya az oldat kémhatásától függ (2.5. ábra). A hipoklórossav és a hipoklorit-ion oxidáló hatása a naszcensz oxigén (egyatomos oxigén) képződésén alapul (31). A keletkező sósavat a víz karbonátkeménysége közömbösíti a (32) egyenletben látható reakció szerint.



2.5. ábra: A szabad aktív klórformák pH-függése (a szerző szerkesztése)

A szabad aktív klórformák közül a hipoklórossav baktericid hatása a legerősebb. A 2.5. ábra alapján, a klór szinte teljes mennyisége hipoklórossav formájában van jelen a vízben, ha annak kémhatása 5–7 közötti. Vagyis ebben a tartományban lenne a legjobb hatásfokú a fertőtlenítés. Viszont 7 alatti pH-értékek esetén a vízvezetékek korróziós veszélye megnő (ezért 7-nél alacsonyabb pH-jú víz nem is vezethető a hálózatba). Így tehát a klóros fertőtlenítés során alkalmazandó pH-tartomány a 7–7,5 közötti, mivel 7,5 felett már jelentős mennyiségben (>50%) képződik a hipoklorit, ezáltal csökken a fertőtlenítés hatékonysága.

A nátrium-hipoklorit (hypó) és a kalcium-hipoklorit (klórmész) vízben való oldódását mutatják be az alábbi (33, 34) egyenletek, ahol a keletkező hipoklórossav a kémhatás függvényében a (30) egyenletnek megfelelően hipokloritronra disszociál. Vagyis ezen klórformák kémiai hatása megegyezik a klórgázéval, de a lúgos hidrolízisre (vagyis nátrium-hidroxid, illetve kalcium-hidroxid keletkezésére) az alkalmazás során tekintettel kell lenni.



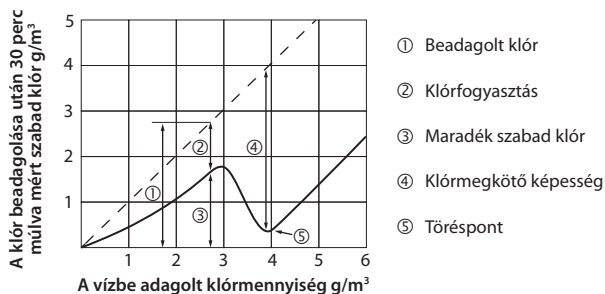
A szabad aktív klórformák erőlyes oxidálószer, ezért az oldott szerves anyagok zömének oxidálására alkalmasak, a baktériumokat az enzimek kémiai roncsolása révén pusztítják el. Az alkalmazásukkal történő fertőtlenítés azért eredményes már viszonylag kis koncentrációban is, mert a patogén mikroszervezetek jóval érzékenyebbek a klórra, mint más mikroorganizmusok. A klór mikroorganizmusokra kifejtett hatása függ: a klórral szembeni érzékenységtől, a beadagolt klór-mennyiségtől (koncentrációjától), a behatási időtől (kontaktidőtől), a vízben lévő egyéb klórral oxidálható anyagok mennyiségétől.

A klór a vízben található szerves anyagok egyes csoportjaival is reakcióba lép, és karcinogén (rákkeltő) hatású trihalometánok (THM) képződhetnek. Mivel a THM vegyületek rákkeltő hatásúak, ezért jogszabályban rögzített az ivóvízben megengedhető maximális koncentrációjuk (2.2. táblázat). Ha a klórt túladagolják, és ezért magasabb koncentrációban kerül ki a szabad klór a vízhálózatba, annak szintén egészségkárosító hatása van, ezért jogszabályban rögzített a klórformák (például kötött aktív klór) maximálisan megengedhető mennyisége az ivóvízben (2.2. táblázat). A deklórozás a fölös klór eltávolítását jelenti, amelyet általában aktívszenes szűrőn történő átszűréssel valósítanak meg. Mivel még nem találták meg azt a kevésbé veszélyes fertőtlenítőszert, amely a klórhoz hasonlóan a vízhálózatban fellépő másodlagos szennyeződések ellen is védelmet nyújtana, napjainkban az ivóvíz előállítása során (az egészségügyi szempontok fokozott előtérbe kerülése miatt) a klórfelhasználás minimalizálása a cél (a klórszükséglet pontos meghatározásának segítségével). Emellett az alábbiakban bemutatott klórozási mellékhatások megszüntetése érdekében a fertőtlenítés előtt a víz szervesanyag-tartalmát az arra alkalmas eljárással el kell távolítani.

A klórszükséglet az az adagolandó fajlagos klórmennyiség ( $\text{g/m}^3$ ), amellyel a kívánt technológiai célt (az adott víz fertőtlenítését) el lehet érni. A klórszükséglet laboratóriumi méréssel határozható meg, mivel a vízbe adagolt klórnak csak egy része használandó el a fertőtlenítésre, más részét a vízben lévő oxidálható szerves (például fenolok, huminanyagok) és szervetlen anyagok (például vas, mangán, ammónium) fogyasztják el. A víz klórmegkötő képességét az úgynevezett törésponti görbe segítségével határozzák meg.

A törésponti görbét (2.6. ábra) úgy szerkesztik meg, hogy a fertőtlenítendő vízminta sorozatába grammonként növekvő mennyiségű (1, 2, 3...6  $\text{g/m}^3$ ) klórt adagolnak és 30 perc behatási

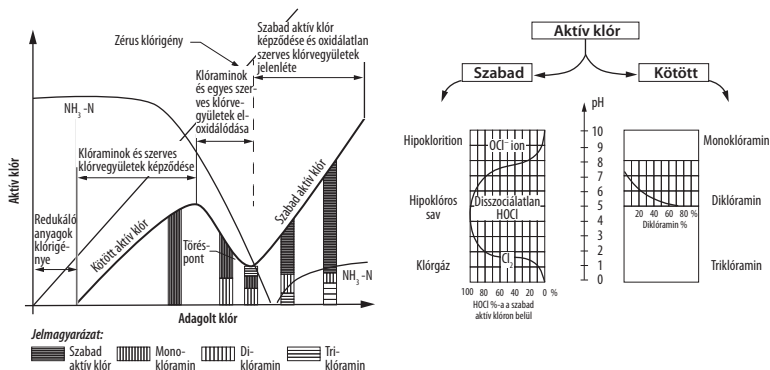
idő után mindegyik vízmintában megméri a szabad klórtartalmat (vagyis azt a klórmennyiséget, ami megmaradt a beadagolt klórból az oxidáció lejártszódása után).



2.6. ábra: A klórozás törésponti görbéje (a szerző szerkesztése [9] alapján)

Ha a víz nem tartalmaz semmilyen klórfogyasztó szerves vagy szervetlen komponenst, akkor a 30 perc behatási idő elteltével a vízben mért maradék szabad klór koncentrációja megegyezik a beadagolt klór kiindulási koncentrációjával, vagyis egy egyenes rajzolódik ki a koordináta rendszerben (2.6. ábrán szaggatott vonallal jelölve).

Ha a vízben klórfogyasztó komponensek vannak (például ammónium), akkor a mért maradék szabad klór (vagyis a reakcióban el nem használt klór) mennyisége a növekvő klór adag függvényében változni fog, és jellegzetes hullámgörbét ír le (2.6. ábrán folyamatos vonallal jelölve). A klór és az ammónium arányától függően különböző kötött klórformák (klóraminok) képződnek, és a maradék szabad klór mennyisége az egyenestől eltérő lesz (annál nagyobb eltérést mutat, minél több a vegyületképzésre felhasznált klór). Amikor a klóraminok oxidálódása is bekövetkezik, akkor a klórfogyasztási görbe csökkenni kezd, majd miután elfogytak a klóraminok, a görbe emelkedő tendenciája ismét láthatóvá válik (lásd a magyarázatokkal ellátott elvi törésponti görbét bemutató 2.7. ábrát). A klórfogyási görbe minimumát adó úgynevezett töréspont azt a klórkonzentrációt jelzi, amelynél a vízben a kötött klórmaradék mennyisége minimális, az ammónia kémiai oxidációja pedig egészen a nitrogéngázig lejártszódik a (38) egyenletben látható módon. Ha a töréspont utáni szakasznak megfelelő mennyiségű klórt adagolnak a vízbe, akkor az ammóniumion koncentrációja határérték alá csökkenthető, továbbá a jelen levő szabad maradék klór miatt jobb fertőtlenítési határfok érhető el.



2.7. ábra: Az elvi törésponti görbe, valamint a klórformák pH-függése (a szerző szerkesztése [10] alapján)

Ha a fertőtlenített víz ammóniumionot tartalmaz, akkor a klór és az ammónium arányától függően háromféle klóramin keletkezhet (monoklór-amin, diklór-amin, triklór-amin), amelyekben a klór kötött állapotúnak nevezhető:

(a.) 5:1 klór-ammónium arányig monoklór-amin ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) keletkezik, amely lassan ható (2 óra behatási idejű), gyenge fertőtlenítőszer. Bár a monoklór-amin a patogén mikroorganizmusok elpusztításában kevésbé hatékony, de jól alkalmazható azok egyedszámának alacsony szinten tartására, mivel fertőtlenítő hatását hosszú ideig képes megőrizni. Előnye továbbá, hogy nem lép reakcióba szerves anyagokkal és az ammóniumionokkal, így nem képez egészségre ártalmas melléktermékeket. Hátránya, hogy enyhe klórszagot kölcsönöz a víznek. Ez az oka annak, hogy kombinált alkalmazása (például az ózonnal együtt) nem terjedt el Magyarországon. Mivel alkalmas lehet nagyobb kiterjedésű csőhálózatok esetén is az esetleges másodlagos szennyeződések oxidálására, lehet technológiai cél a monoklór-amin keletkezésének előidézése a klórozás során.



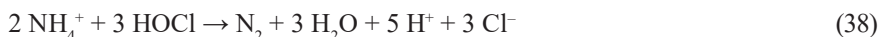
(b.) 10:1 klór-ammónium arány esetén diklór-amin ( $\text{NHCl}_2$ ) keletkezik, amely kellemetlen klórszagot és ízt ad a víznek.



(c.) 15:1 klór-ammónium arány felett triklór-amin ( $\text{NCl}_3$ ) keletkezik, amely kellemetlenül erősen klórszagú vegyület, de levegőztetéssel könnyen eltávolítható a vízből.



A törésponton túl alkalmazott klórozással a víz ammóniummentesítése is elvégezhető az alábbi (38) reakcióegyenletnek megfelelően:

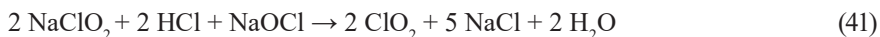
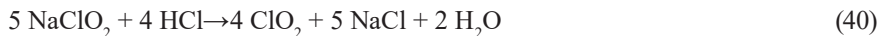


A klórdioxid ( $\text{ClO}_2$ ) a klórtól eltérően vízben nem hidrolizál, csak fizikailag oldódik, így vizes oldata  $2 < \text{pH} < 10$  között stabil. Előnye továbbá a klórral szemben, hogy az ammóniával és egyéb nitrogéntartalmú vegyülettel nem lép reakcióba, alkalmazásakor trihalometánok sem képződnek, és baktericid hatása erőteljes. Hátránya, hogy alkalmazásának néhány mellékterméke (például kloritok, klorátok) egészségügyi kockázatot jelenthetnek. A klór-dioxid sokféle szerves és szervetlen vegyülettel reakcióba lép, még a komplex kötésben lévő  $\text{Fe(II)}$ -, illetve  $\text{Mn(II)}$ -ionok oxidációjára is képes. Reakciói a szerves anyagokkal általában szintén klórozott termékek képződéséhez vezetnek. Klór-dioxidos fertőtlenítéskor a (39) egyenletben látható módon mérgező kloritok ( $\text{ClO}_2^-$ ) és klorátok ( $\text{ClO}_3^-$ ) keletkezhetnek, amelyek koncentrációja elsősorban a kezelt víz szervesanyag-tartalmától függ. A klór-dioxidot sikeresen alkalmazzák a doh-, föld- és hal-szagok és -ízek csökkentésére, valamint vízhálózatok fertőtlenítésére.



A klórdioxidot a felhasználás helyén kell előállítani, ugyanis robbanásveszélyessége miatt nem célszerű szállítani. A klór-dioxid előállítása történhet nátrium-kloritból ( $\text{NaClO}_2$ ) sósavval vagy

sósavval és nátrium-hipoklorittal vagy klórgázzal a (40–42) egyenletekben szereplő reakcióknak megfelelően.



A kálium-permanganát ( $\text{KMnO}_4$ ) bár erélyes oxidálószer, az ivóvíz fertőtlenítésénél való alkalmazása csekély hatékonysága miatt nem terjedt el. A vas- és mangántalanítás mellett az íz- és szaganyagok, valamint egyes trihalometán-képző komponensek eltávolításához alkalmazzák. Az íz- és szaganyagok kálium-permanganátos eltávolítása után aktív szentes szűrést szükséges beiktatni.

Az ózon háromatomos oxigénmolekula ( $\text{O}_3$ ), szerkezetéből adódóan rendkívül reakcióképes, vízben rosszul oldódó gáz. Mivel már kis mennyiségű oxidálható anyag jelenlétében is nagyon robbanékony, ezért nem tárolható és szállítható, mindig a felhasználás helyén kell előállítani. Leggazdaságosabban a levegő oxigénjéből vagy oxigén gázból elektromos kisülések révén állítható elő.

Az ózon erős oxidáló hatása a felszabaduló naszcensz (egyatomos) oxigénnek köszönhető, amely hamar elreagál a vízben lévő oxidálható anyagokkal, vagy ennek hiányában összekapcsolódásukból oxigén gáz képződik:



Ezek a folyamatok az okai annak, hogy az ózon a vízbe adagolásától számítva hosszú ideig nem tudja erőteljes oxidációs tulajdonságát kifejteni. Az ózon fertőtlenítő hatása függ a víz aktuális kémhatásától is, 8 feletti pH-értékeken nagyon nagy reakcióképességű hidroxilgyökök ( $\text{OH}\cdot$ ) keletkeznek az alábbi (45) egyenletnek megfelelően. Ezeknek a nagy reakcióképességű hidroxilgyököknek a reakcióiból hidrogén-peroxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) valamint naszcensz oxigén ( $\text{'O'}$ ) képződhet (46, 47), amelyek a szerves vegyületekből szerves gyököket (pl. alkil-peroxil-gyök:  $\text{RO}_2\cdot$ ) hoznak létre. A hidroxilgyökök és a szerves gyökök katalizálják az ózon további bomlását.



Enyhén savas közegben az ózon viszonylag lassan, de szelektív módon oxidál, így a mikroorganizmusok elpusztítása szempontjából az enyhén savas közegben lejátszódó oxidáció a kedvezőbb. Mivel az ózon nem rendelkezik általános baktericid hatással, ezért a csőhálózatban gyorsabb utócsírasodás alakulhat ki. Ezért az ózon alkalmazása esetén a vízhálózatba juttatása előtt utólagos (klórral vagy klór-dioxiddal történő) fertőtlenítésre van szükség. Az ózon a mikroorganizmusok

inaktiválása mellett jelentős mértékben javíthat a víz esetleges nemkívánatos ízén és szagán is. Mindezekből kifolyólag az ozon felhasználására leginkább a víztisztítástechnológia végén (fertőtlenítési céllal) vagy előkezelésként (oxidációs kicsapítás, íz- és szaganyagok eltávolítása) jöhet számításba.

### 2.6.3. UV-sugárzás

Az ultraibolya (UV) sugárzás megfelelő hullámhossztartományban és megfelelő előtisztítás után alkalmazva hatékony, káros melléktermékképződés-mentes utófertőtlenítő eljárásnak tekinthető a víztisztításban. A fertőtlenítés hatékonysága nem függ a kezelésre kerülő víz kémhatásától, az ammónium vagy egyéb ionok jelenlététől, viszont a szervesanyag-tartalom, a zavarosság és a színyanyagok jelentősen befolyásolják (ezért szükséges a megfelelő előtisztítás).

Az ultraibolya sugárzás csak néhány centiméteres vízrétegben és a sugárzás időtartama alatt tudja fertőtlenítő hatását a kívánt mértékben kifejteni, a hálózati mikroorganizmus-elszaporodást nem tudja megakadályozni. Így a vízellátásban az ozonhoz és a klóraminhoz hasonlóan fertőtlenítőszerként csak más anyagokkal együtt, kombinálva alkalmazható.

Az UV-fertőtlenítés nem kémiai, hanem fizikai úton hatástalanítja a mikroorganizmusokat. Az UV-fényt a sejtek DNS-e nyeli el, miáltal a DNS-ben egyes bázispárok közötti kötések módosulnak, ezáltal a sejtosztódás megáll.

A különböző mikroorganizmusok inaktiválásához eltérő mennyiségű UV-energia szükséges. Amennyiben nagyobb mennyiségű energiát alkalmaznak, akkor nem kívánt fotokémiai reakciók lépnek fel, és káros melléktermékek keletkezhetnek (különösen, ha szerves szennyezőanyagok vannak jelen a vízben). Az UV-sugárzás nagy energiájú fotonjai (hv) a víz bomlását (fotolízis) indítják meg, ami a (48) egyenlet szerint játszódik le.

A szerves anyagok oxidációs lebontásakor (a már az ózonozásnál is megismert) energiában gazdag hidroxilgyökök (OH•) játssza a fő szerepet, a vízben lévő szerves anyagokkal gyorsan reakcióba lépve a szintén igen reaktív hidrogén-peroxil- (HO<sub>2</sub>•) és alkil-peroxil-gyökök (RO<sub>2</sub>•) képződését eredményezi. Ezért a megfelelő sugárzásdózis megválasztására és az előtisztításra nagy gondot kell fordítani az ivóvíz UV-fertőtlenítése esetén.



### Fejezetzáró kérdések

1. Milyen jellegzetes szennyező anyagokkal kell számolni a különböző típusú vízbázisok esetén?
2. Mi jellemzi az ivóvízminőséggel szemben támasztott követelményeket?
3. Milyen típusú vízminőségi jellemzők mérésével szabályozzák az ivóvíz minőségét?
4. Hogyan csoportosíthatók a víztisztítás során alkalmazható eljárások?
5. Milyen módszerrel lehet a víztisztítás során a metánt és a kénhidrogén eltávolítani?
6. Mi jellemzi a mész-szénsav egyensúlyt és a szerves szénformák pH-függését?
7. Mit nevezünk agresszív szén-dioxidnak, és milyen módszerekkel lehet a szén-dioxid-tartalmat csökkenteni a víztisztítás során?
8. Milyen szilárd-folyadék fázisválasztási technológiákat alkalmaznak a víztisztításban?

9. Mi a derítés alkalmazásának oka? Milyen folyamatok játszódnak le a derítés során?
10. Milyen eljárásokat alkalmaznak a vas- és mangántalanítás során?
11. Milyen arzénformák fordulnak elő a hazai rétegvizekben, mi jellemzi ezek pH- és redoxi-függését?
12. Milyen eljárásokat alkalmaznak az ivóvíz arzénmentesítésére?
13. Milyen alkalmazási formái vannak az aktív szénnek a víztisztításban?
14. Milyen membrántechnológiai megoldások vannak, mi ezek előnye?
15. Milyen módszereket alkalmaznak a vizek lágyítására?
16. Mi a meszes vízlágyítás lényege, milyen alkalmazási lehetőségei és korlátai vannak?
17. Mi a mész-szódás vízlágyítás lényege, milyen alkalmazási lehetőségei és korlátai vannak?
18. Mi a trisós vízlágyítás lényege, milyen alkalmazási lehetőségei és korlátai vannak?
19. Mi jellemző az ioncserélők működésére?
20. Mi a fertőtlenítés célja, milyen fertőtlenítési eljárásokat alkalmaznak a víztisztításban?
21. Mi jellemzi a szabad aktív klórformák pH-függését?
22. Mi jellemző a kötött aktív klórformák képződésére, annak körülményeire, illetve milyen tulajdonságokkal rendelkeznek az egyes vegyületek?
23. Mi jellemzi a klórozási jelleggörbét?
24. Milyen víztisztítási eljárások alkalmazása vezethet THM-képződéshez?
25. Milyen előnyei és hátrányai vannak a klór-dioxid víztisztításban való alkalmazásának?
26. Mi jellemzi az ózon és az UV víztisztításban való alkalmazását?

### Felhasznált irodalom

1. Sárváry A. Környezetegészségtan. [Internet]. Debrecen: Debreceni Egyetem; 2011. Elérhető: [www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019\\_1A\\_Kornyezetegeszsegtan/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Kornyezetegeszsegtan/adatok.html)
2. World Health Organization Guidelines for drinking-water quality. Geneva. 1996. Elérhető: [www.who.int/publications/i/item/9241544805](http://www.who.int/publications/i/item/9241544805) [letöltve 2021. 02. 12.]
3. 98/83/EK (XI. 03) az Európai Unió Tanácsának Irányelve az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0083:20031120:HU:PDF>
4. MSZ 450-1: 1989. Magyar Szabvány. Ivóvízminősítés fizikai és kémiai vizsgálat alapján
5. 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
6. Öllös G. Vízellátás. Budapest: Aqua Kiadó; 1987.
7. BME VKKT. Víztisztítás. [Internet]. Budapest: s. n.; 2007. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [http://ttmk.nyme.hu/fldi/Documents/Korponai%20J%C3%A1nos/viztisztitas\\_jegyzet.pdf](http://ttmk.nyme.hu/fldi/Documents/Korponai%20J%C3%A1nos/viztisztitas_jegyzet.pdf)
8. Panagiotaras D, Panagopoulos G, Papoulis D, Avramidis P. Arsenic Geochemistry in Groundwater System. In: Panagiotaras D editor. Geochemistry – Earth's System Processes. s. 1.: s. n.; 2012.
9. Török S. Vízellátás és szennyvízkezelés. Elérhető: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_Vizellatas\\_es\\_szennyvizkezes/index.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Vizellatas_es_szennyvizkezes/index.html)
10. Öllös G. Víztisztítás-üzemeltetés. Eger: Egri Nyomda Kft.; 1998.

## Ajánlott irodalom

- Ábrahám F, Kökény I, Salamon E, Mátrai I: Az arzéneltávolítás laboratóriumi és félüzemi kísérleteinek eredményei. In: Melicz, Z, Tóth, S. A. szerkesztők. Arzén és ammónium eltávolítás az ivóvízellátásban. Baja: Eötvös József Főiskolai Kiadó; 2015. p. 159–186.
- Barkács Katalin. Felszíni vizek lebegőanyag-tartalmának eltávolítása koagulálással és flokkulálással. [Internet]. Budapest: ELTE Szerves Kémiai Tanszék; s. d. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [www.muszeroldal.hu/measurenotes/Lebegoanyag.pdf](http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Lebegoanyag.pdf)
- Benedek P, Litheráthy P. Vízminőség szabályozás a környezetvédelemben. Budapest: Műszaki Könyvkiadó; 1979.
- G. A hatékony arzénmentesítés módszerei. A MHT XXII. Országos Vándorgyűlés. Keszthely. Július 7–8. [Internet]. 2004. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [www.aquadocinter.hu/themes/Vandorgyules/pages/4szekcio/dombay.htm](http://www.aquadocinter.hu/themes/Vandorgyules/pages/4szekcio/dombay.htm)
- For Aqua. [Internet]. s. l.: For Aqua Kft.; 2016. Ivóvízszabványok. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [www.foraqua.hu/a-viz/ivoviz-szabvany](http://foraqua.hu/a-viz/ivoviz-szabvany)
- Ivoviz.hu. [Internet]. s. l.: s.n.; 2020. Kémiai paraméterek és ivóvíz határértékek. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [www.ivoviz.hu/files/hataretek\\_who\\_eu\\_hu.pdf](http://www.ivoviz.hu/files/hataretek_who_eu_hu.pdf)
- Kovács Zs, Kárpáti Á. Ivóvíztisztítás és víztisztaságvédelem. Veszprém: Pannon Egyetem; 2013.
- Licskó I, Laký D. Arzén és ammónium az ivóvizekben. In: Melicz Z. szerkesztő. Arzén és ammónium eltávolítás az ivóvízellátásban. Baja: Eötvös József Főiskolai Kiadó; 2013.
- Mackenzie LD. Water and wastewater engineering. New York: McGraw-Hill Company; 2002.
- Mark JH Sr, Mark JH Jr. Water and wastewater technology. s. l.: Ashford Colour Press Ltd.; 2014.
- MSZ 450-2: Magyar Szabvány. Ivóvízminősítés mikroszkópos biológiai vizsgálat alapján
- MSZ 450-3: Magyar Szabvány. Ivóvízminősítés mikrobiológiai vizsgálat alapján
- Petyus I. Vízfóráss 2013. Közegészségügyi-járványügyi, munka- és sugárzáségszségügyi, vízhiéénés továbbképzés. [Internet]. [letöltve 2020. 06. 12.] Elérhető: [www.honvedkorhaz.hu/container/files/attachments/713/vizforras\\_2013.pdf](http://www.honvedkorhaz.hu/container/files/attachments/713/vizforras_2013.pdf)
- Pregun Cs, Juhász Cs. Vízminőségvédelem. Elérhető: [www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg](http://www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg)
- Rác I-né: Vízkémia II. [Internet]. Gödöllő: Szent István Egyetem; 2011. [www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_Vizkemia\\_II/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Vizkemia_II/index.html)
- Salma I, szerkesztő. Környezetkémia. Budapest: ELTE-TYPOTEX; 2012.
- Sárváry A. Környezetégszségtan. [Internet]. Debrecen: Debreceni Egyetem; 2011. [www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019\\_1A\\_Kornyezetegeszsegtan/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Kornyezetegeszsegtan/adatok.html)
- Simándi P. Szennyvíztisztítási technológiák. [Internet]. Gödöllő: Szent István Egyetem; 2011. [www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_Szennyviztisztitasi\\_techologiak\\_I/ch20.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Szennyviztisztitasi_techologiak_I/ch20.html)
- Vincze L-né, Mátrai I, Kökény I. Az arzéneltávolítás fizikai-kémiai alapjai. In: Melicz, Z, Tóth, S. A. szerkesztők. Arzén és ammónium eltávolítás az ivóvízellátásban. Baja: Eötvös József Főiskolai Kiadó; 2015. p. 141–158.