



Precíziós sertéstartási technológiák szerepe a fenntartható és versenyképes állattenyésztésben (Irodalmi áttekintés)

EGRI EDIT¹, TÓTH TAMÁS^{2*}, SZILI VIKTOR³

¹Széchenyi István Egyetem, Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi

Multidiszciplináris Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1347-514X>

²Széchenyi István Egyetem, Agrár-és Élelmiszeripari Kutató Központ, Győr

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³Agrárközgazdasági Intézet Nonprofit Kft., Agrárgazdasági Információs Rendszerek Osztály, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1614-2866>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.10.30.

Revised/Átdolgozva: 2025.11.30.

Accepted/Elfogadva: 2025.12.10.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A precíziós sertéstartási technológiák (Precision Livestock Farming, PLF) alkalmazása a hazai állattenyésztésben még korlátozott. A nemzetközi trendek ugyanakkor egyértelműen bizonyítják, hogy ezek a megoldások hozzájárulnak a fenntarthatóság, az állatjóllét és a termelés hatékonyságának javításához. Az áttekintés célja az volt, hogy szakirodalmi adatok alapján feltárja, hogy a precíziós technológiák miként járulnak hozzá a sertéstartás gazdasági és környezeti teljesítményének javításához, valamint mely tényezők befolyásolják a bevezetésük sikerét. A szakirodalmi források elemzése rámutatott, hogy a szenzoros adatgyűjtés, az automatizált takarmányozás és a viselkedésmonitorozás kulcsfontosságú szerepet játszik a termelés optimalizálásában és az állatjólléti szempontok erősítésében. Ugyanakkor a technológiák elterjedését akadályozzák a magas beruházási költségek, a gazdálkodók digitális kompetenciájának hiánya és az adatkezeléssel kapcsolatos bizonytalanságok. A kutatások egyértelműen alátámasztják, hogy a PLF sikeres alkalmazásához nem csupán technológiai fejlesztés, hanem szemléletváltás, célzott oktatás és tudásátadás is szükséges. A jövő kihívása az adatalapú döntéshozatal integrálása a napi gyakorlatba, ami hosszú távon versenyképesebb és környezetkímélőbb termelést eredményezhet Magyarországon is.

Kulcsszavak: precíziós állattartás (PLF), sertéstartás digitalizációja, állatjóllét és fenntarthatóság, IoT és szenzortechnológia, takarmányozás optimalizálás



1. BEVEZETÉS

A mezőgazdaság digitalizációja egyre nagyobb szerepet kap az állattartásban, különösen a nagyüzemi telepeken, ahol a technológiai fejlesztések új lehetőségeket kínálnak. A digitalizáció hatékonyabbá és fenntarthatóbbá teheti a termelés irányítását, ugyanakkor szemléletváltást is igényel: a döntéseknek egyre inkább valós idejű adatokra kell épülniük. Mindez új készségeket, adatelemzési ismereteket és technológiai jártasságot követel meg a termelőktől.

A modernizációval párhuzamosan egyre több szakirodalmi munka foglalkozik a Mezőgazdaság 4.0 és a precíziós állattartás (Precision Livestock Farming, PLF) koncepciójával. Ezek a munkák az adatgyűjtés és -feldolgozás módszereit, az infokommunikációs megoldásokat, a döntéstámogató rendszereket és a robotizáció lehetőségeit elemzik. Kiemelt szerepet kapnak a szenzorok, IoT-eszközök, mesterséges intelligencián alapuló modellek és gépi tanulási algoritmusok, amelyek a termelési folyamatok optimalizálását szolgálják.

A sertéstartásban az állatok viselkedésének, egészségi állapotának és termelési mutatóinak nyomon követésére ma már kifejezetten a sertéstartásban validált és bevált technikai megoldások állnak rendelkezésre. Ezek alkalmasak a takarmány- és vízfogyasztás monitorozására, testtömegváltozások követésére, a napi aktivitás és viselkedési mintázatok rögzítésére, hangalapú viselkedés- vagy egészségügyi eltérések detektálására, valamint testhőmérséklet-mérésre. A rendszerek nemcsak az állatok egyedi azonosítását, hanem azok pontos térbeli nyomon követését is lehetővé teszik. A technológiai eszközök skálája széles: a gyakorlatban alkalmazott megoldások közé tartoznak a rádiófrekvenciás azonosítók (RFID), a kétdimenziós és háromdimenziós kamerarendszerek, hőkamerák, gyorsulásmérők, mikrofonok, tömegmérő szenzorok, víz- és takarmányáramlás-mérők, valamint GPS-alapú helymeghatározó rendszerek. Ezen eszközök kombinált alkalmazásával a sertéstartók átfogó képet nyerhetnek az állomány állapotáról, lehetővé téve a gyors beavatkozást és a döntéshozatal hatékonyságának növelését (Gómez et al., 2021).

A PLF-technológiák hatékony működéséhez elengedhetetlen egy jól kiépített informatikai háttér, amely biztosítja az adatgyűjtés, -tárolás és -feldolgozás zavartalan működését. Az állomány folyamatos, 24 órás megfigyelése lehetőséget nyújt az állatokat érintő problémák korai felismerésére. Az érzékelőkkel és szenzorokkal gyűjtött adatok elemzése alapján a sertéstartók időben tudnak beavatkozni, ami elősegíti az állatjólléti szempontok érvényesülését, hozzájárul a sertések egészségének megőrzéséhez, a takarmányozás optimalizálásához, valamint a gazdasági veszteségek csökkentéséhez, legyenek azok közvetlen pénzügyi- vagy más típusú, nehezebben számszerűsíthető veszteségek (Wang et al., 2022; Tzanidakis et al., 2021).

A precíziós állattartási rendszerek négy fő, egymással szorosan összekapcsolódó technológiai egységből állnak. Az első egységet az IoT-komponens alkotja, amely magában foglalja az adatgyűjtésre szolgáló érzékelőket, a környezeti feltételeket monitorozó és irányító eszközöket, valamint a hálózati adatátviteli rendszereket. A második egység az adatkezelésé: ebbe tartozik az adatok begyűjtése, előfeldolgozása, tárolása, valamint a rendszerhibák automatikus észlelésére szolgáló funkciók. A harmadik – elemző és döntéstámogató – egység mesterséges intelligenciára épül, és olyan funkciókat lát el, mint az állategészségügyi és állatjólléti állapotértékelés, betegségfelismerés, környezetmenedzsment, takarmányozási és termelési folyamatok optimalizálása, valamint a menedzsmentdöntések támogatása. Végül a negyedik, vizualizációs egység felel az összegyűjtött és feldolgozott információk megjelenítéséért, a felhasználóbarát visszacsatolásért (Wang et al., 2022).



A precíziós állattartási rendszerek elsődleges célkitűzése, hogy lehetővé tegyék a gazdaságilag hatékony, ugyanakkor releváns és megbízható adatgyűjtést az állattartás szempontjából kulcsfontosságú paramétereiről, mint például a növekedés dinamikája, a takarmányhasznosítás hatékonysága, valamint az állattartó létesítmények mikroklimatikus viszonyai. Az így nyert adatok alapjául szolgálhatnak a termelési folyamatok optimalizált, valós idejű szabályozásának és irányításának. A PLF-technológiák olyan mérési és adatfeldolgozási megoldásokat integrálnak, amelyek képesek a rendszer szempontjából kritikus tényezők – például az erőforrás-felhasználás hatékonysága, az állatok teljesítménye – folyamatos monitorozására. E rendszerek nemcsak az érzékelők révén végzett adatgyűjtést teszik lehetővé, hanem fejlett szoftveres megoldásokat is alkalmaznak az adatok értelmezésére és kiértékelésére. A cél az erőforrásokkal való hatékony gazdálkodás és az állatok termelési potenciáljának maximális kihasználása, miközben a termelési folyamatok stabilitása és fenntarthatósága is biztosított (Banhazi és Black, 2009; Banhazi et al., 2012a; Banhazi et al., 2012b).

2. AZ EGYEDI AZONOSÍTÁS ÉS TAKARMÁNYOZÁS JELENTŐSÉGE

A PLF-rendszerek alapvető pillérét képezi az egyedek azonosítását és nyomon követését lehetővé tevő elektronikus jelölés. Ez a technológia lehetővé teszi az állatok mozgásának és viselkedésének folyamatos, megbízható monitorozását különféle érzékelőkkel és leolvasóeszközökkel – például automata etetőknél vagy itatóknál –, így pontos adatok nyerhetők az állomány egyedeiről (Tóth és Halas, 2016).

Az egyedi elektronikus azonosítók – például a rádiófrekvenciás transzponderek – kulcsszerepet játszanak az adatalapú döntéshozatalban, hiszen lehetővé teszik az egyedszintű adatgyűjtést, ami a precíziós technológiák alkalmazásának alapfeltétele. Az RFID-jeladók pontosak, de a kis- és közepes méretű gazdaságok számára nem megfizethetők (Arulmozhi et al., 2021). A rádiófrekvenciás azonosítás hatékonyságát vizsgálta egy 2009-ben végzett kísérlet, amelyben választott malacok esetében tesztelték a passzív nagyfrekvenciás RFID-transzponderek működését (Reiners et al., 2009). A kutatás azt elemezte, hogy több transzponder egyidejű jeladása mellett mekkora az azonosítás pontossága. Az eredmények azt mutatták, hogy az eszközök magas, átlagosan 97,3%-os megbízhatósággal voltak képesek az egyedek azonosítására, ami alátámasztja az RFID-technológia gyakorlati alkalmazhatóságát a sertéstartásban is. Az ilyen típusú azonosítás nemcsak a termelés hatékonyságának növeléséhez járul hozzá, hanem az állatjóllét és a nyomonkövethetőség szempontjából is elengedhetetlen.

Az RFID-azonosítók nem csak zárt tartásban alkalmazhatók sikeresen az egyedek megfigyelésére, adatok gyűjtésére. Szabad tartású mangalica tenyészkocákkal végzett kísérlet alapján Alexy et al. (2024) megállapították, hogy az RFID-jeladóval ellátott állatoktól megbízhatóan lehet egyedi adatokat gyűjteni és azokat továbbítani egy adatfeldolgozást végző szerverre.

Az állattartás elválaszthatatlan része az állatok jóllétének és védelmének szabályozott biztosítása. Az állatvédelmi előírások értelmében a csoportosan tartott kocasüldők és kocák takarmányozásánál minden egyed számára biztosítani kell az elegendő takarmányhoz való hozzáférést, még kompetitív környezetben is (Nemzeti Jogszabálytár, 2023). Különösen a vemhes kocák csoportos tartása esetén előnyös az egyedi, elektronikus takarmányozási rendszerek alkalmazása, mivel ezek lehetővé teszik, hogy a táplálékanyag-ellátás az állatok genetikai háttere és vemhességi állapota alapján történjen. E technológiák hozzájárulnak a társas viselkedésből eredő stressz csökkentéséhez, mert biztosítják az akadálytalan hozzáférést a szükséges takarmányhoz a rangsor végén álló egyedeknek is (Halas,



2019). Az elektronikus egyedi etetőrendszerek több típusa ismert, amelyek alkalmazása számos előnyt kínál a modern állattartásban. Van olyan etetőkészülék, amelynél az állatok bejutása az etetőállásba csak akkor engedélyezett, ha az adott egyed számára jár a takarmányadag. A mozgásérzékelőkkel felszerelt rendszerek a bejárati ajtók automatikus zárását is lehetővé teszik, megelőzve ezzel, hogy más állatok megzavarják a takarmányfelvételt. Egyes típusok vályú nélküli kivitelűek, amelyek megszüntetik a takarmány-maradékokból eredő pazarlást. A rendszerek kulcseleme az egyedi azonosítás, ami a belépési ponton, például az etetőállásnál vagy az ahhoz vezető folyosón működik, és lehetővé teszi az állatok pontos és megbízható azonosítását.

A takarmányozás precíz szabályozásához elengedhetetlenek azok a technológiai eszközök, amelyek lehetővé teszik az állatok egyedi szintű takarmányadagolását, a táplálékfelvételhez kapcsolódó viselkedés nyomon követését, valamint az etetés időtartamának mérését. Ezek az eszközök gyakran képesek a testtömeg-változások folyamatos követésére is, így az összegyűjtött paraméterek komplex elemzésével megbízható képet alkothatunk az állatok teljesítményéről. Jiao et al. (2016) hangsúlyozzák, hogy az egyedileg mért takarmányfelvétel pontos dokumentálása kulcsszerepet játszik a táplálóanyag-hasznosítás optimalizálásában, amely hosszú távon hozzájárul a sertéstartás hatékonyságának növeléséhez. A takarmányfogyasztási mintázatban bekövetkező eltérések nem csupán termelési mutatók változását jelzik, hanem potenciálisan állatjóléti vagy egészségügyi problémákra is utalhatnak. Az automatikus adatgyűjtés révén lehetővé válik a viselkedési anomáliák korai észlelése, ami segíti az időben történő beavatkozást. A precíziós állattenyésztési rendszerek kulcsfontosságú információkkal szolgálnak arról, hogy a sertések mennyi takarmányt fogyasztanak adagonként és naponta (Burns és Spajić, 2024). A szerzők javasolják az egyedi takarmányozást annak érdekében, hogy a termelés minden szakaszában a sertések optimális takarmányozása megvalósuljon. Maselyne et al. (2014; 2016) nagyfrekvenciás rádiófrekvenciás azonosításon (HF RFID) alapuló rendszert alkalmaztak a növendék sertések takarmányozási szokásainak vizsgálatára. Eredményeik alapján a technológia kiválóan alkalmas a takarmányfelvétel folyamatos és pontos rögzítésére, továbbá képes azonosítani az egyes egyedeknél jelentkező, viselkedésbeli vagy egészségügyi változásokra utaló mintázatokat. A precíziós takarmányozási rendszerek így nemcsak a gazdasági hatékonyságot növelik, hanem közvetve az állatok jóllétéhez és egészségi állapotuk megőrzéséhez is hozzájárulnak.

A korszerű etetőberendezések lehetővé teszik többek között az egyedek etetési idejének mérését, az etetőlátogatások gyakoriságának nyomon követését, valamint a takarmányfelvételi szokások pontos feltérképezését. Egy különböző fajtájú hízósertéseken végzett vizsgálatban Fernández et al. (2011) megállapították, hogy az eltérő genotípusú állatok jelentősen különböznek takarmányfelvételi viselkedésükben: míg a landrace és nagy fehér fajták gyors takarmányfelvétellel jellemezhetők, addig a pietrain és duroc sertések lassabb ütemben fogyasztanak. Ezek a különbségek hatással vannak a termelési mutatókra is. Garrido-Izard et al. (2019) kutatásukban a sertések takarmányfelvételéhez kapcsolódó viselkedését az etetőállomások által gyűjtött adatok alapján értékelték, és szignifikáns összefüggést találtak az etető felkeresésének gyakorisága, az elfogyasztott takarmány mennyisége és az etetőnél töltött idő között. Ennek alapján a sertéseket lassan vagy gyorsan evő csoportokba sorolták.

Gaillard et al. (2020) kiemelik, hogy a táplálóanyagszükséglet időben változó, és az egyedek fejlődési stádiumától függ, ezért a hatékony takarmányhasznosításhoz a takarmányadagok napi, egyedre szabott igazítása szükséges. A precíziós takarmányozás célja olyan rugalmas, valós idejű rendszerek kialakítása, amelyek az aktuális szükségletekhez igazítják az ellátást, javítva a gazdasági eredményességet és a fenntartható erőforrás-gazdálkodást.



A gyakorlatban már léteznek olyan modellek, amelyek segítik a pontos táplálóanyag-igények előrejelzését. Ilyen például az InraPorc szoftver, amely fajta- és korcsoport-specifikusan becsüli meg a sertések táplálóanyag-szükségletét a hízalási időszak bármely pontján. E modellek révén a termelők optimalizálhatják a takarmányozási stratégiát. A növendék állatok esetében a nap folyamán eltérő időpontban végzett takarmányadagolás nemcsak a takarmányfelhasználás hatékonyságát növeli, hanem a versengés és stressz csökkenését is elősegítheti, ami hozzájárul az állatok jobb közérzetéhez és teljesítményéhez. Az elektronikus etetőállomások (Electronic Feeding Stations, EFS) célja az állatok takarmányozásával kapcsolatos adatok automatikus gyűjtése csoportos tartási rendszerekben. Faltys et al. (2014) hangsúlyozták, hogy a takarmányfelvétel mérésére szolgáló FIRE rendszer (Feed Intake Recording Equipment) által rögzített információk tudományos célokra is hasznosíthatók, amennyiben az adatgyűjtés pontosságát megfelelő kalibrálással és ellenőrzési protokollokkal biztosítják. Bruininx et al. (2003) vizsgálatukban választott malacokat vontak be az IVOG® rendszer validálására, amelyet a csoportosan elhelyezett növendék sertések egyedi takarmányfelvételének nyomon követésére fejlesztettek ki. Az IVOG® rendszer egyetlen száraz formájú takarmánykeveréket adagoló egységből áll, amely egy mérőcellára van telepítve, és elektronikus azonosító rendszerrel egészül ki. A szerzők eredményei szerint az IVOG® etetőállomás megbízhatóan alkalmazható a választott sertések egyedi takarmányfelvételének dokumentálására, monitorozására csoportos tartási körülmények között.

3. PRECÍZIÓS ESZKÖZÖK AZ ÁLLATJÓLÉT SZOLGÁLATÁBAN, BETEGSÉGEK KORAI FELISMERÉSE

Napjainkban jelentős figyelem irányul a gazdasági haszonállatok jóllétére, így ez a témakör több kutatás fókuszában áll. A modern intenzív sertéstartás egyik legnagyobb kihívása a sertések jóllétének megbízható értékelése. A vokalizáció, vagyis az állatok hangjának elemzése, nem invazív módszerként alkalmazható az állatjólléti állapot becslésére. Da Silva Cordeiro et al. (2013) kutatásukban a sertések különböző stresszhelyzeteinek azonosítását célozták meg akusztikus elemzés segítségével. A hangfelvételek alapján 81,12%-os pontossággal voltak képesek felismerni a fájdalom, az éhség vagy a hideg által kiváltott stresszre adott reakciókat.

Moi et al. (2014) a vizsgálataik során a sertéseket különféle stresszoroknak tették ki – többek között az etetés és itatás felfüggesztésének, valamint hőstressznek –, majd hangjaikat szoftveresen elemezték. Megállapították, hogy a hangok akusztikai paraméterei közül a hangintenzitás bizonyult a leginkább meghatározónak a különböző stresszhelyzetek megkülönböztetésében.

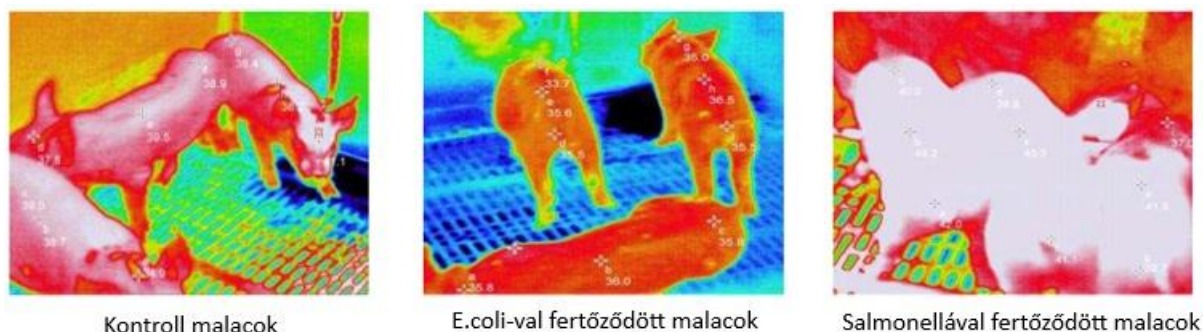
A sertések stresszállapotának értékelésére da Fonseca et al. (2020) infravörös hőkamerát alkalmaztak, amellyel a malacok bőrfelületének hőmérsékletét figyelték. A stressz azonosításához a legkisebb és legnagyobb mért infravörös hőmérsékleti értékeket, valamint a malac nemét használták független változóként. Eredményeik alapján az infravörös kamerás testhőmérséklet-mérés ígéretes eszköz lehet a stressz kimutatásában, ugyanakkor a modell megbízhatóságának növelése érdekében további prediktív változók bevonását is javasolták a gépi tanulási folyamatba.

A betegségek korai felismerésével csökkenthető a gazdasági veszteség, növelhető az állatok jólléte (Burns és Spajić, 2024). A sertések viselkedésének, egészségi állapotának monitorozására többféle eszköz közül választhatnak a sertéstartók: gyorsulásmérők, mérőcellák, kamerák, mikrofonok, fotoelektromos érzékelők, pirométerek és rádiófrekvenciás nyomkövetők.

Islam et al. (2015) a *Salmonella typhimurium*mal és *Escherichia colival* fertőződött sertéseket vizsgáltak a betegségek korai kimutatásának lehetőségére. A fertőzés előtti és utáni

testhőmérsékleti értékek között tapasztalt jelentős különbségek alapján sikeresen megkülönböztették a fertőzéseket (1. ábra).

1. ábra: Hőkamerás felvételek *Salmonella enterica* Typhimurium és *Escherichia coli* fertőzött malacokról



Kontroll malacok

E.coli-val fertőződött malacok

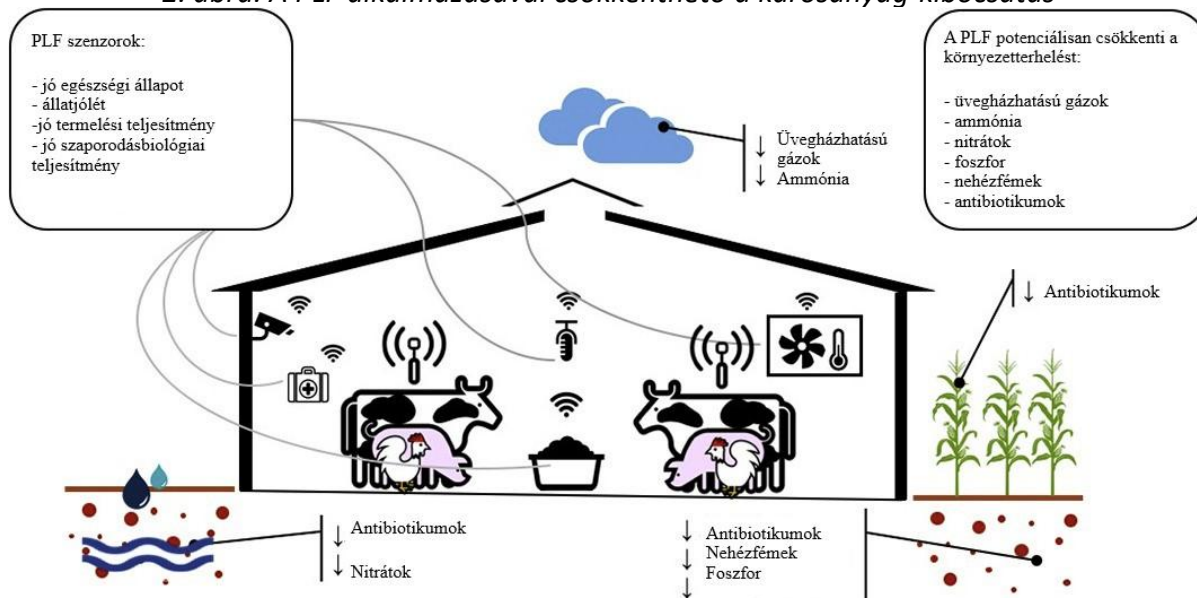
Salmonellával fertőződött malacok

Forrás: Islam et al. (2015)

4. KÖRNYEZETTERHELÉS CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGE

Az állatjóllét mellett a környezetterhelés csökkentésére is nagy figyelmet fordítanak a kutatók, mivel a precíziós állattartás érdemben hozzájárulhat a kibocsátások mérsékléséhez. Csökkentheti az üvegházhatású gázok (ÜHG) és az ammónia (NH_3) levegőbe jutását, valamint a víz- és talajszennyezést, különösen a nitrátok, antibiotikumok, foszforvegyületek és nehézfémek kibocsátásának visszaszorításával (2. ábra) (Tullo et al., 2019).

2. ábra: A PLF alkalmazásával csökkenthető a károsanyag-kibocsátás



Forrás: Tullo et al. (2019)

A Wageningeni Egyetem kutatói az Európai Unió Feed-a-Gene projektjének keretében egy olyan alternatív takarmányozási rendszert fejlesztettek ki, amelyben a sertések etetése az egyedi adottságaik – például születési súlyuk vagy hústermelő képességük – figyelembevételével történt. A vizsgálatok szerint az állatok valós táplálóanyagigényéhez igazított takarmányozás, valamint a



takarmányalapanyagok technológiai feldolgozásának javítása jelentős mértékben csökkentheti a káros anyagok környezetbe jutását. A kutatók megállapították, hogy a hatékonyabb táplálóanyaghasznosítás révén kevesebb nitrogén és egyéb ásványi anyag kerül a környezetbe, így az egyedi igényekre szabott, precíziós takarmányozási rendszerek alkalmazása nemcsak gazdasági, hanem ökológiai szempontból is előnyös megoldásnak tekinthető (Wageningen University & Research, 2023).

5. LEHETŐSÉGEK, KIHÍVÁSOK A PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIÁBAN

A precíziós eszközök számos lehetőséget kínálnak, ugyanakkor alkalmazásuk során az állattartók jelentős kihívásokkal is szembesülnek. Wang et al. (2022) ehhez kapcsolódóan rámutatnak a jelenlegi megoldások főbb kihívásaira: az intelligens eszközök karbantartási igényeire, az adatgyűjtés és -tárolás technikai korlátaira. Továbbá arra, hogy szükség van olyan növekedési modellek fejlesztésére, amelyek képesek a sertések testtömegének alakulását figyelemmel kísérni, és az állatok táplálóanyag-igényéhez igazodva támogatni a precíziós takarmányozást. Mindez hozzájárulhat a költségek csökkentéséhez és a fenntarthatóbb gazdálkodási gyakorlatok kialakításához.

A kameraszenzorok olcsók, könnyen elérhetők és egyszerűen használhatók, ezért hatékony és megfizethető eszközt jelentenek a sertések pontos megfigyelésére. Ugyanakkor a kamerák sertéságazatban történő alkalmazásáról kevés információ áll rendelkezésre, ami hiányt jelent a termelők és kutatók számára is (Arulmozhi et al., 2021).

Balontong (2023) vizsgálatában képfeldolgozáson alapuló technikát alkalmazott a sertések élősúlyának becslésére, amelyhez kamera segítségével készített felvételeket. A módszer lehetőséget nyújt a növekedés nyomon követésére, és hozzájárulhat a sertésletelek teljesítményének pontosabb értékeléséhez. Az automatizált súlymonitorozás nemcsak csökkenti a gazdálkodók munkaterheit, hanem hozzáférést biztosít pontos és hasznos adatokhoz, amelyek támogatják a hatékonyabb menedzsmentdöntések meghozatalát.

Benjamin és Yik (2019) szerint a precíziós állattartási technológiák számos előnnyel járnak. Ilyenek például a munkaerőhatékonyság növelése, a nem invazív, automatizált rendszerek révén történő állatjóléti indikátorok nyomon követése, valamint a fogyasztók bizalmának erősítése az ágazat iránt. Megfelelő alkalmazás esetén a precíziós állattartás új lehetőségeket teremt a gazdálkodás hatékonyságának és fenntarthatóságának növelésére, az állatok egészségi állapotának és jóllétének javítására, valamint az élelmiszerlánc teljes hosszában a nyomon követhetőség erősítésére. Ez hozzájárul az élelmiszerbiztonság fokozásához (Berckmans, 2014). A PLF célja olyan automatizált, folyamatos adatgyűjtésen alapuló irányítási rendszerek kialakítása, amelyek valós idejű visszajelzést nyújtanak a gazdálkodóknak. Bár ezek a technológiák részben kiválthatják az emberi megfigyelést, a gazdálkodók tapasztalata és döntéshozatali képessége továbbra is kulcsfontosságú. A fejlesztések multidiszciplináris együttműködést igényelnek – többek között állatorvos-tudományi, mérnöki, fizikai és adatfeldolgozási szakterületekről.

A PLF-technológiák kutatása igen szerteágazó: kiterjed a mesterséges intelligencia, azon belül a gépi tanulás alkalmazására is. Ilyen módszerekkel előrejelezhető például a húsminőség (Ko et al., 2023), valamint kameraalapú megfigyeléssel vizsgálható az állatok testtartása és viselkedése, amely hozzájárulhat az egészségi állapot és a jóllét monitorozásához (Farahnakian et al., 2024). A PLF-rendszerek így jelentős hozzáadott értéket képviselnek a gazdálkodásban, mivel lehetővé



teszik az állatok jóllétének objektív, folyamatos, szakértői jelenlét nélküli értékelését (Vranken és Berckmans, 2017).

A PLF-eszközök használatának gyakorlati tapasztalatait Hartung et al. (2017) vizsgálták európai sertéstartók körében. A résztvevő termelők – akik nyitottak voltak az innovációra állományaik jellemzően az átlag felett teljesítettek – pozitív hozadékként az állatjóllét és a termelékenység javulását emelték ki, ugyanakkor problémaként nevezték meg a berendezések magas költségét, megbízhatósági problémáit és a komplex működésből adódó kihívásokat. Hasonló korlátokat említettek da Silveira et al. (2023) Brazíliában, illetve Tikász (2023) a LivestockSense projekt keretében, külön kiemelve az infrastruktúra és a szakképzettség hiányát, a digitális eszközök karbantartási igényét, valamint a megfelelő internetkapcsolat problémáit.

Az okosgazdálkodás (Smart Farming) forradalmi megközelítést képvisel az agrár-élelmiszeriparban, amely valós idejű adatgyűjtést tesz lehetővé érzékelők és IoT-alapú technológiák révén (Talero-Sarmiento et al., 2022). Ezek az integrált rendszerek támogatják a hatékonyabb döntéshozatalt, növelik a versenyképességet és a termelékenységet. Ugyanakkor kihívások mutatkoznak az interoperabilitás (együttműködőképesség), az adatbiztonság, a gazdálkodók eltérő felkészültsége és a technológia elterjedése terén. A fenntartható fejlődési célok elérése érdekében szemléletváltás szükséges, különösen a kisgazdaságok igényeire összpontosítva. Ehhez olyan módszerek alkalmazása javasolt, mint a közös és felhasználóközpontú tervezés, továbbá a társadalomtudományok bevonása a technológia gyakorlati elfogadtatásához. A szerzők az alábbi leküzdendő kihívásokat fogalmazták meg:

- A tapasztalt szakértők tudásának hasznosítása.
- A hozzáférhetőség javítása, a használhatóság fejlesztése.
- A döntéstámogató rendszerek gazdagítása.
- A technológiabeszerzés költségeinek csökkentése és az erőforrás-hatékonyság növelése.
- A kiberbiztonság garantálása.
- Az üzletmenet-folytonosság, a válságkezelés, a vezetés és az irányítás fejlesztése.

Papadopoulos et al. (2025) 52 nemzetközi kutatás alapján vizsgálták a digitális mezőgazdasági technológiák, köztük a precíziós állattartás gazdasági és környezeti hatásait. Eredményeik szerint a PLF-rendszerek javítják az állatok egészségi állapotát, csökkentik a betegségeket, optimalizálják a takarmányfelhasználást és növelik a termelékenységet. Bár az elektronikus etetőállomások és precíziós etetési stratégiák ígéretesek, a gazdaságok közötti különbségekhez való alkalmazkodás és a társadalmi-gazdasági akadályok – különösen a kistermelőknél – továbbra is kihívást jelentenek. A jövőben szükség van költséghatékony, könnyen adaptálható megoldások fejlesztésére. A tanulmány kiemeli, hogy a monitoring-technológiák egyre fontosabbak a jóllét és a hatékonyság javításában, és a kutatás-gyakorlat közötti szakadék áthidalása hozzájárul a fenntarthatósághoz és az erőforrás-hatékonysághoz.

Az adatvezérelt döntéshozatal lehetőségeit vizsgálták Van Klompenburg és Kassahun (2022) a sertéstartáshoz kapcsolódó irodalmi áttekintésük során. Eredményeik szerint a gépi tanulási algoritmusokat bemutató tanulmányok többsége csupán kis létszámú, kísérleti állatcsoportokra korlátozódik, és nem vonatkozik teljes állományokra vagy valódi termelési környezetekre. Kevés az olyan kutatás, amely valódi, üzemi körülmények között gyűjtött adatokra épül, és ezek is jellemzően egy-egy specifikus problémát vizsgálnak. A szerzők olyan kutatások szükségességére hívják fel a figyelmet, amelyek egész gazdaságokra terjednek ki, és eredményeik a gyakorlatban is alkalmazhatók.



Tuytens et al. (2022) szerint a precíziós állattenyésztés gyorsan fejlődik, ugyanakkor 12 olyan kockázatot azonosítottak, amelyek ronthatják az állatjóllétet. A közvetlen veszélyek közé sorolták a műszaki hibákat és a nem megfelelően validált rendszerek pontatlan riasztásait, míg a közvetett hatások a technológiába vetett túlzott bizalomból eredhetnek: kevesebb személyes állatmegfigyelés, a gondozói készségek romlása és a figyelmet igénylő egyedek felismerésének gyengülése.

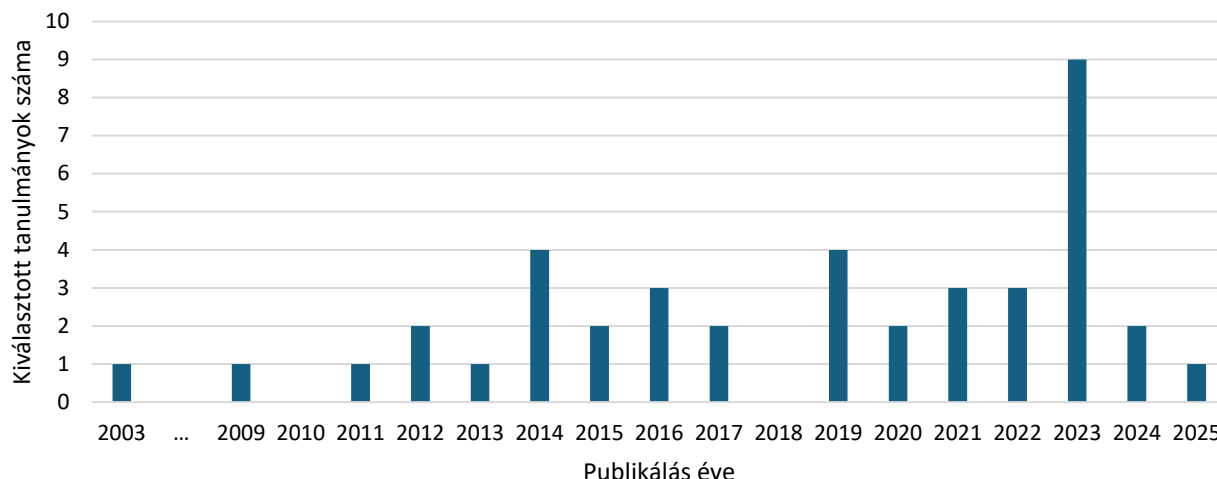
Amerikai sertéságazati szereplőkkel készített mélyinterjúk alapján Akinyemi et al. (2023) három attitűdcsoportot azonosítottak a PLF megítélésében. Az első csoport előnyösnek tartja a technológiát a gazdálkodás, az állatjóllét és a munkakörülmények javításában. A második szerint a PLF nem oldja meg az ágazati problémákat, és gyengítheti az állattartó–állat kapcsolatot. A harmadik csoport nem tartja szükségesnek a PLF-et; ők főként a gyenge internetkapcsolatot jelölték meg akadályként, amely sok gazdaságban korlátozza az adatátvitelt.

A digitális gazdaság hatását a nagyüzemi sertéstartásra Zhou et al. (2023) Kína 31 tartományában vizsgálták. Eredményeik szerint a digitális gazdaság a technológiai innováció, az értékesítés bővülése és a munkaerőköltségek csökkenése révén közvetlenül és közvetve is támogatja az ágazat fejlődését, amely jelentős tőkét, technológiát és stabil alapanyagforrást igényel. Ugyanakkor a magasabb digitalizáltságú régiók a szomszédos területekről tőkét és munkaerőt vonhatnak el, ami azok fejlődésére kedvezőtlen hatással lehet.

6. A FELDOLGOZOTT SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Az irodalmi áttekintéshez 41 cikket választottunk ki, amelyek 2003 és 2025 között jelentek meg. A hivatkozott tanulmányok közel egynegyede 2023-ban jelent meg (3. ábra).

3. ábra: A feldolgozott szakirodalom megoszlása a publikálás éve szerint



Forrás: Saját szerkesztés

A szakirodalmi áttekintés táblázata (1. táblázat) jól szemlélteti, hogy a precíziós állattartás kutatásai több, egymással összefüggő területet ölelnek fel. Az állatjóllét, a stressz és a viselkedésmonitorozás témaköre kiemelt figyelmet kap, ami jelzi a jóléti szempontok növekvő jelentőségét az intenzív sertéstartásban. A precíziós takarmányozás és az egyedi etetőrendszerek mellett az RFID-alapú azonosítás és a különféle monitoringeszközök – kamerák, mikrofonok, szenzorok – alkalmazása mutatja a digitalizáció és az automatizálás térnyerését. A gépi tanulás és az IoT-technológiák integrációja új lehetőségeket teremt az adatvezérelt döntéshozatalban, míg a fenntarthatóság és a



környezetterhelés csökkentése a globális trendekhez való alkalmazkodást tükrözi. Ugyanakkor a technológiai kihívások és az elfogadás kérdései rávilágítanak arra, hogy a PLF nem csupán műszaki, hanem gazdasági és társadalmi dimenziókkal is rendelkezik, amelyek jelentős mértékben meghatározzák a gyakorlati megvalósítás sikerét.

1. táblázat: A szakirodalmi áttekintés fő témakörei és hivatkozásai

Téma	Hivatkozások
Állatjólét, stressz, viselkedésmonitorozás	Da Silva Cordeiro et al., 2013; Moi et al., 2014; da Fonseca et al., 2020; Burns és Spajić, 2024; Vranken és Berckmans, 2017; Farahnakian et al., 2024; Tuytens et al., 2022
Precíziós takarmányozás és egyedi etetőrendszerek	Jiao et al., 2016; Burns és Spajić, 2024; Maselyne et al., 2014; 2016; Fernández et al., 2011; Garrido-Izard et al., 2019; Gaillard et al., 2020; Faltys et al., 2014; Bruininx et al., 2003; Wageningen University & Research, 2023
Egyedi azonosítás és RFID-technológia	Tóth és Halas, 2016; Arulmozhi et al., 2021; Reiners et al., 2009; Alexy et al., 2024
Monitoring eszközök (kamerák, mikrofonok, szenzorok) és gépi tanulás	Gómez et al., 2021; Wang et al., 2022; Islam et al., 2015; Arulmozhi et al., 2021; Balontong, 2023; Benjamin és Yik, 2019; Ko et al., 2023; Farahnakian et al., 2024
Környezeti terhelés csökkentése, fenntarthatóság	Tullo et al., 2019; Wageningen University & Research, 2023; Papadopoulos et al., 2025
PLF technológiai keretrendszer működés, előnyök	Banhazi és Black, 2009; Banhazi et al., 2012a; 2012b; Berckmans, 2014; Gómez et al., 2021; Benjamin és Yik, 2019
Technológiai kihívások és elfogadás	Wang et al., 2022; Hartung et al., 2017; da Silveira et al., 2023; Tikász, 2023; Talero-Sarmiento et al., 2022; Van Klompenburg és Kassahun, 2022; Akinyemi et al., 2023
Digitális gazdaság hatása	Zhou et al., 2023
Agrárdigitalizáció, PLF szerepe, elméleti háttér	Wang et al., 2022; Tzanidakis et al., 2021; Benjamin és Yik, 2019; Berckmans, 2014; Talero-Sarmiento et al., 2022

Forrás: Saját szerkesztés

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A precíziós sertéstartás hozzájárul a fenntarthatóbb és versenyképesebb termeléshez. A PLF technológiák alkalmazása – például az RFID-alapú egyedi azonosítás, az automatizált takarmányozás, illetve az érzékelőkön alapuló viselkedés- és egészségmonitorozás – lehetővé teszi a valós idejű adatgyűjtést és döntéstámogatást. Ezek a rendszerek nemcsak a termelékenységet növelik, hanem az állatjóléti és környezetvédelmi szempontokat is erősítik. A kutatások szerint az automatizált rendszerek használatával csökken a pazarlás, javul a táplálóanyag-hasznosítás, és kevesebb káros anyag kerül a környezetbe, ezáltal a technológia közvetlenül is hozzájárul az üvegházhatású gázok és ammóniakibocsátás csökkentéséhez.



A digitalizáció terjedését jelenleg elsősorban a gazdaságméret, a rendelkezésre álló források és a szaktudás határozza meg. A nagyobb, tőkeerős gazdaságok már széles körben alkalmazzák a precíziós technológiákat, míg a kisebb telepeken ezek elterjedését anyagi korlátok, ismerethiány és a megtérülés bizonytalansága hátráltatja. A sikeres digitalizáció előfeltétele a tudásátadás és a gyakorlati képzések erősítése, valamint a technológiai fejlesztéseket támogató szakpolitikai és pályázati eszközök bővítése. Az egyszerű, alacsony költségű megoldások (például szenzoros szellőztetés, mobilalkalmazások) bevezetése segíthet a kisebb gazdaságok számára a digitális átmenet megkezdésében.

A jövő kihívása az adatalapú gazdálkodás gyakorlati integrálása és társadalmi elfogadása. Bár a PLF-rendszerek komoly potenciált jelentenek, a technológiai innovációk elfogadása és hatékony használata szemléletváltást igényel az állattartók részéről. Fontos a felhasználóbarát rendszerek fejlesztése, az adatbiztonság garantálása, valamint a gazdálkodók bevonása a fejlesztési folyamatokba. A kutatók szerint a digitális technológiák nem helyettesítik, hanem kiegészítik az emberi szakértelmet, az optimális eredmény eléréséhez a technológiai és az emberi tudás egyensúlya szükséges.



The role of precision pig farming technologies in sustainable and competitive animal husbandry (Review)

EDIT EGRI¹, TAMÁS TÓTH^{2*}, VIKTOR SZILI³

¹Széchenyi István University, Wittman Antal Plant-, Animal- and Food Sciences

Multidisciplinary Doctoral School, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1347-514X>

²Széchenyi István University, Agricultural and Food Research Centre, Győr, Hungary

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³Institute of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economic Information Systems

Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1614-2866>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

The application of Precision Livestock Farming (PLF) technologies in Hungarian livestock production remains limited, although international trends clearly indicate that these solutions contribute to improved sustainability, animal welfare, and production efficiency. The aim of this review was to examine, based on the literature, how precision technologies enhance the economic and environmental performance of pig farming, and which factors influence their successful implementation. Analysis of the literature reveals that sensor-based data collection, automated feeding, and behaviour monitoring play a crucial role in optimizing production and improving animal welfare standards. However, the widespread adoption of these technologies is hindered by high investment costs, farmers' limited digital skills, and uncertainties surrounding data management. Research clearly supports that the successful application of PLF requires not only technological development but also a paradigm shift, targeted training, and effective knowledge transfer. The future challenge lies in integrating data-driven decision-making into daily practice, which in the long term may lead to more competitive and environmentally sustainable production in Hungary as well. *Keywords: Precision Livestock Farming (PLF), Digitalization of Pig Production, Animal Welfare and Sustainability, IoT and Sensor Technology, Feed Optimization*



IRODALOMJEGYZÉK

- Akinyemi, B. E., Akaichi, F., Siegford, J. M., & Turner, S. P. (2023). US Swine Industry Stakeholder Perceptions of Precision Livestock Farming Technology: A Q-Methodology Study. *Animals*, 13(18), 2930. <https://doi.org/10.3390/ani13182930>
- Alexy, M., Pai, R. R., Ferenci, T., & Haidegger, T. (2024). The potential of RFID technology for tracking Mangalica pigs in the extensive farming system – a research from Hungary. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 14, 12854. <https://doi.org/10.3389/past.2024.12854>
- Arulmozhi, E., Bhujel, A., Moon, B.-E., & Kim, H.-T. (2021). The Application of Cameras in Precision Pig Farming: An Overview for Swine-Keeping Professionals. *Animals*, 11(8), 2343. <https://doi.org/10.3390/ani11082343>
- Balontong, A. (2023, August 1-3). *TimBaboy: Swine Management System in PLF Integrating Image Processing for Weight Monitoring* [Conference session]. Pacuit 2023 International and National Conference, Bulacan State University, Malolos Bulacan.
- Banhazi, T., & Black, J. L. (2009). Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L., Crabtree, H., Schofield, P., Tscharke, M., & Berckmans, D. (2012a). Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3), 1-9. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120503.001>
- Banhazi, T. M., Babinszky, L., Halas, V., & Tscharke, M. (2012b). Precision Livestock Farming: Precision feeding technologies and sustainable animal production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(4), 1-8. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120504.006>
- Benjamin, M., & Yik, S. (2019). Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners. *Animals*, 9(4), 133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique*, 33(1), 189-196. <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>
- Bruininx, E. M. A. M., Van Der Peet-Schwering, C. M. C., Schrama, J. W., Den Hartog, L. A., Everts, H., & Beynen, A. C. (2003). The IVOG® feeding station: a tool for monitoring the individual feed intake of group-housed weanling pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 85(3-4), 81-87. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2001.00305.x>
- Burns, R. T., & Spajić, R. (2024). Precision Livestock Farming in Swine Production. In G. Kušec & I. D. Kušec (Eds.), *Tracing the Domestic Pig*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114845>
- Da Fonseca, F. N., Abe, J. M., de Alencar Nääs, I., da Silva Cordeiro, A. F., do Amaral, F. V., & Ungaro, H. C. (2020). Automatic prediction of stress in piglets (*Sus Scrofa*) using infrared skin temperature. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105148>
- Da Silva Cordeiro, A. F., de A. Nääs, I., Oliveira, S. R. M., Violaro, F., De Almeida, A. C. M., & Neves, D. P. (2013). Understanding Vocalization Might Help to Assess Stressful Conditions in Piglets. *Animals*, 3(3), 923-934. <https://doi.org/10.3390/ani3030923>
- Da Silveira, F., da Silva, S. L. C., Machado, F. M., Barbedo, J. G. A., & Amaral, F. G. (2023). Farmers' perception of the barriers that hinder the implementation of agriculture 4.0. *Agricultural Systems*, 208, 103656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103656>



- Faltys, G. L., Young, J. M., Odgaard, R. L., Murphy, R. B., & Lechtenberg, K. F. (2014). Technical note: Validation of electronic feeding stations as a swine research tool. *Journal of Animal Science*, 92(1), 272-276. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6808>
- Farahnakian, F., Farahnakian, F., Björkman, S., Bloch, V., Pastell, M., & Keikkonen, J. (2024). Pose Estimation of Sow and Piglets During Free Farrowing Using Deep Learning. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101067>
- Fernández, J., Fàbrega, E., Soler, J., Tibau, J., Ruiz, J. L., Puigvert, X., & Manteca, X. (2011). Feeding strategy in group-housed growing pigs of four different breeds. *Applied Animal Behaviour Science*, 134(3-4), 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.018>
- Gaillard, C., Brossard, L., & Dourmad, J. Y. (2020). Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production through precision feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114611. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114611>
- Garrido-Izard, M., Correa, E.-C., Requejo, J.-M., & Diezma, B. (2019). Continuous Monitoring of Pigs in Fattening Using a Multi-Sensor System: Behavior Patterns. *Animals*, 10(1), 52. <https://doi.org/10.3390/ani10010052>
- Gómez, Y., Stygar, A. H., Boumans, I. J. M. M., Bokkers, E. A. M., Pedersen, L. J., Niemi, J. K., Pastell, M., Manteca, X., & Llonch, P. (2021). A Systematic Review on Validated Precision Livestock Farming Technologies for Pig Production and Its Potential to Assess Animal Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
- Halas, V. (2019, May 20). Perspektívák a sertések precíziós takarmányozásában. *Agrárágazat*. <https://agraragazat.hu/hir/perspektivak-a-sertesek-precizios-takarmanyozasaban>
- Hartung, J., Banhazi, T., Vranken, E., & Guarino, M. (2017). European farmers' experiences with precision livestock farming systems. *Animal Frontiers*, 7(1), 38-44. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0107>
- InraPorc. (2023). https://inraporc.inrae.fr/inraporc/index_en.html
- Islam, M. M., Ahmed, S. T., Mun, H.-S., Bostami, A. B. M. R., Kim, Y.-J., & Yang, C.-J. (2015). Use of thermal imaging for the early detection of signs of disease in pigs challenged orally with *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli*. *African Journal of Microbiology Research*, 9(26), 1667-1674. <https://doi.org/10.5897/AJMR2015.7580>
- Ko, E., Jeong, K., Oh, H., Park, Y., Choi, J., & Lee, E. (2023). A deep learning-based framework for predicting pork preference. *Current Research in Food Science*, 6, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100495>
- Jiao, S., Tiezzi, F., Huang, Y., Gray, K. A., & Maltecca, C. (2016). The use of multiple imputation for the accurate measurements of individual feed intake by electronic feeders. *Journal of Animal Science*, 94(2), 824-832. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9667>
- Maselyne, J., Saeys, W., De Ketelaere, B., Mertens, K., Vangeyte, J., Hessel, E. F., Millet, S., & Van Nuffel, A. (2014). Validation of a High Frequency Radio Frequency Identification (HF RFID) system for registering feeding patterns of growing-finishing pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.12.015>
- Maselyne, J., Saeys, W., Briene, P., Mertens, K., Vangeyte, J., De Ketelaere, B., Hessel, E. F., Sonck, B., & Van Nuffel, A. (2016). Methods to construct feeding visits from RFID registrations of growing-finishing pigs at the feed trough. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.010>



- Moi, M., de A. Nääs, I., Caldara, F. R., de L. Almeida Paz, I. C., Garcia, R. G., & Cordeiro, A. F. S. (2014). Vocalization data mining for estimating swine stress conditions. *Engenharia Agrícola*, 34(3). <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300008>
- Nemzeti Jogszabálytár. (2023). 32/1999. (III. 31.) FVM rendelet a mezőgazdasági haszonállatok tartásának állatvédelmi szabályairól. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99900032.fvm>
- Papadopoulos, G., Papantonatou, M.-Z., Uyar, H., Kriezi, O., Mavrommatis, A., Psiroukis, V., Kasimati, A., Tsiplakou, E., & Fountas, S. (2025). Economic and environmental benefits of digital agricultural technological solutions in livestock farming: A review. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100783>
- Reiners, K., Hegger, A., Hessel, E. F., Böck, S., Wendl, G., & Van den Weghe, H. F. A. (2009). Application of RFID technology using passive HF transponders for the individual identification of weaned piglets at the feed trough. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2), 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.010>
- Talero-Sarmiento, L. H., Parra-Sanchez, D. T., & Lamos-Diaz, H. (2022, November 2-7). *Opportunities and Barriers of Smart Farming Adoption by Farmers Based on a Systematic Literature Review* [Conference session]. X. Conference on Innovation, Documentation, Education and Teaching Technologies, INNODOCT 2022, Valencia. <https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15746>
- Tóth, T., & Halas, V. (2016, August 9). Precíziós állattenyésztés – a szavakon túl. *Agronapló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20160809/precizios-allattenyesztes-a-szavakon-tul-37595>
- Tikász, I. (2023, June 9). Smart technológiák – tapasztalatok a magyarországi sertés- és baromfitartásban. *Agronapló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20230609/smart-technologiak-tapasztalatok-a-magyarorszagi-sertes-es-baromfitartasban-39917>
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*, 650(2), 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Tuytens, F. A. M., Molento, C. F. M., & Benaissa, S. (2022). Twelve Threats of Precision Livestock Farming (PLF) for Animal Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889623>
- Tzanidakis, C., Simitzis, P., Arvanitis, K., & Panagakakis, P. (2021). An overview of the current trends in precision pig farming technologies. *Livestock Science*, 249, 104530. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>
- Van Klompenburg, T., & Kassahun, A. (2022). Data-driven decision making in pig farming: A review of the literature. *Livestock Science*, 261, 104961. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104961>
- Vranken, E., & Berckmans, D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, 7(1), 32-37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
- Wageningen University & Research. (2023). Precision feed for pigs reduces environmental impact. Retrieved October 10, 2023, from <https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/livestock-research/show-wlr/precision-feed-for-pigs-reduces-environmental-impact.htm>
- Wang, S., Jiang, H., Qiao, Y., Jiang, S., Lin, H., & Sun, Q. (2022). The Research Progress of Vision-Based Artificial Intelligence in Smart Pig Farming. *Sensors*, 22(17), 6451. <https://doi.org/10.3390/s22176541>



Zhou, L., Wang, J., & Li, H. (2023). Effect of digital economy on large-scale pig farming: Evidence from China. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 1206452. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2238985>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

