

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra etologie a zájmových chovů**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Využití pozičního systému pro automatizované  
monitorování pohybu a sociálního chování dojnic ve stáji**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Zuzana Vyskočilová**

**Obor studia: Management zdraví a welfare zvířat**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Bartošová, Ph.D.**

**Konzultant práce: Ing. Ágnes Moravcsíková**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití pozičního systému pro automatizované monitorování pohybu a sociálního chování dojnic ve stáji" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. 4. 2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí doc. Ing. Jitce Bartošové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za cenné rady, a především za pomoc s analýzou dat. Dále bych chtěla poděkovat své konzultantce Ing. Ágnes Moravcsíkové za její velkou podporu a pomoc s přípravou všech částí pozorování a metodiky a mnohá praktická doporučení. Za přípravu surových dat k dalšímu zpracování a grafické zpracování výstupů z pozičního systému bych ráda poděkovala Mgr. Pavlu Šustrovi, Ph.D. Všem třem zmíněným bych chtěla poděkovat také za rychlou a efektivní komunikaci při řešení komplikací v průběhu psaní diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, blízkým a přátelům za podporu při studiu i psaní této závěrečné práce.

# Využití pozičního systému pro automatizované monitorování pohybu a sociálního chování dojnic ve stáji

## Souhrn

Tato diplomová práce se zabývala validací pozičního systému TrackLab od společnosti Noldus instalovaného na produkční farmě v Netlukách. Cílem bylo ověření citlivosti a přesnosti tohoto pozičního systému a porovnání takto získaných hodnot s údaji získanými přímým pozorováním. Mezi hlavní výstupy patřilo vyhodnocení spolehlivosti systému na základě otestování přesnosti detekované pozice dojnice ve stáji, četnosti a délky výpadků měření a shody určení jedinců vyskytujících se ve vzájemné blízkosti výpočtem z dat naměřených systémem a zjištěnými přímým pozorováním.

V pokusné stáji bylo instalováno na stále stejných místech deset takzvaných fixních tagů (vysílač signálu), jejichž poloha byla pro ověření přesnosti dat zaměřených pozičním systémem předem změřena laserovým metrem. Dále bylo náhodně vybráno osm fokálních dojnic. Každých 15 vteřin byla zaznamenána poloha dojnice a její případná blízkost k instalovanému fixnímu tagu. Dohromady bylo nashromážděno 24 hodin souběžného přímého pozorování a dat automaticky sbíraných pozičním systémem.

Nasbíraná data byla vyhodnocena pomocí statistického programu SAS. Průměrná úspěšnost zaměření činila 70,55 % u fixních tagů a průměrná chyba zaměření těchto tagů byla 0,151 metru. Shoda jedinců vzájemně si blízkých zjištěná přímým pozorováním a výpočty z dat stažených z úložiště pozičního systému dosáhla 81,33 %. Z celkového počtu 24 sledovacích hodin byla vzájemná blízkost dojnice a fixního tagu zaznamenána chybně pouze v 0,625 % tohoto času. Největší výpadky a nejhorší přesnost zaměření, stejně tak jako nejčastěji určená chybná blízkost fokálních dojnic a fixních tagů byla zjištěna v rozích stáje a na místech s větším množstvím kovových konstrukcí.

Poziční systém TrackLab je vhodný pro další využití ve výzkumu, protože zprostředkovává důležité informace o prostorovém chování dojnic, z nichž můžeme získávat zajímavé poznatky o zdraví a welfare chovaných dojnic.

**Klíčová slova:** poziční systém, validace, precizní zemědělství, mléčný skot

# **Indoor positioning system in the stable: The use for automated monitoring of movement and social behaviour in dairy cows**

## **Summary**

This Master's thesis dealt with the validation of the TrackLab positioning system made by Noldus, which is installed in the production farm in Netluky. The aim of this thesis was to verify the sensitivity and accuracy of the system. Next aim was to compare the values obtained by collecting data using the system with the values obtained by observation. The main outputs included an evaluation of the reliability of the system, which was tested by the accuracy of the detected position of dairy cow in the stable, the frequency and the length of measurement failures and the determining of social relationship between the cows reached by calculating data from the system and the observation.

There were installed ten stationary tags (transponders) in the experimental stable, which were placed at the same position during the whole experiment. First the position of these tags was measured with a laser meter to verify the accuracy of data which were measured by TrackLab. Furthermore, eight focal dairy cows were chosen. The position of the focal cow and its possible proximity to the stationary tag were recorded every 15 seconds. In total, 24 hours of observation and automated positioning data were collected.

The collected data were evaluated using the statistical program SAS. The average success of measuring the position for stationary tags was 70.55 % and the average discrepancy was 0.151 meters. The congruence of relationship by observation and data downloaded from the positioning system storage reached 81.33 %. The proximity between the focal cow and stationary tag was incorrectly recorded only in 0.625 % of the total 24 tracking hours. The biggest failure of measurement, the worst accuracy of measurement as well as the most often wrong determination of proximity between focal cows and stationary tags were found in the corners of the stable and in places with metal structure.

The TrackLab positioning system is suitable for further use in research, because it gives important information about the spatial behaviour in dairy cows, which we can obtain interesting insights from, and we can also get interesting insight about the health and welfare of dairy cows.

**Keywords:** positioning system, validation, precision livestock farming, dairy cows

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Vědecká hypotéza a cíle práce .....	8
3	Literární rešerše.....	9
3.1	<b>Poziční systémy .....</b>	<b>9</b>
3.1.1	Vnitřní poziční systémy .....	10
3.1.2	Venkovní poziční systémy .....	11
3.1.3	Poziční systémy na našem trhu a jejich propojení s dalšími moderními technologiemi sledujícími indikátory zdraví a welfare .....	12
3.2	<b>Validace pozičních systémů .....</b>	<b>17</b>
3.3	<b>Využití automatizovaných systémů pro sledování behaviorální a pohybové aktivity za účelem zlepšení kvality života, zdravotního stavu a welfare dojnic .....</b>	<b>20</b>
3.3.1	Sledování délky doby odpočinku a přežvykování .....	22
3.3.2	Detekce onemocnění končetin pomocí pozičních systémů .....	22
3.3.3	Diagnostika onemocnění vemene pomocí pozičních systémů .....	23
3.3.4	Diagnostika metabolických onemocnění pomocí pozičních systémů .....	23
3.3.5	Využití pozičních systémů při detekci říje .....	23
3.3.6	Detekce sociálních vazeb pomocí pozičních systémů .....	24
4	<b>Metodika.....</b>	<b>25</b>
4.1	<b>Experimentální zvířata, způsob jejich ustájení a krmení.....</b>	<b>25</b>
4.2	<b>TrackLab .....</b>	<b>25</b>
4.3	<b>Příprava experimentu a sběru dat .....</b>	<b>26</b>
4.4	<b>Sběr dat .....</b>	<b>27</b>
4.4.1	Měření fixních pozic .....	27
4.4.2	Tagy nasazené dojnicím.....	28
4.4.2.1	Pozice fokálních dojnic.....	29
4.4.2.2	Blízkost fokálních dojnic k fixním tagům.....	29
4.5	<b>Statistické vyhodnocení dat .....</b>	<b>29</b>
5	<b>Výsledky .....</b>	<b>30</b>
5.1	<b>Fixní pozice .....</b>	<b>30</b>
5.1.1	Výpadky systému při zaměřování fixních pozic .....	30
5.1.2	Přesnost při zaměřování fixních pozic .....	31
5.2	<b>Výpadky systému a přesnost při určování pozice fokálních dojnic a jejich blízkosti k fixním tagům</b>	<b>35</b>
6	<b>Diskuze .....</b>	<b>37</b>
6.1	<b>Fixní pozice .....</b>	<b>37</b>
6.1.1	Výpadky systému při zaměřování fixních pozic .....	37
6.1.2	Přesnost při zaměřování fixních pozic .....	38
6.2	<b>Hodnocení výpadků systému a přesnosti při určování pozice fokálních dojnic a jejich blízkosti k fixním tagům .....</b>	<b>38</b>
7	<b>Závěr.....</b>	<b>40</b>
7.1	<b>Validace pozičního systému .....</b>	<b>40</b>
7.2	<b>Potenciál pozičních systémů pro zlepšení zdraví a welfare dojnic .....</b>	<b>40</b>
8	<b>Literatura .....</b>	<b>41</b>
9	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>47</b>

# 1 Úvod

Produkční chovy charakteristické svou velikostí a vysokým počtem chovaných zvířat jsou vhodným místem pro zavádění nových technologií a automatizovaných systémů. Na rozlehlých farmách disponujících mnoha stáji, v nichž je možné chovat početná stáda zvířat, často již není v lidských silách několikrát denně kontrolovat a případně ošetřit individuálně každého jedince (Berckmans 2017). Poziční systémy tak mohou být vynikajícím nástrojem usnadňujícím chovatelům sledování zdraví zvířat na základě analýzy jednoduchých parametrů. Prostorové chování a doba strávená v jednotlivých oblastech stáje a případné změny těchto proměnných mohou být spolehlivými ukazateli zdraví a welfare (Berckmans 2017; Cadero et al. 2018). Snížení pohybové aktivity je často průvodním znakem onemocnění (Huhtala et al. 2007), naopak zvýšení pohybové aktivity provází období říje (Tøgersen et al. 2010) a zvýšení doby ležení zase souvisí s onemocněním končetin a kulháním (Van Nuffel et al. 2015; Hut et al. 2021).

Sběr dat pomocí pozičních systémů je neinvazivní a zvířata nijak nezatěžuje ani neovlivňuje jejich chování, proto jsou tato data dobře využitelná pro posouzení kvality zdraví, životní pohody i chovného prostředí (Li et al. 2020). Sledováním indikátorů zdraví dokáží poziční systémy označit jedince, jehož chování vykazuje nějaké anomálie. Propojením pozičního systému s aplikací v telefonu, tabletu nebo počítači dostane chovatel upozornění odkazující se na konkrétní výchyly v chování označeného jedince a nabádající ke kontrole tohoto jedince. Včasně odhalení problému vede ke zkrácení utrpení zvířete, efektivnější léčbě a nižším celkovým nákladům vynaloženým na léčbu i menším ztrátám produkce (Berckmans 2017; Cadero et al. 2018).

Na trhu jsou v dnešní době rozličné typy pozičních systémů sledujících různé druhy chování a projevů zvířat. Existují speciální poziční systémy pro vnitřní i venkovní prostory. Jejich technologie se liší jak způsobem vysílání a příjmu informací o poloze a činnosti zvířete, tak přesností těchto údajů (Liu et al. 2007; Resch et al. 2012). Propojením pozičních systémů s dalšími moderními metodami sledování aktivity zvířat můžeme získat poměrně jasnou představu o celkovém stavu každého jednotlivce, aniž bychom jej museli zkontrolovat a pozorovat jeho chování osobně. Kromě prostorového chování, preferovaných míst k odpočinku a sociálních partnerů můžeme díky zmiňovanému propojení s dalšími technologiemi sledovat také úroveň přežvykování, kulhání, pastevního chování, nástupu říje či porodu, nebo dokonce odcizení zvířete z vlastního pozemku (Aquilani et al. 2022).

Pro správné vyhodnocení zdravotního stavu a kvality welfare je důležitá nejen správná interpretace sledovaných indikátorů zdraví, ale také povědomí o vypovídající hodnotě informací sbíraných pozičním systémem. Abychom ověřili přesnost, citlivost a specifickou předkládaných dat, je velmi důležité provádět validaci automatizovaných systémů, jejíž realizací získáme povědomí o skutečné pravdivosti nasbíraných dat (Tullo et al. 2016).

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy práce:

Hypotézy práce nebylo možné vzhledem k charakteru práce postulovat. Bylo však možné stanovit následující předpoklady validity systému pro požadované využití.

Předpoklad č. 1: Odchyly mezi pozicí zvířete naměřené systémem TrackLab a přímým sledováním budou menší než 50 cm.

Předpoklad č. 2: Výpadky systému (periody, kdy systém z technických důvodů nesnímá údaje o poloze dojnic z obojků) budou menší než 5 % z celkového očekávaného počtu záznamů pozic.

Cíle práce:

Cílem této diplomové práce byla validace pozičního systému TrackLab od společnosti NOLDUS pro automatizovaný sběr dat o pozici a pohybu dojnic ve stáji s rozšířením na možné využití při hodnocení sociálního chování. Praktická část této diplomové práce měla ověřit shodnost hodnot naměřených systémem TrackLab v porovnání s hodnotami získanými přímým pozorováním. Hlavními výstupy bylo vyhodnocení spolehlivosti systému (přesnost pozice zvířete ve stáji, četnost a délka výpadků měření) a shody určení jedinců sociálně si blízkých výpočtem z dat naměřených systémem a vztahy zjištěnými přímým pozorováním.



### 3 Literární rešerše

Zájem veřejnosti o dobré životní podmínky zvířat chovaných v konvenčních chovech roste. Jedním z hlavních důvodů zvyšujícího se zájmu odborné i laické veřejnosti o tuto problematiku je úzká korelace mezi kvalitou životních podmínek a kvalitou živočišných produktů a potažmo se zdravím spotřebitelů. Dobré životní podmínky podporují zdravý růst, mohou snižovat výskyt onemocnění, a dokonce zvýšit kvalitu a objem produkce (Li et al. 2020). Velkokapacitní podniky zaměřené na živočišnou výrobu charakteristické svou vysokou produkcí se potýkají s poměrně velkým a závažným problémem. Ve vysokoprodukčních chovech s velkou koncentrací zvířat není kapacitně možné, aby stav každého zvíře byl několikrát denně kontrolován ošetřovatelem. Přesto je zdravotní stav a celková pohoda zvířete v produkčním chovu naprosto stěžejní pro odpovídající produkci i ekonomiku chovu. Ke kontrole zdraví, produkce a reprodukce mohou farmářům pomáhat inovativní metody a nové technologie, mezi něž řadíme také automatizované a poziční systémy (Berckmans 2017).

#### 3.1 Poziční systémy

Poziční systémy jsou vynikajícím nástrojem pro sledování polohy a chování zvířat. Monitorují pohyb a polohu zvířat a na základě zjištěné pozice dokáží dle kontextu oblastí, v níž se pozorované zvíře nachází, odhadnout jeho činnost, tedy například pokud se zvíře nachází v oblasti krmiště, pravděpodobně žere (Tullo et al. 2016). Automaticky sbírají data o pozici, čase stráveném v jednotlivých oblastech zájmu a sociálních partnerech. Tyto informace jsou dobře aplikovatelné při hodnocení zdravotního stavu a welfare zvířat. Automatizované systémy sbírají záznamy o době a místě odpočinku, krmení, přežvykování, ale i o množství sociálních interakcí nebo komfortního chování. Analýzou těchto záznamů můžeme odhalit počínající zdravotní komplikace nebo konflikty uvnitř sociální skupiny. Tyto údaje jsou následně vyhodnocovány a při propojení s mobilní aplikací nebo programem v počítači upozorní chovatele na odchylky od ostatních jedinců stáda nebo od běžně prováděného chování. Na základě upozornění chovatel může včas a efektivně zasáhnout, a předcházet tak například rozvoji vážného onemocnění. V aplikaci uvidí také trend vývoje komplikací, který může porovnat s daty o ostatních zvířatech a případné problémy v pravou chvíli podchytit i u nich (Berckmans 2017; Cadero et al. 2018).

Nespornou výhodou pozičních systémů oproti přímému pozorování zvířat nebo sledování videozáznamů je minimalizace potřeby vyhrazení velkého množství personálu na vyhodnocování těchto dat. Poziční systém dokáže všechny tyto úkony jako je sběr a následná analýza nasbíraného materiálu pokrýt sám. Další výhodou pozičních systémů je minimální zátěž zvířat pozorováním. Sociální interakce je často nutné hodnotit v rámci 24hodinových intervalů. Experimenty tedy probíhají i v noci, což by při sběru dat člověkem vyžadovalo dodatečné osvětlení k lepšímu zachycení každé interakce. Narušení poměru světla a tmy v rámci cirkadiálního rytmu ale může ovlivnit chování zvířat (Gygax et al. 2007).

Správná interpretace denních aktivit z naměřených hodnot pozic a pohybu obsahuje užitečné informace o zdraví, podmínkách ustájení a managementu farmy. Změny v chování jsou jasnými ukazateli zdraví zvířat a úrovně welfare (Tullo et al. 2016). Například prostorové chování dojnic je důležitým parametrem při hodnocení kulhání (Vazquez Diosdado et al. 2018).

Čas strávený v lehacích boxech nebo v krmišti přímo ovlivňuje produkci mléka (Tullo et al. 2016). Preference prostorů k odpočinku zase může napovídat tomu, kde ve stáji nejvíce proudí vzduch, kde je průvan, nebo může poukazovat na nějakou vadu v rámci mikroklimatu (Berckmans 2014).

Pro posuzování chování skotu je nutné pozorovat zvířata v prostředí, které je jim dobře známé a na které jsou zvyklá. Je také důležité hodnotit každé zvíře zvlášť, protože systém ustájení ovlivňuje jednotlivé členy stáda různě v závislosti na jejich hierarchické pozici, zejména v konkurenčních situacích, které jsou nejčastější v zónách s krmením a lehacími boxy. U dojnic nás zpravidla zajímá, kudy chodí, jakým místům se vyhýbají, kde odpočívají, kolik času tráví v jednotlivých zónách stáje a s kým tráví nejvíce času. Aby bylo možné hodnotit chování a zvyklosti celého stáda, potřebujeme komplexní informace k výše zmíněným parametrům o všech členech stáda současně. Právě k takovým účelům jsou využívány automatické poziční systémy, které zachycují prostorové chování zvířat a díky analýze získaných dat poskytují informace také o sociálním chování (Gygax et al. 2007).

Poziční systémy můžeme rozdělit dle prostoru, ve kterém je budeme využívat, na vnitřní a venkovní. Bližší specifika obou typů jsou popsána níže.

### **3.1.1 Vnitřní poziční systémy**

Automatizované sledování hospodářských zvířat ustájených ve vnitřních prostorách se těší stále většímu zájmu zemědělců i výzkumných týmů zabývajících se souvislostmi mezi chováním a zdravím zvířat (Zhuang et al. 2020). Poziční systémy jsou vynikajícím nástrojem umožňujícím souběžné a nepřetržité sledování polohy a vzorců pohybu více zvířat najednou. Nejmodernější poziční systémy jsou založené na ultraširokopásmové komunikační síti (UWB). Jedná se o bezdrátovou komunikační technologii, která pro příjem dat využívá krátkých elektromagnetických impulsů. Krátké impulsy jsou pro vnitřní prostředí stájí nejvhodnější. Je minimalizováno riziko, že signál k přijímači dorazí víckrát skrz odraz a lom o kovové konstrukce, jež jsou součástí každé stáje. Ultraširokopásmová technologie je také charakteristická vysokým časovým rozlišením a příjmem signálu o jednom zvířeti z různých přijímačů. Proto jsou tyto systémy ve vnitřním prostředí přesnější – většina systémů pracujících na UWB deklaruje přesnost na centimetry, oproti technologiím pracujícím na jiném principu, udávajícím přesnost spíše v metrech (Liu et al. 2007).

Vhodný poziční systém by měl splňovat několik požadavků. Měl by automaticky zjistit polohu zvířete uvnitř stáje a uložit ji do centrálního úložiště počítače. Dále by měl být schopen sledovat chování a zdraví několika zvířat současně. Rozlišení polohy by mělo být přibližně jeden metr čtvereční. Optimální kapacita systému by měla zahrnovat schopnost sledování 60 dojnic najednou, což odpovídá běžné velikosti stáda produkčních farem. Interval pro odběr vzorků by měl být krátký, aby bylo možné vypočítat rychlost chůze pozorované dojnice. Přesná vzorkovací frekvence nebyla stanovena, ale zpravidla se uvádí 1 Hz. Poziční systém a zejména jeho komponenty, které budou umístěné na těle zvířete, by neměly narušovat běžné chování zvířat a měly by být odolné vůči vodě, prachu a všeobecně náročným podmínkám stáje (Huhtala et al. 2007) (pro srovnání funkcí vybraných vnitřních systémů viz Tabulku 2).

Automatický sběr a analýzu dat umožňují čipy umístěné v obojcích připnutých na zvíře a mikropásmové antény přijímající signál ze všech směrů. Ve stáji je rozmístěno několik

základnových stanic. Jejich počet se liší podle velikosti snímaného prostoru, zpravidla jich bývá kolem deseti. Základnové stanice neboli kotvy mají svá pevná místa. Ve středu stropu stáje bývá umístěna primární kotva. Poloha zvířete se následně vypočítává z polohy čipu v jeho obojku vůči primární středové základně a sekundární základně umístěné v jiném pevně daném bodu stáje (Zhuang et al. 2020).

Gygax et al. (2007) vysvětlují získávání informací o poloze zvířat pomocí souřadnic. Ve stáji je definován nulový bod a všechny souřadnice jsou uváděny ve vztahu k tomuto bodu. Transpondér, který má zvíře v obojku, vysílá signál k přijímačům. Přijímače posílají tyto informace a zároveň informace o čase do centrálního počítače, který následně vypočítává polohu zvířete z časů průchodu zvířete skrz zóny jednotlivých přijímačů.

Resch et al. (2012) vysvětlují LPM (local positioning measurement) jako systém pro přesný odhad pozice za pomoci dvou transpondérů v každém měřicím cyklu. Jeden z nich slouží jako časový přijímač signálu, druhý je aplikován na objektu, jehož poloha má být stanovena. Porovnáním času příchodu k různým přijímačům signálu neboli k základnám obklopujícím měřené území, dojde k odhadu požadované polohy. Autoři uvádějí výhodu LPM oproti GPS v tom, že GPS má určité limity například co se určování polohy ve vnitřním prostředí, nízké frekvence vysílaných signálů a přesnosti týče. Systém LPM je založen na radiovém principu kontinuální vlny.

Jak již bylo zmíněno výše, změny v chování zvířat jsou velmi důležitými a vypovídajícími indikátory zdravotních komplikací a úrovně welfare. Ve velkochovech proto mohou sloužit jako systém pro včasné varování na nadcházející problém. Například ve velkokapacitních kravinech je důležitým parametrem lokalizace dojnic. Pro kontrolu zdravotního stavu je potřebný odhad vzorců chování a činnosti a odhad zmeškaných aktivit, z nichž můžeme jmenovat například situaci, kdy dojnice nedorazí na dojení (Huhtala et al. 2007).

### **3.1.2 Venkovní poziční systémy**

Rozsáhlé prostředí pastvin ve srovnání s uzavřenou stájí je pro ovládnutí pozičního systému s ohledem na dosah signálu složitější. Navíc se pobyt na pastvě často pojí s filozofií extenzivního zemědělství, které je charakteristické nižší finanční náročností a relativní jednoduchostí řízení, s čímž souvisí právě i nižší frekvence zavádění moderních technologií (Lima et al. 2018). Otevřenost farmářů k přijetí a zavedení nových technologií zůstává nadále poměrně nízká. Speciálně u extenzivně chovaných zvířat, například u ovcí, jsou farmáři stále velmi konzervativní. Tato skupina farmářů je mimo jiné propojená také věkovým průměrem kolem 60 let a obavami z finančních rizik spojených s novými technologiemi. Současný stav by mohla změnit informovanost spotřebitelů, povědomí o dobrých životních podmínkách zvířat, strach z bakteriální rezistence vůči antibiotikům, globální a místní ekonomika, v evropských zemích též společná politika Evropské unie a v neposlední řadě také nezadržitelné změny životního prostředí (Odintsov Vaintrub et al. 2021).

Venkovní poziční systémy zpravidla fungují na bázi sledování pozice zvířete díky propojení obojků s čipem nasazených zvířeti, základnovou stanicí a GPS. Důvodů pro zakoupení a aplikaci takového systému do vlastního chovu výrobci zmiňují hned několik. Systém zprostředkovává chovateli povědomí o tom, kde se aktuálně nachází jeho stádo.

Nepřímo informuje také o zdravotním stavu chovaných zvířat a mimo jiné zaznamenává i jejich pohybovou aktivitu a množství této aktivity (Campbell et al. 2020). Kromě prostorového chování zvířat a preferovaných místech k pastvě jsou data zprostředkovaná pomocí GPS užitečná k poskytnutí informací pro dekodování a klasifikaci řady činností zvířat, včetně změn ve vzorcích chůze, ležení, krmení a přežvykování, což jsou důležité známky změn v dobrých životních podmínkách (Aquilani et al. 2022). Aplikace propojená s pozičním systémem navíc chovatele upozorní, pokud zvíře uteče nebo je ukradeno z vymezeného sledovaného prostoru. Kromě sledování zvířat a získávání informací přímo o nich, jsou venkovní poziční systémy schopné na základě teplotní mapy pastviny určit, které oblasti jsou u chovaných zvířat nejoblíbenější nebo na kterých je nejvíce trávy (Campbell et al. 2020).

Mnohé venkovní systémy mají rozšíření o funkci takzvaného virtuálního oplocení. Díky této funkci může chovatel držet svá zvířata pouze na předem vytyčeném prostoru, jež si může na základě svých potřeb a požadavků sám přesně předkreslit v uživatelském rozhraní příslušné aplikace daného pozičního systému. Díky virtuálnímu oplocení se chovaná zvířata již nemusí potýkat s elektrickým ohradníkem. Zvíře je seznámeno s polohou hranic vytyčeného prostoru určeného pro pastvu pomocí zvukového signálu. Pokud se k hranici virtuálního plotu přiblíží, zazní určitý tón. Pokud i po zaznění tónu zvíře pokračuje směrem k hranici vymezeného prostoru, následuje elektrický impuls. Tento princip využívá schopnosti asociativního učení. Zvíře se naučí, že se může vyhnout nepříjemnému impulsu, pokud se při zaznění tónu vrátí zpět do bezpečné zóny vymezeného prostoru. Virtuální oplocení nabízejí systémy eShepherd, Agersens, Halter, Vence, Nofence, Cattlewatch a Various Sensors (Campbell et al. 2020; Gallagher Group 2021).

Sledování polohy, indikátorů zdravotního stavu a tvorba virtuálního oplocení ale nejsou veškeré funkce, které automatizované systémy poskytují. Některé firmy nabízejí propojení pozičních systémů s dalšími technologiemi díky čemuž je možné u pastevně chovaných jedinců sledovat také hmotnost a přírůstek mláďat, tělesnou teplotu, přežvykování, dobu strávenou pastvou, úroveň stresu, kulhání, reprodukční cyklus nebo mateřské chování (viz srovnání sledovacích funkcí vybraných venkovních systémů v Tabulce 2).

### **3.1.3 Poziční systémy na našem trhu a jejich propojení s dalšími moderními technologiemi sledujícími indikátory zdraví a welfare**

Vysoká poptávka po pozičních sledovacích systémech vzbudila velkou míru konkurence mezi jejich vývojáři, takže se poziční systémy neustále vyvíjejí a vylepšují. Tyto systémy se jeví jako slibné nástroje pro nepřetržité sledování welfare chovaných zvířat, jejichž nespornou výhodou je menší úsilí ošetřovatelů a schopnost technologie obsáhnout najednou velké množství zvířat (Tullo et al. 2016; Sharma & Koundal 2018).

Pozičních systémů je na trhu celá řada. Liší se funkcemi, výdrží baterie, uživatelským rozhraním i cenou. Hlavními parametry, které je možné sledovat díky výstupům automatizovaných systémů a jejich následné interpretaci, jsou přežvykování, kulhání, reprodukční cyklus, pastevní chování, doba strávená krmením, ale i tělesná teplota, hmotnost a v neposlední řadě samozřejmě poloha.

Poziční systém CowView od firmy GEA Farm Technologies je schopen detekovat a sledovat chování na základě umístění prostřednictvím vytvoření virtuální mapy stáje, která zaznamenává všechny oblasti, kam mají dojnice přístup. Tento systém neustále zaznamenává

polohu každé krávy prostřednictvím spojení mezi senzory umístěnými ve stáji a štítkem CowView umístěným v obojku dojnice. Výstupem je datový soubor s polohou zvířete charakterizovanou prostorovými souřadnicemi, které umožňují identifikaci chování. Ve skutečnosti je charakteristickým rysem této technologie rozdělení celé oblasti na podoblasti, které definují specifické chování dojnice.

Každou sekundu systém vyhodnocuje informaci o poloze a chování každé krávy. Zároveň zaznamenává čas zahájení a čas trvání pobytu v dané zóně a čas zahájení a trvání daného chování. Při validaci prováděné na tomto pozičním systému byla zjištěna přesnost vyšší než 95 %. Díky souběžným videozáznamům pořízeným při validaci bylo také zjištěno, že tento systém dokáže správně detekovat, zda v dané zóně k příslušnému chování dochází, tedy například zda dojnice v lehacích boxech odpočívají, v krmišti žerou a u napáječek pijí. Zároveň s přesností vyšší než 93 % systém chování v zóně nedetekoval, pokud nebylo přítomno, což jednoznačně zvyšuje jeho spolehlivost. CowView je tedy schopen identifikovat polohu dojnice s vysokou spolehlivostí ve vztahu k chování nebo aktivitě prováděné dojnici (Tullo et al. 2016).

Poziční systém Smartbow od společnosti Zoetis sbírá individuální informace o kravách v reálném čase. Umožňuje rychlou lokalizaci dojnic vyžadujících chovatelovu pozornost. Inteligentní Smartbow Ear Tag monitoruje přežvykování, polohu a aktivitu dojnic před porodem. Přežvykování lze s tímto systémem kontrolovat až s 99% přesností díky specifickým pohybovým vzorcům uší při této činnosti. Prostřednictvím změn chování a aktivity umožňuje Smartbow přesnou detekci teploty. Při zvýšené teplotě odesílá chovateli upozornění. Díky této funkci je možné identifikovat dojnice v říji, optimalizovat správný čas pro inseminaci a snížit náklady na řízení reprodukce snížením času a práce potřebné pro úspěšný management reprodukce (Reiter et al. 2018; Schweinzer et al. 2019).

Poziční systém GEA CowScout od společnosti GEA se kormě neustálého monitoringu pohybu dojnic zabývá časem vhodným k inseminaci. Systém ukazuje všechna období vysoké pohybové aktivity v rámci jednotlivých oblastí. Umožňuje úspěšné řízení plodnosti a zdraví. Systém dokáže identifikovat pohyby krku charakteristické pro očichávání a pokládání hlavy na zád' jiné dojnice, čímž detekuje dojnice v říji. Kromě polohy a říje systém vyhodnocuje také pohyby související s krmením a zaznamenává i čas, který dojnice stráví krmením. Při jakýchkoli výchytkách oproti normálnímu příjmu krmiva upozorňuje chovatele, aby tuto dojnici zkontroloval. Uživatelské rozhraní umožňuje vyhledání dojnice ve stáji. Kliknutím na ID dojnice je tato dojnice zobrazena na mapě stáje v reálném čase a s přesným umístěním (GEA Group Aktiengesellschaft 2023).

CowAlert je nástroj pro zpracování a analýzu dat, který poskytuje chovatelům mléčného skotu užitečné poznatky a pomáhá optimalizovat produktivitu a welfare dojnic, čímž přispívá k udržitelnější budoucnosti farmy. Data jsou shromažďována prostřednictvím i-QUBE. Systém pomocí analýzy vzorců chování zjišťuje počínající zdravotní problémy. CowAlert vyhodnocuje tyto parametry: kulhání, pohybovou aktivitu, říji a dobu strávenou ležením. Upozornění na kulhání jsou generována denně. Systém jim přisuzuje velkou důležitost, neboť je kulhání považováno za jeden z největších problémů v chovech dojeného skotu, který ovlivňuje jak zdraví a welfare, tak i plodnost a produkci. Pohybová aktivita dojnic je hodnocena pomocí 4bodové stupnice a je možné ji v reálném čase porovnat s daty o pohybové aktivitě dojnic z předních 25 % farem Velké Británie využívajících tento systém (Peacock technology 2023).

TrackLab je poziční systém umožňující monitorování prostorového chování zvířat ve vnitřních i vnějších prostorech. Vyznačuje se velkou odolností. Spolehlivě funguje při teplotním rozpětí od -20 do 50 °C. Není zaměřen jen na hospodářská zvířata, ale lze díky němu sledovat také zvířata v zoologických zahradách a domácí mazlíčky. Protože se tímto pozičním systémem dají sledovat různé druhy zvířat, nabízí jeho výrobci hned několik způsobů umístění štítků na zvířata, mezi něž patří obojky, postroje, ušní známky a batohy. TrackLab nabízí různé zajímavé funkce usnadňující chovateli práci, například kromě ručního zapnutí nahrávání je možné nahrávání spustit automaticky dle plánování ve sdíleném kalendáři, případně lze zaznamenávat data jen z určité části dne (pokud chce chovatel monitorovat například jen chování při krmení). Tento poziční systém nabízí také analýzu sociálního chování hodnocenou na základě parametrů frekvence a trvání vzájemné blízkosti. V budoucnu chtějí vývojáři TrackLab vylepšit přidáním dalších senzorů (akcelerometr, magnetometr, gyroskop a výškoměr). Chovatel tak bude mít k dispozici všestranný datový výstup pro komplexní analýzu chování zvířat (Noldus 2023).

systém	CowAlert	CowView	GEA CowScout	Smartbow	TrackLab
výrobce	Peacock Technology	GEA Farm Technologies	GEA Farm Technologies	Zoetis	Noldus
sledování ve stáji	ano	ano	ano	ano	ano
poloha	ano	ano	ano	ano	ano
prostorové chování	ano	ano	ano	ano	ano
sledování odpočinku	ano	ano	neuveďeno	neuveďeno	možné po dodatečné analýze sbíraných dat
sledování krmení	neuveďeno	ano	ano	neuveďeno	možné po dodatečné analýze sbíraných dat
detekce kulhání	ano	možná po dodatečné analýze sbíraných dat	neuveďeno	neuveďeno	možná po dodatečné analýze sbíraných dat
sledování říje	ano	možné po dodatečné analýze sbíraných dat	ano (dle pohybů hlavy)	ano (dle teploty)	možné po dodatečné analýze sbíraných dat
upozornění na porod	ne	ne	ne	ano	ne
sledování přežvykávání	ne	ne	neuveďeno	ano	ne
sledování sociálního chování	neuveďeno	možné po dodatečné analýze sbíraných dat	neuveďeno	neuveďeno	možné od verze 2.6

Tabulka 1: Srovnání vybraných vnitřních pozičních systémů

Přežvykování umožňují kontrolovat sledovací systémy smaXtec, Allflex Sensehub od firmy SCR Engineers Ltd. a Moomonitor+ od firmy DairyMaster. U systému Allflex si navíc uživatelé mohou vybrat, zda chtějí sledovat svá zvířata pomocí obojků nebo elektronických ušních značek. První technologii aplikovanou ve výzkumu pastevního chování a přežvykování byl GPS. Bylo zkoumáno prostorové chování, preference příjmu potravy v určitých oblastech stáje, ale i vliv sociální hierarchie na využití zdrojů pastvin. Byly zkoumány také vzorce chování mezi kravami a telaty. Přežvykování je možné sledovat díky štítkům umístěným pod čelistmi, na hlavě, nebo v obojku. Systém klasifikuje kousací pohyby, žvýkací pohyby a překrývání kousacích a žvýkacích činností a tyto pohyby počítá. Na základě získaných informací dokáže rozlišit pastvu od přežvykování. Hodnocení pohybu čelistí je přínosné pro odhad příjmu krmiva na pastvě (Aquilani et al. 2022).

K detekci kulhání můžeme využít systémy vybavené akcelerometrem, který se stal primárním nástrojem pro záznam aktivit. Akcelerometry nedetekují pouze kulhání, ale i ostatní aktivity jako jsou stání, ležení, odpočinek, přežvykování či pastevní chování. Akcelerometrem jsou vybaveny téměř všechny poziční systémy, které nabízejí sledování aktivity zvířat. Oproti GPS systémům jsou akcelerometry méně energeticky náročné a přesnější v detekci polohy hlavy, což jim umožňuje lépe rozlišovat polohu hlavy při pasení, ležení a stání (Werner et al. 2019). Většina venkovních pozičních systémů je však vybavena kombinací GPS a akcelerometru. Bylo zjištěno, že tříosý model akcelerometru byl sice nejpřesnější, ale pro pasoucí se zvířata byl vhodnější tříosý model GPS nebo samostatný GPS. Kombinace obou tak využívá vlastnosti GPS a nízkou energetickou náročnost akcelerometru. Společná aplikace těchto dvou mechanismů umožňuje prodloužení životnosti baterie systému tím, že GPS snímá pouze tehdy, když akcelerometr zaznamená pohyb při určité rychlosti (Gou et al. 2019).

Detekci kulhání nabízí například systémy IceTag and IceQube od firmy IceRobotics, Ltd. Záznam aktivity pomocí akcelerometru pak nabízejí tyto systémy: Nofence, Vence, Halter, eShepherd, CalveSense a Allflex SenseHub od firmy SCR Engineers Ltd., Moocall, Moomonitor+ od DairyMaster, digitanimal, Ceres Tag od firmy CeresTag Pty Ltd. Kromě toho, že akcelerometry nabízejí farmářům pohodlný způsob monitorování aktivity, ukazují také historické trendy aktivity na úrovni jedinců i skupin a upozorňují na abnormální chování. Zajímavou funkcí akcelerometrů, kterou již nabízí několik monitorovacích zařízení na trhu, je detekce hyperventilace a tím i tepelného stresu. Mezi zařízení umožňující sledovat tyto parametry patří například Allflex SenseHub od firmy SCR Engineers Ltd. (Aquilani et al. 2022).

Sledování reprodukčního cyklu je v živočišné produkci velmi důležité, neboť se jedná o významný parametr ekonomické stránky chovu. Mezi časné a nejrozšířenější metody detekce říje patří především krokoměry (Abeni et al. 2019). V posledních letech jsou však stále populárnější akcelerometry (Adenuga et al. 2020). GPS technologie venkovních pozičních systémů je ovšem schopná také určit dobu porodu podle změn denních a hodinových pohybových zvyklostí, nebo třeba podle předporodních pohybů ocasu (Fogarty et al. 2020). Určení co možná nejpřesnější doby porodu umožňuje chovateli zařídít se tak, aby na porod měl kdo dohlížet a aby personál byl připravený včas zasáhnout a při porodu pomoci. Systémy schopné sledovat říji a blížící se porod jsou například tyto: DataMuster, CalveSense od SCR Engineers Ltd., Moocall, Moosense, smaXtec firmy GmbH nebo Silent Herdsman. Zajímavou vychytávkou pozičních systémů je také tvorba rodokmenu (Aquilani et al. 2022).

Kontrolu tělesné teploty nabízejí systémy digitanimal a smaXtec od firmy GmbH. Ve vnitřních systémech se teplota a vlhkost vzduchu považují za klíčové parametry k zachování pohody ustájených zvířat a k prevenci tepelného stresu (Renaudeau et al. 2012). Na pastvinách zvířata částečně mohou regulovat svou teplotu sama přecházením do oblastí pokrytých stromy, nebo naopak někam, kam svítí slunce. V tropických podnebných pásmech je samoregulace tělesné teploty často složitá až nemožná. Sledování environmentálních parametrů, teploty a oblíbenosti různých částí pastviny v různých ročních obdobích může přispívat k lepšímu managementu rotačních pastev (Pezzopane et al. 2019). Bohužel sledování tělesné teploty sledovacím systémem se neobejde bez invazivního zákroku. Senzory citlivé na teplotu je nutné aplikovat přímo do tkání zvířete. Jedná se například o ruminální bolusy (Aquilani et al. 2022).

Sledování hmotnosti nabízí například poziční systém PigWei od firmy Ymaging. Vše funguje díky funkci Walk-over-Weigh (Brown et al. 2015). Pastevně chovaná zvířata zpravidla nejsou naháněna v pravidelných intervalech do prostor stáje, kde by mohla být dle potřeb chovatele vážena, nicméně i u takto chovaných zvířat je důležité mít povědomí o jejich hmotnosti a přírůstcích, zvláště pokud se jedná o mláďata. Walk-over-Weigh se skládá ze speciálně navržené přepravy, na kterou zvíře vstoupí. Zařízení následně umožní odhadnout tělesnou hmotnost pomocí techniky průběžného průměrování. Nástupní plošina je zpravidla umístěna v blízkosti vstupu ke krmivu nebo vodě (González-García et al. 2018). K aparátu náleží také čtečka štítků pro automatickou identifikaci váženého zvířete. Kromě sledování hmotnosti lze tímto způsobem získat informace i o kvalitě pastvy. Pokud je na pastvině nedostatek zdrojů a začíná to ovlivňovat růst, je na čase ji změnit (Aquilani et al. 2022).

Poziční systém mOOvement oproti jiným nepoužívá k lokalizaci zvířete štítek v obojku, ale čip zabudovaný přímo v ušní známce zvířete. K propojení komunikační sítě potřebuje tento poziční systém síť LoRa. Z použití této sítě plynou další možnosti využití systému. Například je možné zabudovat speciální zařízení spolupracující s tímto systémem, které bude hlídat zásoby a přístup k vodě (mOOvement 2019). Systémy jako například eShepherd od firmy Agersens a systémy Halter, Vence nebo Nofence zase mají funkci monitoringu a analýzy pastevního porostu. Kvalita a množství trávy na pastvinách hrají zásadní roli v managementu pastevně chovaných zvířat. Původní časově náročné metody jako je měření terénu a chemická analýza složení pastvy mohou být nahrazeny monitorováním pastviny. Systém může chovateli pomoci optimalizovat pastvu a snížit tak potřebu velké pracovní síly.

Velkým problémem v některých zemích je predace pastevně chovaných zvířat. Proto byla zkombinována GPS data o výskytu predátorů a jejich preferovaných místech a vzorcích prostorového chování skotu během letní pastevní sezóny. Cílem bylo předpovědět riziko setkání predátora s chovanými zvířaty. Výzkum byl ověřen pouze v několika oblastech, a proto je potřeba jej ještě rozšířit (Clark et al. 2020). Další možností prevence predace je využití behaviorálních reakcí napadených stád. Zatím byl testován prototyp chytré bezdrátové senzorové sítě složené z měření srdeční frekvence a tělesné teploty. Pokud systém zaznamenal zvýšenou srdeční frekvenci a tělesnou teplotu u většiny jedinců stáda, vyhodnotil takovou situaci jako kolektivní stres. Systém poté automaticky spustil akustický a vizuální alarm k zastrášení predátora a vyslal varovný signál farmáři (Aquilani et al. 2022).



Tabulka 2: Srovnání vybraných venkovních pozičních systémů (upraveno podle 4D4F Coordination: Innovation for Agriculture, Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK, available from <https://4d4f.eu/outdoor-positioning>, accessed February 2023)

system	Cattlewatch	Digitanimal GPS Tracker	eSheperd	Geowan	mOOvement	Pellegro & Tellus Livestock	StickNTrack	Various sensors
výrobce	Cattlewatch	Digitanimal	Agersens	Geowan	mOOvement	Followit	Sensolus	Lotek
životnost baterie	7 let	1 rok	5–10 let	N. A. (vestavěný solární systém)	N. A. (vestavěný solární systém)	až 1,5 roku	až 5 let	až 2 roky
síťové připojení	satelit nebo GPRS	SigFox	Lora	LoraWAN	Lora	Iridium nebo GSM	SigFox	rádio nebo satelit
sledování hospodářských zvířat	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	možné
sledování divokých zvířat	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano	ano
sledování ve stáji	ne	ne	ne	ne	ne	ne	možné	ne
sledování doby strávené pasením	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ne
virtuální oplocení	ano	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ano

### 3.2 Validace pozičních systémů

Poziční systémy monitorují pohyb a polohu zvířat a na základě zjištěné pozice dokáží dle kontextu oblasti, v níž se pozorované zvíře nachází, odhadnout jeho činnost. K ověření spolehlivosti dat je nutná validace systému, která ověří jeho přesnost, citlivost a specifčnost (Tullo et al. 2016). Studie zabývající se validací, které pro kontrolu pozičních systémů využívají analýzu videozáznamů, uvádí velmi uspokojivé výsledky. Autoři takových prací zpravidla našli vysokou úroveň korespondence mezi videem a automaticky získanými daty pomocí pozičního systému (Trénel et al. 2009).

Tullo et al. (2016) validovali poziční systém CowView. Automaticky sbíraná data tímto systémem porovnávali s videozáznamy. Dohromady vyhodnocovali 37 hodin souběžných záznamů od 5 fokálních dojníc. Pro porovnání Gyax et al. (2007) použili pro podobný výzkum 14 dojníc a vyhodnocovali pouze 9 hodin souběžných záznamů pozičního systému a údajů získaných přímým pozorováním. Melzer et al. (2021) sledovali v jednom období 14 a ve druhém období 15 dojníc a experiment jim zabral dohromady 6 dní. Ren et al. (2021) sbírali data od 7 dojníc a získali 168 souběžných záznamů pozičního systému a videozáznamů (viz Tabulka 3: Srovnání způsobů validace od různých autorských týmů).

Samotnou validaci prováděli všichni v této kapitole zmínění autoři ve stáji pro dojený skot. Gygax et al. (2007) nejdříve provedli dvě série měření. První bylo měření pro simulaci stání či ležení na jednom místě – měření pevné polohy. Druhé měření bylo prováděno pro simulaci pohybu.

Pro měření pevné polohy využili Gygax et al. (2007) dřevěnou tyč, na kterou v 10centimetrových rozestupech upevnili jednotlivé transpondéry. Tyč byla následně připevňována k různým konstrukcím stáje. Tyč s transpondéry byla umístěna na třech různých místech u krmného regálu a v šesti boxových lóžích. Všechna měření pevných poloh probíhala tři po sobě jdoucí minuty a pro hodnocení bylo použito 25 000 odhadů pozic. Transpondéry byly ve výšce 90 a 140 centimetrů, aby simulovaly výšku, ve které se transpondér běžně nachází u ležících a stojících krav (Gygax et al. 2007). Melzer et al. (2021) měli na konstrukcích stáje rozmístěno celkem sedm fixních transpondérů, které byly ve stáji ponechány v průběhu obou experimentálních období pro lepší měřitelnost kontinuální kvality dat. Frondelius et al. (2014) pro měření pevných pozic testovali 10 tagů. Vzorkovací frekvenci nastavili na 1 Hz. Tagy byly drženy po dobu jedné minuty na 12 předem definovaných bodech stáje s přesně vyměřenými souřadnicemi.

Pro měření pevných poloh byl důležitý správný odhad polohy transpondéru systémem na souřadnicích X, Y a Z, který měl s přesností do 50 cm odpovídat předem určeným a změřeným místům (Gygax et al. 2007). Tullo et al. (2016) stejně jako Melzer et al. (2021) se souřadnicí Z vůbec nepočítali.

Pro posouzení přesnosti odhadu polohy při pohybu provedli Gygax et al. (2007) kruhová měření tří různých oblastí stáje. Pohybovali se na kruhu o poloměru 4,27 metru a v natažené ruce drželi transpondér. Přesnost kruhu byla zajištěna pomocí lana a tyče, ke které bylo lano přivázáno. Výzkumný pracovník dvakrát pomalu obešel vytyčený kruh s napnutým lanem a transpondérem v ruce. Doba, za kterou pracovník obešel 1 kruh, byla stanovena na 90 vteřin, aby byl simulován pomalý přesun dojníc po stáji a aby systém pohyb zaznamenal a nevyhodnotil jej jako výpadek. Frondelius et al. (2014) použili pro testování pohybu dva tagy, s nimiž pohybovali tam a zpět na osmi specifických měřících liniích v rozmezí 3,45 – 3,63 metrů.

Gygax et al. (2007) pro validaci automatického sledování krav porovnávali data nasbíraná souběžně během devíti hodin systémem LPM s daty získanými přímým pozorováním. Do experimentu bylo zapojeno 14 fokálních dojníc. Pozorovatel zaznamenával všechny přesuny, ke kterým došlo u krmniště a současně každých deset minut zaznamenával sousedy fokálních dojníc. Za přemístění byl považován přesun o více než jedno krmné místo. Za sousedy byly považovány dojnice, které se nacházely do dvou metrů od pozorované dojnice v prostorech s lehacími boxy, což odpovídalo kravám v přilehlých lehacích boxech, do jednoho metru v hnojných uličkách a do 1,8 metru u krmného stolu, kde tato délka odpovídala taktéž dojnicím na sousedních krmných místech.

Melzer et al. (2021) porovnávali data získaná pozičním systémem s videozáznamy a elektronickými zásobníky na krmivo. Pro podobný experiment, jaký prováděli Gygax et al. (2007), využívali Melzer et al. (2021) v jednom období 15 krav a ve druhém 14 krav a validace systému probíhala po dobu 6 dní pro obě období dohromady. Melzer et al. (2021) si rozdělili jednotlivé oblasti zájmu na zóny dle jejich účelu (hnojná ulička, oblast s kartáčem, krmné automaty a lehací boxy) a tyto zóny předem přeměřili laserovým metrem. Pro určení co

nejpřesnější pozice pozorované dojnice v každém časovém bodě prováděli autoři dva záznamy polohy zvířete.

Ren et al. (2021) při validaci srovnávali 168 hodin souběžných záznamů dat z pozičního systému a videa od 7 dojníc. Při vyhodnocování získaných dat byl brán v potaz počet momentů, kdy byly krávy pozorovány ve vzájemné blízkosti v porovnání s celkovou dobou, během níž byla k dispozici data pro obě dojnice a zároveň v porovnání s dobou, kterou obě krávy trávily společně v odpovídající oblasti (krmiště, lehací boxy, hnojná ulička).

Pro posouzení sociálních vazeb byly brány v potaz momenty vzájemné blízkosti, kdy dojnice sdílely prostor téže zóny (sousední krmné nebo lehací boxy). Z těchto okamžiků se počítala doba, kterou krávy trávily v dané oblasti společně. Dalším ukazatelem sociálního chování bylo zónové přiblížení. U tohoto parametru bylo podstatné určit, zda jsou dojnice ve stejné oblasti zájmu (například všechny situace, kdy se dojnice nacházely obě v krmišti, ale ne přímo na sousedících místech) v rozmezí mezi 1,5 – 3 metry. Získané údaje o době strávené ve vzájemné blízkosti i o setrvání ve stejné oblasti zájmu byly porovnány s příslušnými videozáznamy (Melzer et al. 2021; Ren et al. 2021). Ren et al. (2021) sociální interakce rozdělili na afiliativní chování (vzájemná blízkost, jemný kontakt) a agonistické chování (hrozba, fyzický kontakt hlavou).

Tabulka 3: Srovnání validace prováděné různými autorskými týmy

autorský tým	Frondelius et al. 2014	Gygax et al. 2007	Melzer et al. 2021	Ren et al. 2021	Tullo et al. 2016
název studie	Validation of the TrackLab positioning system in a cow barn environment	Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns	Validation of a real-time location system for zone assignment and neighbour detection in dairy cow groups	Tracking and analysing social interactions in dairy cattle with real-time locating system and machine learning	Technical note: Validation of a commercial system for the continuous and automated monitoring of dairy cow activity
počet sledovaných dojníc	pro validaci byla použita pouze data o tazích, nebylo prováděno sledování dojníc	14 fokálních dojníc	15 fokálních dojníc v prvním období 14 fokálních dojníc ve druhém období	7 fokálních dojníc (původně 10 – snížení počtu kvůli nefunkčním tagům)	5 fokálních dojníc
délka pozorování	neuvedeno	9 hodin souběžných záznamů získaných přímým pozorováním a pozičním systémem	3 dny v prvním období 3 dny ve druhém období	168 hodin (experiment trval 45 dní, nahráno bylo 1 080 hodin videa)	37 hodin souběžných záznamů

<p><b>metodika</b></p>	<p>10 tagů pro měření pevných pozic umístěných po dobu 1 minuty na 12 předem definovaných místech</p> <p>pro testování pohyblivých tagů byly vybrány dva, s nimiž se pohybovalo po 8 specifických měrných liniích v rozmezí 3,45 – 3,6 metrů</p>	<p>fixní tagy na tyči připevněné po dobu 3 minut na různé konstrukce stáje</p> <p>simulace pohybu pomocí přecházení pozorovatele po kruhu o poloměru 4,27 metrů po dobu 90 vteřin</p> <p>srovnání dat z pozičního systému a přímého pozorování</p> <p>všechny souřadnice X, Y, Z</p>	<p>7 tagů připevněných ke konstrukci stáje během obou období</p> <p>srovnání dat z pozičního systému, videozáznamů a automatických krmných boxů</p> <p>jen souřadnice X a Y</p>	<p>srovnání dat z pozičního systému a videozáznamů</p>	<p>jen souřadnice X a Y</p>
<p><b>sociální chování</b></p>	<p>nehodnoceno</p>	<p>každých 10 minut záznam o sousedních dojnících</p> <p>v prostorech s lehacími boxy za vzájemnou blízkost považovány dvě dojnice v přilehlých boxech</p> <p>v oblasti krmiště považovány za sousedy dvě dojnice na sousedních krmných místech</p>	<p>vzájemná blízkost (dojnice v přilehlých místech konkrétní oblasti)</p> <p>zónové přiblížení (setrvávání ve stejné oblasti zájmu mimo sousední místa a do vzdálenosti maximálně 3 metrů)</p>	<p>záznam 10x za minutu</p>	<p>nehodnoceno</p>

### 3.3 Využití automatizovaných systémů pro sledování behaviorální a pohybové aktivity za účelem zlepšení kvality života, zdravotního stavu a welfare dojnic

Vzhledem k tomu, že chování zvířat je velmi důležitým ukazatelem úrovně životních podmínek zvířat v produkčních chovech, je jeho studium poměrně jednoduchou a neinvazivní metodou k posouzení kvality chovného prostředí. Využití moderní technologie nabízí možnost kontinuálně a automatizovaně sledovat chování a projevy zvířat. Bezdrátové mobilní senzory,

kteře můžeme na zvířata upevnit pomocí postrojů nebo obojků, obsahující radiofrekvenční identifikační zařízení, nám umožňují sledovat polohu a pohyb jedinců v reálném čase a podle toho kvantifikovat některé rysy chování (Li et al. 2020). Bylo potvrzeno, že snížení pohybové aktivity zpravidla značí zdravotní problém. Platí však i obrácená situace, tedy kdy zhoršený zdravotní stav ovlivňuje chování, například když kulhání způsobuje snížený počet přesunů zvířete po stáji, neochotu se pohybovat nebo prodlužuje dobu ležení (Huhtala et al. 2007)

Monitoring chování zvířat může pomoci zlepšit životní podmínky zvířat a jejich produkční hodnotu, protože chování poskytuje relevantní informace o příjmu potravy, vody a zdravotním stavu (Trénel et al. 2009). Jsou různé způsoby, jak můžeme zdravotní stav a welfare sledovat s pomocí automatizovaných systémů. Můžeme hodnotit buď aktivitu dojníc, čímž je myšlena pohybová aktivita, podíl času stráveného krmením, podíl času stráveného odpočinkem, podíl času stráveného sociálními interakcemi, stáním a ležením. Můžeme ale také hodnotit produkty zkoumaného zvířete, abychom získali povědomí o úrovni jeho zdravotního stavu a celkové spokojenosti (Rutten et al. 2013).

Vnitřní poziční systémy by mohly být použity k měření více druhů chování dojníc pomocí jediného takového systému. Lokalizace zvířete může poskytovat přesná data o obsazení různých funkčních oblastí stáje. Doba strávenou krmením lze například odhadnout z celkové doby strávené v prostoru krmiště. Délku odpočinku lze vypočítat z celkové doby, kterou zvíře strávilo v zóně lehacích boxů. Z dat o poloze lze získat i takové údaje, jako jsou využívání drbacích kartáčů, minerálních lizů nebo vzájemné sociální interakce. Díky pozičním systémům je tedy možné sledovat nejen pohybovou aktivitu, ale také velmi důležité komfortní a sociální chování (Frondelius et al. 2022).

Behaviorální aktivita se používá jako ukazatel welfare zvířat. Zejména doba strávená ležením, frekvence přechodů z polohy vleže do polohy vestoje a doba setrvání v jedné poloze byly vyhodnoceny jako indikátory dobrých životních podmínek. V omezených podmínkách konvenčních chovů je ležení považováno za důležitější, než je krmení a sociální kontakty. Ležení dojníc ve volném ustájení je ovlivňováno několika faktory, jimiž jsou zejména konstrukce boxů, povrch stáje, kvalita podestýlky a hustota osazení stáje. Čas, který dojnice stráví vleže, se mění v souvislosti s jednoduchými změnami v managementu. Například doba strávená ležením se může výměnou mokré podestýlky za suchou zvětšit až o 5 hodin denně. Při zvýšení hustoty ustájených zvířat o 50 % se doba ležení naopak o 1,7 hodiny denně sníží. Délku a frekvenci ležení ovlivňují také další faktory, mezi nimiž můžeme jmenovat například tepelný stres, vlhkost prostředí, ale také postavení v dominantním žebříčku (Mattachini et al. 2011).

Cílem zjišťování změn v chování dojníc je odhalení nemoci, poruch příjmu potravy nebo kulhání, neboť častým příznakem onemocnění bývá také změna vzorců chování související se sníženou aktivitou, sníženým příjmem krmiva a delší dobou strávenou vleže. Naopak změna v chování popisovaná parametry jako je zvýšená pohybová aktivita, snížení příjmu krmiva a snížení doby ležení a odpočinku je typická pro období říje (Tøgersen et al. 2010). Velmi důležitým ukazatelem zdraví dojníc, managementu a kvality krmení je přežvykování. Doba strávená přežvykováním by mohla být použita jako indikátor zdravotního stavu mléčného skotu. Snížení doby přežvykování může být indikátorem horší kvality krmné dávky, stresu nebo nemoci. Včasné odhalení onemocnění umožňuje okamžité zahájení léčby a slouží také jako prevence neočekávaných vysokých nákladů spojených se zdlouhavou léčbou a snížením doживosti (Paudyal 2021).

### 3.3.1 Sledování délky doby odpočinku a přežvykování

Přežvykování je velmi důležitou součástí trávicího procesu dojnic. Kromě správného trávení potravy však může plnit i funkci ukazatele zdraví a pohody dojeného skotu. Monitoring přežvykování je možné zprostředkovat pomocí přímého pozorování jednotlivých zvířat, nicméně tento způsob je velmi časově náročný a umožňuje pozorovateli obsáhnout pouze malý počet zvířat. I pro tento typ chování je tedy vhodný způsob automatického monitorování. Mezi nepřímé metody sběru dat o přežvykování patří zařízení pro detekci pohybu čelistí připojené k ohlávce zvířete. Je také možné používat senzory s mikrofonom zabudované v obojcích, které vyhodnocují přežvykování na základě charakteristického zvuku (Paudyal 2021).

Zdravé dojnice tráví přežvykováním 8–9 hodin denně. K přežvykování dochází především v noci a v době odpoledního odpočinku, ale tyto hlavní časové periody mohou být ovlivněny frekvencí krmení, dobou krmení a složením krmné dávky. Následkem negativních prožitků, jakými jsou bolest, hlad, tepelný stres, separační úzkost nebo nemoc, doba strávená přežvykováním též klesá (Paudyal 2021). Soriani et al. (2013) uvádějí, že teplota nad 27–28 °C zhoršuje proces přežvykování a snižuje se jak frekvence této činnosti, tak i její trvání. Vlivem tepelného stresu bylo přežvykování zkráceno o 22,9 % (Maia et al. 2020).

Dojnice tráví relativně málo času přežvykováním, když se blíží porod. Čas strávený touto činností dramaticky klesá v den otelení (Paudyal et al. 2016). Zkrácená doba přežvykování je také spojena se stresem, úzkostí a nemocemi (Hansen et al. 2003). Za jedno z nejzávažnějších onemocnění chovů dojeného skotu je považována mastitida, s níž změna přežvykování také může souviset. Dojnice, jimž byla diagnostikována mastitida, snižovali dobu přežvykování. Fitzpatrick et al. (2013) a Chapinal et al. (2014) zkoumali účinky různých léčivých látek na dobu strávenou přežvykováním a oba autorské týmy potvrzují, že dojnice s neléčenou mastitidou přežvykovaly výrazně méně než dojnice, kterým byla poskytnuta léčba.

### 3.3.2 Detekce onemocnění končetin pomocí pozičních systémů

Kulhání je v chovech dojeného skotu velmi častý problém. Zvířatům způsobuje bolest, má nepříznivé účinky na zdraví a negativně ovlivňuje také welfare. Z pohledu chovatelů jeho negativa spočívají i ve velkých ekonomických ztrátách souvisejících se sníženou produkcí mléka a utrácením dojnic, u kterých by léčba byla příliš nákladná. Z tohoto důvodu jsou chovatelé motivováni k využívání pozičních systémů, neboť díky včasné detekci problému je možné zahájit léčbu při prvních příznacích, což bývá zpravidla méně nákladné a účinnější (Frondelius et al. 2022).

Kulhání je možné zachytit pomocí automatizovaných pozičních systémů díky přehledu o časových blocích strávených v jednotlivých oblastech stáje a v určité poloze. Lokomoce je jedním z nejdůležitějších projevů zvířete. Souvisí se zdravím, welfare i produktivitou. Kulhání je spojeno s delší dobou ležení, delším postáváním v hnojných chodbách, neschopností lehnout si do boxových lóží a se sníženým příjmem krmiva (Van Nuffel et al. 2015). Kulhavé dojnice tráví méně času krmením, u krmení méně popocházejí a ve srovnání se zdravými dojnicemi jedí rychleji (Barker et al. 2018). Dojnice trpící kulháním zkracují i dobu stání a chůze na nezbytně nutnou dobu a méně navštěvují dojícího robota. Po dojení mají tendenci si lehnout na místo nejbližší vchodu do stáje (Frondelius et al. 2022). U kulhajících krav se tedy prodlužuje doba ležení (Hut et al. 2021).

### **3.3.3 Diagnostika onemocnění vemene pomocí pozičních systémů**

Nejčastějším onemocněním vemene dojnic je mastitida (Compiani et al. 2014). Existuje souvislost mezi tímto onemocněním a dobou ležení. Ležení je u dojnic velmi prioritizované chování, ale zvýšená nebo nadměrná doba strávená ležením je zpravidla vyhodnocována jako adaptivní mechanismus při nastupujícím a probíhajícím onemocnění. Některé studie však naznačují, že krávy trpící mastitidou tráví více času ve stoje, což by mohlo souviset s nepohodlím způsobeným bolavým vemenem při poloze vleže (Cyples et al. 2012).

### **3.3.4 Diagnostika metabolických onemocnění pomocí pozičních systémů**

Častým metabolickým onemocněním spjatým s obdobím kolem otelení a související negativní energetickou bilancí je ketóza. Toto onemocnění je samozřejmě možné zjistit pomocí krevních testů, testů moči a mléka, ale takové testování vyžaduje lidskou práci a ne všechny metody jsou neinvazivní a pro dojnice příjemné. Bylo však prokázáno, že změny v chování a krmení se dají využít pro včasnou diagnostiku tohoto onemocnění. Například krávy, jimž byla později diagnostikována ketóza, trávily týden před otelením méně času v krmišti (Itle et al. 2015). Z této studie dále vyplývá, že dojnice s klinickou ketózou měly tendenci trávit více času ve stoje oproti dojnicím, které ketózou netrpěly. Antanaitis et al. (2020) dávají do souvislosti s diagnostikou ketózy také sníženou dobu přezvykování a sníženou potřebu pití.

Dalším častým metabolickým onemocněním je acidóza. Li et al. (2011) uvádějí v souvislosti s touto metabolickou poruchou snížení příjmu krmiva. DeVries et al. (2009) naopak tvrdí, že acidóza měla za následek prodloužení doby krmení, snížení doby ležení a snížení doby přezvykování první den následované zvýšením doby přezvykování nadcházející den. Autoři dále uvádějí, že celkové chování dojnice zřejmě nemá vliv na odhalení této metabolické poruchy, nicméně našli souvislost mezi chováním při přezvykování a acidózou.

### **3.3.5 Využití pozičních systémů při detekci říje**

V oblasti detekce říje, která úzce souvisí s reprodukčním managementem skotu, se jako neúčinnější osvědčily krokoměry. Jsou velmi přesné a účinné v kombinaci s určením říje přímým pozorováním chování dojnice. Sběr údajů o říji v reálném čase pomocí automatizovaných systémů má tudíž velký potenciál (Porto et al. 2014).

Automatická detekce říje u dojnic pomocí měření aktivity, hladiny progesteronu a dalších znaků byla předmětem několika studií. Jónsson et al. (2011) ale ve svém výzkumu porovnávali motivaci dojnic k uléhání v kombinaci s počtem nachozených kroků s cílem využít pro detekci říje fyziologické změny v chování. Pro monitorování pohybové aktivity byl používán sledovací systém IceTag3D. Senzory byly připevněny k nohám dojnic a za pomoci akcelerometru byla vyhodnocována aktivita těchto dojnic z hlediska následujících proměnných: ležení, stání, pohybový index a počet kroků. Zkrácená doba ležení oproti normálnímu stavu byla indikátorem říje a zpravidla byla doprovázena zvýšeným pohybovým indexem a vyšším počtem nachozených kroků (Roelofs et al. 2005).

Studie přinesla poměrně potěšující výsledky. Kombinací měření pohybové aktivity a doby strávené v leže byl výrazně snížen počet falešných upozornění na dojnice v říji. Říji lze zjistit také pozorováním délky přezvykování. U dojnic v estru je doba strávená přezvykováním

významně snížena (Reith & Hoy 2012). Reith et al. (2014) doplňují, že pohybová aktivita během estru se zvyšuje na úkor času stráveného přežvykáním.

Tato metoda a sledování dojníc pomocí systému IceTag3D se ukázala jako velmi spolehlivá. Z hlediska welfare dojníc by využití těchto systémů ke sledování pohybové aktivity a následného odvozování říje mohlo pomoci předcházet nepříjemným procedurám spojeným se zjišťováním říje a s neúspěšnými pokusy o inseminaci (Jónsson et al. 2011).

### **3.3.6 Detekce sociálních vazeb pomocí pozičních systémů**

Stabilní sociální prostředí je pro dojnice jakožto stádová zvířata velmi důležité. Krávy v přechodném období reprodukčního cyklu jsou vystaveny častému přeskupování dle managementu příslušné farmy. Stěhují se do jiné skupiny před otelením a následně v laktaci. Kromě přerušení přátelských sociálních vztahů má nedbalé přeskupování dojníc bez respektování jejich sociálních vazeb dopad také na příjem krmiva a přežvykání, což mimo jiné vede také ke snížení produkce mléka (Paudyal 2021). Izolace, riziko sociálního vyloučení nebo omezení sociálních interakcí vyvolávají fyziologické a behaviorální stresové reakce. Vzájemná blízkost, bezpečí v rámci stáda a stabilní sociální prostředí naopak usnadňují zvířeti zvládání stresujících nebo nepříjemných situací (Gutmann et al. 2015; Smith et al. 2023).

Sociální prostředí je pro vysokoprodukční dojnice sice taktéž důležité, ale neméně důležité je správné sestavení stáda a adekvátní hustota osazení stáje. Pokud vezmeme v potaz divoce žijící skot, zjistíme, že sice přirozeně žije ve stádě, ale v rámci stáda vytváří různé podskupiny, ve kterých je přeskupování poměrně časté (Lazo 1994). V produkčním prostředí se dojnice často potýkají s přeskupováním v rámci managementu stáda, ale je otázka, do jaké míry chovatel dokáže odhadnout, které dojnice by se v přirozeném prostředí společně přesunuly do jiné podskupiny a které nikoli. Další otázka je, do jaké míry se chovatel řídí vztahy mezi dojnicemi a zda je při přeskupování bere v potaz. Přeskupování, nadměrně velké skupiny nebo vysoká hustota osazení malého prostoru jsou negativní vjemy často vedoucí k agonistickým interakcím a ke snížení doby krmení a ležení. Dále mají vliv na plodnost a produktivitu dojníc a přírůstek a zdraví telat (Gutmann et al. 2015).

Experimenty zaměřené na přeskupování dojníc porovnávající integraci jednotlivých krav a skupiny vzájemně si známých a blízkých dojníc do nového stáda dokazují, že přítomnost známých jedinců pozitivně ovlivňuje chování, zařazení do stáda a pomáhá zmírňovat stres (Gygax et al. 2009). Přeskupování a častá obměna stáda dojníc v mléčném průmyslu by však mohla vést k přetížení sociální adaptability a dojnice by již nemusely být schopné udržovat vzájemně blízké vztahy. Důsledky života v nestabilním až anonymním sociálním prostředí jsou zvažovány jen zřídka, ale dá se předpokládat, že by měly velký vliv na fyziologické hodnoty, celkové zdraví a odolnost dojníc vůči nepříznivým podmínkám chovu, protože by dojnice přišly o možnost vyrovnávání se se stresujícími situacemi díky sociálnímu chování a prožívání pozitivních emocionálních interakcí (Jóhannesson & Sørensen 2000).



## 4 Metodika

Metodika validace pozičního systému TrackLab vycházela především ze způsobů validace pozičních systémů autorskými týmy zmíněnými výše v kapitole „Validace pozičních systémů“. Byla založena na určení přesné pozice fixních a dynamických tagů vyhodnocené systémem TrackLab a jejím porovnáním s pozicemi naměřenými laserovým metrem a získanými přímým pozorováním. Pro hodnocení vztahů mezi dojnici byla využita vzájemná blízkost dojnic k fixním tagům.

### 4.1 Experimentální zvířata, způsob jejich ustájení a krmení

Experiment byl prováděn na farmě mléčného skotu v Netlukách Výzkumného ústavu živočišné výroby, v.v.i. Dojnice chované na této produkční farmě jsou plemene Holštýnský skot a Český strakatý skot. Poziční systém TrackLab je umístěn ve stáji pro první produkční skupinu (NKI). Do této stáje jsou dojnice přesunuty 2. – 6. den po otelení a zůstávají zde zpravidla 100 dní, kdy jejich dojivost klesne pod 24 kg mléka na den. Poté jsou dojnice přesunuty do jiné produkční stáje.

V této stáji bývá ustájeno kolem 50 dojnic. Maximální kapacita je však 54 dojnic odvíjející se od počtu 54 lehacích boxů. Ustájení je volné, podlaha je pevná, betonová a bez roštů a není podestlaná. Podestlané jsou pouze lehací boxy. Hnůj z kotců je odstraňován dvakrát denně. Sláma do boxů je přistýlána jednou denně a je kompletně měněna jednou týdně.

Dojnice dostávají dvakrát denně čerstvé TMR (total mixed ration) vyrobené na bázi kukuřičné siláže, senáže a slámy s minerálními a vitaminovými přísadami. Krmivo je dojnici devětkrát denně robotem přihrnuto do krmného žlabu.

Dojení probíhá dvakrát denně. Ráno mezi třetí a čtvrtou hodinou a odpoledne mezi patnáctou a šestnáctou hodinou. Dojnice navštěvují tandemovou dojírnu disponující deseti místy k stání.

### 4.2 TrackLab

TrackLab je poziční systém od firmy Noldus Information Technology bv. určený především pro vědecké účely. Je schopný detekce a podrobné analýzy prostorového chování hospodářských zvířat (skotu, prasat, drůbeže, koní, ovcí a koz). TrackLab byl zvolen proto, že produkty od společnosti Noldus jsou ve Výzkumném ústavu živočišné výroby, v.v.i. na oddělení etologie využívány dlouhodobě, již téměř 40 let. Systém byl pořízen na základě zkušeností s produktem SW TrackLab, jenž byl využíván k vyhodnocování pozičních dat z GPS obojků a snímačů používaných na jelenech, koních i skotu.

V této diplomové práci byla použita jeho verze 2.13, která oproti předchozím verzím disponuje například funkcí pro nastavení oblasti zájmu, hodnocením preference místa k odpočinku, proměnnými pohybu – rychlost a vzdálenost a vzájemnou blízkostí. Dále software obsahuje funkce pro automatizovaný sběr dat a analyzuje pohyb zvířat, díky čemuž může chovatelům a výzkumným pracovníkům odhalit vzorce chování a sociálních interakcí a napomoci tak při zlepšování zdraví a welfare chovaných zvířat. Díky vysoce citlivým záznamům poloh s přesností na 20–30 centimetrů lze získat přehled o pohybové aktivitě, čase stráveném v různých oblastech stáje, čase stráveném odpočinkem, ale také o sociálním chování

a preferencích místa k odpočinku. Vzorovací frekvence je nastavitelná v rozmezí 0,1 – 20 Hz. TrackLab generuje data o pozici pomocí koordinát X a Y. Data o koordinátě Z nevyhodnocuje, protože ke sledování souřadnice Z je zapotřebí mít snímače umístěné také v podlaze, ale tento poziční systém má snímače signálu namontované pouze na stěnách stáje.

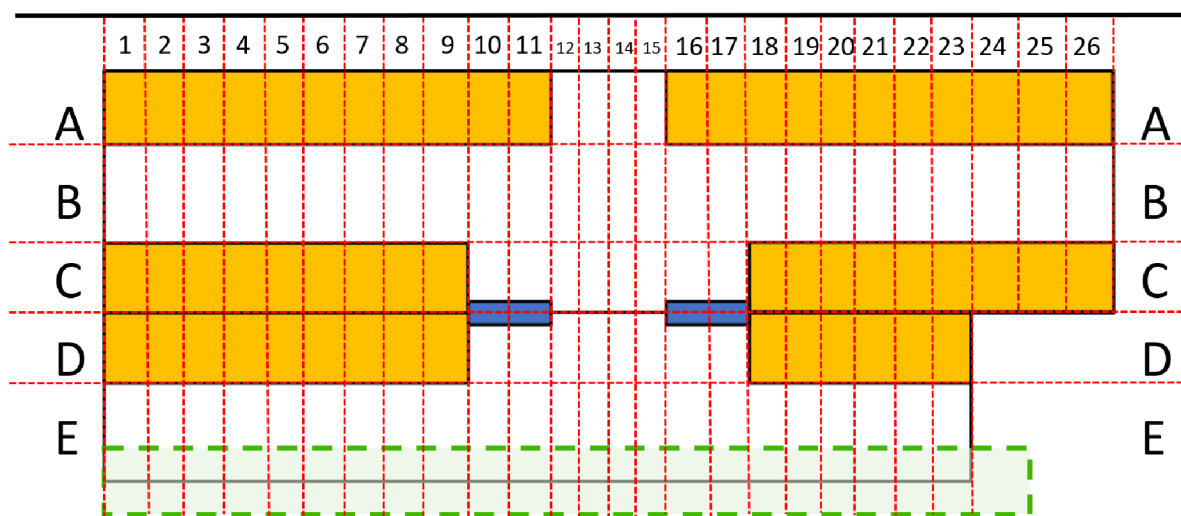
Pro sledování polohy zvířat ve vnitřních prostorech systém pracuje s ultraširokopásmovou bezdrátovou radiokomunikační technologií. K určení polohy využívá speciální senzory instalované ve stáji a tagy, které mají zvířata upevněné v obojcích na krku. Získaná data mohou být zpracována v reálném čase nebo později na základě nahrávaných záznamů. Tagy použité v rámci validace byly ze série Ubisense Series 7000 Industrial tag a jedná se o kompaktní, lehké štítky o velikosti 54 x 40 x 14 mm a váze 26 gramů, vyrobené tak, aby při výzkumu neovlivňovaly chování zvířat. Jsou velmi odolné, aby vydržely funkční v náročných podmínkách stáje v prostředí plném nečistot, vlhkosti a charakteristickém mikroklimatu (Noldus Information Technology bv. 2018; Noldus 2023). Vysílají UWB vlny extrémně krátkého trvání do instalovaných senzorů Ubisense Series 7000 IP Sensors, které umožňují mapování polohy pomocí Time-Difference-of-Arrival (TDoA) a techniky Angle-of-Arrival (AoA). Maximální vzorkovací frekvence je 137 Hz. Se šesti senzory je možné sledovat polohu 50 krav současně s přesností na 30 cm (Frondeus et al. 2014).

### 4.3 Příprava experimentu a sběru dat

Před spuštěním experimentu bylo třeba kalibrovat systém a ověřit, zda všechny tagy vysílají signál a jestli je systém registruje. Tomuto úkonu předcházelo nabití všech tagů a následné odzkoušení jejich viditelnosti systémem. Se všemi tagy bylo potřeba se projít po stáji, abychom měli jistotu, že všechny vysílají signál a že jsou všechny viditelné na monitoru počítače. Funkční tagy byly označeny číselným kódem a byl vytvořen jejich seznam. Tagy byly vloženy do držáků v obojcích. Byl vytvořen přehled, který tag přísluší kterému obojku. Nakonec byly při odpoledním dojení nasazeny obojky vybraným zdravým dojnícím z pokusné stáje, u kterých nebylo v dohledné době plánováno přeskupování. Poté byl vytvořen seznam zahrnující informace o ID dojnice, čísle jejího obojku a ID tagu tohoto obojku ke snadné dohledatelnosti všech těchto údajů pro budoucí využití.

Dalším úkonem bylo rozdělení stáje na jednotlivé zóny. Celý prostor byl rozdělen na takové úseky, do nichž bude možné při pozorování snadno zaznamenat pozici fokální dojnice. Stáj byla nejdříve změřena laserovým metrem, aby na základě získaných rozměrů mohla být vytvořena její mapa. Pro získání co nejpřesnějších rozměrů bylo každé měřené místo změřeno pětkrát. Z těchto pěti záznamů byl následně vypočítán aritmetický průměr. Do plánu stáje (viz Obrázek 1) byly zaneseny jednotlivé oblasti zájmu jako je krmiště (na mapě vyznačené zelenou barvou), napáječky (na mapě vyznačené modrou barvou), lehací boxy (na mapě vyznačené žlutou barvou) a hnojná chodba (na mapě vyznačená bílou barvou). Tyto oblasti byly ještě rozděleny na 5 podoblastí v horizontálním směru a 26 podoblastí ve vertikálním směru. Podoblasti v horizontálním směru odpovídaly faktickému rozdělení stáje na jednotlivé oblasti zájmu, tedy zóna A obsahovala lehací boxy, zóna B hnojnou chodbu, zóna C a D převážně lehací boxy a dále také průchodovou uličkou a napáječky, které do těchto zón zasahovaly. Poslední zónou byla zóna E, která v sobě zahrnovala krmiště. Podoblasti ve vertikálním směru odpovídaly rozložení jednotlivých lehacích boxů (viz Obrázek 1 a na něm úseky vzniklé

přepažením horizontálních a vertikálních zón červenými přerušovanými čarami). Uprostřed zóny A nebyly lehací boxy, nýbrž inseminační boxy, které měly menší rozměry než boxy lehací. Tomu odpovídá i velikost vzniklých políček mapy napříč středem všech horizontálních zón.



Obrázek 1: Zóny stáje

## 4.4 Sběr dat

Sběr dat k praktické části této diplomové práce probíhal od 19. ledna 2023 do 6. února 2023. Celkem bylo pořízeno 24 hodin souběžných záznamů získaných automaticky pomocí pozičního systému TrackLab a přímým pozorováním náhodně vybraných fokálních dojnic. Pozorovací bloky byly dlouhé 2–4 hodiny. Počet fokálních dojnic odpovídal 15 % ze všech dojnic, kterým byly nasazeny obojky. Obojků bylo dohromady 52 a 15 % z nich vycházelo na 7,8. K experimentu bylo tedy náhodně vybráno 8 fokálních dojnic.

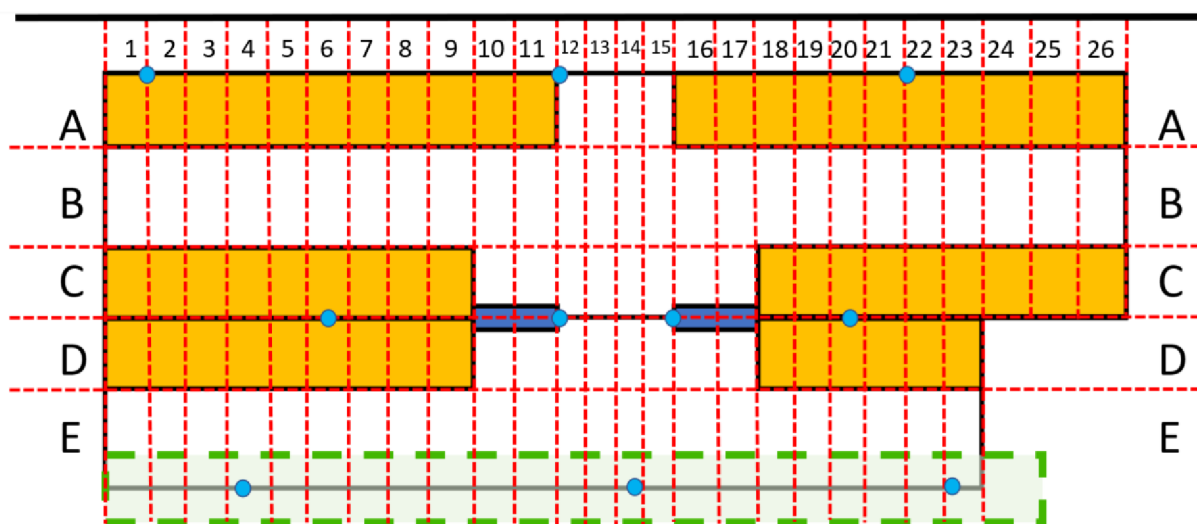
### 4.4.1 Měření fixních pozic

Pro ověření citlivosti pozičního systému jsme si určili přesné pozice, na které byly umístěny fixní tagy. Pozice byly zvoleny takové, kde se dojnice běžně pohybovaly a kde byla velká pravděpodobnost, že se budou s těmito tagy často potkávat. Zároveň jsme vybírali i taková místa, která by mohla být pro příjem signálu problematická, což byly například kovové konstrukce vybavení stáje nebo místa na okrajích stáje, kde by signál mohl být špatně zachytitelný. Výšku umístění fixních tagů jsme na většině míst volili takovou, v jaké výšce by se tag nacházel, kdyby byl připevněný k obojku zapnutému kolem krku stojící dojnice, tedy přibližně 1 – 1,5 metru vysoko.

Celkem bylo sledováno 10 fixních tagů. Jejich rozmístění je zobrazeno na Obrázku 2. Tři fixní tagy byly v oblasti krmiště – v krajním krmném místě, uprostřed krmiště a na jeho počátku. Další tři tagy jsme umístili do oblastí lehacích boxů v zóně A. Dva fixní tagy byly připevněny ke konstrukci lehacích boxů uprostřed stáje. Zbylé dva fixní tagy byly umístěny na konstrukci napáječek. Všechny fixní tagy v oblasti lehacích boxů a napáječek byly na své pozice rozmístěny v den přímého pozorování a bezprostředně po něm byly sundávány, aby nedošlo k jejich poškození, ztrátě nebo pozření dojnicí. Fixní tagy v oblasti krmiště nebyly

v dosahu dojnic, a proto mohly být instalované po celou dobu pozorování. Z dat získaných o těchto tazích bylo možné pozorovat frekvenci vysílaného signálu, porovnat ji s frekvencí vysílaného signálu deklarovanou výrobcem a odhalit četnost výpadků systému. Další důležitou součástí měření byla také kontrola neměnné pozice fixních tagů porovnatelná s jejich reálnou pozicí.

Protože byly fixní tagy umístěné opakovaně na stejném místě po určitý čas, měl být počet zaměření jejich pozice roven počtu vteřin jejich pozorování. Všechna zaměření koordinát X a Y by měla být stejná. Nicméně jsme očekávali, že reálná data nebudou absolutně přesná. Proto byl z naměřených hodnot koordinát X a Y vypočítán aritmetický průměr. Následně byla pomocí Pythagorovy věty vypočítána vzdálenost každého zaměřeného bodu od předem vypočteného aritmetického průměru. Pro vyhodnocení úspěšnosti měření byla použita deskriptivní statistika. Podílem počtu záznamů pozice za pozorované časové období byla hodnocena úspěšnost systému.



Obrázek 2: Rozložení fixních tagů ve stáji (modrá kolečka)

#### 4.4.2 Tagy nasazené dojnicím

Pro tuto část experimentu bylo náhodně vybráno osm fokálních dojnic, čímž byl zajištěn náhodný výběr testovaných tagů, protože obojky s tagy nebyly dojnicím nasazovány dle nějakého klíče. Každý pozorovací den se skládal z 2–4 hodin souběžného pozorování a automatických záznamů pozičního systému o poloze a sociálních kontaktech fokálních dojnic. Pozorování začínalo vyhledáním konkrétní vylosované dojnice. Byl zaznamenán přesný čas počátku sledování, pozice dojnice ve stáji a její případná blízkost k fixním tagům. Tyto parametry byly zaznamenávány každých 15 vteřin po dobu 60 minut pro každý tag. Všechny tyto vyjmenované informace byly nahrávány na diktafon smartphonu značky Apple série 7.

Data o pozici získaná automaticky pomocí pozičního systému byla stažena z centrálního úložiště k dalšímu zpracování. Byla vybrána pouze taková data, která odpovídala časům, kdy probíhalo přímé pozorování.

#### 4.4.2.1 Pozice fokálních dojnic

Záznam pozice odpovídal předem vytyčeným zónám stáje. Dojnice tedy byla na základě své skutečné pozice zařazena do průsečíku zón A–E a zón 1–26. Dojnice byla zapsána do dané zóny, pakliže se v dané zóně nacházel její krk s obojkem. Při validaci bylo důležité sledovat polohu obojku s tagem, ne polohu těla dojnice.

Hlasové záznamy z diktafonu byly následně přepisovány do předem připravené tabulky. Tabulka obsahovala údaje o datu a čase sběru a v 15vteřinových intervalech byly zaznamenávány údaje o pozici řešené pomocí koordinát X a Y, které jsou popsány výše. Dále byla uváděna přítomnost ve stáji s možnými hodnotami 1 pro přítomnost ve stáji a 0 pro nepřítomnost. Tento parametr byl zařazen z toho důvodu, že TrackLab snímá pouze oblast pokusné stáje, ale dojnice mají možnost odejít ze stáje do prostoru s drbadlem, kam snímače nedosáhnou. Případy, kdy dojnice odešly k drbadlu, byly vyhodnoceny jako nepřítomnost ve stáji, nikoli jako výpadek systému. Nedílnou součástí tabulky byly informace o fokální dojnici, mezi něž patřilo číslo obojku a ID tagu umístěného v obojku.

#### 4.4.2.2 Blízkost fokálních dojnic k fixním tagům

Pro hodnocení blízkosti fokálních dojnic k fixním tagům byla využívána obdobná tabulka jako pro zápis pozice obsahující navíc údaje o tom, zda v daném časovém intervalu dojnice byla v blízkosti fixního tagu. Za blízkost k fixním tagům byly považovány takové momenty, kdy se fokální dojnice nacházela ve stejném, protějším, nebo sousedním okně při rozdělení stáje dle Obrázku 1, a zároveň maximálně do 1,5 metru ve vztahu k fixnímu tagu. Situace, kdy dojnice byla v blízkosti fixního tagu byly označovány pomocí číselných hodnot 1 a 0, 1 pro situace, kdy dojnice byla v blízkosti fixního tagu a 0 pro opačné situace, kdy dojnice v blízkosti fixního tagu nebyla. V případě, že dojnice byla v blízkosti nějakého ze sledovaných fixních tagů, bylo zaznamenáno jeho ID.

Následně byla pro každé zaměření pozice dojnice systémem TrackLab (přibližně pro každou vteřinu pozorování) Pythagorovou větou vypočtena vzdálenost této dojnice ke všem fixním tagům. Poté byly z TrackLabem sbíraných dat vybrány takové fixní tagy, které byly v danou chvíli od dojnice ve vzdálenosti maximálně 1,5 metru včetně. Takto určené blízké fixní tagy byly následně porovnány s fixními tagy označenými za blízké při přímém pozorování.

### 4.5 Statistické vyhodnocení dat

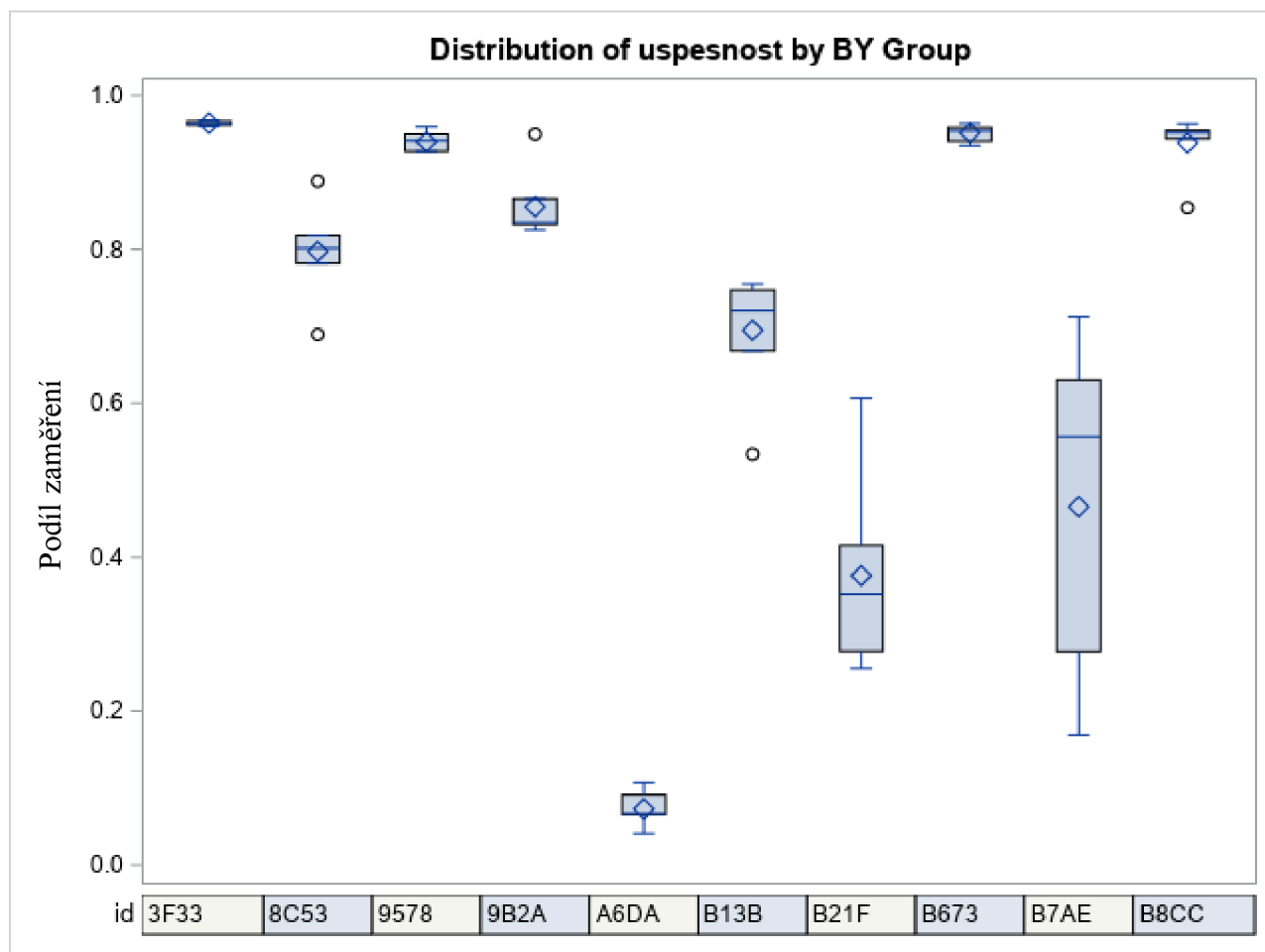
Statisticky byla data zpracována v programu SAS for Windows verze 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Rozložení dat a základní popisné charakteristiky byly provedeny v proceduře UNIVARIATE. Souvislosti počítatelných proměnných byly hodnoceny pomocí korelačního koeficientu (PROC CORR), rozdíly ve spolehlivosti jednotlivých tagů pomocí lineárních modelů (PROC GLIMMIX, dist = normal, link = identity).

## 5 Výsledky

### 5.1 Fixní pozice

#### 5.1.1 Výpadky systému při zaměřování fixních pozic

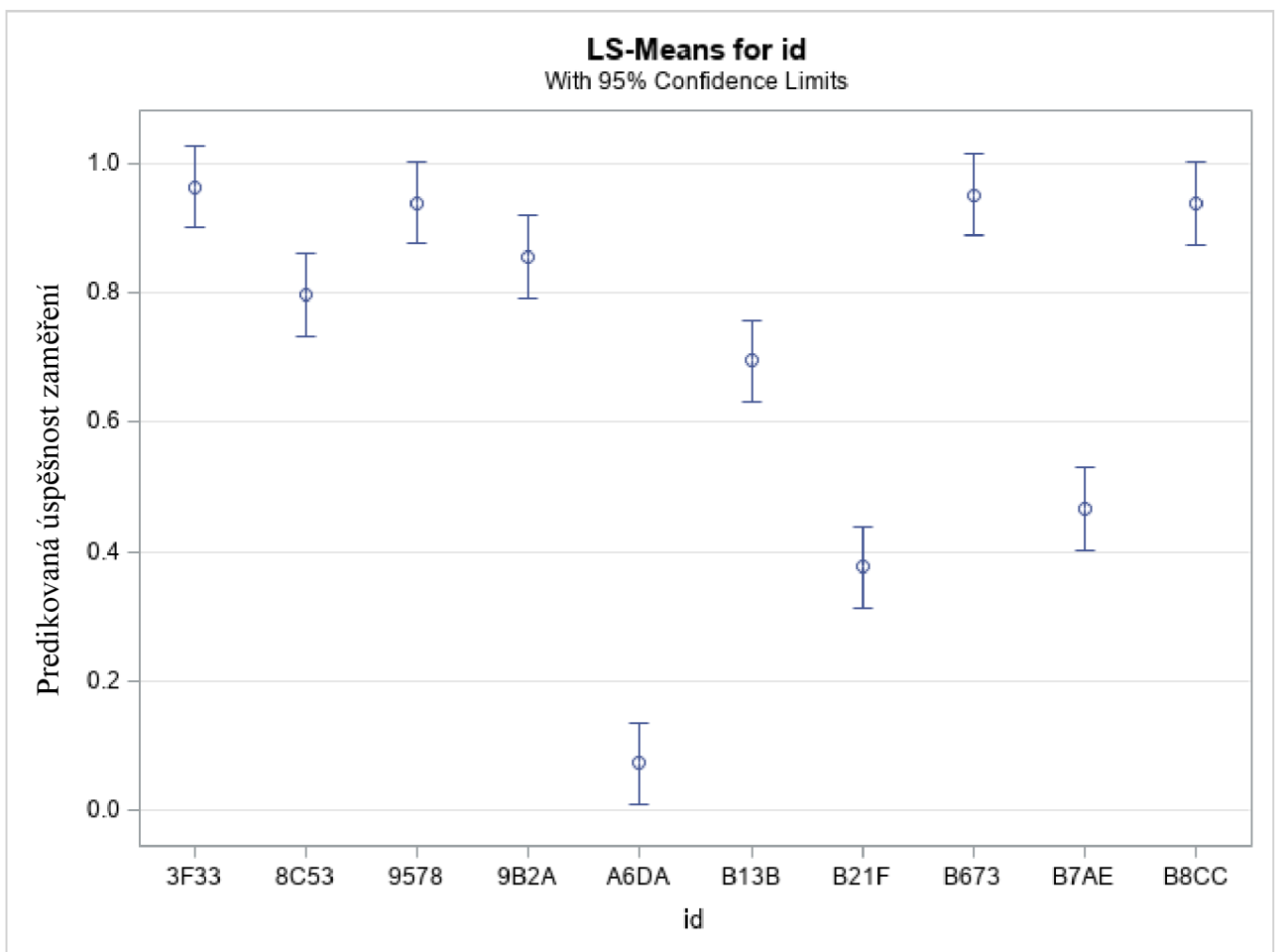
Úspěšnost zaměření pozice fixního tagu byla hodnocena pomocí podílu skutečných zaměření z možných zaměření (deklarovaná frekvence systému je zaměření každou vteřinu, tj. počet možných zaměření byla délka sledovaného období ve vteřinách).



Obrázek 3: Úspěšnost počtu zaměření pozičním systémem (podíl skutečných zaměření z možného počtu zaměření) jednotlivých fixních tagů (rozložení hodnot, PROC UNIVARIATE, SAS).

Úspěšnost zaměření měla velký rozptyl s nejnižší hodnotou úspěšnosti 4,09 % a nejvyšší hodnotou úspěšnosti 96,73 % v daném pozorování (viz Obrázek 3). Úspěšnost sledovaných fixních tagů byla u většiny z nich vyšší než 80 %. Problematické tagy s nižší úspěšností zaměření byly při sledování tohoto parametru čtyři. Jejich společným jmenovatelem bylo umístění v rozích stáje nebo na jejich okrajích. Tag s nejmenším počtem zaměření (ID A6DA) se nacházel v rohu krmiště (dle Obrázku 2 v zóně E4). V tomto místě bylo po celé období experimentu zaměřeno nejméně pozic. Jako další problematická místa pro pravidelné zaměření pozic v intervalu jedné vteřiny se jevily zóny (A11/A12 a A21/A22 viz Obrázek 2). Úspěšnost tagu ID B7AE se pohybovala od 16,91 % po 71,25 % a tagu ID B21F od 25,57 % po 60,67 %.

Naopak nejvyšší úspěšnost zaměření pozice byla u tagů umístěných uprostřed stáje (ID tagů 9578, B673, B8CC a tag 9B2A s o trochu menší úspěšností) a dále tag s ID 3F33 umístěný ve středu krmiště. Vůbec nejvyšší úspěšnost zaměření měly tagy umístěné nejbližší středu stáje (dle Obrázku 2 v zónách C11/C12, D11/D12 a C15/C16, D15/D16). Jednalo se o tagy B673 s nejnižší úspěšností 93,48 % a nejvyšší úspěšností 96,39 % a B8CC s nejnižší úspěšností 85,40 % a nejvyšší úspěšností 96,33 %. Tagy umístěné v prostředních boxech (viz Obrázek 2 zóny C6/D6 a C20/D20) vykazovaly také vysokou úspěšnost. ID 9B2A (C6/D6) byl úspěšně zaměřen v 82,49 % – 86,57 % a tag ID 9578 (C20/D20) s úspěšností 92,73 % – 95,94 %. S vysokou úspěšností byl zaměřován také tag 3F33 umístěný ve středu krmiště. U tohoto tagu byla úspěšnost zaměření v rozmezí 95,98 % – 96,73 %. Obrázek 4 ukazuje predikovaný podíl zaměření pozice sledovaných fixních tagů.

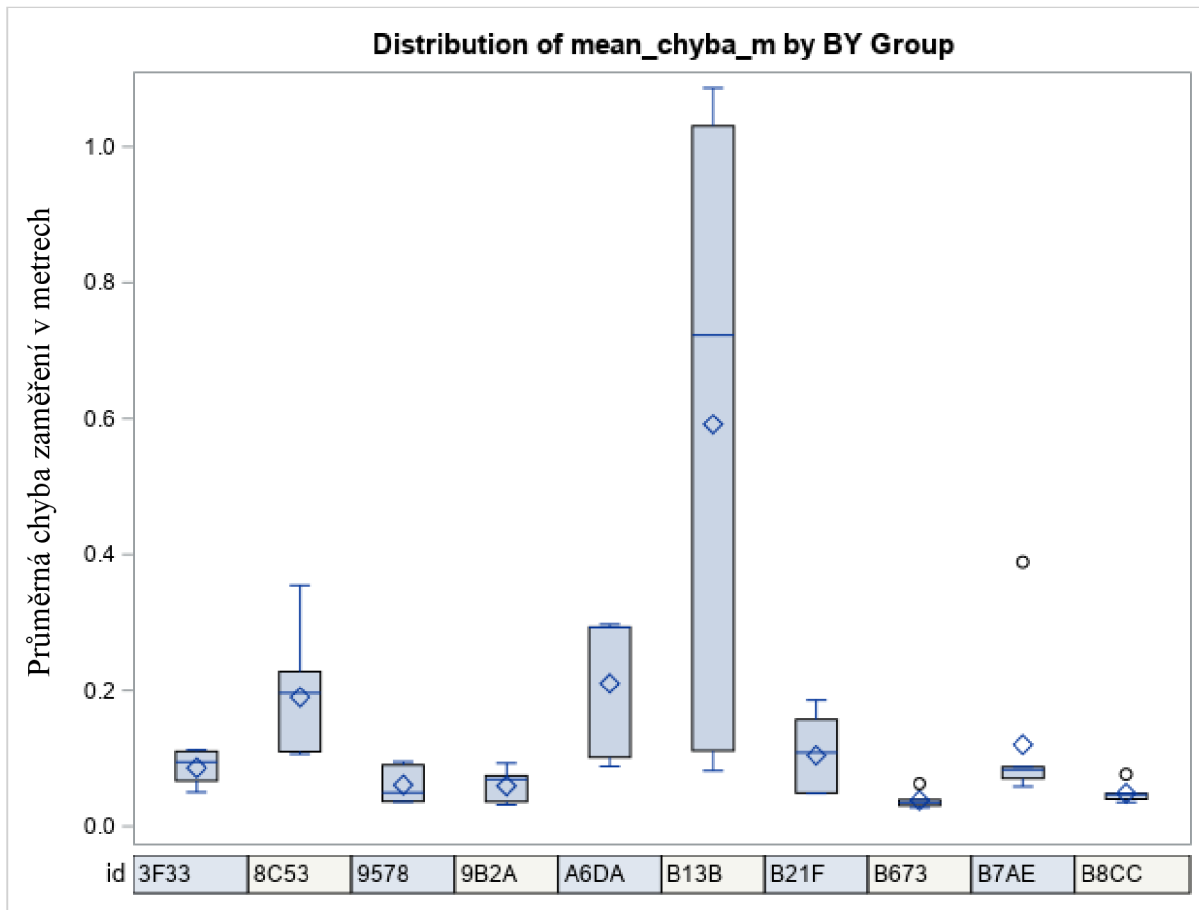


Obrázek 4: Predikovaná úspěšnost zaměření (podíl skutečného zaměření z možného počtu zaměření) jednotlivých fixních tagů (LSMEANS ± konfidenční interval, PROC GLIMMIX, SAS;  $F_{(9, 60)} = 91,81$ ,  $P < 0.0001$ )

### 5.1.2 Přesnost při zaměření fixních pozic

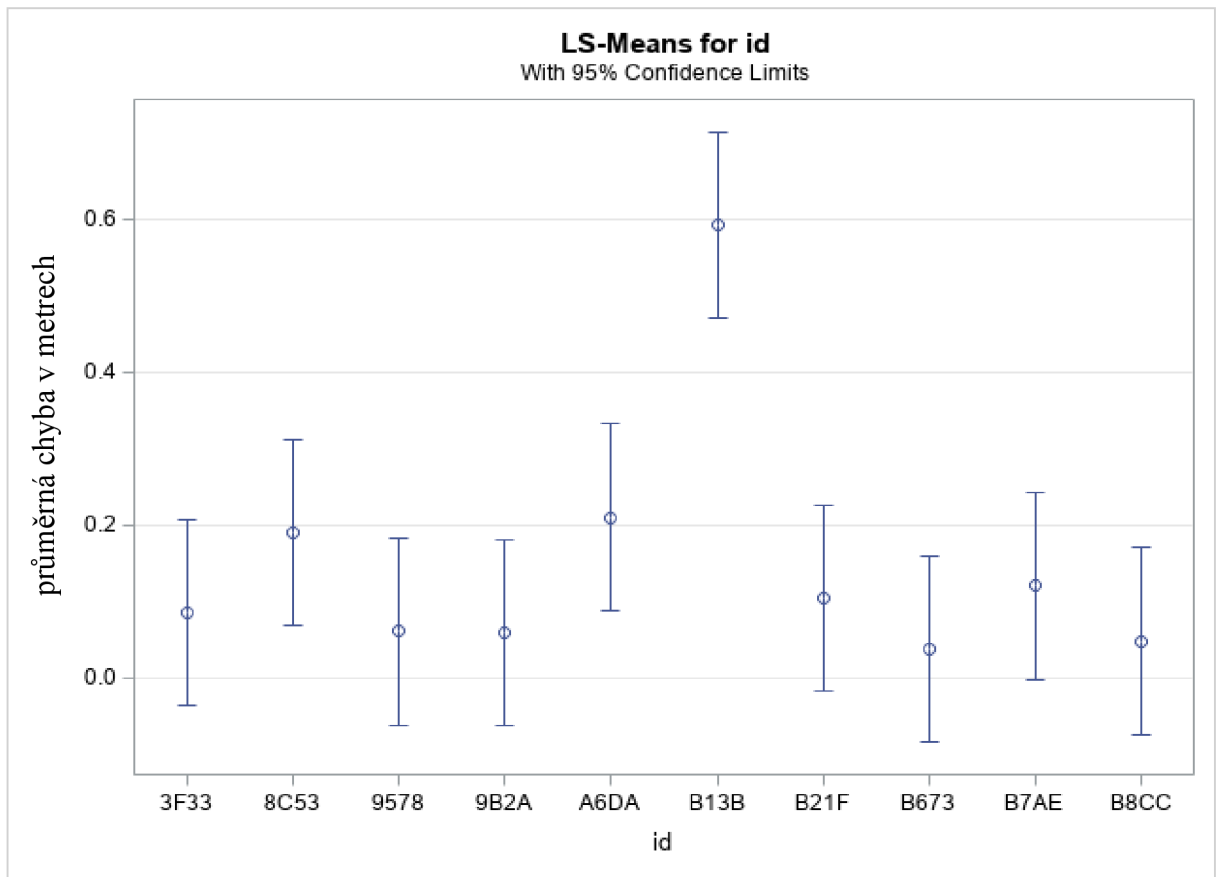
Obrázek 5 znázorňuje přesnost měření jednotlivých fixních tagů a Obrázek 6 lineárním modelem predikované hodnoty LSMEANS. Největší průměrná chyba zaměření (vzdálenost od středu shluku naměřených hodnot v daném pozorování) byla patrná v rozích krmiště (ID tagů B13B a A6DA umístěných v zónách E23 a E4, viz Obrázek 2). U tagu B13B se tato chyba

pohybovala v rozmezí 0,082 metru až 1,087 metru (viz Obrázek 7 a Obrázek 8). U tagu A6DA bylo toto rozmezí 0,088 metru až 0,297 metru. Zároveň 1,087 metru byla nejvyšší průměrná chyba zaměření zjištěná během našeho experimentu (viz Obrázek 7). Nejnižší průměrná chyba byla naopak 0,028 metru. Nejnižší chybovost a variabilitu zaměření měly tagy B673 a B8CC umístěné ve středu stáje, dále tagy 9578 a 9B2A taktéž umístěné ve středu stáje a tag B7AE.

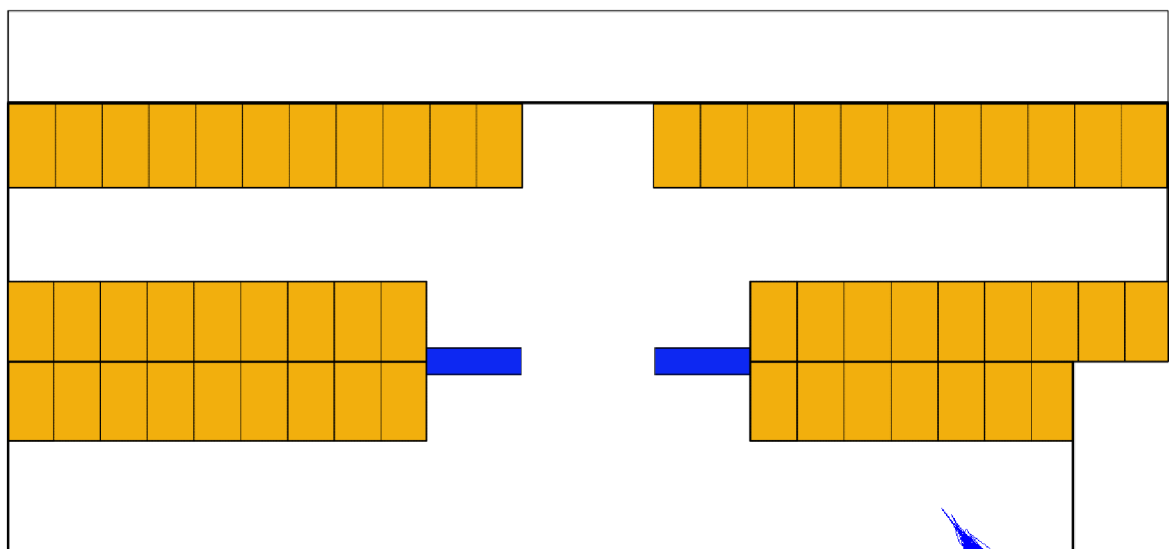


Obrázek 5: Rozložení průměrné chyby zaměření v metrech (PROC UNIVARIATE, SAS)

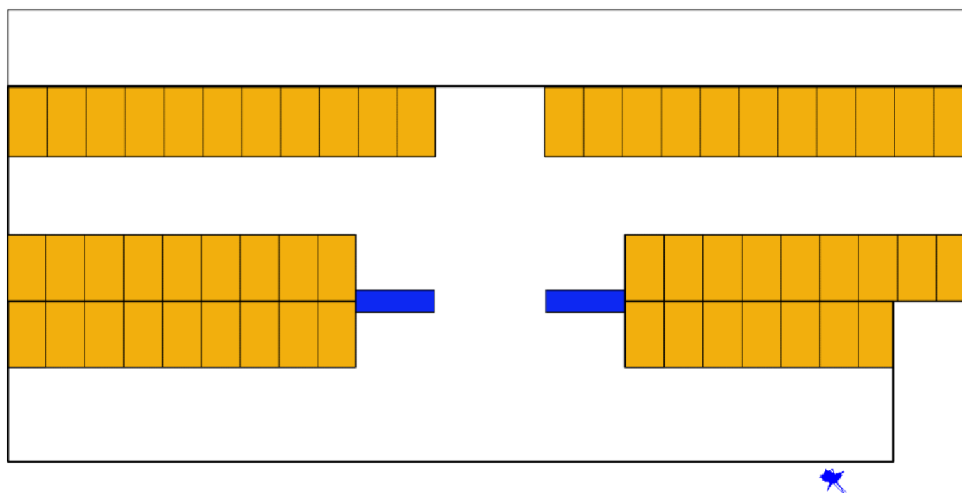




Obrázek 6: Predikovaná průměrná chyba zaměření (LSMEANs ± konfidenční interval, PROC GLIMMIX, SAS;  $F_{(9, 60)} = 7,38$ ,  $P < 0.0001$ )

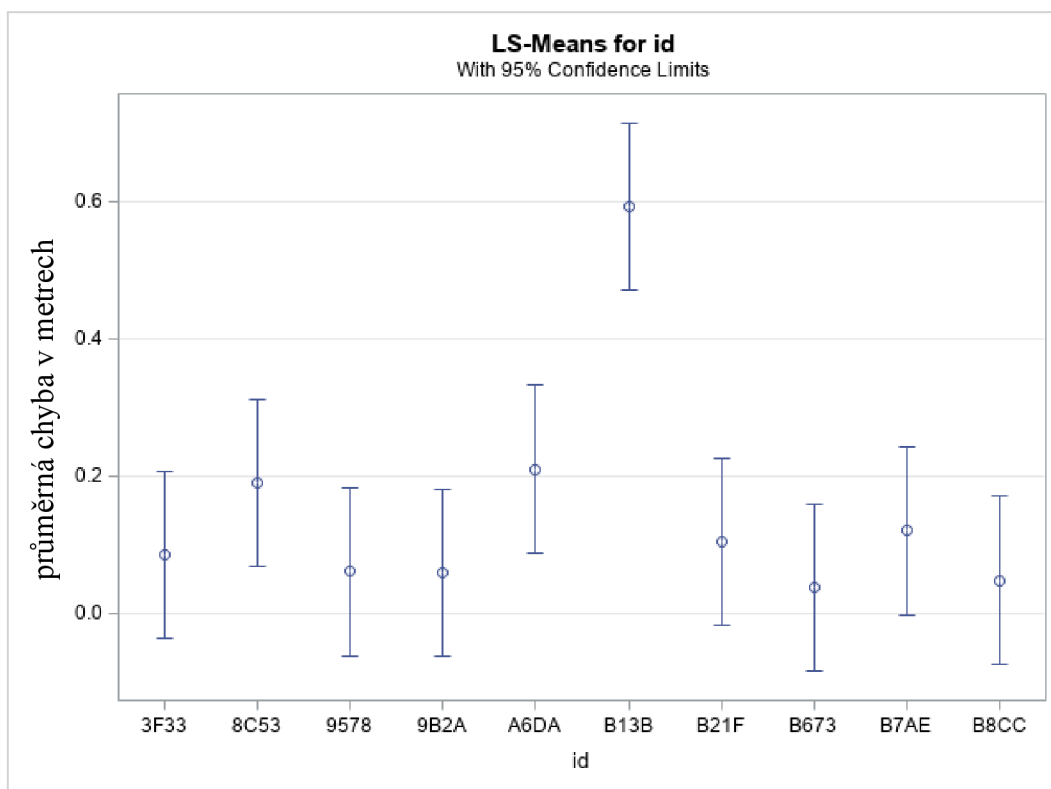


Obrázek 7: Nejvyšší průměrná chyba zaměření pro fixní tag B13B



Obrázek 8: Nejnižší průměrná chyba zaměření pro fixní tag B13B

Obrázek 9 znázorňuje predikované průměrné chyby v zaměření. Největší variabilitu zaměření vykazoval tag B13B umístěný v zóně E23, což dokládá také Obrázek 7. Většina sledovaných fixních tagů (70 % z nich) splňovala deklarovanou přesnost zaměření v rozmezí 20–30 cm. Byla prokázána mírná korelace mezi úspěšností zaměření a přesností zaměření (průměrnou chybou zaměření,  $r = -0,24$ ,  $P < 0,05$ , PROC CORR, SAS). Čím lepší byla úspěšnost zaměření, tím menší byla průměrná chyba zaměření. To však neplatilo vždy. Například tag B13B měl úspěšnost zaměření poměrně dobrou a v místě, kde byl připevněn, snímal TrackLab poměrně často (kolem 70 % času pozorování), ale průměrná chyba zaměření u něj byla nejvyšší ze všech.



Obrázek 8: Predikovaná průměrná chyba zaměření (LSMEANs  $\pm$  konfidenční interval, PROC GLIMMIX, SAS;  $F_{(9, 60)} = 7.38$ ,  $P < 0.0001$ )

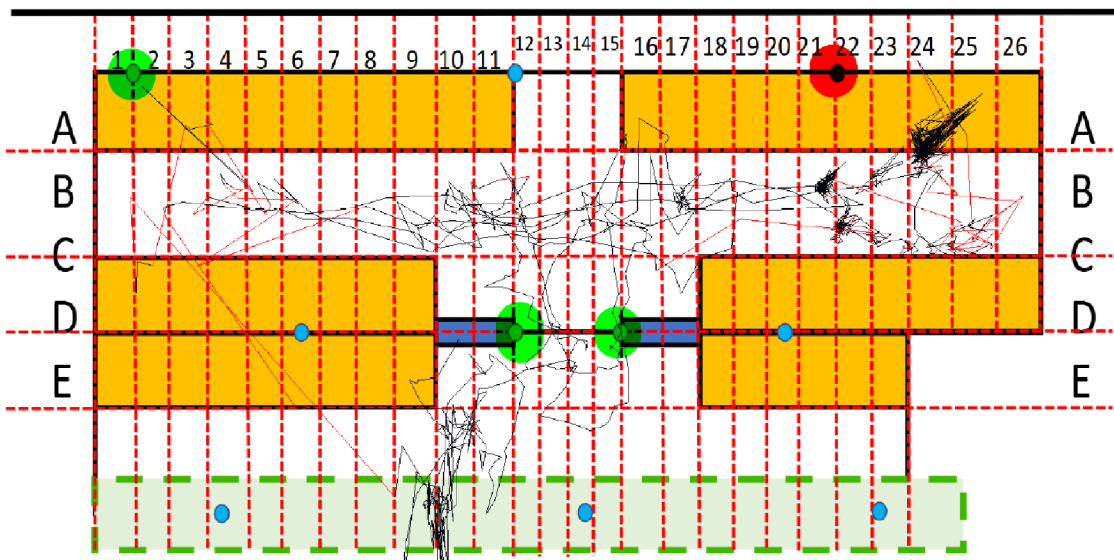
## 5.2 Výpadky systému a přesnost při určování pozice fokálních dojnic a jejich blízkosti k fixním tagům

Pouze ve dvou případech byla fokální dojnice pozorována v blízkosti tagu (vždy ID A6DA), který poziční systém TrackLab nerozpoznal (buď určil mylně tag ID B8CC nebo nezaznamenal žádný fixní tag v blízkosti dané dojnice). Tento typ špatného určení blízkého tagu trval 4:24 minut v případě mylně rozpoznaného tagu a 00:15 minut ve druhém případě.

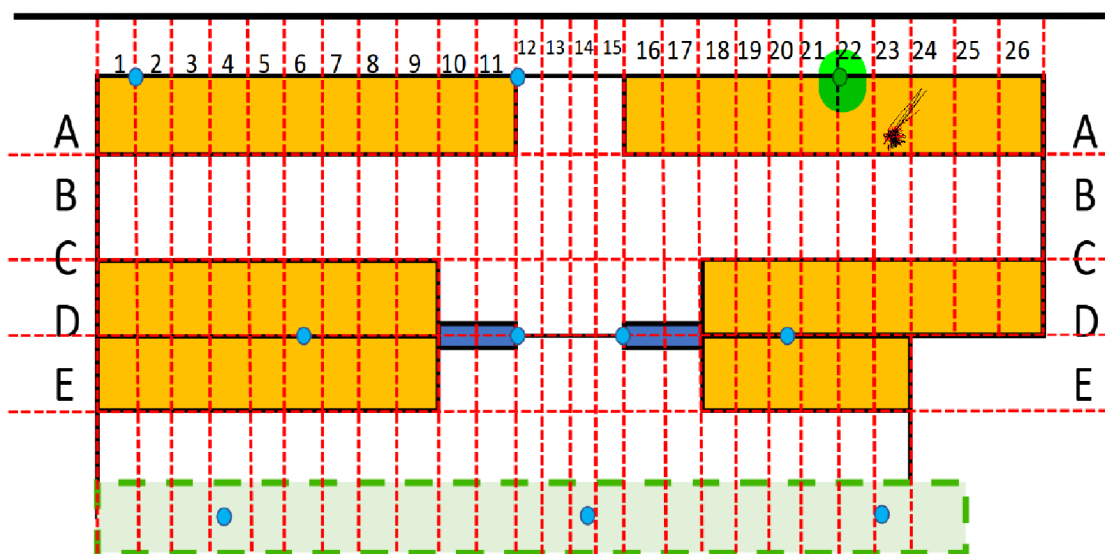
Zbylo 407 zaměření (kdy se dojnice podle systému přiblížila k fixnímu tagu), z nichž bylo 18,67 % zaměřeno chybně (byl určen jiný tag, než který byl ve skutečnosti pozorován). Důležitější je však doba, po kterou byla blízkost tagů snímána.

Fokální dojnice byly sledovány každá po dobu 3 hodin (tedy celkem 24 hodin souběžného přímého pozorování a sledování pozičním systémem). Z toho byl fixní tag detekován v 39,5 % času. Ze sledovaných osmi fokálních dojnic čtyři obojky měřily zcela správně a čtyři obojky zaznamenaly a chybně určily fixní tagy, a to v rozmezí 0,47 až 2,36 % času (průměrných 0,625 % z celkové doby měření, což činilo 9 minut času z celkových 24 hodin pozorování).

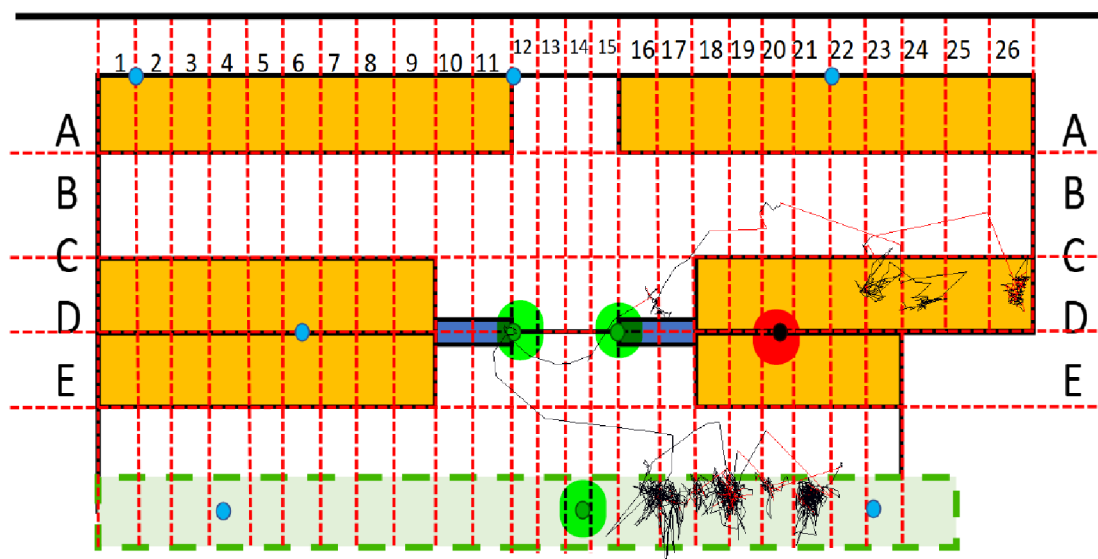
Z pohledu fixních tagů se podle TrackLabu alespoň jedna dojnice vyskytla v blízkosti každého ze všech deseti sledovaných fixních tagů umístěných ve stáji. K chybnému určení identity fixního tagu došlo v případě čtyř z nich a chybně byly určeny v 1,41 % času z doby, po kterou byl v blízkosti fokální dojnice detekován fixní tag (9 minut z celkem 9,49 hodiny). Chybovost fixních tagů se týkala 8C53 (6,74 % chybně určeného času), B7AE (6,61 % chybně určeného času), 9578 (0,56 % chybně určeného času) a 9B2A (0,20 % chybně určeného času). Prvně dva uvedené tagy byly rohové (dle Obrázku 1 v zóně A), druhé dva byly umístěné ve středových boxech.



Obrázek 10: Grafické znázornění blízkosti dojnice s fixními tagy – červeně je označeno chybné určení blízkosti s fixním tagem B7AE



Obrázek 1110: Grafické znázornění blízkosti dojnice s fixními tagy – správné označení blízkosti s fixním tagem B7AE



Obrázek 9: Grafické znázornění blízkosti dojnice s fixními tagy – červeně je označeno chybné určení blízkosti s fixním tagem 9578

## 6 Diskuze

### 6.1 Fixní pozice

#### 6.1.1 Výpadky systému při zaměřování fixních pozic

Úspěšnost zaměření fixních tagů měla poměrně velkou variabilitu a rozsah hodnot (od 4,09 % do 96,73 %). Náš předpoklad, že výpadky systému budou do 5 % se nenaplnil. Melzer et al. (2021) vysvětlují možnou variabilitu a velké rozmezí přesnosti zaměření nevhodně nastavenou kalibrací. V prvním období se totiž úspěšnost jejich zaměření pohybovala v rozmezí 45–80 %. Ve druhém období po nastavení kalibrace pomocí profesionální geodetické technologie se počet zaměření zvýšil na 61–94 %. V našem případě však bude takto velké rozpětí způsobeno spíše umístěním fixních tagů. Na problematických místech byla úspěšnost stabilně nižší než na dobře zaměřitelných místech ve středu stáje. Gygax et al. (2007) ještě doporučovali důslednou konfiguraci všech zařízení a základnových stanic účastnících se sběru dat, neboť dle nich platilo, že čím častější záznam o poloze, tím menší odchylky v odhadech polohy. Tato úměra se však v našem experimentu nepotvrdila.

Melzer et al. (2021) uvádějí, že doporučují dlouhodobější instalaci fixních tagů na dobře dostupná i potenciálně problematická místa, aby mohly být odhaleny chyby kalibrace. Zároveň doporučují použít ověřovací období alespoň 12–24 hodin a vysledovat dostatečné množství dojnic pohybujících se ve všech oblastech stáje, což jsme v rámci našeho experimentu naplnili.

Výpadky systému se zdají být nejhorší při umístění fixního tagu na koordinátě X nejdále od bodu 0 a na koordinátě Y nejbližší k bodu 0. Úspěšnost zaměření na tomto místě byla opravdu mizivá (4,09–10,73 %). Velmi nízkou úspěšnost zaměření lze vysvětlit umístěním tagu do rohu krmiště, kde je zvýšené množství kovových konstrukcí oproti ostatním částem stáje (není zde jen samotné hrazení stáje, ale také části konstrukcí k přepažení prostoru za pokusnou stájí). Je tedy možné, že v tomto místě docházelo z důvodu větší koncentrace kovů a rohového umístění k částečnému zastínění nebo lomu signálu a že kvůli tomu snímače pozičního systému neobdržely dostatečné množství prostorových dat k určení pozice tagu každou vteřinu pozorování. Větší počet chybějících odhadů polohy transpondérů umístěných na předem definovaných pozicích v oblasti krmiště a nízko u země zaznamenali také Gygax et al. (2007).

Problematickými oblastmi však nebyly pouze rohy stáje, nýbrž také obvodní stěny. Relativně nízkou úspěšnost zaměření měly totiž i tagy umístěné na hrazení u zóny A. Zde byly připevněny fixní tagy B21F (pomezí zón A11 a A12) a B7AE (pomezí zón A21 a A22). Úspěšnost u těchto tagů byla též poměrně nízká (pro B21F v rozmezí 25,57–60,67 % a pro B7AE v rozmezí 16,91–71,25 %). Tyto tagy byly připevněny na vystouplé sloupky hrazení, proto se dalo předpokládat, že nebude docházet k zastínění signálu. Přesto byla úspěšnost zaměření pozic mnohem nižší než například ve srovnání s na protější obvodové stěně umístěným tagem 3F33, jehož úspěšnost se pohybovala v rozmezí 95,98–96,73 %.

Nejvyšší úspěšnost zaměření byla obecně nalezena u fixních tagů, které se nacházely uprostřed stáje. Úspěšnost středových tagů se pohybovala v rozmezí 82,49 – 94,95 %. Přenosu signálu stálo v cestě ke snímači minimum překážek a zároveň byly všechny tagy viditelné najednou většinou kotev snímačů, tudíž mohl odhad polohy být velmi přesný a záznam o poloze častý.

### 6.1.2 Přesnost při zaměřování fixních pozic

Průměrná chyba zaměření se pohybovala v rozmezí 0,028–1,087 metru. Rozdíl mezi průměry zaměření odhadů polohy byl tedy někdy i 1,059 metru. Nutno ovšem dodat, že se jednalo o průměrnou chybu. Hraniční hodnoty před vyhlazením dat byly od centroidu často vzdálené na desítky centimetrů i jednotky metru. Nicméně pozice většiny tagů, které nebyly umístěné v rozích stáje a vysílání jejich signálů nebylo ničím překrýváno, byly v Noldusem deklarovaném rozpětí do 30 cm a tím pádem zaměření většiny tagů splňovalo náš předpoklad, že odchylka zaměření pozice bude do 50 cm. Posuny v odhadu pozice i zvýšený počet výpadků evidovali Gygax et al. (2007) na nižších úrovních stáje a v krmišti. Tento trend vysvětlovali rušením radiového signálu zařízením stáje vyrobeným z kovu. Důvod, proč byly odhady polohy méně přesné a ne tak četné v oblastech při stěně stáje vysvětlují tito autoři tím, že je mezi snímačem a transpondérem takový úhel, který brání správnému přenosu signálu.

Toto odůvodnění by mohlo platit i pro naši pokusnou stáj a lze jej aplikovat také na rozdíl přesnosti zaměření tagů umístěných po obvodu zóny A (8C53, B21F a B7AE) oproti přesnosti zaměření tagu 3F33 umístěnému na obvodní stěně zóny E. Tagy umístěné na obvodové stěně u zóny A jsou mnohem blíže snímačům u stěny stáje za zónou A, takže je možné, že signál dochází ke snímačům pod špatným úhlem a ne vždy je dostatek dat pro přesné určení pozice těchto tagů. Oproti tomu mezi stěnou za zónou E a hrazením stáje, kde jsou umístěny snímače pozičního systému, je více prostoru a signál tagu tak může ke snímačům putovat pod správným úhlem. Proto má tag 3F33 větší úspěšnost než například prakticky stejně umístěný tag B21F na protější straně. Přestože se zdálo, že signálu by nemělo nic překážet, tak je to možná právě špatně nastavený úhel snímače vzhledem ke vzdálenosti od hrazení, kde byly tagy připevněné.

Protože jsme po celou dobu experimentu umisťovali fixní tagy na stejná místa a nestřídali jsme je, nemůžeme s jistotou říci, zda se úspěšnost zaměření a průměrná chyba zaměření vztahuje k nespolehlivému tagu nebo k nevhodnému místu pro přenos signálu. K otestování spolehlivosti tagů a vyloučení jejich chyby by bylo vhodné při příštím nebo podobném experimentu tagy na jednotlivých předem definovaných místech střídat a sledovat, zda bude rozmezí úspěšných záznamů a chybné určení pozic podobné nebo se bude lišit. Bylo by také možné umístit dva fixní tagy na jedno místo, sledovat úspěšnost jejich zaměření a pozici a určit jejich směrodatnou odchylku.

## 6.2 Hodnocení výpadků systému a přesnosti při určování pozice fokálních dojnic a jejich blízkosti k fixním tagům

Hodnocení blízkosti fokálních dojnic k fixním tagům mělo poměrně vysokou úspěšnost. Poziční systém správně určil blízkost k fixnímu tagu v 81,33 % případů. Jak bylo zmíněno výše, důležitá je doba, po kterou byla blízkost snímána. Z celkových 24 hodin souběžného sběru dat přímým pozorováním a automaticky pomocí pozičního systému byla blízkost chybně určena jen v 9 minutách celkového času. TrackLab nejčastěji správně vyhodnocoval blízkost v takových situacích, kdy se fokální dojnice zdržovala na jednom místě v jedné poloze.

Zdá se, že poziční data z delších časových úseků strávených v jedné zóně jsou vyhodnocována s vysokou spolehlivostí. Důvodem může být vyšší časová dotace pro správné zaměření a zachycení signálu více snímači, díky čemuž získá poziční systém dostatek údajů

o poloze tagu a zvířete. Naopak blízkosti vyzorované při pouhém procházení dojnice kolem fixního tagu nebo obecně kratší momenty blízkosti TrackLab ne vždy vyhodnotil správně. Tyto chyby mohou být způsobeny buď méně častým vysíláním signálu zkoumaných tagů, nebo jejich umístěním na špatně snímatelné místo ve stáji. Frondelius et al. (2014) upozorňují, že většina odchylojících se hodnot nastává tehdy, když snímače dočasně ztratí signál. Pro vyhodnocení skutečné nebo přibližné polohy dojnice je podle těchto autorů nutné, aby alespoň dva ze šesti snímačů získaly signál z tagů. Výpadky systému dále odůvodňují tím, že signál tagů může být v některých místech odrážen konstrukcemi stáje.

Souhlasíme, že konstrukce stáji ne vždy plně vyhovují umístění a plnému využívání pozičních systémů. Myslíme si, že v našem výzkumu kovové zařízení stáje a umístění tagů v rozích stáje častěji způsobovaly výpadky nebo odklon signálu špatným směrem, nicméně vyvstává otázka, proč testovaný poziční systém chybně určoval blízkost fokálních dojnic a fixních tagů také ve středu stáje, kde úspěšnost i průměrná chyba zaměření fixních tagů byla obecně velmi dobrá. Domníváme se, že možným důvodem by mohla být přítomnost dojnic, které mohly svým tělem narušovat vysílání signálu.

Lze říci, že ve stáji jsou místa, kde poziční systém pozici dojnice bezpečně určí a počet záznamů je na takových místech dostatečný ke spolehlivému a přesnému určení pozice dojnice. Na většině míst stáje můžeme dojnice sledovat s úspěšností vyšší než 80 %. Na druhou stranu pokud bychom brali v potaz celou rozlohu naší pokusné stáje včetně míst, která byla z hlediska počtu zaměření ku počtu pozorovaných vteřin klasifikována jako špatná, získali bychom průměrnou úspěšnost 70,55 %. Pokud by tedy dojnice považovaly za své oblíbené místo například prostor kolem zóny E4, které bylo vyhodnoceno jako nejméně úspěšné při zaměřování, museli bychom k určení denní aktivity dojnice a vyhodnocení jejího prostorového chování investovat mnohonásobně více času pro sběr jejích pozičních dat k přesnému určení trendu její aktivity, abychom získali dostatečný počet záznamů k vyhodnocování a následné analýze.

Přestože TrackLab v několika případech označil, že v blízkosti fokální dojnice byl jiný než pozorovaný tag, nebo pozorovaný tag nezaznamenal, může být pro chovatele dobrým pomocníkem při hodnocení sociálních vazeb. Ve více než 80 % určil správného souseda fokální dojnice, takže při posuzování sociálních vztahů je možné řídit se jím naměřenými daty, případně je možné se zaměřit na takové dojnice, které se nepotkávají téměř nikdy nebo jen na velmi krátkou dobu. Většinová data však budou ukazovat kýženou tendenci některých dojnic držet se ve vzájemné blízkosti, takže pro hodnocení sociálního chování je tento automatizovaný systém postačující. Dle studie Melzer et al. (2021) může často pozorovaná vzájemná blízkost dojnic naznačovat pozitivní sociální vazby (přátelství) a z dlouhodobého sledování mohou chovatelé lépe porozumět sociální dynamice skupiny, což by bylo vhodným námětem k dalšímu výzkumu.

## 7 Závěr

### 7.1 Validace pozičního systému

Závěrem lze říci, že validovaný poziční systém TrackLab je vhodným zařízením pro sledování prostorového chování dojníc ve stáji s možným rozšířením o hodnocení sociálního chování. Přestože výpadky systému jsou téměř 6x větší (29,45 % oproti očekávaným 5 %), při delším sběru dat je možné spolehlivě vyhodnotit prostorové zvyklosti chovaných dojníc a sledovat jejich denní aktivitu. Chybovost určování pozice byla místy s rozdílem více než metru, nicméně průměrná chyba ze všech zaměření je rovna 0,151 metru, což odpovídá výrobcem deklarovaným 20–30 cm přesnosti odhadu pozice a splňuje i náš předpoklad, že shoda mezi pozicí určenou TrackLabem a přímým pozorováním bude pod 50 cm. Ve srovnání s velikostí dojníc je taková odchylka zanedbatelná. Validace taktéž prokázala, že je tento poziční systém schopný spolehlivě detekovat dojnice držící se ve vzájemné blízkosti.

### 7.2 Potenciál pozičních systémů pro zlepšení zdraví a welfare dojníc

Poziční systémy jsou schopné sledovat různé parametry od prostorového chování a pohybové aktivity, přes čas strávený v jednotlivých oblastech stáje, po sociální partnery fokálních dojníc. Dle výše zmíněných informací je zjevné, že změny v chování a v rozložení a délce běžných denních činností dojníc souvisejí se změnou zdravotního stavu nebo nedostatečnou úrovní welfare. Potenciál pozičních systémů by tak mohl spočívat právě v zachycení drobných změn v chování a zvyklostech dojníc. Kdyby aplikace propojená se systémem chovatele upozornila na dojnice, které se začaly chovat jinak, mohl by chovatel tyto dojnice zkontrolovat a podchytit tak případné komplikace včas a včas také zahájit nápravu.

Obecně lze říci, že snížení aktivity, doby přežvykování, doby odpočinku a doby krmení souvisí s negativními vlivy jakými může být nemoc, bolest, stres nebo špatné složení skupiny. Na druhou stranu snížení doby přežvykování a doby odpočinku v souvislosti s vyšší pohybovou aktivitou může být způsobeno nadcházející říjí. Je velmi důležité správně interpretovat chování a spojovat ho do souvislostí s chodem managementu farmy, ale také s reprodukčním cyklem dojníc. Poziční systémy mohou pomoci zachytit první příznaky abnormalit, ale následně je potřeba konkrétní zvířata označená jako abnormální osobně zkontrolovat a případně podrobit dalšímu detailnějšímu testování. Význam pozičních systémů spočívá především ve včasném zachycení komplikace, což umožní rychlejší řešení, které například v případě nemoci bude znamenat rychleji fungující léčbu a menší finanční náklady.

Přínos pozičních systémů z hlediska sociálního chování a sociálních vazeb lze pozorovat především v možnosti ohleduplnějšího managementu přesunů dojníc a jejich přeskupování. Poziční systémy dokáží na základě času stráveného ve vzájemné blízkosti nebo ve stejné oblasti zájmu vyhodnotit, které dojnice jsou v přátelském vztahu. Díky automaticky sbíraným datům o pozici jednotlivých zvířat jde samozřejmě vyhodnotit i vztahy opačné. Dojnice, jejichž vztahy systém označí jako přátelské, by následně bylo vhodné přeskupovat společně. Pokud jsou dojnice vystaveny stresující situaci, jakou je například přeskupování, snadněji se na ni adaptují, pokud budou do nové skupiny přesunuty se známým spřízněným jedincem.



## 8 Literatura

- Abeni F, Petrera F, Galli A. 2019. A Survey of Italian Dairy Farmers' Propensity for Precision Livestock Farming Tools. *Animals* **9**:202.
- Adenuga AH, Jack C, Olagunju KO, Ashfield A. 2020. Economic Viability of Adoption of Automated Oestrus Detection Technologies on Dairy Farms: A Review. *Animals* **10**:1241.
- Antanaitis R, Juozaitienė V, Televičius M, Malašauskienė D, Urbutis M, Baumgartner W. 2020. Influence of Subclinical Ketosis in Dairy Cows on Ingestive-Related Behaviours Registered with a Real-Time System. *Animals* **10**:2288.
- Aquilani C, Confessore A, Bozzi R, Sirtori F, Pugliese C. 2022. Review: Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal* **16** DOI:10.1016/j.animal.2021.100429.
- Barker ZE, Vázquez Diosdado JA, Codling EA, Bell NJ, Hodges HR, Croft DP, Amory JR. 2018. Use of novel sensors combining local positioning and acceleration to measure feeding behavior differences associated with lameness in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **101**:6310–6321.
- Berckmans D. 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue – Office International des Epizooties* **33**:189–196.
- Berckmans D. 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* **7**:6–11.
- Brown DJ, Savage DB, Hinch GN, Hatcher S. 2015. Monitoring liveweight in sheep is a valuable management strategy: A review of available technologies. *Animal Production Science* **55**:427–436.
- Cadero A, Aubry A, Dourmad JY, 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.
- Campbell DLM, Ouzman J, Mowat D, Lea JM, Lee C, Llewellyn RS. 2020. Virtual Fencing Technology Excludes Beef Cattle from an Environmentally Sensitive Area. *Animals* **10**:1069.
- Clark PE, Chigbrow J, Johnson DE, Larson LL, Nielson RM, Louhaichi M, Roland T, Williams J. 2020. Predicting Spatial Risk of Wolf-Cattle Encounters and Depredation. *Rangeland Ecology and Management* **73**:30–52.
- Compiani R, Rossi CAS, Baldi G, Desrochers A. 2014. Dealing with lameness in Italian beef cattle rearing. *Large Animal Review* **20**:239–247.
- Cyples JA, Fitzpatrick CE, Leslie KE, DeVries TJ, Haley DB, Chapinal N. 2012. Short communication: The effects of experimentally induced *Escherichia coli* clinical mastitis on lying behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **95**:2571–2575.

- DeVries TJ, Beauchemin KA, Dohme F, Schwartzkopf-Genswein KS. 2009. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *Journal of Dairy Science* **92**:5067–5078.
- Fitzpatrick CE, Chapinal N, Petersson-Wolfe CS, DeVries TJ, Kelton DF, Duffield TF, Leslie KE. 2013. The effect of meloxicam on pain sensitivity, rumination time, and clinical signs in dairy cows with endotoxin-induced clinical mastitis. *Journal of Dairy Science* **96**:2847–2856.
- Fogarty ES, Swain DL, Gronin GM, Moraes LE, Bailey DW, Trotter MG. Potential for autonomous detection of lambing using global navigation satellite system technology. *Animal Production Science* **60**:1217–1226.
- Frondelius L, Pastell M, Mononen J. 2014. Validation of the TrackLab positioning system in a cow barn environment. Pages 27–29 in Spink AJ, van den Broek EL, Loijens LWS, Woloszynowska-Fraser M, Noldus LPJJ, editors. *Proceedings of Measuring Behavior. Measuring Behavior, Wageningen*.
- Frondelius L, Van Weyenberg S, Lindeberg H, Van Nuffel A, Maselyne J, Pastell M. 2022. Spatial behaviour of dairy cows is affected by lameness. *Applied Animal Behaviour Science* **256**:105763.
- Gallagher Group. 2021. A shepherd for every animal. Gallagher Group. Available from <https://am.gallagher.com/en-au/new-products/eShepherd> (accessed February 2023).
- GEA Group Aktiengesellschaft. 2023. GEA COWSCOUT. GEA Engineering for a better world. Available from <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/activity-detection-cowscout.jsp> (accessed March 2023).
- González-García E, Alhamada M, Pradel J, Douls S, Parisot S, Bocquier F, Menassol JB, Llach I, González LA. 2018. A mobile and automated walk-over-weighing system for a close and remote monitoring of liveweight in sheep. *Computers and Electronics in Agriculture* **153**:226–238.
- Gou X, Tsunekawa A, Peng F, Zhao X, Li Y, Lian J. 2019. Method for Classifying Behavior of Livestock on Fenced Temperate Rangeland in Northern China. *Sensors* **19**:1–15.
- Gutmann AK, Špinka M, Winckler C. 2015. Long-term familiarity creates preferred social partners in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* **169**:1–8.
- Gygax L, Neisen G, Bollhalder H. 2007. Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns. *Computers and Electronics in Agriculture* **56**:23–33.
- Gygax L, Neisen G, Wechsler B. 2009. Differences between single and paired heifers in residency in functional areas, length of travel path, and area used throughout days 1–6 after integration into a free stall dairy herd. *Applied Animal Behaviour Science* **120**:49–55.

- Hansen SS, Nørgaard P, Pedersen C, Jorgensen RJ, Mellau LSB, Enemark JD. 2003. The Effect of Subclinical Hypocalcaemia Induced by Na<sub>2</sub>EDTA on the Feed Intake and Chewing Activity of Dairy Cows. *Veterinary Research Communications* **27**:193–205.
- Huhtala A, Suhonen K, Mäkelä P, Hakojärvi M, Ahokas J. 2007. Evaluation of Instrumentation for Cow Positioning and Tracking Indoors. *Biosystems Engineering* **96**:399–405.
- Hut PR, Hostens MM, Beijaard MJ, van Eerdenburg FJCM, Hulsen JHJL, Hooijer GA, Stassen EN, Nielen M. 2021. Associations between body condition score, locomotion score, and sensor-based time budgets of dairy cattle during the dry period and early lactation. *Journal of Dairy Science* **104**:4746–4763.
- Chapinal N, Fitzpatrick CE, Leslie KE, Wagner SA. 2014. Short Communication: Automated assessment of the effect of flunixin meglumine on rumination in dairy cows with endotoxin-induced mastitis. *Canadian Journal of Animal Science* **94**:21–25.
- Itle AJ, Huzzey JM, Weary DM, von Keyserlingk MAG. 2015. Clinical ketosis and standing behavior in transition cows. *Journal of Dairy Science* **98**:128–134.
- Jóhannesson T, Sørensen JT. 2000. Evaluation of Welfare Indicators for the Social Environment in Cattle Herds. *Animal Welfare* **9**:297–316.
- Jónsson R, Blanke M, Poulsen NK, Caponetti F, Højsgaard S. 2011. Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. *Computers and Electronics in Agriculture* **76**:6–15.
- Lazo A. 1994. Social segregation and the maintenance of social stability in a feral cattle population. *Animal Behaviour* **48**:1133–1141.
- Li S, Khafipour E, Krause DO, González LA, Plaizier JC. 2011. Effects of grain-pellet and alfalfa-pellet subacute ruminal acidosis (SARA) challenges on feeding behaviour of lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* **91**:323–330.
- Li N, Ren Z, Li D, Zeng L. 2020. Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: Towards the goal of precision livestock farming. *Animal* **14**:617–625.
- Lima E, Hopkins T, Gurney E, Shortall O, Lovatt F, Davies P, Williamson G, Kaler J, Loor JJ. 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) DOI: 10.1371/journal.pone.0190489.
- Liu H, Banerjee P, Liu J. 2007. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews* **37**:1067–1080.
- Maia GG, Siqueira LGB, de Paula Vasconcelos CO, Tomich TR, de Almeida Camargo LS, Rodrigues JPP, de Menezes RA, Gonçalves LC, Teixeira BF, de Oliveira Grandó R, Nogueira LAG, Pereira LGR. 2020. Effects of heat stress on rumination activity in Holstein-Gyr dry cows. *Livestock Science* 239 DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104092.

- Mattachini G, Riva E, Provolo G. 2011. The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Applied Animal Behaviour Science* **129**:18–27.
- Melzer N, Foris B, Langbein J. 2021. Validation of a real-time location system for zone assignment and neighbor detection in dairy cow groups. *Computers and Electronics in Agriculture* **187**. ISSN 106280 DOI: 10.1016/j.compag.2021.106280.
- Noldus. 2023. Behavior, welfare, and health tracking TrackLab. Noldus, Wageningen. Available from <https://www.noldus.com/tracklab> (accessed April 2023).
- Noldus Information Technology bv. 2018. TrackLab: a client case study. Installation at Aberystwyth University.
- mOOvement Patent pending. 2019. Cattle tracking. mOOvement Patent pending, Brisbane. Available from <https://www.moovement.com.au/how-it-works> (accessed February 2023).
- Odintsov Vaintrub M, Levit H, Chincarini M, Fusaro I, Giammarco M, Vignola G. 2021. Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal* **15**:100143.
- Paudyal S, Maunsell F, Richeson J, Risco C, Donovan A, Pinedo P. 2016. Peripartal rumination dynamics and health status in cows calving in hot and cool seasons. *Journal of Dairy Science* **99**:9057–9068.
- Paudyal S. 2021. Using rumination time to manage health and reproduction in dairy cattle: a review. *Veterinary Quarterly* **41**:292–300.
- Peacock Technology. 2023. CowAlert Powering a sustainable dairy industry. Peacock Technology Ltd, Stirling. Available from <https://www.peacocktechnology.com/cowalert> (accessed April 2023).
- Pezzopane JRM, Nicodemo MLF, Bosi C, Garcia AR, Lulu J. 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of Thermal Biology* **79**:103–111.
- Porto SMC, Arcidiacono C, Giummarra A, Anguzza U, Cascone G. 2014. Localisation and identification performances of a real-time location system based on ultra wide band technology for monitoring and tracking dairy cow behaviour in a semi-open free-stall barn. *Computers and Electronics in Agriculture* **108**:221–229.
- Reiter S, Sattlecker G, Lidauer L, Kickinger F, Öhlschuster M, Auer W, Schweinzer V, Klein-Jöbstl D, Drillich M, Iwersen M. 2018. Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **101**:3398–3411.
- Reith S, Hoy S. 2012. Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **95**:6416–6420.
- Reith S, Brandt H, Hoy S. 2014. Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livestock Science* **170**:219–227.

- Ren K, Bernes G, Hetta M, Karlsson J. 2021. Tracking and analysing social interactions in dairy cattle with real-time locating system and machine learning. *Journal of Systems Architecture* **116**. ISSN 102139 DOI:10.1016/j.sysarc.2021.102139.
- Renaudeau D, Collin A, Yahav S, De Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* **6**:707–728.
- Resch A, Pfeil R, Wegener M, Stelzer A. 2012. Review of the LPM local positioning measurement system. Pages 1–5 in 2012 International Conference on Localization and GNSS. Available at <http://ieeexplore.ieee.org/document/6253104/>.
- Roelofs JB, van Eerdenburg FJCM, Soede NM, Kemp B. 2005. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* **64**:1690–1703.
- Rutten CJ, Velthuis AGJ, Steeneveld W, Hogeveen H. 2013. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science* **96**:1928–1952.
- Sharma B, Koundal D. 2018. Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective. *IET Wireless Sens. Syst.* **8**:143–151.
- Schweinzer V, Gusterer E, Kanz P, Krieger S, Süß D, Lidauer L, Berger A, Kicking F, Öhlschuster M, Auer W, Drillich M, Iwersen M. 2019. Evaluation of an ear-attached accelerometer for detecting estrus events in indoor housed dairy cows. *Theriogenology* **130**:19–25.
- Smith LA, Swain DL, Innocent GT, Hutchings MR. 2023. Social isolation of unfamiliar cattle by groups of familiar cattle. *Behavioural Processes* **207**:104847.
- Soriani N, Panella G, Calamari L. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science* **96**:5082–5094.
- Tøgersen FA, Skjøth F, Munksgaard L, Højsgaard S. 2010. Wireless indoor tracking network based on Kalman filters with an application to monitoring dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* **72**:119–126.
- Trénel P, Jensen MB, Decker EL, Skjøth F. 2009. Technical note: Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *Journal of Dairy Science* **92**:3397–3401.
- Tullo E, Fontana I, Gottardo D, Sloth KH, Guarino M. 2016. Technical note: Validation of a commercial system for the continuous and automated monitoring of dairy cow activity. *Journal of Dairy Science* **99**:7489–7494.
- Van Nuffel A, Zwervaegher I, Pluym L, Van Weyenberg S, Thorup V, Pastell M, Sonck B, Saeys W. 2015. Lameness Detection in Dairy Cows: Part 1. How to Distinguish between Non-Lame and Lame Cows Based on Differences in Locomotion or Behavior. *Animals* **5**:838–860.

- Vazquez Diosdado JA, Barker ZE, Hodges HR, Amory JR, Croft DP, Bell NJ, Codling EA. 2018. Space-use patterns highlight behavioural differences linked to lameness, parity, and days in milk in barn-housed dairy cows. *PloS One* 13 (e0208424) DOI: 10.1371/journal.pone.0208424.
- Werner J, Umstatter C, Leso L, Kennedy E, Geoghegan A, Shalloo L, Schick M, O'brien B. 2019. Evaluation and application potential of an accelerometer-based collar device for measuring grazing behavior of dairy cows. *Animal* **13**:2070–2079.
- Zhuang S, Maselyne J, Van Nuffel A, Vangeyte J, Sonck B. 2020. Tracking group housed sows with an ultra-wideband indoor positioning system: A feasibility study. *Biosystems Engineering* **200**:176–187.

## **9 Seznam použitých zkratk a symbolů**

GPS – Global Positioning System = globální polohový systém

LPM – Local Positioning Measurement

NKI – první produkční skupina

TMR – Total Mixed Ration

UWB – ultra-wideband = ultraširokopásmová bezdrátová síť

VÚŽV, v. v. i. – Výzkumný ústav živočišné výroby, veřejná výzkumná instituce





