

Dr Boa János:

Polialuminium klorid, az igéretes koaguláns

Az előadás a VINYL Kft. 2006. április 25-i
Vevőtálalkozóján hangzott el.

1. AQUA-PAC polialumínium-klorid vizes oldatának fontosabb jellemzői

Az AQUA-PAC az ivó- és fürdővíz kezelés céljára engedéllyel rendelkezik, az engedély száma: OTH-926/2006.

1.1. A termék fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai:

halmazállapot:	folyékony
szín:	enyhén opálos
szag:	szagtalan
pH (hígítatlan):	$4,0 \pm 0,3$
forráspont	n. a.
sűrűség:	$1,30 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$
öngyulladás:	nem éghető
oldhatósága vízben:	korlátlan
alumínium-tartalom:	$10,5 \pm 0,5 \%$
klorid-tartalom:	$7,4 \pm 0,5 \%$

Az AQUA-PAC polialumínium-klorid koaguláns ivó- és ipari vizek tisztításához, szennyvízkezeléshez, kommunális szennyvizek foszformentesítéséhez.

1.2. Összetétel:

Veszélyes alkotórészek	Koncentráció	EINECS szám	CAS-szám	Veszélyesség
Polialumínium-klorid	~40%	215-477-2	1327-41-9	Xi R 36/38

1.3. Kezelése és tárolása:

Az anyaggal végzett munka során kerüljük annak szembe, nyálkahártyára, bőrre, nyílt sebre vagy ruházatra jutását. Használjuk az egyéni védőfelszereléseket. Áttöltés esetén kármentőt alkalmazunk.

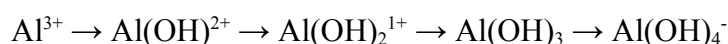
Az anyag tárolására használt tartályok és szerelvények ajánlott szerkezeti anyaga: gumi, polipropilén, polietilén, PVC, teflon. KO-36 vagy magasabban ötvözött saválló acél. Az anyagot tűző napon, télen fagyásveszélynek kitett helyen ne tároljuk.

2. Az alumínium tartalmú vizes oldatok kémiájáról

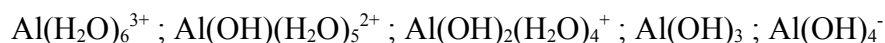
2.1. Az alumínium hidrolízise [11]

Az alumíniumot tartalmazó vizes oldatokban az $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ -ból hidrolízis révén keletkező speciek keletkeznek:

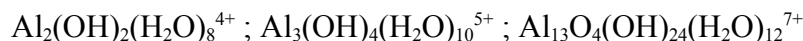
- Az $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ hidratált alumínium ion hidrolízisének lépései:



- Az előző monomer ionok a hidrat burokkal felírva:



- Több alumíniumot tartalmazó komplex formák:

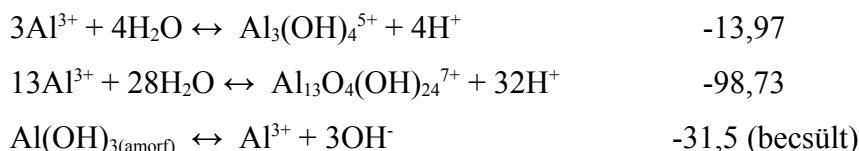


Az alumínium tartalmú oldatokban található különböző specieket hagyományosan a ferronnal (8-hydroxy-7-jodo-5-kinolin-szulfonsav) mutatott, időben változó színreakció nyomon követésével lehet tanulmányozni. Ez a módszer azon a megfigyelésen alapul, hogy a különböző alumínium fajták más és más sebességgel reagálnak a ferronnal. Az egy alumínium atomot tartalmazó fajták szinte azonnal, a polinukleáris (több alumínium atomot tartalmazó) fajták pedig lényegesen lassabban. A kolloidális vagy már leválasztott alumínium gyakorlatilag nem reagál a ferronnal. A ferronos eloszlás meghatározási módszer nagyon jó korrelációban van a membránszűréses, potenciometriás, vagy az Al^{27} NMR vizsgálatok eredményével. A megoszlási arányokat általában az alumínium oldat semlegesítésének függvényében (bázicitás) szokták megadni.

2.2. Egyensúlyi hidrolízis állandók

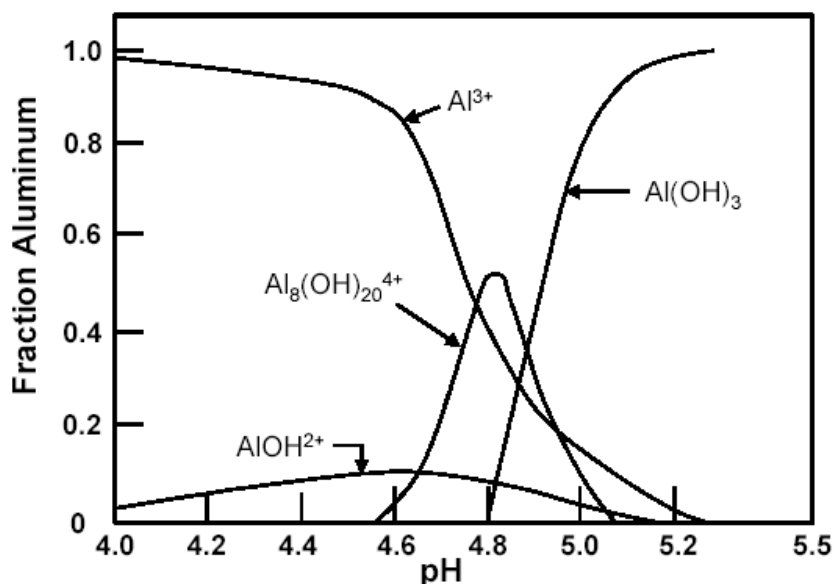
A korábban már ismertetett néhány alumínium species hidrolízisére vonatkozóan az egyensúlyi állandók értékét az alábbi táblázat tartalmazza [1]:

egyensúlyi reakció	$\log K$ (25 °C)
$\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_2^{2+} + \text{H}^+$	-4,97
$\text{Al}(\text{OH})_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_2^+ + \text{H}^+$	-4,3
$\text{Al}(\text{OH})_2^+ + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$	-5,7
$\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+$	-8,02
$2\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+} + 2\text{H}^+$	-7,73



2.3. Alumínium speciestek megoszlása a pH függvényében $2,5 \times 10^{-4}$ mol/L koncentrációjú AlCl_3 oldatban

A korábban ismertett alumínium változatok koncentrációjának megoszlása vizes oldatban a pH függvénye. A következő ábra az erre vonatkozó arányokat mutatja be. Látható, hogy 5,2-es pH érték felett már csak az $\text{Al}(\text{OH})_3$ létezik [2].



2.4. Hidrolízis/polimerizáció

A hidrolízis/polimerizáció általános reakcióegyenletét a következő formában tudjuk megadni:



Sokáig úgy gondolták, hogy a pH az egyik legjelentősebb tényező, ami meghatározza a vízben előforduló speciestek fajtáját. A későbbi vizsgálatok bebizonyították, hogy a pH valóban az elsődleges meghatározó tényező ebben a kérdésben, de nagyon fontos szerepe van még az oldat összes alumínium tartalmának is.

A pH növekedésével az alumíniumot tartalmazó oldatban fokozatosan, a korábban már felírt lépéseknek megfelelően zajlik le az alumínium hidrolízise, majd polimerizációja.

2.5. A Keggin szerkezet

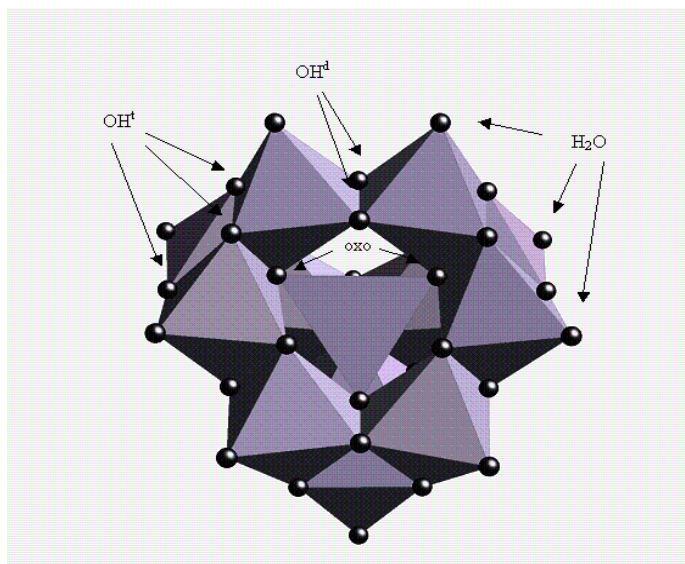
A tizenhárom alumínium atomot tartalmazó polioxi-kationt számos kémiai vizsgálati módszerrel kutatták (NMR, SAXS, Raman spektroszkópia, röntgen diffrakció). Megállapították, hogy felépítése az ún. Keggin szerkezetbe sorolható be.

A Keggin szerkezet egy központi tetraéderez szerkezetű AlO_4 egységet, és az azt körülvevő, oktaéderez AlO_6 egységet tartalmaz.

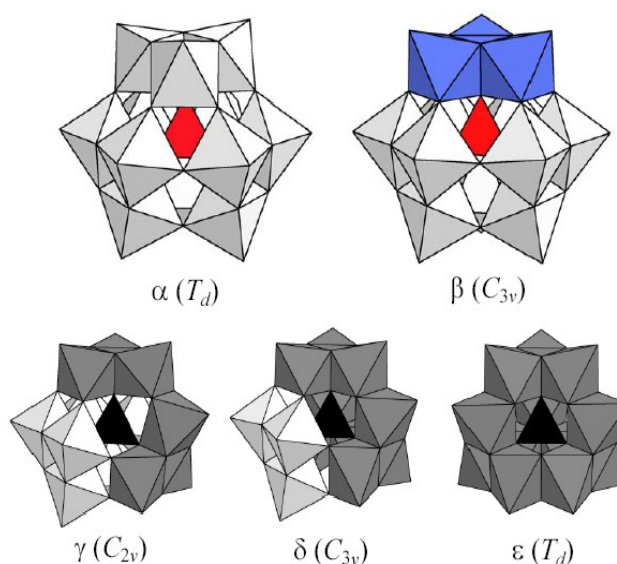
A Keggin szerkezet az **1. ábrán** látható.

A Keggin szerkezet öt különböző izomer formában létezik. Az izomerek között a különbség abban van, hogy az α -Keggin szerkezetben három oktaédes egységet síkjában 60° -kal elforgatunk (a β -Keggin ábráján a három kék színnel jelölt oktaéder), és ezt minden három oktaédes egységgel egymás után megteszük. A polialumínium-klorid oldatokra az ε -Keggin szerkezet a jellemző.

Az öt Keggin izomer a 2. ábrán látható.



1. ábra: Keggin szerkezet [3]



2. ábra: Keggin izomerek [4]

2.6. A polialumínium-klorid oldatok szerkezete

A polialumínium-klorid oldatban a korábbiakban ismertetett (monomer és polimer) alumínium specíesek fordulnak elő.

Az egyes termékek közötti különbséget a köztük fennálló különböző megoszlási arányban lévő eltérés adja.

A Keggin szerkezet lehetőséget ad arra, hogy az oktaéderek csúcsai és élei mentén az egyes Al_3 -as egységek egymáshoz kapcsolódjanak és ezzel a polimerekhez hasonlóan egyenes és elágazó láncok alakuljanak ki.

Ez a kapcsolódási lehetőség fontos szerepet játszik a víztisztításban használt polialumínium-klorid oldatok sajátosságainak kialakulásában.

3. A polialumínium-klorid előnyei

A víztisztításban a polialumínium-klorid oldatok sajátos összetételük következtében sok olyan előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, amelyet a korábban használt koagulánsokra nem mondhatunk el. A továbbiakban a PACl előnyeit foglaljuk össze, ami alapvetően az alumínium-szulfátos vízkezeléssel történő összehasonlítást jelenti. Ezek az előnyök a következők:

- A polialumínium-kloridok (PACl) egyik legjelentősebb és előnyös tulajdonsága a bázicitásuk. A bázicitás a hidroxil-alumínium ion arányát fejezi ki: a prepolimerizált koaguláns szerkezetében milyen mennyiségben található meg a hidroxil ion. A magas bázicitású koagulánsok kisebb mértékben változtatják meg a víz pH értékét. Például az $Al_2(OH)_5Cl$ általános összegképletű polialumínium-klorid bázicitása 83,3 %. A kereskedelmi forgalomban kapható polialumínium-kloridok bázicitása 83-85 %. A megközelítőleg 3 hidroxilt tartalmazó polialumínium-klorid bázicitása 50-55 %, az alumínium-szulfáté pedig nulla, mivel nem tartalmaz hidroxil iont.
- A PACl koagulánsok általában lényegesen kisebb mértékben csökkentik a víz lúgosságát, mint az alumínium-szulfát (ezáltal a pH csökkentése is kisebb mértékű).
- A PACl sokkal szélesebb pH tartományban használható, mint az alumínium-szulfát, ez a tartomány általában pH 5.0-8.0 között van.
- A PACl alkalmazásával nem viszünk be a vízbe szulfát ionokat, vagy legalábbis minimális mennyiséget (szulfát tartalmú oldatok): a szulfát ivóvíz esetében korróziós, szennyvíz esetében pedig korróziós és szag problémát okozhat
- A kezelt víznek alacsony a maradék alumínium tartalma.
- A PACl alacsony nyersvíz hőmérsékleteken is jól működik.
- Az alumínium-szulfátból keletkező flokkok alacsony hőmérsékleten nagyon lassan ülepednek, ezzel szemben a PACl-ból keletkező flokkok egyaránt jól ülepednek alacsony és normál hőmérsékleten is.
- A PACl-ból ekvivalens dózissal kevesebb iszap keletkezik, mint alumínium-szulfátból.
- Azonos hatás eléréséhez kisebb dózis szükséges PACl-ból, mint alumínium-szulfátból.
- A PACl-ból származó klorid tartalom növekedése kisebb, mint az alumínium-szulfátnak tulajdonítható szulfát tartalom növekedése.

4. Szabványok

Mint nagyon sok, víztisztításban használt anyagra, így a polialumínium-kloridra is megvannak az érvényes szabványok. Jelenleg Magyarországon a PACl-ra két jóváhagyó közleményes (angol nyelvű) szabvány van érvényben, melyeknek magyar nyelvű változata is remélhetőleg hamarosan meg fog jelenni. A szabványok mind a gyártók, mind a felhasználók számára hasznos információkkal szolgálnak. Ezt a két szabványt az alábbiakban megadjuk.

Egy további hasznos szabványt is meg kell említeni, ez pedig az alumíniumalapú koagulánsok vizsgálatára vonatkozó analitikai módszerekkel foglalkozik.

4.1. Érvényes magyar szabványok

- **MSZ EN 881:2005**
Vegyipari anyagok az emberi felhasználásra szánt víz kezeléséhez. Alumínium-klorid (monomer), alumínium-klorid-hidroxid (monomer) és alumínium-klorid-hidroxid-szulfát (monomer)
- **MSZ EN 883:2005**
Vegyipari anyagok az emberi felhasználásra szánt víz kezeléséhez. Poli(alumínium-klorid-hidroxid) és poli(alumínium-klorid-hidroxid-szulfát)
- **MSZ EN 1302:2000**
Vegyipari anyagok az ivóvíz kezeléséhez. Alumíniumalapú pelyhesítőszer. Analitikai módszerek

4.2. Szabvány szerinti mérgezőanyag tartalom

Az MSZ EN 883:2005 szabvány szerint a termék mérgezőanyag tartalmának meg kell felelnie az alábbi táblázatban megadottaknak:

Paraméter	Határérték (mg/kg Al)		
	1. típus	2. típus	3. típus
Arzén (As) legfeljebb	14	40	100
Kadmium (Cd) legfeljebb	3	50	100
Króm (Cr) legfeljebb	30	700	1000
Higany (Hg) legfeljebb	4	10	20
Nikkel (Ni) legfeljebb	20	700	1000
Ólom (Pb) legfeljebb	40	200	800
Antimon (Sb) legfeljebb	20	40	120
Szélén (Se) legfeljebb	20	40	120

MEGJEGYZÉS: A cianid tartalom, peszticidek, policiklusos aromás vegyületek a termék jellege és a gyártástechnológiában felhasznált alapanyagok miatt nem lényeges, ezektől mentes.

4.3. Veszélyes anyagként történő besorolás

A PACl veszélyes anyagként és szállítási szempontból történő besorolásához az MSZ EN 881:2005 és MSZ EN 883:2005 szabványok hathatós segítséget nyújtanak. A PACl azonban egy nagyon speciális termék, amelynek (különösen új termék esetében) az előbbi szempontok szerinti besorolásához az alábbiakban megadott szabályozásokban leírtakat célszerű megvizsgálni.

- **ST/SG/AC.10/C.3/2000/24** Testing of liquid and solid substances as dangerous goods of class 8, packing group III, according to their corrosive properties on steel or aluminium. Specification of the Test regulations
- **UN/SCETDG/20/INF.27** Testing of liquid and solid substances as dangerous goods of class 8, packing group III according to their corrosive properties on steel or aluminium. Specification of the Test regulations
- **54/2003. (IX. 1.) ESzCsM-KvVM-BM együttes rendelet**
Bőrkorrózió - Bőrirritáció - Szemirritáció

5. Ajánlások PACl felhasználóknak

5.1. Szárazanyag tartalom

Sok esetben előfordul, hogy a felhasználó kíváncsi a megvásárolt termék szárazanyag tartalmára, azt el is kezdi megvizsgálni, és ekkor néhány váratlan jelenséggel találja szembe magát.

Az AQUAPAC polialumínium-klorid biztonságtechnikai adatlapján ~40% PACl tartalom szerepel. Ez az adat porlasztva szárítás eredményeiből származik, közelítő adatnak tekintendő. Ez a bizonytalanság a magas hatóanyag tartalomnak és kolloidális szerkezetnek tudható be.

A laboratóriumban szabadon hagyott AQUAPAC bizonyos idő eltelte után spontán beszárad, de ez történik a padozatra kifröccsent, elfolyt PACl-dal is. A padozaton hagyott PACl-ot takarítsuk fel, mert száradás után a polielektrolitokhoz hasonló csúszásveszély kialakulásához vezethet.

Szárítószekrényben könnyen túlszáriható, majd ez az anyag a levegőn a feleslegesen leadott vizet felveszi: a kialakuló feszültség hatására homokszemcse méretű szilárd PACl teríti be a közvetlen környezetet

5.2. A PACl alumínium tartalmának meghatározása

A PACl alumínium tartalmának meghatározását az MSZ EN 1302:2000 szabvány leírja, gyakorlatilag egy azzal megegyező, az AQUA-PAC alumínium tartalmához igazított eljárást ismertetünk a következőkben. A meghatározás lényeges lépése a törzsoldat elkészítése előtti kénsavas forralás, melynek célja, hogy a polimer szerkezetű alumíniumot is elroncsoljuk. Ennek a meghatározásnak a során készített törzsoldat a szulfát tartalmú PACl-ok szulfát tartalmának meghatározására nem alkalmas, a klorid tartalom meghatározására viszont felhasználható.

A meghatározáshoz szükséges kémszeroldatok:

- 0,05 M/L koncentrációjú EDTA-Na₂ oldat:
lemérünk 18,6118 g EDTA-Na₂-t, mérőlombikban 1000 cm³-re töltjük
- 0,05 M/L koncentrációjú cink-szulfát oldat:
lemérünk 14,3770 g ZnSO₄×7H₂O-t, mérőlombikban 1000 cm³- re töltjük
- 1:1 hígítású kénsavoldat
- 1 M/L koncentrációjú nátrium-acetát oldat:
lemérünk 136,08 g CH₃COONa×3H₂O-t, mérőlombikban 1000 cm₃-re töltjük
- 1 M/L koncentrációjú ecetsav oldat:
59 cm³ 96 %-os ecetsavat mérőlombikban 1000 cm³-re töltünk
- pH=4,7 pufferoldat:
az ecetsav és a nátrium-acetát oldatot 1:1 arányban elegyítjük

- xilenolnarancs indikátor:
0,1 tömegszázalékos vizes oldata

A meghatározás kivitelezése:

Analitikai pontossággal bemérünk 5 g körüli PACl-t (vagy 5 g körüli PACl-nak megfelelő hígított oldatot) egy 250 cm³-es főzőpohárba, hozzáadunk 100 cm³ desztilláltvizet, majd 4,00 cm³ 1:1 hígítású kénsavoldatot. A főzőpoharat lefedjük egy óraüveggel és az oldatot felforraljuk. Kihűlés után 500 cm³ törzsoldatot készítünk belőle. Az oldatból 20,00 cm³-t Erlenmeyer-lombikba pipettázunk, hozzáadunk 20,00 cm³ pufferoldatot és 25,00 cm³ EDTA-Na₂ mérőoldatot. Az elegyet 2-3 percig forraljuk, szobahőmérsékletre hűtjük, hozzáadunk 8 csepp indikátor oldatot és cink-szulfát oldattal piros színig titráljuk (fogyás: V₁ cm³).

20,00 cm³ desztilláltvíz, 25 cm³ EDTA-Na₂ mérőoldat és 20,00 cm³ pufferoldat elegyét is megtitráljuk 8 csepp indikátor oldat jelenlétében cink-szulfát oldattal (fogyás: V₂ cm³)

Számolás:

(m a vizsgálatra bemért PAC tömege g-ban)

$$Al\% = 3.3725 \frac{(V_2 - V_1)}{m}$$

5.3. A PACl klorid tartalmának meghatározása

A meghatározáshoz szükséges kémszeroldat:

- 0,05 M/L koncentrációjú ezüst-nitrát oldat:
lemérünk 8,4935 g AgNO₃-ot, mérőlombikban 1000 cm³-re töltjük fel
(az oldatkészítéshez kloridmentes, kétszer desztillált vizet használjunk!)

A meghatározás kivitelezése

A meghatározáshoz az alumínium meghatározására elkészített törzsoldatot használjuk fel. A potenciometriás titráláshoz célszerűen automata titráló berendezést (automata buretta, rekorder, mérőberendezés, mérőcella) használjunk. A törzsoldatból mérjük 10,00 cm³-t a mérőcella titráló edényébe, helyezük az ezüst indikátor elektródot és a referencia elektródot a folyadékba. Adjunk hozzá annyi kétszer desztillált vizet, hogy a folyadék az elektródokat ellepje. Az automata buretta elindításával egy időben regisztráljuk az ezüst indikátor elektród potenciáljának változását az adagolt ezüst-nitrát mérőoldat térfogatának függvényében. A felvett görbéből meghatározzuk az ekvivalencia pontig fogyott 0,05 M/L koncentrációjú ezüst-nitrát oldat fogyását (V cm³).

Számolás

(m a vizsgálatra bemért PACl tömege g-ban)

$$Cl\% = 8,863 \times \frac{V}{m}$$

5.4. A keletkező iszap mennyiségének becslése

Az iszap összetétele szezonálisan is változhat: bizonyos időszakokban a nyersvíz magas algaszáma, vagy máskor (pl. nagy eső után) a sok szuszpendált szervesanyag (agyagásványok) határozza meg a polialumínium-kloridos kezelés során keletkező iszap összetételét. Ennek alapján szerves anyagban, illetve agyag ásványokban gazdag iszapokról beszélhetünk. A szerves anyag zöme huminanyag: a természetes szerves anyagok (NOM) az alumíniummal gélszerű anyagot képeznek.

A keletkező iszap mennyiségének meghatározásakor azt szokták figyelembe venni, hogy az alumínium-oxid-hidroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$ összetételű. Számos esetben szükség lehet arra, hogy a várható vízkezelés függvényében meg kell adni a várható iszapmennyiséget. A laboratóriumi meghatározások elkerülésére érdekében különböző képletek állnak rendelkezésünkre a keletkező iszap mennyiségének becslésére [3; 4]. A következőkben ismertetésre kerülő képletek az AQUA-PAC polialumínium-kloridra érvényes állandókkal adnak meg közelítő számításokat.

A keletkező iszap mennyiségét a nyersvíz színe és lebegőanyag tartalmának ismeretében a következő képlettel számolhatjuk ki:

$$W = S + 0,07 \times H + F \times D \times P + Y$$

ahol:

W	a keletkezett iszap mennyisége [g/m^3 kezelt víz]
S	a nyersvíz lebegőanyag tartalma [g/m^3]
H	a nyersvíz színe [Hazen egység]
F	szorzótényező, értéke: 1,5
D	a PACl dózisa [g/m^3]
P	Al_2O_3 tartalom hányad szilárd PACl-re megadva (értéke: 0,4628)
Y	egyéb vegyszer száraz tömegre vetített dózisa [g/m^3]

A megadott **F** és **P** értékek alapján $F \times P = 1,5 \times 0,694 = 0,694$. Ezzel az állandóval a képlet a következőre módosul:

$$W = S + 0,07 \times H + 0,694 \times D + Y$$

Az UV-abszorbanca mérésén alapuló közelítő számolás:

Olyan vízművekben, ahol a nyersvíz szervesanyag tartalmát UV-abszorbanciával jellemzik, a következő képletet használhatjuk fel az iszap várható mennyiségének becslésére:

$$W = S + UV_{254(R-T)} \times 60 + 0,26 \times D + Y$$

ahol:

W	a keletkezett iszap mennyisége [g/m^3 kezelt víz]
S	a nyersvíz lebegőanyag tartalma [g/m^3]
UV_{254(R-T)}	a nyersvíz és a kezelt víz 254 nm-en, 10 mm-es cellában membrán szűrés után mért UV-abszorbanciája közötti különbség
D	a PACl dózisa [g/m^3]
Y	egyéb vegyszer száraz tömegre vetített dózisa [g/m^3]

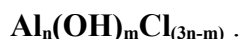
5.5. Hatóanyag-tartalom megadása

Gyakran felteszik a kérdést, az alumínium-bázisú koagulánsok esetében a hatóanyag tartalmat miért alumínium-oxid százalékban adják meg. A válasz az, hogy hosszú időre visszatekintve ez a megállapodás alakult ki a szakmán belül. A különböző alumínium tartalmú koagulánsok koncentrációjának (alumínium-szulfát, alumínium-klorid, polialumínium-kloridok, stb.) összehasonlítására az alumínium-oxid tartalom kiválóan megfelelt. Pl. az alumínium-szulfát és PACl közvetlenül már nehezebben viszonyítható egymáshoz. A koagulánsok hatóanyag tartalmának alumínium %-ban történő megadása hasonlóan jó megoldás, de a hagyományok miatt (elsősorban angolszász területeken) az előbbi használata terjedt el. Amennyiben a hatóanyag tartalmat át akarjuk számolni, az alábbi összefüggést használjuk:

$$[\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ \%}] = 1,889 \times [\text{Al \%}]$$

5.6. PACl oldatok bázicitása

A „polialumínium-klorid” vagy „PACl” megjelölés olyan oldható alumínium vegyületek elnevezésére szolgál, amelyekben az alumínium-kloridot részlegesen lúggal reagáltattuk. A $[\text{OH}^-]$ alumíniumra vonatkoztatott relatív mennyisége az adott PACl bázicitását határozza meg. A PACl-ot gyakran a következő képlettel adjuk meg:



Ezen képlettel kifejezett PACl bázicitását az $m/(3n)$ képlettel tudjuk kiszámolni (vagy ami ezzel egyenértékű, az $[\text{OH}^-]/3 \times [\text{Al}]$ képlettel). A bázicitás értéke 0–1 közötti érték. Számos esetben a bázicitás százalékban megadott értékével is találkozhatunk:

$$\% \text{-os bázicitás} = ([\text{OH}^-] / 3 \times [\text{Al}]) \times 100$$

A magas bázicitású PACl-ok nagy mértékben egymáshoz kapcsolódott komplex alumínium vegyületet (Al_{13}) tartalmazó oldatok.

6. Alkalmazási példák

Az AQUA-PAC polialumínium-klorid alkalmazási területe a víz- és szennyvíztisztításra terjed ki. A következőkben olyan irodalmi esetek ismertetésére kerül sor, melyekben a PACl-ot elsősorban ivóvíz céljára szolgáló nyersvizek szerves szennyező komponenseinek eltávolítására használják. A problémakör kiemelését azért tartjuk fontosnak, mert a hazai vizek kezelése során is nagy jelentőséggel bír ez a feladat.

6.1. A PACl magas Al_{13} tartalmának hatása [11]

A szerzők vizsgálataik során alumínium-klorid, PACl és PACl- Al_{13} koagulánsok oldatát használták. A PACl-t alumínium-klorid nátrium-karbonátos semlegesítésével, a PACl- Al_{13} -ot pedig az előállított PACl oldat nátrium-szulfátos kicsapásával, majd a kivált Al_{13} újbóli ultrahangos feloldásával mint tömény PACl- Al_{13} oldatot állították elő. Az oldatokat ^{27}Al NMR technikával is vizsgálták.

Hatásosság felszíni víz kezelésében

A Sárge Folyó vízének kezelése volt a feladat (jelentős ivóvízforrás Kínában). A víz zavarossága 151 NTU, pH értéke 8,12 volt. A már említett három koagulánst hasonlították össze. A PACl- Al_{13} -t összehasonlítva a PACl-dal, a PACl- Al_{13} bizonyult hatásosabbnak. Az összehasonlítás során megfigyelték, hogy a PACl- Al_{13} -ból képződő flokkok nagyobbak voltak, mint az alumínium-kloridból és a PACl-ből keletkezők. A zéta-potenciál mérések azt mutatták, hogy a PACl- Al_{13} esetében a töltés semlegesítés erősebb volt, mint a másik két koagulánsnál. Mivel a jó zavarosság eltávolítás akkor megy végbe, amikor a flokkok negatív töltéssel rendelkeznek, feltételezik, hogy a PACl és a PACl- Al_{13} esetében a koaguláció/flokkuláció töltés semlegesítéssel és híd-képződéssel játszódik le.

Zavarosság és huminsav eltávolító képesség szintetikus kaolinitet és huminsavat tartalmazó vízből

A tesztelésre használt szintetikus víz 50 mg/L kaolinitet és 10 mg/L huminsavat tartalmazott, aminek készítésekor 50% ioncserélt és 50% ivóvizet használtak fel. A tesztvíz zavarossága 31,0 NTU, UV_{254} abszorbanciája 0,167 és pH értéke 7,02 volt. A PACl- Al_{13} zavarosság és huminsav eltávolító képessége jobb volt, mint az alumínium-klorid és a PACl-

é. Amikor a PACl-Al₁₃-t 4mgAl/L dózisban alkalmazták, a huminsav ~90%-át el tudták távolítani. Az eredmények azt mutatták, hogy a PACl-Al₁₃ magasabb Al₁₃ tartalmával hatásosabb koagulációs hatásokkal bír, mint az ugyanolyan alumínium tartalmú, de kevesebb Al₁₃ polimert tartalmazó PACl. Az Al₁₃ species a leghatásosabb alumínium polimer a víz- és szennyvíztisztításban.

Szín eltávolító képesség színezéket tartalmazó szennyvízből

A színezéket tartalmazó szennyvizet 1g K-GL (Reactive Blue) 10 L ivóvízben való feloldásával állították elő. A nyers és kezelt víz abszorbanációját spektrofotométerrel mérték 598 nm-en (maximális abszorbancia). Az eredmények azt mutatták, hogy a szín eltávolítás határfoka és a frissen képződő mikroflokkok zéta-potenciálja változik a három koaguláns dózisának növelésével. Ebben az esetben kis dózisoknál a PACl-Al₁₃-dal kapták a legjobb színeltávolító képességet és a nagyobb töltés semlegesítő képességet az alumínium-kloriddal és PACl-dal összehasonlítva. Növelve a koagulánsok dózisát, a különbség a színeltávolításban csekélyebb lett. A PACl-Al₁₃ 15m Al/L dózisnál elérte a ~100%-os hatásfokot, ugyanehhez az alumínium-klorid dózisa PACl esetében 27mg Al/L, alumínium-klorid esetében pedig 32,4mg Al/L volt.

6.2. DAYLESFORD (Ausztrália) [12]

A vízmű egy 8millió L/nap kapacitású, flotációs technikát alkalmazó üzem. Erősen színes vizet használ fel (Wombat és Bullarto tározók).

pH	6,4
lúgosság	16,3 mgCaCO ₃ /L
szín	30-100 Pt/Co egység
zavarosság	2,6 NTU
hőmérséklet	5 °C (télen)

Alumínium-szulfátos derítésnél az alkalmazott dózis 45 mg/L volt (pH 6,9), a pH beállításra (elő- és utó beállítás) 17,9 és 4,7 mg/L szódát használtak fel (összesen: 22,6 mg/L)

PACl-os derítésnél a dózis 12 mg/L volt, a szóda adagolás (pH 6,9) 3,4 és 4,7 mg/L volt (összesen: 8,1 mg/L).

A kezelt víz lebegőanyag és szulfát tartalma a PACl alkalmazása esetén előnyös:

	Lebegőanyag (mg/L)	szulfát (mg/L)
Alumínium-szulfát	94	21
PACl	67	1,5

A hosszabb üzemeltetési gyakorlat a PACl alacsony hőmérsékleten való alkalmazhatóságát bizonyította. A THM szint általában 40-50 µg/L volt (az ausztrál határérték 250 µg/L).

6.3. SWAN HILL (Ausztrália) [12]

A nyersvizet a Murray folyóból nyerik. Az alumínium-szulfát dózisa 30-60 mg/L volt, néhány nyersvíz paraméter:

pH	7,4-7,7
lúgosság	30 mg CaCO ₃ /L
szín	20-30 Pt/Co egység
zavarosság	20-40 NTU

hőmérséklet 5 °C (télen)

A pH előzetes beállítására csak akkor került sor, ha az alumínium-szulfát dózisa meghaladta a 30 mg/L-t, utó beállításra 10-15 mg/L meszet használtak (pH 7,1-7-3). A koaguláció során a 6,3-6,5 pH értékre csökkent.

Derítőszer váltás után PACI-ot adagoltak, dózisa 6-12 mg/L volt. A pH a derítést követően alig csökkent, 7,2-7,5 volt. 1,5 mg/L-es klórt követően 7,0-7,2-re csökkent a pH. Ezt követően adagolták a meszet.

A kezelt vízben a THM koncentráció 35-40 µg/L volt, megszűnt a kezelt víz kellemetlen íze és illata.

7. Irodalom:

- [1] Base, C.F. and Mesmer, R.E., *The Hydrolysis of Cations*, John Wiley and Sons, New York. (1976)
- [2] Arnson, T.R., *Tappi Journal*, **65** (3) 125-130, (1982)
- [3] *J. Inst. Wat. Eng.*, Vol. **27**, (1973), Final Report, Research Panel No.14, "Disposal of Waterworks Sludge"
- [4] D Ogilvie, *ARA Int Rep.* 1980
- [5] **MSZ EN 881:2005** Vegyi anyagok az emberi felhasználásra szánt víz kezeléséhez. Alumínium-klorid (monomer), alumínium-klorid-hidroxid (monomer) és alumínium-klorid-hidroxid-szulfát (monomer)
- [6] **MSZ EN 883:2005** Vegyi anyagok az emberi felhasználásra szánt víz kezeléséhez. Poli(alumínium-klorid-hidroxid) és poli(alumínium-klorid-hidroxid-szulfát)
- [7] **MSZ EN 1302:2000** Vegyi anyagok az ivóvíz kezeléséhez. Alumíniumalapú pelyhesítőszer. Analitikai módszerek
- [8] **ST/SG/AC.10/C.3/2000/24** Testing of liquid and solid substances as dangerous goods of class 8, packing group III, according to their corrosive properties on steel or aluminium. Specification of the Test regulations
- [9] **UN/SCETDG/20/INF.27** Testing of liquid and solid substances as dangerous goods of class 8, packing group III according to their corrosive properties on steel or aluminium. Specification of the Test regulations
- [10] **54/2003. (IX. 1.) ESzCsM-KvVM-BM** együttes rendelet
- [11] J. Gregory; J. Duan: *Pure Appl. Chem.*, Vol. **73**, No. 12, pp. 2017–2026, (2001).
- [12] P. Gebbie: *64th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference*; All Seasons International Hotel – Bendigo; 5 and 6 September, 2001