

**ROLE OF
ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN FOOD SAFETY** | **A MESTERSÉGES
INTELLIGENCIA SZEREPE AZ
ÉLELMISZERBIZTONSÁGBAN**REVOLY ANDRÁS¹ – TARR BENCE² - Dr. SZABÓ ISTVÁN³**Abstract**

The emergence of precision agriculture poses new safety challenges for farmers. The development of digital production systems requires the acquisition of IT tools, sensors, the establishment of telecommunication networks and the installation of complex database management and analysis software. These tools not only require investment, but also present producers with security challenges they have not had to face before. We have to be prepared to defend against attacks on traditional IT systems. To do this, farmers will need protection and security solutions that have not been used before. Nevertheless, modern technologies are the right answer to the growing challenges of productivity, food safety and food quality. Artificial intelligence can be an effective complementary tool.

Keywords

artificial intelligence, precision farming, food safety, vertical farms

Absztrakt

A precíziós mezőgazdaság megjelenése új biztonsági kihívások elé állítja a mezőgazdasági termelőket. A digitalizált termelési rendszerek kialakításához informatikai eszközök: érzékelők beszerzésére, távközlési hálózatok kiépítésére és összetett adatbázis-kezelő, valamint elemző szoftverek alkalmazására van szükség. Ezek az eszközök olyan biztonsági megoldásokat kívánnak a termelőktől, amelyekkel korábban nem kellett szembesülniük. Felkészültnek kell lenniük a hagyományos informatikai rendszereket érintő támadások elleni védelemre is. A mesterséges intelligencia hatékony kiegészítő eszköze a digitális termelési technikáknak tovább növelve a termelékenységét és javítva az élelmiszerbiztonságot.

Kulcsszavak

mesterséges intelligencia, precíziós mezőgazdaság, élelmiszer-biztonság, vertikális farm

¹ Revoly.Andras@uni-mate.hu | ORCID: 0009-0002-6468-1098 | Phd. student, Institute of Technical Sciences, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences | Phd. hallgató, MATE Műszaki Intézet

²Tarr.Bence.Gyula@uni-mate.hu | ORCID: 0009-0004-1790-9234 | Phd. student, Institute of Technical Sciences, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences | Phd. hallgató, MATE Műszaki Intézet

³Szabo.Istvan.prof@uni-mate.hu | ORCID: | Professor, Institute of Technical Sciences, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences | Professor, MATE Műszaki Intézet

BEVEZETÉS

A precíziós mezőgazdaság nem csak a modern kor követelménye, nem pusztán kényeszer melyet a technológiai fejlődés diktál. Hanem az egyik legjobb eszköz arra, hogy a mezőgazdasággal szemben támasztott, egyre növekvő igényeket fenntartható módon kielégítsük. A precíziós mezőgazdaság növeli a termelékenységet, javítja az erőforrások – például a növényvédő szerek, műtrágyák, víz, takarmány és munkaerő – hatékonyabb elosztását, stabilabb termelést biztosít, és csökkenti a mezőgazdasági termelés környezeti hatásait [1].

A precíziós mezőgazdaság megoldásai a piaci szereplőknél egyre nagyobb szerepet kap, alkalmazása folyamatosan bővül. Mára elmondhatjuk, hogy a piacon egyszerre van jelen a nagy és közepes gazdaságok modern, informatika-vezérelt termelési rendszere és a kisméretű gazdaságok hagyományos termelési módszerei.

Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete szerint az élelmezésbiztonság négy fő alapelve az élelmiszer elérhetősége, hozzáférhetősége, felhasználása és stabilitása.

A precíziós mezőgazdaság bevezetése új biztonságtechnikai feladatok megoldását teszi szükségessé, a precíziós technológiát alkalmazó mezőgazdasági szereplőknek.

Amíg tehát egyfelől a digitális megoldásokkal javítható, ez élelmiszer-biztonság, addig maguk a gazdaságok bizonyos értelemben sebezhetőbbé válnak. A modern digitalizált gazdaságok esetében megjelennek ugyanazok a biztonságtechnikai problémák, amelyekkel más technológiai vállalatok már korábban szembesültek. Az érzékelők és a szoftvervezérelt farmok korábban a biztonsági jellegű kihívások is az informatika területéről érkeznek.

Tekintsük át röviden az adatvezérelt precíziós mezőgazdaság biztonsági kihívásait [2]:

Adatvédelem: az adatokat azonosítással, hozzáférés szabályozásával kell védeni

- **Integritás:** az adatátvitel és -tárolás során nem sérülhetnek az adatok
- **Titkosság:** az adatokhoz nem férhet hozzá illetéktelen személy
- **Elérhetőség:** a döntéshez, vezérléshez szükséges adatoknak mindig elérhetőnek kell lenni
- **Megbízhatóság:** a dedikált felhasználók tökéletes biztonságú azonosítása

Ezek a legfontosabb elvárások a precíziós gazdálkodás során használt eszközök és megoldások biztonsága érdekében. Hardver oldalról a valós veszély a fizikai eszközök megsemmisítése vagy ellopása. De ide sorolhatjuk még az átviteli jelek zavarását, eltérítését is. A hálózatot a máshol is tapasztalható biztonsági veszélyek fenyegetik: túlterheléses támadás, botok használata, felhő-rendszerek ellen végzett támadás stb. És végül magát az „adatot” is lehet támadni: az adatszivárgás, és a zsarolóvírusok jelentik a fő kockázati tényezőket. A szoftverek is külön veszélyforrást jelenthetnek: frissítésekor, adatcsere esetén illetéktelen kód kerülhet a rendszerbe.

Láthatjuk, hogy ezeknek a veszélyeknek a kezelése klasszikus informatikai, mérnöki megközelítést igényelnek, és a mezőgazdaság területén korábban nem szükséges kompetenciák meglétét teszi szükségessé a gazdálkodóknál.

Miért éri meg mégis a precíziós mezőgazdaságra való áttérés? A precíziós mezőgazdaság végtermék szempontjából számos előnyt nyújt. Nem pusztán a hatékonyságot lehet növelni az új, digitális módszerek segítségével. Az élelmiszer-biztonság, az élelmiszerminőség javításában, valamint a vegyszerhasználat csökkentésében is sikeresen alkalmazhatóak a precíziós mezőgazdaság megoldásai.

TÉMA BEMUTATÁSA

Az élelmezésbiztonság

Az élelmezésbiztonság tágan értelmezve az élelmiszertermelés mennyiségének növelését és a termelés stabilitását jelenti. De az, hogy mindig mindenki elegendő táplálékhoz jusson több tényező is befolyásolja: a családok jövedelmi helyzete, az időjárás, világjárványok vagy a politikai és biztonsági környezet [3]. Az élelmiszertermelés és az élelmiszerelosztási rendszer komplexitása eredményezi, hogy az élelmiszertermelés szintjének növelése nem biztosítja az élelmiszer-stabilitást, és nem feltétlenül nyújtja a teljes lakosság számára az élelmiszer-biztonságot.

A technológiai fejlődés hatása az élelmezésbiztonságra

A mezőgazdaság eddig szerencsére nem követte Malthus népesedési elméletét (Thomas Malthus, 1766–1834), mivel az általános élelmiszertermelés lépést tartott a világ népességének növekedésével. A gazdaságok gépesítése, az egyre jobb és hatékonyabb mezőgazdasági termelési technológiák terjedése a termelékenység növekedéséhez és a szükséges munkaerő csökkenéséhez vezetett. A növényvédő szerek az 1900-as évek közepén kezdtek el elterjedni, ami lehetővé tette a termés gyomoktól, rovaroktól és betegségektől való fokozott védelmét. Ugyanebben a korszakban zajlott a zöld forradalom is: genetikai alapú szelekció a modern gazdálkodási gyakorlatokkal és egyre jobb műtrágyákkal párosulva jelentősen növelte a termelékenységet [4].

A precíziós mezőgazdaság szerepe

A termelékenység további növeléséért és a környezeti, energetikai terhelés további csökkentésére új módszerekre van szüksége az emberiségnek. Erre jelenthet megoldást a precíziós mezőgazdaság elterjedése.

Az adat alapú technológiák a termelés minden részterületén megjelennek. A genetikai szelekciótól, a farmok vezérlése, üzemeltetése, valamint a prediktív döntéshozatali technikák az elmúlt évtizedben megjelent új eszközök a mezőgazdaságban. A fejlődés nyilvánvaló az új technikákkal tovább nő a termelékenység, az erőforrások felhasználásának hatékonysága és nem utolsósorban javul az élelmiszer- biztonság is.

Cikkünkben két esetet tanulmányozunk részletesebben. A két esetleírás különböző területről származik, és mindkettő a mesterséges intelligencia szerepét mutatja be az élelmiszer-biztonság javításában.

MESTERSÉGES INTELLIGENCIÁVAL A JOBB TEJMINŐSÉGÉRT

Tőgygyulladás (mastitis) előrejelzése tejmintából

A tej szomatikus sejtjei (SCC) tejtermelő sejtek és immunsejtek keverékét jelentik. Ezek a sejtek a fejés során kiválasztódnak a tejbe, és az emlő egészségének és a tej minőségének becslésére szolgáló indexként használhatóak [5]. Az SCC index fő szerepe a fertőzések elleni küzdelem és a szöveti károsodások helyreállítása. Minden fejlett országban a tej szomatikus sejttségét (SCC) használják markerként a tejelő állományokban a tőgygyulladás gyakoriságának nyomon követésére.

Az SCC mennyiségére 100ml tejben az alábbi határértékeket adják meg:

- A 100 000 vagy annál kisebb SCC érték jelzi a „nem fertőzött” tehenet,
- a 200 000-es SCC azt jelzi, hogy a tehen nagy valószínűséggel fertőzött tőgygyuladással,
- míg a 300 000 vagy annál nagyobb SCC jelentős mennyiségű kórokozóval fertőzött tehenet jelent.

A szomatikus sejtszám szórása meglehetősen nagy, ezért a szakirodalomban általában az úgynevezett linearizált szomatikus sejtszámot használják (Dégen, Monostori). A logaritmikus szomatikus sejtszám (LogSCC) a szomatikus sejtszám transzformált mérése, amely a számot logaritmikus skálán fejezi ki. A LogSCC-t úgy számítják ki, hogy a szomatikus sejtszám logaritmusát veszik, majd megszorozzák 100-zal. Például egy 400 000 sejt/ml szomatikus sejtszám esetén a LogSCC 5,6 lenne. A LogSCC-t eszközként használják a szomatikus sejtszám szintjének összehasonlítására különböző tejminták, állományok vagy régiók között. A szomatikus sejtszám kifejezésére szolgáló módszer azért hasznos, mert felnagyítja a minták közötti különbségeket, és pontosabb statisztikai elemzést tesz lehetővé. A LogSCC-t a szomatikus sejtszám-csökkentő programok hatékonyságának értékelésére is használják a tejelő állományokba [5].

A szomatikus sejtszám becslésére, előrejelzésére számos matematikai, statisztikai megoldás létezik. Egyetemünkön egy olyan gépi tanuláson alapuló algoritmus kifejlesztésén dolgozunk, amely képes a szomatikus sejtek számának előrejelzésére a laboratóriumokban mért egyéb tejparaméterek alapján.

A logaritmikus SCC-t nem az eredeti 9, hanem 3 csoportra osztottuk. Mivel 3 csoport elegendő a mindennapi osztályozáshoz (nem fertőzött = 0; lehetséges fertőzés = 1, fertőzött = 2), a lineáris pontszámokból 3 SCC-kategóriát hoztunk létre.

Az adattisztításhoz először töröltük az összes nulla értéket és minden olyan rekordot, ahol hiányzó értéket találtunk. A szoftver Python programozási nyelven készült a Pandas és sickit-learn támogatásával. Nem volt szükség normalizálásra, mivel fa-alapú modelleket használtunk, amelyek sokkal robusztusabbak a kiugró értékekkel szemben, mint a lineáris modellek. A fa-alpú – amelyek jól használhatóak többosztályos osztályozásra – modell használatát az tette lehetővé, hogy a kimeneti változónk (linearizált SCC) 3 kategóriára volt osztva. Több, mint 15 kombinációt futtattunk a legjobb bementi paraméterek kiválasztásához.

Eredményünket az alábbi táblázatban közöljük:

| ML | LSCC=0 | LSCC=1 | LSCC=2 | átlag |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Extra Trees Classifier | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.88 |

1. Táblázat: A szomatikus sejtszámbeclés eredménye

További adatokra szükség van, de az előzetes eredmények alapján látható, hogy tudunk olyan algoritmust készíteni, ami akár 1–2 héttel előre jelezni tudja az SCC növekedését a tejben. Ezzel a fertőzésgyanús állat kiemelhető a többiek közül, kezelése időben

megkezdhető. Így kevesebb gyógyszer felhasználásával, biztonságosabb termelést és jobb tejminőséget tudunk biztosítani. Tehát ez a módszer, a meglévő adatok felhasználásával, a mesterséges intelligencia segítségével tovább növeli az élelmiszer-biztonságot, és könnyen a napi rutin részévé válhat.

VERTIKÁLIS FARMOK SZEREPE AZ ÉLELMISZERBIZTONSÁGBAN

A föld népessége növekvő ütemben emelkedik, és egyes előrejelzések szerint 2030-ra eléri a 8,5 milliárdot (UNNS, 2015). Az Egészségügyi Világszervezet (WHO, 2018) szerint az élelmiszertermelést 70%-kal kell növelni ahhoz, hogy 2050-re mintegy 10 milliárd ember élelmiszerigényét kielégítsük, amelyből körülbelül 6,5 milliárdan városi területeken fognak élni.

Ezért egyre nagyobb figyelem és érdeklődés kíséri a zárt növénytermesztési rendszereket, mivel itt alkalmazzák legrégebben precíziós technológiákat. A zárt növénytermesztési rendszerek, olyan modern mezőgazdasági megoldások, amelyekben a növényeket zárt térben, kontrollált körülmények között termesztik. Ezek az innovatív megoldások lehetővé teszik a termesztési folyamatok teljes ellenőrzését, amely nagyobb hatékonyságot, nagyobb terméshozamot és jobb minőséget eredményez.

A környezeti tényezőket, mint például a hőmérsékletet, a páratartalmat, a CO₂-koncentrációt, az öntözést és a megvilágítást úgy szabályozzák, hogy a növények optimális körülmények között fejlődjenek. A rendszerben működő érzékelők és automatizált vezérlők segítségével a növények pontosan azon a szinten kapnak tápanyagot és vizet, amelyek a legmegfelelőbbek a fejlődésük szempontjából.

A zárt növénytermesztési rendszerek lehetővé teszik a gazdálkodók számára, hogy élelmiszereket termeljenek olyan területeken, amelyek korábban nem voltak alkalmasak a termesztésre, például városi területeken vagy sivatagos területeken. A zárt növénytermesztési rendszerek az élelmiszer-biztonságot is növelik, mivel a termesztési folyamatok teljes mértékben ellenőrzöttek és biztonságosak.

Előnyei közé tartozik az éves termesztési ciklusok növelése: ez a zárt technológia lehetővé teszi a termelést az egész évben, a termesztési ciklusok rövidülnek, a hozam nő, valamint a víz és a műtrágya hatékonyan és biztonságosan van felhasználva. Az ilyen rendszerek a környezetbarát mezőgazdasági megoldások közé tartoznak, mivel a vízfogyasztás és a műtrágyahasználat a termesztett növények igényeihez igazodik, és így kevesebb hulladékot termelnek.

A zárt növénytermesztési rendszerek egyre népszerűbbek a világban, és az iparág egyre fejlettebbé válik az új technológiák és megoldások bevezetésével. Ezek a rendszerek nem csak a mezőgazdaságban jelentenek új lehetőségeket, hanem az élelmiszeripar egészében is új megközelítéseket, szemléletet hoznak.



1. Ábra: Zárt növénytermesztési rendszer,

Forrás: <https://vtx.vt.edu/articles/2019/02/ext-innovgreenhousefarming.html>

Vertikális farm

A városi mezőgazdaság (UA) területén egy viszonylag új koncepció, a vertikális gazdálkodás (VF) jelent meg. Ez is egy zárt növénytermesztési rendszer, csak itt a növények több emeleten (polcon) speciális táptalajon vagy oldatban növekednek. Ezzel a módszerrel egész évben egyenletes minőségű és növényvédőszer-mentes, tápláló élelmiszereket állíthatunk elő akár városi környezetben is. A VF a beltéri hidropónikus növénytermesztés gyakorlatát jelenti függőlegesen egymásra helyezett rétegekben vagy ferde felületeken. A zárt növénytermesztési rendszerek számos előnnyel rendelkeznek:

- **Térkihasználás:** A zárt növénytermesztési rendszerek és különösen a vertikális farmok hatékonyan használják ki a rendelkezésre álló területet. A vertikális farmok lehetővé teszik a növénytermesztést több emeleten, ezzel jelentősen növelve az egységnyi felületre jutó termelési kapacitást.
- **Környezeti tényezők:** A zárt rendszerek lehetővé teszik a környezeti tényezők, mint például a hőmérséklet, a páratartalom, a CO₂-koncentráció, a vízellátás és a megvilágítás szabályozását.
- **Energiafelhasználás:** A vertikális farmok energiaigénye is kedvezően alakul, mivel a növényeket több emeleten termesztik, és így a megvilágítás, hűtés és fűtés stb. működtetéséhez szükséges energia több növény számára biztosítható.
- **Tápanyag és vízfelhasználás:** Hatékonyan használják fel a tápanyagokat és a vizet a növények optimális fejlődése érdekében. A vertikális farmokban a növények azonos vagy hasonló mennyiségű tápanyagot és vizet kapnak, függetlenül attól, hogy melyik szinten helyezkednek el.

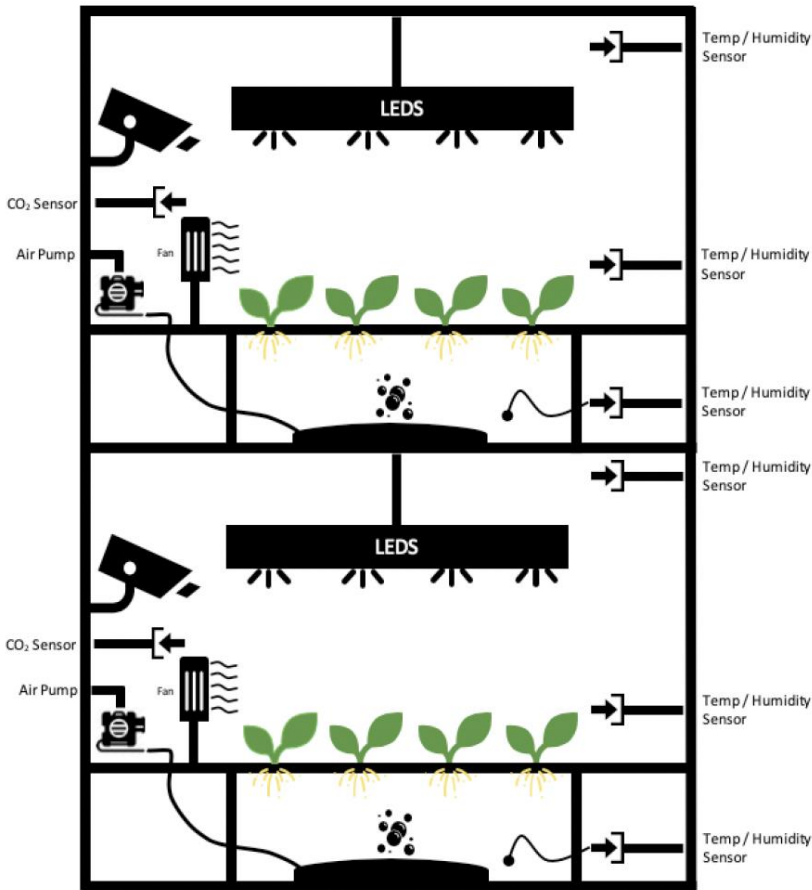
- **Költségek:** A zárt termesztési rendszerek általában magasabb termelési költségekkel járnak, mint a hagyományos mezőgazdasági termelés. A vertikális farmok magasabb beruházási költségeket igényelnek, mivel több épületet kell felépíteni, és a rendszer működtetésének nagyobb az energiaigénye. A vertikális farmok esetében kizárólag mesterséges megvilágítást alkalmaznak.
- **Élelmiszer-biztonság:** A teljesen kontrollált környezet miatt minimálisra csökkenthető a kártevők okozta fertőzések veszélye. A szándékos mérgezés vagy idegenek behatolása is kizárható a zárt rendszerű termesztési megoldások esetén. Ezért az élelmiszer-biztonság területén is a zártrendszerű technikák felelnek meg a legjobban a modern kor kihívásainak.



2. Ábra: Vertikális farm Szingapúrban,

Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_farming#/media/File:Sgverticalfarming1.png

Egy zárt, vertikális farm LED-fényekkel és a felügyelethez szükséges különböző IoT-eszközökkel kerül kialakításra. A rendszer irányítását egy képfeldolgozó algoritmus végzi. A mikrométerű vertikális gazdálkodás koncepcióját a következő 3. ábra szemlélteti.



3. ábra Mikroméretű vertikális gazdálkodás koncepciója [7]

Kísérleti vertikális farm üzemel a MATE gödöllői campusában. A VF szabályozott klimatikus körülmények között 12 sávos LED-es megvilágítási technikával, IoT eszközökkel, kamerákkal, automatikusan végzi az adatgyűjtést, a kamerák és IoT szenzorok adatai alapján gépi tanúlással adatalapú modellt állítunk fel az energiafelhasználás minimalizálására, a zöldtömeg maximalizálása mellett.

Kutatási célunk olyan mesterséges intelligencia alapú vezérlő rendszerek kialakítása, amely nem csak a vegyszer használatot minimalizálja (és ezáltal az élelmiszer minőséget növeli) hanem a termesztési költségeket is optimalizálja egyszerre. A mesterséges intelligencia alapú vezérlési programok kidolgozásával tovább növelhető a vertikális farmok termelékenysége és csökkenthető az energiafelhasználása.

ÖSSZEFOGLALÁS

A precíziós mezőgazdaság a technológiák és az elvek alkalmazása a mezőgazdasági termelés térbeli és időbeli változékonyságának kezelésére, a termés és a környezeti hatások minőségének javítása érdekében [8].

A precíziós gazdálkodás egy olyan modern mezőgazdasági megközelítés, amely lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy pontosan meghatározzák a termesztési folyamatok minden lépését. Ennek érdekében adatgyűjtést végeznek, és érzékelőket használnak a mezőgazdasági területeken, hogy mérjék az időjárási körülményeket, a talajminőséget, a növények egészségét és más fontos paramétereket.

A gyűjtött és feldolgozott adatok lehetővé teszik a gazdálkodók számára, hogy optimalizálják a farmjaik működést és maximalizálják a hozamot, minimális erőforrás felhasználás mellett.

A technológia további fejlődésével a precíziós gazdálkodás sem kerülheti el a nagy adatbázisok (Big Data) kezelését, használatát [9]. Napjainkban már annyi adat áll rendelkezésünkre, amelyeket hagyományos adatfeldolgozási módszerekkel nem is lehet érdemben feldolgozni. Az adatok feldolgozásában pedig elkerülhetetlen a mesterséges intelligencia (MI) használata. Az MI technológia használatával a nagy adathalmazokban olyan mintákat is észre tudunk venni, amit a hagyományos adatkezelési módszerekkel nem tudunk volna.

A precíziós technikák megjelenése az ehhez kapcsolódó eszközök, hálózatok és szoftverek alkalmazása a hagyományos mezőgazdasági technológiákban újfajta biztonságtechnikai kihívásokat jelentenek a gazdálkodóknak. A precíziós farmok biztonsági megoldásainál bátran támaszkodhatunk a digitális technikát régebb óta használó iparágak esetében már jól bevált megoldásokra. Bár az új technológia, új veszélyeket is rejt magában, az előnyei messze felül múlják a megjelenő új kockázati tényezőket. A historikus adatokra támaszkodó adatalapú predikciós, vagy vezérlő algoritmusok – melyre két példát is bemutatunk – jól illusztrálják a gépi tanulásban az élelmiszeripar számára rejlő komoly lehetőségeket.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Blackmore, B.S., Wheeler, P.N., Morris, J., Morris, R.M. and Jones, R.J.A. (1995). The Role of Precision Farming in Sustainable Agriculture: A European Perspective. In *Site-Specific Management for Agricultural Systems* (eds P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson). <https://doi.org/10.2134/1995.site-specificmanagement.c60>
- [2] Jensen, K.K., Sandøe, P. Food Safety and Ethics: The Interplay between Science and Values. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* **15**, 245–253 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1015726423707>
- [3] R. E. Evenson, D. Gollin, Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* **300**, 758–762 (2003). DOI: [10.1126/science.1078710](https://doi.org/10.1126/science.1078710)
- [4] C. Burvenich, et al.: Physiological and Genetic Factors That Influence the Cows Resistance to Mastitis, Especially during Early Lactation, Proceedings of the 5th IDF Mastitis Congress, Symposium on Immunology of Ruminant Mammary Gland (2000).
- [5] S. Dabdoub, G. Shook: Phenotypic relations among milk yield, somatic cell count and clinical mastitis, *Journal of Dairy Science* **67.1** (1984), pp. 163–164
- [6] De Oliveira, F. J., Ferson, S., & Dyer, R. (2021). A Collaborative Decision Support System Framework for Vertical Farming Business Developments. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*, **13**(1), 34–66. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.2021010103>

- [7] Siropyan, M.; Celikel, O.; Pinarer, O. (2022). “Artificial Intelligence Driven Vertical Farming Management System”. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2022, WCE 2022*, July 6 - 8, 2022, London, U.K.
- [8] Pierce F.J., Nowak P.: Aspects of precision agriculture (1999), pp. 1-85 *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 67
- [9] Wolfert, S.; Ge, L.; Verdouw, C.; Bogaardt, M.-J. Big data in smart farming—A review. *Agric. Syst.* 2017, 153, 69–80.