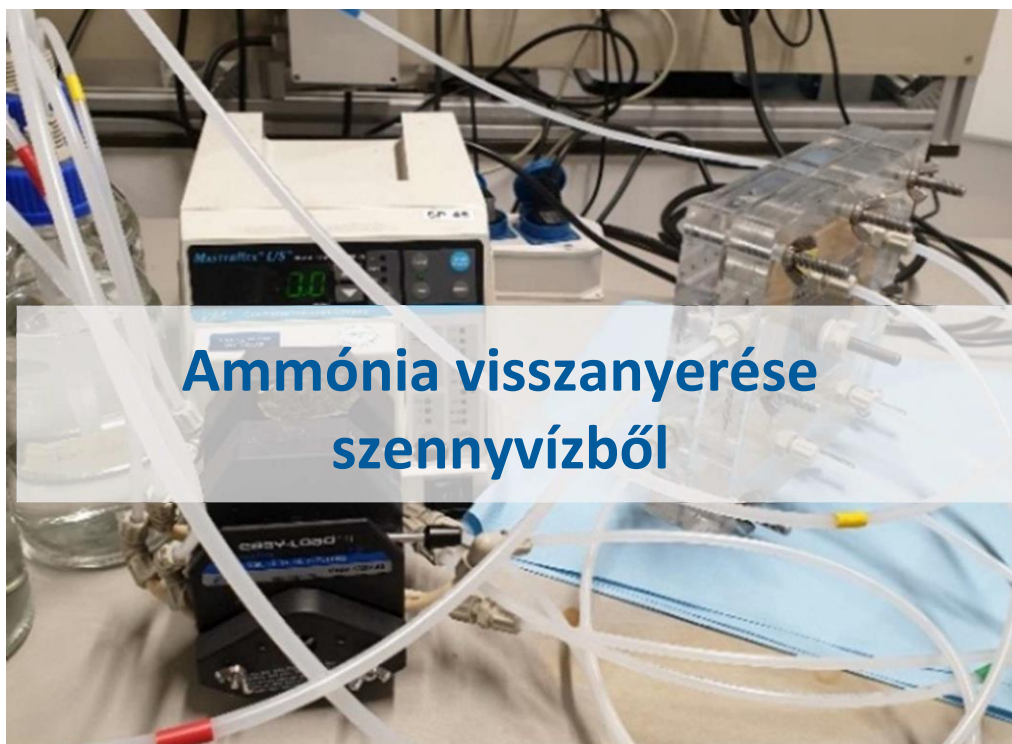


Tanári Kártya



Ammónia visszanyerése szennyvízből

Tartalom

Bevezető	2
Háttérinformáció	2
Tanulási eredmények	5
A kulcskompetenciák európai referenciakerete	5
Az Egyesült Nemzetek Fenntartható Fejlődési Céljai	6
Tartalom – Elméleti alapelvek	7
A laboratóriumi eljárás	8
A tanulási folyamat lépései	9
Értékelés	9
A Tanulói kártyák leírása	9
Felhasznált Irodalom	10

Tanári Kártya

Bevezető

- A laboratóriumi tevékenység olyan (14–19 éves) középiskolás diákok számára készült, akiknek tudományos projektmunkát kell végezniük.
- Az eszközkészlet két modulból áll, melyek kb. két nap alatt valósíthatók meg (a kísérlet egy éjszakán keresztül folyik).
- Az ammónia visszanyerésének szükségessége:
 - Vizeletünkől sok ammónia kerül a szennyvizekbe. Azért fontos, hogy eltávolítsuk a szennyvízből, mert a nitrogénfelesleg a felszíni és a talajvizeinkbe kerül, ami környezeti károkat, például eutrofizációt okozhat.
 - Jelenleg az ammónia eltávolítása a szennyvíztisztító telepeken történik nitrifikációs-denitrifikációs vagy anaerob ammóniaoxidáció nevű eljárásokkal. Ezek nagy energiafelhasználással járnak és hozzájárulnak a légkörbe történő N_2O -kibocsátáshoz.
 - A nitrogéneltávolítási folyamat optimalizálása érdekében a holland Wetsus kutatóintézetben egy olyan elektrokémiai rendszert vizsgálnak, aminek használatával kisebb az energiafogyasztás és a N_2O -kibocsátás. Ez a módszer lehetővé teszi a nitrogén oldatban való koncentrálását (ammónium/ammónia), ami hatékony extrakciót és visszanyerést eredményez.
 - Ez az eszköztár az oldatban lévő nitrogén koncentrálására összpontosít. A diákok titrálással elemzik az ammóniakoncentráció különbségeit.

Kulcsszavak:

ammónia visszanyerése, elektrokémiai rendszer, membránok, körforgásos gazdaság, eutrofizáció

Háttérinformáció

Bevezetés

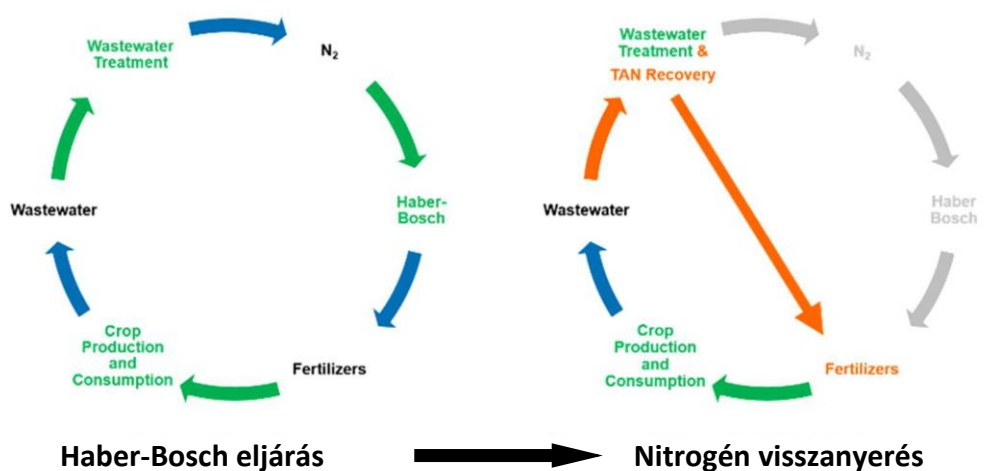
A szennyvizünk tápanyag- és energiaforrássá vált, bezárva az anyagáramot a körforgásos gazdaság számára. A szennyvízben jelenlévő összes tápanyag közül a nitrogén létfontosságú a növények növekedéséhez (FAO, 2019). A nitrogén (N_2) a légkörben lévő összes gáz 78%-át teszi ki. Ahhoz, hogy ezt műtrágyaként 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

Tanári Kártya

et al., 2015). Ezek a nitrogéneltávolítási eljárások nagy energiafogyasztással járnak és hozzájárulnak a légkörbe történő N_2O -kibocsátáshoz.



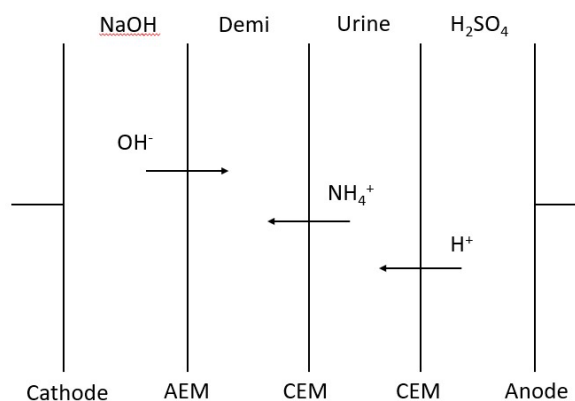
1. ábra: A nitrogénkörforgás rövidre zárása elektrokémiai rendszer segítségével

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 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.

Hogyan működik?

A 2. ábrán látható rendszer működése:



2. ábra: az elektrokémiai rendszer mechanizmusának sematikus képe

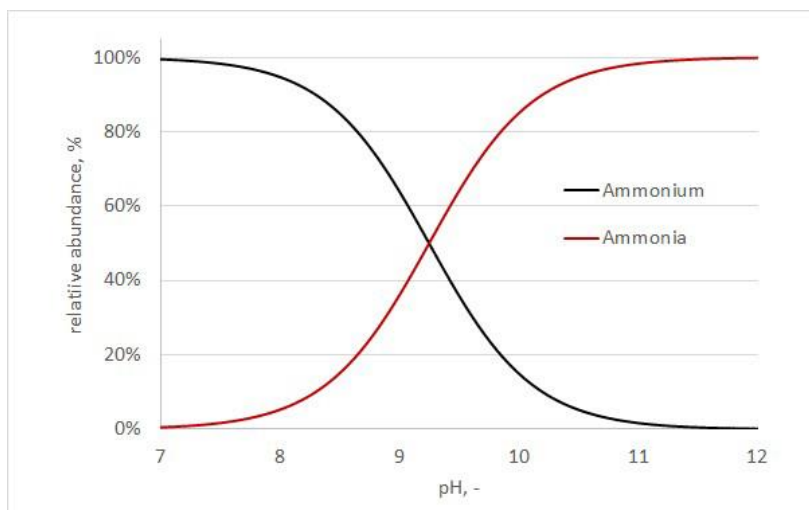
Tanári Kártya

Az áram az ammóniumiont és más pozitív ionokat (H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a kationcserélő membránon keresztül a katód felé hajtja (2. ábra). Az ammóniumion a hidroxidionnal együtt az ionmentes vízszugárban koncentrálnálódik, 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 NH_4^+ 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 katolit 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 (NH_3) vagy protonált (NH_4^+) formában is. (Kuntke et al., 2017; Rodríguez Arredondo et al., 2017).



3. ábra: Az elektrokémiai rendszer mechanizmusának vázlatos képe

Tanári Kártya

Tanulási eredmények

A tevékenység végére a tanulók:

- képesek lesznek megmagyarázni, hogy miért szükséges az ammónia visszanyerése;
- képesek lesznek saját elektrokémiai cellát építeni és ammóniát visszanyerni vele;
- képesek lesznek saját mintáikat elemezni titrálással;
- képesek lesznek elmagyarázni a kísérlet során végbemenő kémiai folyamatokat és a titrálás folyamatát

Célok

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

A kulcskompetenciák európai referenciakerete

Szövegértési kompetencia
S1. Képesség szóbeli és írott fogalmak, érzések, tények vagy vélemények megértésére és értelmezésére.
S2. Képesség fogalmak, érzések, tények vagy vélemény írásos és szóbeli kifejezésére.
S3. Képesség a világ értelmezésére és másokhoz való viszonyulásra.
Idegennyelvi kommunikáció
S1. Képesség szóbeli és írott fogalmak, érzések, tények vagy vélemények megértésére és értelmezésére.
S3. Képesség a világ értelmezésére és másokhoz való viszonyulásra.
S5. Szókincs, nyelvtan és nyelv ismerete.
S7. A munkaterületnek megfelelő szaknyelv használatának képessége.
Matematikai, természettudományi és technológiai kompetenciák
S1. Problémamegoldás során minden helyzetben képesség a konstruktív gondolkodásra.
S2. A matematikai kifejezések és fogalmak megértése és alkalmazásának ismerete
S4. Új területek új problémáinak megoldására való felkészültség.
S5. Kvantitatív gondolkodás képessége.
S6. Képesség mennyiségi adatokból kvalitatív információk kinyerésére.
S7. Képesség a problémák matematikai és szimbolikus formában történő megfogalmazására a problémák elemzése és megoldása céljából.





Tanári Kártya

S8. Képesség kísérleti és megfigyelési vizsgálatok tervezésére és az azokból származó adatok elemzésére.
S9. Képesség komplex optimalizálási és döntéshozatali problémák megfogalmazására és a problémák eredeti kontextusában a megoldások értelmezésére
A személyes, a szociális és a tanulás elsajátítására vonatkozó kompetencia
S1. Különböző tanulási módok alkalmazásának és tartós követésének képessége.
S3. Képesség a karriercélok eléréséhez szükséges folyamatok azonosítására, új ismeretek, készségek és képesítések megszerzésére.
Állampolgári kompetenciák
S3. Képesség a hatékony munkavégzésre és más csoporttagokkal való együttműködésre.
Vállalkozói kompetencia
S1. A helyi, nemzeti, európai kulturális örökség és a világban elfoglalt helyük tudatosulása.
S2. A kortárs kultúra alapvető ismerete.
S3. A kulturális sokszínűség megértése.
S4. Önállóság, motiváció és elszántság

Az Egyesült Nemzetek Fenntartható Fejlődési Céljai

A fenntartható fejlődési célok egy jobb és fenntarthatóbb jövő megvalósításának tervezetét jelentik mindenki számára. Azokkal a globális kihívásokkal foglalkoznak, amelyekkel szembesülünk, beleértve a szegénységet, egyenlőtlenséget, éghajlatváltozást, környezetkárosodást, a békét és az igazságosságot.

Tanári Kártya

		Enable access to basic services		Equal access to global expertise	
		Safe medical devices		Sustainable urbanization	
		Access to education		Responsible consumption and production	
		Less hardship, more opportunities		Strengthen resilience, reduce disaster impact	
		Safe and affordable water			Reduce marine pollution
		Energy — the golden thread			Sustainable use of terrestrial ecosystems
		Safety of workers and economic growth		Promote peaceful and inclusive societies	
		Resilient infrastructure and sustainable industrialization		Better access to technology and innovation	

Tartalom – Elméleti alapelvek

Számítások

a) A terhelési arány (L_N) az alkalmazott áramsűrűség és a nitrogénterhelés hányadosa. A terhelési arány nagymértékben meghatározza az elektrokémiai rendszer teljesítményét (ammónia-eltávolításra és energiafogyasztásra 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 $L_N < 1$, a vizsgált oldatban 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:

Tanári Kártya

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

Ahol, j az áramsűrűség (A/m^2), $C_{\text{TAN, influent}}$ 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?

A laboratóriumi eljárás

Ebben az eszköztárban a tanulók egy olyan módszerrel dolgoznak, ami az ammónia szennyvízből történő eltávolítását és visszanyerését teszi lehetővé. Az ammónia a vizeletünkből kerül a szennyvizekbe. Azért fontos az ammónia eltávolítása a szennyvízből, mert ha túl sok nitrogén kerül a felszíni vizeinkbe, az eutrofizációt okozhat.

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)

A szennyvíztisztító telepek által manapság használt módszerek, mint például az anaerob ammóniaoxidáció sok energiát igényelnek kerülnek. A Wetsus nevű holland kutatóintézetben az ammónia visszanyerését kutatják elektrokémiai rendszerek segítségével.

Az elektrokémiai rendszerben minden reakció egyedileg elektrokémiai, ami a rendszer működését egyszerűvé teszi. Ezenkívül az elektrokémiai rendszerek nagyobb áramsűrűséget tesznek lehetővé, mint a bio-elektrokémiai rendszerek, és extrém pH-értéken működnek. Az ammónia kinyerésére a rekeszeket (anód, betáplálás, koncentrátum és katód) tartalmazó elektrokémiai rendszerek használhatók.

Ebben az eszköztárban a hallgatók először megépítik az elektrokémiai rendszert és elkészítik az oldatokat (1. modul). Ezután elvégzik a kísérletet, amelyben az ammóniát koncentrálják és titrálással elemzik a koncentráció növekedését (2. modul). A Wetsus kutatóintézetben a tiszta ammóniát gázáteresztő membránnal nyerik vissza, ez azonban nem szerepel az eszköztárban.

1. Modul – Az ammónia-visszanyerő cella felépítése

Tanári Kártya

2. Modul – Ammónia visszanyerése és elemzése

A tanulási folyamat lépései

1. Modul: 1.nap: délelőtt

2. Modul: 1.+ 2. nap



Értékelés

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:

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

Ahol, j az áramsűrűség (A/m^2), $C_{\text{TAN, influent}}$ 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?
5. Vonjon le következtetéseket az eltérő sótartalmú és/vagy ammóniumkoncentrációval rendelkező szennyvíz felhasználásával kapcsolatban. Vitassák meg a nagyobb vagy kisebb áramerősség használatának hatását.

A Tanulói kártyák leírása

Az eszköztárhoz kapcsolódó tanulói kártyák listája:

1. Tanulói Kártya – Az ammónia-visszanyerő cella felépítése
2. Tanulói Kártya – Ammónia visszanyerése és elemzése
1. sz Függelék - Háttérinformáció

Tanári Kártya

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>

Rodríguez 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.