

<https://doi.org/10.61308/CFAS3508>

Прецизно животновъдство: същност и приложение при едри и дребни преживни. Обзор

Йовка Попова*, Стайка Лалева, Магдалена Облакова, Николай Иванов, Иван Славов и Недка Димова

Селскостопанска академия, Земеделски институт – Стара Загора, България

*Кореспондиращ автор: ympopova@abv.bg

Резюме: През новия програмен период 2021-2027 година като стратегическа цел за развитието на европейското земеделие е определена „стимулирането и споделянето на знания, иновации, цифровизация и насърчаване на използването им в по-голяма степен“. Нарастващият брой животни във фермите, изискванията за хуманно отношение и опазване на околната среда, както и прилагането на производствени системи с ограничено използване на ресурси изискват нови решения, които могат да бъдат намерени в цифровите технологии, използвани в цялата система за животновъдство. Прецизното животновъдство включва използването на цифрови технологии. То има за цел да подобри производството и възпроизводството, хуманното отношение към животните и улесняване целенасочено използване на ресурсите за намаляване на въздействието върху околната среда и здравето на хората чрез прецизното контролиране на процесите. Внедряването на PLF зависи: социално-демографските фактори, размера на фермата, производствената система, специализацията на стопанството, вида на отглежданите животни, технологията на отглеждане, възрастта на фермера, държавата и региона и др.

Ключови думи: прецизно животновъдство; дигитализация; говедовъдство; овцевъдство

Precision livestock farming: essence and application in large and small ruminants. Review

Yovka Popova*, Stayka Laleva, Magdalena Oblakova, Nikolay Ivanov, Ivan Slavov and Nedka Dimova

Agricultural Academy, Agricultural Institute-Stara Zagora, Bulgaria

*Corresponding author: ympopova@abv.bg

Citation: Popova, Yo., Laleva, S., Oblakova, M., Ivanov, N., Slavov, I. & Dimova, N. (2024). Precision livestock farming: essence and application in large and small ruminants. Review. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry*, 61(2), 54-63 (Bg).

Abstract: In the new program period 2021-2027, the strategic goal for the development of European agriculture is defined as „stimulating and sharing knowledge, innovation, digitization and promoting their use to a greater extent“. The increasing number of animals on farms, the requirements for humane treatment and environmental protection, as well as the implementation of production systems with limited use of resources require new solutions that can be found in digital technologies used throughout the livestock system. Precision livestock farming involves the use of digital technologies. It aims to improve production and reproduction, animal welfare and facilitate targeted use of resources to reduce the impact on the environment and human health by precisely controlling processes. The implementation of PLF depends on: socio-demographic factors, size of the farm, production system, specialization of the farm, type of animals, animal husbandry technology, age of the farmer, country and region, etc.

Keywords: Precision Livestock Farming; digitalization; cattlebreeding; sheepbreeding

ВЪВЕДЕНИЕ

През новия програмен период 2021-2027 година като стратегическа цел за развитието на европейското земеделие е определена „стимулирането и споделянето на знания, иновации, цифровизация и насърчаване на използването им в по-голяма степен“ (European Commission, 2018). Технологиите за прецизно животновъдство стават все по-често срещани в съвременното селско стопанство, в частност животновъдството. Интегрирането им подобрява взаимодействието между хората и животните, производителността и икономическата устойчивост на съвременните ферми.

Дигитализацията е неразделна част от съвременното земеделие. Приложението на цифрови технологии формира основата за прецизно животновъдство.

Дигитализацията дава възможност за повишаване на конкурентоспособността на животновъдството. Навлизането на информационните и комуникационни технологии (ИКТ) в животновъдната индустрия и нарастващото използване на интернет на нещата откриха нова ера на свързаност, в която неща, хората и животните са част от обмен на мрежи за данни, което води до нова философия на селско стопанство (Halachmi et al., 2019).

Идеята за прецизно земеделие (РА) е представена за първи път в началото на 90-те години в САЩ. През 1997 г. Камарата на представителите описва РА като „интегрирана система за земеделие, базирана на информация и производство, предназначена да увеличи ефективността, производителността и рентабилността на дългосрочно, специфично за обекта и цялостно земеделско производство, като същевременно минимизира въздействието върху дивата природа и околната среда“ (Morrone et al., 2022). Gebbers and Adamchuk (2010) определят прецизното земеделие като включващо набор от технологии, които съчетават сензори, информационни системи, подобрени машини и информирано управление за подобряване на производството чрез отчи-

тане на променливостта и несигурността в рамките на селскостопанските системи.

Нарастващият брой животни във фермите, изискванията за хуманно отношение и опазване на околната среда, както и прилагането на производствени системи с ограничено използване на ресурси изискват нови решения, които могат да бъдат намерени в цифровите технологии, използвани в цялата система за животновъдство (Berckmans, 2006; Morrone et al., 2022).

Прецизно животновъдство

Berckmans (2006) определя прецизното животновъдство (PLF) като технологична система за наблюдение в реално време на селскостопански животни, насочена към управление на времевата променливост на най-малката управляема производствена единица, известна като „подход на животно“. Може също да се опише като земеделие, използващо оборудване, данни или софтуер, което позволява използването на информация на индивидуално ниво за по-прецизно насочване на решения, вложени ресурси и лечения (Morgan-Davies et al., 2015).

Прецизното животновъдство е приложението на концепцията за прецизно земеделие в животновъдството, която позволява наблюдение на животните чрез сензори в реално време. Фермерите събират данни, свързани с животното и ги използват за управление на стадото и стопанството (Odintsov et al., 2021).

Groher et al. (2020a) смятат, че прецизното животновъдство включва използването на цифрови технологии. То има за цел да подобри производството и възпроизводството, хуманното отношение към животните и улесняване целенасочено използване на ресурсите за намаляване на въздействието върху околната среда и здравето на хората чрез прецизното контролиране на процесите.

Според (Berckmans, 2017) целта на PLF е да управлява отделни животни чрез непрекъснат мониторинг в реално време на здравето, благосъстоянието, производството/възпро-

изводството и въздействието върху околната среда. Думата „непрекъснато“ означава в този случай, че PLF технологията измерва и анализира всяка секунда, 24 часа ден и 7 дни седмицата. Фермерите получават предупреждение, когато нещо се обърка по такъв начин, че системата PLF ги отвежда до животното, което се нуждае от тяхното внимание в този момент. Наблюдението може да се извърши чрез камера и анализи на изображения в реално време, чрез микрофон и анализи на звук в реално време или чрез сензори около или върху животното.

Основата на прецизното животновъдство (PLF) е използването на цифрови технологии, които записват параметрите на индивидуалното животно, на група животни или на околната среда (Wathes et al., 2008; Banhazi et al., 2012; Verckmans, 2017). Чрез PLF системите фермерите имат възможност да наблюдават животните и управляват стопанството в реално време, както и да се улесни труда на заетите в производството и повиши производителността на труда. Технологиите на PLF са фокусирани не само върху факторите, които влияят на производствения процес, но и върху най-значимите участници в производствения процес, животните (Beckmans, 2014). Приложението на PLF подобрява способността на животновъдите да управляват всяко животно поотделно и да реагират на здравословни проблеми или проблеми с човешкото отношение по-бързо и своевременно (Beckmans, 2017). Според Cadero et al. (2018) PLF се основава на събиране и анализ на данни в реално време, които могат да се използват за управление на животни / стада.

Поради сложността на процесите в животновъдството е необходимо съчетаването на данните в реално време с експертни познания за вземане на правилни решения, и предприемане действия в подкрепа на здравето на животните и повишаване на тяхната продуктивност. Комбинирането на експертни знания с данни, получени от сензори, минимизира риска от вземане на неправилни решения и помага да се оцени въздействието на различни

те стратегии, преди да се приложат в действителност (Niloofar et al., 2021).

Според Morrone et al. (2022) ползите за фермерите от приложението на инструментите за прецизно животновъдство включват по-добре вземане на решения, повишена привлекателност за младите хора и благоприятен ефект върху разрешаването на аналитичните недостатъци на крайния потребител чрез преобразуване на необработени данни в полезна информация, която в момента може да се получи само чрез експертен анализ и интерпретация.

В днешно време са налични точни, мощни и евтини инструменти и технологични решения. Те включват камери, микрофони, сензори, безжични мрежови системи, интернет връзки и облачно съхранение. Целта на тези технологични инструменти не е да заместят, а по-скоро да помогнат фермера, който все още остава най-важният аспект на доброто управление на животните (Costa et al., 2007; Morrone et al., 2022).

Големият потенциал на PLF е фокусиран върху ранните предупреждения, които предупреждават фермера да действа веднага щом се появят първите признаци на нарушено благосъстояние или здраве (Dominiak et al., 2017).

Фактори, определящи приемането на цифрови технологии

Според редица учени приемането на дигиталните технологии се определя от социално-демографските фактори, размера на фермата, производствената система (органичен или конвенционален), специализация на стопанството, възраст на фермера, държавата и региона (Tey and Brindal, 2012; Pierpaoli et al., 2013; Paustian и Theuvsen, 2017; Konrad et al., 2019; Tamirat et al., 2018; Barnes et al., 2019). Резултатите не винаги са последователни и варират в зависимост от типа технология и изследваната държава (Tamirat et al., 2018; Barnes et al., 2019). Например, докато Lima et al. (2018) установяват, че възрастта на фермера или размерът на фермата не са свързани

с прилагането на инструменти за електронна идентификация от овцевъдите, то според Konrad et al. (2019) приемането на технологиите за намаляване на хранителните вещества се увеличават с нарастването размера на фермите и намаляват при по-възрастните фермери.

При фермерите, отглеждащи преживни животни пасищно, вероятността да се прилагат такива системи е по-малка. Екстензивната пасищна среда е по-трудна за контролиране в сравнение със оборната, особено по отношение на инфраструктурата и комуникационните възможности (Morgan-Davies et al., 2018). Екстензивните фермери дават приоритет на методите на паша с ниски финансови инвестиции и относителна простота на управление, които осигуряват ниво на икономическа устойчивост от пазарните колебания. Следователно добавянето на PLF системи неизбежно би увеличило производствените разходи и би добавило още едно ниво на технологична сложност към управлението на фермата (Lima et al., 2018). Независимо от това, технологичните решения постепенно се включват в екстензивното пасищно отглеждане на говеда и дребни преживни животни (Morgan-Davies et al., 2017).

Внедряването на цифрови технологии варира значително при различните видове животни и области на приложение. Varkema et al. (2015) обобщават, че степента приложение на доилни работи показват големи различия в световен мащаб. Докато в Дания и Швеция в повече от 20% от млечните стопанства фермерите са приели доилни работи, делът на внедряване в други страни е между 15% и 20% - Исландия и Холандия, между 10% и 15% - Норвегия и по-малко от 10% във Финландия, Германия и Канада. Дигитални технологии при доенето, като сензори за измерване на количеството мляко или автоматични хранилки за концентрат са широко използвани и са достъпни от десетилетия (Ordolff, 2001). За разлика от тях съществуват технологии които са налични от дълго време, но все още не са въведени в голям мащаб в живот-

новъдството. Примери за това са системите за проследяване на животни, системи за откриване или автоматично доене (Borchers and Bewley, 2015; Edwards et al., 2015 г.; Gargiulo et al., 2018).

Въпреки това, решаваща разлика в приложението на цифрови технологии в животновъдния сектор в сравнение с растениевъдното производство е, че системите за отглеждане са по-малко гъвкави и са планирани предварително за десетилетия. Една от причините за това може са високите инвестиционни разходи и дълготрайността на инвестицията.

Съществуват области и производствени отрасли, в които използването на цифрови технологии е по-широко разпространено. В сравнение с други животновъдни сектори, сектор млечно говедовъдство разполага с много повече цифрови технологии (Groher et al., 2020b; Stachowicz и Umstätter, 2020 г.). Abeni et al. (2019) отбелязват, че млечните говедовъди са запознати с разнообразието от инструменти за управление, и с необходимостта от внедряването им.

Приложението на дигитални технологии е различно и при различните процеси и размер на стопанствата. Проучване от Нова Зеландия показва, че технологиите, свързани с процеса на доене, са използвани повече от технологии за събиране на информация например за откриване на заболяване или температура (Edwards et al., 2015). Gargiulo et al. (2018) оценяват различно модели на внедряване според размера на стадото сред австралийски фермери и установяват, че по-големите ферми прилагат повече прецизни технологии от по-малките, както и че нито един от фермерите не е посочил използване на измервания за продуктивността на пасищата, а само 1% посочват използване на опции за обработка на данни за управление на пасищата.

Според Stachowicz and Umstätter (2020) млечното говедовъдство се характеризира с приложение на много повече цифрови решения. Доенето е основен технологичен процес, свързан с високо физическо натоварване за работниците и голяма продължителност,

така че ефектът от внедряването на цифровите технологии е очевиден.

Международно проучване относно използването на технологиите за прецизно животновъдство в млекопроизводството показва, че установяването на мастит, храненето и възпроизводството на животните са с висок приоритет, докато управлението на пасищата са класирани като с по-нисък приоритет (Palczynski, 2016).

Районът на фермата обуславя технологията на отглеждане и внедряването на прецизно земеделие според изследване на швейцарските земеделски стопанства (Groher et al., 2020). Планинските ферми често генерират по-малко приходи (FSO, 2019b) и трябва да се справят с по-тежки производствени условия, което може да обясни силния негатив от дигитализация на процесите и приемането на нови технологии. Но съществуват и евтини технологии, които също могат да се прилагат в тези ферми. Например сензори за активност, инструменти за електронна идентификация или проследяването на животни може да се използват за дистанционно наблюдение на поведението или местоположението на животните. Прецизното управление на пасищата може да помогне за по-ефективното използване на съществуващите ресурси. Освен многото възможности, които предоставя използването на дигитализация на процесите, някои проучвания изследват бариерите пред приемането на цифрови технологии в селското стопанство (Wathes et al., 2008; Drewry et al., 2019). Например, голямо предизвикателство е интерпретацията на записаните данни, тъй като променящото се във времето поведение на всяко животно я затруднява (Palczynski, 2016). Допълнителна бариера може да бъде недостатъчна устойчивост на сензорите (Wathes et al., 2008). Освен това системите на различни производители може да са несъвместими и за комбинация от данни, получени от различни сензори трябва да бъде трансформирани в използваема информация Van Hertem et al., 2017). Със сигурност финансовото предимство е едно от основните определящи факто-

ри в решението за приложение (Reichardt and Jürgens, 2009; Pathak et al., 2019). Възприятостта и вярванията на фермерите също са важни определящи фактори за усвояването на технологиите. Много от фермерите считат, че използването на модерни технологии и интелигентно земеделие е много скъпо и печелившо само за по-големите ферми, поради усещането за високи разходи и сложност. Има обаче и технологии, които са евтини, лесни за използване и не водят до огромни разходи (Schrijver et al., 2016).

PLF в говедовъдството

Използването на модерни технологии в говедовъдството започва с автоматичната идентификация на животните (Mun et al., 2005). Група учени в Обединеното кралство са провели изследване на система за идентифициране на животните, базирана на дрон, чрез която се разпознават по шарките на козината, за да идентифицират отделни крави в свободно движещи се стада, като е установено високо ниво на точност - 91,9-94,4 (Andrew W. et al., 2022; Meunier B. et al., 2018; Terrasson G. et al., 2016; Llarria, A., 2015; Casas, R., 2021).

Процесът на доене е трудоемък и свързан с голямо физическо натоварване, така че очакваното предимство от използването на цифрови технологии бързо става очевидно.

Според Morrone et al. (2022) една от най-ранните разработки на PLF е автоматичната система за доене (AMS), при която, освен че процесът на доене се управлява от машини, са направени и много подобрения в управлението на цялата система на фермата. John et al. (2016) установяват, че при тази система кравите свободно избират кога да бъдат издоени, и това позволява доенето да се разпредели в 24-часов цикъл. Редица проучвания (Benni et al., 2020; Vonora et al., 2018; Vonora et al., 2020) показват, че правилното съхраняване на събраните данни в структурирани бази данни е необходима предпоставка за разработване на числени модели, способни да характеризират услови-

ята и продуктивността на отделните крави и прогнозиране общото производство на мляко (Vovo et al., 2021).

В млечното говедовъдство съществуват множество системи, сензори и софтуер, подмагачи на фермерите в управлението на храненето, установяване на еструс и идентифициране на симптоми на заболявания. При откриването на еструс редица автори (Valenza et al., 2012; Aungier et al., 2012; LeRoy et al., 2018) установяват, че автоматизираните системи за активност се различават по своите резултати или променливи, които трябва да се анализират (напр. брой стъпки, ускорение на движението, честота на преживяване, продължителност на лежане).

За откриване на куцота при говедата се използват крачкомери и други системи, някои от които достигат точност до 87%, и ранен стадий на диагностика, приблизително три дни преди появата на видими или клинични признаци на куцота (Taneja et al., 2020a; Taneja et al., 2020b; Van Hertem et al. 2016; Warner et al., 2020).

Редица автори (Morrone et al., 2022; Krieger et al., 2018; Steensels et al., 2012; Steensels et al., 2016; Steensels et al., 2017; Ghang, et al., 2020) считат, че приложението на технологията за прецизно животновъдство може да бъде ефективна при откриване на заболявания на млечните жлези и отелвания при млечните крави.

PLF в овцевъдството

Lima et al. (2018) са провели анкета на овцевъди в Обединеното кралство, за да анализират факторите, свързани с приемането на технология за електронна идентификация (EID) и свързаната технология за записване на информация за стадото. Те установяват, че фермерите са убедени в използването на технологията за записване на информация за стадото и използването ѝ за подпомагане на вземането на решения. Тези стопани, които възприемат EID технологията като полезна, е по-вероятно да я приложат за записване на информация за стадото.

Овцевъдите имат по-ниска производителност и маржове на печалба в сравнение с други животновъдни сектори в Обединеното кралство това е свързано с ограниченото използване на данни в подкрепа на здравето на животните и управление на стадото (Kaler and Green, 2013; Lima et al., 2018). Използването на прецизна технология в подкрепа на решението за управление на здравето на животните е идентифицирано като потенциален начин за справяне с този проблем (Berckmans, 2014; Walton et al., 2018). Berckmans (2014) твърди, че това се различава от други подходи, които включват мониторинг на хуманното отношение към животните от човешки експерти.

Електронни сензори за идентификация на дребни преживни животни могат да бъдат поставени в ушни марки (Carné et al, 2009) руменни болуси или като инжектирани чипове под кожата (Pinna et al., 2006). Наред с идентификацията, особен интерес представлява възможността за непрекъснат мониторинг на стадата, особено в пасищни ферми. В резултат на това няколко скорошни проучвания изследват използването на GPS сензори (Ren et al, 2020; Betteridge et al, 2010) и дронове (Al-Thani et al, 2020; Xu et al., 2020) за наблюдение на животните в реално време, достигайки точност от 96–97%.

За своевременно откриване на инфекциозни заболявания и куцотата чрез измерване на телесната температура могат да използват температурни сензори, имплантирани директно върху животните, или външни, неинвазивни сензори за скрининг на стадото и откриване на всякакви аномалии (Morrone et al., 2022; De Diego, A. et al., 2013; Sutherland, M. et al., 2020 и Stubbsjøen, S. et al., 2009).

Непрекъснатият мониторинг на хранителното поведение е от решаващо значение за здравето, продуктивността и благосъстоянието на преживните животни. Mansbridge et al. (2018) установяват, че използването на сензори за автоматизирано събиране на данни и софтуер за класифициране и разпознаване на дейностите дава възможност за значителен подобряване управлението на стопанството.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Съществуват различни решения за PLF, подходящи за дребни и едри преживни животни. Приложението им допринася за подобряване на производството и възпроизводството, хуманното отношение към животните и улесняване целенасочено използване на ресурсите за намаляване на въздействието върху околната среда и здравето на хората чрез прецизното контролиране на процесите.

ЛИТЕРАТУРА

- Abeni, F., Petrera, F. & Galli, A.** (2019). A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. *Animals*, *9*, 202.
- Al-Thani, N., Albuaïnain, A., Alnaimi, F. & Zorba, N.** (2020). Drones for sheep livestock monitoring. In Proceedings of the 2020 IEEE 20th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Palermo, Italy, 16–18 June 2020, 672–676.
- Andrew, W., Greatwood, C. & Burghardt, T.** (2022). Fusing animal biometrics with autonomous robotics: Drone-based search and individual id of friesian cattle. In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops, Snowmass Village, CO, USA, 2–5 March 2022, 38–43.
- Aungier, S. P. M., Roche, J. F., Sheehy, M. & Crowe, M. A.** (2012). Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, *95*, 2452–2466.
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J., Crabtree, H., Schofield, P., Tschärke, M. & Berckmans, D.** (2012). Precision livestock farming: an international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *5*, 1–9.
- Barkema, H. W., von Keyserlingk, M., Kastelic, J., Lam, T., Luby, C., Roy, J-P., LeBlanc, S., Keefe, G. & Kelton, D.** (2015). Invited review: changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, *98*, 7426–7445.
- Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wal, T. & Gomez-Barbero, M.** (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: a cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, *80*, 163–174.
- Benni, S., Pastell, M., Bonora, F., Tassinari, P. & Torreggiani, D.** (2020). A generalised additive model to characterise dairy cows' responses to heat stress. *Animal*, *14*, 418–424.
- Berckmans, D.** (2006). Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *Livestock Production and Society*, *287*, 27–30.
- Berckmans, D.** (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Sci. Tech. Rev. Office Int. des Epizooties*.
- Berckmans, D.** (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* *7*, 6–11.
- Betteridge, K., Hoogendoorn, C., Costall, D., Carter, M. & Griffiths, W.** (2010). Sensors for detecting and logging spatial distribution of urine patches of grazing female sheep and cattle. *Comput. Electron. Agric.*, *73*, 66–73.
- Bonora, F., Pastell, M., Benni, S., Tassinari, P. & Torreggiani, D.** (2018). ICT Monitoring and Mathematical Modelling of Dairy Cows Performances in Hot Climate Conditions: A study Case in Po Valley (Italy). Available online: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4679> (accessed on 3 May 2022).
- Bonora, F., Benni, S., Barbaresi, A., Tassinari, P. & Torreggiani, D.** (2018). A cluster-graph model for herd characterisation in dairy farms equipped with an automatic milking system. *Biosyst. Eng.*, *167*, 1–7.
- Borchers, M. R. & Bewley, J. M.** (2015). An assessment of producer precision dairyfarming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of Dairy Science*, *98*, 4198–4205.
- Bovo, M., Agrusti, M., Benni, S., Torreggiani, D. & Tassinari, P.** (2021). Random forest modelling of milk yield of dairy cows under heat stress conditions. *Animals*, *11*, 1305.
- Cadero, A., Aubry, A., Dourmad, J. Y., Salaun, Y. & Garcia-Launay, F.** (2018). Towards a decision support tool with an individual-based model of a pig fattening unit. *Computers and Electronics in Agriculture*, *147*, 44–50.
- Carné, S., Caja, G., Ghirardi, J. J. & Salama, A. A. K.** (2009). Long-term performance of visual and electronic identification devices in dairy goats. *J. Dairy Sci.*, *92*, 1500–1511.
- Casas, R., Hermosa, A., Marco, Á., Blanco, T. & Zarazaga-Soria, F. J.** (2021). Real-Time Extensive Livestock Monitoring Using LPWAN Smart Wearable and Infrastructure. *Appl. Sci.*, *11*, 1240.
- Costa, A., Mentasti, T., Guarino, M., Leroy, T. & Berckmans, D.** (2007). Real time monitoring of pig activity: Practical difficulties in pigs' behaviour labelling. In Proceedings of the Precision Livestock Farming 2007—Papers Presented at the 3rd European Conference on Precision Livestock Farming; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2007.
- De Diego, A. C. P., Sánchez-Cordón, P. J., Pedrera, M., Martínez-López, B., Gómez-Villamandos, J. C. & Sánchez-Vizcaíno, J. M.** (2013). The use of infrared thermography as a non-invasive method for fever de-

- tection in sheep infected with bluetongue virus. *Vet. J.*, 198, 182–186.
- Drewry, J. L., Shutske, J. M., Trechter, D., Luck, B. D. & Pitman, L.** (2019). Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104960.
- Dominiak, K. N. & Kristensen, A. R.** (2017). Prioritizing alarms from sensor-based detection models in livestock production—A review on model performance and alarm reducing methods. *Comput. Electron. Agric.*, 133, 46–67.
- Edwards, J. P., Rue, B. T. D. & Jago, J. G.** (2015). Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms. *Animal Production Science*, 55, 702–709.
- Edwards, J. P., Rue, B. T. D. & Jago, J. G.** (2015). Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms. *Animal Production Science*, 55, 702–709.
- European Commission**, 2018.
- FSO (Federal Statistical Office)** 2019b. Landwirtschaft und Ernährung: Taschenstatistik (Agriculture and food: pocket statistics). Retrieved on 07 January 2019 from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/neueveroeffentlichungen.gnpdetail.2019-0344.htm>.
- Gargiulo, J. I., Eastwood, C. R., Garcia, S. C. & Lyons, N. A.** (2018). Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of Dairy Science*, 101, 5466–5473.
- Ghang, X., Kang, X., Feng, N. & Liu, G.** (2020). Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Comput. Electron. Agric.*, 178, 105754.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V.** (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Groher, T., Heitkämper, K., Walter, A., Liebisch, F. & Umstätter, C.** (2020a). Status quo of adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss plant production. *Precision Agriculture*, 1–24. doi: 10.1007/s11119-020-09723-5.
- Groher, T., Heitkämper, K. & Umstätter, C.** (2020b). Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming. *Animal*, 14(11), 2404–2413.
- Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J. & Pastell, M.** (2019). Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 7, 403–425.
- John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Halachmi, I. & Garcia, S. C.** (2016). Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10, 1484–1492.
- Kaler, J.** (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, e0190489.
- Konrad, M. T., Nielsen, H. Ø., Pedersen, A. B. & Elofsson, K.** (2019). Drivers of farmers' investments in nutrient abatement technologies in five Baltic Sea countries. *Ecological Economics*, 159, 91–100.
- Krieger, S., Sattlecker, G., Kicking, F., Auer, W., Drillich, M. & Iwersen, M.** (2018). Prediction of calving in dairy cows using a tail-mounted tri-axial accelerometer: A pilot study. *Biosyst. Eng.*, 173, 79–84.
- LeRoy, C. N. S., Walton, J. S., LeBlanc, S. J.** (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 101, 1638–1647.
- Llaria, A., Terrasson, G., Arregui, H. & Hacala, A.** (2015). Geolocation and monitoring platform for extensive farming in mountain pastures. In Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, Seville, Spain, 17–19 March 2015.
- Lima, E., Hopkins, T., Gurney, E., Shortall, O., Lovatt, F., Davies, P., Williamson, G. & Kaler, J.** (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, e0190489.
- Mansbridge, N., Mitsch, J., Bollard, N., Ellis, K., Miguel-Pacheco, G.G., Dottorini, T. & Kaler, J.** (2018). Feature selection and comparison of machine learning algorithms in classification of grazing and rumination behaviour in sheep. *Sensors*, 18, 3532.
- Meunier, B., Pradel, P., Sloth, K. H., Cirié, C., Delval, E., Mialon, M. M. & Veissier, I.** (2018). Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. *Biosyst. Eng.*, 173, 32–44.
- Morgan-Davies, A., Waterhouse, I., Riddell, P., Mayfield, S., Ringrose, A. & Stott.** (2015). SMART Farming Opportunities (Report for SRUC SFC KTE Funding. August 2015) SRUC, Edinburgh).
- Morgan-Davies, C., Wilson, R. & Waterhouse, T.** (2017). Impacts of farmers' management styles on income and labour under alternative extensive land use scenarios. *Agricultural Systems*, 155, 168–178.
- Morgan-Davies, C., Lambe, N., Wishart, H., Waterhouse, T., Kenyon, F., McBean D. & McCracken, D.** (2018). Impacts of using a precision livestock system targeted approach in mountain sheep flocks. *Livestock Science*, 208, 67–76.
- Morrone, S. C., Dimauro, F., Gambella, M. & Cappai, G.** (2022). Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors* 2022, 22, 4319.
- Mun, L. N., Kin, S., Hall, D. M. & Cole, P. H.** (2005). A small passive UHF RFID tag for livestock identification. In Proceedings of the MAPE2005: IEEE 2005

- International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China, 8–12 August 2005.
- Niloofer, P., Francis, D. P., Lazarova-Molnar, S., Vulpe, A., Vochin, M.-K., Suciu, G., Balanescu, M., Anestis, Va., Bartzanas, T.** (2021). Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and greenhouse gas emissions: Overview and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, *190*, 106406.
- Odintsov, V. M., Levit, H., Chincarini, M., Fusaro, I., Giammarco, M. & Vignola, G.** (2021). Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal*, *15*(3), 100143.
- Ordloff, D.** (2001). Introduction of electronics into milking technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, *30*, 125–149.
- Palczynski, L.** (2016). Third annual report for researchers on research priorities on the use of sensor technologies to improve productivity and sustainability on dairy farms. Retrieved on 13 May 2019 from <https://4d4f.eu/content/reportresearchers>.
- Pathak, H. S., Brown, P. & Best, T.** (2019). A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. *Precision Agriculture*, *20*, 1292–1316.
- Paustian, M. & Theuvsen, L.** (2017). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, *18*, 701–716.
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E. & Canavari, M.** (2013). Drivers of precision agriculture technologies adoption: a literature review. *Procedia Technology*, *8*, 61–69.
- Pinna, W., Sedda, P., Moniello, G. & Ribó, O.** (2006). Electronic identification of Sarda goats under extensive conditions in the island of Sardinia. *Small Rumin. Res.*, *66*, 286–290.
- Reichardt, M. & Jürgens, C.** (2009). Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agriculture*, *10*, 73–94.
- Ren, K., Karlsson, J., Liuska, M., Hartikainen, M., Hansen, I. & Jørgensen, G. H. M.** (2020). A sensor-fusion-system for tracking sheep location and behaviour. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, *16*, 1–10.
- Schrijver, R., Poppe, K. & Daheim, C.** (2016). Precision agriculture and the future of farming in Europe: scientific foresight study. European Parliament Research Service, Brussels, Belgium.
- Stachowicz, J. & Umstätter, C.** (2020). Overview of commercially available digital systems in livestock farming. *Agroscope Transfer*, *294*, 1–28 (De).
- Steensels, M., Bahr, C., Berckmans, D., Halachmi, I., Antler, A. & Maltz, E.** (2012). Lying patterns of high producing healthy dairy cows after calving in commercial herds as affected by age, environmental conditions and production. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, *136*, 88–95.
- Steensels, M., Antler, A., Bahr, C., Berckmans, D., Maltz, E. & Halachmi, I.** (2016). A decision-tree model to detect post-calving diseases based on rumination, activity, milk yield, BW and voluntary visits to the milking robot. *Animal*, *10*, 1493–1500.
- Steensels, M., Maltz, E., Bahr, C., Berckmans, D., Antler, A. & Halachmi, I.** (2017). Towards practical application of sensors for monitoring animal health: The effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. *J. Dairy Res.*, *84*, 132–138.
- Stubsjøen, S. M., Flø, A. S., Moe, R. O., Janczak, A. M., Skjerve, E., Valle, P. S., Zanella, A. J.** (2009). Exploring non-invasive methods to assess pain in sheep. *Physiol. Behav.*, *98*, 640–648.
- Sutherland, M. A., Worth, G. M., Dowling, S. K., Lowe, G. L., Cave, V. M. & Stewart, M.** (2020). Evaluation of infrared thermography as a non-invasive method of measuring the autonomic nervous response in sheep. *PLoS ONE*, *15*, e0233558.
- Tamirat, T. W., Pedersen, S. M. & Lind, K. M.** (2018). Farm and operator characteristics affecting adoption of precision agriculture in Denmark and Germany. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, *68*, 349–357.
- Taneja, M., Byabazaire, J., Jalodia, N., Davy, A., Olariu, C. & Malone, P.** (2020a). Machine learning based fog computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle. *Comput. Electron. Agric.*, *171*, 105286.
- Taneja, M., Jalodia, N., Malone, P., Byabazaire, J., Davy, A. & Olariu, C.** (2020b). Connected Cows: Utilizing Fog and Cloud Analytics toward Data-Driven Decisions for Smart Dairy Farming. *IEEE Internet Things Mag.*, *2*, 32–37.
- Terrasson, G., Llaría, A., Marra, A. & Voaden, S.** (2016). Accelerometer based solution for precision livestock farming: Geolocation enhancement and animal activity identification. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, *38*, 012004.
- Tey, Y. S. & Brindal, M.** (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, *13*, 713–730.
- 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.
- Valenza, A., Giordano, J. O., Lopes, G., Vincenti, L., Amundson, M. C. & Fricke, P. M.** (2012). Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone

- at the time of insemination in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 95, 7115–7127.
- Van Hertem, T., Bahr, C., Tello, A. S., Viazzi, S., Steensels, M., Romanini, C. E. B., Lokhorst, C., Maltz, E., Halachmi, I. & Berckmans, D.** (2016). Lameness detection in dairy cattle: Single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behaviour and performance sensing. *Animal*, 10, 1525–1532.
- Van Hertem, T., Rooijackers, L., Berckmans, D., Fernández, A. P., Norton, T. & Vranken, E.** (2017). Appropriate data visualisation is key to precision livestock farming acceptance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 1–10.
- Walton, E., Casey, C., Mitsch, J., Vázquez-Diosdado, J. A., Yan, J., Dottorini, T., Ellis K. A., Winterlich, A. & Kaler, J.** (2018). Evaluation of sampling frequency, window size and sensor position for classification of sheep behaviour. *R. Soc. Open Sci.*;5(2), 171442.
- Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J-M. & Berckmans, D.** (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 2–10.
- 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, 105193.

Received: April, 19, 2024; Approved: April, 19, 2024; Published: April, 2024