

Mesterséges intelligencia a precíziós állattartók vezetői döntéseiben

Bíznak-e a gazdák az adatokban?

**HORVÁTHNÉ KOVÁCS BERNADETT – ZÖRÖG ZOLTÁN –
BÚS BENCE GYULA**

Kulcsszavak: döntéstámogató rendszerek; big data; termelési információk; mélytanulás; szakértői rendszerek

JEL-kód: D80, L86, C88

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A globális környezeti érdekek, a hatékony gazdálkodás és az állattenyésztő gazdaságok jövedelemnövelési igénye növekvő kihívást jelent az adatalapú döntéstámogató rendszerek alkalmazása felé. A Mezőgazdaság 4.0 és az Ipar 4.0 forradalma rengeteg termelési adatot hoz létre, és a szakpolitikák is támogatják az okosrendszerek terjedését. A gazdáknak egyre fontosabb lesz figyelemmel kísérni és használni a termeléshez kapcsolódó adataikat. Azonban néhány tényező, mint például az adattulajdon jogi szabályozásának hiánya és a mesterséges intelligencia korlátai, kihívásokat jelentenek. A számítógépes információs rendszerekre alapozott döntéstámogató hatékonyságát befolyásolja, hogy az emberi döntések gyakran a pillanatnyi körülményektől függenek. A megtérülés is fontos tényező, de a különböző technológiák bevezetése óta még nem telt el elég idő ahhoz, hogy a termelés hatékonyságára kifejtett hatásuk pontosan értékelhető legyen. Korai bevezetési adatok alapján akár 19–32%-os termelékenységnövekedést, 80% feletti munkaidő-megtakarítást és 22%-os környezetterhelés-csökkenést eredményezhetnek pl. szarvasmarhatartásban alkalmazott, automatizmust biztosító okosrendszerek. A gazdák bíznak a technológia hatékonyságában, de az infrastrukturális feltételek nem mindig elérhetők, ezt nemzetközi és hazai kutatások is alátámasztják. Az internetelés ingadozása következtében fellépő adatvesztés és a karbantartás nehézségei megnehezítik az okostechnológiák elfogadását, a termelési adatok figyelemmel kísérése, értelmezése még gondot okoz, és igényt támaszt a munkavállalók képzésére. Azonban az intelligens eszközök és a mesterséges intelligencia alkalmazása hatékonyabb és fenntarthatóbb állattenyésztést tesz lehetővé, amely folyamatban azoknak a gazdálkodóknak a szerepe kiemelkedő, akik a technológia bevezetésével, az adatok elérhetőségének biztosításával nagymértékben hozzájárulnak a modellek fejlesztéséhez.

BEVEZETÉS

Azt tapasztaljuk napjainkban, hogy a mezőgazdasági ágazat újabb forradalmat él át, az úgynevezett Mezőgazdaság 4.0 és a digitális technológiák hatására az Ipar

4.0 is egy évtizede jelen van a gazdálkodók életében (Dayioglu és Turker, 2021). Az állati termékek világszintű keresletének növekedése, valamint a környezet és az állatjólét iránt egyre kifejezettebben megjelenő aggodalmak arra ösztönzik az állattartó

üzemeket, telepeket, hogy hatékonyságukat javítsák és fenntarthatóbb termelési rendszereket alakítsanak ki.

A termék-előállítás hatékonyságának, így mind környezeti, mind gazdasági fenntarthatóságának javításában a precíziós állattartás (Precision Livestock Farming, PLF) értékes támogatást nyújt (Bianchi et al., 2022). A digitális transzformáció különböző „okos” megoldások elterjedése az agrárvertikumban, amelynek részei a precíziós állattartási technológiák és termelés-szervezési gyakorlatok is, amelyek számítógépes információs rendszereket foglalnak magukba. Információs kommunikációs technológiai megoldások, számítógépes információs eszközök az agrár-élelmiszer előállítási láncban az adatalapú (gazdálkodás-) menedzsmentrendszerek mint vállalatirányítási információs rendszerek, illetve a gazdálkodási környezet megfigyelésére és mérésére vonatkozó szenzoros (real time) adatok különféle típusainak az integrálása, továbbá intelligens képi megjelenítési megoldások.

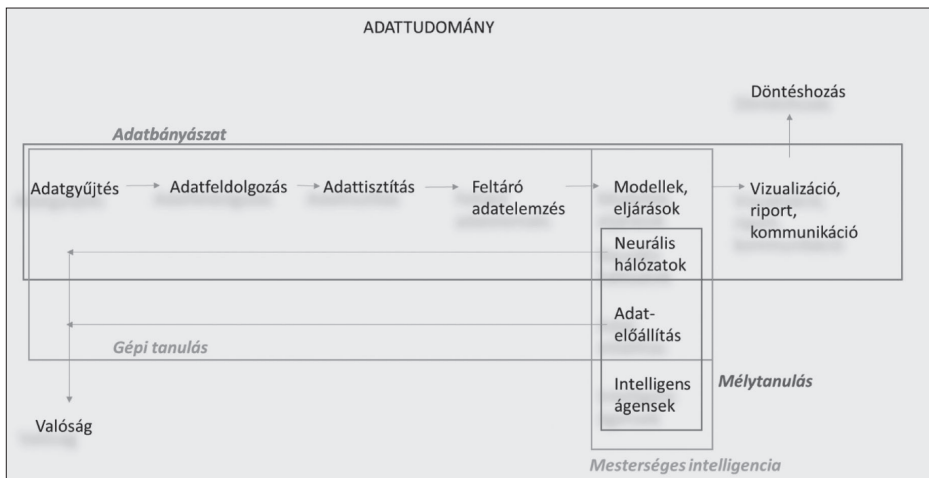
A precíziós állattartás adatintenzív technológiája biztosítja, hogy az adattu-domány a rendelkezésre álló nagy mennyiségű, rendkívül változatos típusú adatok (nagy adat = big data) döntéstámogatási rendszerekben való felhasználása során az adatbányászat, gépi tanulási eljárások, mélytanulási módszerek és a mesterséges intelligencia területének eszközein keresztül az információba tömörítés és megjelenítés segítségével támogatni képes a döntéshozókat (1. ábra).

A mesterségesintelligencia-eljárások (36 algoritmust azonosít Liakos et al., 2018) alkalmazását tehát nemcsak lehetővé teszi, de a működés alapvető algoritmusai az adatalapú döntéstámogatási rendszereknek. A termelésből és a gazdálkodási környezetből származó adatok okos termelési eszközökből, a környezet tulajdonságait, állapotát gyűjtő szenzorokból, az ezeket integráló precíziós és okosberendezésekből állnak rendelkezésre.

A termelők, a gazdálkodók európai uniós és hazai, a mezőgazdasági vállalkozásokat

I. ábra

Az adattudomány, a gépi tanulás, a mesterséges intelligencia, a mélytanulás és az adatbányászat közötti kapcsolatok bemutatása
(The illustration of relations between data science, machine learning, artificial intelligence, deep learning, and data mining)



Forrás: saját szerkesztés www.altexsoft.com nyomán

támogató különböző, pl. precíziós eszközök megvásárlását támogató konstrukciókat érnek el (KAP Stratégiai terv 2021. II. Pillér, DIMOP Plusz), amelynek hatására a termelési környezet adatgazdaggá vált, és a jövőben még inkább azzá válik: az „okos” termelőeszközök adatokat gyűjtenek, adatokon alapuló automatizmusok működnek. Igaz ez az állati termék-előállítás rendszerre is, ahol a precíziós állattartás megjelenésével olyan gazdálkodási gyakorlat terjed, amelynek során a menedzsment-döntéseket a termék-előállításban alkalmazott digitális (okos) eszközök, az azokból származó környezeti és állatra vonatkozó adatok, valamint a gazdálkodó, telepvezető vagy éppen a munkafolyamatokért felelős dolgozó számára információt megjelenítő eszközök (táblagépek, számítógépeképernyő, mobiltelefon) együttes rendszere támogatja.

Az állattartásban, a termék-előállítási folyamatban a takarmányozástól kezdve a reprodukciós menedzsmenten keresztül a selejtezésig különböző termelési és környezeti adatok támogatják a döntéshozást. Az okoseszközökből származó adatok rendszerezését és a gazdálkodók, termelésirányítók számára küldött információk előállítását, megjelenítését a mesterséges intelligencia algoritmusai valósítják meg. A gazdálkodással kapcsolatos adatok elérhetősége, köre egyre bővül hazánk gyakorlatában is (Tikász, 2023), azonban felmerül a kérdés, hogy megfelelően hasznosítjuk, tudjuk-e értelmezni az okoseszközökből származó adatokat és legfőképpen, bíznunk-e ezeknek az adatoknak a felhasználásában a mindennapi döntéshozatal során.

A tanulmányunkban röviden említjük azokat a legfontosabb szakpolitikai tényezőket, körülményeket, amelyek az adatalapú mezőgazdasági termék-előállítást mint fenntartható élelmiszer-termelési megoldás elterjedését ösztönzik. A vizsgálatunk központi témája annak áttekintése, hogy mely precíziós, okoseszközök alkalma-

zásával kapcsolatban vannak tanulságok a gazdálkodók technológiába vetett bizalmára, illetve motivációjára vonatkozóan, valamint ezzel összefüggésben hogyan értékelik a mesterséges intelligencián alapuló döntéstámogató megoldások hasznosságát, hatékonyságát. A nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján vonunk le következtetéseket az okotechnológiák elterjedésének korlátaira és az eszközöktől várható eredményekre vonatkozóan, amelyeket összevetünk az intelligens gazdálkodást célzó legnagyobb hazai kutatás eredményeivel is (Tikász, 2023). Az irodalmak feldolgozása során célunk összegezni azokat a mesterségesintelligencia-eljárásokat, amelyekre alapuló technológiákra az állati terméket előállító üzemek, gazdaságok vezetői és döntéshozói eredményesen támaszkodnak. A tanulmány hipotéziseiként végső soron rámutatunk arra, hogy pozitívak-e az adatalapú technológiák alkalmazásával szembeni várakozások és tapasztalatok, valamint hatékony döntéstámogatás valósítható-e meg a mesterségesintelligencia-eljárások segítségével a gazdálkodók megítélése alapján. Kifejtjük, hogy milyen kulcstényezők játszanak szerepet a digitális lehetőségek iránti bizalom megalapozásában.

AZ AGRÁRGAZDASÁG ADATALAPÚVÁ VÁLÁSÁNAK EGYES TÉNYEZŐI

A fenntartható fejlődés 15 éves (2016–2030) menetrendjének részeként 17 célt fogalmaz meg az ENSZ, amely a csatlakozott 193 ország között hazánkat is érinti. A fenntartható fejlődési célok (Sustainability Development Goals, SDG) 17 részterületét holisztikusan szemlélteti a 2. ábra (ENSZ 2015). A 2030-ig szóló SDG-k az élelmezéssel (SDG 2), a vízzel (SDG 6), az energiával (SDG 7), az éghajlatváltozással (SDG 13) és az ökoszisztémával (SDG 15) kapcsolatos célokat foglalják magukban a mezőgazdasági termék-előállítással kapcsolatban (Dayioglu és Türker, 2021).

2. ábra

**Az ENSZ által megfogalmazott fenntarthatósági célterületek, 2015
(UN Sustainability Development Goals, 2015)**



Forrás: Alapvető Jogok Biztosának Hivatala (dátum nélkül)

(Goal 1 No poverty; Goal 2 Zero hunger; Goal 3 Good health and well-being; Goal 4 Quality education; Goal 5 Gender equality; Goal 6 Clean water and sanitation; Goal 7 Affordable and clean energy; Goal 8 Decent work and economic growth; Goal 9 Industry, innovation and infrastructure; Goal 10 Reduced inequalities; Goal 11 Sustainable cities and communities; Goal 12 Responsible consumption and production; Goal 13 Climate action; Goal 14 Life below water; Goal 15 Life on land; Goal 16 Peace, justice and strong institutions; Goal 17 Partnerships for the Goals)

A fenntartható fejlődési célok közül a 2023. évi ENSZ-jelentés (United Nations, 2023) kiemeli, hogy olyan beavatkozási területeken, mint az üvegházhatású gázok kibocsátása, a fenntartható halászat és élelmezésbiztonság, illetve az ökoszisztéma megőrzése jelentősebb eredményt kell elérni, miközben mindössze kettő célterület (a mobilszközökhöz való hozzáférés és az internethasználat) ért el számottevő előrehaladást. Az állattartás adataalapú döntéshozási mechanizmusát, amely a fenntarthatósági célok teljesülésének monitorozását is lehetővé teszi, tehát növekvő adatelérhetőség támogatja, ugyanakkor a kézzelfogható hatáseredmények nem kielégítőek.

Miért érdekesek a mezőgazdasági termeléssel, a termékek felhasználásával kapcsolatos adatok tágabb szemléletben?

Az Élelmezési és Mezőgazdasági Világszervezet (Food and Agriculture Organization, FAO) a mezőgazdasági termelés és élelmiszer-biztonság jövőjének elemzésével kapcsolatban a termelékenység javítása, az erőforrások észszerű felhasználása, az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás és az élelmiszer-pazarlás elkerülése kulcsterületeket nevez meg, mint a 2050-re előrejelzett 10 milliárdos népesség élelmiszer-ellátásának zálogát (FAO, 2017).

Az adatok szerepét, azok elérhetőségének biztosítását az agrár-élelmiszer vertikális lánc teljes szélességében országos szinten (pl. feldolgozás, fogyasztás, környezeti állapot) és üzemi szinten, a termelés gazdasági hatékonyságának növelése, tehát a menedzsment szintű döntéshozás támogatása érdekében is kiemelt fontosságúként említi a szervezet.

A globális szinten felismert kihívások és annak kezelésére, a problémák megoldására tett javaslatok, szakpolitikai ajánlások tehát alapvető fontosságúnak tartják a termék-előállítás során az okos termelési eszközökből származó adatok szerepét és a fenntarthatóság monitoringozásában elvégzett feladatát.

Hogyan képződik az információigény a gazdaságok szintjén?

Fentiek előrevetítik, hogy azok a külső gazdaságfejlesztési források – ideértve a mezőgazdasági termék-előállítási lánc szereplőinek juttatandó támogatások formáit –, amelyek a fenntarthatósági célok között is megnevezett célterületeken a szakpolitikai hatások mérésének lehetőségét, illetve erőforrás-gazdaságossági és a gazdálkodás-pénzügyi eredményeinek javítását célozzák, még nagyobb mértékben állhatnak rendelkezésre a jövőben. Ugyanakkor előrejelezhető az a (közel)jövőbeli elvárás, hogy mind a gazdaságok, mind a technológiaszolgáltatók intenzívebben forduljanak az előállított adatok üzemi szintű hasznosítása felé, továbbá hogy az előállított adatoknak szolgálniuk kell a fenntarthatósági célok teljesülésének monitorozását is.

Sem a folyamat, sem az igény nem napjainkban jelent meg, a digitalizáció különböző formái az agrár-élelmiszeripari termelési rendszerekben Klerkx et al. (2019) szerint már a 2000-es évek elején tapasztalhatóak voltak. A digitális transzformáció eredményeként létrejövő adatalapú gazdálkodás elnevezéseit az időszak alatt több megjelenési

formában is meghatározták. Legkorábbiaknak tekinthetők a „precíziós gazdálkodás” (McBratney et al., 2005; Aubert et al., 2012; Eastwood et al., 2017), az „intelligens gazdálkodás” (Wolfert et al., 2017), majd a „Mezőgazdaság 4.0” (Rose és Chilvers, 2018; De Clercq et al., 2018; Zambon et al., 2019; Zhai et al., 2020; Raj et al., 2021; Rijswijk et al., 2021; Rose et al., 2021). Míg a Mezőgazdaság 4.0 szinonimáiként a „numerikus mezőgazdaság” (Agriculture Numérique) Franciaországban (Klerkx et al., 2019), az „intelligens gazdálkodás” az Európai Unió számos országában, a „digitális mezőgazdaság” fogalmak rendszere Ausztráliában és Új-Zélandon (Keogh és Henry, 2016; Shepherd et al., 2018; Fielke et al., 2020; Fleming et al., 2021) honosult meg. Ezeket a fogalmakat az Élelmelési és Mezőgazdasági Szervezet (FAO) „digitális mezőgazdasági forradalomként” határozta meg (Trendov et al., 2019). Az Európai Agrárgépészeti Ipart fémjelző társulás, a CEMA (2018) a digitális gazdálkodást a precíziós gazdálkodásból a végponttól végpontig összekapcsolható, tudásalapú mezőgazdasági termelési rendszerekké történő átalakulásként fogalmazza meg (CEMA 2017a; 2017b, idézi Dayioglu és Turker, 2021).

Az Európai Unió 2021–2027 közötti KAP Stratégiai tervben megfogalmazott kilenc célja közül az egyik a versenyképesség növelése, melyet többek között oly módon kívánnak elérni, hogy nagyobb hangsúlyt kap a kutatás, a technológia és a digitalizáció (2115/2021/EU). Jelen időszakban, a magyar KAP Stratégiai terv részeként a II. pillérből számos forrás áll a gazdák rendelkezésére a mezőgazdasági üzemek digitális átállásának támogatására. Ezek közelebből a helyspecifikus gazdálkodási formák, a precíziós eszközök, valamint a döntéstámogató szoftverek és szolgáltatások minél szélesebb körben való alkalmazását célozzák (KAP Stratégiai terv, 2021). A gazdák digitális átállását a Digitális Megújulás Operatív Program (DIMOP Plusz) is segíti.

ti, részben ennek a programnak a feladata az adatbázisok és az informatikai háttér, infrastruktúra fejlesztése.

Hazai vonatkozásban elsősorban a 1470/2019. (VIII. 1.) Korm. határozatban nevesített, Magyarország Digitális Agrárstratégiája fogja át a digitális transzformáció fogalmi és gyakorlati dimenzióit, feleleli a mezőgazdasági termelést, magukat a mezőgazdasági üzemeket és a termékpályákat egyaránt. Kiemelten kezeli a digitális transzformációhoz kapcsolódó humán erőforrás, kutatás-innováció, valamint a fejlesztéspolitika és a hozzájuk kapcsolódó támogatások területét. Ebben a szemléletben a digitalizáció főbb területeiként az adatkezelést, az automatizációt, a kommunikációt és a robotizációt azonosítja (DAS, 2019).

Látható, hogy a globális szakmai szervezetek, az uniós és a hazai támogatáspolitikák hatására a termék-előállításban egyre fontosabb az adat alapú technológiák alkalmazása. Vizsgálatok rámutatnak, hogy az intelligens rendszerek elterjedése sok területen növekszik. A munkafolyamatok automatizálását is lehetővé tevő rendszerek terjedési sebességét jelzi pl., hogy a bármilyen típusú automatikus fejőrendszert (AMS) használó tejtermelő gazdaságok száma folyamatosan emelkedik, különösen Kelet-Európában (Matei et al., 2020, idézi Micle et al., 2021).

Ugyanakkor a technológia térhódításának akadályai számottevőek lehetnek. A tejtermelésben használt PLF-technológiák terjedésével kapcsolatosan a gazdálkodók motivációját vizsgáló olasz tanulmány (Bianchi et al., 2022) megállapítja, hogy a különböző eszközök elterjedését egyértelműen befolyásolja az állományméret, a gazdálkodó életkorából adódó érdeklődés és a termelt tejhozam.

Mi valójában a gazdálkodók érdekeltisége a sokszor nehezen megfogalmazható hozzáadékkal bíró okostechnológiák bevezetésében?

Mi a gazdálkodók viszonya az adat alapú gazdálkodási döntéshozáshoz?

Nemcsak a döntéshozásban betöltött szerepén keresztül közvetlenül, de az eljárások, a technológia fejlődéséhez való hozzájárulásán keresztül is fontos, hogy a gazdálkodók milyen módon viszonyulnak a precíziós eszközökkel gyűjtött adataik elemzéséhez. A nyitott és fejlesztés iránt elkötelezett gazdálkodók például képesek irányítani vagy modellezni a PLF-technológiák gyakorlati alkalmazását is. Mivel a PLF-rendszerek bevezetésével elősegítik a gyakorlati tapasztalatok bővülését, lehetővé tehetik ezek a gazdálkodók, hogy az adataikat pontosabb modellek fejlesztéséhez, értékeléséhez, nyomon követéshez felhasználják a rendszerfejlesztők (Vranken és Berckmans, 2017; Lima et al., 2018). Elengedhetetlenül fontos az a szélesebb megközelítés is, hogy a PLF-technológiával előállított állati termékek későbbi fogyasztói elfogadottsága szempontjából már a PLF-technológia tervezésébe és fejlesztésébe bevonhatók az érdekeltek.

Különösen érdekes az intelligens megoldásokban alkalmazott mesterséges intelligenciával kapcsolatos közvélemény, hiedelmek, félelmek és annak ismerete a laikusok körében, hogy miként működik, és hogyan támogatja a döntéshozást. A mesterséges intelligenciával támogatott döntéshozás elfogadásával kapcsolatban kiterjedten folynak humángyógyászat vonalon is vizsgálatok; ennek irodalma széles körű, és nem tartozik szorosan a tanulmány témaköréhez. Ugyanakkor az olyan új vizsgálatok, hogy az ember mennyire támaszkodhat a gépi eredményekre, a döntéshozásba vetett bizalom új tényezőit azonosíthatják, így érdemes beletekinteni a vonatkozó kutatás eredményeibe. A mesterséges intelligenciával támogatott döntéshozatalban az ember bevonásának egyik központi ígérete az, hogy képes lesz kiegészíteni

a mesterséges intelligencia rendszerét azáltal, hogy betartja annak helyes és felülbírálja téves ajánlásait (Schoeffer et al., 2023). Gyakorlatban megfigyelt, hogy az emberi túllkorrekció vagy a gépi döntésben való túlzott megbízás is befolyásolja az ember-gép alapú mesterséges intelligenciára támaszkodó döntések helyességét. A gépi döntéssel szembeni viselkedést számos emberi és a döntés közvetlen környezetében fennálló tényező is befolyásolja.

Látjuk tehát, hogy a gazdaságok döntéshozó pozícióban levő vezetőinek elköteleződése, a döntéshozási folyamat egyes kognitív tényezői és a negatív (esetleg már tapasztalatokon alapuló) hiedelmek fontos szereppel bírnak a technológia terjedésében, amikor a gazdálkodók intelligens technológiai alkalmazásához való viszonyulását vizsgáljuk. Tanulmányunk témájában további fontos humán szempont az a gazdálkodói „felelősségérzet”, amely alapján az ember és állata közötti kapcsolat fontosságát, valamint a gazda állataiért való felelősségét előbbre valónak helyezi a gépi megfigyelésre hagyatkozással szemben (Schillings et al., 2021, idézi Akinyemi et al., 2023).

A hazai gazdálkodók okostechnológiák és adatalapú döntéshozási megoldások iránt tanúsított affinitásáról több tanulmány született (a legáttekintőbb, az Agrárközgazdasági Intézet [AKI] kutatásának első eredményei: Tikász, 2023). Ezeknek alapvetően a célja és eredménye annak feltárása volt, hogy mennyire elterjedtek különböző okostechnológiák, -eszközök és menedzsmentrendszerek, mik ezek használatának technikai gátjai, és esetenként megfogalmazták az adatalapú eszközökben „jobban bízó” gazdálkodói csoportok tipikus képviselőit (pl. Barna et al., 2020). Nem vizsgálták azonban az adatalapú döntéshozási megoldások iránti affinitás közvetlen megnyilvánulása (pl. kifogások a beruházás megvalósításával szemben) és a technológiába vetett bizalom kapcsolatát, még kevésbé

az adatokra alapozott saját döntéseikhez való viszonyt. Mindennek ellenére indokoltnak találtuk, hogy jelen kutatásunkban a nemzetközi szakirodalomból származó megfigyeléseket, eredményeket összevessük az okoseszközök hazai használatának, az állattartó gazdaságokban való elterjedésével kapcsolatos tényezők vizsgálatát célzó AKI-kutatás megállapításaival.

KUTATÁSI KÉRDÉSEK

A jelen tanulmány vizsgálati kérdése egyrészt az, hogy

- az állattartó gazdálkodóknak a mesterséges intelligenciát alkalmazó döntéstámogató, információs rendszerekhez való viszonya alapján milyen kihívásokat azonosíthatunk az okostechnológiák iránti bizalom terén, így azok elterjedésének gátjaként,
- valamint az, hogy a PLF-technológia bevezetésének hatására a termelés hatékonyságában, fenntarthatóságában milyen előrehaladást fogalmaznak meg, ismernek el mint a bevezetés mellett szóló motivációs szempontokat.

A kutatás kérdéseire nemzetközi szakirodalom alapján kerestük a választ, amelyet összevetettünk a hazai legnagyobb, témában folytatott kutatás első eredményeivel. A téma feldolgozása során megnevezünk olyan területeket, amelyek a gazdálkodókat érdeklik, ahol döntéseiket mesterséges intelligenciát alkalmazó számítógépes információs rendszerek támogatják.

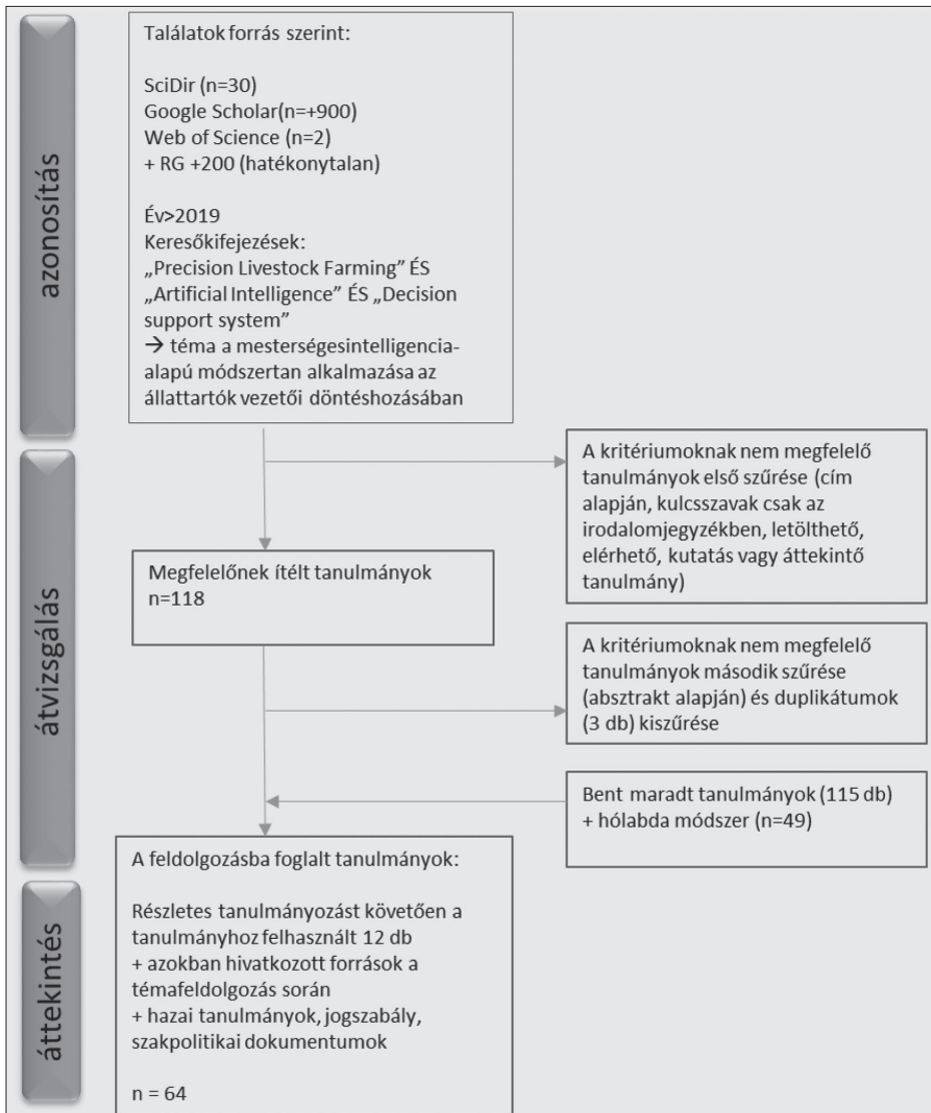
ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

A kutatást három szakfolyóiratcikk-adatbázison futó keresőmotorral (Elsevier, Google Scholar és Web of Science), valamint a Research Gate felületen elérhető szürke források felhasználásával végeztük.

A három keresőkifejezés a „Precision Livestock Farming” ÉS „artificial intelligence” ÉS „Decision support system” volt, amellyel azokra a cikkekre szűkítettük a találatokat, amelyekben várhatóan a téma a

3. ábra

A feldolgozott tanulmányok kiválasztási rendszere és folyamata
(The flow of documents from identification to inclusion stages)



Forrás: saját szerkesztés

mesterségesintelligencia-alapú módszertan alkalmazása az állattartók vezetői döntéshozásában. A szakirodalom-feldolgozás a PRISMA módszertant követte.

A találati listáról azokat a cikkeket használtuk fel, amelyek kutatási vagy áttekintő

szakcikk voltak, elérhetők a MATE open access megállapodásain keresztül, és teljes terjedelemben letölthetőek voltak. A duplikátumok eltávolítása és a RG keresési eredmények közül a relevánsak megtartása után 118 tanulmányt töltöttünk le a Zotero re-

ferenciamentedzser-rendszerbe. Ezek közül az összefoglalók vizsgálata alapján, illetve a nem teljes terjedelemben elérhető kizárása (30 db) után a jelen tanulmányhoz 12 olyan tanulmányt használtunk, amely a gazdálkodók motivációját, adataalapú döntéshozáshoz való viszonyát (is) vizsgálta.

Így kifejezetten a mesterséges intelligenciával támogatott, az állattartáshoz kapcsolódó döntéshozással kapcsolatos motivációk, illetve affinitás témakörben megjelent szakcikket dolgoztuk fel. Tanulmányunk a hazai szakirodalom tekintetében hiánypótló, így hozzájárul a témában meglévő jelenlegi tudásunk rendszerezéséhez, öszszefoglalásához is.

EREDMÉNYEK

A kutatási kérdésekhez kapcsolódóan az alábbi témakörökre bontjuk a gazdálkodók motivációit vizsgáló szakirodalmakból származó eredményeinket:

(1) Döntéstámogatás területei az állattartásban

(2) Az állattartók számára fontos gazdálkodási információk területe

(3) Módszertan, algoritmusok, eszközök

(4) A technológia elterjedésének főbb gátló tényezői

(5) A gazdálkodók és az állati termék-előállítási értéklánc szereplői számára kézzelfogható előnyök

A döntéstámogatás területei az állattartásban

A következőkben azt mutatjuk be (1. táblázat), hogy mely döntéshozási területeken vizsgálták kutatások a gazdálkodók által tapasztalt előnyöket vagy hozzáállásukat, motivációikat az állattartás, -tenyésztés során a mesterséges intelligenciára támaszkodó eszközök alkalmazásában.

A gazdálkodói motivációkra és a döntéshozásban alkalmazott mesterséges intelligencia adta lehetőségekhez való viszonyulásokra vonatkozó vizsgálatok alapján az alábbi alkalmazási területek nevezhetők meg:

(1) Általánosan az adatelemzéshez kapcsolódó technológiák területe, a menedzmentzónák meghatározása, általában a döntéstámogató rendszerek (DSS) használata és gazdaságirányítási információs rendszerek (Farm Management Systems, FMS) (Dayioglu és Turker, 2021; Liakos et al., 2018).

(2) Tenyésztési modellek kialakítása az adatbányászat módszerei segítségével. Míg korábban a gazdák és a tenyésztők bizonyos fizikai jellemzők alapján választották ki a továbbszaporításra jelölt állatokat, az adatbányászat lehetővé teszi a rejtett minták feltárását az adatok kapcsolatának jobb megértése érdekében, a megfelelő

I. táblázat

A döntéstámogatás területei az állattartásban a vizsgálat vonatkozásában
(*Decision support areas of animal production management in the scope of the study*)

Döntéshozási területek	Eszközök, eszközsrendszerek
menedzmentzónák, döntéstámogató információs rendszerek	általánosan vett adatelemzési technológiák
tenyésztési modellek	adatbányászati eszköztár
tejtermelési szakértői rendszerek (egészségmenedzment, takarmányozás)	mesterséges neurális háló, fuzzy logika
intelligens gazdálkodás és integrált megközelítés	innovatív (technológiai) fejlesztés, info-kommunikációs technológia és azon alapuló rendszerek

Forrás: saját szerkesztés

modellek kialakítása céljából (Balhara et al., 2021).

(3) Mesterséges neurális hálózaton (ANN) és fuzzy logikán alapuló tejtermelési szakértői rendszerek. A mesterséges intelligencia kifejlesztésére irányuló legkorábbi erőfeszítések az állatállomány termelékenységének javítását célzó átfogó tenyésztési terv köré összpontosítottak. Az állattenyésztési rendszereket nagymértékben befolyásolják a betegségek, és ez szükségessé tette a betegségek diagnosztizálására és felügyeletére szolgáló szakértői rendszerek kifejlesztését. A takarmányozás irányítása egy másik terület, ahol a szakértői rendszerekre nagy szükség van, mivel az állattenyésztésben ez a tevékenység teszi ki az ismétlődő költségek legnagyobb részét (Balhara et al., 2021).

(4) Innováció az intelligens gazdálkodásban (Smart Farming, SF), ezen belül az információ-kommunikációs technika (IKT) alkalmazása a mezőgazdaságban. Ezek a technológiák adatokra támaszkodnak, és az internettől függenek. Az IKT mezőgazdasági tevékenységekben való alkalmazása innovációt jelent. Innovatív technológiák példái az érzékelők, a robotok, az időjárási műholdak (Van der Burg et al., 2019, idézi Micle et al., 2021). Ezen adatok összegyűjtésével és elemzésével a termelési folyamatok hatékonysága növekszik, így az összes érintett szereplő – a gazdálkodók, a vállalatok és az intézmények – motivált abban, hogy együttműködjenek az innovatív technológiák használatában (Bacco et al., 2019, idézi Micle et al., 2021).

Az állattartók számára fontos gazdálkodási információk területe

Liakos és munkatársai (2018) a gépi tanulási eljárásokat alkalmazó, az agrártermeléshez kötődő mintegy 120 tanulmány körét vizsgálva megállapította, hogy a megjelent kutatások 17%-a tartozik az állattartás és állati termék-előállítás menedzsmentjének témaköréhez.

Az alábbiakban azokat az MI- (mesterséges intelligencia) algoritmusokat alkalmazó gazdálkodás-információs területeket soroljuk fel (2. táblázat), amelyekben a gazdálkodók általánosságban vagy specifikusan (adott gazdasági/termelési adatok, információk tekintetében) érdekeltek, valamint a kutatások vizsgálták ezekhez a rendszerekhez való viszonyulásukat.

(1) Állománymonitoring. A gazdasági állatok viselkedésének szemmel történő teljes megfigyelése általában nem kivitelezhető. A gazdák általában a termelési szempontokra összpontosítanak, de ahogy a gazdaság méretei nőnek, úgy csökken az egyes állategyedekre irányuló figyelem (Meen et al., 2015, idézi Mahmud et al., 2021). Egy gazdaságirányítási információs rendszer az adatok segítségével megkönnyíti a gazdák számára a helyes döntések meghozatalát. Ezek az információk lehetővé teszik az állatok szükségleteinek meghatározását, és egyénre szabott figyelmet biztosítanak a termelés javítása érdekében (Banhazi és Black, 2009, idézi Mahmud et al., 2021). Az adatok és a döntéstámogató funkciók teljes körű kihasználása érdekében különböző mesterséges intelligencia/tanuló algoritmusok építhetők be a döntéshozatali folyamatok automatizálásának biztosítására (Banhazi et al., 2012, idézi Mahmud et al., 2021).

(2) Szelekció. A modern tejelő állatokat olyan tulajdonságokra szelektálják, amelyek közvetlenül vagy közvetve hozzájárulnak a magas tejtermeléshez. A kutatók és a gazdaságok vezetői a „takarmányátalakítási hatékonyság” fogalmát alkalmazzák a tejtermelésben a hatékony tejtermelő állatok felismerése és tenyésztése érdekében (Balhara et al., 2021).

(3) Döntéstámogató rendszerek az állattenyésztésben. A döntéstámogató rendszerek számítógépes modellek segítségével segítik a döntéselőkészítést a döntéshozatali folyamatokban a problémák azonosítása és megoldása érdekében (Burstein és

Holsapple, 2008, idézi Balhara et al., 2021). A döntéstámogató rendszerek alapvetően a jelenlegi vagy múltbeli adatokból történő ismeretszerzés elvén működnek, amelyet a logikus döntéshozatalhoz megfelelő algoritmus létrehozása követ a rendszerben felmerülő problémák azonosítása és megoldása érdekében (Zörög, 2019).

(4) Egészségügyi kockázat kezelése. Tejelő szarvasmarhák egészségügyi menedzsmentjében alkalmazott döntéstámogató rendszer kifejlesztésére használják a számítógépes intelligenciát (Pimpa et al., 2019, idézi Balhara et al., 2021). Az állatokat három kockázati osztályba sorolja a rendszer a termelt tej minősége alapján (nem problémás, felügyeletet igénylő és kockázati). Az egészségi állapot nyomon követésére szolgáló precíziós megoldásokat Bianchi et al. (2022) tanulmánya szerint is kiemelt helyen említik a gazdálkodók.

(5) Szaporodásbiológiai állapot nyomon követése. Ami az új PLF-megoldások bevezetésére való hajlandóságot illeti, a gazdálkodók számára a szaporodásbiológiai és a tejtermelésre vonatkozó nyomon követés a legérdekesebb egy olasz tartomány tejtermelő gazdálkodóinak 79%-át lefedő vizsgálat szerint (Bianchi et al., 2022).

(6) Takarmánytömeg előrejelzése. A takarmánynövény száraztömegének előrejelzésére a termőterületről gyűjtött adatok és a meteorológiai adatok alapján készítették döntéstámogató rendszert neurális hálózat segítségével, amely hatékony modellnek bizonyult (Balhara et al., 2021).

(7) Egyedi viselkedésmonitorozás. A bivalyok viselkedésének megfigyelésére alapozva egyedi döntéstámogató rendszert fejlesztettek a csendes ösztusz felismerése céljából, amely rendszer a hangképzés (különböző akusztikus jellemzőinek) küszöbértékein alapul (Devi et al., 2019, idézi Balhara et al., 2021). A takarmányfelvétel mintázatának ismerete is jellemző és gazdálkodói szempontból fontosnak ítélt viselkedésmonitorozási gyakorlat (Bianchi et al.,

2. táblázat

MI-algortimusokat alkalmazó specifikus gazdálkodási területek
(Specific management areas applying AI algorithms)

Gazdálkodás-információs rendszerek	
Alkalmazási területe	Célja
(1) Állomány-monitoring	gazdaság méretből adódóan nem lehetséges az állomány egyedenkénti megfigyelése
(2) Állományselekción	szелеkción a takarmányhasznosítás növelése érdekében
(3) Döntéstámogató rendszerek	döntéshozatalhoz jelenlegi vagy múltbeli adatokból történő ismeretszerzés alapján
(4) Egészségügyi kockázat kezelése	különböző egészségügyi kockázati csoportok az egészségi állapot nyomon követésére
	Eszközei
	gazdaságirányítási információs rendszerbe épített döntéstámogató algoritmusok
	termelési és takarmányfelvételi adatokra alapuló modellek
	számítógépes modellek a döntéshozatalhoz és döntéshozatali folyamatokban a problémák azonosítása és megoldása érdekében
	egyes viselkedésmegfigyelés, tejmínőségi paraméterek alapján előrejelzés vagy riasztás

Gazdálkodás-információs rendszerek		
Alkalmazási területe	Célja	Eszközei
(5) Szaporodásbiológia	leginkább fontos a szaporodásbiológiai állapot nyomon követése	innovatív PLF-megoldások bevezetése
(6) Takarmánytömeg előrejelzése	száraztömeg előrejelzésére	termőterületről gyűjtött adatok és a meteorológiai adatok alapján neurális háló modell
(7) Egyedi viselkedésmonitorozás	gazdasági hatékonyság növelése számos területen: egészség, állati jólét, optimális vágásértsétség, szaporodásbiológiai állapot (tojtyúk, tejelő szarvasmarha, húsmarha, bivaly)	előrejelzési és/vagy riasztási modellek az időben történő beavatkozás érdekében
(8) Küllemi bírálat	bíráló helyettesítése a tejelő szarvasmarhák esetében	12 küllemi tulajdonság alapján lineáris szakértői rendszer
(9) Selejtezési döntések támogatása	tejlő tehének tenyésztésben tartásának meg alapozása	szaporodási paraméterek és tejhozam-nyilvántartási adatok alapján fuzzy logikán alapuló döntéstámogató rendszer
(10) Biztonságos élelmiszer-előállítás	az állatok teljesítményének, termelési tényezőknél az optimalizálása, a munkaerőigény csökkentése, a gazdálkodás körülményeinek javítása és a mezőgazdaság környezetre gyakorolt negatív hatásainak csökkentése	digitális technológiák, a mesterséges intelligencia, a big data és a robotika a folyamatok racionalizálása érdekében
(11) Gazdasági eredményesség	gazdasági megtérülés és környezetterhelés csökkentésének becslése intelligens szarvasmarhatartás eszközei esetén	üzleti folyamatok, illetve robotizált folyamatoptimalizáláson keresztül
(12) Legelőváltás	automatizált támogatása	mobilitás automatizálása és kondíció-megfigyelés 3D gépi tanulással kamerarendszerrel
(13) – (14) Okos eszközök területei	istállóklímatis viszonyok monitorozására, a takarmányozáshoz kapcsolódóan és használatok egészségügyi és szaporodásbiológiai állapotának, viselkedésének megfigyelésére	PLF- és intelligens (IoT) eszközök rendszere, adagyűjtés és info-kommunikáció
(15) Tudatos élelmiszer-fogyasztás.	állati eredetű élelmiszer-alapanyag minőség és mennyiségi ki-egyenlítősségének javítása, fogyasztói elköteleződés növelése a nyomon követés segítségével innovatív piaci lehetőségek	big data az élelmiszer-előállítási láncban, eredetmegjelölés, értékesítési platformok kialakítását segíti a digitális alapú termelés és értékesítés

Forrás: saját szerkesztés

2022). Az adatalapú döntéstámogatási rendszerek megoldást nyújtanak az egészség és jóllét értékelésének fontos mutatóinak megfigyelésére; ilyenek a takarmány- és vízfelvétel, a tojástermelés és -minőség, a tojótúkok hangja, aktivitása és mozgása (Veen et al., 2023). Szarvasmarha fajban ide tartozik az ösztrusz és takarmányfelvétel megváltozásának megfigyelése tejelő szarvasmarha-állományban (Dutta et al., 2015, idézi Liakos et al., 2018), illetve borjak kérődzésének megfigyelése (Pegorini et al., 2015, idézi Liakos et al., 2018) és a legelőállatok mozgásával, viselkedésével kapcsolatos monitorozás (Matthews et al., 2017, idézi Liakos et al., 2018). A termeléshez kötődő állategyedekre jellemző adatok, pl. a bendőfermentáció monitorozása (tejtermelés) (Craninx et al., 2008, idézi Liakos et al., 2018), a szarvasmarhatesttömeg megfigyelése (húsertékesítő képesség) (Alonso et al., 2013, idézi Liakos et al., 2018) és a vágási tömeg előrejelzése (150 nappal a vágás előtt) (Alonso et al., 2015, idézi Liakos et al., 2018) a gazdasági eredményesség javulásához járulnak hozzá. Sertések esetében arcfelismerő rendszer az egyedi azonosítást támogatja, tojótúkoknál pedig a szokásostól eltérő viselkedés időben történő feltárása (Morales et al., 2016, idézi Liakos et al., 2018) a termelés folyamatos, gazdaságos fenntartását segíti.

(8) Küllemi bírálat. Iránban adatbányászati alkalmazásokra épülő szakértői rendszert teszteltek a bíráló helyettesítésére a tejelő szarvasmarhák esetében 12 tulajdonság alapján (mellkasszélesség, elülső tőgymegerősítés, ágyék, függesztőszalag, szögletesség, tőgymélység, hátsó láb oldalnézet, elülső tőgy elhelyezés, hátsó láb hátulnézet, hátsó tőgy elhelyezés, lábszög és testmélység), lineáris megközelítéssel (Alizadeh et al., 2008, idézi Balhara et al., 2021).

(9) Selejteztámogatás. Előzőhöz hasonló rendszert fejlesztettek ki fuzzy logikán alapuló döntéstámogató rendszerként

Holstein Fríz tehének szaporodási paramétereinek és tejhozam-nyilvántartásainak felhasználásával (Akilli et al., 2015, idézi Balhara et al., 2021) a 305 napra korrigált tejhozam (305 DMY), szervizidőszak (SP), ellési intervallum (CI), mesterséges termékenyítés (AI) és száraz időszak (DP) mint bemeneti paraméterek felhasználásával. A döntéstámogató rendszer kimeneti paramétere az osztályozási döntés, amely a szakértői döntéssel nagyon jól korrelált.

(10) Biztonságos élelmiszer-előállítás. A biztonságos élelmiszerek előállítását támogathatják, segíthetik a folyamatok racionalizálását, valamint új termékek és szolgáltatások létrehozását az olyan digitális technológiák, mint a mesterséges intelligencia, a big data és a robotika. E digitális technológiák használatának előnyei ismeretek a gazdálkodók számára, és magukban foglalhatják az állatok teljesítményének, a termelési tényezőknek az optimalizálását, a munkaerőigény csökkentését, a mezőgazdasági vertikum adatáramlását, a gazdálkodás körülményeinek javítását és a mezőgazdaság környezetre gyakorolt negatív hatásainak csökkentését (Grădinaru et al., 2015, idézi Micle et al., 2021).

(11) Gazdasági eredményesség. Gazdaságossági és megtérülési kérdéseket vizsgálták (Matei et al., 2020, idézi Micle et al., 2021) a mesterséges intelligenciát (AI), a robotizált folyamatautomatizálást (RPA) és a dolgok internetét (IoT) integráló intelligens szarvasmarhatartási módszereket alkalmazó befektetések esetén Romániában. A piacon elérhető technológiák alkalmazása által a gazdálkodás nyereségességére, eredményére és a környezetterhelés csökkentésére gyakorolt hatást értékelték. A mesterséges intelligenciával támogatott robotizált folyamatautomatizálás (RPA) IoT-val kombinálva az üzleti folyamatok automatizálásának irányába hat, amelynek célja az ismétlődő munka terheinek csökkentése a szarvasmarhatelepeken (Micle et al., 2021).

(12) Legelőváltás automatizált támogatása. Mintegy tucat tejtermelő tehenészetben a mobilitásautomatizálásban és a kondíció megfigyelésére alkalmazott 3D gépi tanulásos kamera támogatásának eredményességét, megbízhatóságát vizsgálták Angliában (Schillings et al., 2023).

(13) Hazai állattartó gazdaságok okoseszközeinek alkalmazási területei. Az Agrárközgazdasági Intézet hazai felméréseinek első eredményei (Tikász, 2023) alapján az istállózott állattartásban elsősorban az istállóklimatikus viszonyok monitorozására, másodsorban a takarmányozáshoz kapcsolódó folyamatok során és csak harmadsorban a haszonállatok egészségi állapotának, viselkedésének megfigyelésére hasznosítják az okotechnológiákat – függetlenül a vizsgált állatfajtól.

(14) Nemzetközi, tejtermelő gazdaságok (mesterséges intelligenciával támogatott) okoseszközeinek alkalmazási területei. Külföldi gazdálkodókra vonatkozó felmérés alapján a tejtermelésben legelterjedtebb cél a szaporodásbiológia menedzsmentjének támogatása és a tejhozam monitorozása, ezeket követi a takarmányfelvétel precíziós megoldásainak használata és az egészségi állapot megfigyelése az okos döntéstámogatás érdekében alkalmazott precíziós eszközök használatában (Bianchi et al., 2022).

(15) Tudatos étel-miszer-fogyasztás. Az étel-miszer-előállítás folyamat során hozott döntések adatalapúvá válása a végfelhasználók és fogyasztók elvárásainak való megfelelést, a megelégedettséget támogathatja az alábbi területeken (Serazetdinova et al., 2019):

- Hatékonyságfejlesztés. Az állati eredetű étel-miszer-alapanyag minőségi és mennyiségi kiegyenlítetlensége a hatékonyság és az üzleti érték csökkenéséhez vezethet. A big data értéket teremthet a gazdálkodók számára, ha beépítik azt a döntéstámogató eszközökbe, az étel-miszer-előállítási lánc gyenge pontjainak azonosítása érdekében.

- Fogyasztói elköteleződés növelése. Az adatok hozzájárulhatnak a fogyasztók bizalmának és biztonságának növeléséhez azáltal, hogy támogatják a termék eredetjelölését és azoknak a körülményeknek a nyomon követését, amelyek között a termékeket forgalomba hozták.

- Innovatív piaci lehetőségek. A digitális technológiák elősegíthetik az online kereskedelmi platformok vagy virtuális online szövetkezetek kialakítását, segíthetnek abban is, hogy az étel-miszerpiac megnyíljon a kisebb gazdaságok és étel-miszer-termelők előtt, lehetővé téve számukra a közvetlen értékesítést és a meglévő fő értékesítési csatornák megkerülését.

Módszertan és algoritmusok a döntéstámogató rendszerekben

Egy összefoglaló tanulmány (Shine és Murphy, 2022) a tejtermelő tehenészetek esetében a gépi tanulás módszerekről szóló publikációkat 20 évre kiterjedően megvizsgálva megállapította, hogy 2018 óta ötszörösére növekedett a neurális hálózati algoritmusokat alkalmazó publikációk száma, szemben a döntési fa algoritmusok és a statisztikai regressziós algoritmusok használatának háromszoros növekedésével.

A tanulmányunk céljai között szerepelt azoknak a mesterségesintelligencia-eljárásoknak, módszereknek az összegyűjtése (3. táblázat), amelyeket azok az intelligens technológiák alkalmaznak, amelyekre vonatkozóan kutatások vizsgálták a gazdálkodói elfogadottságot, a döntéstámogatói hatékonyságuk iránti bizalmat, illetve várakozást.

(1) A mélytanuláson alapuló eljárásokat – általánosságban – a precíziós termelés döntéstámogató eszközeiként azonosítják az állattenyésztésben (Mahmud et al., 2021).

(2) Többféle mélytanulási modell alkalmaznak különböző problémák megoldására, ezek többnyire a szarvasmarhák egészségével és azonosításával kapcsolatosak (Mahmud et al., 2021). A szarvas-

3. táblázat

MI-algoritmusok alkalmazásának területei
(Applications of AI algorithms in the scope of the study)

Alkalmazási területe az állati termék-előállításban	Eljárások, modellek megnevezése
egyedi azonosítás és az egészségi állapot monitorozása (több állatfaj)	mélytanulási modellek, pl. CNN, LSTM, RCNN, F-RCNN, ResNet
képi vagy videóalapú távoli monitoring rendszerek működése (több állatfaj)	mélytanulási modellek (egyedről gyűjtött adatok és légi felvételek, környezeti adatok beépítésével is), klasszifikáció és döntési fa alapú eljárások
bendőfermentáció és tej zsírsavösszetételének összefüggése (szarvasmarha)	ANN-alapú előrejelzés
tojtyúk viselkedésének monitorozása és legelőn tartott szarvasmarha vágási testtömegének előrejelzése	SVM-eljárás
egyedi arcfelismerő rendszer (képi adatgyűjtés) (sertés)	CNN
szakértői rendszer tejelő szarvasmarha értékmérő tulajdonságainak előrejelzése, baromfitakarmány összeállítása, tőgygyulladás nyomon követése, sántaság előrejelzése	ANN és fuzzy logika
küllemi bírálat bizonytalanságának javítása, selejtezés szakértői döntéstámogatása, egészségügyi kockázati monitoring (szarvasmarhánál)	fuzzy logika
takarmánytömeg előrejelzése	LSTM NN
csendes ősztrusz felismerése (bivaly)	osztályozás (J48 és C4.5 algoritmusok)

Forrás: saját szerkesztés

marhatartásban az egyedi azonosítás és az egészségi állapot monitorozása területén 20 különböző mélytanulási modell terjedt el. A konvolúciós neurális hálózatok (CNN) a többihez képest leginkább elfogadott modell. A hosszú rövid távú memóriát (Long Short-Term Memory LSTM), a maszk-régió alapú konvolúciós neurális hálózatokat (Mask-Region Based Convolutional Neural Networks Mask-RCNN) és a gyorsabb RCNN-t (Faster-RCNN) is alkalmazzák ezekre a funkciókra. A tanuló hálózatok közül messze a ResNet a legelterjedtebb (Mahmud et al., 2021).

(3) Eredmény előrejelzésére és a döntéshozatal támogatására használják az előrejelzési modelleket, amelyek algoritmus és a betanított paraméterek alapján működnek. Az eljárások mintegy tucatnyi paramétert alkalmaznak, ebből hetet több mint öt vizsgált modell is (Mahmud et al., 2021).

(4) Mélytanulási algoritmusok támogatják a kép- vagy videóalapú távoli monitor-

ing rendszerek működését, a döntéshozás támogatását (Mahmud et al., 2021, Liakos et al., 2018). Ezekben a rendszerekben a modellekhez földfelszíni (pl. egyedi azonosítás) és távoli megfigyelésre alkalmas eszközöket is kombinálnak, pl. legelőre alapozott szarvasmarhatartás esetén, illetve sertések mozgáskövetésében (Gauss Mixture Model). Több olyan modellt is alkalmaznak a légi monitoringrendszerek, ahol a fentiek kívül légi megfigyelésű adatgyűjtést is integrálnak (RGB, RGBMélység, RGB NIR és termikus alapú szenzorok). Néhány eljárás további környezeti adatokat is felhasznál, pl. LiDAR, hőmérséklet-, nyomás- és buborékaktivitás-érzékelőktől származó adatokat (Mahmud et al., 2021). A mélytanulási eszközöket szarvasmarha esetében a mozgás megváltozásának (klasszifikációs eljárás) és borjak kérődzési mintázatának (döntési fa eljárás) megfigyelésével gyűjtött adatokra alkalmaznak sikeresen.

(5) Mesterséges neurális hálózat modell

(ANN) a bendőfermentáció egészségének a termelt tej zsírsavösszetételén alapuló előrejelzését támogatja hatékonyan.

(6) SVM (Support Vector Machines) eljárással eredményesen monitorozzák a tojótyúk viselkedését és jelzik előre a legelőn tartott szarvasmarhák vágási testtömegét.

(7) Sertések arcfelismerő rendszerében CNNs (Convolutional Neural Network) eljárásokkal dolgozzák fel a készített képeket.

(8) Tejttermelésben alkalmazott szakértői rendszer a mesterséges neurális hálózatok (ANN) és a fuzzy-logikán alapuló többretegű modellel sikeresen jelzi előre tejelő szarvasmarhák értékmérő tulajdonságait (Balhara et al., 2021), illetve a baromfita-kormány összeállítását (Aderounmu et al., 2013, idézi Balhara et al., 2021). Ugyancsak fuzzy rendszer támogatja a tőgygyulladás nyomon követést (Cavero et al., 2006, idézi Balhara et al., 2021), illetve hasonlóan ANN és neuro-fuzzy modell küld riasztást a szubklinikai mastitis státuszba került (Holstein fríz) egyedről (Mammadova és Keskin, 2015, DeMol és Woldt 2001, idézi Balhara et al., 2021). Neurális háló modellel sikeresen sorolható be bemeneti változók alapján Murrah bivalyok (Panchal et al., 2016, idézi Balhara et al., 2021) klinikai állapota. A fuzzylogika-alapú eljárás másik sikeres területe a sántaság felismerése akár három nappal a fizikai megfigyelést megelőzően (Warner et al., 2020, idézi Balhara et al., 2021).

(9) Apriori algoritmus előzetes asszociációk feltárására mesterséges neurális hálózat (ANN), lineáris modellek, illetve szimulációs modellek gyakoriak a különböző kereskedelmi forgalomban is kapható döntéstámogató, számítógépes, információs menedzsmentrendszerekben.

(10) Adatbányászati alkalmazás lineáris modellje szakértői rendszerként eredményes küllemi bírálatban (tejelő teheneknél, 12 változó alapján) (Alizadeh et al., 2008, idézi Balhara et al., 2021). A fuzzy logika ebben a rendszerben az automatikus

bírálat bizonytalanságának kiküszöbölésére alkalmazzák. Ugyancsak fuzzylogika-alapú szakértői döntéstámogató rendszer támogatja Holstein tehének osztályozását reprodukciós és tejtermelési paraméterei alapján (Akilli et al., 2015, idézi Balhara et al., 2021), illetve egészségügyi menedzsmentjét (Pimpa et al., 2019, idézi Balhara et al., 2021).

(11) A hosszú rövid távú memórián (LSTM) alapuló NN-alapú döntéstámogató rendszer (Schulte et al., 2019, idézi Balhara et al., 2021) a takarmánytömeget közvetlenül a legelőnövekedésről gyűjtött korábbi adatok és a meteorológiai adatokkal való társítás alapján jelzi előre.

(12) J48 osztályozó gépi tanulási technikák és a C4.5 algoritmus segítségével fejlesztettek ki a bivalyok csendes ösztrozának felismerésére (Devi et al., 2019, idézi Balhara et al., 2021) egy egyedi döntéstámogató rendszert.

A technológia elterjedését gátló főbb tényezők

A mesterséges intelligenciát alkalmazó okos állattartási technológiák elterjedésével kapcsolatban fizikai, illetve technológiai és emberi tényezőket is feltártak azok a tanulmányok, amely az adatalapú döntéstámogatás gazdálkodói elfogadottságát is vizsgálták. A kutatásunk szempontjából egyaránt jelentőséggel bír, hogy az állattartó gazdaságokban, üzemekben az adatalapú döntéstámogatás elfogadottságát, hasznosulását és így az ezektől a rendszerektől várt eredményesség javulást milyen emberi tényezők és technológiai korlátok akadályozzák.

(1) A mesterséges intelligenciával támogatott, képi feldolgozásra alapuló döntéstámogató rendszerek használata kétségkívül növekszik, de vannak olyan műszaki körülmények, amelyek az elterjedés gátjaként hatnak. A legtöbb kihívást a képminőség, az adatfeldolgozás sebessége, az adathalmaz mérete, a redundáns információ és az

adatgyűjtések során az egyedek mozgása jelentette (Mahmud et al., 2021).

(2) Nemcsak a technológiai korlátok, hanem az emberi oldal, az újdonságok elfogadására való hajlam is limitáló tényező lehet a mesterséges intelligenciával támogatott döntéstámogató rendszerek terjedésében. Az agrárszereplők, a vállalkozói szektor nyitottak az IKT-megoldások felé egy romániai projekt eredményei alapján, de a gazdaság vagy a vállalat sajátosságaihoz igazodó megoldásokra van szükségük. Feltárták, hogy az informatikai projektek vezetőinek nehézségekbe ütközik a vállalkozások számára megfelelő IKT-megoldások elfogadása. Lassú átmenet figyelhető meg az agrár-élelmiszeripari vállalatok felé. Olyan platformokat javasolnak a szakemberek, kutatók, ahol az IKT-cégek áthidalhatóvá tudják tenni az innováció és a gazdálkodók közötti szakadékat (Mahmud et al., 2021).

(3) Jelenleg az intelligens mezőgazdaság bevezetését fontolgató gazdálkodók azzal szembesülnek, hogy hiányoznak a mezőgazdasági adatok gyűjtését, megosztását és felhasználását szabályozó jogi és szabályozási keretek (Wiseman et al., 2019, idézi Micle et al., 2021). Ezt a hátrányt több szerző is megnevezi a gazdálkodók mesterséges intelligenciával támogatott döntéshozását vizsgálva (pl. Akinyemi et al., 2023, Schillings, et al., 2023).

(4) A jogszabályi háttér hiányosságai, az adattulajdoni viszony rendezetlensége mellett olyan tényezők is zavarhatják az adat-alapú alkalmazásokat hasznosító projektek indítását, mint a beszállítók nagy száma és a sokféle szabadalmaztatott technológia, az egyes IKT-elemek közötti adatmegosztás nem megfelelőse, a szoftver- és hardverlicenck hátrányai, a szellemi tulajdonhoz való jog kérdései, a technológia alacsony elfogadottsága és a magas költségek, a rövid bevezetési idő és a technológiai megoldások gyors tanulási görbéje, ami nem hatékony modelleket eredményezhet. Ide sorolható, hogy a végfelhasználók igénye a technológia

lassú, fokozatos átvételére fékezi az elterjedés ütemét (Micle et al., 2021).

(5) Általánosságban megállapították a kognitív ismeretalkotás és döntéshozás folyamatával kapcsolatban, hogy bár a mesterséges intelligencia lehetővé teheti az „információs előnyt”, a valóban intelligens rendszereknek pufferniük kell a szűkös emberi kognitív erőforrásokat az információ-túlterheléssel szemben (Ward, 2023). A döntéshozás körülményei is hatással vannak az eredményességre. Az egyén döntésében való bizalmat és bizonyosságot, a döntéshozatalt bonyolíthatja, illetve csökkentheti is az elégedettséget, és rosszabb döntési kimeneteket eredményezhet, ha több információ és választási lehetőség áll rendelkezésre, és ráadásul rövid a döntéshozási idő. A döntéshozással kapcsolatos bizonyosságra gyakorolt negatív hatás függ a döntési környezetet és tényezőket változtatóságának szintjétől. A tájékozottság növekedésével csökkenhet az eredménytelenség irányában kifejtett hatásuk, de az tovább fokozódik, ha a döntések egyre fáradtságosabbak vagy összetettebbek.

(6) A 3D gépi tanulásra alapozott kamerás megfigyeléssel kapcsolatban is olyan negatív tényezőket soroltak fel a véleményező szakértők, mint az adattulajdon, a megbízhatóság és felhasználás körüli tisztázatlanság és annak lehetősége, hogy az adatok alapján adott gazdaságot büntetés érheti (pl. ha a technológia nem működik) (Schillings, et al., 2023).

(7) A mesterségesintelligencia-eljárások módszertani adottságai (pl. a tanuló adathalmaz vagy a döntési határvonal [threshold] korlátai), illetve ezen adottságokból adódó korlátok ismerete és a döntéshozásba kockázati tényezőkként és kockázatkezelési módszereként való beépítése a modellező szakemberek felelőssége. Ha ezt nem kezeli jól a modellezés, az esetleg pontatlan előrejelzések következményeként bizonytalan és bizalmatlan lesz a felhasználó, ami a módszertanok,

eljárások elterjedésének ellenében hat (Mahmud et al., 2021).

(8) A már említett, gazdálkodókat megkérdező olasz tanulmány megállapításai szerint a technológiai beruházásokat hátráltató tényezők közül a legtöbbször a költséget (a válaszok több mint 87%-a), majd az időhiányt és az adatok értelmezésének nehézségeit egyformán gyakran hozták szóba. A „PLF-megoldásokat gyártó vállalatok gyenge támogatása” és az „automatikus rendszerek gyenge megbízhatósága” szintén beruházási akadályként szerepelt (Bianchi et al., 2022).

(9) A rendelkezésre álló adatok a talaj- és időjárási viszonyoktól és az állatokkal kapcsolatos megfigyelésektől kezdve a termékminőségig és a fogyasztói preferenciáig több tudományágat átfogó mátrixot alkotnak. Az ilyen sokféle és hosszú időn keresztül gyűjtött adathalmazok elemzése és felhasználása kihívást jelent. A felhasználásból eredő tapasztalatok beépítése és a fejlesztések minőségi hozadékának mérése sem megoldott (Serazetdinova, et al., 2019). Különösen hátráltató tényező az ún. siló-mentalitás, amely azt jelenti, hogy a megosztásból és együttműködésből származó értékteremtési potenciál nem valósul meg, ami az ellátási láncban részt vevő emberek és szervezetek széles körének tudható be.

(10) Az adataalapú döntéstámogató rendszerekkel szembeni bizalmatlanság egyik további és jelentős tényezője, hogy a gazdálkodók számára jelentkező értéket még nem lehet egyértelműen bizonyítani. A gazdálkodók mindennapi tevékenységeik miatt túlterheltek, az új technológia (lehetőségeinek) megismerése is plusz feladatként jelentkezik, illetve sok gazdálkodó nincs is tisztában a beruházás üzleti indokaival, ami eleve csökkentheti az innovációba és az adatok felhasználásába való beruházási készségüket és lelkesedésüket (Serazetdinova, et al., 2019).

(11) Az agrár-élelmiszeripari ágazat szereplői számára az elfogadás egyik fő aka-

dálya az, hogy ezek a technológiák nem egyenlően hozzáférhetőek. Az adatvezérelt technológiák bevezetéséhez és teljes körű kiaknázásához rendelkezésre álló készségek korlátozottak, és hiányoznak a megfelelő képzéshez szükséges oktatók és oktatási források (Serazetdinova, et al., 2019).

(12) Hátráltató tényezőként fogalmazták meg azt a sajátosságot is, hogy hiányoznak azok a kereskedelmi forgalomban kapható és széles körben elismert döntéstámogató eszközök, amelyek segítenének bemutatni a nagy adat felhasználásának előnyeit. Emellett az adatok megosztására való hajlandóság, különösen az ellátási lánc több pontjára kiterjedő döntéstámogató eszközök fejlesztése esetén is negatívan fejti ki hatását. Nem világos azonban, hogy az adattulajdonosok hozzáállása vagy a megosztási lehetőségek hiánya-e a korlátozó tényező (Serazetdinova, et al., 2019).

(13) Az adatokat előállító és rendszerező mechanizmusok minőségellenőrzése néha megkérdőjelezhető. Az egyértelmű jogszabályok és szabályozások elengedhetetlenek, de nem feltétlenül léteznek (Serazetdinova, et al., 2019).

(14) A nemzetközi helyzetet vizsgáló tanulmányokban feltárt hátráltató tényezők az Agrárközgazdasági Intézet hazai gazdálkodókra vonatkozó vizsgálati eredményeiben (Tikász, 2023) is visszaköszön. A gazdálkodók okostechológiák iránti hozzáállásának felmérése alapján első helyen a rendszerek integrálhatóságával, másodsorban a fenntartási költségekkel és a vonatkozó szervizszolgáltatásokkal szemben kritikusak a megkérdezett gazdálkodók. Megoszlik a véleményük abban, hogy a munkaerő pótlásában megfelelő eszközök-e az okostechológiák. Közel 30%-uk szerint nem segítik a döntéshozást, vagy nem ismerik erre gyakorolt hatását. Ezen kívül a technológiákat használó gazdálkodók elégedetlenek az internetkapcsolattal, az eszközhasználat mellett az állatgondozók figyelmének fenntartásával, és az 5 leggyakoribb probléma között jelez-

ték, hogy a munkatársak nem képesek az adatok értelmezésére.

(15) Ma már nem kerül elő problémaként, de a korai rendszerekkel szemben felmerült, hogy nem voltak igazán felhasználóbarát konstrukciók (Liakos et al., 2018).

A gazdálkodók és az állati termék-előállítási értéklánc szereplői számára kézzelfogható előnyök

(1) A digitalizálási megoldások használatáról és korai bevezetéséről gyűjtött adatok alapján számszerűsíthető előrelépéseket fogalmaztak meg. A vizsgálat 7, tipikus romániai gazdaságot reprezentáló méretű (kb. 200 szarvasmarha, 350 ha takarmánytermő terület) gazdaságra terjedt ki. A szarvasmarhatartó gazdaságok számára az ún. dolgok internetére (IoT) épülő mesterséges intelligenciával támogatott robotizált folyamatautomatizáció elsősorban az ismételt munka terhének csökkentését célozhatja, és az üzleti folyamatok automatizálásán keresztül vezérelt. Az IoT egyszerűbbé teszi az adatgyűjtést, -elosztást és -elemzést. A hatékonyság és a könnyű használat gazdasági előnyt jelent (Micle et al., 2021). Fókuszcsoportos strukturálatlan interjú segítségével elemezték, hogy mely területeken előnyös a gazdák számára intelligens szarvasmarhatartási rendszerekbe való befektetés. A kiválasztott elsődleges teljesítménymutatókat elemezve azt vetítették előre, hogy a gazdaság jövedelmezősége 19 százalékkal, termelékenysége 21 százalékkal nő, és a gazdaság negatív környezeti hatása 22 százalékkal csökken. Az automatizálás és a távmunka segít minimalizálni a gazdaság dolgozóinak terhelését, miközben a vezérlőpanelek, a döntéshozatali fájlok és az adatelemzés is elérhetőbbé válna. Annak érdekében, hogy a terület a lehető legjobban prosperáljon, a gazdáknak tudatosítaniuk kell az új technológiák használatának előnyeit a közöttük és az informatikai (IT) megoldások szolgáltatói közötti szakadék áthidalása érdekében,

és ez mind a termelők, mind a technológiai szállítók folyamatos képzésével érhető el (Micle et al., 2021).

(2) A 3D (gépi tanulást alkalmazó) kamera állapotmegfigyelésre vonatkozó vizsgálatokban megállapították, hogy az átláthatóság növelése olyan előnyöket biztosít, amely a fogyasztói bizalomtól a menedzsment működésének hatékonyságáig pozitív hatást gyakorol. Az összehangoltabb adatgyűjtésben, így a tejszektor szereplőire vonatkozó méltányosság erősödésében (kifejezetten a sántaság prevalenciájának szempontjából) fogalmazták meg a nagyobb potenciál lehetőségét (Schillings et al., 2021).

(3) Ami az új PLF-megoldások bevezetésére való hajlandóságot illeti, a gazdálkodók számára a szaporodásbiológiai és a tejtermelésre vonatkozó nyomon követés elsődleges. A takarmányfelvétel és az egészségi állapot nyomon követésére szolgáló precíziós megoldásokat is gyakran említették. A gazdálkodóknak a precíziós megoldások hasznosságáról alkotott pozitív véleménye pozitív kapcsolatban állt az ellési időköz hosszával. Amikor a technológia bevezetésének hatásaként megfigyelt előnyökről kérdezték őket, a gazdálkodók 56%-a az „általános irányítás javulását”, 27%-a a „szaporodásirányítás javulását”, 18%-a pedig a „beavatkozások időszerűségét” jelölte meg (Bianchi et al., 2022).

(4) A hazai kutatás (Tikász, 2023) megerősíti, hogy a digitális megoldások nemzetközi kutatásokban azonosított gazdasági előnyei tapasztalhatók a hazai állattartásban is, azonban a fentiekkel nem egyező sorrendben fogadták el az előnyöket. Mivel az AKI kutatása nem az értéklánc teljes vertikumát (érdekképviselet, kutatók, élelmiszer-biztonsági hivatal stb.), csak az állattartókat vizsgálta, így nem meglepő, hogy az azonosított előnyök között első helyen sorolták a termelés hatékonyságának javulását. Második helyen az információszolgáltatást és átláthatóságot jelölték meg. A megkérdezett gazdálkodók 75%-a

egyértett a problémák korai felismerhetőségének előnyével, és mintegy kétharmaduk elégedett csak a mindennapi döntéshozatal támogatásával.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Napjaink globális környezeti érdekei, a gazdálkodási hatékonyság növelésének igénye és az ágazat jövedelem-előállító képességének javítása az állattartó, állati termék előállító gazdaságokkal szemben növekvő igény támaszt az adatalapú döntéstámogató rendszerek hatékony használatára. A Mezőgazdaság 4.0 és az Ipar 4.0 forradalma (a dolgok internete, a wireless kapcsolatok és integrált vállalati információs számítógépes rendszerek) a termeléssel kapcsolatos adatok korábban nem tapasztalt mennyiségét eredményezik. Az okosrendszerek terjedését a szakpolitikák is támogatják. A jövőben számítani kell a gazdáknak arra, hogy termeléssel és kibocsátással összefüggő adataikat monitorozni, esetenként kontrollálni és a gazdálkodási döntéseikben egyre fokozottabb mértékben használniuk kell. Az okostechnológiákba való beruházást befolyásoló egyes tényezők (pl. beruházási és fenntartási költség és szervizszolgáltatás) mellett jelenleg kihívást jelent és bizonytalanságot eredményez az adattulajdon és információfelhasználás jogi szabályozásának hiányossága, a mesterségesintelligencia-alapú eljárások, algoritmusok tanulási sajátosságaiból fakadó korlátok, illetve kockázatok kezelése, a termelőüzemben előállt adatok megfelelő értelmezésére vonatkozó ismeretek hiánya (fizikai dolgozók és a menedzsment szintjein is).

Tovább árnyalja a döntéstámogató rendszerek hatékonyságába vetett hit kérdését, hogy az emberi döntések a döntési helyzet pillanatnyi körülményeitől is függenek. A gazdálkodó (beruházó) szempontjából elengedhetetlen a megtérülés kérdése, amelyre konkrét vizsgálati adatokat a szakiro-

dalom sem említ. Egyes okostechnológiák bevezetésének korai szakaszában gyűjtött szakértői vélemények, illetve tapasztalatok 19–32%-os javulást becsülnek a termelési eredményességben, 80% feletti munkaidőmegtakarítást és a környezeti terhelés 22%-os csökkenését.

Hazai kutatások megerősítik, hogy a gazdálkodók bíznak a technológia termelési hatékonyságot javító képességében, illetve a problémák korai felismerésének előnyében. Ugyanakkor sok gazdaság esetében az okostechnológia bevezetésének infrastrukturális feltételei sem elérhetők. Az esetleges adatvesztések, a precíziós technológiáktól várt munkaerő-kiváltás elmaradása és a karbantartás előre nem látható terhei az adatalapú, okostechnológiák megítélését rontja. Azonban az intelligens eszközök használata, az adatok feldolgozása és értelmezése és a különböző mesterségesintelligencia-eljárások alkalmazása a gazdaság kibocsátásának elemzésében, előrejelzések készítésében és a termelés monitorozásában az erre nyitott gazdálkodók (és az értéklánc további szereplőinek) bevonásával a későbbiekben hatékonyabb, pontosabb, validált modellek kidolgozását és használatát teheti lehetővé, amely végső soron az állati termék-előállítás fenntarthatóságát javítja, ezzel az ENSZ által is kitűzött fenntarthatósági célok teljesülésének is alapját képezheti.

A tanulmány hipotézisére választ adva kijelenthető, hogy az adatalapú technológiák alkalmazásával szemben pozitívak a várakozások és a tapasztalatok, hatékony döntéstámogatás valósítható meg a mesterségesintelligencia-eljárások segítségével a gazdálkodók megítélése alapján. A digitális lehetőségek iránti bizalom az empirikus megismerés és felismerés mellett alapvetően az infrastrukturális követelmények megbízható biztosításán alapul.

A kutatás továbbvitelének számos lehetősége körvonalazható az állattól, viselkedésmonitorozás, előrejelzési modellek, osz-

tályozási eljárások különböző technológiai megoldásokban történő alkalmazásának hatékonysága, pontossága vizsgálatával. Legközelebbi vizsgálati fókuszként célunk a továbbiakban a precíziós állattartási eszközöket alkalmazó gazdálkodók bevonásával az adathasznosulás mértékének, az állattartás menedzsmentjében és egészségügyi monitoringozásában használt döntéstámogatási eszközök elterjedtségének vizsgálata,

a robotizált folyamatautomatizációs megoldások költséghatékonyságának elemzése.

A tejtermelő telepeken hazánkban is egyre több robotfejőgépet állítanak be, a fejhetőségi kritériumok szükséges szelekciós döntéseket igényelnek, amelyeknek meghozatalával kapcsolatosan kutatni kívánjuk az intelligens döntéstámogató (szakértői) rendszerek felhasználásának eredményeit is.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- 1470/2019. (VIII. 1.). Korm. határozat a magyar agrárium digitalizációjának előmozdításáról és összehangolásáról, Magyarország Digitális Agrár Stratégiájáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2019-1470-30-22>
- Aderounmu, G. A., Omidiora, E. O., Adegoke, B. O., Taiwo, T. A. (2013). Neuro-fuzzy system for livestock feed formulation. (African Poultry). *Int. J. Eng. Sci.* 2013;2(5),25–32. <https://theijes.com/papers/v2-i5/Part.1/C0251025032.pdf>
- Akilli, A., Atil, H., Takma, C., Ayyilmaz, T. (2015). Fuzzy logic-based decision support system for dairy cattle. *Kafkas Üniv. Vet. Fakültesi Derg.*, 22(1), 13–19 <https://openaccess.ahievran.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12513/861/ak%c4%b1ll%c4%b1%2c%20asl%c4%b1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Akinyemi, B. E., Vigors, B., Turner, S. P., Akaichi, F., Benjamin, M., Johnson, A. K., Pairis-Garcia, M. D., Rozeboom, D. W., Steibel, J. P., Thompson, D. P., Zangaro, C., Siegford, J. M. (2023). Precision livestock farming: a qualitative exploration of swine industry stakeholders. *Front. Anim. Sci.* 4, 1150528. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1150528>
- Alapvető Jogok Biztosának Hivatala: ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok. (Sustainable Development Goals, SDGs). <http://www.ajbh.hu/-/ensz-fenntarthato-fejlodesi-celok-sustainable-development-goal-sdg-?inheritedirect=true>
- Alizadeh, H., Hasani-Bafarani, A., Parvin, H., Minaei, B., Kangavari, M. R. (2008). Dairy cattle judging: An innovative application for fuzzy expert system. In: *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008*, October 22–24, 2008, San Francisco, USA. p1-4
- Alonso, J., Castañón, Á. R., Bahamonde, A. (2013). Support Vector Regression to predict carcass weight in beef cattle in advance of the slaughter. *Comput. Electron. Agric.*, 91, 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.009>
- Aubert, B., Schroeder, A., Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: an empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology, *Decis. Support Syst.*, 54(1), 510–520. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>
- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., Ruggeri, M. (2019). The digitisation of agriculture: A survey of research activities on smart farming. *Array*, 3–4, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
- Balhara, S., Singh, R. P., Ruhil, A. P. (2021). Data mining and decision support systems for efficient dairy production. *Veterinary World*, 14(5), 1258–1262. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1258-1262>
- Banhazi, T és Black, J. (2009). Livestock Farming: A suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms. *Australian J. MultiDisciplinary Eng.* 7, 1–14.
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L., Crabtree, H., Schofield, P., Tschärke, M., Berckmans, D. (2012). Precision livestock farming: an international review of scientific and commercial aspects. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 5(3), 1–9.
- Barna, R., Tóth, K., Nagy, M. Z. és Solymosi, K. (2020). Technical characteristics of global navigation satellite systems and their role in precision agriculture. *Agrárinformatika / Journal of Agricultural Informatics*, 11(1), 52–66. <https://journal.magisz.org/index.php/jai/article/view/573>

- Bianchi, M. C., Bava, L., Sandrucci, A., Tangorra, F. M., Tamburini, A., Gislón, G., Zucali, M. (2022). Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle farms. *Animal* 16(11), 100650. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100650>
- Burstein, F. és Holsapple, W. C. (2008). Handbook on Decision Support Systems 1: Basic Themes *International Handbooks on Information Systems*. 2008th ed. Springer Publishing, Berlin.
- Cavero, D., Tolle, K. H., Buxade, C., Krieter, J. (2006). Mastitis detection in dairy cows by application of fuzzy logic. *Livestock Science*, 105,(1–3), 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.06.006>
- Craninx, M., Fievez, V., Vlaeminck, B., De Baets, B. (2008). Artificial neural network models of the rumen fermentation pattern in dairy cattle. *Comput. Electron. Agric.*, 60(2), 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.08.005>
- CEMA (2017a). Digital Farming: what does it really mean? Position paper. Letöltve in July, 1, 2021. <https://www.cema-agri.org/publication/position-papers/254-digital-farming-what-does-it-really-mean>
- CEMA (2017b). Connected Agricultural Machines in Digital Farming. Letöltve in July, 1, 2021. <https://www.cema-agri.org/publication/position-papers/255-connected-agricultural-machines-in-digital-farming>
- CEMA (2018). Digital farming technology, CEMA association. Letöltve in July, 1, 2021 <https://www.cema-agri.org/digital-farming>
- DAS (2019). Digitális Jólét Program. Magyarország Digitális Agrár Stratégiája 2019–2022. <https://digitalisjoletprogram.hu/files/24/2e/242e263bd2b441f6f30cf400e06e1e4a.pdf>
- Dayioglu, M. A., Turker, U. (2021). Digital Transformation for Sustainable Future - Agriculture 4.0: A review. *Journal Of Agricultural Sciences-Tarim Bilimleri Dergisi*. 27(4), 373–399. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.986431>
- De Clercq, M., Vats, A., Biel, A. (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. *Proc. World Government Summit*, 11–13.
- Devi, I., Dabas P., Dudi K., Lathwal, S., Ruhil, A. P., Singh, Y., Malhotra, R., Baithalu, R., Sinha, R. (2019). Vocal cues-based decision support system for estrus detection in water buffaloes. (*Bubalus bubalis*). *Comput. Electron. Agric.*, 162(1), 183–188.
- DeMol, R. M., Wolfdt, W. E. (2001). Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring. *J. Dairy Sci.*, 84(2), 400–410. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\).74490-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01).74490-6)
- Dutta, R., Smith, D., Rawnsley, R., Bishop-Hurley, G., Hills, J., Timms, G., Henry, D. (2015). Dynamic cattle behavioural classification using supervised ensemble classifiers. *Comput. Electron. Agric.*, 111, 18–28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169914003123?via%3Dihub>
- Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., Dela Rue, B. (2017). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: from a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *J Agric Environ Ethics*, 32, 741–768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>
- Európai Parlament és a Tanács. (EU). 2021/2115 rendelete. https://www.mvh.allamkinestar.gov.hu/documents/20182/14874184/2115_2021_eur%C3%B3pai%20parlament%C3%A9s%20tan%C3%A1csi%20rendelet.pdf/dee1505c-f808-d3ed-937d-197c0671ca60?version=1.0&t=1687953429456&download=true
- FAO 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome
- Fielke, S., Taylor, B. M., Jakkul, E. (2020). Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. *Agricultural Systems*, 180, 102763 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X19310522?via%3Dihub>
- Fleming, A., Jakkul, E., Fielke, S., Taylor, B. M., Lacey, J., Terhorst, A., Stitzlein, C. (2021). Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. *Agricultural Systems*, 190, 103120. doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120
- Grădinaru, A. C., Creangă, Ș., Solcan, G. (2015). Milk - A review on its synthesis, composition, and quality assurance in dairy industry. *Hum. Vet. Med.*, 7, 173–177. <http://www.hvm.bioflux.com.ro/docs/2015.a173-177.pdf>
- KAP stratégiai terv – 2021. évi jelentés. (2022). <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/o/oe/oec/oec4a4boea4a1f5a0c98ef633503faab726809e0.pdf>

- Keogh, M. és Henry, M. (2016). The Implications of Digital Agriculture and Big Data for Australian Agriculture. https://www.crdc.com.au/sites/default/files/pdf/Big_Data_Report_web.pdf
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS – Wageningen J. Life Sci.*, 90–91(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture. *A Review. Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/S18082674>.
- Lima, E., Hopkins, T., Gurney, E., Shortall, O., Lovatt, F., Davies, P., George, W., Jasmeel, K. (2018). Drivers for precision livestock technology adoption: a study of factors associated with adoption of electronic identification technology by commercial sheep farmers in England and Wales. *PLoS One* 13(1), e0190489. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190489>
- Mahmud, M. S., Zahid, A., Das, A. K., Muzammil, M., Khan, M. U. (2021). A systematic literature review on deep learning applications for precision cattle farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106313>
- Mammadova, N. M. és Keskin, I. (2015). Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system to predict subclinical mastitis in dairy cattle. *Indian J. Anim. Sci.*, 49(5), 671–679. <https://arccarticles.s3.amazonaws.com/webArticle/articles/19B273.pdf>
- Matei, A. C., Creangă, Ș., Daviscu, M. A., Doboș, B. I., Porosnicu, I., Mădescu, B. M. (2020). Research on the economic efficiency of farms in the function of the milking system. *Scientific Papers, Series D, Animal Science*, 63(2), 296–300.
- Matthews, S. G., Miller, A. L., Plötz, T., Kyriazakis, I. (2017). Automated tracking to measure behavioural changes in pigs for health and welfare monitoring. *Sci. Rep.*, 7, 17582. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-17451-6>
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 7–23. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- Meen, G. H., Schellekens, M. A., Slegers, M. H. M., Leenders, N. L. G., van Erp-van der Kooij, E., Noldus, L. P. J. (2015). Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 111–115.
- Micle, D. E., Deiac, F., Olar, A., Drenta, R. F., Florean, C., Coman, I. G., Arion F. H. (2021). Research on Innovative Business Plan. Smart Cattle Farming Using Artificial Intelligent Robotic Process Automation. *Agriculture*, 11(5), 430. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050430>
- Morales, I. R., Cebrián, D. R., Fernandez-Blanco, E., Sierra, A. P. (2015). Early warning in egg production curves from commercial hens: A SVM approach. *Comput. Electron. Agric.*, 121, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.009>
- Panchal, I., Sawhney, I. K., Sharma, A. K., Dang, A. K. (2016). Classification of healthy and mastitis Murrah buffaloes by application of neural network models using yield and milk quality parameters. *Comput. Electron. Agric.*, 127, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.015>
- Pegorini, V., Karam, L. Z., Pitta, C. S. R., Cardoso, R., da Silva, J. C. C., Kalinowski, H. J., Ribeiro, R., Bertotti, F. L., Assmann, T. S. (2015). In vivo pattern classification of ingestive behavior in ruminants using FBG sensors and machine learning. *Sensors*, 15(11), 28456–28471. <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/28456>
- Pimpa, A., Eiamkanitchat, N., Phatsara, C., Moonmanee, T. (2019). Decision support system for dairy cattle management using computational intelligence technique. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer and Communications Management*, 181–185. <https://doi.org/10.1145/3348445.3348449>
- Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, A., Garg, T., Atiquzzaman, M., Niyato, D. (2021). A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 187, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., Dessein, J., Scotti, I., Brunori G. (2021). Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. *Journal of Rural Studies*, 85, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>

- Rose, D. C. és Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food System*, 2(87), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., Chivers, C. A. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Schillings, J., Bennett, R., Rose, D. C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to help address farm animal welfare. *Front. Anim. Sci.*, 2, 639678. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678>
- Schillings, J., Bennett, R., Rose, D. C. (2023). Perceptions of farming stakeholders towards automating dairy cattle mobility and body condition scoring in farm assurance schemes. *Animal* 17, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100786>
- Schoeffer, J., Jakubik, M., Voessing, M., Kuehl, N., Satzger, G. (2023). On the Interdependence of Reliance Behavior and Accuracy in AI-Assisted Decision-Making. In Lukowicz, P., Mayer, S., Koch, J., Shawe-Taylor, J., Tiddi, I. (Eds.), *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* (pp. 46–59). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/FAIA230074>
- Schulte, L., Perez, N., Pinho, L., Trentin, G. (2019). Decision support system for precision livestock: Machine learning-based prediction module for stocking rate adjustment. In SBSI'19: *Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Information Systems* (pp. 1–8.) <https://doi.org/10.1145/3330204.3330222>
- Serazetdinova, L., Garratt, J., Baylis, A., Stergiadis, S., Collison, M., Davis, S. (2019). How should we turn data into decisions in AgriFood? *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 99(7), 3213–3219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9545>
- Shepherd, M., Turner, J. A., Small, B., Wheeler, D. (2018). Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5083–5092. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
- Shine, P. és Murphy, M. D. (2022). Over 20 Years of Machine Learning Applications on Dairy Farms: A Comprehensive Mapping Study. *Sensors*, 22(1), 52. <https://doi.org/10.3390/s22010052>
- Tikász, I. E. (2023): Smart technológiák – tapasztalatok a magyarországi sertés- és baromfitartásban. *Agronapló*, 2023(6), 39–40. <https://agronaplo.hu/szakfolyoirat/2023/06/allattenyesztes/smart-technologiak-tapasztalatok-a-magyarorszagi-sertes-es-baromfitartasban>
- Trendov, N. M., Varas, S., Zeng, M. (2019). Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas – Status Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca4985en/ca4985en.pdf>
- United Nations. (2023). The Sustainable Development Goals Report 2023. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>
- Van der Burg, S., Bogaardt, M. J., Wolfert, S. (2019). Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS Wagening. J. Life Sci.*, 90–91(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>
- Van Veen, L. A., van den Oever, A. C. M., Bas Kemp, van den Brand, H. (2023). Perception of laying hen farmers, poultry veterinarians, and poultry experts regarding sensor-based continuous monitoring of laying hen health and welfare. *Poultry Science* 102(5), 102581. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102581>
- Vranken, E. és Berckmans, D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Anim. Front.* 7(1), 32–37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
- Ward, P. (2023). Choice, Uncertainty, and Decision Superiority: Is Less AI-Enabled Decision Support More? *IEEE Trans. Human-Mach. Syst.*, 53(4), 781–791. <https://doi.org/10.1109/THMS.2023.3279036>
- Warner, D., Vasseur, E., Lefebvre, D. M., Lacroix, R. (2020). A machine learning-based decision aid for lameness in dairy herds using farm-based records. *Comput. Electron. Agric.*, 169(7), 105193. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105193>
- Wiseman, L., Sanderson, J., Zhang, A., Jakku, E. (2019). Farmers and their data: An examination of farmers’ reluctance to share their data through the lens of the laws impacting smart farming. *NJAS Wagening. J. Life Sci.*, 90–91(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.007>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming-A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

- Zambon, I., Cecchini, M., Egidì, G., Saporito, M. G., Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. *Processes*, 7(36), 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computer Electronics and Agriculture*, 170, 105256, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zörög, Z. (2019). ERP RENDSZEREK VS. IPAR 4.0. In T. Kmet és S. Gubo (szerk.), A Selye János Egyetem 2019-es XI. Nemzetközi Tudományos Konferenciájának tanulmánykötete: „Döntéstámogató rendszerek, matematika és informatika” szekció. (pp. 77-87., 11. pp). Komárno, Selye János Egyetem.