

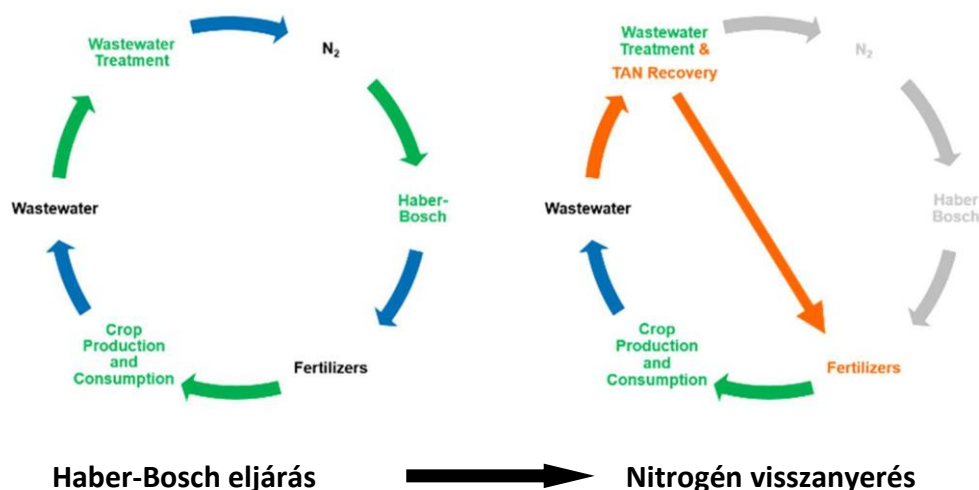
Háttérinformáció Ammónia visszanyerése szennyvízből

Bevezetés

A szennyvizünk tápanyag- és energiaforrássá vált, bezárva az anyagáramot a körforgásos gazdaság számára. A szennyvízben jelenlévő összes tápanyag közül a nitrogén létfontosságú a növények növekedéséhez (FAO, 2019). A nitrogén (N_2) a légkörben lévő összes gáz 78%-át teszi ki. Ahhoz, hogy ezt műtrágyaként fel lehessen használni, a Haber-Bosch eljárással mesterségesen reaktív nitrogénformákba kell rögzíteni (1.ábra, Maurer et al., 2003). A világszerte felhasznált energia 2%-át a Haber-Bosch eljárással történő műtrágya-előállításra használják.

A fogyasztás során jelentős mennyiségű nitrogén kerül szennyvizünkbe. Azért fontos, hogy ezt eltávolítsuk a szennyvízből, mert nitrogénfelesleg bekerül a felszíni és a talajvizekbe, ami környezeti károkat, például eutrofizációt okozhat.

A szennyvíztisztító telepeken a nitrogént környezeti hatások csökkentése érdekében a nitrogént nitrifikáció-denitrifikációval, ill. anaerob ammóniaoxidációval távolítják el (Maurer et al., 2003; Sengupta et al., 2015). Ezek a nitrogéneltávolítási eljárások nagy energiafogyasztással járnak és hozzájárulnak a légkörbe történő N_2O -kibocsátáshoz.



1. ábra: A nitrogénkörforgás rövide zárása elektrokémiai rendszer segítségével

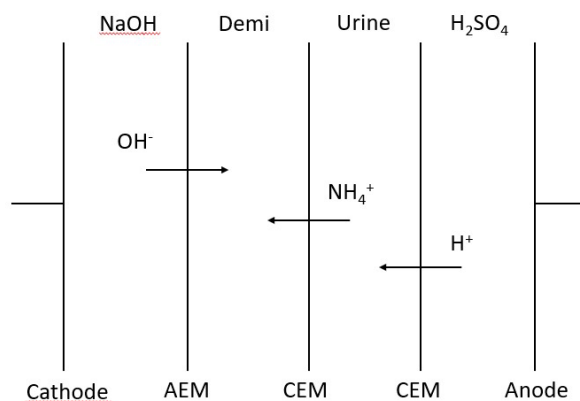
A nitrogéneltávolítási folyamat optimalizálása érdekében a holland Wetsus kutatóintézetben egy elektrokémiai rendszert fejlesztenek a nitrogén eltávolításra, melynek segítségével csökkenthető az energiafogyasztás és a N_2O -kibocsátás. Ezzel az eljárással megoldható a nitrogén oldatban történő koncentrációja (ammónium/ammónia), lehetővé téve a hatékony extrakciót és a visszanyerést (2. ábra, Kuntke et al., 2018; Rodrigues et al., 2020).

Ebben az elektrokémiai rendszerben a kationcserélő membránok és az anioncserélő membránok egymásra vannak helyezve. Ezek a membránok, ahogy a nevek is jelzik, csak bizonyos ionokat engednek át. Így bizonyos ionok elektrokémiai úton eltávolíthatók az egyik oldatból és koncentrálnak a másik oldatban.

Háttérinformáció Ammónia visszanyerése szennyvízből

Hogyan működik?

A 2. ábrán látható rendszer működése:



2. ábra: az elektrokémiai rendszer mechanizmusának sematikus képe

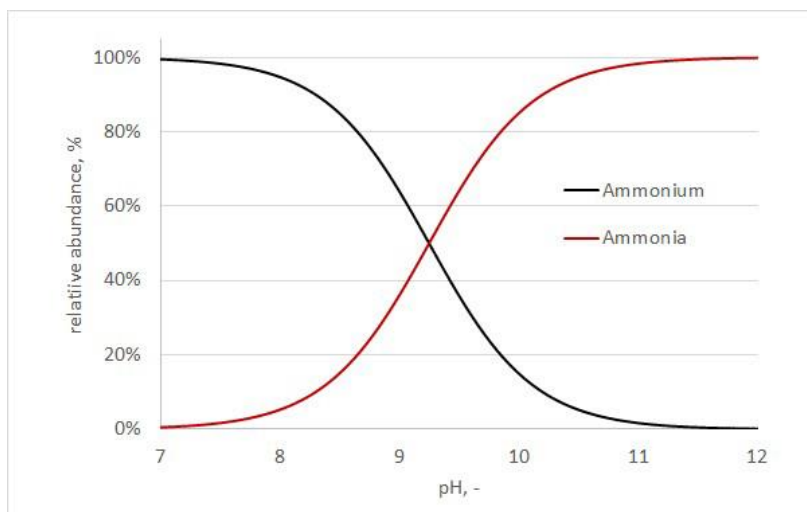
Az áram az ammóniumiont és más pozitív ionokat (H⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) a kationcserélő membránon keresztül a katód felé hajtja (2. ábra). Az ammóniumion a hidroxidionnal együtt az ionmentes vízszugárban koncentrálódik, ezáltal a pH-érték növekszik és így az ammóniumion ammóniává alakul.

Az elektrokémiai rendszerben minden reakció egyedileg elektrokémiai, ami a rendszer működését egyszerűvé teszi. Ezenfelül az elektrokémiai rendszerek nagyobb áramsűrűséget eredményeznek, mint a bio-elektrokémiai rendszerek, és extrém pH-értéken áramlásokkal működnek.

A rekeszeket (anód, betáplálás, koncentrátum és katód) tartalmazó elektrokémiai rendszerek ammónia kinyerésére használhatók. Az anódon és a katódon vízhasadás megy végbe, protonokat és hidroxidionokat képezve. Az elektronok az anódról egy külső áramkörön keresztül a katód felé mozognak, ahol a víz redukciója történik. A redukció során hidroxidionok és hidrogén keletkezik. Mivel a betáplálást az anódon képződő protonok savasítják, az oxidált NH₄⁺ a kationcserélő membránon keresztül a koncentrátum felé mozog. Az oldatban lévő ammónium és egyéb kationok ezért elkülönülnek az oldatban lévő nemkívánatos ionoktól, például az anionoktól (Cl⁻) vagy a mikroszennyező anyagoktól.

Ha tiszta ammónium-műtrágyára van szükség, akkor a katólit áramot egy gázáteresztő membránra lehet vezetni, ami segítségével az ammónia visszanyerhető. Ez azért lehetséges, mert az ammónia amfoter anyag, ellentétben a nátriummal vagy a káliummal. A pH-tól függően az oldatban megtalálható oldható gáz (NH₃) vagy protonált (NH₄⁺) formájban is. (Kuntke et al., 2017; Rodríguez Arredondo et al., 2017).

Háttérinformáció Ammónia visszanyerése szennyvízből



3. ábra: Az elektrokémiai rendszer mechanizmusának vázlatos képe

Célok

A feladat fő célja a nitrogén visszanyerése különböző szennyvizekből és oldatban való koncentrációja elektrokémiai úton.

A laboratóriumi eljárás

Lásd 1. Modul: Az ammónia-visszanyerő cella felépítése

Lásd 2. Modul: Ammónia visszanyerése és elemzése

Számítások

a) A terhelési arány (L_N) az alkalmazott áramsűrűség és a nitrogénterhelés hányadosa. A terhelési arány nagymértékben meghatározza az elektrokémiai rendszer teljesítményét (ammónia-eltávolítás és energia fogyasztásra vonatkoztatva (Rodríguez Arredondo et al., 2017)). Ha a terhelési arány értéke 1, a rendszerben alkalmazott áram mennyisége megegyezik a vizsgált oldat teljes nitrogéntartalmának megfelelő töltéssel.

Ha $L_N < 1$, több nitrogén van jelen, mint a cellába juttatott elektronok, és fordítva, ha $L_N > 1$ a rendszert túlfeszültséggel látják el. A terhelési arány a következő képlet segítségével határozható meg:

$$L_N = \frac{j \times A_M}{C_{TAN, \text{influent}} \times Q_{\text{influent}} \times F}$$

Háttérinformáció Ammónia visszanyerése szennyvízből

Ahol, j az áramsűrűség (A/m^2), $C_{TAN,influent}$ a beáramló folyadék nitrogénkoncentrációja (mol/liter), V a térfogat (liter), F a Faraday-állandó (C/Mol) és A_M a kationcserélő membrán felülete (m_2).

b) A tanulók kiszámolhatják a működés idejét. Megfigyelhetik, hogy mi történik az idő múlásával (t_0 , t_1 és t_2 időpillanatokban). Érdemes megfigyelni, hogy a rendszer sebessége változik-e? Mi lehet a magyarázat?

Biztonsági Intézkedések

1. Általános laborbiztonsági szabályok
2. Szennyvíz és sav ellen gumikesztyű
3. Változtatások akkor végezhetők a rendszerben, amikor az áram ki van kapcsolva

Mérések

1. Az összes oldat pH-értékének meghatározása
2. Az oldat NH_3 tartalmának meghatározása titrálással (az oldatban lévő összes nitrogén meghatározásához az ammónia és az ammónium közötti kapcsolat meghatározása)
3. Cellafeszültség és cellaáram mérése
4. Az összes oldat térfogata t_0 -nál és t_f -nél (ideális esetben állandó)

Kérdések

1. Milyen hatásokkal jár a magas nitrogéntartalmú szennyvíz kibocsátása a környezetre?
2. Mennyi nitrogént ($NH_4 +$ és NH_3) távolítottuk el az oldatból grammal megadva? Használja a titrálás eredményét és a Kiegészítő információkban található táblázatot kombinálva.
3. Mennyi energiát fogyasztott a nitrogén visszanyerése (kWh/g nitrogén)? Használja az alábbi egyenletet:

$$L_N = \frac{j \times A_M}{C_{TAN,influent} \times Q_{influent} \times F}$$

Ahol, j az áramsűrűség (A/m^2), $C_{TAN,influent}$ a beáramló folyadék nitrogénkoncentrációja (mol/liter), V a térfogat (liter), F a Faraday-állandó (C/Mol) és A_M a kationcserélő membrán felülete (m_2).

4. Nevezzen meg három indokot, amiért a tápanyagok szennyvízből történő kinyerése előnyösebb, mint a műtrágya közvetlenül a talajra juttatása?

Háttérinformáció Ammónia visszanyerése szennyvízből

5. Vonjon le következtetéseket az eltérő sótartalmú és/vagy ammóniumkoncentrációval rendelkező szennyvíz felhasználásával kapcsolatban. Vitassák meg a nagyobb vagy kisebb áramerősség használatának hatását.

Felhasznált Irodalom

FAO, 2019. World fertilizer trends and outlook to 2022, Society.

Kuntke, P., Rodríguez Arredondo, M., Widyakristi, L., ter Heijne, A., Sleutels, T.H.J.A., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2017. Hydrogen Gas Recycling for Energy Efficient Ammonia Recovery in Electrochemical Systems. *Environ. Sci. Technol.* 51, 3110–3116.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06097>

Kuntke, P., Sleutels, T.H.J.A., Rodríguez Arredondo, M., Georg, S., Barbosa, S.G., ter Heijne, A., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2018. (Bio)electrochemical ammonia recovery: progress and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 102, 3865–3878. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8888-6>

Maurer, M., Schwegler, P., Larsen, T.A., 2003. Nutrients in urine: Energetic aspects of removal and recovery. *Water Sci. Technol.* 48, 37–46. <https://doi.org/10.1017/S000748530002229X>

Rodrigues, M., De Mattos, T.T., Sleutels, T., Ter Heijne, A., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., Kuntke, P., 2020. Minimal Bipolar Membrane Cell Configuration for Scaling up Ammonium Recovery. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 8, 17359–17367. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c05043>

Rodríguez Arredondo, M., Kuntke, P., ter Heijne, A., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2017. Load ratio determines the ammonia recovery and energy input of an electrochemical system. *Water Res.* 111, 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.051>

Sengupta, S., Nawaz, T., Beaudry, J., 2015. Nitrogen and Phosphorus Recovery from Wastewater. *Curr. Pollut. Reports* 1, 155–166. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0013-1>

Rodrigues, M., Sleutels, T., Kuntke, P., Hoekstra, D., ter Heijne, A., Buisman, C.J.N., & Hamelers, H.V.M. (2020). Exploiting Donnan Dialysis to enhance ammonia recovery in an electrochemical system. *Chemical Engineering Journal*, 395, [125143]. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125143>

Rodrigues Arredondo, M., Kuntke, P., ter Heijne, A., & Buisman, C.J.N. (2019). The concept of load ratio applied to bioelectrochemical systems for ammonia recovery. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 94 [6], 2055-2061.