**Nástroje precizního zemědělství v chovech dojeného skotu**

Ing. Luděk Bartoň, Ph.D., Ing. Magdaléna Štolcová

Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

**Úvod**

Precizní zemědělství v chovech dojeného skotu (angl. precision dairy farming) je klíčem k uspokojení stále rostoucí globální poptávky po kvalitních mléčných výrobcích a naplnění celospolečenských zájmů v oblasti welfare a zdraví zvířat, přičemž má zároveň potenciál výrazně snížit zatížení životního prostředí a využívání zdrojů. Neustálý pokles počtu prvovýrobců, zvyšující se obchodní tlak, vzájemná konkurence a snaha o snižování výrobních nákladů v zemědělství obecně si vynutily změny, které se v oblasti chovu dojeného skotu projevují mimo jiné růstem průměrné velikosti stáda v podniku. Přímým důsledkem je, že chovatelé mají méně času na tradiční chovatelské postupy a jsou stále více závislí na moderních technologiích. Potenciální výhody využívání těchto technologií zahrnují zvýšení efektivity, redukci nákladů a zlepšení zdraví a welfare zvířat. Tato literární rešerše se věnuje nástrojům precizního zemědělství, které mají potenciál přispět k řešení některých současných závažných problémů v chovech dojeného skotu. Na závěr jsou zmíněny dopady systémů precizního zemědělství na charakter prací na farmě a na životní prostředí.

**Definice a základní principy precizního zemědělství v chovech hospodářských zvířat**

Precizní zemědělství v chovech hospodářských zvířat je definováno jako využívání senzorů pro automatické měření fyziologických, behaviorálních (týkajících se chování) a produkčních parametrů jednotlivých zvířat, a využívání informačních a komunikačních technologií ke zpracovávání získaných informací, což ve výsledku spěje ke zlepšení strategií v řízení stáda a ke zvýšení ekonomického, společenského a environmentálního výkonu zemědělského podniku (Hostiou et al., 2017). Principem, na kterém precizní zemědělství stojí, je myšlenka, že pokud budou v maximální možné míře uspokojeny potřeby chovaných zvířat, budou lépe uspokojeny i potřeby samotných chovatelů, dodavatelů a také spotřebitelů (Andonovic et al., 2018). Zásadní důraz je v systému precizního zemědělství kladen na monitorování jednotlivých zvířat v reálném čase, na základě čehož by mohlo být možné podat zvířatům přesně stanovenou individuální krmnou dávku, spolehlivě detekovat říji a optimální čas pro inseminaci, odhadnout blížící se porod, identifikovat nástup onemocnění a včas preventivně či léčebně zasáhnout atd. (Halachmi et Guarino, 2016). Mezi technologie precizního zemědělství v chovech skotu, kromě zmíněných specifických senzorů, patří také například automatické přihrnovače krmiva, automatické krmné systémy a dojící roboty.

**Typy senzorů**

S rozvojem precizního zemědělství vzniká stále více a více monitorovacích metod a měřících senzorů. Výsledkem je, že chovatelé mají obrovský výběr typů technologií, které mohou implementovat do svého chovu, ale mnozí se již v současně dostupných technických novinkách poněkud ztrácejí. Celý systém také naráží na nedostatek zpětné vazby od uživatelů, jak chovatelé jednotlivé technologie přijímají a vnímají a jaký je jejich názor na měřené parametry. Z amerického dotazníkového šetření, kterého se zúčastnilo 109 chovatelů s různě velkým chovem, vyplynulo, že nejběžněji měřené parametry již zavedených technologií jsou denní užitkovost, aktivita zvířat, parametry sloužící pro detekci mastitidy a složky mléka. Za nejpřínosnější parametry považovali chovatelé údaje týkající se detekce mastitidy, sledování říje, denní mléčné produkce, aktivity zvířat a teploty (Borchers et Bewley, 2015).

Obecně lze senzory rozdělit do dvou základních kategorií: senzory umístěné na zvířeti a senzory umístěné mimo zvíře. Senzory umístěné na zvířeti lze dále rozdělit na ty, které jsou nějakým způsobem uchyceny na povrch těla zvířete (on-cow) a ty, které jsou uvnitř zvířete (in-cow). Senzory, které jsou mimo tělo zvířete (off-cow), jsou takové, kterými nebo okolo kterých kráva prochází (např. automatická váha). Existují dvě specifické formy takovýchto senzorů: on-line senzory a in-line senzory. V případě měření složek mléka in-line senzory provádějí analýzu mléka kontinuálně v průběhu dojení, zatímco on-line senzory si automaticky vytvářejí vzorky mléka, které dále analyzují (Rutten et al., 2013). Oba typy senzorů, in-line i on-line, mohou hypoteticky analyzovat i jiné tělní tekutiny, například sliny nebo vaginální hlen, nicméně v praxi je v současné době zavedena pouze analýza mléka. Do systému precizního zemědělství patří také automatické dojící systémy (dojící roboty), které samy o sobě mohou využívat širokou škálu senzorů, například senzory pro hodnocení kvality mléka nebo automatickou váhu.

**Automatická detekce nejpalčivějších problémů v chovech dojeného skotu**

Jedním z nejsilnějších hnacích motorů pro rychlé zavádění technologií v rámci monitoringu zvířat je potřeba optimalizovat jejich zdraví a plodnost. V chovech dojeného skotu jsou nejčastěji skloňovanými problémy mastitidy, poruchy plodnosti, onemocnění končetin a metabolické poruchy.

***Mastitidy***

Mastitidy patří mezi nejčastější a nejnákladnější onemocnění v chovech dojeného skotu. Klinická mastitida se projevuje zarudnutím, otokem a bolestivostí mléčné žlázy a charakteristickými změnami mléka, kdy lze v lehčích případech v mléce nalézt vločky, zatímco u těžkých mastitid se již zcela mění podoba mléka. Problémem jsou zejména subklinické mastitidy, u kterých typické příznaky chybí, a projevují se zvýšeným počtem somatických buněk v mléce a poklesem nádoje. Obvyklým senzorem pro detekci mastitid je in-line senzor měřící elektrickou konduktivitu mléka (EC), která vychází z principu zvýšení sodných a chloridových iontů v mastitidním mléce (Hamann et Zecconi, 1998). EC mléka není ovšem ovlivněna pouze mastitidou, ale tkáňovým zánětem obecně, což je důvod, proč často není vztah mezi zvýšenou EC a počtem somatických buněk (PSB) v mléce nalézán (Brandt et al., 2010). Použití senzorů pro měření PSB (odhadují PSB na základě měření viskozity mléka) v kombinaci s EC je až třikrát účinnější v detekci klinických mastitid ve srovnání s využitím pouze EC (Kamphuis et al., 2008). Udávaná senzitivita (schopnost testu úspěšného zachycení přítomnosti sledovaného stavu nebo nemoci u daného subjektu) těchto senzorů se pohybuje od 55 do 89 % a specifita (schopnost testu přesně vybrat případy, u nichž zkoumaný stav nebo nemoc nenastal) od 56 do 99 %. Pro tyto senzory platí, že buď mají vysokou specifitu a nízkou senzitivitu nebo naopak. Bohužel dosud neexistuje senzor, který by měl vysokou jak specifitu, tak senzitivitu (Rutten et al., 2013).

S nejpropracovanějšími senzory pro hodnocení mastitid se lze setkat v automatických dojících systémech, které obsahují senzory pro hodnocení kvality mléka měřících zároveň několik parametrů. Nejčastěji to jsou EC a barva mléka, ale také procentuální obsah tuku a proteinu či přímo PSB, to vše jako in-line měření. Kombinace senzorů pro měření EC a barvy mléka rovněž velmi dobře detekuje klinickou mastitidu (Kamphuis et al., 2008).

***Plodnost***

Ve všech chovatelsky vyspělých zemích dochází k poklesu plodnosti skotu. Důvody jsou komplexní a zahrnují selektivní šlechtitelské postupy určené k optimalizaci produkce mléka a další faktory, zejména reprodukční onemocnění (metritidy, ovariální cysty apod.). Celková plodnost stáda závisí na řadě faktorů, ale je obecně známo, že jednou z oblastí, kde mohou technologie hrát velmi pozitivní roli, je přesná detekce říje. Historicky byla detekce říje u skotu prováděna zkušenými chovateli, kteří hledali vizuální známky estru. Úspěch tohoto tradičního přístupu je silně ovlivněn schopností pozorovatele a časem, který má k dispozici ke sledování stáda. V mnoha případech se viditelné známky říje objevují v noci, kdy nikdo zvířata nesleduje. Přesná detekce říje je nezbytná, protože neúspěšná inseminace má za následek zvyšování nákladů na reinseminace a sníženou pravděpodobnost zabřeznutí na jednu inseminaci (Hockey et al., 2010). Navíc reinseminace v rané fázi březosti mohou způsobovat iatrogenní (porucha způsobená léčebným zákrokem či intervencí) embryonální mortalitu (Sturman et al., 2000).

Nejvhodnějšími senzory používanými pro detekci říje jsou senzory měřící aktivitu krav, progesteron v mléce anebo radiotelemetrické senzory detekující typické chování v říji (skákání, ochota k páření). Senzory pro měření aktivity jsou umístěné na krávě – na končetině (pedometry snímající počet kroků, počet vstávání a ulehnutí) nebo na krku či ušním boltci (3D akcelerometry snímající počet kroků, monitoring přežvykování – sledování ruminačních pohybů, příjem krmiva). Senzor pro měření mléčného progesteronu patří mezi on-line systémy (Rutten et al., 2013).

Bylo zjištěno, že aktivita zvířat v rané fázi říje se významně zvyšuje a doba nástupu tohoto zvýšení aktivity souvisí s časem ovulace (Sakaguchi et al., 2007; Yoshioka et al., 2007). Ovšem nízká specifita predikce říje pomocí aktivity, což v tomto případě znamená vykazování falešně pozitivních říjí a následně nízkou pravděpodobnost zabřeznutí po inseminaci, je zřejmě největší limit v zavádění této technologie do praxe (Firk et al., 2003). Zvýšená aktivita krav může ale velmi dobře sloužit jako pomocný nástroj pro odhalování říje v kombinaci s vizuální kontrolou zvířat (Hockey et al., 2010). Je třeba si také uvědomit, že hraniční hodnotu, od které se nárůst aktivity považuje za detekci nástupu říje, musí nastavit chovatel, jelikož tato mez bude pro každý chov jiná. S detekcí říje jsou také spojovány ruminační pohyby, které lze snímat pomocí 3D akcelerometru (dříve pomocí mikrofonu). Pokud dojde k výraznému nárůstu aktivity a zároveň se sníží míra přežvykování oproti běžnému stavu za určené období, pak lze uvažovat o tom, že kráva je velmi pravděpodobně v říji (Andonovic et al., 2018).

Jako velmi zajímavá se také jeví kombinace automatického sledování aktivity zvířat a měření koncentrace progesteronu v mléce. Progesteron je hormon žlutého tělíska, které se vytváří po ovulaci dominantního folikulu, odtud se dostává do krve a pak do mléka, slin atd. Těsně po ovulaci je hladina progesteronu minimální, ale pokud je inseminace úspěšná, zvyšuje se a maxima dosáhne okolo 20. dne cyklu. Tímto způsobem lze tedy diagnostikovat ranou březost. A naopak, pokud kráva nezabřezla, pak se koncentrace progesteronu okolo 20. dne rapidně sníží, takže tento pokles může napomoci v detekci říje (Gillis et al., 2002). Detekce říje pomocí koncentrací progesteronu se zdá být velmi přesná, nicméně také vysoce nákladná (Rutten et al., 2013).

***Onemocnění končetin a paznehtů***

Laminitidy a onemocnění paznehtů jsou dalším, široce rozšířeným problémem v chovech dojeného skotu s negativním dopadem na welfare zvířat a ekonomiku stáda. Onemocnění končetin je spojeno se ztrátou mléčné užitkovosti a často vede k předčasnému vyřazení zvířete z chovu. Nejčastější způsob detekce těchto problémů je vizuální kontrola zvířat, která je ale je ale zatížena vysokou mírou subjektivity a některé studie hovoří o faktu, že touto kontrolou je zachyceno pouze 25 % případů laminitid (Winckler et Willen, 2001; Whay et al., 2013). Nejčastěji se pro detekci onemocnění paznehtů a končetin používají pedometry a akcelerometry, které mají vysokou senzitivitu i specifitu (> 80 %). Pro automatickou detekci kulhání bývá součástí dojících robotů systém sestávající ze čtyř tenzometrů, který umožňuje měření zátěže na každé končetině zvířete (Pastell et Kujala, 2007). Kromě samotné hmotnosti, resp. rozložení hmotnosti mezi končetinami, dokáže systém vyhodnotit také počet kopů jednotlivých končetin a na základě toho vyhodnotit, u které z nich zvíře pravděpodobně pociťuje bolest (Pastell et al., 2008). Z výše zmiňované studie Borchers et Bewley (2015) vyplynulo, že právě technologie pro přesnou individuální detekci laminitid by chovatelé zvláště uvítali. Nedostatek současných systémů chovatelé vidí ve vysokém počtu falešně pozitivních hlášení a současně v přehlížení skutečně problematických zvířat (Van De Gucht et al., 2017).

***Metabolické poruchy***

Mezi nejběžněji se vyskytující metabolické poruchy u krav patří ketóza, jednoduché bachorové indigesce, subakutní ruminální acidóza (SARA) a levostranná dislokace slezu, které lze diagnostikovat pomocí měření pH bachorové tekutiny, tělesné teploty, teploty v bachoru, koncentrace ketolátek v krvi či mléce, složení mléka (zejména hodnocení poměru tuku k proteinu), ruminačních pohybů a celkové aktivity krav. Senzor pro měření pH bachorové tekutiny a teploty bachoru patří mezi in-cow senzory. Složky mléka lze sledovat pomocí in-line senzorů a ketolátky z mléka jsou vyhodnocovány on-line systémy.

SARA je jedním z nejrozšířenějších metabolických problémů vysokoprodukčních dojnic a vyznačuje se poklesem retikuloruminálního (čepcobachorového) pH pod fyziologickou normu (Gasteiner et al., 2009). Měření pH bachorové tekutiny pomocí radiotelemetrického senzoru umístěného přímo v bachoru je spolehlivou a přesnou diagnostickou metodou pro zjišťování bachorové acidózy (Penner et al., 2006). Ukázalo se také, že s poklesem pH bachorové tekutiny zároveň stoupá teplota v bachoru, nicméně toto zvýšení teploty je pro diagnostiku samotné SARA nespecifické (AlZahal et al., 2011). Zavádění těchto senzorů vyžaduje velkou zkušenost a odbornost a vyvstává tak otázka, zda tento postup není příliš invazivní a nenarušuje tak zbytečně welfare zvířat. Další možností, jak detekovat bachorové acidózy, je měření poměru obsahu mléčného tuku k proteinu (T:P), kdy hodnota nižší než 1 většinou indikuje SARA (Danscher et al., 2015). Je nutno dodat, že konkrétní hodnoty T:P pro diagnostiku SARA jsou vždy poplatné danému stádu, důležitější je proto vycházet z pozorovaných změn poměru T:P a obsahu mléčného tuku oproti běžnému stavu či zdravým zvířatům.

Dalším častým problémem vysokoprodukčních dojnic v prvních dvou měsících po porodu je ketóza, zejména pak její subklinická forma, která je zapříčiněna hlubokou negativní energetickou bilancí. Ketóza je spojována se ztrátami dojivosti a nárůstem výskytu dalších onemocnění, jakými je levostranná dislokace slezu, ovariální cysty, mastitidy atd. Klinickou i subklinickou ketózu lze diagnostikovat na základě zvýšení koncentrace ketolátek (aceton, β-hydroxybutyrát, acetoacetát) v krvi či mléce (De Roos et al., 2007). Ketolátky v mléce lze měřit on-line senzorem, který bývá součástí dojících robotů, nicméně zatím nejsou dostatečně ověřené studie, které by se zabývaly přesností a spolehlivostí těchto technologií. Subklinická ketóza je spjata se zvýšeným obsahem tuku v mléce a zároveň sníženým obsahem proteinu (Reist et al., 2002), proto je možné indikovat subklinickou ketózu na základě zvýšení poměru T:P v mléce, a to s 58% senzitivitou a 69% specifitou (Duffield, 2003).

Ketóza a další poruchy, jako například levostranná dislokace slezu či bachorová indigesce, mohou být detekovány na základě poklesu denní aktivity, a to již sedm až deset dnů před objevením klinických příznaků. Sledování a vyhodnocování denní aktivity se tak stává velmi užitečným nástrojem sloužícím k diagnostice poruch v tranzitní periodě a jejich prevenci dříve, než se objeví ztráty mléčné produkce a klinické příznaky (Edwards et Tozer, 2004). Také pokles ruminačních pohybů může napomoci v diagnostice některých zdravotních problémů (Kaufman et al., 2016), nicméně je nespecifický, tedy napoví, že je zvíře pravděpodobně nemocné, ale konkrétní diagnostiku neposkytuje.

**Dopady precizního zemědělství na charakter práce a životní prostředí**

Výhody technologií jsou zejména spjaty s ekonomickou stránkou chovu, zlepšením zdraví a produkční a reprodukční výkonností zvířat. Nicméně pouhé ekonomické faktory o přijetí nových systémů precizního zemědělství do chovu nerozhodují. Některé studie poukazují na fakt, že ačkoli některé systémy nepřináší kýžené ekonomické benefity, poskytují možnosti pro zlepšení kvality života pracovníků zemědělských podniků (Dolechek et Bewley, 2013; Schewe et Stuart, 2015). Jedním z hlavních benefitů je výrazná úspora času, a to zejména u podniků, které mají automatický dojící systém (Hostiou et al., 2017). Na druhou stranu vznikají nové pracovní úkoly spojené s obsluhou a údržbou technologií a s vyhodnocováním velkého množství dat (Schewe et Stuart, 2015). Současně se zavedením technologií do stád se mění charakter lidské práce, dochází k odklonu od tradičních postupů založených na kontaktu se zvířaty a pracovníci tráví více času u počítače. Nedostatek kontaktu s lidmi se může negativně odrazit na chování zvířat, může se objevit i strach z lidí, jelikož „pozitivní úkony“, jako je například krmení, vykonávají stroje a na člověka zbývá vykonávání negativně vnímaných úkonů, jako je veterinární ošetření nebo inseminace (Hostiou et al., 2017).

Někteří autoři (Berckmans, 2017; Llonch et al., 2017; Shields et Orme-Evans, 2015) také systém precizního zemědělství označují za účinný nástroj vhodný k redukci dopadů zemědělské výroby na životní prostředí. Výše popsané senzory, které zlepšují reprodukci a zdraví zvířat, tak zároveň pomáhají snižovat množství užívaných léčiv, čímž se snižuje environmentální stopa živočišné výroby (Tullo et al., 2019).

**Závěr**

Precizní zemědělství přináší celou řadu nástrojů využitelných k optimalizaci řízení stáda a zlepšení zdraví, produkce, reprodukce a welfare chovaných zvířat. Na trhu se nachází velké množství monitorovacích senzorů, pomocí kterých na základě měření pohybové aktivity, pH bachorové tekutiny, jednotlivých složek mléka a dalších parametrů může chovatel přesněji detekovat říji, diagnostikovat mastitidy, problémy s končetinami a metabolické poruchy. Využití automatických technologií přináší chovateli enormní množství dat, která však mohou být chybně interpretována, nevhodně využita nebo dokonce zcela ignorována. Využití těchto informací předpokládá nutnost zájmu se s daty naučit pracovat, což v počátku vede ke zvýšení pracovního zatížení. Konkrétní údaje jsou vždy poplatné tomu stádu, ve kterém jsou zjišťována, z čehož jasně plyne, že co je využitelné pro jednoho, nemusí mít stoprocentní platnost pro druhého. V neposlední řadě je třeba upozornit na fakt, že ani nejlepší technologie nedokáže plně nahradit člověka. Vždy je nutné, aby chovatel svá zvířata průběžně pozoroval a informace získané z uvedených technologií bral jako pomoc pro rychlé a efektivní vyhledání zvířat, které se odchylují od normálního stavu ve stádě a u kterých by mohly nastat nějaké problémy.

**Literatura**

AlZahal. O., AlZahal, A., Steele, M. A., Van Schaik, M., Kyriazaki, I., Duffield, T. F., McBride, B. W. 2011. The use of a radiotelemetricruminal bolus to detect body temperaturechanges in lactatingdairycattle. *JournalofDairy Science*. 94, 3568–3574.

Andonovic, I., Michie, C., Cousin, P., Janati, A., Pham, C., Diop, M. 2018. PrecisionLivestockFarming Technologies. Global Internet ofThings Summit (GIoTS). Bilbao.

Berckmans, D. 2017. General introduction to precision livestock farming.*Animal Frontiers*. 7, 6–11.

Borchers, M. R., Bewley, J. M. 2015. Anassessmentofproducerprecisiondairyfarming technology use, prepurchaseconsiderations, and usefulness. *JounalofDairy Science*. 98, 4198–4205.

Brandt, M., Haeussermann, A., Hartung, E. 2010. Invitedreview: Technicalsolutionsforanalysisofmilkconstituents and abnormalmilk. *JournalofDairy Science*. 93, 427–436.

Danscher, A. M., Li, S., Andersen, P. H., Khafipour, E., Kristensen, N. B., Plaizier, J. C. 2015. Indicators of induced subacute ruminal acidosis (SARA) in Danish Holstein cows.*ActaVeterinariaScandinavica*. 57, 39 – 53.

De Roos, A. P. W., van den Bijgaart, H. J. C. M., Hørlyk, J., de Jong, G. 2007. ScreeningforSubclinicalKetosis in DairyCattle by Fourier TransformInfraredSpectrometry. *JournalofDairy Science*. 90, 1761–1766.

Dolechek K., Bewley J., 2013. Pre-investmentconsiderationsforprecisiondairyfarmingtechnologies. Dostupné z: <http://www2.ca.uky.edu/agc/pubs/ASC/ASC208/ASC208.pdf>.

Duffield, T. 2003. Minimizingsubclinicalmetabolicdiseases. Tri-StateDairyNutritionConference. FortWayne. Indiana.

Edwards, J. L., Tozer, P. R. 2004. Usingactivity and milkyield as predictorsoffreshcowdisorders. *JournalofDairy Science*. 87, 524–531.

Firk R, Stamer E, Junge W, Krieter J, 2003. Improvingoestrusdetection by combinationofactivitymeasurementswithinformationaboutpreviousoestruscases. *LivestockProduction Science.* 82, 97–103.

Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz S, Hausler J, Schneider K, Guggenberger T. 2009. Measuringrumen pH by an in-dwelling and wireless data transmitting unit and applicationunderdifferentfeedingconditions. *WienerTierarztlicheMonatsschrift*. 96, 188–194

Gillis, E. H., Gosling, J. P., Sreenan, J. M., Kane, M. 2002. Development and validationof a biosensor-basedimmunoassayfor progesterone in bovinemilk. *JournalofImmunologicalMethods*. 267, 131– 138.

Halachmi I., Guarino M. 2016. Editorial: precisionlivestockfarming: a ‘per animal’ approachusingadvanced monitoring technologies. *Animal*. 10, 1482–1483.

Hamann, J., Zecconi, A. 1998. Evaluationoftheelectricalconductivityofmilk as a mastitis indicator. Bulletin-FIL-IDF. Belgium.

Hockey, C. D., Morton, J. M., Norman, S. T., McGowan, M. R. 2010. Evaluationof a neckmounted 2-hourlyactivity meter systemfordetectingcowsabout to ovulate in twopaddock-basedaustraliandairyherds. *Reproduction in DomesticAnimals*. 45, e107–e117.

Hostiou, N., Fagon, J., Chauvat, S., Turlot, A., Kling-Eveillard, F., Boivin, X., Allain, C. 2017. Impactofprecisionlivestockfarming on work and human-animlinteractions on dairyfarms. A review. *Biotechnoly, Agronomy, Society and Environment*. 21, 268–275.

Kamphuis, C., Sherlock, R., Jago, J., Mein, G., Hogeveen, H. 2008. Automaticdetectionofclinical mastitis isimproved by in-line monitoring ofsomatic cell count. *JournalofDairy Science*. 91, 4560–4570.

Kaufman, E. I., LeBlanc, S. J., McBride, B. W., Duffield, T. F., DeVries, T. J. 2016. Associationofruminationtimewithsubclinicalketosis in transitiondairycows. *JournalofDairy Science*. 99, 5604–5618.

Llonch, P., Haskell, M., Dewhurst, R., Turner, S. 2017. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal*. 11, 274–284.

Pastell, M., Hautala, M., Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I., Kujala, M., Ahokas, J. 2008. Automaticobservationofcow leg healthusingloadsensors. *Computers and electronics in agriculture*. 62, 48–53.

Pastell, M., Kujala, M. 2007. A probabilisticneural network model forlamenessdetection. *JournalofDairy Science*. 90, 2883–2992.

Penner, G. B., Beauchemin, K. A., Mutsvangwa, T. 2006. Anevaluationoftheaccuracy and precisionof a stand-alonesubmersiblecontinuousruminal pH measurementsystem. *JournalofDairy Science*. 89, 2132–2140.

Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi, and J. W. Blum. 2002. Estimationofenergy balance attheindividual and herdlevelusingblood and milktraits in high-yieldingdairycows. *JournalofDairy Science*. 85, 3314–3327.

Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., Hogeveen, H. 2013. Invitedreview: Sensors to support health management on dairyfarms. *JournalofDairy Science*. 96, 1928–1952.

Sakaguchi M, Fujiki R, Yabuuchi K, Takahashi Y, Aoki M, 2007: Reliability ofestrousdetection in Holsteinheifersusing a radiotelemetricpedometerlocated on theneckorlegsunderdifferentrearingconditions. *JournalofReproduction and Development*. 53, 819–828.

Schewe R. L., Stuart D., 2015. Diversity in agricultural technology adoption: how are automaticmilkingsystemsused and to what end? *Agriculture and HumanValues*. 32, 199–213.

Shields, S., Orme-Evans, G. 2015. The impact of climate change mitigation strategies on animal welfare. *Animals.* 5, 361–394.

Sturman H, OltenacuEAB, FooteRH, 2000. Importanceofinseminatingonlycows in estrus. *Theriogenology*. 53, 1657–1667.

Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M. 2019. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 650, 2751–2760.

Van De Gucht, T., Saeys, W., Van Nuffel, A., Pluym, L., Piccart, K., Lauwers, L., Vangeyte, J., Van Weyenberg, S. 2017. Farmers’preferencesforautomaticlameness-detectionsystems in dairycattle. *JournalofDairy Science*. 100, 5746–5757.

Whay, H. R., Main, D. C., Green, L. E., Webster, A. J. 2003. Assessmentofthewelfareofdairycattleusing animal-basedmeasurements: Direct observations and investigationoffarmrecords. *TheVeterinaryRecord*. 153, 197–202.

Winckler, C., Willen, S. 2001. The reliability and repeatabilityof a lamenessscoringsystemfor use as anindicatorofwelfare in dairycattle. *Acta AgriculturaeScandinavicaA*. 51, 103–107.

Yoshioka H, Matsuda H, Sasaguri K, Yonai M, 2007. Relationshipbetweendurationof estrus behaviourdetermined by radiotelemetorysystem and threefactors (milkproduction, steroid hormones, and timeofovulation) in dairycows. *Reproduction, Fertility and Development*. 19, 129.

**Zpracoval/a:** Ing. Luděk Bartoň, Ph.D., VÚŽV Uhříněves, barton.ludek@vuzv.cz., Ing. Magdaléna Štolcová, VÚŽV Uhříněves, stolcova.magdalena@vuzv.cz