

AMMÓNIA TARTALMÚ IPARI SZENNYVÍZ KEZELÉSE

Dr. Takács János

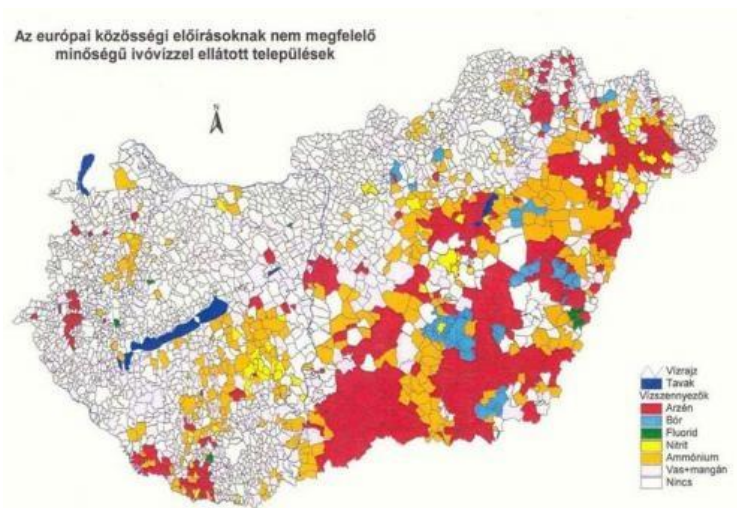
egyetemi docens

Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

1. BEVEZETÉS

Számos ipari szennyvíz nagy mennyiségű (több g/l koncentrációjú) ammóniát, ammónium-iont tartalmaz, amely kisebb, 20-50 mg/l-es koncentrációban megjelenik a kommunális szennyvízben is. Kikerülve a környezetbe, a vízzel könnyen juthat az élő szervezetekbe, amelyekre méregként hathat. Különböző adottságok mellett sejtméreg, az ember esetében gyomorba kerülve kiválasztó rendszeri, szervi megbetegedéseket, fájdalmakat okozhat.

Ezen káros hatásai miatt a szennyvíztisztítás egyik fő feladata az ammóniát (vagy ammónium-iont) jó hatásfokkal lebontani, illetve a koncentrációját egy megadott érték alá csökkenteni. Az ivóvízben megengedhető mennyisége 2001. októbertől az EU-s szabályozással összhangban 0,5 mg/l. Elég nagy probléma, hogy a rendelkezésünkre álló ivóvíz készlet az ország bizonyos területein ennél nagyobb koncentrációban tartalmazza az ammóniát (1. ábra).



1. ábra: Az előírásoknak nem megfelelő minőségű ivóvízzel ellátott területek Magyarországon

A szennyvizek esetében a vonatkozó kibocsátási határérték, illetve a szennyvíz további kezelése határozza meg az ammónia mentesítés mértékét.

Az ammónia a vízben jól oldódik. Vizes oldatában részben ammónium és hidroxid ionok formájában van jelen, oldatát ammónium-hidroxidnak vagy szalmiákszesznek is nevezik. Az ammónium-hidroxid azonban tisztán nem állítható elő, csak vizes oldatban, oldott ionok formájában létező anyag.



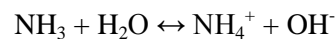
A vizes oldata lúgos kémhatású (az oldatban a hidroxid ionok koncentrációja nagyobb, mint az oxóniumionoké). A savakkal sókat képez, vizes oldata savakkal közömbösíthető.



Katalizátor jelenlétében oxidálható, ekkor a reakció körülményeitől függően nitrogén vagy nitrogén-oxidok és víz keletkeznek.



A vízben ammónia, illetve ammónium-ion van egyensúlyban. Az ion koncentráció a pH függvénye:



Savas közegben az ammónium-ion van túlsúlyban, míg lúgos körülmények között az ammónia koncentrációja magasabb, amely oldatban marad, vagy gáz formában felszabadul, eltávozik a vízből. Az oldatban maradó, egyensúlyi koncentráció az alábbi összefüggésből számítható:

$$C = \frac{H_e}{p} \cdot x$$

ahol: H_e = Henry féle koefficiens

p = az ammónia nyomása a gőztérben

x = ammónia koncentrációja a vízben.

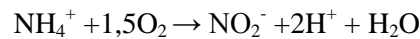
2. A VIZEK AMMÓNIA-MENTESÍTÉSI MÓDJAI

Az ammónia-mentesítésére több lehetőség adódik, amelyek lényege röviden az alábbiakban foglalhatók össze:

- *Törésponti klórozás:* Az ammóniából klóraminokat (monoklór-amint, vagy diklóramint) állítunk elő. Az ammónia tartalom csökkenése azonban nem jelenti a vízben az összes N-tartalom csökkenését is. Hátránya a klórozásnak éppen a klóramin megjelenése, amely az élővilágra lehet káros.

A klóraminok leválasztása érdekében célszerű a folyamatot egy aktív szerves adszorpcióval kiegészíteni. Ezáltal ugyan a vizet megtisztítottuk, de a kimerült aktív szenet regenerálni (a regenerátumot kezelni), illetve ártalmatlanítani kell.

- *Biológiai ártalmatlanítás:* Mikroorganizmusok segítségével, oxigén jelenlétében az ammóniából két lépcsőben, megfelelő körülmények között (megfelelő pH, hőmérséklet, tápanyag, vízkeménység, és a mikroorganizmusok számára méregmentes víz) nitrit majd nitrát keletkezik:



Hátránya a folyamatnak, hogy a víz nitrát tartalma szintén nem kívánatos, valamint nehéz a folyamatot optimálisan kézben tartani, külön feladatként jelentkezik az átalakító mikroorganizmusok leválasztása (fázisszétválasztás), és az előálló iszap kezelése, elhelyezése.

A víz nitrát tartalma egy újabb biológiai folyamattal (anaerob módon) elemi nitrogénné alakítható. A keletkező N_2 a légterbe távozik.

- *Adszorpcióval történő leválasztás:* Néhány nagy fajlagos felületű szilárd anyag képes a felületén laza kötéssel megkötni az ammónium-iont. A szakirodalmak szerint a természetes zeolit adszorpció kapacitása átlagosan $0,35 \text{ mg NH}_4^+/\text{g}$ zeolit, de függ a zeolit eredetétől, összetételétől, típusától, valamint a vízben eredetileg található ammónium-ion koncentrációtól. Alkalmazása kisebb koncentrációnál képzelhető el.

Hátránya, hogy a kapacitást a zeolit jellemzői mellett befolyásolja a víz keménysége, a benne lévő kationok mennyisége, valamint az a tény, hogy a kimerült adszorbenst regenerálni (termikus, kémiai vagy biológiai), elhelyezni kell, regenerálás esetén a keletkező regenerátum kezelése szükséges.

- *Ioncsere:* Történhet műgyanták illetve természetes anyagok segítségével.

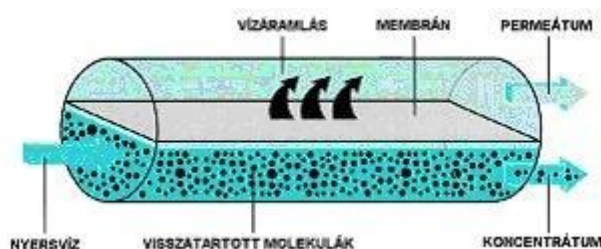
1. Kationcserélő műgyanták alkalmazása:

- Nem szelektívek az ammónium ionra, mint a zeolitok, ezért lényegesen gyengébb a megkötődésük, mint zeolitokon.
- A kétértékű ionok megkötődése lényegesen hatékonyabb.
- A gyanta felületén mikroorganizmusok is megjelenhetnek.
- A módszer nem alkalmas az ammónium ionok hatékony kivonására a vízből.

2. Módosított zeolit alapú, regenerálható, ammónia-mentesítő vízszűrő-közeg (klinoptilolitos riolittufa - GEOPRODUCT KFT.)

Az ammónia megkötése ioncsere és felületi abszorpció útján történik. Az ioncsere folyamata sokkal meghatározóbb, mint a felületi megkötés. A lecsereélhető kationok helyére ammónium-ion lép, míg az ammónia a felületen abszorbeálódik. A megkötődés reverzibilis. Legnagyobb mértékben a kalcium abszorbeálódik együtt az ammóniával, szintén reverzibilis módon. Az ásványi anyag speciális elő-kondicionálásának köszönhetően az egyéb ionok megkötődése alárendelt. Sikerült elérni például, hogy a magnézium csak igen kismértékben kötődjön. A Granofilter-NAFE1000 szűrőanyag a nagy szelektivitásával tűnik ki a hasonló készítmények közül. A hatóanyag - az (Na,Fe,H)-klinoptilolit - ammónia-komplexének disszociáció-foka annyira alacsony, hogy szükség esetén akár 0,05 mg/literes ammóniakoncentráció is tartható a vízben.

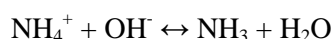
- *Membrán eljárással, fordított ozmózissal (RO) történő leválasztás:* Ennek lényege (2. ábra), hogy egy féligáteresztő hártya (membrán) segítségével az ammónium-ion a méreténél fogva nyomás alkalmazásával leválasztható.



2. ábra: A membrán eljárás (RO) sémája

Hátrány, a nagy nyomás-igény, a koncentrátum koncentrációja behatárolt, a koncentrátum tovább-kezelési igényel.

- *A pH beállítás utáni kiűzés:* A kémiai úton történő ammónium eltávolítás egy lehetséges módja a pH szabályozást követő gázkiűzés. Az eljárás lényege, hogy nagy pH-n a vízben található ammóniumionok ammónia gázzá alakulnak a következő reakcióegyenlet szerint:

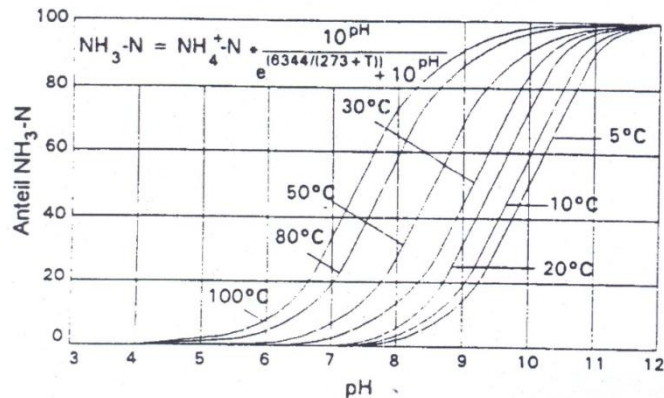


A pH emelésével az egyensúlyi folyamat eltolódik és ammónia gáz szabadul fel. 25 °C-on az ammónia gáz képződésének mértéke (Metcalf és Eddy, 1979):

$$\text{NH}_3 (\%) = 100 / (1 + 1,75 \cdot 10^9 [\text{H}^+]),$$

ahol: $[\text{H}^+]$ a hidrogénionok koncentrációja. 25 °C-on 10,8-as pH érték mellett ez 97,3 %-os ammónia gáz arányt jelent (2. ábra). Ilyen pH érték mellett az eltávolítás, a kiűzés már

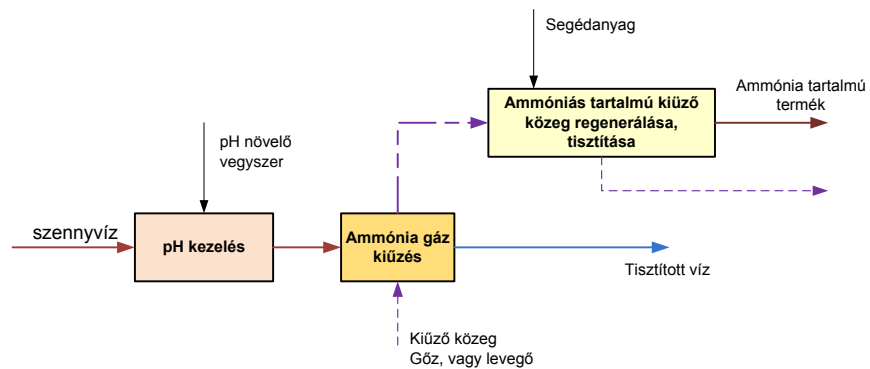
meglehetősen hatékony, alacsonyabb pH értékeken azonban az eljárás meglehetősen rossz hatásfokkal működik.



3. ábra: Az ammónia megjelenési aránya a vízben a pH és hőmérséklet függvényében

A magyarországi vizek pufferkapacitása meglehetősen magas, ezért a pH változtatásához nagy mennyiségű vegyszer adagolása szükséges. Az eljárás után a pH értéket vissza kell állítani, ami további vegyszer adagolását teszi szükségessé. A vázolt technológia alkalmazása ezért ivóvíztisztításra nem túl gazdaságos megoldás.

A vegyszeres kezelés után az ammónia valamely gázzal (levegő vagy gőz) a vízből kiűzhető (4. ábra).



4. ábra: Az ammóniával szennyezett víz tisztításának teljes vázlatja

A folyamat tisztított vizet és ammóniában gazdag gőzt/gázt eredményez. Ez utóbbit kezelni kell, melyre az alábbi három megoldás az ajánlható:

1. Katalitikus ammónia oxidáció: Az ammóniával terhelt gáz áramot felhevítés után egy katalizátor segítségével oxidálják:

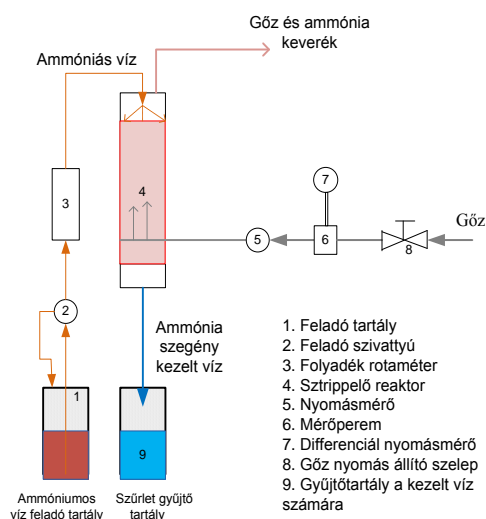
2. Savas mosás: A nagy ammónia tartalmú közeget egy reaktorba vezetve savas mosófolyadékkal (általában kénsavval) hozzák össze. A keletkező ammóniumsulfát kristályosítás után értékesíthető.
3. Kondenzáció: A gőzzel történő kiűzés után a kondenzálódott ammóniás vizet koncentrálják, és mint ammóniás vizet értékesítik.

Az egész vízkezelést zárt rendszerben kell elvégezni, és az ammóniával terhelt kiűző közeget feltétlenül tisztítani kell, ugyanis az ammónia toxikus anyag. Belégzése irritálja, marja a nyálkahártyát, a szemet. Belégzése a légutak gyulladását, illetve tüdőödémát okozhat. Nagy ammónia koncentráció ($1,5-2,5 \text{ g/m}^3$) belégzése 30- 60 perc ideig, akár halálos is lehet. Ellenjavaslat, ecetsav-gőz belégzése.

A gyomorban történő felvétel gyomorvérzést, keringés-összeomlást okozhat. A semlegesítés érdekében ecetsav vagy citromsav fogyasztása javasolt. Felszíni vizekben bázikus körülmények között hal-méreg.

3. KÍSÉRLETI TECHNOLOGIA AZ AMMÓNIA KIŰZÉSÉRE

Az általunk, egy vállalatnál végzett laboratóriumi jellegű kísérletek célja az volt, hogy megállapítsuk az ammónia kiűzés hatásosságát, meghatározni azt, hogy milyen paraméterek, milyen mértékben befolyásolják annak hatásosságát. Ebből a célból egy kísérleti eljárást állítottunk össze, melynek sémája látható az 5. ábrában.



5. ábra: Az ammónia kiűzésre összeállított technológia sémája

A kísérleti technológia a pH beállítást, az ammónia kiűzést, valamint a kiűző közeg tisztítását foglalja magába. Az ammónia tartalmú kiűző közeg tisztítására kísérlet során nem került sor.

A kísérleti technológia a következő:

A kezelt szennyvíz pH-ját mértük, majd Ca(OH)_2 -vel lúgosítottuk, a kiűzési pH-ig. (A mész alkalmazás hátránya nagyobb szulfáttartalom mellett a gipszképződés, illetve kicsapódás. A legtöbb ammóniás víz azonban nem tartalmaz annyi szulfátot, amely a keletkező gipsz kicsapódáshoz vezetne.) A lúgos szennyvizet egy szivattyúval rotaméteren keresztül, szórófej segítségével adtuk fel a sztrippelő reaktorra. A feladás térfogatarama a rotaméter és a szivattyú nyomóágában kialakított fojtással, szennyvíz visszavezetéssel szabályozható.

A sztrippelő reaktor egy 104 mm-es belső átmérőjű rozsdamentes csőből készült, melyben egy perforált álfenék tartotta az 1 m magas porózus kerámia töltetanyag halmazt.

A kiűző közegként gőzt alkalmaztunk, melynek mértük a nyomását. A gőz felhasználás meghatározhatósága érdekében beépítésre került egy mérőperem, melynek két oldala között mértük a nyomáskülönbséget. A mérőperem méreteit, beépítését, valamint a szállított gőzmennyiségét a mért adatok (nyomás és nyomáskülönbség) ismeretében az MSZ 1709/3-67 szabvány segítségével határoztuk meg. A kiűzött ammóniát (minimális mennyiségét figyelembe véve) a kiűző közeggel együtt a légtérbe vezettük.

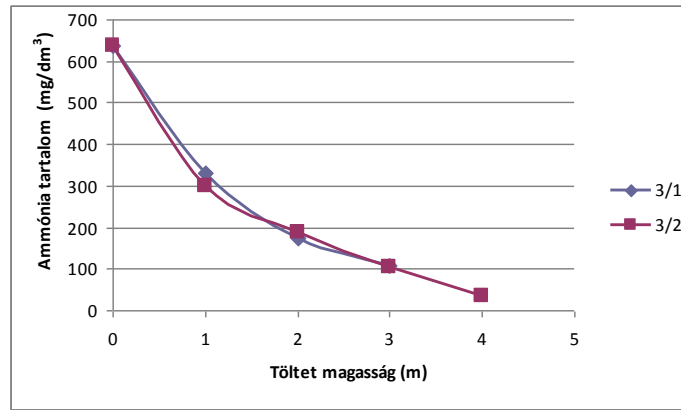
Egy-egy kísérlethez 10-20 liter ammóniás vizet használtunk, a pH-ját 10 és 12 közöttire állítottuk be. A feladási térfogataramot $50\text{-}200\text{ dm}^3/\text{h}$ -ban határoztuk meg. A kiűző gáz hőmérséklete 133°C , a nyomása 1 bar közelében volt. A sztrippelő reaktorban az előkezelt mintát több alkalommal (3x – 6x) engedték át, magasabb reaktort (töltetet) modellezve.

Kísérletek közben mértük a kezelt víz pH-jának, hőmérsékletének alakulását a kiűző gőz paramétereit, az ammónia tartalom alakulását.

4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

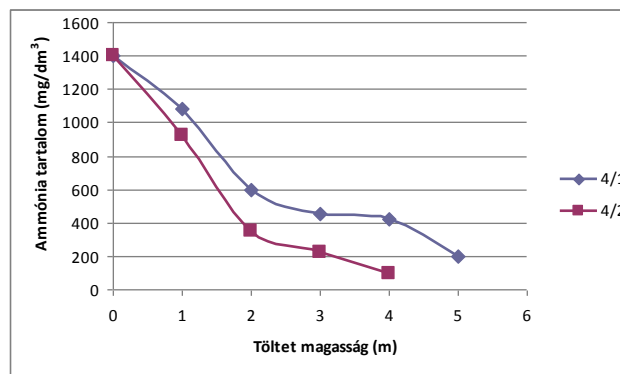
A kísérleteket különböző ammónia tartalmú vizekkel végeztük a technológiai paraméterek változtatása mellett, hogy megvizsgáljuk azok hatásait. Az ammónia tartalom csökkentés jellege mértéke az alábbi 6.-... ábrákban láthatók.

Az első kísérleteknél a víz NH_4 -tartalma nagyon alacsony, mindössze $636,3\text{ g/m}^3$. A kísérlethez alacsonyabb gőznyomást állítottunk be, és a pH hatását vizsgáltuk a kiűzésnél. Az egyik kísérletnél 11,85-re, a másodiknál 10,45-re módosítottuk a kezelendő víz pH értékét Ca(OH)_2 adagolással. A 6. ábra adatai alapján megállapítható volt, hogy az ammónia tartalom a választott paraméterek mellett, a vizsgált pH tartományban gyakorlatilag egy 4m-es reaktorban jelentősen 100 mg/l alá csökkenthető.



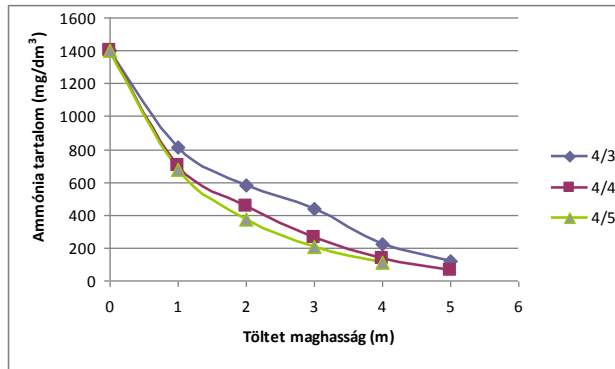
6. ábra: A kezelt víz ammónia tartalmának alakulása a reaktorban levő töltet magasság függvényében (ugyanolyan gőzfelhasználás, feladási térfogatáram mellett)

A következő kezelt víz már magasabb ammónia koncentrációval rendelkezett. A 4/1 jelű kezelést az előző vízhez hasonlóan végeztük. Az eredmény alapján (7. ábra) az ammónia kiűzés hatásfoka jelentősen csökkent, viszont a kiűző gőz fajlagos mennyiségét 25 %-kal növelve (4/2jelű görbe) a víz ammónia tartalma 4 m-es tölteten átengedve jelentősen, kellő mértékűre csökkenthető.



7. ábra: A kezelt víz ammónia tartalmának alakulása a reaktorban levő töltet magasság függvényében (különböző gőzfelhasználás, azonos pH és feladási térfogatáram mellett)

A következő kísérlet sorozatnál a kiűző gőz térfogatáramát és a víz pH-ját is változtattuk (8.ábra).

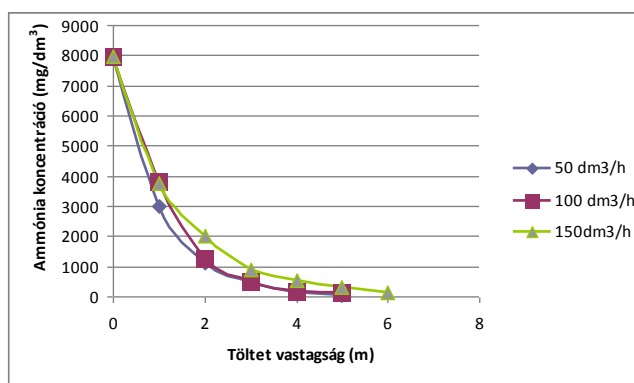


8. ábra: A kezelt víz ammónia tartalmának alakulása a reaktorban levő töltet magasság függvényében (különböző gőzfelhasználás, és pH valamint azonos feladási térfogatáram mellett)

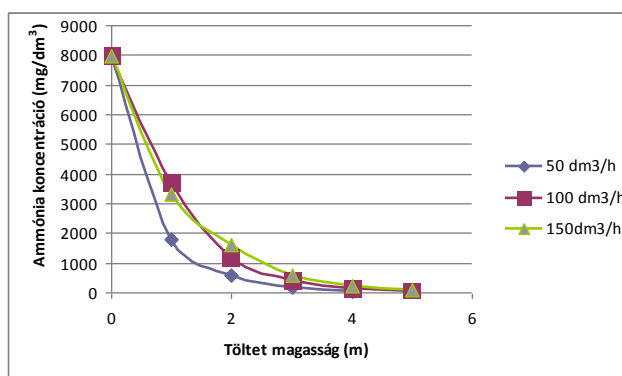
Az eredmények alapján a fajlagos gőzfelhasználás növeli a kiűzhető ammónia mennyiségét, a pH hatásának alakulását viszont a víz sótartalma, jellemzői erősen befolyásolhatják, amely természetesen az ammónia kiválását is befolyásolhatja. Az eredményekből az is látható, hogy egy 4 m-es töltettel a közel 1500 mg/l-es kiindulási ammónia koncentrációból is elérhető 100 mg/l-es vég koncentráció.

A következőkben egy még jelentősen magasabb kiindulási ammónia koncentrációjú víz kezelésére végeztünk kísérleteket. A 9. ábrában feltüntetett eredményeket adó kísérleteknél azonos pH értékű vizet adtunk fel, a kiűző gőz mennyisége konstans, 13,3 kg/h volt, a feladási térfogatáramot pedig jelentősen növeltük. A 10. ábrában pedig jelentősen, 43 %-kal növeltük a fajlagos gőzfelhasználást.

Az eredmények azt mutatják, hogy ilyen magas kiindulási ammónia koncentráció mellett is jelentősen csökkenthető a víz szennyezettsége megfelelő paraméterek alkalmazása segítségével, és ebben az esetben is elérhető volt a 4 illetve 5 m magasságú töltetben való sztrippeléssel a megcélzott 100 mg/l-es ammónia tartalom a kezelt vízben. A görbék lefutása szerint a szennyezett víz feladási térfogatárama jelentősen nem befolyásolta az ammónia kiűzését a kísérleti paraméterek mellett, ugyanakkor a kiűző gáz fajlagos térfogatáramának növelése, a vizsgált tartományban, csökkentette az ammóniamentesítéshez szükséges kontaktidőt, illetve a szükséges reaktor töltet magasságát.



9. Ábra: A kezelt víz ammónia tartalmának alakulása a reaktorban levő töltet magasság függvényében (azonos gőzfelhasználás, és pH, valamint különböző feladási térfogatáram mellett)



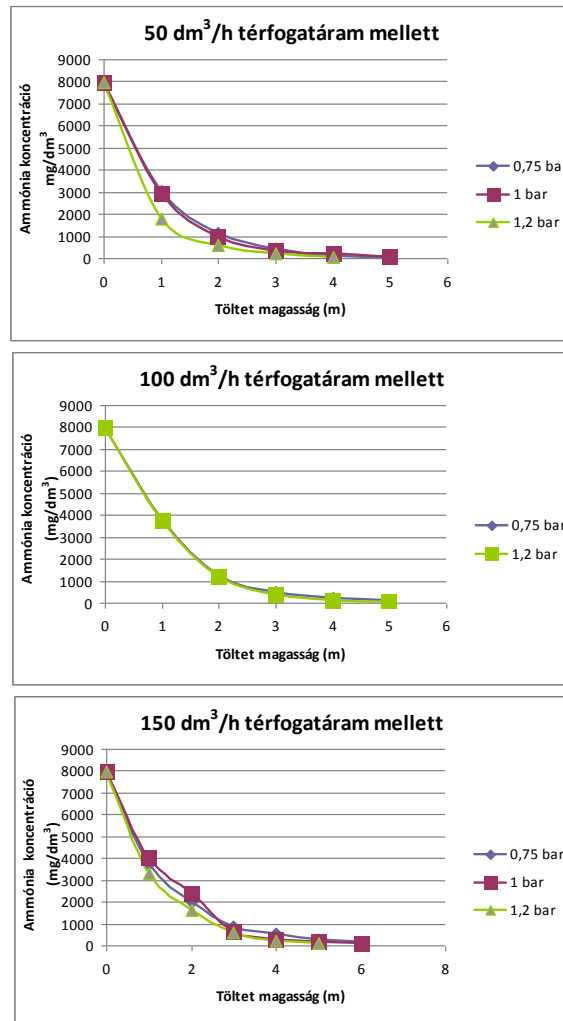
10. ábra: A kezelt víz ammónia tartalmának alakulása a reaktorban levő töltet magasság függvényében (nagyobb, de állandó gőzfelhasználás, azonos pH és változó feladási térfogatáram mellett)

Az előzőekben vázolt kísérletek eredményeit a feladási térfogatáram függvényében is ábrázoltuk a különböző gőzfelhasználást (gőznyomás) figyelembe véve a 11. ábrában. A görbék lefutásából látható, hogy a választott térfogatáram mellett a fajlagos gőzfelhasználás is hatással van az ammónia kiűzésre, melynek mértéke különböző. Az 50 dm³/h térfogatáramnál a 0,75 illetve 1 bar-os sztrippelő gőz hatása közel azonos, míg az 1,2 bar hatására jelentősebb a tisztítás mértéke, és 1 m töltet vastagság megspórolását jelentheti.

100 dm³/h feladásnál a két szélső gőznyomás felhasználása hasonló eredményhez vezet, ugyanakkor az utolsó 2-3 m töltetben a leválasztás a nagyobb gőznyomásnál hatásosabb.

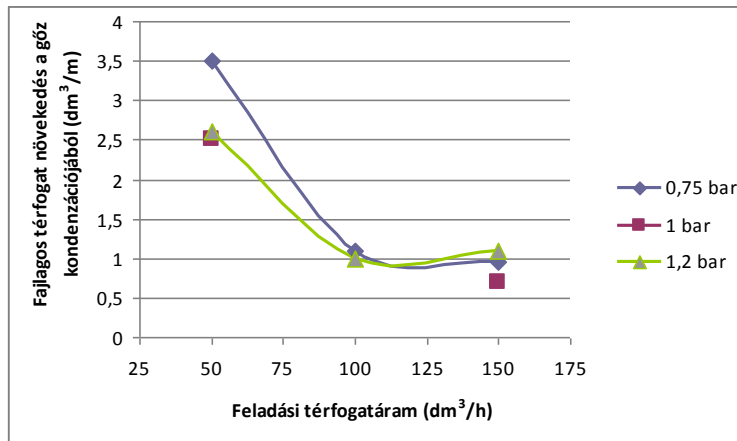
A 150 dm³/h térfogatáram alkalmazásakor szintén a nagyobb gőznyomás eredményez jobb eredményt. Ennek oka az, hogy a nagyobb gőznyomás több kihajtó gőzt is jelent, ugyanakkor ez a gőznyomás nagyobb ellenállást fejt ki a töltetek között lefele áramló vízzel szemben és hosszabb benntartózkodást eredményez, amely a szétválasztásra kedvezően hat.

A feladási térfogatáramok közül viszont a választott legkisebb biztosította a jobb eredményt, azaz a nagyobb fajlagosfelület kialakulását (a fajlagos felület nagysága pozitívan hat a gázkiűzés mértékére). Az eredmények szerint, egy meghatározott paraméterrel rendelkező víz tisztítása esetén a kiűzési paraméterek (fajlagos feladási térfogatáram, kiűző közeg, gőz mennyisége, oszlop magasság stb.) meghatározhatók. A gőz választása esetén azonban számolni kell azzal, hogy kiűzés közben a gőz egy részéből kondenzvíz keletkezik.



11. ábra: Az ammónia kiűzés alakulása a reaktorban levő töltet vastagság függvényében a kiűző gőznyomás és térfogatáram változtatás hatására

A 12. ábrában a 10l víz kezelése közben keletkező, gőzből származó fajlagos kondenzvíz mennyiségek láthatók 1 m töltet vastagságra vonatkoztatva, a feladási térfogatáram és gőznyomás függvényében.



12. ábra: A gőz kondenzációból származó fajlagos víz térfogat növekedés 1 m vastagságú töltetben a feladási térfogatáram és kiűző gőz nyomása függvényében.

Az ábra alakulása szerint a feladási térfogatáram és a gőznyomás is hatással van a kondenzvíz mennyiségére. A kisebb feladási térfogatáram (50 dm³/h) kétszer, háromszor több kondenzvíz keletkezéséhez vezet, mint a 100 illetve 150 dm³/h értékű térfogatáramok. A kísérleteink szerint az alkalmazott paraméterek mellett a gőz nyomása kisebb mértékben hatott a kondenzvíz keletkezésére. Kis térfogatáramnál az 1,2 bar 1 dm³-rel kevesebb kondenzvíz keletkezéséhez vezetett, mivel a kezelt víz hőmérséklete már az első méteren jelentősen magasabb lett, és végig néhány fokkal magasabb volt. Az adatok alapján a 100 és 150 dm³/h feladási térfogatáramok a kondenzvíz keletkezésének mennyiségét lényegesen nem befolyásolták.

5. AZ EREDMÉNYEKBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Összefoglalva az elvégzett kísérletek eredményeit az alábbi következtetések tehetők.

A kísérletek eredményei egyértelműen igazolják, hogy a pH beállítás (a javasolható pH érték jelen víznél 11,5 -12 közötti) utáni gőzzel való ammóniakiűzés a kérdéses technológia kezelésére eredményesen alkalmazható.

Ez esetben a gőzből származó kondenzvíz pH csökkentő hatása nem számottevő, az ammóniamentesítés hatásfokát nem csökkenti. A víz lúgosítása történhet Ca(OH)₂-vel, illetve NaOH-val. A meszes kezelés előnye hogy olcsóbb, azonban a kezelt vízben jelentős pelyhesedést okoz, mely azonban a töltet első részében kiszűrődik (ez a probléma pH kezelt víz előzetes ülepítésével jelentős mértékben javítható). A NaOH alkalmazása ugyanakkor kedvezőtlen mértékben szennyezi a vizet, növelve annak Na⁺- ion tartalmát, és veszélyesebb anyagnak is minősül.

A felületi terhelés a kiűző reaktorban célszerűen kisebb legyen, mint 10-12 m³/m²h, és lehetőleg konstans. Ennél nagyobb értékek esetén is végbemegy az ammóniamentesítés, de nagyobb töltet

vastagság szükséges a hasonló mértékű tisztítás eléréséhez. A reaktorban kialakított szükséges töltet magasság a víz eredeti ammónia tartalmának, a kívánt tisztítási hatások valamint az üzemeltetési paraméterek függvénye.

A kiúzó közeg lehet gőz vagy levegő. Az ajánlott fajlagos gőzhasználat a kísérlet eredményei alapján nagy, több ezer mg/l ammónia tartalomnál 0,18-0,19 t gőz/m³ víz, amely 1000 mg/l esetén közel 2/3-ára csökkenthető. A gőz felhasználása a technológia közben kondenzvíz keletkezésével jár, melynek mennyisége a gőz, a sztrippelő oszlop töltetének, a kezelt víz hőmérsékletének, valamint a gőz térfogatáramának, a töltet magasságának függvénye.

A levegő felhasználása kb. 2000 m³ levegő/m³ betáp víz fajlagos térfogatáram igényre van szükség. Felhasználás előtt a levegőt legalább 40 °C-ra kell melegíteni és gondoskodni kell a kezelendő víz felmelegítéséről is, kb. 60-70 °C-ra.

A reaktorból távozó ammóniás gőz levegő kellemetlen illatú, toxikus anyag rendszer, ezért a feladat szigorúan zárt rendszerben végezhető, és továbbkezelése szükséges.

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. IRODALOMJEGYZÉK

1. Ammoniak, NH₃. Wasser-Wissen, Das Internetportal für Wasser und Abwasser; www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/ammoniak.htm.
2. S. Meckl, R. Römer, L. Schlüter, R. Wunder: Strippen von Ammoniak aus den Abwasser von Rauchgaswaschen; BASF AG, Ludwigshafen
3. J. Gebel, A. Frye, S. St. Kollbach, W. Dahm: Ammoniakrecycling aus den Prozesswaessern der Schlammwaesserung; ENVIRO CONSULT; Korrespondenz Abwasser, Nr.4/94.
4. R. Rautenbach, J. Gebel, A. Frye, J. St. Kollbach, W. Dahm: Bilanzierung einer Ammoniak-Strippkolonne unter Berücksichtigung des Dissoziationsgleichgewichtes Ammoniak/Ammonium; Korrespondenz Abwasser Nr. 1/95
5. Technológiai fejlesztések; MAVÍZ MB 2005-2007.
6. Vizek ammóniatartalmának eltávolítása természetes zeolitokkal, laboratóriumi kísérletek; Új Kör-Kép, 1994. Július-Augusztus.
7. Galbács Z., Nagy J.: Regenerálható ammónia eltávolító; The 12th Symposium on Analytical and Environmental Problems; Szeged, 2005. 09. 26.
8. Folyadékáram mérés mérőperemmel; MSZ 1709/3-67
9. Laboratóriumi kísérletek