

## Valós idejű talaj ammónia gáz monitoringja IoT technológiával

<sup>1</sup>NYÉKI ANIKÓ - <sup>1</sup>KOVÁCS ATTILA JÓZSEF - <sup>1</sup>NEMÉNYI MIKLÓS -

<sup>2</sup>GOMBKÖTŐ NÓRA

Széchenyi István Egyetem AKMK

<sup>1</sup>Biológiai Rendszerek és Precíziós Technológiai Tanszék, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>Agrárökonómiai Tanszék, Mosonmagyaróvár

### Összefoglalás

Napjainkban a környezeti monitoring egyre nagyobb hangsúlyt kap a szántóföldi növénytermesztésben az időjárás, a fenntartható tápanyag- és vízgazdálkodás fontossága miatt. A tanulmány egy új, innovatív, vezeték nélküli adatkapcsolaton és továbbításon alapuló technológiát és annak eredményeit mutatja be a talaj ammónia emissziójának megfigyelésére Internet of Things (IoT) technológia segítségével a környezeti jellemzők mérése alapján egy gyakorlati módszer lehet a jövőben. Ez a monitorozó rendszer a fenntartható és környezetbarát növénytermesztésben. Az alkalmazott szenzorok biztosítják a talaj ammónia emissziójának nyomon követését, mely módszer gyors és pontos monitorozást biztosít. Az eredmények periodikus tendenciát mutatnak az  $\text{NH}_3$  fluxusokban, magasabb mennyiségekkel a tavaszi (melegebb) időszakokban a nitrogéntrágyázás után. A többváltozós lineáris regressziós vizsgálatok eredményei alapján a talajnedvesség, hőmérséklet, páratartalom és légnyomás szignifikánsan befolyásolják az  $\text{NH}_3$  kibocsátást.

**Kulcsszavak:** Internet of Things technológia, valós idejű monitorozás, intelligens szenzorok, talaj ammónia emisszió

## Real-time soil ammonia gas monitoring with IoT technology

<sup>1</sup>A. NYÉKI - <sup>1</sup>A. J. KOVÁCS - <sup>1</sup>M. NEMÉNYI - <sup>2</sup>N. GOMBKÖTŐ

Széchenyi István University AKMF

<sup>1</sup>Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>Department of Agricultural Economics, Mosonmagyaróvár

### Summary

Today, environmental monitoring is increasingly important in arable crop production due to the importance of weather, sustainable nutrient and water management. This paper presents a new innovative technology based on wireless data link and transmission and its results for monitoring soil ammonia emissions using Internet of Things (IoT) technology based on the measurement of environmental characteristics could be a practical method in the future. It is a monitoring system for sustainable and environmentally friendly crop production. The sensors used will ensure the monitoring of soil ammonia emissions, a method that provides fast and accurate monitoring. The results show a periodic trend in  $\text{NH}_3$  fluxes, with higher amounts in the spring (warmer) periods after nitrogen fertilisation. Results of multivariate linear regression analyses indicate that soil moisture, temperature, humidity and air pressure significantly influence  $\text{NH}_3$  emissions.

**Keywords:** Internet of Things technology, real-time monitoring, smart sensors, soil ammonia emissions

### Bevezetés

A legújabb kutatások szerint, amelyek az EASAC (European Academies' Science Advisory Council) tanulmányának közzététele óta jelentek meg megfelelő eredményeket mutatnak az élelmiszerlánc mentén történő üvegházhatású gázok (GHG) kibocsátásával kapcsolatban. 1990 és 2019 között a globális élelmiszerlánc kibocsátásának részesedése a teljes GHG

kibocsátásban 40%-ról 31%-ra csökkent, míg az EU-ban ez az arány 23%-ról 31%-ra nőtt az összes EU-s kibocsátás arányában (*Net1*). Az EU mezőgazdasági politikájának jelenlegi célja a mezőgazdasági ágazat versenyképességének fokozása és az innováció előmozdítása, mely elsősorban a precíziós mezőgazdasággal és a digitalizációval a környezetvédelemhez való hozzájárulást támogatja (*Srbínovska et al. 2015*). Az ammónia kibocsátás csökkentése érdekében különböző nemzeti és európai irányelvek vannak érvényben (pl. Az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottsága, 2015), amelyek tartalmazzák az NH<sub>3</sub> veszteségek mérséklését célzó gyakorlatokat a mezőgazdasági termelés során. Így a GHG gázok intenzíven művelt mezőgazdasági területekről történő mérésére és nyomon követésére nagy figyelmet kell fordítani a közeljövőben is.

A magas ammóniaszintek a légkörben főként a növénytermesztés nagy mennyiségű műtrágya felhasználásának köszönhetőek. Ugyanakkor a nitrogén-felhasználás hatékonysága alacsony, ami növeli a mezőgazdaság költségeit és gátolja a fenntartható fejlődést. Az ammónia lerakódása a talajban és a vízfelszíneken továbbá hozzájárulhatnak a talajsavanyodáshoz és az eutrofizációhoz, ami gazdasági és környezeti káros hatásokat okoz (*Shah et al. 2006*). A környezeti tényezők, mint például a hőmérséklet, szélsébség és talajvíztartalom meghatározó tényezők az NH<sub>3</sub> veszteség mértékében (*Hargrove 1988*). Az NH<sub>3</sub> koncentrációja a talaj felszínén napi változást mutat a fizikai-kémiai deszorpció és adszorpció folyamatok kombinációja révén, amelyek a környező felszíni nedvesség változásaival, valamint az NH<sub>3</sub> koncentrációjával a vegetáció tömegéhez kapcsolódnak (*Neftel et al. 1998*). A szántóföldi ammónia kibocsátás mérései bonyolultak, így az ammónia kibocsátásokra és fluxusokra vonatkozó adatok nagyrészt megbízhatatlanok (*Yang et al. 2019*).

A nitrogén-kijuttatás optimalizálása érdekében – különösen a precíziós növénytermesztésben – fontos megérteni a talaj ammónia kibocsátását (*Yang et al. 2019*). Bár a szokásos monitorozási folyamat manuális mérésekre támaszkodik és a gázérzékelők nagy kihívásokkal néznek szembe a mezőgazdasági környezet összetettsége miatt (*Li et al. 2020*). *Meade et al. (2011)* mikrometeorológiai technikát és mérési elveket javasol az ammónia kibocsátásának mérésére. *Kruit et al. (2007)* egy nagy pontosságú mérési módszert írt le alacsony kimutatási határral és nagy pontossággal, azonban a statikus kamrás monitoring módszerek és hordozható eszközök mérései időigényesek,

korlátozott alkalmazási lehetőségekkel rendelkeznek a szántóföldön, emellett magasabb költségekkel bírnak, a módszer másik korlátozó tényezője az adatgyűjtés időbeli felbontása és az adatok kiértékelése. Emellett ezek a talajkibocsátási fluxusok nagy időbeli változást mutatnak a meteorológiai, klimatikus és agrotechnológiai feltételek miatt (Laville et al. 2011). Az automatikus észlelő berendezések használata kívánatosabb hosszú távú terepi kísérletek során (Minardi et al. 2022). Többek között ezen okból is kezdték el használni az Internet of Things (IoT) vezeték nélküli szenzortechnológiát, mely azonnal, a mérési időpontban közvetíti a felhasználónak a valós idejű adatokat akár több kilométeres távolságról arra a területre, ahol az információk megjeleníthetők, lehetővé téve a fenntartható mezőgazdaság jobb tervezését és irányítását (Lin et al. 2019), illetve a beavatkozási idő csökkentését az észlelések után. A valós idejű szenzoradatok elemzését és a döntéshozatal támogatását gyakran manuálisan végzik, de az automatizálás lehetővé teszi a nagyobb skálázhatóságot is (Bandi et al. 2017), mely elsősorban területi lefedettséget jelent.

Mindezek a tanulmányok kapcsolódnak munkánkhoz és az Internet of Things alkalmazásához a mezőgazdasági területeken végzett környezetvédelmi monitoringban. Kutatásunk célja egy pontos, valós idejű és megvalósítható módszertan és érzékelési technológia bemutatása az ammónia emissziójának nyomon követésére.

### Anyag és módszer

Az ammónia kibocsátás mérése félvezető gázérezkelővel (szenzorral) történt a Széchenyi István Egyetem Tangazdaságának 23 ha-os szántóföldi tábláján. Ebben a kutatásban az adatgyűjtési módszert 10-15 perces időközönként végeztük a vizsgált három év során LoraWan vezeték nélküli adatátviteli technológia segítségével. A napelemmel ellátott szenzorállomást a vetés után ugyanazon a GPS-alapú helyen telepítettük (E: 515661.851;N: 286243.586) a talajfelszín felett 30 cm-rel, majd betakarítás előtt eltávolítottuk a kultúrából. Kalibrált félvezető gázszenzor szondákat használtunk, amelyek nagyon alacsony energiafogyasztással (kevesebb, mint 1 mA) és alacsony mérési hibával (>1-0,5%) (Net2) rendelkeznek (1. ábra). Az ammónia gázérezkelő mérési tartománya 0-100 ppm (Net3) 0,135±0,035 µA/ppm érzékenységgel bír.

1. ábra. Az ammónia és szén-dioxid szenzor őszi búza kultúrában elhelyezve



Figure 1. Ammonia and carbon dioxide sensor placed in a winter wheat crop

A talajgáz kibocsátással párhuzamosan a talaj hőmérsékletét és nedvességtartalmát, a levegő hőmérsékletét, páratartalmát és nyomásértékeit is mértük, melyekhez egy komplex ún. BME280 (Bosch Sensortec) digitális hőmérséklet-, páratartalom- és nyomásérzékelő szenzort alkalmaztunk. Ezentúl a szántóföldi táblára kihelyezett mikrometeorológiai állomás szolgáltatja a szélességre, talajnedvességre és hőmérsékletre vonatkozó adatokat különböző mélységekben (20 cm, 40 cm, 60 cm és 80 cm).

A vizsgálat három különböző évjáratban történt, melyek a 2019/2020-as, a 2020/2021-es, valamint a 2021/2022-es gazdálkodási időszakot ölelték fel, és őszi kalászos gabonák, őszi búza és őszi árpa termesztésére irányultak. Az első évben, 2019/2020-ban, az őszi búza vetése 2019. október 25-én történt meg. Ezt követően a 2020/2021-es évben az őszi árpát 2020. október 11-én vetettük el. A harmadik évben, 2021/2022-ben, az őszi búza vetése 2021. október 10–11-én zajlott le. A nitrogén műtrágya kijuttatása a 2019/2020-as évben 2020. február 22-én került sor, ekkor 56 kg/ha mennyiségű hatóanyagban. A 2020/2021-es évben a műtrágya kijuttatása először 2021.

február 24-én történt, 54 kg/ha dózisban, ezt követően további műtrágyázásra került sor 2021. április 9-én, ekkor 31 kg/ha mennyiségben. A 2021/2022-es évben az első nitrogén kijuttatás 2022. március 8-án történt 38 kg/ha mennyiségben és április 2-án újabb 35 kg/ha nitrogén műtrágyát kijuttatására került sor.

#### *Statisztikai elemzés*

A függő változó (NH<sub>3</sub>) és a független (magyarázó) változók (hőmérséklet, páratartalom és légnyomás) közötti kapcsolat értékelésére többváltozós lineáris regressziós módszert alkalmaztunk. Az értékelés során minden egyes esetben egy függő és egy független változó közötti kapcsolatot úgy határoztunk meg, hogy kiszűrtük a többi változó hatását annak érdekében, hogy a két vizsgált változó közötti kapcsolat kezelése elkülönítetten történjen. A két változó közötti függvényyszerű kapcsolat a következő képlettel írható fel:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \varepsilon$$

ahol: Y - függő változó (NH<sub>3</sub>),  $\beta_0$  - Y-tengelymetszet,  $\beta_1$  és  $\beta_2$  - regressziós együtthatók, (az Y változásának mértéke az X<sub>1</sub> és X<sub>2</sub> egy egységnyi változásának hatására),  $\beta_3$  - a független változók meredekségi együtthatója,  $\varepsilon$  - véletlen hiba.

A talajemissziós, valamint a mikrometeorológiai paramétereket felhasználva végeztünk korrelációs elemzést, lineáris regressziót, hogy megértsük az NH<sub>3</sub> koncentráció és a különböző környezeti tényezők közötti összefüggéseket.

### **Eredmények**

A talaj ammónia emissziója a három vizsgált fenológiai fázisát figyelembe véve őszi búza és őszi árpa kultúrákban havi átlagokban, éves szinten is nagy ingadozást mutat a szezonális trendeket értékelve. A 2. ábra a vizsgált időszakban mutatja be az értékeket, melyből egyértelműen feltűnik, hogy egy a talaj ammónia emissziójában egy emelkedő tendencia figyelhető meg. A szezonális elemzésnél pedig az évszakok, vegetációs fázisok dinamikája is

bemutakozik. A legmagasabb mért ammónia koncentráció 9,68 ppm volt a vizsgált időszakban, melyet 2022. november 25-én mértük.

2. ábra. Az ammónia emisszió koncentrációja a vizsgált időszakban

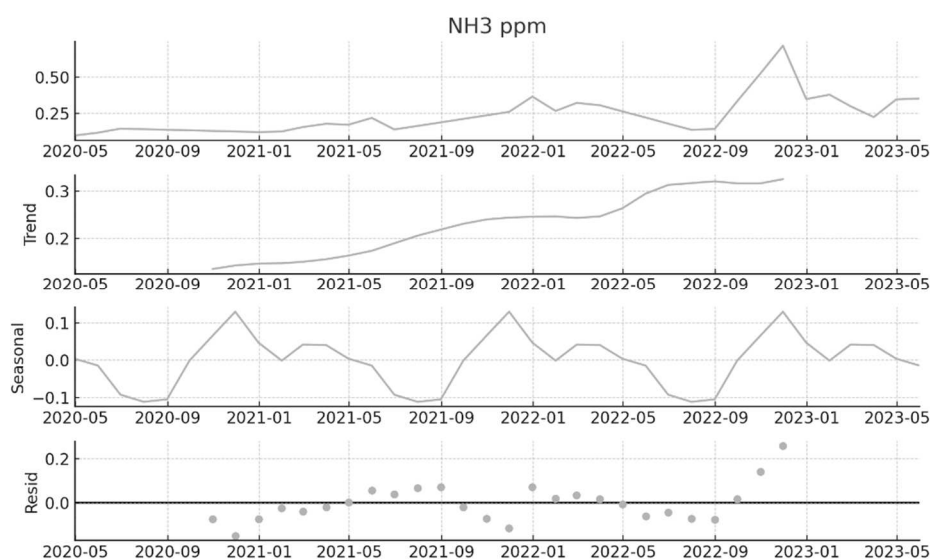


Figure 2. Concentrations of ammonia emissions during the examined period

A meteorológiai adatok elemzése ugyanakkor fontos szerepet játszik a környezeti változások megértésében és előrejelzésében. Az átlagos havi léghőmérséklet, relatív páratartalom, szélesség és  $\text{NH}_3$  koncentráció mérései alapján átfogó képet kaphatunk az időjárási mintázatokról és azok összefüggéseiről. Különösen fontos az  $\text{NH}_3$  koncentráció vizsgálata, mivel az ammónia jelenléte jelentős hatással van a levegő minőségére és az ökoszisztémákra. A vizsgált négy év (2020–2023), három vegetációs időszak napi meteorológiai adatain alapul, melyek a 10–15 perces intervallumos adatokból származnak. Az adatok közé tartoznak a léghőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ), relatív páratartalom (%), szélesség (m/s) és  $\text{NH}_3$  koncentráció (ppm). Az adatokat havi átlagokra bontva elemeztük az adatok terjedelme és nagysága miatt, majd hőterképeken ábráztuk az évek és a hónapok szerinti

bontásban, azonos színskálával (3. ábra). Az NH<sub>3</sub> koncentráció évszakonként változik, ami jelezheti a különböző évszakok hatását az ammónia szintjére.

3. ábra. A meteorológiai paraméterek és az ammónia emisszió hő térképe a vizsgált négy év havi átlagaiban

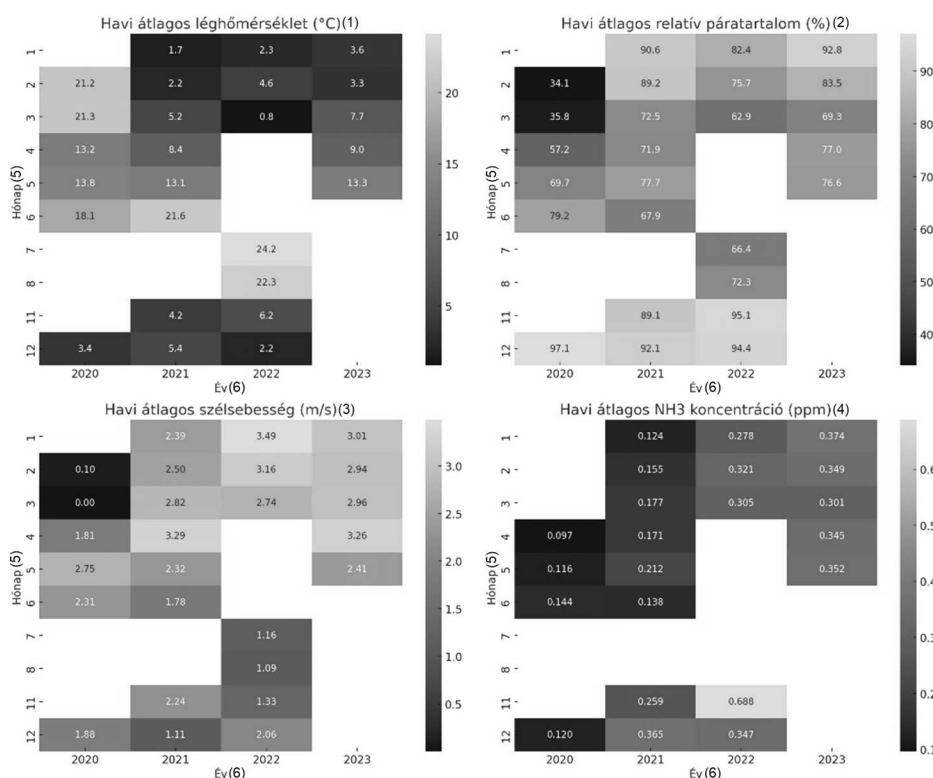


Figure 3. Thermal maps of meteorological parameters and ammonia emissions in monthly averages for the four examined years. (1) Monthly average air temperature (°C), (2) Monthly average relative humidity (%), (3) Monthly average wind speed (m/s), (4) Monthly average NH<sub>3</sub> concentration (ppm), (5) Months, (6) Years

Az ammónia koncentráció egyértelműen magasabb értékeket ér el a magasabb környezeti hőmérséklet mellett. Ugyanakkor a vizsgált időszakban megfigyelhető a téli hónapok között is magasabb átlagkoncentráció, például 2022 januárjában és februárjában, amikor az átlaghőmérséklet 3,6 °C és 7,7 °C volt, az

ammónia koncentráció is magas (0,374 és 0,349 ppm). Ezzel szemben alacsonyabb hőmérsékletű hónapokban, mint 2020 decemberében (3,4 °C), az NH<sub>3</sub> koncentráció is magas (0,170 ppm), ami arra utal, hogy nem mindig van közvetlen összefüggés a hőmérséklettel, ebben a hónapban viszonylag magas relatív páratartalom mellett (97,1%) mértünk ilyen koncentrációt. Az alacsony szélsébségű hónapokban, mint 2020 februárjában (2,39 m/s), az NH<sub>3</sub> koncentráció alacsonyabb (0,155 ppm), míg magasabb szélsébség mellett, mint például 2021 áprilisában (3,29 m/s), az NH<sub>3</sub> koncentráció is magasabb (0,171 ppm). 2020-ban az NH<sub>3</sub> koncentrációja viszonylag alacsony maradt az év nagy részében, de a nyári hónapokban enyhe emelkedés figyelhető meg. 2021-ben hasonlóan alacsony koncentrációk, azonban néhány hónapban, különösen júliusban és augusztusban, magasabb értékeket mértünk. 2022-ben, az év nagy részében alacsony NH<sub>3</sub> koncentrációk, de nyáron és kora ősszel ismét magasabb koncentrációkat mutat. A 2023-as év első felében alacsony koncentrációk, nyár végén és ősszel pedig magasabb értékeket mutat. Összességében megállapítható, hogy a talaj ammónia emissziójának emelkedése figyelhető meg minden évben, különösen júliusban és augusztusban. Az őszi ciklusokat figyelembe véve viszont vegyes mintázat figyelhető meg, az NH<sub>3</sub> koncentráció szeptemberben még magas, majd fokozatosan csökkent az év végéig. A december–februári időszakokat tekintve pedig elmondható, hogy alacsony koncentrációk jellemzik, kivéve néhány anomáliát, ami az időjárási körülmények változásával magyarázható.

Az ammónia koncentráció és a különböző paraméterek közötti korrelációt vizsgáltuk Pearson-korrelációs együtthatók segítségével (4. ábra). Az eredmények azt mutatják, hogy az átlagos páratartalom, a légnyomás, valamint a szélsébség és -irány valamelyest, gyenge pozitív összefüggésben áll az emisszióval. A talaj nedvességtartalmai a mért mélységekben (20 cm, 40 cm, 60 cm és 80 cm) gyenge, de pozitív korreláció figyelhető meg, míg más, a többi paraméterrel negatív, de ugyanakkor gyenge összefüggés fedezhető fel. A kapcsolat szignifikáns ( $p < 0,05$ ) valamennyi talajmélységben mért nedvességtartalommal, tehát a talajnedvesség egyértelműen befolyásolja a talaj ammónia emisszióját, és a mélyebb rétegek (40–80 cm) víztartalma is jelentős hatással van a mért koncentrációra.

4. ábra. Pearson korreláció eredményei az NH<sub>3</sub> és a mért paraméterek között

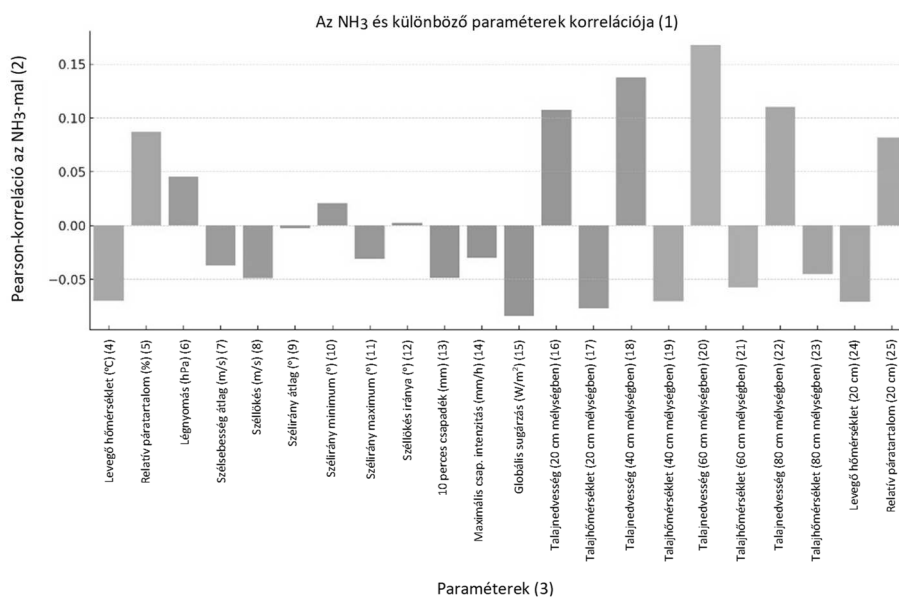


Figure 4. Pearson's correlation results between NH<sub>3</sub> and the measured parameters. (1) Correlation of NH<sub>3</sub> and the various parameters, (2) Pearson's correlation with NH<sub>3</sub>, (3) Parameters, (4) Air temperature (°C), (5) Relative humidity (%), (6) Air pressure (hPa), (7) Average wind speed (m/s), (8) Squall (m/s), (9) Average wind direction (°), (10) Minimum wind direction (°), (11) Maximum wind direction (°), (12) Squall direction (°), (13) 10-minute precipitation (mm), (14) Maximum precipitation intensity (mm/h), (15) Global radiation (W/m<sup>2</sup>), (16) Soil moisture (at 20 cm depth), (17) Soil temperature (at 20 cm depth), (18) Soil moisture (at 40 cm depth), (19) Soil temperature (at 40 cm depth), (20) Soil moisture (at 60 cm depth), (21) Soil temperature (at 60 cm depth), (22) Soil moisture (at 80 cm depth), (23) Soil temperature (at 80 cm depth) (24) Air temperature (20 cm), (25) Relative humidity (20 cm)

Az 1. táblázatban a három megfigyelt évre vonatkozó többváltozós lineáris regressziós vizsgálat eredményei láthatók. Mivel a p-érték mindhárom évben és valamennyi független változó (hőmérséklet, páratartalom és légnyomás) esetében alacsonyabb a szignifikancia szintnél ( $\alpha=0,05$ ), valamint a hibatényező is rendkívül alacsony, így elmondható, hogy az ammónia-kibocsátás, valamint a három független változó között szignifikáns és lineáris kapcsolat figyelhető meg, azaz a hőmérséklet, a páratartalom és a légnyomás szignifikánsan befolyásolja az NH<sub>3</sub> kibocsátást. A

levegő hőmérséklete és az ammónia koncentráció között negatív korreláció van (-0,58).

1. táblázat. *Többváltozós lineáris regresszió az ammónia kibocsátásra vonatkozóan*

NH <sub>3</sub>	Koefficiensek (1)	Standard hiba (2)	p-érték (3)
2020-21 (őszi búza) (4)			
NH <sub>3</sub>	0,3104	5,82×10 <sup>-2</sup>	1,00×10 <sup>-7</sup>
Hőmérséklet (7)	0,0009	7,13×10 <sup>-5</sup>	1,20×10 <sup>-33</sup>
Páratartalom (8)	0,0003	2,19×10 <sup>-5</sup>	3,76×10 <sup>-34</sup>
Légnyomás (9)	0,0000	5,71×10 <sup>-7</sup>	4,22×10 <sup>-9</sup>
2021-22 (őszi árpa) (5)			
NH <sub>3</sub>	-0,3339	3,72×10 <sup>-2</sup>	3,36×10 <sup>-19</sup>
Hőmérséklet (7)	0,0004	5,06×10 <sup>-5</sup>	4,37×10 <sup>-13</sup>
Páratartalom (8)	0,0002	2,07×10 <sup>-5</sup>	1,19×10 <sup>-29</sup>
Légnyomás (9)	0,0000	3,67×10 <sup>-7</sup>	5,74×10 <sup>-21</sup>
2022-23 (őszi búza) (6)			
NH <sub>3</sub>	-0,6667	4,92×10 <sup>-2</sup>	1,53×10 <sup>-41</sup>
Hőmérséklet (7)	0,0039	5,75×10 <sup>-2</sup>	1,23×10 <sup>-33</sup>
Páratartalom (8)	0,0010	2,36×10 <sup>-2</sup>	1,23×10 <sup>-39</sup>
Légnyomás (9)	0,0000	4,82×10 <sup>-7</sup>	7,44×10 <sup>-52</sup>

*Table 1.* Multivariate linear regression for ammonia emissions. (1) Coefficients, (2) Standard error, (3) p value, (4) 2020–2021 (winter wheat), (5) 2021–2022 (winter barley), (6) 2022–2023 (winter wheat), (7) Temperature, (8) Humidity, (9) Air pressure

### Összegzés

Az időjárási körülmények, mint például a hőmérséklet és a szélirány, befolyásolhatják az NH<sub>3</sub> koncentrációkat. A nyári meleg és a csapadékos időszakok kedvezhetnek az ammónia feltáródásának és terjedésének. A talaj ammónia emissziójának real-time adatfeldolgozásához részletesebb szezonális elemzések szükségesek, hogy egyértelműbbek legyenek az évszakok hatása az NH<sub>3</sub> koncentrációra. További vizsgálatok szükségesek a talajnedvesség és az NH<sub>3</sub> koncentráció közötti kapcsolatról, mivel ezek mutatták a legmagasabb

pozitív és szignifikáns korrelációkat ( $p < 0,05$ ). Az adatok arra utalnak, hogy az ammónia koncentrációk nem kizárólag egyetlen meteorológiai tényezőtől függenek, hanem több tényező együttes hatására változnak, ami segíthet a talaj ammónia emissziójának pontosabb előrejelzésében és megértésében. Az IoT-érzékelőkkel végzett hároméves szántóföldi kísérletek alapján valós idejű ammónia koncentráció figyelést biztosítottunk a precíziós mezőgazdaság számára, amely a nitrogén trágyázás hatására 15%-os növekedést mutatott az őszi vetésű gabonák esetében.

### Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A kutatómunkát a „Precíziós Bio-Műszaki Kutatócsoport” végezte, amelyet a "Széchenyi István Egyetemért Alapítvány Kuratóriuma" támogatott.

### IRODALOM

- Bandi, R.-Swamy, S.-Raghav, S.*: 2017. A framework to improve crop yield in smart agriculture using IoT. *International Journal of Research in Science & Engineering*. 3. 1: 176–180.
- Hargrove, W. L.*: 1988. Evaluation of ammonia volatilization in the field. *J. Prod. Agric.* 1: 104–111.
- Kruit, R. J. W.-van Pul, W. A. J.-Otjes, R. P.-Hofschreuder, P.-Jacobs, A. F. G.-Holtslag, A. A. M.*: 2007. Ammonia fluxes and derived canopy compensation points over non-fertilized agricultural grassland in The Netherlands using the new gradient ammonia - high accuracy - monitor (GRAHAM). *Atmospheric Environment*. 41. 6: 1275–1287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.09.039>
- Laville, P.-Lehuger, S.-Loubet, B.-Chaumartin, F.-Cellier, P.*: 2011. Effect of management, climate and soil conditions on N<sub>2</sub>O and NO emissions from an arable crop rotation using high temporal resolution measurements. *Agric. For. Meteorol.* 151: 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.10.008>.

- Li, X.-Xu, J.-Jiang, Y.-He, Z.-Liu, B.-Xie, H.-Li, H.-Li, X.-Wang, Y.-Tai, H.: 2020. Toward agricultural ammonia volatilization monitoring: A flexible polyaniline/Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>Tx hybrid sensitive films based gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128144>
- Lin, N.-Wang, X.-Zhang, Y.-Hu, X.-Ruan, J.: 2020. Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*. 277: 124119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124119>
- Meade, G.-Pierce, K.-O'Doherty, J. V.-Mueller, C.-Lanigan, G.-McCabe, T.: 2011. Ammonia and nitrous oxide emissions following land application of high and low nitrogen pig manures to winter wheat at three growth stages. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140: 208-217.
- Minardi, I.-Tezza, L.-Pitacco, A.-Valenti, L.-Coppo, L.-Ghiglieno, I.: 2022. Evaluation of nitrous oxide emissions from vineyard soil: Effect of organic fertilization and tillage. *Journal of Cleaner Production*. 380: 134557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134557>
- Neftel, A.-Blatter, A.-Gut, A.-Högger, D.-Meixner, F.-Ammann, C.-Nathaus, F. J.: 1998. NH<sub>3</sub> soil and soil surface gas measurements in a triticale wheat field. *Net1: Regenerative agriculture in Europe 2022. A critical analysis of contributions to European Union Farm to Fork and Biodiversity Strategies. EASAC policy report 44.* ISBN: 978-3-8047-4372-4. [https://easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Regenerative\\_Agriculture/EASAC\\_RegAgri\\_Web\\_290422.pdf](https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Regenerative_Agriculture/EASAC_RegAgri_Web_290422.pdf)
- Net2:* <https://www.libelium.com/>
- Net3:* [https://euro-gasman.com/media/wysiwyg/Gas\\_Sensors/SOLIDSENSE/4\\_NH3\\_100\\_1.pdf](https://euro-gasman.com/media/wysiwyg/Gas_Sensors/SOLIDSENSE/4_NH3_100_1.pdf)
- Shah, S. B.-Westerman, P. W.-Arogo, J.: 2006. Measuring ammonia concentrations and emissions from agricultural land and liquid surfaces: a review. *J. Atr. & Waste Manage. Assoc.* 56: 945-960.
- Srbínovská, M.-Gavrovski, C.-Dimcev, V.-Krkoleva, A.: 2015. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. *Journal of Cleaner Production*. 88: 297-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.036>
- United Nations Economic Commission for Europe (2015):* 2015. Framework code for good agricultural practice for reducing ammonia emissions. UNECE.
- Yang, Y.-Ni, X.-Liu, B.-Tao, L.-Yu, L.-Wang, Q.-Yang, Y.-Liu, J.-Wu, Y.: 2019. Measuring field ammonia emissions and canopy ammonia fluxes in agriculture using portable ammonia detector method. *Journal of Cleaner Production*. 216: 542-551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.109>

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Dr. Nyéki Anikó Éva – Dr. Kovács Attila József – Dr. Neményi Miklós  
Széchenyi István Egyetem AKMK  
Biológiai Rendszerek és Precíziós Technológiai Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Vár tér 2.  
9200  
\*nyeki.aniko@sze.hu

Dr. Gombkötő Nóra  
Széchenyi István Egyetem AKMK  
Agrárökonómiai Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Vár tér 2.  
9200