

Application of drones in
animal husbandry and
animal health
Systematic literature
review

M. Farkas^{1*}
Á. Józwiak¹
M. Süth²

1. Állatorvostudományi Egyetem,
Élelmiszerlánc-tudományi Intézet,
Digitális Élelmiszerlánc-
tudományi Tanszék,
H-1078 Budapest, István u. 2.

2. Állatorvostudományi Egyetem,
Élelmiszerlánc-tudományi Intézet,
Élelmiszer-higiéniai Tanszék,
Budapest

*e-mail: farkas.mate@univet.hu

A drónok alkalmazása az állattartás és az állategészségügy területén Szisztematikus szakirodalmi áttekintés

Farkas Máté^{1*}, Józwiak Ákos¹, Süth Miklós²

ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi néhány évben a drónok kiemelt figyelmet kaptak számos tudományterületen. A mezőgazdaságban, elsősorban a növénytermesztés területén terjedtek el ezek az eszközök, azonban egyre inkább előtérbe kerülnek a haszonállattartáshoz, élelmiszer-biztonsághoz kapcsolódó megoldások is. A szerzők célja, hogy átfogó áttekintést nyújtsanak a drónok ez utóbbi területeket érintő alkalmazási lehetőségeiről. A részletes bemutatást követően különböző aspektusokhoz kapcsolódó kihívások és kilátások is összefoglalásra kerülnek. Legjobb tudásuk szerint ez az első olyan összefoglaló tanulmány a témában, amely elsősorban a megoldási lehetőségek szisztematikus bemutatására koncentrál.

SUMMARY

In recent years, unmanned aerial vehicles (UAVs), also known as drones, have received tremendous attention in many scientific fields. One of the catalysts for this recognition has been the significant advances in technology, which have led to wide range of applications. In addition to the several civil, industrial, law enforcement and military applications, drones are now frequently encountered in agriculture. Primarily, drones are used in the field of crop inspection and protection but can be found increasingly in livestock and food safety applications.

The authors' primary objective was to provide a clear overview of the potential applications of drones in these latter areas. After thorough literature research in databases, drone applications have been classified according to their use case. In herding, especially with sheep, drones can greatly assist in moving the animals when used with appropriate settings (e.g., sound effects, flight altitude). In pasture management, these devices can aid monitoring and tracking animals through photos and videos, thereby optimizing pasture conditions and grazing efficiency. In aquaculture, drone-based water sampling and quality control, as well as monitoring fish feeding, fish size, and weight can enhance efficiency and reduce costs. When it comes to monitoring the behaviour and health of ruminants, drones enable high-precision data collection, which can improve animal welfare and maximize production. The continuous development of novel technologies opens new possibilities for agriculture and food security. After detailed description of the possibilities; issues, challenges, and perspectives related to the different aspects are also discussed.

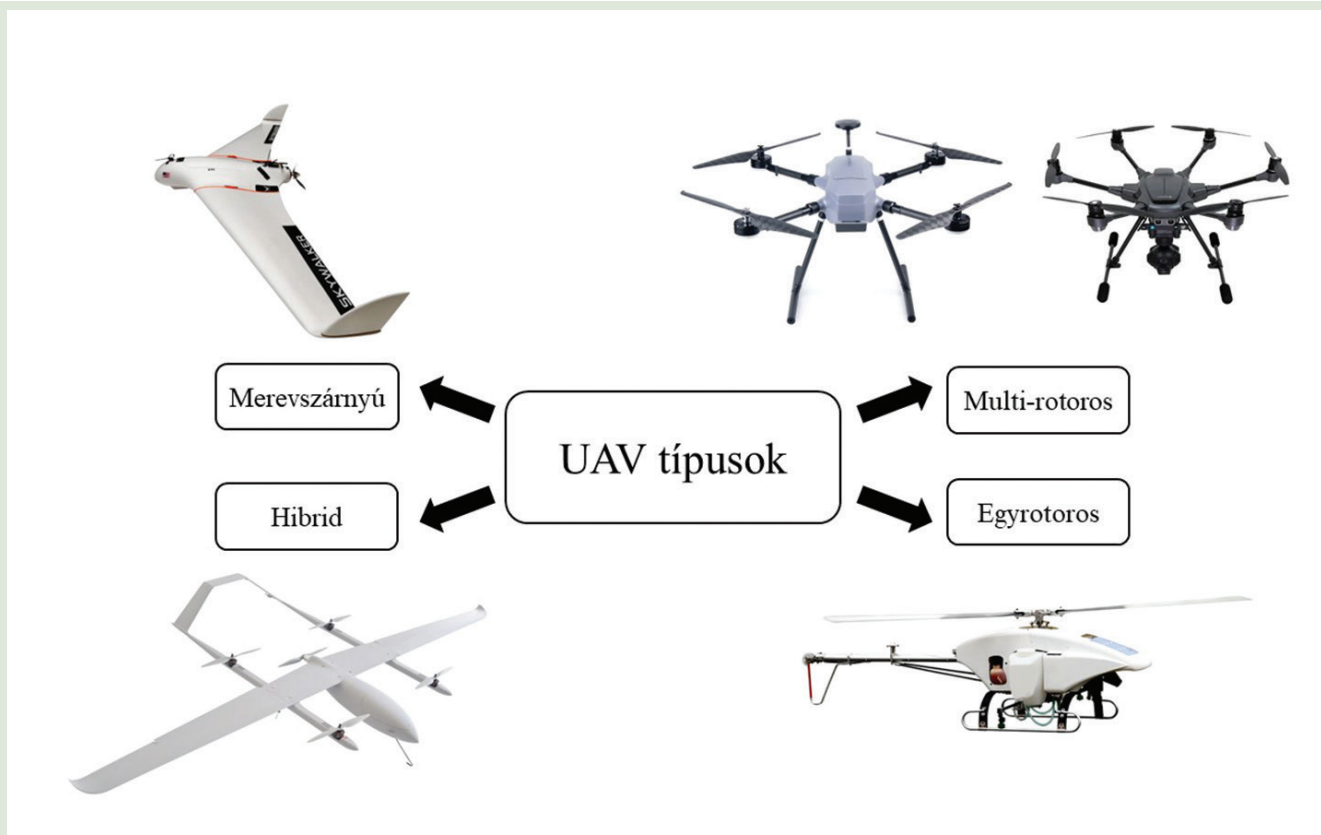
To the best of our knowledge, this is the first comprehensive study on the subject, focusing on systematic presentation of the possible solutions.

SZARVASMARHA

A pilóta nélküli légi jármű (UAV – *unmanned aerial vehicle*), más néven drón, olyan szerkezet, amely képes repülni, levegőben maradni és különböző feladatokat ellátni anélkül, hogy emberi személyzet lenne a fedélzetén. Ezáltal gazdaságosabb művelet-végrehajtást tesz lehetővé, különösen veszélyes tevékenységek kapcsán, amelyek esetén az emberi élet kockáztatása nélkül képes a feladat teljesítésére [1]. Eredetileg a technológiát a hadászatban alkalmazták légvédelmi gyakorlatokra, hírszerzésre és terület megfigyelésre. Idővel azonban az eredeti céljukat meghaladva ezen járművek napjainkra kiemelkedő szerepet kapnak több különböző tudományterületen is [2]. Ezek közé tartozik a tengeri élővilág és ökoszisztémájának vizsgálata [3], szállítás [4], polgári alkalmazások [5], környezeti monitoring [6, 7], vadállományok megfigyelése [8], akvakultúrákban történő alkalmazások [9], mezőgazdasági monitoring [10], keresési és mentési feladatok [11], ill. számos egyéb más területen való felhasználása is ismert ezen technológiának [12].

A drónok használata egyre inkább terjed különböző tudományterületeken

Ezt a széles körű alkalmazást a folyamatos műszaki és technológiai fejlődés tette lehetővé [2]. A felhasználási lehetőségek hosszú sorához a különböző konfigurációkkal és jellemzőkkel elérhető UAV-k széles skálája járul hozzá. A drónok számos, ún. hasznosterhet képesek hordozni, ideértve kommunikációs eszközöket, navigációs felszereléseket, érzékelőket és kamerákat. A különböző paraméterek alapján pedig ezek a járművek osztályozhatók is, pl. felszállótömeg, hatótávolság, méret, motor típus és azok száma alapján [1, 13] (1. ábra). Az elmúlt években a drónok számos feladat ellátása mellett intelligens repülő robotokká is váltak, amelyek távoli objektumokról értékes adatokat képesek rögzíteni távérzékelési sajátosságaikat felhasználva [3, 9].



1. ÁBRA. UAV (drón) csoportosítása szárnytípus és rotorok alapján

FIGURE 1. UAV (drone) classification based on wing type and rotors

**A dróntechnológia
agráriumban történő
használata jelentős
iparági potenciált jelent**

A mesterséges intelligencia (MI) gépi tanulási algoritmusainak (*machine learning*, ML) fejlődésével együtt, a távoli érzékelés mellett, az automatikus felismerés területén is tovább javult a drónalapú adatgyűjtés megbízhatósága [14], ezáltal teret nyitva a precíziós mezőgazdaság területén történő számos alkalmazásnak [15]. A dróntechnológia agráriumban történő használata jelentős iparági potenciált jelent, amit jól példáz az, hogy a mezőgazdasági drónok piaca, szakértői előrejelzések alapján, a 2024. évi 3,6 milliárd dollárról 2030-ra 5,7 milliárd dollárra fog emelkedni [16].

Ennek az áttekintésnek az a célja, hogy átfogó képet nyújtson az UAV-k technológia alkalmazásáról a mezőgazdaságban, azon belül is az állattartás, az állategészségügy és az élelmiszerlánc-biztonság területén. Emellett ismertetjük a legfrissebb eredményeket és lehetőségeket, ill. a jelenlegi korlátokat, elősegítve ezáltal a technológia használatát és fejlesztését az agrárium ezen tudományterületein és határterületein egyaránt.

SAJÁT VIZSGÁLAT

A vizsgálatunk fő célja, hogy egy szisztematikus irodalmi áttekintésben összegyűjtsük a jelenleg elérhető tudományos tudásanyagot a drónok állategészségügy és állattartás tudományterületein történő alkalmazási lehetőségeiről és azok aktuális fejlettségéről. Az összegyűjtött információkat alfejezetekre bontva mutatjuk be. Az összefoglaló végén pedig külön kitérünk az egyes technológiai korlátokra, jövőbeli perspektívákra.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Ezen összefoglalóhoz a szakirodalmi források a *Web of Science* és *Scopus* adatbázisokból származtak (2005. 01. 01.–2023. 11. 26.). Az alábbi keresőkérdéssel történt a cikkek szűrése, hogy csak a legrelevánsabb tudományos publikációk kerüljenek további értékelésre ((*unmanned OR autonomous OR unoccupied*) AND (*aerial AND (vehicle* OR platform OR system) OR aircraft* OR helicopter* OR drone* OR UAS OR UAV* OR RPA*)) AND ((*"animal husbandry" OR livestock OR "farm animal" OR aquaculture OR farming OR "animal health"*) NOT (*agriculture* OR forestry*)). A keresés 541 cikket eredményezett a duplikációk egységesítése után. Ezt követően a találatokat ASReview [17] szoftver segítségével releváns és nem releváns kategóriákba soroltuk a címük és az absztrakjuk alapján.

Ez a szoftver az Utrechti Egyetemen által kifejlesztett gépi tanulási eszköz. Előnye, hogy nagy mennyiségű szöveges adat átvizsgálására és szisztematikus címkézésére képes, így segítve a kutatókat, hogy a lehető leghatékonyabban és a folyamat átláthatósága mellett teljes képet kapjanak a munkájuk szempontjából kulcsfontosságú publikációkról. Emellett lehetővé teszi, hogy ugyanannyi idő alatt több szöveget és részletesebben vizsgáljanak át a tudósok, mint a hagyományos módszerekkel.

ASReview modell futtatása előtt az általunk kitűzött keresés szempontjából két releváns és három irreleváns cikket adtunk meg. A kategóriába sorolás pedig meghatározott kritériumok alapján történt (1. táblázat). Az aktívan tanuló algoritmus következő beállításai kerültek kiválasztásra: *extraction technique: TF-IDF, classifier: Naive Bayes, query strategy: Maximum, balance strategy: Dynamic resampling* (robusztus, megbízható, hasonló kereséseknél javasolt alapbeállítás). A szűrést követően kapott valamennyi releváns hivatkozásból gráfok készültek *Connected Papers* segítségével (2. ábra). *Connected Papers* egy vizualizációs eszköz, amely segítséget nyújt a kutatóknak abban, hogy megtalálják a tudományterületük szempontjából jelentős tanulmányokat.

Ezen szoftver használatának célja további lényeges cikkek keresése volt, amelyet a keresősor segítségével nem találtunk meg. A gráfokon a tudományos publi-

**A szerzők a
szakirodalmi
adatbázisok
szisztematikus
átvizsgálását
végezték el**

1. TÁBLÁZAT. A publikációk releváns, ill. nem releváns kategóriákba történő sorolásának kritériumai

TABLE 1. Criteria for classifying publications into relevant and irrelevant categories

Szempont	Beválogatási kritérium	Kizárási kritérium
Cikk nyelve	Angol nyelvű cikk	Nem angol nyelvű cikk
Publikáció típusa	Szakmailag lektorált folyóiratcikk, könyv, könyvrészlet, PhD-dolgozat vagy szakdolgozat	Egyéb típusú publikáció
Cikk témája	Mezőgazdaság, állategészségügy, élelmiszer-biztonság vagy az előbbieken felsoroltak határterületei	Egyéb tematika vagy tudományterület
Haszonállat vonatkozás a cikkben	Van haszonállatokra vonatkozó említés és/vagy utalás	Nincs haszonállatokra vonatkozó említés és/vagy utalás

kációk hasonlóságuk szerint rendeződnek (2. ábra). Két cikk közötti hasonlóság megállapítására *co-citation* [18] és *bibliographic coupling* [19] metrikák kerültek alkalmazásra, feltételezve, hogy az egymást nagymértékben átfedő hivatkozások és idézettség esetén nagyobb az esély arra, hogy két tudományos írás hasonló témát dolgoz fel. A *co-citation* azt a gyakoriságot jelenti, amellyel két dokumentumot együttesen idéznek. Két tudományos cikk együttes idézési gyakoriságát úgy lehet meghatározni, hogy összehasonlítjuk az idézett dokumentumok listáit, és megszámloljuk az azonosakat [18]. *Bibliographic coupling* két dokumentum által használt közös hivatkozási elemet a két dokumentum közötti kapcsolási egységként határoz meg [20].

A keresésünk eredményeként végül 42 releváns hivatkozás került bevonásra ezen áttekintőbe (2. ábra, [21]).

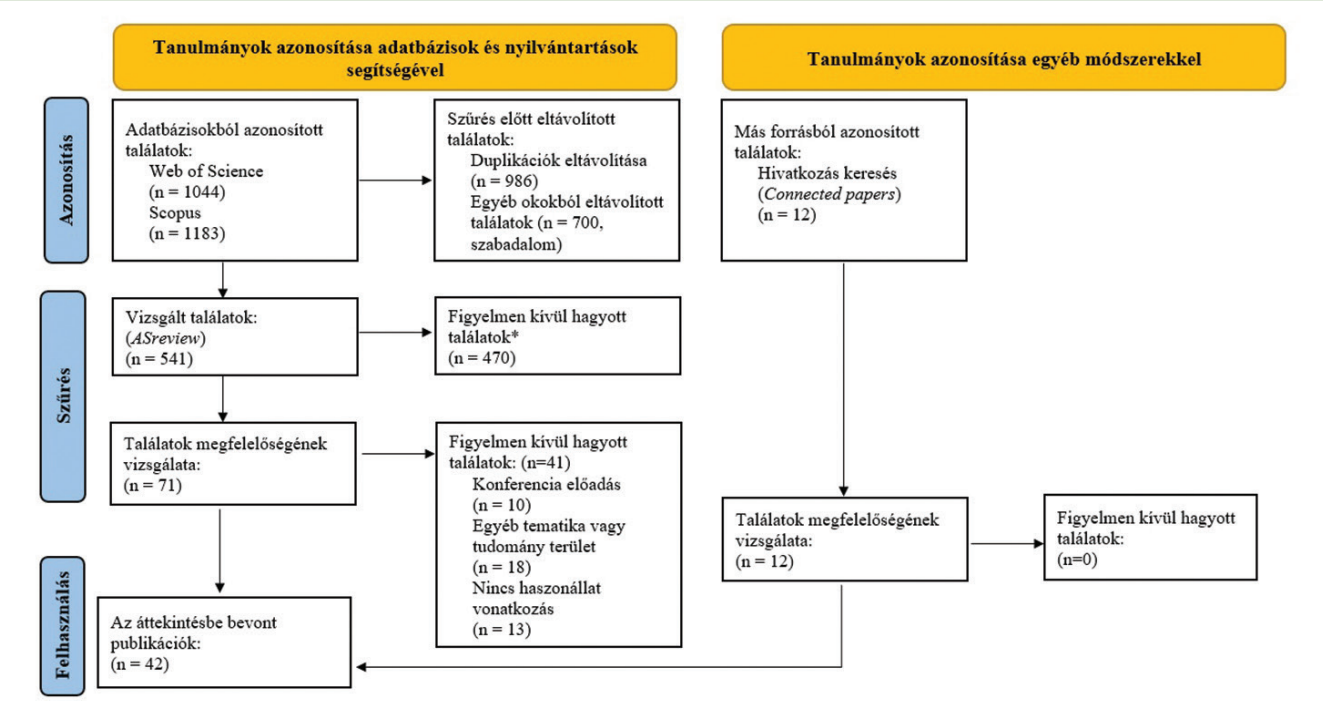
EREDMÉNYEK

A következőkben alkalmazási területenként csoportosítva mutatjuk be a drónok által nyújtott lehetőségeket. Az állatok terelésétől és legelőgazdálkodástól kezdve az akvakultúrák esetén megvalósítható megoldásokon át, a kérődzők kapcsán elérhető lehetőségekig. Az előbbieken túl külön alfejezetben foglaljuk össze a további aspektusokat is.

TERELÉS

Napjainkban egyre több nagyobb méretű gazdasággal találkozunk, amelyeken egyre kevesebb mezőgazdasági munkás dolgozik. A nagy juh- és szarvasmarha-tenyésztő nemzetek esetén ezen gazdaságok hatalmas legelőterületeken terülnek el. A népes állatállomány felügyelete így jelentős kihívást jelent. E feladatok elvégzésére a drónok új dimenziót kínálnak a gazdák számára. Olyan országokban, mint Új-Zéland, a juhtenyésztők pilóta nélküli légitárműveket használnak az állatok tereléséhez [22–24]. A szakirodalomban számos részletes kutatás és leírás érhető el ebben témában. YEXLEY és mtsai kevés egyedet számláló juhállományok drónokkal kivitelezett terelésének lehetőségét vizsgálták különböző paraméterek függvényében, mint a repülési magasság, repülési irány és hanghatások.

Új-Zélandon
drónokat
használnak juhok
terelésére



2. ÁBRA. Az összefoglalóban felhasznált publikációk kiválasztásának folyamatábrája
*A releváns és nem releváns cikkek kiválasztásának előre meghatározott kritériumai az 1. Táblázatban található

FIGURE 2. Flowchart of the selection process of publications used in this summary
*The pre-defined criteria for the selection of relevant and irrelevant publications can be found in Table 1

A szarvasmarhák hamar hozzászoknak a drónokhoz

Eredményeik alapján a kutyaugatás és a sziréna hangja, valamint a 10 méteres repülési magasság és a viszonylag gyors, 25 km/h repülési sebesség bizonyultak a legjobb beállításnak az állatok stressz-szintjét és a terelés hatékonyságát figyelembevéve [22]. Későbbi kutatásaik során az így kifejlesztett drónrendszer – az akkori technológia fejlettségi szintjén (2021) – nem teljesített jobban, mint egy megfelelő tréningben részesült pásztorkutya és ember párosa. Ha azonban kiképzett pásztorkutya és szakember sem állt rendelkezésre, a drónrendszer költséghatékonyan, gyorsan és eredményesen el tudta végezni a terelési feladatokat [25]. Ezen túlmenően több *in silico* kísérletben elemezték már akár négy drónnal együttesen történő terelés lehetőségét is [26, 27]. Ezen megoldással akár 1000 juh is eredményesen adott pontba vezethető viszonylag rövid időn belül (18 perc) [26, 28]. A juhokkal ellentétben a szarvasmarhák 1–2 nap után hozzászoktak a drónok jelenlétéhez, így ezen kérdőzök terelése dróntechnológiával jelenleg komoly kihívást jelentő feladat [29].

A részletes vizsgálatok ellenére még mindig vannak a drónokkal történő terelésnek olyan elemei, amelyeket nem vagy nem elég részletességgel, alaposítással vizsgáltak. Ezek közé tartozik az állatjóllét. Ezen légi járművek akár túlzott és így káros stresszfaktort jelenthetnek az egyes állatok számára, így ennek a tényezőnek a lehető legminimálisabbra történő csökkentése kiemelten fontos [30].

A drónok terelő képességeit más aspektusból is ki lehet aknázni [31], így pl. bizonyos területektől mint a repterek, a madarak távoltartása [32].

LEGELTETÉSES, LEGELŐGAZDÁLKODÁS

Az előzőekben tárgyalt témához szorosan kapcsolódik a legelő, ill. annak optimális használata. A korai állatállomány megfigyelésekhez és felmérésekhez műholdakat vagy ember által vezetett repülőgépeket használtak [33], azonban a térbeli

Drónokkal a hatékony állatállomány-azonosítás, és -nyomonkövetés mellett az állatok napi tevékenységei is folyamatosan követhetők

és időbeli felbontás korlátozottsága miatt a pontos regionális szintű megfigyelés kihívást jelentett [34]. Az elmúlt években a drónok alkalmazása a haszonállat-állományok vizsgálata terén jelentősen kibővült. Drónok használatával fényképek és videófelvevételek is készíthetők, amelyek elemzésével a hatékony állatállomány-azonosítás és -nyomonkövetés mellett az állatok napi tevékenységei is folyamatosan monitorozhatók [34, 35]. Ez különösen nagy segítséget nyújthat a legeltető állattartást folytató gazdaságok és gazdák számára, hiszen egy adott területen történő túllegeltetés tönkreteheti a gyepek ökológiai funkcióit. Így a legelő állatok megfigyelése és követése nagy jelentőséggel bír a legelő és az állatállomány egyensúlyának fenntartásában egyaránt [33]. Ezen feladatok elvégzése az UAV által rögzített adatok további feldolgozását igénylik, akár mély tanulós (deep learning) algoritmusok alkalmazásával, amelyek precíz információkkal szolgálhatnak az állatállományról [33, 34].

Yi Sun és mtsai UAV-alapú módszer alkalmazásával képesek voltak egy jaknyáj méretének és eloszlásának dinamikus nyomon követésére [35]. A jakok térbeli eloszlás-mintázata pedig segített az állatállomány legeltetése és a legelő állapota közötti interakció modellezésében és a legelőmenedzsmentben. Így drónok felhasználásával, további fejlett technológiával kiegészítve, egész rendszerek hozhatók létre intelligens legeltetési stratégiák kidolgozására és alkalmazására [36, 37]. Az állatok drónnal történő nyomonkövetésével olcsóbb, energiatakarékosabb, ill. pontosabb és részletesebb adatok rögzíthetők, mint más hagyományos technikák alkalmazása során [35, 38, 39].

Az UAV-k által készített nagy térbeli, ill. időbeli felbontású fényképek alkalmazsak az állatok tevékenységeinek folyamatos nyomon követésére, és fontos alapot nyújthatnak a legeltetés intenzitásának részletes értékeléséhez [34]. Az állatok állandó megfigyelése mellett a legelő minősége is felmérhető és monitorozható, így egy teljes mértékbe integrált felügyelőrendszer is kialakítható [40, 41].

AKVAKULTÚRA

A pilóta nélküli rendszereket (légi, vízfelszíni és víz alatti) már széles körben használnak [42] a tengeri élővilág és ökoszisztéma kutatásához, védelméhez [43], ill. más halászati tudományokágban is kezdik felismeri ezen rendszerekben rejlő lehetőségeket [42, 44].

Az akvakultúrák területén jelenleg már elterjedt módszernek számít a drónokkal történő vízmintavétel, és a víz minőségének megállapítása. Ez több módon is történhet. Egyrészt spektrális és multispektrális felvételek segítségével számszerűsíthetők a víz különböző paraméterei (pl. zavarosság, oldott oxigén mennyiség) és ezen paraméterek térbeli eloszlása is feltérképezhető egy adott vízrendszerben [45]. Másrészt történhet a mintavétel a drónra szerelt mintavetővel, akár szenzorhoz kapcsolva, amely egy kijelölt helyen vízbe engedhető és így a víz különböző fiziko-kémiai tulajdonságai mérhetők és értékelhetők [46, 47]. Ezen rendszerek kiegészíthetők mély tanulással és képi felismeréssel, így a repülési feladatok, az adatok feldolgozása és kiértékelése akár automatikusan is elvégezhető [45, 46]. A vizek és partmenti területek műanyag-szennyezettsége is felmérhető drónok segítségével és előrejelzések adhatók annak jövőbeli változásáról [48].

A vízminőség mellett a halak etetése és a megfelelő tápanyagmennyiség kijuttatása is monitorozható drónok segítségével

A vízminőség mellett a halak etetése és a megfelelő tápanyagmennyiség kijuttatása is monitorozható drónok segítségével [49, 50]. A tengeri ketreces haltenyésztés során a pneumatikus forgótárcsás takarmányszórók a mai takarmányozási rendszerek alapvető fontosságú berendezései. Azonban az optimális és hatékony takarmánykiosztás beállítása és az esetlegesen a módosításokhoz szükséges információ gyűjtése kihívást jelenthetnek [50]. Drónokkal készített légifelvevételek elemzésével azonban költséghatékony, gyors és pontos kép kapható a pelletált takarmány eloszlásáról, ezáltal a környezeti terhelés is csökkenthető [49, 50]. Emel-

lett a különböző szórási technikák, azok mintázata és az eszközök beállításai a halak térbeli eloszlásához és mennyiségéhez igazíthatók [49].

TAPARHUDEE és mtsai dróntechnológia és gépi tanulás felhasználásával mérték meg nílusi tilápiák (*Oreochromis niloticus*, LINNAEUS, 1758) testsúlyát [51]. Eredményeik azt mutatták, hogy a reggeli órákban végzett 7 méteres magasságból készített drónfelvételekkel 90% feletti pontosság érhető el a testsúly megállapításban a kézzel történő méréssel összehasonlítva. Ezen új technika potenciálisan helyettesítheti a kézzel történő súlymeghatározást, amely időigényes, mérési hibák merülhetnek fel és jelentős stresszt okoz a halak számára.

A halak mellett más, nagyobb számban tenyésztett élőlények monitoringjára is használhatunk drónokat. Csendes-óceáni osztriga (*Crassostrea gigas*, THUNBERG, 1793) farmokon készített drónfelvételek segítségével nagy pontossággal megállapítható volt az osztrigatáblák magassága, amely nagy jelentőséggel bír ezen állatok növekedése és mortalitása terén egyaránt. Ezenkívül a felvételek segítségével jól megbecsülhető volt az állatlétszám és az élőtömeg is, amely gazdasági és menedzsmentszempontról szintén rendkívül előnyös [52].

Összességében a drónok komoly segítséget nyújthatnak, akár automatizált módon, a különböző akvakultúrák számára, ahol előre programozott feladatokat, – monitoring, felügyeleti és viselkedésvizsgálatok, elemzési tevékenységek – el tudnak látni [9, 42]. Emellett az illegális halászat visszaszorításában is óriási segítséget nyújthatnak a drónokkal készített felvételek, nem csak a gazdáknak, hanem a szabályozó és rendfenntartó szervezeteknek is [53]. A drónok által gyűjtött adatokat egy adatgyűjtő és tároló hálózathoz kapcsolhatók egységes rendszert képezve. A keletkező nagy mennyiségű információ pedig mesterséges intelligencia segítségével feldolgozható, értelmezhető és a menedzsmentdöntésekben felhasználható [9, 42].

KÉRDŐZŐK

Egyedfelismerés és populációbecslés

A távfelügyeleti információs technológia (*remote sensing/monitoring technology*) fejlődése lehetővé tette a gazdák számára, hogy több és pontosabb információt kapjanak az állatok állapotáról, viselkedéséről és környezetükről. Ez a fejlődés elősegítheti a termelés maximalizálását, valamint az állatok egészségének és jóllétének javítását [54]. Ezzel egyidejűleg a gépi látás legújabb fejlesztéseinek köszönhetően a drónok alkalmazása az állatok azonosításában és megszámlálásában szintén nagy mértékben megnövekedett, mert a műholdak által készített felvételek legtöbbször önmagukban nem elegendők, főleg, ha a tanulmányozni kívánt állat 0,5–1 méter mérettartomány alá esik [38].

Xu és mtsai intenzív és extenzív tartási körülmények között tartott szarvasmarháról készült drónfelvételeket vizsgáltak neurális hálózatok segítségével [55]. Eredményeik alapján 90% feletti precizitást és pontosságot értek el az azonosítás és egyedszám meghatározás terén MASK R-CNN algoritmust alkalmazva (Mask R-CNN, a Mask Region-based Convolutional Neural Network rövidítése. Ez a Faster R-CNN objektumdetektáló algoritmus kiterjesztése, amelyet a számítógépes látásban objektumdetektálási és szegmentálási feladatokra egyaránt használnak). Ugyanezen algoritmus alkalmazásával szarvasmarha mellett juhok esetében is képesek voltak 92% és 96%-os eredményt elérni a számolás és azonosítás terén [56]. Nagyobb magasságban végzett kísérleteik során SHAO és mtsai még ennél is jobb eredményeket kaptak YOLOv2 (egylépcsős, valós idejű tárgyfelismerő modell, YOLO1v továbbfejlesztett változata) algoritmus használatával [57]. Az újabb, YOLOv5, alkalmazásával a megtartott precizitással együtt a kiértékelési idő is jelentősen csökkent [58]. SOARES és mtsai nyílt terepen, kifejezetten nagy magasságból (90–120 m) készített képekkel a korábbiakhoz hasonló eredményeket értek el, viszont az általuk használt módszerrel nagy mértékben felgyorsult a számolási folyamat [59]. Ferde szögű (10°–75°) készített képekkel is kitűnő eredmények

*Az állatok egyedi
azonosítása
is lehetséges
megfelelő kamerák
és algoritmusok
használatával*

kaphatók, azonban az állatoktól vett távolság növelésével a pontosság jelentősen csökken [60]. YOLOv5 algoritmus segítségével, viszonylag kevés fényképet használva a tanításhoz, szintén 94% feletti pontosságot értek el a kutatók az állatok felismerése és azonosítása terén [61]. Kecskékkel végzett kísérlet során az azonosítás mellett az állatok aktivitását (legelés, alvás) is nyomon követték. Klasszifikációs modell megoldással 73% precizitást és 78%-os szenzitivitást értek el a felismerés és aktivitás monitoring esetén kecskék esetén [62]. BARBEDO és mtsai 15 különböző neurális hálózatot hasonlítottak össze ugyanazon adathalmaz (szarvasmarhákra készült képek) felhasználásával. A legtöbb modell 85-90% feletti teljesítményt nyújtott [63].

A drónmegoldások az egyedfelismerés mellett új lehetőségeket is nyithatnak az egyedi felismerés terén. ANDREW és mtsai holstein-fríz szarvasmarhák egyedre jellemző fekete-fehér mintázatát kihasználva létrehozta egy folyamattrendszert, amely képes volt az állatokról készült képek alapján, a modell által korábban betáplált és ismert, ill. ismeretlen szarvasmarhák felismerésére, megkülönböztetésére és beazonosítására [64]. Ezáltal légi felvételekkel az egyedi nyomonkövetés, viselkedés és egészségügyi státusz is pontosan követhető, monitorozható. A haszonállatok felismerésére és számlálására használt algoritmusok összefoglalója a **2. táblázat**ban található.

Viselkedésvizsgálat, egészségügyi monitoring

Drónok alkalmazásának nagy előnye a térben és időben egyszerre történő adatgyűjtés megvalósítása, ahol kisebb vagy nagyobb magasságból is nyomomkövethetők és azonosíthatók az állatok, ill. akár az egyes egyedek is [64, 65]. Több napos vagy hónapos időperiódust felölelő megfigyelés során olyan adathalmaz állítható össze, amelyből az állatok csoportos viselkedésmintázataira, mozgásukra és a legelőgazdálkodásra vonatkozóan is értékes következtetések vonhatók el [65]. A viselkedésvizsgálatokon belül monitorozható a takarmányfogyasztás és annak gyakorisága, amelyek későbbi adattisztítást követően kielemezhetők [66]. Extenzív körülmények között tartott szarvasmarhák esetén ezenkívül kép- és videófelvevételekkel az állatok térbeli helyzete és annak változása is vizsgálható, így az egyes egyedek közötti interakciók (pl. tehén és borja) könnyen lekövethetők [67]. Egyes UAV-k RGB kamerák mellett hőkamerákkal is rendelkeznek, ami hasznosnak bizonyulhat a testhőmérséklet és a hőstressz mérésében (**3. ábra**). MUFFORD és mtsai 925 szarvasmarha viselkedéselemzését végezték el. Drónnal készített felvételeken vizsgálták az állatok habitusváltozásait és légzésszámát hőstressz hatására, ahol azt találták, hogy a fekete szőrzetű egyedeket érinti a leginkább a hőstressz [68].

TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK

Számos további lehetőség rejlik még a drónokban a haszonállattartás terén. Az extenzív módon tartott szarvasmarhák monitoringján kívül a súlyuk is megfelelő pontossággal megbecsülhető. Los és mtsai vizsgálataik során RGB kamerák, LiDAR (lézer alapú távérzékelés) és dróntechnológia alkalmazása mellett pontos súlybecslést értek el, 38–62 kg standard átlag hibával (5–10%), holstein-fríz szarvasmarhák esetén [69]. Az állatok megfigyelésén túl a környezetre gyakorolt hatásuk is vizsgálható drónokkal. VINKOVIĆ és mtsai egy tejelő tehenészet metánkibocsátásának becslését végezték el Hollandiában több egymás követő évben. Az általuk UAV-ra rögzített eszközrendszer alkalmas volt arra, hogy pontos adatokkal szolgáltasson a tejelő tehenészet metánkibocsátásáról [70].

Az eddig bemutatott megoldások jól szemléltetik, hogy drónokat már sok területen használnak a precíziós mezőgazdaságban. Ez azonban nem érinti a beltéri állattartást és növénytermesztést. Ennek elsődleges oka a korlátozottan rendelkezésre álló fizikai tér és a GPS-jel helymeghatározási hiánya, amely a drón lokalizációs problémáját okozza.

*Vizsgálható az
állatok viselkedése,
testhőmérséklete,
ill. becsülhető azok
testtömege is*

2. TÁBLÁZAT. Haszonállatok azonosítására, megszámlálására, aktivitásuk megfigyelésére és egyedi felismerésre használt drónok és az elemzéshez felhasznált algoritmusok (MI, mesterséges intelligencia), valamint azok általános teljesítmény mutatóinak összehasonlítása

TABLE 2. Drones used for identification, counting, activity monitoring and individual identification of livestock and comparison of the algorithms (MI alias AI, artificial intelligence) and their performance indicators utilized for the analysis

Alkalmazott MI-modell	Felmérést végző drón	Cél állatfaj	Repülési magasság (méter)	Alkalmazás célja	Eredmények	Képek száma	Hivatkozások
Mask R-CNN	DJI Mavic Pro	Szarvasmarha	8–25 m	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: 84–95%, számolás: 90–96%	1500	[53]
LDA alapú osztályozó	DJI Phantom 3	Kecske	50 m	állatfaj felismerése és aktivitás monitoring	felismerés: 73%, aktivitás érzékelés: 78%	517	[60]
Faster R-CNN (Inception Resnet) V2)	DJI Mavic Pro	Szarvasmarha	90–120 m	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: 90–94%, számolás: >90%	5058	[57]
YOLOv2	DJI Phantom 4	Szarvasmarha	50 m	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: 95%, számolás: > 90%	670	[55]
Xception	DJI Mavic 2 Pro	Szarvasmarha	30 m	állatfaj felismerése	felismerés: 87–90%	276	[58]
NasNet Large	DJI Phantom 4 Pro	Szarvasmarha	30 m	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: 97%, számolás: > 90%	1971	[73]
YOLOv4, YOLOv5	DJI Phantom 3 Advanced	Szarvasmarha	20, 40, 80, és 100 m	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés és számolás: >93%	878	[59]
CNN	nincs információ	Szarvasmarha	nincs információ	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés és számolás: >87%	13520	[74]
Mask R-CNN	DJI Mavic pro	Szarvasmarha és kecske	nincs információ	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: 96%, számolás: 92%	1000	[54]
RetinaNet	nincs információ	Szarvasmarha	nincs információ	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	egyedfelismerés: >93%	3707	[62]
YOLOv5, Inception V3	Prometheus 600	Szarvasmarha	nincs információ	állatfaj felismerése és egyedek megszámlálása	felismerés: >90%	10000	[56]

3. ÁBRA. Szarvasmarhákrol a reggeli órákban készített hőkamerás felvétel DJI Mavic 3T drónnal, amely jól szemlélteti az állatok testhőmérsékletén megoszlását és a környezethez viszonyított különbségét

FIGURE 3. Thermal image of cattle taken in the morning with a DJI Mavic 3T drone, clearly illustrating the distribution of the animals' body temperatures and their contrast with the surrounding environment.



Mindazonáltal léteznek kísérleti megoldások ezen nehézségek áthidalására, amelyek a környezet folyamatos 3D leképezését célozzák. Így a zártan tartott haszonállatok esetén az automatizált megfigyelés idővel megvalósíthatóvá válhat [71].

MEGVITATÁS

A drónok széles körű alkalmazási lehetőségeik és sokoldalúságuk miatt az állatok folyamatos megfigyelésére és azok egészségi állapotának megállapítására is használhatóak. Pontosság terén nincs vagy elhanyagolható különbség mutatkozott a gép, ill. ember által végrehajtott mérések között [35]. Természetesen a különböző fajok mérésére, felismerésére és számolására más-más optimalizált ML algoritmusokat érdemes használni, azonban a meglévő algoritmusok potenciálisan, akár kisebb módosítások után, képesek lehetnek kis hibaszázalék mellett kiértékelni a drónok által készített fényképfelvételeket, esetlegesen videófelvételeket [63, 72]. A meglévő technológiákat kombinálva pedig komplex monitoringrendszerek is létrehozhatók drónok alkalmazásával, ahol az egyedek aktivitásának nyomonkövetése, viselkedése és egészségügyi státusza is vizsgálható [64, 73].

Ezen túlmenően más vezeték nélküli állatállomány-megfigyelő szenzorokkal (IoT – Internet of Things) kiegészítve egy közös hálózati rendszerben is felhasználhatók és értékelhetők a kapott adatok [74]. Fontos azonban kiemelni, hogy ML és képi felismerés alkalmazása során számos nehézség és limitáló tényező merülhet fel. Nehézséget jelenthet a háttér, annak színe, napszak, fényerősség, árnyékok, összecsoportosult, egymás kitakaró állatok, tereptárgyak, az állatok mozgása és a betekintési szög, ill. nem elhanyagolható limitáló tényező az állatoktól vett távolság sem [38, 60, 75]. Ezen korlátok egy része az alkalmazott algoritmusból származik, amely statikus képeket (képkockákat) használ, így mozgást végző élőlények azonosíthatósága romolhat. Emellett a különböző modellek esetén a nagyobb mennyiségű adat nem feltétlenül generál jobb eredményt [76].

Bizonyos felmerülő problémákra megoldást jelenthet több drón együttes használata, amellyel még a hatékonyság is növelhető és nagyobb lefedettség érhető el egy adott legelőterületen, tovább növelve a pontosságot és időt spórolva a hagyományos technikákkal szemben [77, 78]. Az állatok megfigyelése és vizsgálata számos hasznos információval szolgálhat, azonban potenciálisan magában foglalhatja az állomány zavarását is [79]. Az alacsonyabb repülési magasság és ezáltal a drón és a vizsgált állatok közötti csökkent távolság a legtöbb állatfajnál együtt jár azok viselkedésváltozásával [14]. Továbbá nyugta-

**Több drón együttes
használatával a
hatékonyság is
növelhető és nagyobb
lefedettség érhető el**

lanságot idézhet elő az állatokban a drónok által keltett zaj. Az állatok jóval korábban észlelik a drónokat akusztikusan, minthogy vizuálisan képesek lennének észre venni azokat [14, 80]. A drónok sziluettje és repülés közbeni mozgása szintén potenciális zavaró tényezőként jelentkezhet, főleg azon állatfajoknál, amelyeknek ragadozói az égből támadnak, így légi fenyegetést látva az UAV-ban [81]. Mindezen szempontok figyelembevétele és előzetes elemzése erősen javasolt egy adott állatfaj vizsgálatakor, kifejezetten, ha az adott genusról vagy fajról ilyen jellegű információk még nem állnak rendelkezésre [79].

A korábban felsorolt számos korlátozó tényező mellett a drónok teljesítményét is számos további elem korlátozhatja. Ezek egy része az akkumulátorkapacitáshoz, ezáltal a korlátozott repülési időhöz kapcsolódik. A repülési időt csökkenthetik pl. a szélsőséges légköri körülmények, a szárnyak és motorok mérete, a hasznosterher és az akkumulátor élettartama. Mindezek sérülékennyé teszik az UAV-t, azonban megfelelő odafigyeléssel, gyártási technológiával és optimalizáló algoritmusokkal ezen tényezők hatásai csökkenthetők [1]. Emellett a repülési idő növelése is elérhető, pl. nagyobb kapacitású vagy több akkumulátor UAV-ra elhelyezésével. Ezzel együtt viszont megemelkednek a költségek, és nő a hasznosterher súlya is, így előfordulhat, hogy további pilótaengedélyek válnak szükségessé az ilyen drónok üzemeltetéséhez [82].

Számos biztonsági és adatvédelmi aggály is felmerülhet az UAV-k használatakor. Ezek a gépek gyakran tartalmaznak olyan fedélzeti vezetékek nélküli kommunikációs modulokat, amelyek nyílt, titkosítást nem tartalmazó és nem hitelesített csatornákat használnak, ezáltal potenciális áldozatai lehetnek a különböző kibertámadásoknak [1, 83]. Egy támadónak több lehetősége is van a drónok kommunikációjának megzavarására (De-autentikációs támadás – azonosítást zavaró – vagy GPS-hamisító támadás). Pl. nagyszámú foglalási kérelmet küldhet ki, lehallgathatja a vezérlő kommunikációját és/vagy meghamisíthatja az adatokat. A drónok feltörésével az összegyűjtött, legtöbbször kép- vagy videófelvevételek adatai adatlopás áldozataivá válhatnak, és akár rosszindulatú célokra felhasználhatók lehetnek [1]. Ezenkívül maguk a drónok is a kibertámadások eszközei is lehetnek, amely komoly polgári vagy akár nemzetbiztonsági problémát jelenthet [83].

Egyelőre a szigorú szabályozás az egyik legfontosabb akadály a az UAV-k szélesebb körű elterjedésének

A világ legtöbb országában még mindig érvényben lévő szigorú szabályozás az egyik legfontosabb akadály a UAV-k szélesebb körű általános elterjedésének és alkalmazásának [84, 85]. Az emberek biztonsága és az UAV-k gyakorlati felhasználása közötti egyensúly fenntartása érdekében egyes országokban különböző szabályozások vannak érvényben, amelyeket eltérő testületek alkottak (pl. Szövetségi Légügyi Hivatal, FAA – USA, az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség, EASA – EU). Több pontban azonban ezen szabályozások is egyeznek, ha az általános felhasználásról beszélünk, amely kategóriába bizonyos mezőgazdasági alkalmazások is belesznek. Ilyen pl. a drónok nyilvántartásba vétele, minimális életkor kritériuma és tanúsítvány megléte. A repülés során a pilóta nélküli légi járművet látótávolságon belül kell tartania (VLOS, visual line of sight), és általánosságban szintén elmondható, hogy a repülési magasságot is 100–120 méterben maximalizálták [82, 85]. Ezen előírások közül a haszonállatok monitoringja során a legnagyobb nehézséget a VLOS fenntartása jelenti, hiszen a nagy területeken történő megfigyelés során a drón folyamatos követésére, esetleg többszöri le- és felszállásra van szükség. Megemlítenéd azonban, hogy ezek a korlátok kiterjeszthetők, bár az ehhez tartozó eljárásrend országonként különböző, bonyolult, időigényes és drága lehet [82]. Mindezek ellenére, a különböző gyakorlati alkalmazások világszerte növekvő népszerűséget mutatnak [84]. Az UAV-technológia még a fejlődése korai szakaszában jár ugyan, azonban olyan gyorsan növekszik az felhasználási lehetőségek sora és vele együtt a technika is, hogy a kutatók és a jogalkotók is nehezen tartják vele a lépést. Mivel azonban még rengeteg tudományos kérdés megválaszolatlan, így kiváló lehetőséget adódik a kutatás és kísérletezés terén. Azon gazdálkodók vagy ipari szereplők pedig, akik a korai felhasználók közé tartoznak, komoly versenyelőnyre tehetnek szert [85].

A dróntechnológiában már most hatalmas potenciál lakozik. Az Állatorvos-tudományi Egyetemen egy nemrég indult doktori kutatás keretében éppen az használatát, élelmiszerlánc-biztonság és járványvédelem területén kívánjuk feltárni és vizsgálni az UAV-ben rejlő lehetőségeket. Az innováció és technológiai újítások kritikus fontosságúak valamennyi tudományterületen. A drónok alkalmazása pedig egy jó példa lehet arra, hogy hogyan hozhat az új technológia merőben más megközelítéseket és megoldásokat a meglévő problémákra.

Ezen összefoglaló célja a drónok szakirodalomban fellelhető jelenlegi főbb alkalmazási lehetőségeinek bemutatása volt, különös tekintettel a mezőgazdaságban és az állattartás területén jelenlévő vagy fejlesztés alatt álló lehetőségekre. A megoldások széles skálája és változatos jellege jól tükrözi a drónokban rejlő potenciált ezen a tudományterületen is. A szerzők tapasztalatai alapján a legfontosabb levonható következtetés, hogy az eltérő akadályok (technikai, gyakorlati és szabályozásbeli) ellenére az UAV-technológia felhasználási lehetőségei egyre növekednek, és az említett nehézségek leküzdése után valószínű, hogy ez csak tovább fog bővülni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányt az Állatorvostudományi Egyetem tudományos kutatási alapja támogatta (SRF-002 számú pályázat), illetve a Kulturális és Innovációs Minisztérium 2024-2.1.2-EKÖP-KDP kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Ezúton is külön köszönettel tartozom BIKÁDI KATALINNAK a kereső kifejezések optimalizálása és az adatbázisokban történő keresésben nyújtott segítségéért.

IRODALOM

- Mohsan SAH, Khan MA, Noor F, Ullah I, Alsharif MH (2022) Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones* 6:147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
- Yinka-Banjo C, Ajayi O (2020) Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture. In: Dekoulis G (ed) *Autonomous Vehicles*. IntechOpen
- Yang Z, Yu X, Dedman S, Rosso M, Zhu J, Yang J, Xia Y, Tian Y, Zhang G, Wang J (2022) UAV remote sensing applications in marine monitoring: Knowledge visualization and review. *Sci Total Environ* 838:155939. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155939>
- Menouar H, Guvenc I, Akkaya K, Uluagac AS, Kadri A, Tuncer A (2017) UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Commun Mag* 55:22–28. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600238CM>
- Shakhatreh H, Sawalmeh AH, Al-Fuqaha A, Dou Z, Almaita E, Khalil I, Othman NS, Khreishah A, Guizani M (2019) Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. *IEEE Access* 7:48572–48634. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
- Zhang R, Wang Z, Li X, She Z, Wang B (2023) Water Quality Sampling and Multi-Parameter Monitoring System Based on Multi-Rotor UAV Implementation. *Water* 15:2129. <https://doi.org/10.3390/w15112129>
- Almeida DRAD, Broadbent EN, Ferreira MP, Meli P, Zambrano AMA, Gorgens EB, Resende AF, De Almeida CT, Do Amaral CH, Corte APD, Silva CA, Romanelli JP, Prata GA, De Almeida Papa D, Stark SC, Valbuena R, Nelson BW, Guillemot J, Féret J-B, Chazdon R, Brancalion PHS (2021) Monitoring restored tropical forest diversity and structure through UAV-borne hyperspectral and lidar fusion. *Remote Sens Environ* 264:112582. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112582>
- Wang D, Shao Q, Yue H (2019) Surveying Wild Animals from Satellites, Manned Aircraft and Unmanned Aerial Systems (UASs): A Review. *Remote Sens* 11:1308. <https://doi.org/10.3390/rs11111308>
- Ubina NA, Cheng S-C, Chen H-Y, Chang C-C, Lan H-Y (2021) A Visual Aquaculture System Using a Cloud-Based Autonomous Drones. *Drones* 5. <https://doi.org/10.3390/drones5040109>
- Librán-Embrié F, Klaus F, Tschardt T, Grass I (2020) Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review. *Sci Total Environ* 732:139204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139204>
- Erdelj M, Król M, Natalizio E (2017) Wireless Sensor Networks and Multi-UAV systems for natural disaster management. *Comput Netw* 124:72–86. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2017.05.021>
- Padró J-C, Carabassa V, Balagué J, Brotons L, Alcañiz JM, Pons X (2019) Monitoring opencast mine restorations using Unmanned Aerial System (UAS) imagery. *Sci Total Environ* 657:1602–1614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.156>
- Watts AC, Ambrosia VG, Hinkley EA (2012) Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sens* 4:1671–1692. <https://doi.org/10.3390/rs4061671>
- Schad L, Fischer J (2023) Opportunities and risks in the use of drones for studying animal behaviour. *Methods Ecol Evol* 14:1864–1872. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13922>
- Aquilani C, Confessore A, Bozzi R, Sirtori F, Pugliese C (2022) Review: Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal* 16:100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
- Alvarado E (2023) *Drones in Agriculture Market Report*
- Van De Schoot R, De Bruin J, Schram R, Zahedi P, De Boer J, Weijdeema F, Kramer B, Huijts M, Hoogerwerf M, Ferdinands G, Harkema A, Willemsen J, Ma Y, Fang Q, Hindriks S, Tummers L, Oberski DL (2021) An open source machine learning framework for efficient and transparent systematic reviews. *Nat Mach Intell* 3:125–133. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00287-7>

18. Small H (1973) Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *J Am Soc Inf Sci* 24:265–269. <https://doi.org/10.1002/asi.4630240406>
19. Kessler MM (1963) Bibliographic coupling between scientific papers. *Amer Doc* 14:10–25. <https://doi.org/10.1002/asi.5090140103>
20. Kessler MM (1965) Comparison of the results of bibliographic coupling and analytic subject indexing. *Amer Doc* 16:223–233. <https://doi.org/10.1002/asi.5090160309>
21. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D (2021) The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
22. Yaxley KJ, Joiner KF, Abbass H (2021) Drone approach parameters leading to lower stress sheep flocking and movement: sky shepherding. *Sci Rep* 11:7803. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87453-y>
23. Burry M (2018) Drone and dog combo prove efficient for farmer. <https://www.rnz.co.nz/news/country/357662/drone-and-dog-combo-prove-efficient-for-farmer>
24. RNZ (2019) Barking drones used on farms instead of sheep dogs. <https://www.youtube.com/watch?v=CTjVJKClpyU>
25. Yaxley KJ, Reid A, Kenworthy C, Hossny M, Baxter DP, Allworth MB, McGrath SR, Joiner KF, Abbass H (2023) Building a Sky Shepherd for the future of agriculture. *Smart Agric Technol* 3:100137. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100137>
26. Li X, Huang H, Savkin AV, Zhang J (2022) Robotic Herding of Farm Animals Using a Network of Barking Aerial Drones. *Drones* 6:. <https://doi.org/10.3390/drones6020029>
27. Jung S, Ariyur KB (2017) Strategic Cattle Roundup using Multiple Quadrotor UAVs. *IJASS* 18:315–326. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2017.18.2.315>
28. XL (2020) Herding 1000 animals with 4 barking drones by the proposed method and the benchmark method. <https://www.youtube.com/watch?v=KPGrAcgPH8Q>
29. Anzai H, Kumaishi M (2023) Effects of continuous drone herding on behavioral response and spatial distribution of grazing cattle. *Appl Anim Behav Sci* 268:. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106089>
30. Yaxley KJ, McIntyre N, Park J, Healey J (2021) Sky Shepherds: A Tale of a UAV and Sheep. In: Abbass HA, Hunjet RA (eds) *Shepherding UxVs for Human-Swarm Teaming*. Springer International Publishing, Cham, pp 189–206
31. Paranjape AA, Chung S-J, Kim K, Shim DH (2018) Robotic Herding of a Flock of Birds Using an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Trans Robot* 34:901–915. <https://doi.org/10.1109/TRO.2018.2853610>
32. Storms RF, Carere C, Musters R, Van Gasteren H, Verhulst S, Hemelrijk CK (2022) Deterrence of birds with an artificial predator, the RobotFalcon. *J R Soc Interface* 19:20220497. <https://doi.org/10.1098/rsif.2022.0497>
33. Wang Y, Ma L, Wang Q, Wang N, Wang D, Wang X, Zheng Q, Hou X, Ouyang G (2023) A Lightweight and High-Accuracy Deep Learning Method for Grassland Grazing Livestock Detection Using UAV Imagery. *Remote Sens* 15:1593. <https://doi.org/10.3390/rs15061593>
34. Lyu X, Li X, Dang D, Dou H, Wang K, Lou A (2022) Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Remote Sensing in Grassland Ecosystem Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sens* 14:1096. <https://doi.org/10.3390/rs14051096>
35. Sun Y, Yi S, Hou F, Luo D, Hu J, Zhou Z (2020) Quantifying the Dynamics of Livestock Distribution by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Case Study of Yak Grazing at the Household Scale. *JRM* 73:642–648. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.05.004>
36. Cao Y, Chen T, Zhang Z, Chen J (2023) An Intelligent Grazing Development Strategy for Unmanned Animal Husbandry in China. *Drones* 7:. <https://doi.org/10.3390/drones7090542>
37. Alanezi MA, Sadiq BO, Sha'aban YA, Boucekara HREH (2022) Livestock Management on Grazing Field: A FANET Based Approach. *Appl Sci (Basel)* 12:. <https://doi.org/10.3390/app12136654>
38. Wang D, Song Q, Liao X, Ye H, Shao Q, Fan J, Cong N, Xin X, Yue H, Zhang H (2020) Integrating satellite and unmanned aircraft system (UAS) imagery to model livestock population dynamics in the Longbao Wetland National Nature Reserve, China. *Sci Total Environ* 746:140327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140327>
39. Mulero-Pazmany M, Angel Barasona J, Acevedo P, Vicente J, Jose Negro J (2015) Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecol Evol* 5:4808–4818. <https://doi.org/10.1002/ece3.1744>
40. Luo Y, Ji W, Wu W, Liao Y, Wei X, Yang Y, Dong G, Ma Q, Yi S, Sun Y (2023) Grassland health assessment based on indicators monitored by UAVs: a case study at a household scale. *Front Plant Sci* 14:1150859. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1150859>
41. Freitas RG, Pereira FRS, Dos Reis AA, Magalhães PSG, Figueiredo GKDA, Do Amaral LR (2022) Estimating pasture aboveground biomass under an integrated crop-livestock system based on spectral and texture measures derived from UAV images. *Comput Electron Agric* 198:107122. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107122>
42. Ubina NA, Cheng S-C (2022) A Review of Unmanned System Technologies with Its Application to Aquaculture Farm Monitoring and Management. *Drones* 6:12. <https://doi.org/10.3390/drones6010012>
43. Harris JM, Nelson JA, Rieucan G, Broussard WP III (2019) Use of Drones in Fishery Science. *T Am Fish Soc* 148:687–697. <https://doi.org/10.1002/tafs.10168>
44. Amorim Reis-Filho J, Giarrizzo T (2022) Perspectives on the Use of Unmanned Aerial Vehicle Systems as Tools for Small-Scale Fisheries Research and Management. *Fisheries* 47:78–89. <https://doi.org/10.1002/fsh.10696>
45. Wang L, Yue X, Wang H, Ling K, Liu Y, Wang J, Hong J, Pen W, Song H (2020) Dynamic version of inland aquaculture water quality based on UAVs-WSN spectral analysis. *Remote Sens* 12:. <https://doi.org/10.3390/rs12030402>
46. Liang W-Y, Juang J-G (2022) Application of image identification to UAV control for cage culture. *Sci Prog* 105:. <https://doi.org/10.1177/00368504221135450>
47. Koparan C, Koc AB, Privette CV, Sawyer CB (2020) Adaptive Water Sampling Device for Aerial Robots. *Drones* 4:5. <https://doi.org/10.3390/drones4010005>
48. Tian Y, Yang Z, Yu X, Jia Z, Rosso M, Dedman S, Zhu J, Xia Y, Zhang G, Yang J, Wang J (2022) Can we quantify the aquatic environmental plastic load from aquaculture? *Water Res* 219:118551. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118551>
49. Lien AM, Schellewald C, Stahl A, Frank K, Skjopen KR, Tjølsten JI (2019) Determining spatial feed distribution in sea cage aquaculture using an aerial camera platform. *Aquacult Eng* 87:. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102018>
50. Skjopen KR, Alver MO, Zolich AP, Alfreidsen JA (2016) Feed spreaders in sea cage aquaculture – Motion characterization and measurement of spatial pellet distribution using an unmanned aerial vehicle. *Comput Electron Agric* 129:27–36. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.020>
51. Taparhudee W, Jongjaraunsuk R, Nimitkul S, Mathurossuwan W (2023) Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with Area Image Analysis of Red Tilapia Weight Estimation in River-Based Cage Culture. *JFE* 47:119–130
52. Román A, Prasyad H, Oiry S, Davies BFR, Brunier G, Barillé L (2023) Mapping intertidal oyster farms using unmanned aerial vehicles (UAV) high-resolution multispectral data. *Estuar Coast Shelf Sci* 291:. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108432>
53. Bloom D, Butcher PA, Colefax AP, Provost EJ, Cullis BR, Kelaher BP (2019) Drones detect illegal and derelict crab traps in a shallow water estuary. *Fisheries Manag Eco* 26:311–318. <https://doi.org/10.1111/fme.12350>
54. Ruiz-García L, Lunadei L, Barreiro P, Robla I (2009) A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors* 9:4728–4750. <https://doi.org/10.3390/s90604728>
55. Xu B, Wang W, Falzon G, Kwan P, Guo L, Chen G, Tait A, Schneider D (2020) Automated cattle counting using Mask R-CNN in quadcopter vision system. *Comput Electron Agric* 171:105300. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105300>

56. Xu B, Wang W, Falzon G, Kwan P, Guo L, Sun Z, Li C (2020) Livestock classification and counting in quadcopter aerial images using Mask R-CNN. *Int J Remote Sens* 41:8121–8142. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1734245>
57. Shao W, Kawakami R, Yoshihashi R, You S, Kawase H, Naemura T (2020) Cattle detection and counting in UAV images based on convolutional neural networks. *Int J Remote Sens* 41:31–52. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1624858>
58. Luo W, Zhang Z, Fu P, Wei G, Wang D, Li X, Shao Q, He Y, Wang H, Zhao Z, Liu K, Liu Y, Zhao Y, Zou S, Liu X (2022) Intelligent Grazing UAV Based on Airborne Depth Reasoning. *Remote Sens* 14:4188. <https://doi.org/10.3390/rs14174188>
59. Soares VHA, Ponti MA, Gonçalves RA, Campello RJGB (2021) Cattle counting in the wild with geolocated aerial images in large pasture areas. *Comput Electron Agric* 189:106354. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106354>
60. Barbedo JGA, Koenigkan LV, Santos PM (2020) Cattle Detection Using Oblique UAV Images. *Drones* 4:75. <https://doi.org/10.3390/drones4040075>
61. de Lima Weber F, de Moraes Weber VA, de Moraes PH, Matsubara ET, Paiva DMB, de Nadai Bonin Gomes M, de Oliveira LOF, de Medeiros SR, Cagnin MI (2023) Counting cattle in UAV images using convolutional neural network. *Remote Sens Appl Soc Environ* 29. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100900>
62. Vayssade J-A, Arquet R, Bonneau M (2019) Automatic activity tracking of goats using drone camera. *Comput Electron Agric* 162:767–772. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.021>
63. Barbedo JGA, Koenigkan LV, Santos TT, Santos PM (2019) A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. *Sensors (Basel)* 19. <https://doi.org/10.3390/s19245436>
64. Andrew W, Gao J, Mullan S, Campbell N, Dowsey AW, Burghardt T (2021) Visual identification of individual Holstein-Friesian cattle via deep metric learning. *Comput Electron Agric* 185:106133. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106133>
65. Ji W, Luo Y, Liao Y, Wu W, Wei X, Yang Y, He XZ, Shen Y, Ma Q, Yi S, Sun Y (2023) UAV Assisted Livestock Distribution Monitoring and Quantification: A Low-Cost and High-Precision Solution. *Animals* 13. <https://doi.org/10.3390/ani13193069>
66. Nyamuryekung'e S, Cibils AF, Estell RE, Gonzalez AL (2016) Use of an Unmanned Aerial Vehicle-Mounted Video Camera to Assess Feeding Behavior of Raramuri Criollo Cows. *Rangeland Ecol Manag* 69:386–389. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2016.04.005>
67. Mufford JT, Hill DJ, Flood NJ, Church JS (2019) Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) and photogrammetric image analysis to quantify spatial proximity in beef cattle. *J Unmanned Veh Sys* 7:194–206. <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0025>
68. Mufford JT, Reudink MW, Rakobowchuk M, Carlyle CN, Church JS (2022) Using unmanned aerial vehicles to record behavioral and physiological indicators of heat stress in cattle on feedlot and pasture. *Can J Anim Sci* 102:1–8. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0125>
69. Los S, Múcher CA, Kramer H, Franke GJ, Kamphuis C (2023) Estimating body dimensions and weight of cattle on pasture with 3D models from UAV imagery. *Smart Agric Technol* 4:100167. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100167>
70. Vinković K, Andersen T, De Vries M, Kers B, Van Heuven S, Peters W, Hensen A, Van Den Bulk P, Chen H (2022) Evaluating the use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based active AirCore system to quantify methane emissions from dairy cows. *Sci Total Environ* 831:154898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154898>
71. Krul S, Pantos C, Frangulea M, Valente J (2021) Visual SLAM for Indoor Livestock and Farming Using a Small Drone with a Monocular Camera: A Feasibility Study. *Drones* 5:41. <https://doi.org/10.3390/drones5020041>
72. Hao M, Yu H, Li D (2016) The Measurement of Fish Size by Machine Vision – A Review. In: Li D, Li Z (eds) *Computer and Computing Technologies in Agriculture IX*. Springer International Publishing, Cham, pp 15–32
73. Longmore SN, Collins RP, Pfeifer S, Fox SE, Mulero-Pázmány M, Bezombes F, Goodwin A, De Juan Ovelar M, Knapen JH, Wich SA (2017) Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems. *Int J Remote Sens* 38:2623–2638. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1280639>
74. Alanezi MA, Salami AF, Sha'aban YA, Boucekara HREH, Shahriar MS, Khodja M, Smail MK (2022) UBER: UAV-Based Energy-Efficient Reconfigurable Routing Scheme for Smart Wireless Livestock Sensor Network. *Sensors* 22:6158. <https://doi.org/10.3390/s22166158>
75. Barbedo JGA, Koenigkan LV, Santos PM, Ribeiro ARB (2020) Counting Cattle in UAV Images—Dealing with Clustered Animals and Animal/Background Contrast Changes. *Sensors* 20:2126. <https://doi.org/10.3390/s20072126>
76. Rivas A, Chamoso P, González-Briones A, Corchado J (2018) Detection of Cattle Using Drones and Convolutional Neural Networks. *Sensors* 18:2048. <https://doi.org/10.3390/s18072048>
77. Li X, Xing L (2019) Use of Unmanned Aerial Vehicles for Livestock Monitoring based on Streaming K-Means Clustering. *IFAC-PapersOnLine* 52:324–329. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.560>
78. Li X, Xing L (2019) Reactive Deployment of Autonomous Drones for Livestock Monitoring Based on Density-based Clustering. In: 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, Dali, China, pp 2421–2426
79. Mulero-Pázmány M, Jenni-Eiermann S, Strebel N, Sattler T, Negro JJ, Tablado Z (2017) Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PLoS ONE* 12:e0178448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178448>
80. Mesquita G, Mulero-Pázmány M, Wich S, Rodríguez-Teijeiro J (2022) Terrestrial Megafauna Response to Drone Noise Levels in Ex Situ Areas. *Drones* 6:333. <https://doi.org/10.3390/drones6110333>
81. McEvoy JF, Hall GP, McDonald PG (2016) Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *PeerJ* 4:e1831. <https://doi.org/10.7717/peerj.1831>
82. Alanezi MA, Shahriar MS, Hasan MdB, Ahmed S, Sha'aban YA, Boucekara HREH (2022) Livestock Management With Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *IEEE Access* 10:45001–45028. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168295>
83. Vattapparamban E, Guvenc I, Yurekli AI, Akkaya K, Uluagac S (2016) Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. In: 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). IEEE, Paphos, Cyprus, pp 216–221
84. Freeman PK, Freeland RS (2015) Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hype. *Remote Sens Appl* 2:35–43. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.10.002>
85. Barbedo JGA, Koenigkan LV (2018) Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. *Outlook Agric* 47:214–222. <https://doi.org/10.1177/0030727018781876>

Közlésre ér.: 2024. aug. 1.